

Глава 2

Взаимодействие лазерного излучения с кожей

Взаимодействие лазерного луча с кожей подчиняется обычным физическим законам — лазерный свет, как и любой свет, может отражаться, рассеиваться, поглощаться или просто проходить насквозь через вещество (рис. I-2-1).

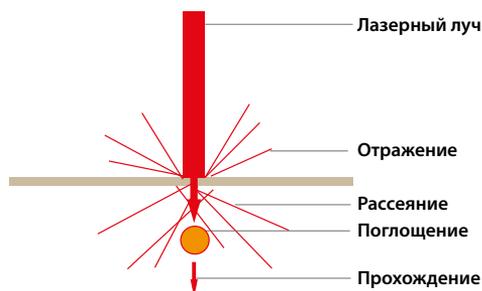


Рис. I-2-1. Взаимодействие лазерного излучения с кожей

2.1. Мишени лазерного воздействия

Оказать какое-либо значимое воздействие на это вещество мы сможем только в том случае, если энергия лазерного излучения будет поглощаться. Получение молекулой дополнительной энергии (переход в возбужденное состояние) может служить пусковым звеном физико-химических и биологических реакций, формирующих конечный терапевтический эффект. При этом каждый из типов электромагнитных полей и излучений вызывает присутствие только ему фотобиологические процессы, которые определяют специфичность их лечебных эффектов.

Таким образом, световые технологии основаны на специфическом взаимодействии электромагнитного излучения определенной длины волны (фотонов) с конкретными веществами в коже, способными данное излучение поглощать. Эти вещества, получившие название хромофоров, и служат главными мишенями при облучении.

Хотя для любой молекулы характерны свои особенности поглощения света, основными хромофорами для лазерного воздействия в косметологии и эстетической медицине являются:

- эндогенные хромофоры (те, что содержатся в коже в естественном состоянии):
 - меланин;
 - гемоглобин (окси- и дезоксигемоглобин);
 - вода;

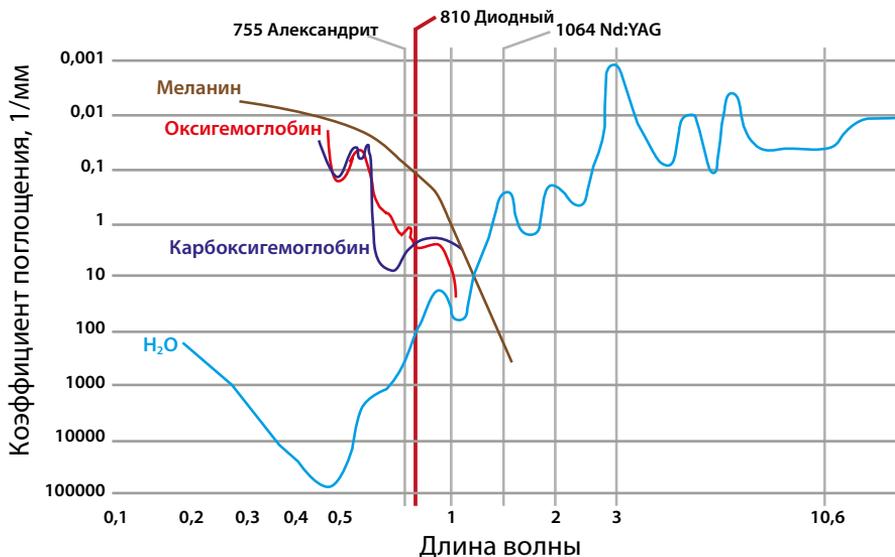


Рис. I-2-2. Спектры поглощения лазерного излучения различными хромофорами кожи

- экзогенные хромофоры (те, что наносятся на или в кожу извне):
 - татуировочный пигмент;
 - фотосенсибилизаторы (ФДТ).

Экзогенными хромофорами являются и частицы косметики, поэтому перед выполнением процедуры обязательно нужно тщательно очистить кожу.

Для каждого из хромофоров характерен собственный спектр поглощения — кривая, отображающая, с какой интенсивностью они поглощают излучение разных длин волн (**рис. I-2-2**).

2.2. Механизмы лазерного воздействия

Дальнейшие события, следующие за поглощением фотонов, могут развиваться по разным сценариям, но первый этап всегда один — фотоны поглощаются соответствующими хромофорами.

С точки зрения физики энергия электромагнитного излучения при взаимодействии с молекулами в тканях организма превращается в другие виды энергии:

- **химическую** — изменяющую конфигурацию электронных связей в молекуле и ее реакционную способность;
- **тепловую** — увеличивающую амплитуду колебаний молекулы.

