

СПОСОБ ОБОГЩЕНИЯ БИОТКАНИ КИСЛОРОДОМ IN VIVO ПРИ ПОМОЩИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА СОЕДИНЕНИЕ ГЕМОГЛОБИНА С КИСЛОРОДОМ

Белорусский Государственный Университет, кафедра лазерной физики и спектроскопии, г.Минск

Ключевые слова: гемоглобин, оксигемоглобин, фотодиссоциация, оксигенация, биоткань.

Резюме: В статье предлагается механизм насыщения биоткани кислородом, основанный на поиске новых путей использования воздействий лазерным излучением, с учетом физических аспектов, а так же на анализе уровня напряженности кислорода в мышечной ткани. Предлагаемый метод основывается на фотодиссоциации оксигемоглобина крови, использование которого позволяет обеспечить быстрое восстановление нормальной концентрации кислорода, при наличии его дефицита, in vivo в режиме реального времени.

Resume: In article the mechanism of saturation of tissues with oxygen, based on finding new ways of using effects laser radiation, taking into account the physical aspects, as well as on the analysis of the level of tension of oxygen in muscle tissue. The proposed method is based on the photodissociation of blood oxyhemoglobin, the use of which allows to rapidly restore the normal concentration of oxygen in the presence of a deficit in vivo in real-time.

Актуальность данной исследовательской работы заключается в том, что в современной медицинской практике накоплен значительный материал о явлении фотодиссоциации оксигемоглобина in vitro, но роль фотодиссоциации данного комплекса для различных биомедицинских процессов in vivo не исследована. Этот материал необходимо изучить. Так же важным фактом является возможность использования и применения материалов, полученных в ходе изучения данной тематики, как в профессиональной деятельности, так и для медицинской практики.

Цель работы: исследование фотодиссоциации оксигемоглобина in vivo в кожных кровеносных сосудах и капиллярах при воздействии лазерным излучением на кожу человека.

Задачи: Провести экспериментальные исследования по фотодиссоциации оксигемоглобина. Рассчитать спектор действия по оптической модели Кубелки – Мунка. Измерить напряженность кислорода в биоткани до начала воздействия лазерным излучением и после. Определить уровень насыщения биоткани кислородом в реальном масштабе времени. Получить кинетику насыщения кислородом у различных испытуемых. Выявить возможность применения предлагаемого метода в медицинской практике. Проанализировать полученные в ходе выполнения исследований результаты.

Материалы и методы исследования: в данной статье используются общенаучные методы, такие как измерение, эксперимент и анализ; а так же неинвазивный и спектральный методы.

Для проведения исследований создан макетный образец прибора для насыщения ткани кислородом за счет сочетания действия лазером и акустическими волнами.

Расчетные данные показывают, что в видимом спектральном диапазоне, наиболее эффективно воздействовать на НЬСБ крови (кривая 2) излучением лазера с длиной волны на $\lambda = 585$ нм. В ближнем ИК спектральном диапазоне спектр действия имеет пологую форму с максимумом на длине волны $\lambda \sim 940$ нм. Эта полоса играет доминирующую роль в поглощении лазерного излучения НЬО₂ в кровеносных сосудах, расположенных на значительной глубине. Полученные результаты позволяют определить оптимальные условия для дополнительной экстракции О₂ в зоне воздействия лазерным излучением.

