

Новые фракционные процедуры с использованием эрбиевых лазеров

Чтобы максимально реализовать преимущества идеи фракционного лечения, необходимо не только «разделить» лазерный луч на части, но и определенным образом «настроить» его, сделав процедуру более контролируемой, а результат – более предсказуемым. Как эти подходы реализованы в современном лазерном оборудовании?

Леонид Спокойный, врач-анестезиолог, специалист по лазерной медицине, руководитель отдела медицинской техники ГК «СпортМедИмпорт»,

Леонид Смирнов, врач-гигиенист, менеджер отдела медицинской техники ГК "СпортМедИмпорт".

Современным выражением древней мечты человека сохранить молодость и привлекательную внешность стало создание новых способов ухода за кожей и их энергичное продвижение в массы. Одним из признанных методов улучшения состояния кожи является её «шлифовка», т. е. удаление наружных слоёв до уровня папиллярной дермы. В конце 1980-х годов было обнаружено, что лазерная технология, применяемая для шлифовки кожи, обеспечивает более предсказуемую глубину повреждения по сравнению с химическим пилингом и дермабразией. Первым лазером, который использовался для шлифовки кожи, был импульсный CO₂ лазер. Позже был внедрён Er:YAG лазер, который теперь стал стандартным инструментом для шлифовки кожи.

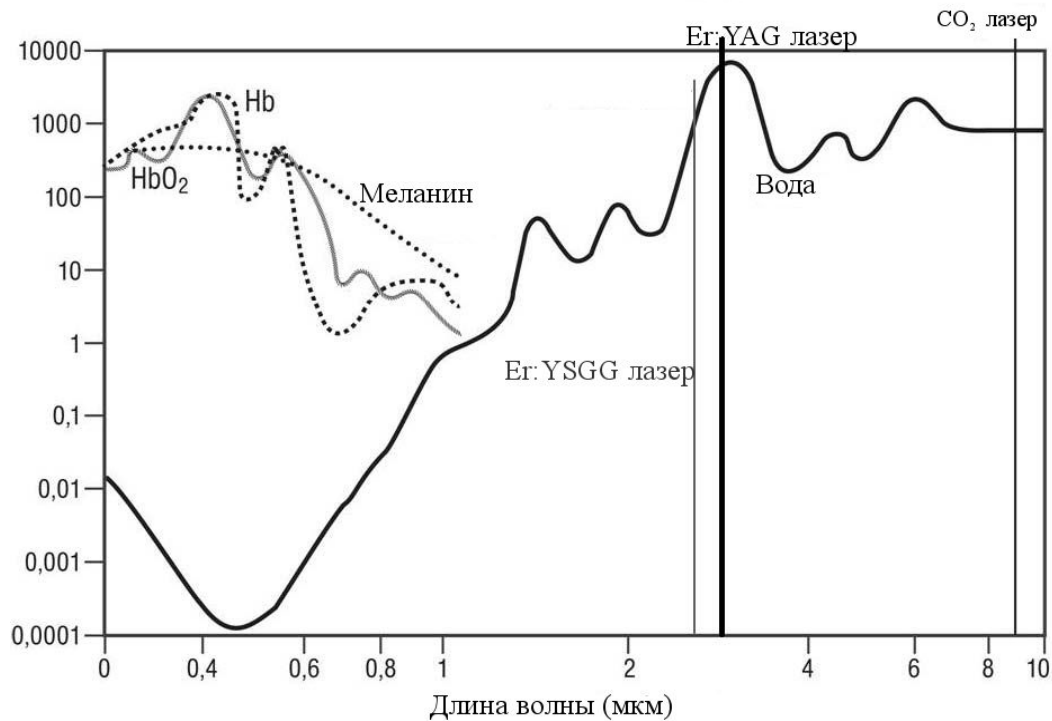
Поглощение энергии Er:YAG лазера водой в 10 раз более эффективно, чем поглощение энергии CO₂ лазера, что позволяет проводить более точное регулирование глубины воздействия. Новейшие Er:YAG лазеры, использующие VSP (Variable Square Pulse, технологию переменного прямоугольного импульса) обеспечивают импульсы переменной длительности, позволяя врачу-практику выбирать воздействие лазерного излучения от «холодного» абляционного пилинга до более глубокой тепловой коагуляции без абляционного компонента.

Самым актуальным в широком диапазоне методов с использованием Er:YAG лазера можно считать метод фракционного лазерного фототермолиза. Он так же эффективен, как традиционные методы использования Er:YAG лазера, но позволяет сократить послеоперационные риски и время реабилитации. Фракционный метод основан на создании сетки из микроскопических ранок на поверхности кожи, на которых вновь быстро образуется эпителий за счёт окружающей неповреждённой ткани. Новая модификация фракционного метода возникла с использованием PST (pixel screen technology, технологии пиксельного экрана), применяемой для минимально инвазивного омоложения кожи с помощью Er:YAG лазера.

Абляционные лазеры: контроль глубины коагуляции

Основным фактором пригодности какого-либо лазера для аблятивных косметических процедур является его длина волны. Сегодня существуют три типа медицинских лазеров - Er:YAG, Er:YSGG (или Er,Cr:YSGG) и CO₂ лазеры - длины волн которых работают в областях главных пиков поглощения для воды (см. рис. 1). Поскольку кожа состоит из 70% воды, все эти три типа лазеров можно эффективно использовать для процедур абляции кожной ткани.

