

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЕЁ НАГРЕВЕ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 980 НМ

Чучин В.Ю. (Университет ИТМО), Машарская А.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – профессор, доктор физико-математических наук, Беликов А.В. (Университет ИТМО)

### Введение

Лазерные системы с обратной связью позволяют в режиме реального времени изменять параметры лазерного воздействия на биоткань в зависимости от требуемого результата [1]. Наиболее распространённой системой обратной связи является термооптическая, которая по свечению нагретого торца волокна измеряет его температуру [2, 3]. Однако такая обратная связь не позволяет регистрировать изменения, происходящие в биоткани при бесконтактном лазерном воздействии в дерматологии, когда необходимо доставить максимально возможное количество энергии в глуболежащие слои кожи, не повредив при этом вышележащие слои, например при лазерном склерозировании телеангиэктазий. В процессе склерозирования лазерное излучение поглощается патологическим сосудом и нагревает его до температуры  $T_{\text{скл}} \sim 80^\circ\text{C}$ , в результате стенки сосуда слипаются и он необратимо повреждается [4]. Известно также, что при нагреве до температуры выше  $50^\circ\text{C}$  гемоглобин крови начинает превращаться в метгемоглобин. Наличие метгемоглобина в крови изменяет её спектр поглощения [5, 6, 7], что влияет на интенсивность отражения света кожей. Регистрация изменения интенсивности отражённого света при лазерном нагреве кожи может быть использована для контроля за изменением состояния кожи и сосудов, что позволит оптимизировать параметры лазерного излучения в процессе лечения дерматологических заболеваний.

### Основная часть

Ранее в результате анализа спектров поглощения гемоглобина и метгемоглобина и оптического моделирования кожи человека установлено, что в коже человека при полной замене гемоглобина на метгемоглобин наибольшее увеличение оптического пропускания происходит на длинах волн вблизи 441 и 574 нм, а наибольшее уменьшение – на длинах волн вблизи 629 и 1105 нм [8].

В основу предлагаемого метода осуществления обратной связи в процессе лазерного склерозирования телеангиэктазий положен контроль интенсивности отражённого от кожи сигнала на тех длинах волн, на которых происходит наибольшее изменение оптических свойств кожи в результате её лазерного нагрева и замещения гемоглобина крови метгемоглобином. Для этого необходимо экспериментально с помощью разработанной установки в диапазоне 400-700 нм зафиксировать в спектре отражения цельной крови и кожи человека изменения, возникающие в результате их лазерного нагрева излучением с длиной волны 980 нм, а также выполнить фотофиксацию состояния этих биотканей до и после их лазерного нагрева.

В рамках семислойной модели кожи в программе “COMSOL Multiphysics 6.1” (США) был выполнен теплофизический расчёт, по результатам которого были определены оптимальные для лазерного нагрева кожи параметры лазерного воздействия с длиной волны 980 нм.

Компьютерная модель экспериментальной установки и исследуемых биотканей, разработанная в программе TracePro Expert ver. 7.0.1 software package (США),

использовалась для интерпретации полученных результатов. В рамках модели трассировка хода оптических лучей проводилась методом Монте-Карло.

## **Выводы**

Разработана экспериментальная установка и установлено, что нагрев цельной крови и кожи человека в течение 120 мс лазерным излучением с длиной волны 980 нм и средней мощностью 100 Вт вызывает изменения в их спектре отражения. В *in vitro* эксперименте установлено, что лазерный нагрев увеличивает отражение цельной крови человека на длинах волн меньших 595 нм и уменьшает на длинах волн больших 595 нм. В *in vivo* эксперименте установлено, что сразу после лазерного нагрева отражение кожи человека увеличивается на длинах волн меньших 595 нм и уменьшается на длинах волн больших 595 нм, при этом на длине волны 576 нм отражение сразу после лазерного воздействия увеличивается, но через 10 с падает ниже исходного уровня, а затем начинает расти, но исходного уровня не достигает. Изменения спектров отражения цельной крови могут быть ассоциированы с трансформацией гемоглобина в метгемоглобин. Изменения спектров отражения кожи могут быть ассоциированы как с динамикой концентрации крови в слоях кожи, так и с трансформацией гемоглобина в метгемоглобин.

## **Список использованных источников:**

1. A.Zajac et al., "Real-time control procedures for laser welding of biological tissues," Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences 56(2), 139-146 (2008).
2. Belikov, A. V., Feldchtein, F. I. and Altshuler, G. B., "Dental surgical laser with feedback mechanisms, pat. US 2012/0123399 A1/ № 13/379,916; appl. 31.12.2010; pub. 17.05.2012," 1–34 (2012).
3. G.E. Romanos, et al., "Uncovering dental implants using a new thermo-optically powered (TOP) technology with tissue air-cooling," Lasers in Surgery and Medicine 47(5), 411-420 (2015).
4. E.V. Ross, Y. Domankevitz, "Laser treatment of leg veins: physical mechanisms and theoretical considerations," Lasers in Surgery and Medicine 36(2), 105-116 (2005).
5. R. Nachabé et al., "Effect of bile absorption coefficients on the estimation of liver tissue optical properties and related implications in discriminating healthy and tumorous samples," Biomedical optics express 2(3), 600-614 (2011).
6. F. Khatun, Y. Aizu and I. Nishidate, "In Vivo Transcutaneous Monitoring of Hemoglobin Derivatives Using a Red-Green-Blue Camera-Based Spectral Imaging Technique," International Journal of Molecular Sciences 22(4), 1528 (2021).
7. J.T. Kuenstner, K.H. Norris, "Spectrophotometry of human hemoglobin in the near infrared region from 1000 to 2500 nm," Journal of Near Infrared Spectroscopy 2(2), 59-65 (1994).
8. Беликов А. В., Чучин В. Ю., "Численное исследование влияния концентрации метгемоглобина в крови на поглощение света в коже человека," Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 23(4), 685-695 (2023).

Чучин В.Ю. (автор)

Подпись

Беликов А.В. (научный руководитель)

Подпись