Нагревание кожи при облучении ее поверхности происходит по двум причинам:

- 1) вследствие поглощения светового потока хромофорами (основное);
- 2) вследствие рассеяния света на оптических неоднородностях в структуре эпидермиса и дермы (вторичное).

Даже незначительный нагрев чреват серьезными последствиями, поскольку ткани могут начать повреждаться уже при сравнительно невысоких температурах — порядка 42–45 °С (**табл. I-2-1**). В некоторых случаях мы именно этого и добиваемся — это классические высокоэнергетические лазерные технологии, в других (низкоинтенсивное лазерное воздействие) стараемся этого избежать.

Таблица I-2-1. Тканевые ответы на нагревание световым воздействием до различных температурных диапазонов

ТЕМПЕРАТУРА (°С)	БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
42–45	Структурные изменения белков, разрыв водородных связей, тканевая ретракция (стягивание)
45–50	Инактивация ферментов, желатинизация липидов, изменение проницаемости мембран
50–60	Денатурация белков и ДНК, закрытие просвета сосудов
65–80	Денатурация коллагена
100	Закипание воды, разрыв вакуолей
100–300	Вапоризация (абляция), быстро
200	Денатурация эластина
100–300	Карбонизация (после вапоризации), медленно

В зависимости от интенсивности лазерного воздействия (энергии, длительности импульса и других параметров) в облучаемых тканях могут происходить следующие реакции:

- фотохимические (фотобиомодуляция);
- фототермические;
- фотоакустические (фотомеханические).

Последние две относятся к фотодеструкции.

Фотобиомодуляция характерна для воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) красной или близкой области инфракрасной части спектра. Такое воздействие не вызывает повреждения структур кожи, а обуславливает запуск или угнетение различных биофизических аспектов жизнедеятельности клеток, что в итоге приводит к формированию положительных терапевтических эффектов (см. ч. I, гл. 4).

Фототермолиз возникает в ответ на высокоинтенсивное лазерное воздействие и является основным механизмом, посредством которого реализуют свои эффекты современные косметологические лазеры. Поглощение энергии лазерного излучения молекулами-хромофорами приводит к существенному их нагреванию с дальнейшим термодинамическим изменением структур, поглотивших излучение, и их разрушению.

Световые лучи могут вызвать разрушение тканей и их компонентов несколькими способами. Во-первых, вода тканей поглощает инфракрасный свет, что приводит к их сильному нагреву, вызывающему необратимое повреждение. Данный вид фототермолиза называют **неселективным фототермолизом** (см. ч. I, п. 2.4). Нагревание тканей может быть тотальным по всей площади облучения (лазерная шлифовка) или точечным (фракционным). Такое воздействие используется для диссекции (лазерный скальпель), послойного снятия эпидермиса (лазерная шлифовка) или фракционного воздействия (лазерное омоложение).

Во-вторых, возможно избирательное нагревание различных хромофоров кожи (**селективный фототермолиз**) без существенного нагревания воды (см. ч. I, п. 2.3). Этот подход реализуется с помощью источников света видимого спектра и используется для воздействия на **сосудистые образования**, где хромофором является гемоглобин, **пигментированные структуры** (волосы, пигментные пятна, татуировки), в которых есть меланин или искусственные татуировочные пигменты. Важно отметить, что селективный фототермолиз обеспечивает воздействие на расположенные в глубине кожи мишени с минимальной травматизацией барьерных структур (рогового слоя), что облегчает процесс реабилитации.

В процессе нагрева температура ткани возрастает, и возможны следующие варианты изменения ткани (**рис. I-2-3**):

- коагуляция («склеивание»);
- вапоризация («выпаривание»);
- карбонизация («обугливание») после испарения воды.

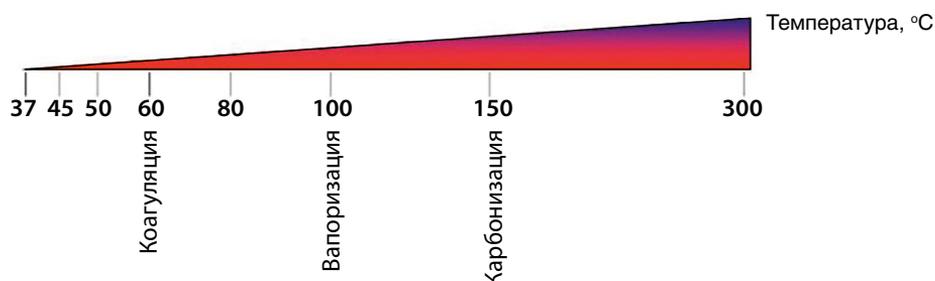


Рис. I-2-3. Результат теплового воздействия лазерного излучения на ткань