Рис. 1. Поглощение лазерного излучения тканями-мишенями.



Излучение Er:YAG (2,9 мкм) лазера максимально поглощается водой. Длина волны Er:YSGG (2,7 мкм) лазера имеет несколько меньший пик поглощения в воде, и по этой причине её поглощение в коже человека уже в три раза меньше. Альтернативный лазер, излучение которого находится в области высокого поглощения, - это CO₂ лазер (9,6 мкм), однако излучение этого лазера поглощается в 10 раз меньше, и поэтому он наименее пригоден для лазерной шлифовки.

Существуют три этапа нагревания ткани после излучения лазера. Сначала ткань нагревается непосредственно в пределах глубины оптического поглощения (прямое нагревание). Как мы увидим позже, минимальная глубина коагуляции зависит от глубины оптического поглощения.

За прямым нагреванием следует тепловая диффузия, которая косвенно нагревает более глубокие слои ткани (косвенное нагревание). При использовании более коротких импульсов временной интервал тепловой диффузии является коротким, и повышение температуры не происходит. При использовании более длинных импульсов тепло имеет достаточно времени, чтобы распространиться в более глубоких слоях ткани.

На третьем этапе самая горячая часть ткани, близкая к поверхности, испаряется, фактически уменьшая глубину слоя кожи, на который воздействовало тепло. (см. рис. 2).

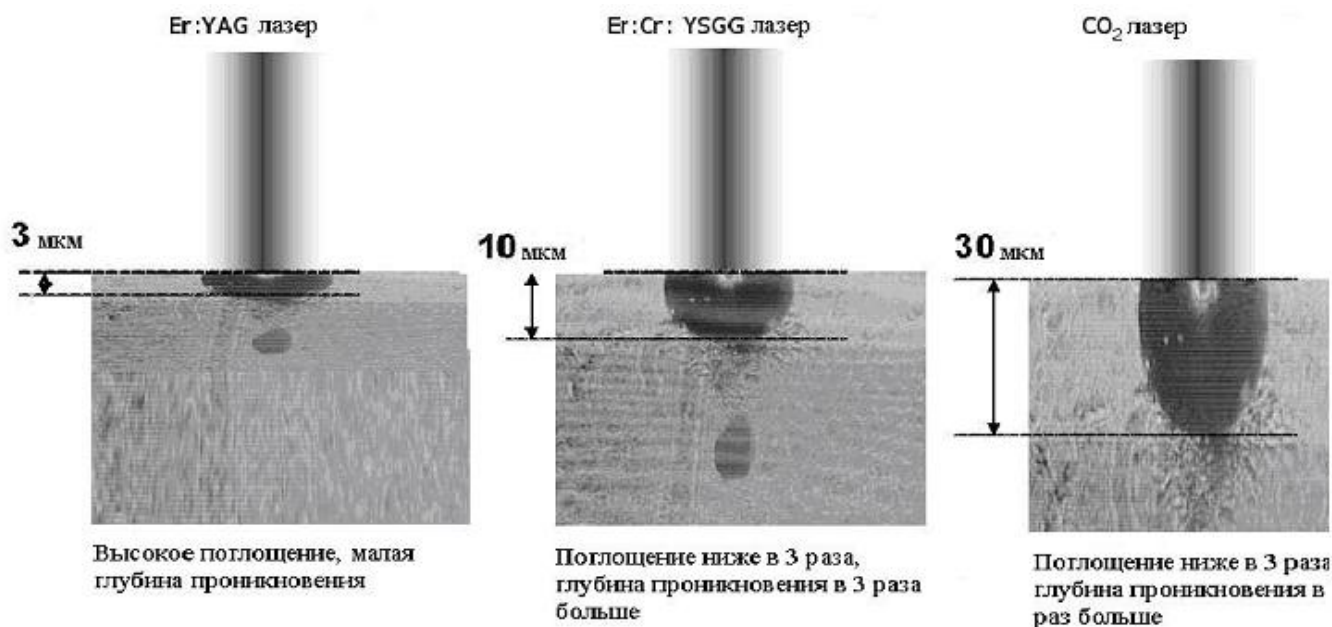


Рис. 2. Глубины оптического проникновения в кожу для трёх типов аблятивных лазеров.

Эта разница влияет на объём ткани, непосредственно нагреваемой лазером до температур абляции, прежде чем энергия рассеется в окружающую ткань. Поэтому глубина оптического проникновения определяет наименьшую возможную глубину коагуляции кожи. Хотя глубина коагуляции может быть увеличена путём прямого нагревания, её нельзя сократить ниже уровня глубины оптического проникновения (см. рис. 3).

