

Рис. III-2-1. Зависимость коэффициента поглощения от длины волны лазерного излучения для различных хромофоров

(интенсивность, с которой структуры поглощают световую энергию) другими хромофорами, такими как гемоглобин и вода, существенно ниже. Это позволяет обеспечить целевое воздействие непосредственно на пигментные образования, минимально затрагивая окружающие структуры.

Интенсивность поглощения меланином световой энергии уменьшается с увеличением длины волны излучения, но большая длина волны позволяет глубже проникать в кожу. В то же время более короткие волны могут повреждать поверхностный пигмент, имея относительно невысокую энергию, а более длинные волны, хотя и проникают глубже, требуют больше энергии, чтобы вызвать повреждение меланосом. Однако достичь изолированного воздействия на меланин только подбором длины волны (оптической селективности) не удастся — хотя вода и гемоглобин поглощают излучение диапазона «меланинового окна» менее интенсивно, чем сам меланин, но поглощают, тем более если дефект глубокий.

Поэтому возникает другая задача — необходимо доставить максимальное количество фотонов к целевому хромофору, прежде чем они будут «схватены» конкурирующими хромофорами, которые находятся рядом с мишенью. Это возможно благодаря оптимальному подбору длительности импульса, что определяется с учетом **времени тепловой релаксации (ВТР)** — периода, необходимого для того, чтобы нагретая мишень отдала 63% тепла своему окружению. Длительность импульса должна быть как минимум равна, а в идеале в несколько раз меньше времени ВТР целевой структуры. В ином случае она не успевает остыть и существенный нагрев распространяется и на прилегающие нецелевые ткани, вызывая их термическое повреждение.

Поскольку меланин и содержащие его меланосомы имеют очень маленький размер, то для их разрушения требуется непродолжительное воздействие. ВТР меланосом составляет, по разным данным, от 50 до 250 нс, соответственно для эффективного и безопасного их разрушения длительность импульса лазерного воздействия должна находиться в наносекундном и даже в пикосекундном диапазоне. При этом энергия импульса должна быть достаточно высока, чтобы разрушить мишень, но при этом не вызвать перегрева окружающих структур.

2.1.3. Виды лазеров и IPL-аппаратов для лечения пигментной патологии

На сегодняшний день основными лазерами, используемыми для коррекции пигментных дефектов, являются аппараты с технологией модуляции добротности (англ. Q-switched, QS) — нано- и пикосекундные лазеры. Данная технология позволяет получить очень короткие импульсы с очень высокой мощностью.

Они активно вытесняют длинноимпульсные лазеры, а также обработку кожи сплошным лазерным лучом аблятивными лазерами, что использовалось ранее, поскольку данные виды воздействия связаны с рисками развития рубцов и поствоспалительной гиперпигментации. Разрушение меланина под действием ультракороткоимпульсных лазеров происходит не только за счет фототермолиза, но и за счет фотоакустического эффекта: быстрое нагревание тканей приводит к возникновению ударных волн, которые «разбивают» пигментные гранулы на отдельные фрагменты, которые затем утилизируются макрофагами. Чем меньше длительность импульса, тем более выражен фотомеханический эффект и тем меньше — фототермический.

Для удаления пигментных дефектов также используются фракционные аблятивные и неаблятивные лазеры (в том числе отдельное направление — для усиления проникновения депигментирующих агентов из области работы), а также источники интенсивного импульсного света (IPL) с фильтрами, позволяющими направлять воздействие на пигментную патологию (**табл. III-2-1**). Определять выбор лазера в первую очередь будет глубина залегания пигмента (**рис. III-2-2**) (ч. II, п. 1.2).

Поверхностные эпидермальные поражения — для их удаления может использоваться лазерное излучение, которое имеет высокий коэффициент абсорбции меланином, риск конкурентного взаимодействия мал. Это могут быть как длинноимпульсные, так и короткоимпульсные лазеры, а также IPL-системы:

- длинноимпульсные лазеры — 511, 532, 585/595, 694, 755 нм;
- QS-лазеры — 532, 755, 785, 1064 нм;
- IPL — 560–1200 нм.

