



ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ И КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

САИДЖАНОВА МАДИНА ШУХРАТОВНА

*Ассистент кафедры “Биомедицинская инженерия, биофизика и
информатика”*

Бухарского государственного медицинского института

АННОТАЦИЯ: Развитие лазерных технологий за последние десятилетия стало одним из ключевых факторов прогресса в современной медицине. Лазеры благодаря своей высокой когерентности, монохроматичности, направленности и способности избирательно взаимодействовать с тканями предоставляют уникальные возможности для выполнения высокоточных диагностических и терапевтических манипуляций. Минимальная инвазивность, высокая точность дозирования энергии и низкий уровень травматизации делают лазерные методы незаменимыми в хирургии, онкологии, дерматологии, офтальмологии, гастроэнтерологии и сосудистой медицине.

ANNOTATSIYA: So‘nggi o‘n yilliklarda lazer texnologiyalarining rivojlanishi zamonaviy tibbiyot taraqqiyotining asosiy omillaridan biriga aylandi. Lazerlarning yuqori kogirentligi, monoxromatikligi, yo‘naltirilganligi va to‘qimalar bilan selektiv o‘zaro ta’sirlashish xususiyati diagnostik hamda terapevtik muolajalarni yuqori aniqlik bilan bajarish imkonini beradi. Minimal invazivlik, energiyani aniq dozada yetkazish va past darajadagi to‘qima shikastlanishi lazer usullarini jarrohlik, onkologiya, dermatologiya, oftalmologiya, gastroenterologiya va qon-tomir tibbiyotida beqiyos muhim vositaga aylantiradi.

ANNOTATION: The development of laser technologies over the past decades has become one of the key factors driving progress in modern medicine. Due to their high coherence, monochromaticity, directionality, and ability to



selectively interact with tissues, lasers provide unique opportunities for performing highly precise diagnostic and therapeutic procedures. Minimal invasiveness, high accuracy of energy delivery, and low levels of tissue trauma make laser-based techniques indispensable in surgery, oncology, dermatology, ophthalmology, gastroenterology, and vascular medicine.

Введение

Лазер основан на усилении света посредством стимулированного излучения. Процесс включает инверсную заселённость энергетических уровней, стимулированное излучение и оптический резонатор.

Механизм генерации лазера основан на **вынужденном испускании фотонов** и происходит в три этапа:

1. **Накачка:** Энергия от внешнего источника (например, света или тока) возбуждает атомы активной среды (кристалл, газ), переводя их электроны на более высокие энергетические уровни.

2. **Вынужденное испускание:** Когда возбужденный атом возвращается на более низкий уровень, он испускает фотон. Этот фотон может столкнуться с другим возбужденным атомом, что вызывает испускание второго, идентичного фотона. Этот процесс приводит к цепной реакции и усилению света.

3. **Усиление и выход:** Фотоны многократно отражаются между зеркалами резонатора, усиливаясь в активной среде. Часть луча проходит через полупрозрачное зеркало, образуя лазерный луч.

Основные этапы более подробно

- **Насыщение активной среды:** Энергия внешнего источника (накачка) возбуждает атомы активной среды, переводя их на более высокие энергетические уровни.

- **Вынужденное испускание:** Возбужденные атомы спонтанно испускают фотоны. При столкновении такого фотона с другим возбужденным атомом происходит **вынужденное испускание** — атом испускает еще один фотон, который имеет ту же энергию, фазу и направление, что и исходный.



- **Резонанс и усиление:** Внутри оптического резонатора, образованного двумя зеркалами, фотоны многократно отражаются, стимулируя все больше атомов к испусканию фотонов.

- **Выход излучения:** Один из зеркал является частично прозрачным, и когда интенсивность света достигает порогового значения, часть фотонов проходит через него, образуя когерентный и интенсивный лазерный луч.

Виды медицинских лазеров. В клинической практике применяются CO₂-лазеры, Nd:YAG-лазеры, диодные, аргоновые и эксимерные лазеры, каждый из которых обладает уникальными свойствами и клиническими показаниями.

Медицинские лазеры классифицируются по типу активной среды и могут быть газовыми, жидкостными (на красителях) или диодными. Каждый тип имеет свои особенности и применяется для разных процедур, таких как хирургические операции, косметологические вмешательства, удаление сосудов и пигментации, или лечение глазных заболеваний.