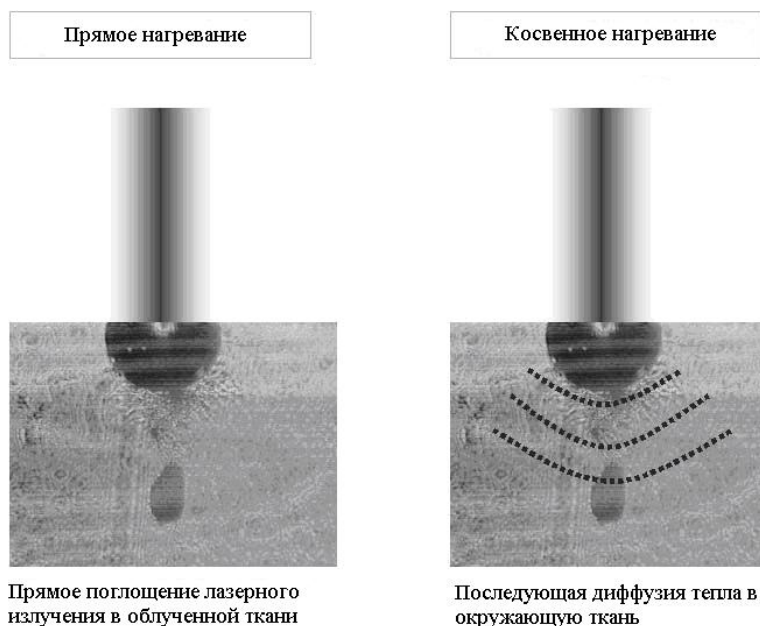


Рис. 3. Прямое и косвенное нагревание после облучения лазером.

Основным фактором, который определяет глубину косвенного нагревания и, следовательно, режим лечения лазером, является длительность импульса лазера. Если энергия подаётся на мишень в течение очень короткого времени (меньше времени тепловой релаксации ткани), то абляция имеет место до того, как происходит значительная тепловая диффузия. Это приводит к тому, что в окружающую ткань поступает меньшее количество тепла. С другой стороны, импульс большой длительности (в 2 и более раз больше времени тепловой релаксации) позволит передать большее количество тепла до того, как будет иметь место абляция, что приводит к большему тепловому воздействию на окружающую ткань.

В качестве примера на рисунке 4 показана глубина коагуляции, при которой кожа косвенно нагревается выше порога денатурации белка (70°C), когда используются плотности потока, близкие к порогу абляции.

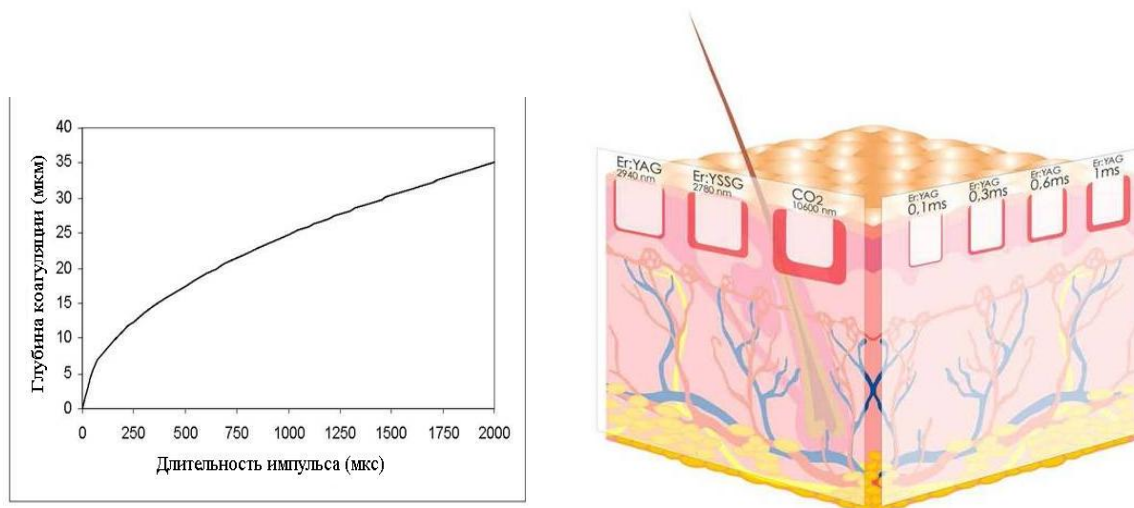


Рис. 4. Зависимость глубины коагуляции кожи от длительности импульса лазера.

На основании рисунка 4 можно сделать заключение, что глубину коагуляции можно регулировать путём изменения длительности импульса лазера. Это находится в соответствии с ограничениями, касающимися каждой конкретной технологии лазеров и длины волны. Например, для Er,Cr:YSGG самые короткие импульсы, которых можно достичь, находятся в диапазоне 500 мкс, а это накладывает ограничения, так как регулирование глубины коагуляции обеспечивается только от 17 мкм и более.

Когда мы рассматриваем показатели глубины оптического проникновения для трёх аблятивных источников, мы замечаем, что Er:YAG лазер позволяет регулировать глубину коагуляции от 3 мкм (рис. 5а) и более, а Er,Cr:YSGG и CO₂ лазеры имеют ограничения, так как обеспечивают регулирование только на больших глубинах коагуляции, соответственно, более 17 мкм (рис. 5б) и 30 мкм (рис. 5в).

