

## **ТЕРМОИНДУЦИРОВАННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГЕМОГЛОБИНА КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДВУХВОЛНОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ С ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

**Чучин В.Ю.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор**

**Беликов А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

treasure\_planet@mail.ru

### **Введение**

Сосудистые заболевания кожи представляют собой расширенные сосуды микроциркуляторного русла дермы. В основе одноволновых и двухволновых лазерных методов их лечения лежит поглощение света кровью сосуда. Поглощенная в этом случае энергия преобразуется в тепло, что приводит к локальному нагреву крови и стенки сосуда до температуры его склерозирования  $T_{скл} \sim 80^{\circ}\text{C}$  [1]. Преобразование оксигемоглобина в дезоксигемоглобин и метгемоглобин является одним из маркеров интенсивного термического воздействия на кровь [2, 3]. Спектральный анализ этих преобразований позволяет выделить диапазоны длин волн излучения, чувствительные к различным стадиям трансформации гемоглобина, что можно использовать при разработке двухволновой лазерной системы с оптической обратной связью, направленной на достижение оптимального терапевтического эффекта при лазерном склерозировании глубоких расширенных сосудов [4]. Основным принцип двухволнового воздействия заключается в том, что воздействие лазерным излучением с первой рабочей длиной волны направлено на изменение состояния сосуда или окружающих его тканей таким образом, что последующее воздействие на второй рабочей длине волны становится более эффективным [5]. При этом наряду с выбором рабочих длин волн для эффективного терапевтического воздействия необходимо обоснованно выбирать диагностические длины волн, обеспечивающие контроль состояния кожи и управление лазерным воздействием в реальном времени, в том числе моментом переключения между рабочими длинами волн.

### **Основная часть**

Разработана экспериментальная установка и выполнен эксперимент по исследованию изменения пропускания на длине волны 980 нм слоя капиллярной крови толщиной 50, 150 и 300 мкм до, во время и после воздействия на него лазерного излучения с длиной волны 450 нм. Продемонстрировано, что в течение действия лазерного излучения на длине волны 450 нм пропускание крови на длине волны 980 нм сначала возрастает, а потом падает. Рост пропускания связан с ростом доли дезоксигемоглобина в крови, что приводит к снижению ее поглощения на этой длине волны. В то же время последующее уменьшение пропускания связано с образованием метгемоглобина, обладающего существенно более высоким коэффициентом поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне. При этом время достижения максимального просветления существенно зависит от толщины слоя крови. Таким образом, эксперимент подтверждает факт лазероиндуцированного «просветления» крови и указывает на необходимость детектирования момента достижения пропусканием крови максимального значения при оптимизации процесса двухволнового лазерного склерозирования сосудов кожи.

В результате оптического компьютерного моделирования в диапазоне длин волн от 400 до 1100 нм были рассчитаны спектры пропускания слоя крови человека толщиной 150 мкм, а также спектры отражения нормальной кожи человека и кожи

человека с расширенным сосудом при различных концентрациях основных хромофоров крови. В результате анализа этих спектров выделены следующие принципиально различные спектральные диапазоны:

1. диапазоны длин волн излучения, в которых пропускание и отражение практически не меняется при переходе оксигемоглобина сначала в дезоксигемоглобин, а затем в метгемоглобин.
2. диапазоны длин волн излучения, чувствительные преимущественно к изменению степени оксигенации крови, то есть к переходу оксигемоглобина в дезоксигемоглобин, но практически нечувствительные к образованию метгемоглобина.
3. диапазоны длин волн излучения, в которых пропускание и отражение практически не изменяется при снижении оксигенации, но существенно меняется при образовании метгемоглобина.
4. диапазон длин волн излучения, в котором пропускание и отражение уменьшается при снижении оксигенации крови и, наоборот, резко возрастает при образовании метгемоглобина.

На основании выполненных в работе исследований с целью определения момента оптимального включения излучения с длиной волны 980 нм после предварительного нагрева кожи излучением с длиной волны 450 нм предложены принципиальная схема двухволновой лазерной системы эффективного склерозирования сосудов кожи с оптической обратной связью и алгоритм ее работы, основанный на регистрации изменений оптических свойств крови в процессе лазерного воздействия.

#### **Выводы**

Определены спектральные параметры рабочего и диагностического лазерного излучения двухволновой лазерной системы эффективного склерозирования сосудов кожи, а также предложены принципиальная схема и алгоритм ее работы, состоящий из двух модулей: первый включает поиск в коже расширенного сосуда, второй осуществляет контроль двухволнового лазерного терапевтического воздействия.

#### **Литература**

1. E Ross E. V., Domankevitz Y. Laser treatment of leg veins: physical mechanisms and theoretical considerations //Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery. – 2005. – Т. 36. – №. 2. – С. 105-116.
2. Kimel S. et al. Influence of laser wavelength and pulse duration on gas bubble formation in blood filled glass capillaries //Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery. – 2005. – Т. 36. – №. 4. – С. 281-288.
3. Chuchin V. Y., Masharskaya A. A., Belikov A. V. Investigation of Changes in the Reflection Spectrum of Human Blood When Exposed to Laser Radiation With Wavelengths of 450 or 980 nm //Journal of Biophotonics. – 2025. – Т. 18. – №. 12. – С. e202400251.
4. Чучин В. Ю., Машарская А. А., Беликов А. В. Численное исследование влияния содержания оксигемоглобина, дезоксигемоглобина и метгемоглобина на спектры отражения, поглощения и пропускания света крови человека //Оптика и спектроскопия. – 2025. – Т. 133. – №. 5. – С. 551-559.
5. Trelles M. A. et al. Treatment of leg veins with combined pulsed dye and Nd: YAG lasers: 60 patients assessed at 6 months //Lasers in surgery and medicine. – 2010. – Т. 42. – №. 9. – С. 769-774

Чучин В.Ю. (автор) \_\_\_\_\_

Беликов А.В. (научный руководитель) \_\_\_\_\_