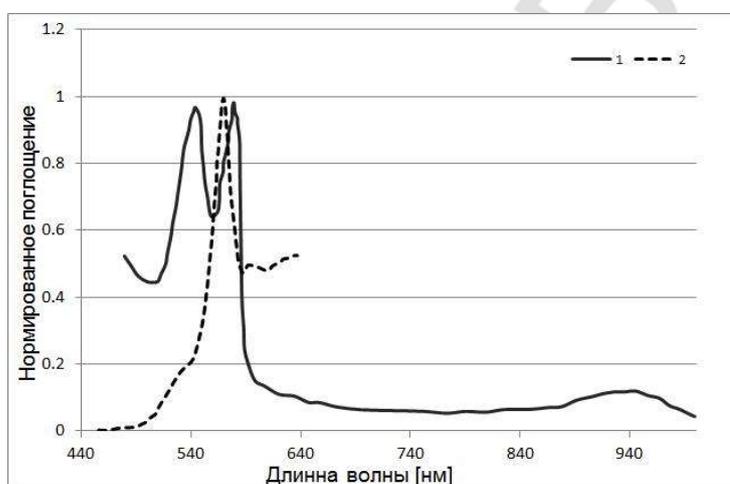


Рис.1 Типичный спектр поглощения оксигемоглобина *in vitro* -1, и расчетный спектр действия НЬО₂ крови на глубине 2 мм кожной ткани – 2.

Для количественного определения степени оксигенации биоткани в медицинской практике, особенно в хирургии, используется кислородный монитор серии ТСМ. Для проведения экспериментальных измерений в работе использовался стандартный сертифицированный транскутантный монитор серии ТСМ-300. Зарегистрированные прибором значения отражают уровень снабжения кислородом клеток кожной ткани.

Мониторинг осуществлялся с помощью электрода Кларка, установленного на кожный покров испытуемого добровольца.

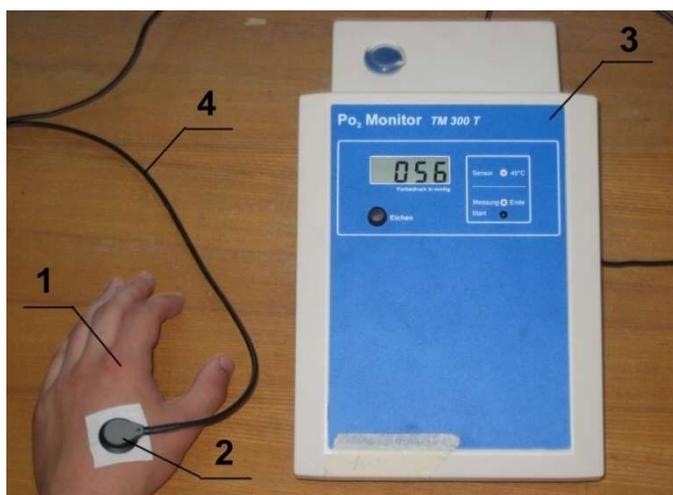


Рис. 2 Экспериментальное измерение оксигенации кожной ткани с помощью стандартного кислородного монитора: 1 – рука, 2 – электрод Кларка, 3 - PO_2 монитор ТМ-300Т, сигнальный кабель сенсора.

Исследование воздействия лазерного излучения на степень оксигенации проводилось на кожной ткани руки в условиях, исключающих предшествующую физическую и эмоциональную нагрузку, в положении сидя при комнатной температуре ($22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эти меры необходимы для исключения влияния различных факторов на результаты измерений. Для создания наведенной ишемии, на предплечье исследуемого добровольца накладывалась манжетка от тонометра.

Для локального облучения крови в кожных кровеносных сосудах выбрано излучение He-Ne-лазера с $\lambda = 632,8\text{ нм}$, которое, попадает в полосу поглощения HbO_2 и проникает достаточно глубоко в кожную ткань. Излучение He-Ne- лазера к биоткани было подведено через световод. Мощность лазера составляла $2,9\text{ мВт}$. Мощность выходного излучения лазера $1,0\text{ мВт}$, излучение имело гауссов профиль и при диаметре луча $1,2\text{ мм}$.

