

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИССЕЧЕНИЯ И КОАГУЛЯЦИИ БИОТКАНЕЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО И АЛМАЗНОГО СКАЛЬПЕЛЕЙ

Пелипенко Д.В. (Университет ИТМО)  
Научный руководитель – к.т.н., Фёдорова Ю.В.  
(Университет ИТМО)

Лазеры и механические скальпели широко применяются в медицине, в том числе при фракционном воздействии. В работе в *in vitro* эксперименте и теоретически исследуется процесс комбинированного взаимодействия лазерного ( $\lambda = 980$  нм) и алмазного скальпелей с биотканью. Проводится сравнение экспериментальных результатов с результатами оптического и теплофизического моделирования.

**Введение.** Фракционная лазерная терапия является одним из видов фототерапии, где за один сеанс микропучками лазера облучается до 50 % поверхности обрабатываемой биоткани, а при последующих сеансах суммарно облученная площадь достигает 100 %. В результате последующей регенерации биоткани после фракционной обработки практически вся биоткань заменяется новой. Фракционная лазерная терапия широко используется в дерматологии для лазерного омоложения кожи, удаления рубцов и пигментных пятен. Одной из перспективных областей применения фракционной терапии является стоматология, в том числе удаление рубцов слизистой оболочки полости рта. В настоящее время в стоматологии используются традиционные механические и лазерные скальпели, имеющие ряд достоинств и недостатков. Известно, что реакция слизистой оболочки полости рта различна при механической и лазерной травме, но нет информации о реакции от одновременно нанесенной лазером и скальпелем раны. Механические скальпели универсальны, дешёвы, просты в использовании и обладают стабильными режущими свойствами, в то же время при их использовании начинается мешающее обзору кровотечение, вдоль линии рассечения появляются микрогематомы и велика вероятность инфицирования раны. Лазерные скальпели останавливают кровотечение, обеспечивают высокую стерильность и абластичность, однако они дорогостоящи, а используемые для разрушения тканей мощности излучения в ряде случаев могут нанести значительные повреждения прилегающим тканям и увеличить срок реабилитации. Перечисленные достоинства и недостатки обуславливают выбор того или иного инструмента для конкретной операции. Большой популярностью пользуется технология, в рамках которой механический скальпель используется для рассечения тканей, а лазер для остановки кровотечения и коагуляции тканей. В таком случае оба инструмента представляют собой отдельные устройства, которые хирургу приходится многократно менять во время операции, что эргономически затруднительно и увеличивает общую продолжительность операции. Над задачей объединения механических и лазерных скальпелей в комбинированное устройство, которое бы исключало необходимость в частой смене в течение операции одного инструмента на другой, работают на протяжении последних 30 лет. Однако эта задача до сих пор остается актуальной в связи с совершенствованием лазеров и появлением новых лазерных медицинских технологий, в том числе фракционных. Целью настоящей работы является разработка макета устройства для комбинированного воздействия лазерного ( $\lambda = 980$  нм) и алмазного скальпелей на биоткань, разработка его оптической модели, разработка оптической и теплофизической модели комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань, оптическое и теплофизическое моделирование, проведение *in vitro* экспериментов при однократном комбинированном воздействии лазерного микропучка и алмазного лезвия на мягкую биоткань, сравнение результатов эксперимента и моделирования.

**Основная часть.** Предложен и разработан макет устройства для комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань, в котором лазерное излучение ( $\lambda = 980$  нм) подается на биоткань напрямую с выхода оптического волокна, минуя лезвие скальпеля и коагулируя только что рассечённую алмазным скальпелем биоткань. В программе SolidWorks 19 (Dassault Systemes, Франция) разработана конструкция наконечника, совмещающего оптическое волокно и алмазное лезвие. В программе TracePro®Expert 7.0.1 Release («Lambda Research Corporation», США) разработана компьютерная оптическая модель устройства для комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань. В программе TracePro®Expert 7.0.1 Release («Lambda Research Corporation», США) разработана компьютерная оптическая модель комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань. В результате оптического моделирования в рамках разработанной модели получено распределение плотности мощности и выполнена оценка мощности лазерного излучения ( $\lambda = 980$  нм) на поверхности и в глубине биоткани при комбинированном воздействии на биоткань лазерного и механического (алмазного) скальпелей. В программе COMSOL Multiphysics 5.4 («COMSOL Inc.»), США) разработана компьютерная теплофизическая модель комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань. В результате теплофизического моделирования в рамках разработанной модели получены распределения температуры и интеграла Аррениуса после однократного комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань. Проведен *in vitro* эксперимент, в ходе которого на образец исследуемой биоткани (куриная грудка) однократно острием алмазного скальпеля наносились точечные раны (проколы) при одновременном воздействии лазерного излучения с длительностью 1 с. В эксперименте алмазный скальпель был ориентирован под углом 56 или 90 градусов относительно поверхности биоткани, при этом ось лазерного излучения была ориентирована под углом 61 или 95 градусов относительно поверхности биоткани соответственно. В эксперименте средняя мощность лазерного излучения изменялась в диапазоне 0-20 Вт, при каждом значении средней мощности эксперимент повторялся пять раз. В результате эксперимента получены фотографии областей комбинированного воздействия и оценены размеры зоны коагуляции в биоткани. Установлено, что коагуляция биоткани начинается при средней мощности лазерного излучения 6 Вт и размеры области коагуляции увеличиваются при дальнейшем повышении средней мощности лазерного излучения, до тех пор, пока не наступает карбонизация биоткани. Полученные в эксперименте данные сопоставлены с результатами моделирования.

**Выводы.** Впервые в эксперименте *in vitro* продемонстрирована возможность одновременной фракционной коагуляции лазерным излучением ( $\lambda = 980$  нм) и иссечения (прокола) мягкой биоткани острием алмазного скальпеля. Сопоставление результатов экспериментального исследования и моделирования комбинированного воздействия лазерного и алмазного скальпелей на биоткань показало их удовлетворительное совпадение и таким образом подтвердило справедливость разработанных компьютерных оптической и теплофизической моделей. Разработанные макет и модели могут быть в дальнейшем использованы при оптимизации комбинированного воздействия лазерного и механического скальпелей на биоткань.

Пелипенко Д.В. (автор)

Подпись

Фёдорова Ю.В. (научный руководитель)

Подпись