

# Laser- Principios básicos e avançados

**Prof.Carlos Roberto Antonio**

[carlos@ipele.com.br](mailto:carlos@ipele.com.br)

**Brasil**

Suspeita-se que a primeira referência a um tipo de energia radiante que pode ser interpretada como laser foi encontrada nos escritos do livro War of the Worlds por H.G. Wells. Nesta história a região inglesa é invadida por Aliens de Marte que usavam um “heat ray” para destruir as aldeias;

Em 1916 Albert Einstein publicou a teoria quântica que elucidava os princípios da emissão de radiação espontânea e estimulada;

O primeiro verdadeiro laser foi um Laser de Ruby desenvolvido em 1960 por Theodore Maiman trabalhando para a Hughes Corporation(2).

Em 1961 foi desenvolvido o Laser Hélio-Neônio por Javan e Nd:YAG por Johnson;

Em 1962 foi desenvolvido Laser de Argônio por Bennet;

Em 1964 desenvolvido laser de Dióxido de Carbono por Patel.

## **Introdução**

O laser é destinado a amplificação da luz através da estimulação de emissão de radiação, e existe um processo físico pelo qual um laser produz luz. Os lasers são fontes únicas de luz estabelecidas no processo de emissão estimulada.

Uma discussão dos princípios do laser começa com a formulação dos princípios de radiação eletromagnética feita por Einstein. A

radiação eletromagnética é uma forma básica de energia que pode exibir ondas e propriedades de partículas. Um “quantum” de energia eletromagnética chamada fóton pode estimular um átomo excitado para emitir outro fóton com a mesma energia. Os fótons resultantes tem energia e tamanho de onda iguais e estão em fase (temporal e espacial).

Em 1960, Theodore Maiman observou a estimulação de uma luz vermelha numa lâmpada de flash excitada por um cristal de rubi. No início dos anos 60 o Dr. Leon Goldman tornou-se o primeiro médico a utilizar o laser em humanos.

Quatro componentes essenciais formam os sistemas de todos os lasers:

- **meio líquido, sólido ou gasoso** que possa ser excitada para emitir a luz do laser.
- Uma fonte de energia para excitar o meio.
- Espelhos nos finais do laser, formando a “cavidade”.
- Um sistema de entrega.

A inversão da população(funcionamento) ocorre quando uma quantia maior do que a metade dos átomos existentes no meio envolvente do laser são excitados por uma fonte de energia, isto é um pré-requisito para que um laser funcione. Com a inversão da população, os fótons viajando neste meio têm uma maior tendência para encontrar um átomo excitado (liderando-o para emissão estimulada) do que um átomo em repouso que pode simplesmente absorver a luz.

Conforme a luz viaja para frente e para traz entre os espelhos do laser, uma intensidade muito grande pode ser alcançada.

A luz do laser tem várias propriedades que são difíceis ou impossíveis de serem alcançadas com outras fontes de luz. Estas são monocromaticidade, coerência, e alta intensidade.

**Monocromaticidade** refere-se à emissão de somente uma cor ou uma faixa muito estreita de comprimentos de ondas. A **coerência** descreve as ondas de luz que viajam em fase, no tempo e no espaço, semelhante a uma coluna de soldados marchando passo a passo. As ondas não tendem a divergir, e correm paralelas umas as outras. Coerência também permite aos lasers serem focados adequadamente no local marcado. Os raios do laser podem viajar em longas distâncias sem perda significativa de intensidade.

Os lasers podem ser divididos em instrumentos contínuos ou pulsantes. No modo onda-contínua (CW = Continuous Wave), os lasers emitem um raio constante de luz. Os lasers Argon são um exemplo desse tipo de laser. Esses lasers freqüentemente tem um poder de pico limitado, enquanto que poderes de pico elevados, podem ser alcançados por laser pulsantes durante períodos curto de tempo. Lasers Q-switched produzem pulsos muito curtos com um poder muito alta de pico.

**Q** refere-se a um fator de qualidade de depósito de energia do laser, o qual é mudado repentinamente para produzir uma explosão curta e intensa de luz. O nível de repetição para lasers pulsantes é expressado em hertz. Alguns lasers emitem uma série rápida de baixos pulsos de energia que se comportam cirurgicamente como lasers CW, e são chamados de quase contínuos. Dermatologicamente os lasers Q-switched são designados para produzir pulsos **de 10-100ns**, com fluência tipicamente na faixa de 2-10J/cm<sup>2</sup>. Esses pulsos curtos e de alto-poder são úteis na remoção seletiva de tatuagens e lesões pigmentadas.

## Significado

**L** = LIGHT

**A** = AMPLIFICATION by

**S** = STIMULATED

**E** = EMISSION of

**R** = RADIATION

O laser pode ser definido de maneira simplista como uma forma de fototerapia. Hoje existem plataformas que permitem o acoplamento de varias tecnologias, porem nenhum aparelho de laser **<b>ainda</b>** é capaz de tratar todas as lesões e indicações.

O conceito de emissão estimulada de radiação nasceu em 1917 com Albert Einstein.(2)

Luz é um sistema extremamente complexo de energia radiante que é composto por ftons(unidade fundamental de energia) e ondas. Está organizado dentro do espectro eletromagnético para o tamanho(comprimento) das ondas, freqüentemente medida em metros de frações.

Várias são as características que diferenciam a luz do laser da luz convencional:

- Coerente
- Monocromático
- Colimadas
- Alta intensidade

### **Coerente**

A emissão de ftons estão espacialmente e temporariamente lado a lado um com o outro. A luz viaja com uniformidade entre cristas e vales dos comprimentos de onda.

### **Monocromático**

Convencionalmente, monocromático é a energia emitida do laser que refere-se a apenas um único comprimento de onda ou uma banda estreita (narrow band) de comprimento de ondas.

### **Colimadas**

São as ondas que viajam paralelas umas a outras através do espaço. São estas propriedades de colimação e coerência que permitem que a energia do laser possa ser transmitida através de longas distâncias sem significativa divergência do feixe luminoso, e também permite que esta energia seja precisamente focada em um

pequeno feixe de luz.

### **Alta Intensidade**

O número de ftons emitidos por um laser, por unidade de área, é muito grande quando comparada com todas as outras fontes de radiação eletromagnética, incluindo a luz solar.

- **Teoria do Quantum:** quando um átomo entra em estado de excitação e retorna espontaneamente ao repouso, ele emite energia (*photon* de luz) que pertence a um comprimento de onda específico.
- Se o *photon* chocar-se com outro átomo excitado, este último retornará ao estado de repouso, emitindo outro *photon* sincrônico temporal e espacialmente com o primeiro *photon*.(2,3)
- A partir desta teoria:foi desenvolvido o primeiro laser ~- 1960 -> Laser de Ruby (faixa de comprimento de onda =694nm) (3).