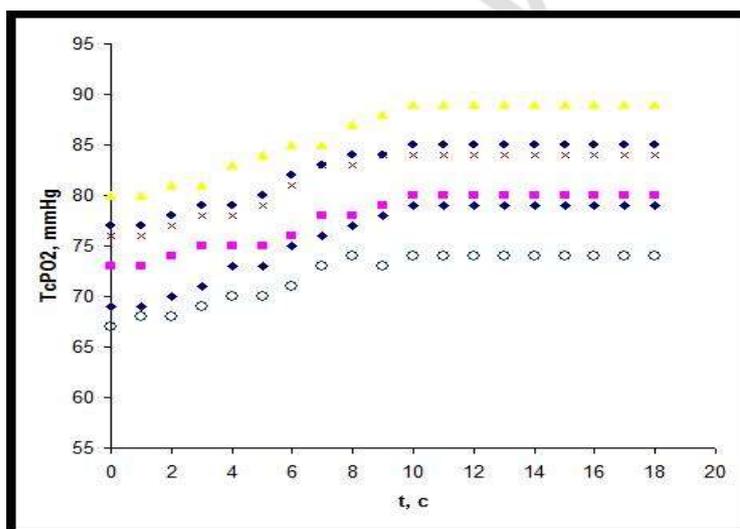


Рис.3 Зависимость степени оксигенации кожи от времени облучения излучением He-Ne-лазера для 6 исследуемых добровольцев.

Исходная величина $TcPO_2$ (в отсутствие облучения) индивидуальна для каждого исследуемого и характеризует начальное напряжение O_2 в тканях. В зависимости от длины волны, плотности энергии и времени воздействия лазерного излучения эффект воздействия определяется в основном двумя внутренними параметрами биоткани: оптическими свойствами облучаемой ткани и ее термическими свойствами.

Результаты: Из графика видно, что степень оксигенации ткани, при использовании данного лазерного излучения, растет при увеличении времени воздействия и спустя 6 мин. выходит на стационарный уровень.

Полученные данные наглядно демонстрируют, что в исследуемых случаях воздействие лазерным излучением приводит к росту величины $TcPO_2$.

Следует отметить, что, несмотря на некоторую разницу в измеряемых значениях величины $TcPO_2$ в один и тот же момент времени, наблюдается общая закономерность увеличения $TcPO_2$ и выход на стационарный уровень. Различный уровень значений $TcPO_2$ вызван индивидуальными особенностями состояния кожной ткани. Рост величины $TcPO_2$ обусловлен дополнительным высвобождением O_2 в ткань в результате лазерно-индуцированной фотодиссоциации HbO_2 . Кислород, высвобождаемый из HbO_2 , первоначально значительно повышает PO_2 в плазме крови, а затем диффундирует в ткань. При этом диффузия происходит в трех направлениях: к поверхности кожи, внутрь к мышечным тканям и часть уносится током крови.

Выводы: В ходе выполнения работы проведены экспериментальные исследования по фотодиссоциации оксигемоглобина *in vivo*. По оптической модели Кубелки – Мунка рассчитан спектр действия лазерного излучения. Рассчитана подходящая длина волны лазерного излучения. Измерена напряженность кислорода в биоткани до начала воздействия лазерным излучением и после. Определен уровень насыщения биоткани кислородом в реальном масштабе времени. Получена кинетика насыщения кислородом у различных испытуемых. Установлено что степень оксигенации ткани растет при увеличении времени воздействия лазерным излучением и спустя 10 мин. выходит на стационарный уровень. Выявлена возможность применения предлагаемого метода в медицинской практике, в частности для спортивной медицины и лечении онкологии. Применение данного метода существенно может увеличить эффективность терапии твердых раковых опухолей, с помощью химиотерапии, фотодинамической и радиотерапии. Существенным является тот факт, что предложенная технология позволит заметно снизить неизбежное негативное влияние терапевтических методов на нормальные клетки, окружающие раковую опухоль.

Литература

1. Серебряков В.А. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии в медицине». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 266 с.
2. Асимов, М.М., Нгуен Конг Тхань. Лазерно-индуцированная фотодиссоциация оксигемоглобина: оптический метод устранения гипоксии дефицита кислорода в биоткани / М.М. Асимов // Оптика и спектроскопия Т. 111,. – 2011. – № 2. – С. 254–259