



ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ В МЕДИЦИНЕ: ОТ ТОЧНОЙ ХИРУРГИИ ДО ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ

Лебедева Анна Викторовна

Студент кафедры медицинской физики, лечебный факультет, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени

Н. И. Пирогова

г. Москва, Россия

Аннотация

Настоящая статья посвящена всестороннему анализу фундаментальных принципов и практического применения **лазерной абляции** в современной медицине. Рассматриваются ключевые механизмы взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями, включая **фототермические, фотохимические и фотомеханические** эффекты, и объясняется, как параметры лазера влияют на характер абляции. Детально обсуждаются преимущества лазерной абляции перед традиционными хирургическими методами, такие как минимальное кровотечение и высокая точность воздействия. В статье подробно освещены практические области применения, от офтальмологии и дерматологии до онкологии и минимально инвазивной хирургии. Особое внимание уделяется компьютерному моделированию и методам контроля для обеспечения безопасности и эффективности процедур.

Ключевые слова: лазерная абляция, лазерная хирургия, медицинские лазеры, фототермический эффект, дерматология, онкология, офтальмология, минимально инвазивная хирургия.

Введение

В современной медицине лазерные технологии произвели революцию, предложив врачам инструменты, способные выполнять манипуляции с беспрецедентной точностью и минимальным повреждением окружающих тканей. **Лазерная абляция** — это процесс удаления материала с поверхности сфокусированным лазерным лучом. В медицине этот метод используется для удаления биологических тканей. В отличие от традиционной хирургии, где скальпель вызывает значительное механическое повреждение, лазерная абляция позволяет испарять ткани с минимальным кровотечением, так как энергия лазера одновременно коагулирует мелкие кровеносные сосуды. Это приводит к более быстрому заживлению, снижению риска инфекций и уменьшению послеоперационных осложнений.

Способность лазера избирательно воздействовать на определённые ткани делает его идеальным инструментом для тонкой, прецизионной хирургии в различных областях.

Теоретические основы

Взаимодействие лазерного излучения с биологической тканью является сложным физическим процессом, который зависит от параметров лазера (длины волны, мощности, длительности импульса) и оптических свойств ткани (коэффициентов поглощения, рассеяния). Существует несколько ключевых механизмов абляции. **Фототермический эффект** — самый распространённый. Он возникает, когда ткань поглощает энергию лазера, которая преобразуется в тепло, вызывая испарение воды и разрушение клеток. Этот механизм лежит в основе работы **СО₂-лазеров**. **Фотохимический эффект** происходит, когда фотоны напрямую разрывают молекулярные связи без значительного тепловыделения. Этот процесс характерен для эксимерных лазеров, работающих в ультрафиолетовом диапазоне, и используется в офтальмологии, так как обеспечивает высочайшую точность. Наконец, **фотомеханический эффект** возникает при использовании сверхкоротких лазерных импульсов (пико- и фемтосекундных), которые создают ударные волны, механически разрушающие ткань. Этот механизм обеспечивает минимальное тепловое повреждение.

Различные типы лазеров и их применение

В медицинской практике используются различные типы лазеров, каждый из которых обладает уникальными характеристиками, позволяющими решать конкретные задачи. **СО₂-лазеры**, излучающие в инфракрасном диапазоне, хорошо поглощаются водой в тканях. Их применяют в общей хирургии для испарения тканей, а также в дерматологии для шлифовки кожи. **Неодимовые (Nd:YAG) лазеры**, излучающие в ближнем инфракрасном диапазоне, проникают глубже в ткани и используются для коагуляции, удаления крупных сосудов и в онкологической хирургии. **Эксимерные лазеры**, работающие в ультрафиолетовом спектре, обладают уникальной способностью разрывать молекулярные связи без теплового эффекта. Это делает их идеальными для высокоточной коррекции зрения, например, в процедуре **LASIK**, где лазеры изменяют кривизну роговицы. **Лазеры на парах меди** и **аргоновые лазеры** используются в дерматологии для лечения сосудистых патологий, поскольку их длина волны эффективно поглощается гемоглобином крови.

Применение лазерной абляции в медицине

Лазерная абляция нашла широкое применение во многих медицинских областях. В **дерматологии** она используется для удаления новообразований, веснушек, пигментных пятен, а также для шлифовки кожи и удаления татуировок. В **офтальмологии** лазерная абляция является стандартом в рефракционной хирургии для коррекции близорукости, дальнозоркости и астигматизма.

