

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО СОЕДИНЕНИЯ БИОТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лисичников А. К.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Смирнов С. Н.¹

¹Университет ИТМО

ak.lisichnikov@itmo.ru

Введение

Лазерное соединение биотканей является перспективной альтернативой традиционному методу соединения биотканей при помощи хирургических швов. Основным механизмом соединения является денатурация коллагена при лазерном нагреве, молекулы которого при остывании переплетаются, создавая герметичный эластичный шов [1,2]. Данная методика способствует снижению травматизации, уменьшению послеоперационных осложнений, укороченному восстановительному периоду и положительному косметическому эффекту [3]. Однако, на данный момент данная технология не получила широкого распространения. Одними из главных причин являются слишком большое расхождение в параметрах лазерного излучения для различных биотканей и невозможность оценить качество соединительного шва без его разрушения [4,5]. Данные ограничения не совместимы с клинической практикой, поэтому данная область остается перспективным направлением для исследований. В данной работе проводится исследование для выбора оптимального источника для лазерного соединения биотканей на основе компьютерного моделирования поглощения лазерного излучения биотканью и вызванного этим излучением нагрева. Для валидации полученной модели проводится эксперимент, позволяющий сравнить данные, полученные при помощи моделирования и реальные параметры биоткани во время нагрева.

Основная часть

Для проведения сравнительного анализа предлагается провести моделирование распространения поглощенной лазерной энергии в объеме биоткани с учетом длины волны ($\lambda = 450, 810, 980$ нм), геометрии пучка и оптических характеристик материала в программном пакете «Trace Pro 7.0». Полученные данные импортируются в программный пакет «COMSOL Multiphysics 6.1» в качестве объемного источника тепла для решения уравнения теплопереноса.

Такой подход позволяет получить трехмерные распределения температуры в биоткани при движущемся лазерном пучке и оценить ключевые параметры процесса: температурное распределение на поверхности биоткани, глубину зоны прогрева до критической температуры 65 °С [6], время пребывания при этой температуре, распределение функции Аррениуса, характеризующее степень термического повреждения.

Для валидации результатов используется тепловизор для измерения температуры на поверхности биоткани в зоне соединения. Проведено сравнение результатов моделирования с результатами эксперимента. Оценена глубина коагуляции после проведения процедуры лазерного соединения биотканей. Произведено сравнение данного параметра с глубиной ткани, прогретой до температуры коагуляции, полученной в результате моделирования. Установлено удовлетворительное согласование результатов эксперимента с результатами моделирования.

Выводы

Разработанный оптико-теплофизический подход позволяет количественно оценивать температурные поля и глубину термического воздействия в биоткани при лазерном облучении на различных длинах волн. Полученные результаты могут быть использованы для обоснованного выбора параметров лазерного соединения биотканей и предварительной оптимизации режимов воздействия без проведения большого числа пробных экспериментов.

В дальнейшем результаты работы могут быть использованы как основа для создания интеллектуальных систем оценки качества лазерного соединения биотканей и автоматизированного подбора параметров лазерного воздействия.

Литература

1. Thomas S, Sriramoju V, Alfano RR. Laser tissue welding by using collagen excitation at a 1,720 nm near-infrared optical window III. *Appl Opt.* 2024 Feb 1;63(4):1007-1014. doi: 10.1364/AO.500113. PMID: 38437398.
2. Sasaki S, Ikeda T, Okihara SI, Nishimura S, Nakadate R, Saeki H, Oki E, Mori M, Hashizume M, Maehara Y. Principles and development of collagen-mediated tissue fusion induced by laser irradiation. *Sci Rep.* 2019 Jun 28;9(1):9383. doi: 10.1038/s41598-019-45486-4. PMID: 31253820; PMCID: PMC6598983.
3. Mistry YA, Natarajan SS, Ahuja SA. Evaluation of Laser Tissue Welding and Laser-Tissue Soldering for Mucosal and Vascular Repair. *Ann Maxillofac Surg.* 2018 Jan-Jun;8(1):35-41. doi: 10.4103/ams.ams_147_17. PMID: 29963422; PMCID: PMC6018299.
4. Cong Li, Kehong Wang, Jun Huang, Effect of scanning modes on the tensile strength and stability in laser skin welding in vitro, *Optik*, Volume 179, 2019, Pages 408-412 ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.10.037>.
5. Галиченко К.А., Рябкин Д.И., Сучкова В.В., и др. Сравнительная оценка эффективности соединения тканей при лоскутной пластике с применением лазера. (Экспериментальное исследование). *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2024;8(2):5-11.
6. Chabuanoi, Totsaphon, et al. "Simulation Effect of Laser Moving Speed and Spot Size on Maximum Temperature in Laser Welding Human Skin Tissue." *Engineered Science*, vol. 31 (October 2024), no. 0, 2024, p. 1193, doi:10.30919/es1193.