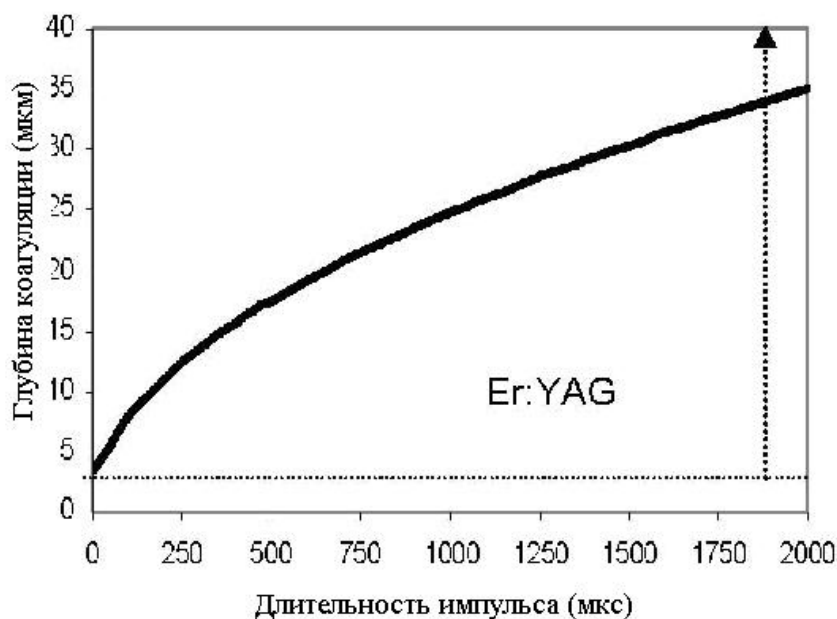


Рис. 5а. Er:YAG лазер имеет наибольший регулируемый диапазон глубины коагуляции: от 3 мкм и более.

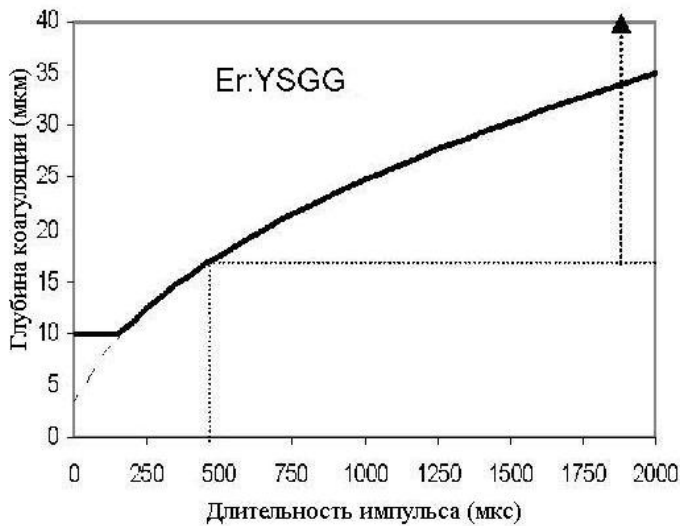


Рис. 5б. Регулируемый диапазон глубины коагуляции Er:YSGG лазера: только от 17 мкм и более.

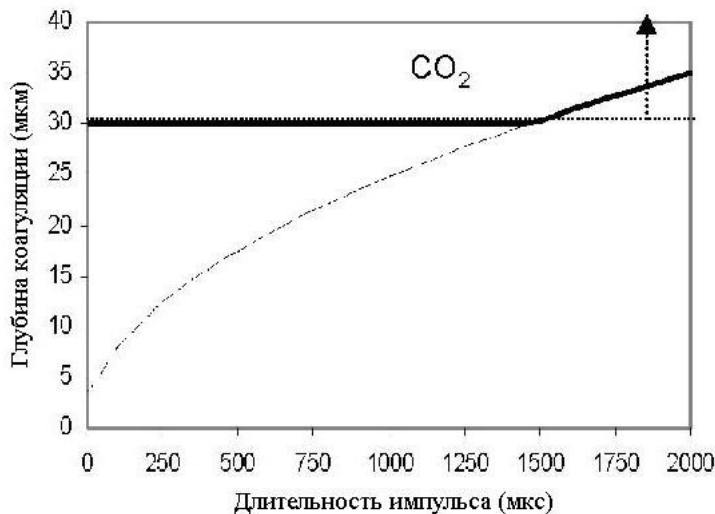


Рис. 5в. Регулируемый диапазон глубины коагуляции для CO₂ лазера: только от 30 мкм и более.

Таким образом, Er:YAG лазер имеет преимущество, поскольку он позволяет производить регулирование в большом диапазоне глубин коагуляции и, следовательно, обеспечивать более полный спектр процедур лечения. Регулируя параметры Er:YAG лазера, его можно использовать не только для процедур, характерных для лазера типа Er:YAG, но также для лазерных процедур, присущих типам Er:YSGG и CO₂. Аналогично этому, Er:YSGG лазер можно установить так, что он выполнит функции CO₂ лазера. Функции CO₂ лазера ограничены процедурами, выполняемыми только CO₂ лазерами.

Долгое время врачи-практики использовали CO₂ лазеры для процедур шлифовки кожи лица. Лазерные устройства типа CO₂ могут быть эффективными для этой цели, но сообщалось о большом количестве возникших после операции проблем, если использовался этот лазерный источник. Причиной является слишком большая глубина коагуляции, поэтому сегодня CO₂ лазеры в этой области почти полностью вытеснены Er:YAG лазерами. Недавно были внедрены также Er:YSGG лазеры. Но как было показано ранее, они пригодны только для тёплых и горячих лазерных процедур.