## **COMPONENTES DO LASER**

Todos lasers apresentam quatro componentes básicos:

- Uma cavidade óptica ou ressonador;
- Um laser médio;
- Uma fonte de energia;
- Um sistema de transmissão (lançamento).

### **Laser médio ou meio**

A ação do laser médio geralmente dá ao laser seu nome e pode ser composto de um meio gasoso, líquido ou sólido. Trata-se do meio que será ativado. Ex: CO<sub>2</sub>, Diodo, Ruby...

### **Laser – Meio Gasoso**

- CO<sub>2</sub>(Dióxido de Carbono);
- Argônio;

- Gold Vapor Laser.

### **Laser – Meio Líquido**

- Dye laser (utilizam líquido com pigmento rodamina);
- Dye = pigmento, corante, tintura.

### **Laser – Meio Sólido**

- Ruby;
- Nd:YAG (Nd:YAG crystal);
- Diodo;
- Alexandrite (Alexandrite crystal).

### **Fonte de Energia**

- Esta energia lançada vai excitar os elétrons do meio ativo do laser médio para iniciar a amplificação do processo.
- A fonte de energia externa, que pode ser térmica, elétrica ou ótica.
- Esta ativação pode ser acompanhada:
  - pelo uso de uma corrente elétrica direta como no laser de argônio;
  - pela estimulação óptica de outro laser ou flashlamp, como no dye laser;
  - excitação por radiofrequência como em muitos lasers de CO<sub>2</sub>;
  - pelas reações químicas nas quais ligações químicas são quebradas para promover desprendimento de energia, como no laser hidrogênio-fluorado.

### **Sistema de Transmissão**

O sistema de transmissão ou entrega pode consistir em uma flexível cavidade de guias de onda, fibras ópticas, ou um braço articulado com espelhos ajustados.

### **Nomenclatura comum em trabalhos científicos**

- **PWS = Port-Wine Stains** = Mancha Vinho do Porto

- **CW = Continuous Wave** = Ondas Contínuas

- **KTP** = Potassium Titanyl Phosphate

- **TRT** = Tempo de Relaxamento Térmico

- Spot size = A penetração ótica do laser é determinada em parte pelo diâmetro de saída do feixe de luz (spot size).

- Tempo de relaxamento térmico é o tempo necessário para um objeto resfriar em 50% da temperatura adquirida imediatamente após a exposição ao laser sem conduzir calor ao tecido circunjacente. Laser que respeita o TRT apresentam melhores resultados.

- Para atingir máxima precisão, ou fototermólise seletiva, o tempo de exposição deve ser mais curto que o TRT.

- Se a exposição exceder ou for igual ao TRT, a energia térmica será transferida aos tecidos adjacentes, resultando em danos térmicos não específicos (queimaduras e cicatrizes).

- Desta forma sempre que estamos utilizando um laser ou fonte de energia em determinado ponto e vamos realizar nova passagem naquele ponto, **é importante aguardar alguns segundos a minutos para que aquela região esfrie-se para após ser aplicado o laser novamente.**

### **Meio que absorve a luz ou energia;**

- Alvo de todo laser ou fonte de energia.

- **CROMÓFORO:** grupo de átomos que confere cor a uma substância e **absorve um comprimento de onda específico.**

- Os principais cromóforos da pele são a oxiemoglobina, melanina e a água. Lesões vasculares contêm pigmento de oxiemoglobina, tornando-se alvo para a luz do Laser absorvida por esse pigmento.

## COMPRIMENTO DE ONDA

É a cor de luz usada. Conforme o comprimento de onda haverá uma absorção por um determinado cromóforo alvo e determinada profundidade de penetração e atuação. Quanto maior o comprimentos de onda, maior a penetração. Por exemplo para atingir uma melanose, que é superficial necessitamos de comprimentos de onda menores, e para atingir pêlos que são mais profundos precisamos de comprimentos maiores.

São lasers que trabalham em nanosegundos;

Switched = transferir, conduzir, dirigir, desligar ou interromper corrente.

Q-switched = quality switched

Designa um grupo de lasers que possui dispositivo eletro-óptico dentro da cavidade óptica, que permite a liberação de energia armazenada em um curto pulso, da ordem de **nanosegundos**.

## **Fluência, Energia, Densidade, Difusividade e formatos dos objetos**

- Quantidade de energia entregue por unidade de área; J/cm.

A energia do laser é medida em Joules (J)

A densidade energética (fluência) é igual a potência do laser (watts) vezes a duração de pulso (segundos) dividida pelo tamanho efetivo da ponteira (centímetros quadrados), sendo medida em Joules por centímetro quadrado.

O resfriamento das estruturas microscópicas teciduais é determinada pela condução de calor.

Condução é a transferência de calor entre dois sistemas interagindo, e é dirigido por uma temperatura gradiente (uniforme) entre os dois sistemas.

O tempo de relaxamento térmico para a condução de calor é proporcional ao quadrado do tamanho do objeto. Ele é aproximadamente calculado através da fórmula  $TRT = d^2/4k$ , onde  $d$  é o diâmetro do objeto ou espessura da camada tecidual e  $k$  é a difusividade termal.

Difusividade termal é a propriedade do material que expressa a habilidade do calor para difundir. O tempo de resfriamento de um objeto depende do seu formato devido a diferenças no volume e superfície de área. Em geral, comparando alguns tipos de formatos, esferas esfriam mais rapidamente que cilindros, os quais esfriam mais rapidamente que planos. Pequenos objetos esfriam mais rapidamente que grandes objetos. Para objetos com o mesmo formato e material, um objeto com a metade do tamanho esfria em um quarto do tempo e o mesmo objeto com um décimo do tamanho esfria em um centésimo do tempo.

A duração do pulso auxilia no resfriamento e na proteção ou dano aos cromóforos alvos. Quanto maior a duração de pulso maior é o tempo de resfriamento do cromóforo alvo.

### Como inicia o processo do laser

Uma fonte de energia é acionada; Então o meio ativo (sólido, líquido e gasoso) é excitado. Assim, a energia liberada pela **fonte** excita os átomos contidos no **meio ativo** do aparelho -> átomos excitados, espontaneamente retornam ao estado denominado metaestabilidade (excitação intermediária) e, a seguir, ao repouso -> quando a maioria dos átomos estão em metaestabilidade -> liberação de energia em forma de calor. Essa situação é chamada de inversão de população. Porém, quando

ocorre passagem para o estado de repouso, photons de luz são liberados, ocorrendo a emissão estimulada de radiação. Nesse processo, tem-se que, para amplificar a cadeia, ou seja, para gerar um laser, o meio ativo deve ficar contido em cavidade óptica.