Виды медицинских лазеров

Тип лазера	Примеры	Основное применение
Газовые	CO ₂ -лазеры, Аргоновые лазеры, Эксимерные лазеры	Хирургия (разрезание, коагуляция), лечение кожных заболеваний, офтальмология
Твердотельные	Nd:YAG, Er:YAG, александритовые	Хирургия, лечение сосудистых поражений, удаление татуировок, пигментации, эпиляция



Диодные	Макрокальные, Микроканальные, Гибридные, Оптоволоконные	Косметология (эпиляция, лечение акне), хирургия (небольшие операции), офтальмология
Жидкостные	Лазеры на красителях	Удаление сосудистых звездочек, лечение кожных заболеваний
Эксимерные	возбужденные димеры (эксимеры), образующиеся из смеси инертных и галогеновых газов.	Хирургия (микрообработка материалов), офтальмология, витилиго
Фемтосекундные	сверхкороткая длительность импульса, достигающая 10^{-15} с.	Фотодинамическая терапия, томография, научные исследования

2. Взаимодействие лазера с биологическими тканями

Взаимодействие лазера с биологическими тканями включает четыре основных процесса:

поглощение, отражение, пропускание и рассеяние. Поглощение энергии происходит благодаря хромофорам, таким как вода, меланин и гемоглобин, что может привести к термическим (нагрев, коагуляция, абляция) или фотохимическим эффектам, в то время как другие процессы снижают эффективность воздействия. Тип и глубина взаимодействия зависят от параметров лазера (длина волны, мощность, длительность импульса) и свойств самой ткани.

Основные процессы взаимодействия

- **Поглощение (абсорбция):** Энергия лазерного луча поглощается молекулами-мишенями (хромофорами), такими как вода, гемоглобин и меланин, превращаясь в тепловую энергию или вызывая фотохимические реакции.
 - **Термическое воздействие:** Нагревание тканей приводит к денатурации белков, коагуляции (свёртыванию) и некрозу (гибели) клеток. При высокой мощности может вызвать абляцию (испарение) тканей.
 - **Фотохимические реакции:** Поглощение света может инициировать химические изменения в клетках, что при низкоинтенсивном излучении приводит к стимуляции физиологических процессов.
- **Отражение:** Часть света отскакивает от поверхности ткани, например, рогового слоя кожи (около 5-7%).
- **Пропускание:** Свет проходит сквозь ткань. Глубина проникновения зависит от длины волны — чем короче волна, тем она слабее рассеивается и глубже проникает.
- **Рассеяние:** Направление света меняется многократно, когда он проходит через ткань. Это уменьшает плотность потока энергии, доступной для поглощения хромофором, и снижает точность воздействия. Рассеяние сильнее для коротких волн.

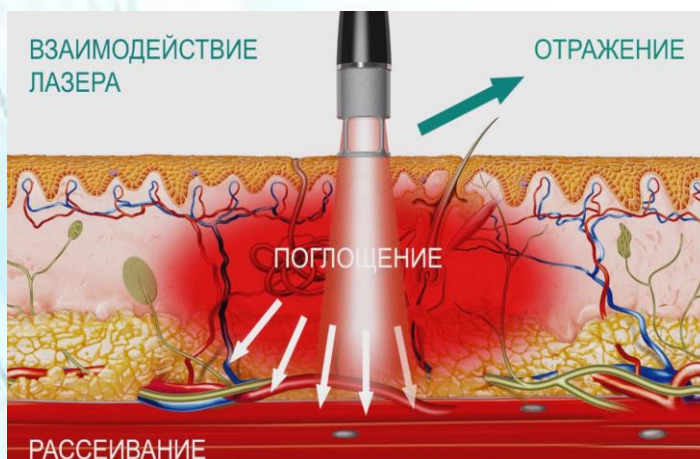


Рисунок 1. Взаимодействие лазера с биологическими тканями



Факторы, влияющие на взаимодействие

- **Длина волны:** Определяет, какие хромофоры будут поглощать свет и как глубоко он сможет проникнуть. Более короткие волны сильнее рассеиваются и поглощаются поверхностными слоями, тогда как более длинные волны проникают глубже.
- **Мощность и интенсивность:** Высокая мощность может привести к термическому повреждению (абляция, коагуляция), в то время как низкая мощность может стимулировать биологические процессы.
- **Длительность импульса:** Длительность импульса важна для обеспечения необходимого термического воздействия на мишень без разрушения соседних тканей.
- **Тип ткани:** Разные ткани имеют разный состав и плотность расположения клеток, что влияет на рассеяние и поглощение.