Форма импульса для оптимальной абляции

Как обсуждалось выше, аблятивная энергия лазерного излучения должна доставляться к коже во временном импульсе соответствующей длительности, чтобы регулировать нагревание кожи и обеспечивать действенность, эффективность и безопасность процедур лечения. В случае использования длинного лазерного импульса или непрерывного излучения тепло, вырабатываемое излучением лазера, имеет достаточное время для рассеяния в более глубокие слои ткани от облучённой зоны поверхности. Это приводит к более сильным тепловым эффектам внутри кожи. Для выработки световых импульсов высокой энергии в большинстве устройств используется стандартная технология PFN (Pulse Forming Network, колоколообразный импульс). Импульсы PFN имеют типичную форму с медленным нарастанием и относительно длинным понижающимся срезом. Мощность импульса не является постоянной величиной в пределах импульса, и точная длительность импульса не определяется. Более усовершенствованная технология VSP (переменный прямоугольный импульс) позволяет вырабатывать импульсы, которые обеспечивают намного более точную процедуру, более высокую эффективность и безопасность. Значительным различием между двумя типами импульсов является то, что для прямоугольных импульсов средняя и максимальная мощности почти равны, что нельзя сказать об импульсах, вырабатываемых по PFN технологии. Это означает, что воздействие VSP импульсов на кожу является намного более предсказуемым, чем воздействие PFN импульсов. Это, в конечном итоге, приводит к более высоким результатам лечения с низким уровнем дискомфорта для пациентов и меньшим количеством побочных эффектов.

Основные режимы лечения Er:YAG лазером

В области лазерной абляции мы обычно говорим о трёх аблятивных и одном неаблятивном режиме лечения. При высоких уровнях энергии и малых длительностях импульсов (т. е. при высоких мощностях лазерных импульсов) скорость абляции выше, чем скорость, при которой тепло рассеивается в ткани. Поэтому вся лазерная энергия используется до момента **ХОЛОДНОЙ АБЛЯЦИИ**. Слой ткани, подверженный воздействию тепла, ограничивается непосредственно нагреваемым объёмом ткани в пределах глубины оптического проникновения. При понижении уровней энергии и/или при использовании более длинных импульсов (т. е. при более низких мощностях лазерного импульса) слой ткани, который был косвенно нагрет, становится толще. Тепловые эффекты становятся более выраженными, что приводит к **ТЁПЛОЙ АБЛЯЦИИ**, а при ещё более низких уровнях энергии – к **ГОРЯЧЕЙ АБЛЯЦИИ**. При уровнях энергии ниже порогового значения абляции наблюдается **ОТСУТСТВИЕ АБЛЯЦИИ**, и вся энергия высвобождается в виде тепла, независимо от длительности импульса лазера.

Глубина коагуляции и абляции зависит от комбинации трёх параметров: длины волны лазера, длительности импульса и плотности потока (т. е. энергии лазера на площадь поверхности в Дж/см²). Er:YAG лазер, использующий VSP технологию, является чрезвычайно универсальным и точным инструментом для шлифовки кожи. Регулирование длительности импульса и плотностей потока лазера обеспечивает более широкий диапазон возможных вариантов лечения, которые можно представить в виде простой матрицы (см. рис. 6).

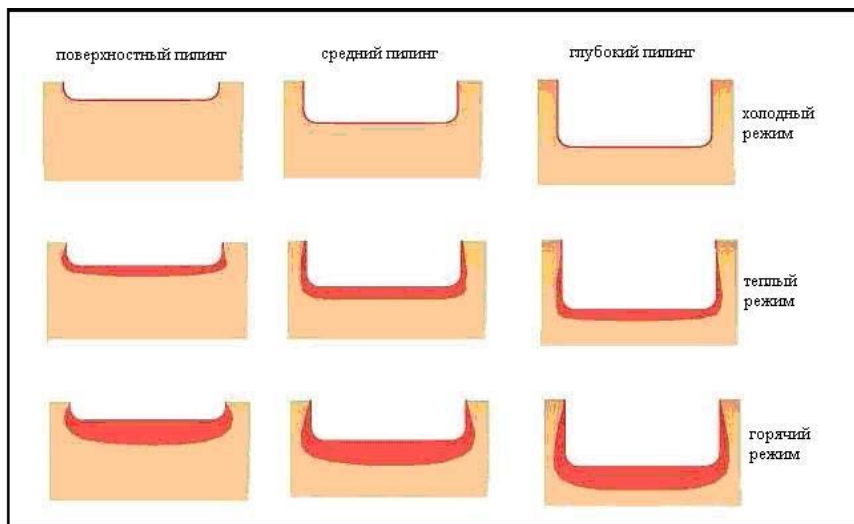


Рис 6 Глубина коагуляции и абляции.

Итак, режимы лечения Er:YAG лазером определяются следующим образом:

- Холодный режим с глубиной коагуляции примерно 3-7 мкм;
- Тёплый режим с глубиной коагуляции примерно 8-15 мкм;
- Горячий режим с глубиной коагуляции более 15 мкм.

Отметим, что холодный, тёплый и горячий режимы Er:YAG лазера соответствуют приблизительно предельным значениям глубины коагуляции Er:YAG лазера (холодный), Er:YSGG лазера (тёплый) и CO₂ лазера (горячий). Выбирая режимы Er:YAG лазера, врач-практик перенастраивает воздействие лазера с лечения, присущего только Er:YAG типу на лечение в режиме Er:YSGG типа, а при использовании самых больших длительностей импульсов – на лечение в режиме CO₂ типа.