Таблица III-2-1. Лазерные устройства для лечения пигментной патологии кожи

СЕЛЕКТИВНЫЕ КОРОТКО-ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРЫ (НАНО- И ПИКОСЕКУНДНЫЕ)	СЕЛЕКТИВНЫЕ ДЛИННОИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРЫ И IPL	ФРАКЦИОННЫЕ ЛАЗЕРЫ	ЛАЗЕРНАЯ ШЛИФОВКА СПЛОШНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ
Лазер на парах меди 511 нм	KTP 532 нм	Неаблятивные фракционные лазеры: 1540–1550 нм	Er:YSSG 2770 нм
QS KTP 532 нм	PDL 585–595 нм		Er:YAG 2940 нм
QS рубиновый 694 нм	Александритовый 755 нм	Аблятивные фракционные лазеры: Er:YSSG 2770 нм Er:YAG 2940 нм CO ₂ 10600 нм	
QS александритовый 755/785 нм	IPL 560–1200 нм		
QS Nd:YAG 1064 нм			
Фракционные насадки для пикосекундных лазеров с длиной волны 532/755/1064 нм			

Er:YAG 2940 CO₂ 10600 **IPL** KTP 532 Ruby 694 PDL 585 Alex 755 Diode 810 Nd:YAG 1064

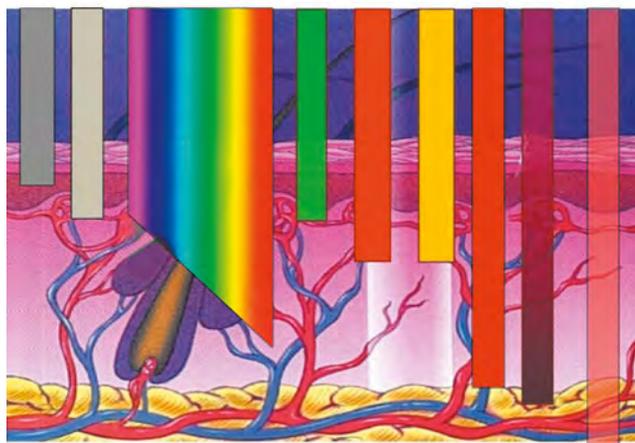


Рис. III-2-2. Глубина проникновения излучения различных типов лазера в зависимости от длины волны

Поверхностные эпидермальные поражения с кератозом (себорейный или актинический кератоз) — требуют разрушения не только пигмента, но и избытка ткани, поэтому основным методом их удаления будет аблятивный фототермолиз сплошным или фракционированным лучом Er:YAG и CO₂-лазеров.

Дермальные пигментные дефекты — требуют высокоэнергетического короткоимпульсного воздействия Q-switched наносекундных и пикосекундных лазеров с длиной волны 755 и 1064 нм. В случае дермальных дефектов шлифовка противопоказана.

Рассмотрим все эти устройства подробнее.

Зеленый свет

На что действует? Проникающая способность зеленого света относительно невелика — его действие ограничено лишь эпидермисом. Поэтому лазеры, излучающие в зеленом спектре, могут использоваться только для коррекции поверхностных эпидермальных гиперпигментаций (эпидермальная мелазма, лентиго, веснушки, пятна по типу «кофе с молоком» и невусы Беккера).

Устройства: наносекундный лазер на парах меди (511 нм), длинноимпульсный и QS Nd:YAG-лазер (KTP) с удвоенной частотой (532 нм).

- **Лазер на парах меди (511 нм).** Короткие наносекундные импульсы лазера на парах меди дают возможность производить как фотоакустическое, так и фототермическое разрушение. Первый механизм обеспечивает преимущественно разрушение меланина, второй — меланоцитов. Изменяя мощность и длительность воздействия на пигментный дефект, можно регулировать соотношения между этими механизмами. Однако излучение с длиной 511 нм не способно проникнуть в глубокие слои, следовательно, такой лазер можно использовать для удаления только поверхностных дефектов.

- **Длинноимпульсный и Q-switched Nd:YAG-лазер с удвоенной частотой (532 нм), KTP.** Nd:YAG-лазер (532 нм) с технологией удвоения частоты также известен как KTP-лазер. Его излучение хорошо поглощается как меланином, так и гемоглобином и действует на поверхностные слои кожи. После воздействия QS KTP-лазера отмечается разрушение меланосом и более выраженное повреждение меланоцитов в целом, на месте которых регистрируется образование новых клеток, вырабатывающих нормальное количество пигмента. Рекомендуется использовать небольшую плотность энергии. Однако в некоторых исследованиях показано, что длинноимпульсные KTP-лазеры демонстрируют большую эффективность в устранении поверхностных пигментаций, чем короткоимпульсные QS-аппараты.

Особенности воздействия. Применение данных лазеров нежелательно у людей с темными фототипами кожи, поскольку излучение зеленого спектра чрезвычайно активно поглощается меланином — возможны ожоги и дополнительные изменения пигментации (как гипо-, так и гипер-). Даже в случае первоначального успешного результата при их использовании в последующем возможны рецидивы пигментных дефектов.

Поскольку волны данного диапазона также хорошо поглощаются гемоглобином, то после использования данных лазеров могут появляться пурпура и небольшие кровоподтеки. Обычно они исчезают через 1–2 нед после процедуры, однако в некоторых случаях на месте синяков возможно развитие поствоспалительной гиперпигментации. Поэтому перед обработкой значительных площадей кожи специалисты рекомендуют выполнять тестовые процедуры на небольших участках.