### **Cavidade Óptica**

- A cavidade óptica apresenta espelhos nas extremidades, permitindo aos photons movimentarem-se para frente e para trás, dentro da cavidade. Nesse movimento, os photons estimulam outros átomos no estado de metaestabilidade a retornarem ao repouso, liberando, assim, novos photons em progressão logarítmica. Assim, obtém-se uma reação em cadeia com a produção de alta quantidade de energia em curto período de tempo.
- Essa luz gerada é de alta energia e composta por ondas coerentes (alinhadas entre si), colimadas (concentradas) e monocromáticas (pertencem a um comprimento de onda).(2)

## **ÓPTICA DA PELE**

A luz pode ser absorvida ou difundida através da pele. Em geral os efeitos nos tecidos ocorrem somente quando a luz é absorvida.

Conforme a luz atinge a superfície da pele, ocorre uma reflexão de 4-7% devido a diferença no índice refratário entre o ar ( $n=1$ ) e a camada córnea ( $n=1.45$ ). Isto é chamado de reflexão de Fresnel porque segue as equações de Fresnel relacionando a reflexão com o ângulo de incidência, plano de polarização e índice de refração.

O restante 93-96% da incidência da luz entra na pele, onde é espalhada e absorvida.

O coeficiente de absorção é definido como a probabilidade de extensão por unidade que um fóton num comprimento de onda particular será absorvido, e depende da concentração de cromóforos (molecular de absorção) presentes. A difusão ocorre

quando o fóton muda sua direção de propagação. Toda luz retornando da pele, é, desse modo, luz dissipada.

Quando a absorção ocorre, o fóton entrega a sua energia a um átomo ou molécula chamada **cromóforo**. Uma vez absorvido pelo cromóforo, o fóton cessa de existir e o cromóforo se torna excitado.

A absorção de ultra-violeta(UV) e luz visível leva à excitação eletrônica do cromóforo. Luz infra-vermelha tende a causar excitação vibracional. **Os três cromóforos primários na pele são água, hemoglobina e melanina. Os cromóforos exibem faixas características de absorção em certos comprimentos de onda.** É esse fato que permite o delineamento de alvos específicos para a atividade de laser. A melanina é largamente absorvida através do espectro. Em contraste, a absorção do sangue é dominada pela oxihemoglobina e ocorre reduzida absorção de hemoglobina, a qual exhibe fortes faixas no UV, azul, verde, e faixas amarelas.

Na epiderme normalmente pigmentada, a absorção é o processo dominante sobre a maioria do espectro óptico (200-1000nm). Na derme, a difusão pelas fibras colágenas, pode ocorrer. A penetração da luz na derme é largamente dominada pela difusão, a qual varia inversamente com o comprimento da onda. A profundidade de penetração está geralmente inversamente relacionada com o comprimento de onda entre 280-1300nm. Nesta **região** correspondente ao UVB, UVA, visível e próximo do infravermelho, **quanto mais longo o comprimento de onda, mais profunda a penetração. Luz dissipada é maior com comprimentos de ondas curtos. Num comprimento de onda abaixo de 300nm, há uma forte absorção por proteínas, ácido urocânico e DNA. Acima de 1300nm, a penetração diminui devido a absorção da luz pela água.**

A luz se apresenta branca ou branco-amarelada porque contém todos os diferentes comprimentos de onda do espectro de luz visível. Um prisma colocado em frente a uma lâmpada irá refratar a luz e as cores que o constituem irão separar-se em forma de arco íris. A luz do laser é pura e monocromática tendo portanto atração por um cromóforo alvo

específico. A maior região de penetração do comprimento de onda é a 650-1200nm vermelha e perto da região do espectro infravermelho. As regiões menos penetráveis são as distantes do ultravioleta e distantes do infravermelho.

A capacidade de condensar energia luminosa em pulsos ultracurtos permite que moléculas-alvo possam ser excitadas até níveis energéticos mais elevados, absorvendo mais a energia no cromóforo alvo e liberando uma energia total menor para os tecidos ao redor.

## INTERAÇÕES TERMAIS

Em aplicações dermatológicas, a maioria dos procedimentos que utilizam laser produzem calor. Conforme a temperatura sobe, muitas das estruturas essenciais dentro das células são desnaturadas: estas incluem DNA, RNA e a membrana das células. A desnaturação resulta na perda da função celular via coagulação das macromoléculas. A coagulação termal produz necrose na célula e, se difundida, uma queimadura. A cirurgia de pele a laser requer controle preciso sobre o local e quantidade de lesão calor induzido.

**A maioria das células humanas podem facilmente resistir a temperaturas até 40° C.** A combinação de ambos tempo e temperatura determina se uma dada população celular pode sobreviver em temperaturas mais elevadas. Isto ocorre porque a desnaturação termal é um processo de proporção: o calor aumenta a velocidade que as moléculas se desnaturam

A exposição à temperaturas elevadas na maioria dos organismos e células induz uma reação chamada resposta ao calor de choque.

Esta resposta é caracterizada pela inibição da síntese proteica normal, e indução da síntese de um particular conjunto de proteínas chamada proteínas de choque de calor (HSPs), as quais conferem alguma resistência à lesão termal. Um exemplo fascinante encontrado na natureza são algumas bactérias termofílicas que podem sobreviver a 80-90°C. Estes organismos tem membranas termalmente estáveis; as quais são protegidas pela produção de HSPs.

Lesões termais por indução de laser são bem descritos por um modelo Arrhenius, o qual diz que o nível de desnaturação celular é exponencialmente relacionado à temperatura. Assim o acúmulo do material desnaturado aumenta exponencialmente com a temperatura, e proporcionalmente com o tempo. Próximo de uma temperatura crítica (a qual é diferente para diferentes tecidos) ocorre uma rápida coagulação: isto é importante para as bem definidas margens histológicas de coagulação no laser e outras lesões termais. Na derme, a matriz estrutural protéica extracelular, o colágeno, tem um papel predominante na coagulação.

A elastina é extremamente termalmente estável e pode sobreviver à fervura sem lesão aparente. Por contraste, o colágeno tipo I, o subtipo de colágeno predominante na derme, tem uma transição aguda de derretimento para uma forma fibrilar entre 60-70°C. Nessa, ou acima dessa temperatura, podem surgir cicatrizes. **A fototermólise seletiva** permite o aquecimento selecionado dos alvos dentro da derme, tais como vasos sanguíneos e folículos pilosos, com a preservação da derme entre os alvos. Um limite superior é colocado pela absoluta necessidade de manter a pele numa temperatura abaixo de 60-70°C.