Имеются также три режима лечения Er:YAG лазером (лёгкий, средний и глубокий), которые определяются по глубине абляции:

- Легкий режим с глубиной абляции 0-5 мкм;
- Средний режим с глубиной абляции 6-20 мкм;
- Глубокий режим с глубиной абляции более 20 мкм

Как показано на рис. 7, комбинация тепловых режимов лечения Er:YAG лазером с режимами лечения, выбранными на основе глубины абляции, даёт матрицу из девяти возможных вариантов режимов лечения.

Отметим, что рекомендуемые значения являются только приблизительными, поскольку точные показатели зависят от типа кожи, места лечения, уровней гидратации кожи и других параметров. Таким образом, пороговая плотность потока для абляции, равная приблизительно 1 Дж/см², может меняться в реальных ситуациях для пациента в пределах от 0,4 до 1,5 Дж/см². Отметим также, что указанные границы между областями холодной, тёплой и горячей абляции также являются только приблизительными. На самом деле переходы между этими режимами лечения носят постепенный характер.

Правильно выбранная глубина абляции – это минимальная глубина, необходимая для достижения желаемого клинического результата, будь то разглаживание морщин, удаление фотоповреждения и/или укрепление коллагена. Обычно лазерная шлифовка выполняется путём обработки всей области полностью, пока не будут аблятированы все удаляемые поражения или пока не появятся пятнышки крови, что указывает на то, что была достигнута папиллярная дерма. На уровне папиллярной дермы достигается максимальный терапевтический эффект с минимальным риском побочных эффектов. Если продолжать процедуру глубже, чем до уровня папиллярной дермы, то лечебные результаты ухудшаются, а потенциальная возможность осложнений и побочных эффектов может возрастать даже экспоненциально. На основании клинического опыта желательно выбрать такие параметры лазерного лечения, которые дадут желаемый результат через 2-4 прохода.

Как правило, конечный результат лечения является более выраженным, когда используются более агрессивные параметры процедуры лечения. Более агрессивные процедуры достигаются при использовании параметров более глубокой абляции и коагуляции, но при этом увеличивается время на реабилитацию пациента, и возрастает риск осложнений. Приблизительная связь девяти режимов лечения относительно эффективности и времени на реабилитацию показана на рис. 14. Клинически полученное время на реабилитацию после холодного, тёплого и горячего лёгкого пилингов составляет 12-48 часов, 12-72 часа и 4-5 дней, соответственно. Время на реабилитацию для холодного среднего пилинга (папиллярная дерма) равно 7-10 дням.

В режиме неабляционного воздействия SMOOTH энергия лазера передаётся как тепло на поверхность кожи без какой-либо абляции, а затем рассеивается в более глубоких слоях ткани. Известно, что время тепловой релаксации (thermal relaxation time, TRT) эпидермиса равно от 1 до 10 мс в зависимости от толщины. (По определению, TRT – время, необходимое для снижения температуры ткани приблизительно на 63%.) Даже если длительность импульса больше, чем TRT эпидермиса, то эпидермис не перегревается, поскольку тепло рассеивается в более глубоких слоях кожи. Таким образом, никогда не достигаются температуры, требуемые для абляции.

Однако если длительность лазерного импульса меньше, чем TRT кожи (около 300 мкс), то кожа не успевает охладиться в течение него. Таким образом, переданная энергия лазера приводит к общему увеличению тепла и повышению температуры в глубоких слоях папиллярной дермы.

Описанный выше принцип применяется, когда используются сверхдлинные импульсы режима SMOOTH. Импульсы SMOOTH доставляют лазерную энергию на кожу в виде быстрой последовательности лазерных импульсов с низкой плотностью потока в пределах полного сверхдлинного импульса длительностью 250 мс. Поскольку сверхдлинные импульсы SMOOTH имеют большую длительность, чем время TRT эпидермиса, то пороговая плотность потока для абляции намного выше, чем $0,8 \text{ Дж/см}^2$ и условия для абляции никогда не достигаются. Действие режима SMOOTH заключается только в коагулирующем нагревании кожи без какой-либо заметной абляции эпидермиса. Установлены глубины коагуляции в режиме SMOOTH в зависимости от плотности потока лазера. Отметим, что поскольку в этом режиме не происходит абляция, глубина коагуляции увеличивается с увеличением плотности потока в противоположность аблятивным режимам, при которых глубина коагуляции уменьшается при увеличении плотности потока лазера.

Гистологические исследования показывают, что процедуры лечения в режиме SMOOTH приводят к коагуляции коллагена на глубине 300 мкм глубже базальной мембраны. Клинически эта коагуляция коллагена даёт видимое и продолжительное сокращение морщин.

Преимуществом неаблятивной процедуры лечения в режиме SMOOTH по сравнению с аблятивными лазерными процедурами является то, что во время и сразу после процедуры лечения SMOOTH эпидермис остаётся неповреждённым, защищая, таким образом, кожу от инфекции. Только через 12-72 часа после лечения, когда восстановление уже началось, повреждённые поверхностные слои начинают отшелушиваться. Процедуру лечения SMOOTH можно рассматривать как задержанную процедуру абляции. Недостатком лечения SMOOTH по сравнению с аблятивной шлифовкой является то, что клинические результаты менее выражены.

