

В.В. Чигаева, И.П. Саломатова

Прохождения лазерного излучения через живые биоткани человека

Проблема изучения распространения света в биологических средах имеет важное научное и прикладное значение, поскольку в настоящее время в медицине широко применяются оптические аппараты и приборы, в частности, с использованием лазеров. Лазерная технология имеет дело с самыми разнообразными объектами различной природы: физическими, химическими и биологическими. В применении к биологическим системам она имеет большой практический интерес для медицины. В связи с этим во всем мире ее развитию уделяется все большее и большее внимание. Лазер – это техническое устройство, испускающее электромагнитное излучение в виде направленного, когерентного, монохроматического пучка, т.е. пучка света в очень узком спектральном диапазоне. Свет в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях обладает фотобиологической активностью. В основе фотобиологических процессов лежат фотофизические и фотохимические реакции, возникающие в организме при взаимодействии со светом.

Для объективной оценки действия лазерного излучения необходимо исследование оптических свойств биологических объектов [1]. Литературные данные по этому вопросу весьма противоречивы, а по некоторым видам тканей отсутствуют, что затрудняет их использование для расчета поглощенных доз лазерного излучения и не позволяет получить четкого представления о его проникающей способности.

Цель настоящей работы – изучение прохождения лазерного излучения через живые биоткани человека.

В качестве исследуемых образцов использовались ткани человека: вторая фаланга пальцев верхних конечностей, ладонь, пясть и предплечье.

В настоящее время разработаны и внедрены в клиническую практику методы лечения с помощью как высокоэнергетического, так и низкоэнергетического лазерного излучения. Особую актуальность такому виду лечения придает высокая эффективность при относительной дешевизне, к тому же практически полное отсутствие побочных эффектов и противопоказаний от проводимой лазерной терапии и хирургии. Низкоинтенсивное лазерное излучение не может вызывать каких-либо стрессов в организме

человека, потому что длины волн всех видов лазерного излучения, которые используются в медицине, присутствуют в спектре Солнца. А значит, организм человека практически каждый день взаимодействует с электромагнитным излучением с рассматриваемыми длинами волн [1, 2]. Электромагнитные волны, проходя через вещество, вызывают вынужденные колебания частиц под действием электрического поля. Интенсивность света при прохождении через вещество, за исключением активных сред, уменьшается в основном за счет его рассеяния и поглощения. Поглощение наиболее сильно в случае, когда частота света равна частоте собственных колебаний частиц вещества. Проходящий через вещество световой поток не только поглощается, но и рассеивается на оптических неоднородностях среды, вызванных флуктуациями плотности и присутствием инородных тел. Но это рассеяние не влияет на суммарную интенсивность световых волн. Истинное же поглощение связано с преобразованием энергии излучения в другие виды энергии, что приводит к возрастанию температуры среды [3]. Поглощение света характеризуется экспоненциальным законом убывания его интенсивности при увеличении толщины слоя вещества, прошедшего светом.

$$I(d, \lambda) = I_0 \cdot e^{-\alpha(\lambda)d}$$

Эта формула носит название закона Бугера-Ламберта. Физический смысл коэффициента ослабления $\alpha(\lambda)$ легко определить из условия, что уменьшение интенсивности в e раз ($I = I_0/e$) происходит при длине поглощающего

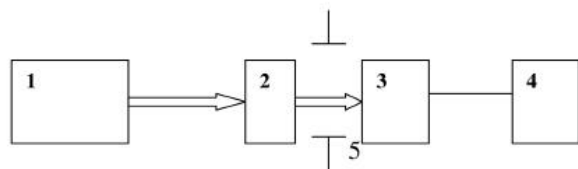
слоя: $d = \frac{1}{\alpha(\lambda)}$. Преобразовав основное соотношение, получаем соотношение для коэффициента

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

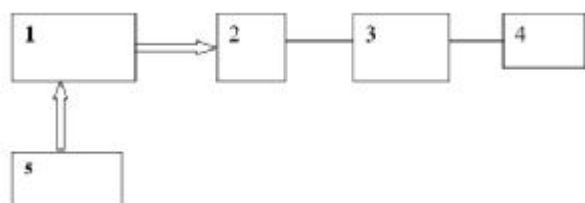
ослабления: [4]. Эксперименты по определению коэффициента ослабления проводились на установках с различными длинами волн, в которых использовались следующие лазеры:

- гелий-неоновый лазер с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм, мощностью около 10 мВт;
- полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda = 0,89$ мкм, работающий в импульсном режиме, мощностью в импульсе порядка 100 Вт, длительность импульса $\tau = 0,3$ мкс, частота импульсов $f = 120$ Гц, ширина линии излучения – 10 нм.

Рассмотрим отдельную блок-схему установки гелий-неонового и полупроводникового лазера (рис. 1 и 2).



