

2. Ломач В.А., Пинчук Л.С., Гольдаде В.А., Банный В.А. Эффективность несвязанной воды как радиопоглощающего компонента электромагнитных экранов при отрицательных температурах // Материалы, технологии, инструменты. – 2011. – № 4. – С. 41-44.
3. Алексеев А.Г., Гусева О.М., Семичев В.С. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность. – СПб: НИИХ СПбГУ, 1998. – 296 с.
4. Макаревич А.В., Банный В.А. Радиопоглощающие полимерные композиционные материалы в технике СВЧ // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – Т. 4, № 3. – С. 24-32.
5. Банный В.А., Макаревич А.В., Орехов Д.А. Взаимодействие СВЧ-излучения нетепловой интенсивности с культурой дрожжевых клеток // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 5-6. – С. 102-105.
6. Ермолович О.А., Банный В.А., Макаревич А.В. Хитин как функциональный наполнитель композиционных полимерных материалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, №. 2. – С. 58-60.
7. Пинчук Л.С., Гольдаде В.А. Радиопоглощающие материалы на основе криогелей поливинилового спирта // Доклады НАН Беларуси. – 2013. – Т. 57. – № 4. – С. 114–118.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ КРОВИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ 2 МКМ

Батай Л.Е., Ходасевич И.А.

*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
l.batay@ifanbel.bas-net.by*

Лазеры, излучающие в спектральной области 2 мкм (тулиевые и гольмиевые), где расположен один из интенсивных максимумов поглощения воды, рассматриваются с точки зрения биомедицины как излучатели хирургического назначения. Вместе с тем, как показано ранее в наших работах (например, [1, 2]), низкоинтенсивное излучение тулиевого лазера, несмотря на то, что поглощается на глубине до 50-100 мкм, обладает выраженным регуляторным действием на уровне организма.

Оно оказывает влияние на активность ферментов углеводно-энергетического обмена, обладает иммуномодулирующим действием, изменяя содержание α_2 -макроглобулина в сыворотке крови и тканях иммунокомпетентных органов, оказывает противовоспалительное действие, проявляющееся в изменении продукции первичных медиаторов воспаления интерлейкинов ИЛ-1 β и ИЛ-6. Таким образом, взаимодействие низкоинтенсивного излучения спектральной области 2 мкм с водой, являющейся универсальным хромофором, присутствующим в живых организмах, может приводить к сложным системным эффектам на уровне регуляции функций организма. Исследования в данном направлении пока крайне малочисленны, однако, представляют большой интерес, т.к. инструментарий лазерной терапии может быть дополнен новыми излучателями.

Целью данной работы являлось исследование спектров комбинационного рассеяния крови после воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения спектральной области 2 мкм.

В качестве излучателя использовался непрерывный диодно-накачиваемый тулиевый лазер. Максимум спектра излучения лазера соответствовал длине волны 1,96 мкм при ширине спектра ~ 10 нм.

Исследования были проведены на модели индуцированного канцерогенеза на мышах-самцах, распределенных по пяти экспериментальным группам (10-12 животных в группе). Первую группу (контрольную) составили интактные особи. Мышам второй – пятой групп подкожно в области спины прививали по 6 млн. клеток штамма асцитной карциномы Эрлиха. В третьей – пятой группах дополнительно осуществлялось воздействие на опухолевый процесс. Так, животным третьей группы в качестве противоопухолевого цитостатического препарата вводили циклоцитидин (четырекратно, в дозе 10 мг/мышь). Животные четвертой группы получали курс ежедневного лазерного облучения, состоявшего из 7 процедур. Облучалась область роста опухоли, время экспозиции – 2 мин при мощности лазера 20 мВт (плотность мощности ~ 20 мВт/см²). В пятой группе осуществлялось сочетанное воздействие лазерного облучения и циклоцитидина. Забор крови у животных производился на следующий день после окончания курса облучения.

Возбуждение спектров КР производилось с помощью непрерывного гелий-кадмиевого лазера с длиной волны 441,6 нм. Регистрация спектров КР осуществлялась в диапазоне частотных сдвигов 700–2000 см⁻¹ на монохроматоре-спектрографе Solar ТП модели MS3504i с CCD-камерой SPEC-10:256E. Спектры прописывались в течение 2 с. Для улучшения соотношения сигнал/шум использовалось 30 накоплений спектра. После

оцифровки спектров производилась их обработка с помощью программы PeakFit v.4.12. Обработка включала в себя аппроксимацию фона соответствующей аналитической функцией, вычитание фона, определение значений интенсивностей анализируемых линий и их нормирование путем отнесения интенсивностей линий к интенсивности наиболее выраженной линии спектра КР крови, соответствующей частотному сдвигу 1375 см^{-1} . Статистический анализ производился с использованием программы Origin 7.5. Различия между экспериментальными группами считались достоверными при уровне значимости $p=0,05$ и менее.