Типичные установки плотности потока лазера для процедур лечения SMOOTH находятся в диапазоне от $2,5$ до 4 Дж/см^2 . Отметим, что для супердлинных лазерных импульсов в режиме SMOOTH эти плотности потока находятся ниже диапазона абляции. Глубина осаждения тепла является функцией параметров мощности и количества проходов. Обычно используются 1-3 прохода. Внешний вид кожи после операции имеет красно-коричневую окраску с ощущением загара.

Процедуры лечения Er:YAG лазером с использованием фракционной технологии пиксельного экрана (PST)

Для обеспечения фракционных процедур лечения компания Fotona разработала технологию пиксельного экрана (Pixel Screen Technology, PST), которая делит основной лечебный луч Er:YAG лазера на параллельные пиксели луча. Преимуществом этого метода по сравнению с другими фракционными технологиями является то, что она позволяет оставлять неизменными качество и

параметры лазерного луча в пределах пикселя в сравнении с основными свойствами луча. Это позволяет врачу-практику выполнить рассмотренные выше аблятивные и неаблятивные процедуры лечения с клинически полностью проверенными параметрами лазера. В других фракционных технологиях используются сфокусированные лучи с изменяемыми плотностями потока импульса во фракционных пятнах, и поэтому имеют место изменяемые и относительно нерегулируемые способы воздействия теплового лечения. Технология PST гарантирует, что плотность потока лазера в каждом пикселе точно соответствует той, которая будет у стандартной манипулы Er:YAG лазера.

Когда желательно достичь очень больших глубин абляции, то этот показатель можно увеличить путём использования так называемого режима TURBO. Он позволяет определять глубину лечения путём выбора плотности потока и количества импульсов, накладываемых на одну и ту же область лечения (см. рис. 7). Как обычно, глубина коагуляции в режиме абляции определяется длительностью импульса.

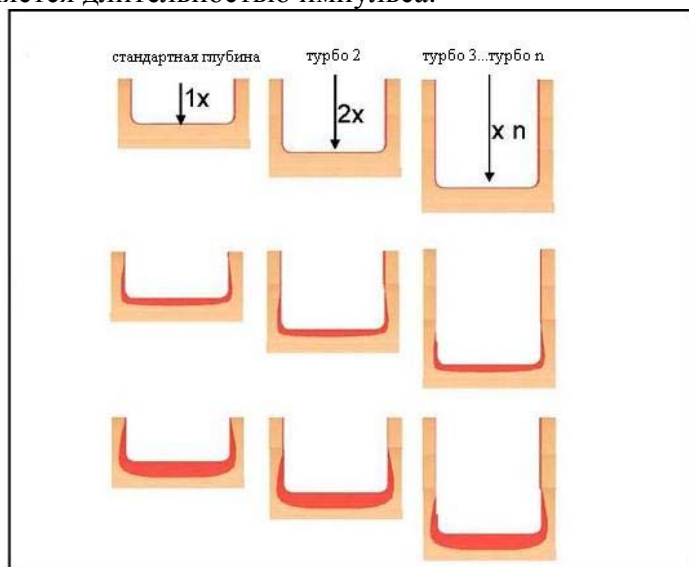


Рис. 7. Усиленный режим TURBO обеспечивает повышенное аблятивное действие.

Когда, например, выбирается режим лечения «холодный глубокий пилинг» с дополнением способа воздействия TURBO 3, глубина абляции (но не глубина коагуляции) будет в три раза больше по сравнению с основным режимом «холодный глубокий пилинг».

Таким образом, режим TURBO обеспечивает большую гибкость фракционных процедур лечения Er:YAG лазером. Он позволяет выполнять фракционные процедуры, начиная от рогового слоя до глубин, которые специалист считает необходимыми для клинического применения. Режим TURBO можно использовать так, чтобы достичь более глубоких слоёв дермы, чем при традиционных (нефракционных) методах шлифовки.

С одной стороны, фракционный метод TURBO является более агрессивным по отношению к коже. С другой стороны, его воздействие уравнивается тем фактом, что на кожу производится воздействие только в пределах малой части фракционно обрабатываемой области.

Клинический опыт

Клинические наблюдения и гистологические результаты показывают, что фракционные аблятивные процедуры лечения с помощью Er:YAG лазера являются безопасным и эффективным альтернативным вариантом по сравнению с более агрессивными, полностью аблятивными лазерными процедурами.

Типичные лечебные параметры для процедур омоложения кожи – это примерно 1-5 Дж/см², от одного до трёх проходов и комбинация изменяющихся длительностей импульсов, а также использование более коротких (0,2 – 0,3 мс) импульсов Er:YAG лазера во время первых нескольких проходов и более длинных (1-2 мс) импульсов во время последнего или нескольких

последних проходов. Визуальная оценка (см. фото 8-10) показывает значительное улучшение качества кожи. Не сообщалось ни о каких побочных эффектах, кроме временной эритемы. Лёгкая эритема заметно уменьшалась через 1-2 дня и полностью исчезала через одну неделю.



Рис. 8. Разглаживание морщин около глаз с помощью Er:YAG лазера в режиме SMOOTH; до процедуры и через 60 дней после одного сеанса (три прохода).