1 – гелий-неоновый лазер; 2 – штатив, в котором заключается образец ткани; 3 – фотоэлектронный умножитель ФЭУ-68; 4 – цифровой вольтметр; 5 – диафрагма



1 – полупроводниковый лазер КГВ-103 с длиной волны $\lambda = 890$ нм; 2 – фотодиод ФД-1; 3 – усилитель С1-70; 4 – осциллограф С1-70 (усилитель и осциллограф обеспечивают усиление в 10000 раз); 5 – генератор импульсов Г5-54, частота импульсов $f = 10$ Гц, $\tau = 0,1$ мкс [4]

Экспериментальные исследования проводились в различных областях спектра, поэтому важен выбор приемника излучения, так как практически невозможно измерить сигналы в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра одним приемником, в связи с тем, что у каждого приемника максимум чувствительности находится в очень узкой спектральной области.

Для изучения области излучения в ИК области использовался фотодиод ФД-5Г, его характеристики: диаметр фоточувствительного элемента – 2,5 мм; длина волны максимальной чувствительности $\Delta\lambda = 0,3-1,8$ мкм; длина волны максимальной чувствительности $\lambda_{\max} = 1,5$ мкм [3, 4].

При исследовании в ультрафиолетовой области использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-68, обладающий следующими характеристиками: область спектральной чувствительности $\Delta\lambda = 0,30-0,82$ мкм; диаметр фотокатода 10 мм; рабочее напряжение 1400 В.

Из результатов экспериментов для разных длин волн лазерного излучения можно сделать вывод, что ладони ослабляют более сильное лазерное излучение видимого диапазона, чем инфракрасного.

Результаты, полученные для различной толщины разных образцов ткани, свидетельствуют

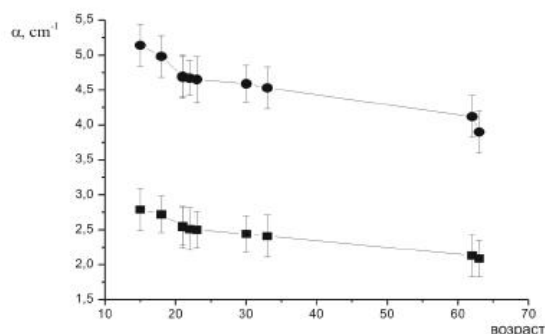


Рис. 3. Зависимость коэффициента ослабления ладони правой руки от возраста человека для $\lambda = 890$ нм (■) и $\lambda = 632,8$ нм (●)

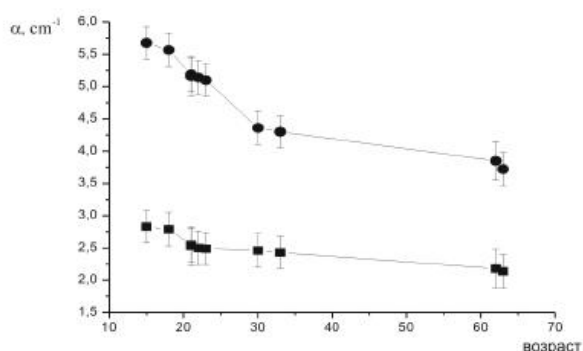


Рис. 4. Зависимость коэффициента ослабления ладони левой руки от возраста человека для $\lambda = 890$ нм (■) и $\lambda = 632,8$ нм (●)

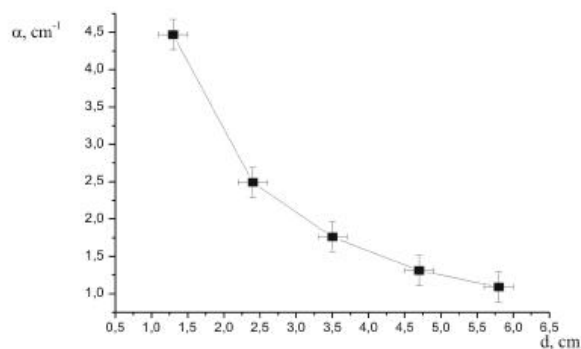


Рис. 5. Зависимость коэффициента ослабления мизинца, ладони, пястья, запястья и предплечья верхней конечности правой руки от толщины ткани для $\lambda = 890$ нм

о том, что характер пропускания лазерного излучения тканью меняется с увеличением ее толщины. Это объясняется неоднородностью ткани, различной структурой ее составных частей, присутствием большого количества рассеивающих центров.

Авторы благодарны профессору В.И. Букатому за помощь в работе.

Литература

1. Воронина О.Ю. Воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения на биоткани / О.Ю. Воронина, М.А. Каплан, В.А. Степанов // Письма в ЖТФ. 1990. №6.
2. Букатый В.И. Ослабление лазерного излучения мягкими биотканями / В.И. Букатый, Г.Г. Устинов // Лазеры в медицине: Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2000.
3. Тучин В.В. Основы взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения с биотканями: дозиметрический и диагностический аспекты // Известия АН. Сер.: Физика. 1995. №6.
4. Разработка и использование модели трехмерного распределения света в облученной лазером ткани. Development and application of three – dimensional light distribution model for laser irradiated tissue. Joon Gilwon, Weich Ashley, Motamedi Massoud, Van Gement // IEEEJ. Quantum Electron. 1987. №10.
5. Павлов А.В. Приемники излучения автоматических оптико-электронных приборов / А.В. Павлов, А.И. Черников. М., 1972.