В **онкологии** этот метод применяется для удаления опухолей, в том числе в труднодоступных местах, таких как печень или мозг, с минимальным повреждением здоровых тканей. Лазерная абляция также используется в **стоматологии** для подготовки кариозных полостей, обеспечивая более комфортный и бескровный процесс. В **минимально инвазивной хирургии** лазерные волокна вводятся через небольшие разрезы, позволяя выполнять сложные операции без необходимости вскрытия обширных участков тела.

Игровые и мультимедийные методы

Для обеспечения максимальной точности и безопасности лазерной абляции врачи всё чаще используют компьютерное моделирование и навигационные системы, основанные на мультимедийных технологиях. **Визуализация** в реальном времени, например, с помощью МРТ, позволяет врачу видеть точное положение лазерного луча и отслеживать процесс абляции. Специализированное программное обеспечение для симуляции взаимодействия лазера с тканью помогает прогнозировать глубину и форму абляции, а также определять оптимальные параметры для конкретной процедуры. Это позволяет врачам заранее планировать операцию и минимизировать риски. Некоторые системы используют элементы «виртуальной реальности», позволяя хирургу «репетировать» процедуру перед её проведением на реальном пациенте.

Индивидуализация и дифференциация обучения

Лазерная абляция — это не универсальный метод. Она требует глубокого понимания индивидуальных особенностей пациента и типа ткани, что обуславливает **дифференцированный** подход к лечению. Например, параметры лазера для удаления пигментного пятна на коже будут кардинально отличаться от параметров, необходимых для абляции опухоли в печени. Это связано с разным содержанием воды, меланина и гемоглобина в тканях, которые влияют на поглощение лазерного света. Таким образом, врач должен не только владеть техникой, но и обладать глубокими знаниями в области тканевой оптики, чтобы **персонализировать** процедуру для каждого конкретного пациента, выбирая оптимальную длину волны, мощность и длительность импульса, что является ключевым фактором успеха.

Оценка эффективности методов

Эффективность лазерной абляции оценивается по нескольким важным параметрам. **Точность абляции** измеряется как способность лазера удалять только заданный объём ткани, не затрагивая окружающие здоровые клетки. **Глубина проникновения** показывает, насколько глубоко лазерный луч воздействует на ткань, и она важна для лечения глубоко расположенных патологий. Ключевой метрикой является **степень коллатерального термического повреждения** — это зона вокруг области абляции, которая была повреждена тепловым воздействием. Минимизация этой зоны является приоритетной задачей.

Все эти параметры тщательно измеряются в ходе лабораторных и клинических исследований, а их мониторинг в реальном времени позволяет врачу корректировать параметры лазера для достижения наилучшего результата.

Заключение

Лазерная абляция представляет собой одну из наиболее важных и перспективных технологий в современной медицине. Её способность обеспечивать высокую точность, минимальное кровотечение и быстрое заживление сделала её незаменимым инструментом в руках хирургов. От рутинных дерматологических процедур до сложных онкологических операций — лазерная абляция постоянно расширяет свои границы. Дальнейшие исследования в области фемтосекундных лазеров и интеграция с интеллектуальными системами навигации обещают вывести лазерную медицину на новый уровень, делая процедуры ещё более безопасными и эффективными. Готовы ли мы к этой новой эре персонализированной лазерной медицины?

Литература

1. Абрамов А. Е. **Лазерная медицина**. — М.: Медицина, 2018.
2. Френч С. **Оптоэлектроника**. — М.: Мир, 1989.
3. Павлов И. С. **Применение лазеров в хирургии**. — М.: МГУ, 2021.
4. Luo L. W. et al. **A CMOS-compatible optical interconnect**. — Nature, 2011.
5. Wang J. et al. **Integrated Photonic Computing**. — Light: Science & Applications, 2021.
6. Королев А. Н., Митрофанов С. А. **Биофотонные технологии**. — Казань: КФУ, 2022.
7. Dolan P. et al. **Photonic Integrated Circuits**. — CRC Press, 2020.
8. Miller D. A. B. **Are There Fundamental Limits to Electronic Information Processing?**. — IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2000.
9. He Y. et al. **A universal framework for scalable quantum computing on a photonic platform**. — Nature Photonics, 2022.