Quanto mais o tecido ficar exposto à energia do laser, maior a disseminação da energia termal para os tecidos circunvizinhos. Para limitar a exposição do tempo para uma dada fluência, o poder do laser deve ser aumentado para compensar.

Uma vez que a luz do laser foi absorvida pelo tecido, a energia é convertida em energia de calor. Através da condução, o tecido circunvizinho torna-se aquecido. O processo pelo qual o calor se

torna difuso dentro do tecido por condução, é chamado relaxamento termal. O tempo de relaxamento termal (**TRT**) é definido, por uma dada estrutura de tecido, como o tempo necessário para o tecido aquecido perder metade de seu calor. A chave para desfazer a ablação do tecido é ser capaz de torná-lo mais rápido do que o calor que é conduzido para o tecido circunvizinho.

## FOTOTERMÓLISE SELETIVA

O conceito de fototermólise seletiva foi inicialmente desenvolvido para o tratamento de manchas de vinho do porto em pacientes jovens e houve o início do uso de lasers pulsantes de tintura na medicina. Com a seleção de um comprimento de onda de laser preferencialmente absorvido e sua descarga numa duração e fluência de pulso apropriadas, alvos específicos podem ser destruídos enquanto limitam o dano nos tecidos circunvizinhos. O aquecimento seletivo é alcançado por uma combinação de absorção de luz seletiva, e uma duração de pulso menor ou aproximadamente igual ao TRT do alvo de ação. Isso produz calor localizado e seletivo com destruição focal do alvo. Em geral, a fototermólise seletiva de várias lesões é melhor alcançada usando **pulso** do que a tecnologia de laser contínuo, por causa dos pequenos TRTs dos alvos cutâneos tais como vasos sanguíneos e células pigmentadas. Para a maioria dos tecidos, o tempo de relaxamento termal de uma dada estrutura alvo em segundos, é aproximadamente igual ao quadrado da dimensão do alvo em milímetros.

Há um relação primária entre a duração da exposição e o aprisionamento da injúria termal. **O TRT de um alvo é proporcional ao quadrado de seu tamanho.** Para um dado material e forma, um objeto com metade do tamanho, esfriará em um quarto do tempo. Em geral, ótima duração de pulso para fototermólise seletiva é igual aproximadamente ao TRT. Vasos

sanguíneos são uma ampla categoria e incluem capilares com um TRT de décimos de microsegundos; as veias das pernas, com um TRT de centenas de milisegundos; e as grandes veias de adultos com manchas de vinho do porto, as quais tem TRTs acima de décimos de milisegundos. **TRT também está relacionado com a forma do alvo.** Para uma dada espessura, esferas esfriam mais rápidas do que cilindros, os quais esfriam mais rápidos do que planos.

Os alvos pequenos pigmentados, tais como Nevos de Ota, são melhor tratados com pulsos curtos (nanossegundos), enquanto estruturas maiores, tais como folículos pilosos, tem TRTs grandes e são melhores tratados com pulsos maiores.

## EFEITOS FOTOMECÂNICOS

Os lasers de pulso podem também causar efeitos fotomecânicos. Aquecimento repentino causam expansão termal repentina que produz ondas de stress, incluindo ondas acústicas e de choque. As ondas de stress podem romper e aumentar a permeabilidade das membranas celulares. Outro modo mecânico de dano é formação de cavidades. Quando a combinação de temperatura e pressão é tal que a água se vaporiza, uma bolha de vapor se forma, se expande e violentamente arrebenta. Este é o mecanismo dominante de ruptura de vasos com lasers com pulso, emitindo pulsos com menos de aproximadamente 20ms, por exemplo.

## INTERAÇÕES LASER-TECIDO

Um número de parâmetros controlam os efeitos laser-tecido, incluindo comprimento de onda, fluência, irradiação, tamanho da lesão e a quantidade de tempo que o tecido é exposto à luz do laser. Com lesões menores, a luz é mais facilmente removida do caminho por difusão quando comparada com lesões maiores. Para

alcançar a maior profundidade de penetração efetiva na pele, a é utilizado em lesões grandes a combinação de comprimento da onda de 600-1300nm.

## RESFRIAMENTO DA PELE

A melanina epidérmica é freqüentemente um **indesejado** alvo cromóforo durante o tratamento a laser de lesões vasculares e remoção de pêlos. Dano epidérmico pode ser minimizado através do uso de resfriamento da pele. Isto é especialmente importante no tratamento de tipos de pele mais pigmentadas, nas quais os efeitos colaterais são mais comuns.

Todos os métodos de resfriamento envolvem a extração do calor por condução à superfície da pele. O agente de refrigeração pode se mover ao longo da pele, como no caso de escoamento de gás ou líquido ou um sólido em movimento. Para o resfriamento de spray, o agente de resfriamento é um líquido cuja temperatura é mais baixa do que a temperatura da superfície cutânea. Neste caso, o resfriamento é via evaporação, a camada refrigerante desenvolve num tempo enquanto o líquido ferve e evapora. Em refrigeração com um contato sólido, o agente ativo é tipicamente um sólido com alta capacidade termal e condutividade. Com gel frio, o resfriamento passivo ocorre. A combinação de temperatura, qualidade de contato, e condutividade termal do meio frio determina com que rapidez o calor pode ser extraído da pele.

Há três tipos básicos de resfriamento de pele: pré-resfriamento, resfriamento paralelo e pós-resfriamento, que corresponde à extração do calor da pele antes, durante e após a exposição ao laser. O pré-resfriamento diminui a temperatura antes da chegada do pulso laser. Para pulsos mais curtos do que 5ms, tais como o Q-switched laser, o tempo necessário para extrair o calor de toda a epiderme é minimizado, o pré-resfriamento fornece toda a proteção necessária. Aparelhos de resfriamento dinâmico, tais como o spray

Líquido de cryogen, fornece um pré-resfriamento mais agressivo e superficial.

O resfriamento paralelo se refere ao resfriamento durante o pulso laser, e é mais efetivo para pulsos mais longos do que 5-10ms. Spray de resfriamento interfere fisicamente com o pulso do laser e é portanto não adequado para o resfriamento paralelo. Com a safira fria pressionada à pele justamente antes ou durante o pulso longo do laser, é possível enviar seguramente fluências muito grandes mesmo em peles pigmentadas. O pós-resfriamento é usado para minimizar a dor e o eritema.