Селективность воздействия: Поглощение зависит от содержания воды, меланина и гемоглобина, что позволяет строго контролировать глубину воздействия. Селективное воздействие – это принцип, при котором лазерное или световое излучение избирательно поглощается определёнными компонентами тканей, такими как вода, меланин и гемоглобин. Это позволяет контролировать глубину и интенсивность проникновения, воздействуя на целевые структуры (хромофоры) при минимальном повреждении окружающих тканей.

Как это работает

- **Хромофоры:** Это "цветные" компоненты тканей, которые поглощают свет определённой длины волны.
- **Селективность:** Используется разное поглощение излучения хромофорами и окружающими тканями. На целевой хромофор (например, меланин в волосе) направляется излучение, которое он поглощает, а другие ткани поглощают его слабо.



- **Контроль глубины:** Контролируя длину волны излучения и время воздействия, можно управлять глубиной проникновения света.
 - **Вода** поглощает короткие инфракрасные лучи, позволяя воздействовать на более глубокие слои кожи и подкожной клетчатки.
 - **Меланин** (в волосах и коже) поглощает свет в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, что используется для удаления волос и пигментации.
 - **Гемоглобин** (в крови) также является хромофором, что используется для воздействия на сосудистые звездочки и другие сосудистые образования.
- **Контроль времени:** Время светового воздействия должно быть очень коротким, чтобы не успеть вызвать тепловое повреждение окружающих тканей.

Клинические направления применения лазеров: Лазерная хирургия-лазерный скальпель обеспечивает точный разрез, коагуляцию сосудов и снижение травматичности. Эндоскопическая лазерная терапия-лазеры применяются для удаления полипов, опухолей ЖКТ, остановки кровотечений и рассечения стриктур. Лазерная ангиопластика-метод разрушает атеросклеротические бляшки и улучшает проходимость сосудов. Лазерная гипертермия-используется для локального нагрева опухолей до температур, приводящих к гибели клеток. Фотодинамическая терапия-метод основан на активации фотосенсибилизатора лазером для уничтожения опухолевых клеток.

ВЫВОД

Лазерные технологии прочно заняли ключевое место в современной медицине благодаря высокой точности, управляемости и минимальной инвазивности лазерного излучения. Их применение существенно повышает эффективность диагностических и лечебных процедур, сокращает риск осложнений и ускоряет восстановление пациентов. Лазеры открывают новые возможности в хирургии, онкологии, дерматологии, офтальмологии и



регенеративной медицине, обеспечивая индивидуализированный и щадящий подход к лечению.

Таким образом, внедрение лазерных систем в клиническую практику способствует развитию высокотехнологичной, безопасной и научно обоснованной медицины, создавая фундамент для дальнейших инноваций и совершенствования методов лечения в будущем.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khan M.I., Mukherjee D. Medical laser applications: A review of clinical effectiveness and safety. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 2021; 12(4): 567–580.
2. Nicolodelli G., de Oliveira Silva E. Fundamentals and advances in laser–tissue interactions. *Lasers in Medical Science*, 2022; 37(2): 453–468.
3. Shen Y., Zhang H. Laser-based minimally invasive surgery: Technologies and clinical development. *Biomedical Optics Express*, 2023; 14(7): 3581–3599.
4. Sroka R., Baumgartner R. Laser applications in dermatology: Current approaches and future trends. *Journal of Dermatological Treatment*, 2020; 31(8): 825–835.
5. Azzouzi A.R., Vincendeau S. Photodynamic laser therapy in oncology: Achievements and prospects. *Cancers*, 2021; 13(5): 1022.
6. Wolfe S.A., Stone N. Optical biopsy and laser spectroscopy for medical diagnostics. *Journal of Biomedical Optics*, 2022; 27(3): 1–14.
7. Lim J., Choi Y. Ophthalmic laser systems and their applications in modern eye surgery. *Progress in Retinal and Eye Research*, 2021; 84: 100955.
8. Fried N.M. Lasers in urology: Minimally invasive approaches. *Nature Reviews Urology*, 2020; 17(10): 599–616.
9. Mani R., Afonso R. Gastrointestinal laser therapy for endoscopic interventions. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics*, 2023; 33(2): 211–230.
10. Chung H., Dai T. Mechanisms and applications of low-level laser therapy. *Photomedicine and Laser Surgery*, 2020; 38(6): 329–341.
11. NIH National Library of Medicine. Laser Medicine Overview — <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>



12. SPIE Digital Library. Laser-Tissue Interaction Resources —
<https://www.spiedigitallibrary.org/>