Анализ спектров проводился по наиболее интенсивным линиям спектра КР, которым соответствуют характеристические частоты ~ 1130 , ~ 1170 , ~ 1227 , ~ 1375 , ~ 1430 , ~ 1505 , ~ 1583 , $\sim 1620\text{ см}^{-1}$. Данные частотные сдвиги очень хорошо коррелируют с линиями, наблюдавшимися в КР спектрах оксигенированных и дезоксигенированных эритроцитов [3]. А именно: полосы 1130 , 1227 , 1375 , 1430 , 1505 , 1583 см^{-1} можно отнести к колебаниям в молекуле оксигемоглобина. Полоса 1620 см^{-1} относится к колебаниям в молекуле дезоксигемоглобина. Линию 1170 см^{-1} сложно однозначно отнести к оксигемоглобину или дезоксигемоглобину, т.к. по данным [3] сходные полосы наблюдались как в спектре оксигенированных (1173 см^{-1}), так и дезоксигенированных эритроцитов (1172 см^{-1}).

Показано, что развитие опухолевого процесса (группа 2) не приводило к достоверному изменению относительных интенсивностей анализируемых линий спектра КР крови относительно группы интактных животных. Хотя в целом наблюдалась тенденция к повышению относительных интенсивностей всех анализируемых линий. Достоверные изменения относительных интенсивностей линий в экспериментальных группах 3 - 5 были обнаружены в полосах $\sim 1130\text{ см}^{-1}$ и $\sim 1430\text{ см}^{-1}$. Так, в полосе $\sim 1130\text{ см}^{-1}$, связанной с колебаниями в молекуле оксигемоглобина, наблюдались достоверные отличия между группами 1 и 4 ($p_{14}<0,01$), 1 и 5 ($p_{15}<0,01$), 2 и 4 ($p_{24}<0,05$), 2 и 5 ($p_{25}<0,05$). Наблюдалось достоверное увеличение интенсивности данной линии спектра КР как при лазерном облучении (группа 4), так и при лазерном облучении на фоне введения циклоцитидина (группа 5). При этом различий между группами 4 и 5 не обнаружено. Это позволяет сделать вывод о том, что увеличение относительной интенсивности линии $\sim 1130\text{ см}^{-1}$ в группах 4 и 5 связано только с воздействием лазерного излучения с длиной волны $\sim 2,0\text{ мкм}$. Эффект противоположной направленности наблюдался в полосе $\sim 1430\text{ см}^{-1}$, также связанной с колебаниями в молекуле оксигемоглобина. Как при лазерном облучении (группа 4), так и при лазерном облучении на фоне

введения циклоцитидина (группа 5) наблюдалось достоверное ($p_{14}<0,05$; $p_{24}<0,05$; $p_{15}<0,01$; $p_{25}<0,01$) снижение относительной интенсивности линии $\sim 1430\text{ см}^{-1}$ по отношению к группам как интактных животных, так и животных с карциномой, что свидетельствует о модификациях в молекуле оксигемоглобина.

Таким образом, влияние облучения животных низкоинтенсивным излучением тулиевого лазера с длиной волны, совпадающей с интенсивным спектральным максимумом поглощения воды, достоверно проявлялось в спектрах комбинационного рассеяния крови. Результаты свидетельствуют о модификациях молекулы оксигемоглобина, вызванных прямым возбуждением молекул воды излучением с длиной волны 2 мкм.

Литература

1. Батай Л.Е., Водчиц А.И., Орлович В.А. и др. Лазеры, излучающие в спектральной области 2 мкм, и их биомедицинские применения // ARS Medica. - 2012. - № 3 (58). – С. 35–48.
2. Горбунова Н.Б., Улащик В.С., Батай Л.Е. и др. Влияние непрерывного низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения (1,6 мкм и 2 мкм) на уровень ингибиторов протеаз в сыворотке крови при экспериментальном системном воспалении // Материалы XXXX Международной научно-практической конференции "Применение лазеров в медицине и биологии", Ялта, 2-5 октября 2013 г. - С. 124–127.
3. Wood, B.R. Raman excitation wavelength investigation of single red blood cells in vivo / B.R. Wood, D. McNaughton // J. Raman Spectrosc. – 2002. – Vol. 33. – P. 517–523.

ВЛИЯНИЕ УФ-СВЕТА НА АКТИВНОСТЬ ГЕКСОКИНАЗЫ И ГЛЮКОЗО-6-ФОСФАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ ЛИМФОЦИТОВ ДОНОРОВ И БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ ПАНКРЕАТИТОМ

**Башарина О.В., Коробкина И.А., Спахова Я.Г., Зеленецкая М.Г.,
Артюхов В.Г.**

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

В настоящее время широкое распространение в медицине получил метод аутоотрансфузии УФ-облученной крови (АУФОК), его применение приводит к улучшению иммунологического статуса организма, что мо-