## RESURFACING A LASER

O laser de CO<sub>2</sub> (10 600 nm) foi desenvolvido em 1964 e ainda apresenta um grande papel na dermatologia. Seu comprimento de onda é intensamente absorvido pela água intra e extracelular. Laser de CO<sub>2</sub> contínuo **foi primeiro desenvolvido como instrumento de corte cirúrgico**. Seu uso foi limitado pelo perigo de desidratação dos tecidos adjacentes. Essa limitação fez com que fossem desenvolvidos lasers de CO<sub>2</sub> **pulsados** que permitem um resurfacing com precisão e menores riscos.

Várias modificações relativamente recentes têm sido aplicadas aos lasers de CO<sub>2</sub>, permitindo seu uso corrente e como laser de escolha para resurfacing cutâneos profundos e para cicatrizes de acne. Apresenta também indicações para o tratamento de rugas, lesões superficiais, outros tipos de cicatrizes e fotoenvelhecimento. No entanto, pode ocasionar alguns efeitos colaterais significantes como infecção bacteriana e viral pós-operatória, cicatrizes, eritema prolongado e hipopigmentação permanente.

**Os Lasers de CO2:** podem ser contínuos, superpulsados, ultrapulsados e flashscan(2), e fracionado.

Como a tecnologia utilizando laser de CO2 foi uma das primeiras tecnologias a serem utilizadas e por terem um comprimento de onda muito alto, com atração não seletiva por cromóforos

específicos(o CO2 atinge a água), tornou-se agressivo, com down time elevado e algumas complicações quanto a cicatrização, tendo sido ultrapassado por outras novas tecnologias. Atualmente tem seu uso enaltecido por ter sido associada a tecnologia fracionada com atuação aleatória na pele.

## **Luz do Laser de CO2**

- **Pulsado:** energia constante – dano tecidual intenso -> utilização para corte e coagulação. Devido à condução do calor cerca de 1mm do tecido colateral é lesado.

- **Superpulsados:** pulsos extrema/e rápidos,de maneira que o tecido interpetra de maneira contínua,embora o dano tecidual colateral seja menor.

- **Ultrapulsados:** altos picos de energia,pulsos mais longos e intervalos entre os pulsos mais demorados, levando a vaporização do tecido com mínimo dano térmico à distância.

- **Flashscan:** utiliza fonte contínua em que espelhos computadorizados focalizam o feixe no tecido, distribuindo-o em forma de espiral. Menos de 0,1mm de dano colateral.(2,3).

- **Fracionados:** emitem luz de maneira fracionada e aleatória promovendo menor down time, menor dor e resultados satisfatórios.

**Erbium laser** com um comprimento de onda de **2940nm** também têm sido utilizado para resurfacing, com a vantagem de produzir menor eritema, (devido a sua alta precisão)e ablação superficial com menor injúria térmica que o laser de CO2. Limitada profundidade de penetração pode contribuir para menores resultados clínicos do resurfacing quando comparado com os pulsos do laser de CO<sub>2</sub>.

## **LASER CO2**

- Comprimento de Onda: 10.600nm (luz invisível). Nessa faixa não

há um cromóforo específico que absorva o laser, ocorrendo, portanto, absorção não seletiva da luz pela água intra e extravascular. Após o tecido ter sido irradiado, ocorre necrose de coagulação da epiderme e derme.

- Atua em padrão focado e desfocado dependendo da distância entre o handpiece e a pele. **Focado:** próximo a pele, alta energia concentrada em pequena área, corte do tecido. **Desfocado:** afastado da pele, ocorre vaporização do tecido, sem destruição de estruturas mais profundas.

- Onda contínua, pulsed, ou scanned.

- **Indicações:** Vaporização, situações onde deseja-se evitar sangramento cutâneo (verrugas vulgares, condiloma acuminado, tumores benignos da pele, lesões pré-malignas da pele (queratose actínica, queilite actínica) ablação de ríides, cicatrizes e fotoenvelhecimento.

## LASER ERBIUM

- **Comprimento de Onda:** 2940nm (espectro invisível);

- Pulsado;

- Duração de pulso de 350microsegundos. A duração de pulso é mais curta que a do Laser de CO2 promovendo maior sangramento, menor difusão termal e aumento do sangramento intra-operatório;

- A faixa de onda do infravermelho de 2940nm é seletivamente absorvida pela água;

- Apresenta meio ativo que contém cristal Yag absorvido a 50% de íons Erbium;

- Indicações: Ríides, cicatrizes, fotoenvelhecimento;

- Apresenta coeficiente de absorção 20 vezes superior ao CO2, sendo assim sua penetração 20 vezes inferior ao CO2;

- Excelente tratamento para a ablação tecidual leve com menor eritema no pós-operatório;

- Por trabalhar com menor energia, não proporciona hemostasia durante o ato operatório, havendo sangramento durante o procedimento.

## LASER RUBY

- Comprimento de Onda: 694nm, luz vermelha;
- Pulsado (long pulsed), duração de 20-50nseg;
- Cromóforo: melanina

## LASER ALEXANDRITA

- Comprimento de Onda(CO): 755nm (próximo à luz infravermelha do espectro);
- Modelo: Q-switched, 50-100µs Long pulsed, 10-50ms;
- Indicações: Pigmentação epidérmica, dérmica, principalmente pigmentos azul, preto, verde e cinza, nevus de Ota e Remoção de pêlos(quando trabalhando em ms, long pulsed).

## DIODO LONG PULSED

- Comprimento de Onda: 800-1000;
- Onda contínua ou pulsado;
- Indicações: **Remoção de Pêlos** (melhor equipamento) e **telangiectasias**.

## Nd:YAG

- **YAG** = **Y**trium **A**luminum **G**arnet;
- Onda: Contínua (pulsado e Q-switching com pulso de 10ns);
- Comprimento de Onda: 1064nm;532nm;
- Cromóforos alvo: Proteínas teciduais;
- Meio: sólido (Nd:YAG cristal);
- É usado primariamente para lesões vasculares profundas;
- É absorvido primariamente por proteínas(incluindo hemoglobina) e apresenta mínima absorção pela água;
- 1064nm,pulsado e com duração de pulso de 10nseg -> pigmentos escuros de tatuagem: azul,preto e verde, **remodelação dérmica não ablativa**, nevus de Ota, **remoção de pêlos**;

- Foi o primeiro laser aprovado para remoção dos pêlos. Porém era utilizado pasta de carbono suspenso em óleo mineral para escurecer os folículos pilosos.
- **Frequência:** 532nm -> pigmentos de tonalidade vermelha (tatuagem vermelho, rosa, purpúrico e laranja) e pigmentação epidérmica superficial;
- **Frequência:** 1064nm é usado para remoção de tatuagens.