Для процедур разглаживания от средних морщин до глубоких морщин (околоротовая, окологлазничная области) с минимальным сроком на реабилитацию требуется более глубокая фракционная абляция с помощью Er:YAG лазера и более плотная коагуляция. Лечебные параметры можно изменять в пределах от 3 Дж/см² до 60 Дж/см², если более высокие плотности потока достигаются в режиме наложения (TURBO) с помощью 3-5 накладываемых импульсов. В одном сеансе лечения необходимые зоны обрабатываются с использованием нескольких проходов. Существенное улучшение состояния морщин в околоротовой и окологлазничной области отмечалось при использовании более агрессивных процедур (четыре и более проходов). В сравнении с аблятивной шлифовкой кожи на всей поверхности фракционная процедура с помощью Er:YAG лазера обеспечивает очень быструю повторную эпителизацию с весьма ограниченными неблагоприятными побочными эффектами (лёгкая поствоспалительная эритема в течение 3 месяцев или менее в зависимости от плотности коагуляции), а также обеспечивает сокращение времени на реабилитацию пациента до 4 дней или менее.

Кроме того, PST фракционные способы воздействия успешно использовались для уменьшения растяжек. Сообщалось о значительных улучшениях состояния растяжек в отношении их размера, цвета и структуры, когда использовались протоколы процедуры лечения, состоящие из комбинации фракционных и нефракционных способов воздействия Er:YAG-PST технологии. Сокращение растяжек более чем на 50% за один сеанс достигается без каких-либо заметных побочных эффектов. Лёгкая поствоспалительная эритема исчезает в течение 24 часов.



Рис. 9. Сокращение растяжек при использовании фракционного аблятивного Er:YAG лазера с PST технологией: до сеанса и через одну неделю после одного сеанса.



Рис. 10. Сокращение растяжек при использовании фракционного аблятивного Er:YAG лазера с PST технологией: до сеанса и через 4 месяца после четырёх сеансов, проводившихся в течение 4 недель.

Таким образом, можно сделать вывод, что фракционный фототермолиз, проводимый с помощью Er:YAG лазера с технологией PST, обеспечивает дополнительные возможности в лечении различных состояний кожи. При этом данный метод по безопасности превосходит традиционный абляционный лазер, а по эффективности - неаблятивные процедуры.

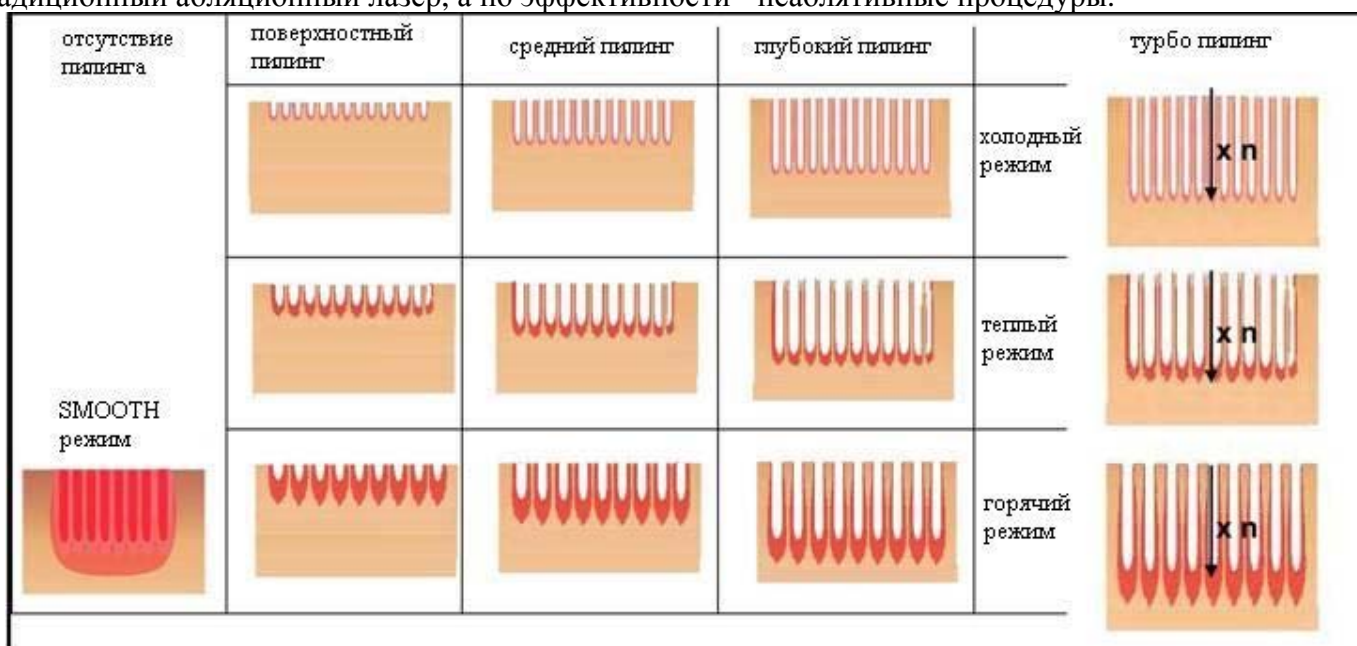


Рис 11. Фракционные способы воздействия при лечении Er:YAG лазером.

Усовершенствованная технология Er:YAG лазера позволяет врачу в широких пределах выбирать способ воздействия лазерного лечения, учитывая тип кожи пациента и показания к лечению.