## DYE LASER

- Trata-se do mais seletivo laser para o cromóforo alvo oxihemoglobina.
- **Meio líquido:** Corante orgânico Rodamina
- Foi o primeiro de uma série de novos aparelhos de sistemas de lasers designados a tratar cromóforos específicos e consequentemente específicas lesões. O conceito de fototermólise foi desenvolvido por Anderson e Parish em Harvard no início de 1980 e foi subsequentemente aplicado no desenvolvimento deste laser.
- 577, 585, 590, 595 e 600nm -> Luz amarela – Pulsed Dye(Yellow).
- Apresenta uma flashlamp como fonte de energia e meio líquido com corante orgânico a base de rodamina no meio ativo.
- **585:** penetração de 1,2mm. Absorção excelente pela oxihemoglobina e diminuição da destruição da melanina.
- **Duração de pulso:** 450µseg (respeitando o TRT dos vasos sanguíneos (200-3000µseg)), havendo necrose intravascular e ruptura da parede do vaso. Logo após o tratamento ocorre formação de púrpura devido a essa ruptura.
- **Indicações: Manchas vinho do porto, hemangiomas, telangiectasias,** nevo rubi, granuloma piogênico. Crianças e adultos.

- IPL ou LIP.
- Luz Intensa Pulsada trata-se de um aparelho laser-like que usa uma flashlamp que produz um amplo espectro de luz intensa

pulsada de 515-1200nm.

- Produz uma luz não coerente com variáveis pulsos de duração e intervalos.
- Uma série de filtros são utilizados para cortar o espectro conforme o cromóforo alvo.
- No caso de lesões vasculares corta no espectro de 515-590.
- As fluências normalmente vão até 80J/cm<sup>2</sup> em pulso simples, duplo ou triplo com velocidade de 2-10ms.
- A luz é entregue por uma filamento de 8 x 15mm ou 8 x 35mm que permite tratar áreas extensas.
- Energia luminosa intensa cujo espectro varia de 515-1200nm, que pode ser selecionada por filtros. A luz é pulsátil com duração de pulso entre 0,5 e 25ms. A principal indicação seria para o tratamento de telangectasias e microvarizes?
- É mais utilizado atualmente para remoção de pêlos (aprovado pelo FDA), poikiloderma de Civatti, rosácea, quelóide, melanoses, efélides e rejuvenescimento não ablativo.
- Resultados modestos na neocolagênese, no remodelamento do colágeno e na melhora das rugas.

#### DESTINO DO PIGMENTO DE TATUAGEM POS LASER

- O destino das partículas dos pigmentos após a irradiação do laser permanece ainda desconhecido.
- **As possibilidades incluem:** fragmentação direta das partículas de tinta; desprendimento da tinta dentro do espaço dérmico extracelular, parcial eliminação da tinta na crosta eliminada; re-fagocitose das partículas de tinta pelo laser alteradas e aumento da eliminação de tinta via linfáticos.

## MODALIDADES DE TRATAMENTO FÍSICO

### TERAPIA A LASER

#### ASPECTOS-CHAVE

- O laser possui apresenta uma rápida expansão em aplicações clínicas e cirúrgicas;
- Avanços tecnológicos e uma melhor compreensão de interações entre tecido e laser levaram ao desenvolvimento de aparelhos de alta energia pulsados que podem alcançar de forma seletiva diferentes estruturas da pele, tais como vasos sanguíneos, partículas de pigmento e folículos pilosos;
- A proteção da epiderme com sistemas de resfriamento ativos durante o tratamento a laser de lesões cutâneas reduz o risco de efeitos colaterais, aumenta a tolerabilidade do paciente, permite o uso de fluências mais altas com eficácia maior do tratamento;
- O uso de comprimentos de ondas mais longos, durações de pulso mais longas e fluência mais alta, juntamente com resfriamento ativo da epiderme têm melhorado significativamente a habilidade dos lasers de tratar lesões vasculares;
- O tratamento a laser de lesões pigmentadas está bem estabelecido, mas existe uma controvérsia contínua

quanto ao tratamento apropriado de nevos melanocíticos congênito e adquirido;

- Rejuvenescimento da pele a laser sem uso de corte tem sido recentemente introduzido na prática clínica, oferecendo uma alternativa com lasers de CO<sub>2</sub> escaneados ou pulsados e erbio: Nd:YAG para pacientes com cicatrizes e rugas suaves;

- Redução capilar por tempo prolongado é agora viável, em indivíduos pouco ou muito pigmentados, devido à disponibilidade de lasers com comprimentos de ondas e durações de pulsos variáveis.

## **INTRODUÇÃO E CONHECIMENTO PRÉVIO**

A evolução extraordinariamente rápida dos lasers na medicina e cirurgia ocorreu dentro de quatro décadas desde que o primeiro laser, de rubi, foi usado no tratamento de doenças cutâneas. Nos anos 60 e 70, o argônio e lasers de CO<sub>2</sub> de onda contínua (CW) foram usados para cortar ou coagular lesões superficiais da pele. A teoria da fototermólise seletiva, proposta por Anderson e Parrish, em 1983, levou ao desenvolvimento de lasers pulsados de alta energia capazes de destruir seletivamente células e suas organelas.

## **LASERS PARA LESÕES VASCULARES**

O tratamento a laser de lesões vasculares adquiridas e congênitas progrediu de forma significativa nessas últimas décadas. O laser CW foi o primeiro a ser aplicado no tratamento dessas lesões, mas

o seu uso era freqüentemente complicado, por mudanças inaceitáveis na textura da pele. O desenvolvimento de lasers pulsados, de acordo com os princípios de fototermólise seletiva, redefiniu a terapia de doenças vasculares.

## TIPOS DE LASERS

Os lasers usados para lesões vasculares são separados em três categorias: lasers contínuos e quase-contínuos, lasers pulsados e fontes levemente pulsadas.

### LASERS DE ONDA CONTÍNUA E QUASE-CONTÍNUA

A primeira categoria inclui lasers tais como o laser de argônio (488 nm-514 nm), o laser de argônio bombeado ajustável na cor (488-638 nm), o vapor de cobre e lasers de brometo de cobre (578 nm), o laser de fosfato de potássio e titânio (KTP-532 nm) e o laser de criptônio (568 nm). O laser de argônio foi o tratamento de escolha para muitas lesões vasculares dos anos 70 até o fim da década de 80. Apesar da absorção seletiva da luz de laser de argônio, pela hemoglobina, em vasos sangüíneos, a natureza contínua do raio de luz produz uma lesão, devido ao calor (térmico) não-específico no tecido adjacente aos alvos vasculares, aumentando a probabilidade de formação de cicatriz. Além do mais, a absorção concomitante pela melanina leva freqüentemente a mudanças de pigmentação que são permanentes após a terapia a laser. Apesar do alto índice de efeitos adversos, o laser argônio ainda é útil no tratamento de manchas vinho-do-porto nodulares (PWSs), telangiectasias faciais, angiomas em aranha de fluxo alto, granulomas piogênicos, e lagos venosos espessos. Os lasers de ondas semicontínuas (cobre, brometo, criptônio e KTP) têm sido usados para muitas lesões vasculares diferentes, mas devido ao seu curto intervalo entre os pulsos, os vasos não resfriaram adequadamente depois da pulsação

do laser, e a lesão vascular produzida é idêntica àquela de laser CW. Em um esforço para otimizar o tratamento e limitar o prejuízo dos tecidos adjacentes, aparelhos cuidadosamente examinados foram anexados aos lasers CW e de ondas semicontínuas, distribuindo pontos pequenos e não-adjacentes em uma área de tratamento predeterminada. Ainda, a duração do pulso permaneceu longa demais para fototermólise seletiva a ser realizada, aumentando o risco de prejuízo térmico extensivo.

## LASERS PULSADOS

Estes são divididos em três categorias principais: lasers de corantes pulsados, os lasers KTP pulsados e os lasers pulsados infravermelhos (IR).

## LASERS DE CORANTE PULSADA

O laser de corante pulsado, pulsed dye laser(PDL), foi o primeiro laser desenvolvido baseado na teoria da fototermólise seletiva e foi projetado especialmente para tratar interiormente vasos nas PWSs em crianças. Ele usa uma lanterna de luz de alto poder para energizar uma tintura orgânica (rodamina) e para produzir um pulso verdadeiro de luz amarela. A PDL original emitiu um comprimento de onda de 577 nm, coincidindo com o último pico de absorção de oxihemoglobina, A tintura foi então modificada, para produzir luz em 585 nm e para levar em consideração a penetração de tecido mais profundo da luz, apesar de uma ação vascular levemente menos seletivo. A duração do pulso da PDL tradicional (450µs) é mais curta do que o tempo de relaxamento térmico calculado da vasculatura cutânea (1 a 3 ms por diâmetro de vaso de 10 a 100 µm, respectivamente) e leva em consideração a absorção de energia suficiente pela oxihemoglobina, ao causar coagulação das

hemáceas. Um exame histológico das PWSs, após tratamento com PDLs, demonstra uma epiderme intacta com vasos sanguíneos da pele superficiais, contendo eritrócitos aglutinados, fibrina e trombina. Estes achados histológicos correlacionam-se com a púrpura vista clinicamente, imediatamente após exposição aos PDLs. Um mês após o tratamento, os vasos destruídos são substituídos por vasos de aparência normal, sem evidência de cicatriz na pele.

O PDL clássico é considerado o tratamento de escolha para muitas lesões vasculares, tais como as PWSs, particularmente em bebês e crianças, telangiectasia facial, incluindo angiomas em aranha, eritema e telangiectasia associados com rosácea, hemangioma superficial, e poiquiloderma de Civatte. O uso de PDLs foi também expandido para incluir lesões não vasculares, tais como verrugas, cicatrizes hipertróficas, estrias extensas, rugas e psoríase.

Modificações mais recentes no PDL incluíram a adição de sistemas de resfriamento ativo, tais como um sistema de resfriamento em spray que distribui esguichos a temperaturas baixas na superfície da pele antes da pulsação a laser (aparelho de resfriamento dinâmico, Candela, Wayland, MA), ou um sistema de resfriamento de ar com um fluxo contínuo de ar resfriado na área de tratamento, durante a aplicação do laser (SmartCool, Cynosure, Chelmsford, MA). Protegendo a epiderme, estes métodos de resfriamento permitem o uso de doses de luz de incidência mais alta para o tratamento de lesões vasculares resistentes e reduzem a dor e a aflição associados à terapia a laser.

Apesar da eficácia de PDLs clássicos em uma variedade de entidades vasculares, algumas lesões profundas com vasos sanguíneos maiores, tais como telangiectasias da perna e alguns PWSs são resistentes a esta terapêutica. O desenvolvimento de púrpura no pós-operatório, que geralmente dura de duas a três semanas, permanece um fator limitante para muitos pacientes. Além do mais, estudos mostraram que a duração do pulso ótimo para o tratamento de vasos de 30-50 $\mu$ m de diâmetro está situada no domínio de 1-10ms. Estas observações levaram ao desenvolvimento de PDLs com comprimentos de onda de

penetração mais profunda (595 e 600 nm) e durações levemente mais longas (1,5 ms), que aquecem os vasos mais suavemente, produzindo púrpura menos profunda e de menor duração do que os PDLs tradicionais (clássicos). Usados com um spray resfriador e um software que permite fluências muito alta, os lasers de tintura de pulso longo alcançaram resultados impressionantes nas PWSs e hemangiomas, com clareamento mais rápido das lesões e menos sessões de tratamento. Vasos faciais que não foram receptivos ao tratamento de PDL clássico, assim como o PDL azul e os vasos mais profundos nas cavidades paranasais, também mostraram resposta significativa após o tratamento com os lasers de tintura de pulso longo. O tratamento de veias na perna de menos de 0,4 mm de diâmetro também indica promessa, mas os resultados no tratamento de vasos de calibre mais grosso foram decepcionantes.

Os lasers mais novos de corante de pulso variado ou ultralongo (V-Beam, Candela, Wayland, MA; V Star, Cynosure, Chelmsford, MA) foram recentemente adicionados ao grupo de sistemas de PDL. Ao distribuir fluências de laser equivalentes sobre durações de pulso variáveis (mais de 40 ms), esses aparelhos versáteis de laser são capazes de tratar vasos de vários tamanhos. Além disso, sua duração de pulso mais longa permite um aquecimento mais suave e uniforme dos vasos atingidos, resultando em redução ou ausência de púrpura pós-operatória. Estudos clínicos indicaram que este tipo de laser é altamente eficiente no tratamento de eritema facial (sem vasos visíveis), com fluências que não resultam em púrpura. O tratamento de telangiectasias faciais visíveis ou PWSs pode também ser realizada, mas com fluências imediatamente acima do limiar para indução de púrpura.

## LASERS KTP PULSADOS

Lasers KTP pulsados ou Nd:YAG de dupla frequência e longo pulso, que emitem luz verde em 532 nm, também foram desenvolvidos num esforço em tratar anomalias vasculares sem

púrpura, no período pós-operatório. Vários lasers KTP pulsados estão atualmente em uso clínico, com durações de pulso variando de 1 ms a 100 ms, atingidos no tecido através de um aparelho de fibra ótica. Estudos mostraram que estes lasers são eficazes no tratamento de telangiectasia facial e uma variedade de anomalias vasculares, mas a sua eficácia no tratamento de PWSs e telangiectasias na perna está ainda sob investigação. As vantagens distintas deste grupo de lasers são a forte absorção de seu comprimento de onda, de 532 nm, pela hemoglobina e ausência de púrpura no período pós-operatório. Os últimos resultados do aquecimento lento de vasos sanguíneos em durações de pulso mais longas levaram em consideração o resfriamento dos vasos, sem a ruptura da parede do vaso ou extravasamento de células sanguíneas dentro dos espaços intersticiais. A desvantagem dos lasers KTP pulsados é a sua profundidade limitada de penetração na pele, devido a seu comprimento de onda curto. Além disso, a luz de 532 nm compete pela absorção com melanina mais do que os comprimentos de onda mais longos, resultando em mudanças potenciais de pigmentos, particularmente em pacientes com pele de pigmentação mais escura.

## LASER INFRAVERMELHO DE PULSO LONGO

Oxihemoglobina e hemoglobina reduzida têm características de absorção com ligações no espectro próximo a infravermelho (700-1200 nm) e na velocidade ms. Vários lasers pulsados emitindo no espectro próximo ao infravermelho foram usados no tratamento de veias nas pernas, tais como a alexandrite (755 nm), o diodo (800

nm) e o Nd:YAG (1064 nm). Seu comprimento de onda é menos absorvido pela melanina, portanto, permite uma penetração mais profunda na pele, mas a sua absorção pela hemoglobina é muito menor do que outros lasers vasculares específicos. É, entretanto, suficiente para fotocoagular veias reticulares superficiais e mais profundas (com mais de 3 mm de diâmetro) de forma eficaz, através de pele clara ou com pigmentação mais escura.

## **FONTE DE LUZ INTENSA PULSADA**

A fonte de luz pulsada intensa (IPL) é um aparelho similar ao laser que usa uma fonte de luz para produzir um espectro de luz de ligação ampla, emitindo de 515 a 1200 nm. Este dispositivo produz luz pulsada não coerente em durações de pulso variáveis e intervalos. Uma série de filtros descontínuos é usada para mudar o espectro no alcance, aumentado de 515 a 590 nm, a fim de tratar lesões vasculares. O aparelho gera uma variedade de fluência (acima de  $80\text{J}/\text{cm}^2$ ) nos modos de pulso único, duplo ou triplo, no domínio 2-10 ms. A luz é distribuída por uma fibra em uma abertura de 8x15 mm ou 8x35 mm ou em outras configurações conforme o aparelho, permitindo o tratamento de áreas amplas. Em um esforço para diminuir o prejuízo na epiderme e aumentar a eficácia da energia da luz em vasos mais profundos, um gel de resfriamento de ligação é aplicado na pele. A maior vantagem desse aparelho é a sua versatilidade, apresentando amplo alcance dos comprimentos de onda e as durações de pulso, que permitem o tratamento de lesões vasculares mais profundas. A púrpura no pós-operatório não é produzida na maior parte dos pacientes, mas pode ocorrer com o uso de altas fluências e durações de pulso curtas. As desvantagens da fonte IPL são: períodos mais longos de tratamento, se comparados ao PDL; o número maior de sessões de tratamento exigido para tratar lesões vasculares; e o grau de experiência e paciência necessária pelo operador do laser para obter resultados excelentes.

Uma incidência maior de efeitos adversos, tais como alterações no pigmento, formação de bolhas e de cicatrizes, foram relatados, mas recentes melhoras no software têm ajudado a reduzir o risco de efeitos adversos. A fonte de IPL mostrou ser eficaz no tratamento de telangiectasias faciais e dos membros inferiores, hemangiomas e PWSs. Também foi usada em foto-rejuvenescimento sem uso de corte e para destruir folículos pilosos.

## APLICAÇÕES CLÍNICAS

### **MANCHAS VINHO-DO-PORTO (PWSs)**

As PWSs são mal-formações vasculares que ocorrem em 0,3-0,5% dos recém-nascidos. Elas são compostas de ectasias de capilares na derme papilar. As lesões tornam-se progressivamente ectasiadas e, em 65% dos pacientes, elas evoluem para hipertrofia ou nodularidade, por volta da quinta década de vida. Vários métodos cirúrgicos ou destrutivos foram aplicados no tratamento das PWSs, incluindo crioterapia, exérese e radioterapia. Com o advento da tecnologia do laser e suas aplicações baseadas na teoria da fototermólise seletiva, os lasers são agora considerados o tratamento de escolha para as PWSs.

Um notável clareamento clínico pode ser alcançado com o PDL (585 nm, 450µs), com apenas poucos efeitos colaterais desfavoráveis. Formas mais avançadas, nodulares ou hipertróficas podem não responder ao PDL e são melhor tratadas com os lasers de tinta de pulso mais longo (595-600 nm, 1,5-40 ms), lasers de modo contínuo e semi-contínuo, ou fonte de luz intensa de ligações amplas. Múltiplas sessões de aplicação são exigidas para o tratamento das PWSs e uma resolução considerável das lesões pode ser alcançada com aplicações repetidas de laser na vasta maioria dos pacientes. Estudos revelaram que aproximadamente 75% dos pacientes adultos com PWSs tiveram melhora das lesões em pelo menos 50% após um total de quatro aplicações.

Freqüentemente o grau de clareamento não é homogêneo porque a maioria das lesões é composta de vários vasos de calibres diferentes e com profundidades diferentes de acometimento cutâneo. A taxa de melhora das PWSs depende altamente de sua localização anatômica, com as extremidades distais e lesões torácicas respondendo menos favoravelmente do que lesões na cabeça e pescoço. A resposta ao tratamento também varia nas PWSs da cabeça e pescoço com PWSs da região mediana, respondendo mais rápido do que lesões sobre a segunda ramificação do nervo trigeminal. Lesões nas regiões periorbitárias, nas regiões malares, torácica e nos membros proximais respondem melhor ao tratamento da PDL. Além disso, as PWSs eritematosas mais superficiais desaparecem mais rápido do que as róseas, nas quais as veias ectasiadas estão situadas mais profundamente. De modo geral, o tratamento a laser das PWSs deveria ser começado no início da infância, a fim de diminuir o impacto psicológico da marca de nascença e para evitar o desenvolvimento de hipertrofia. Contudo, como foi demonstrado em um grande estudo clínico, uma resposta favorável às PDLs não depende da idade.

A adição de vários sistemas de resfriamento nos aparelhos de PDL capacitou o uso de fluências mais altas (50% mais altas) com prejuízo mínimo da epiderme e menos desconforto para os pacientes, especialmente aqueles com pigmentação mais escura. Estudos utilizando uma PDL (595 nm, 1,5 ms), juntamente com o spray resfriador, mostraram claramente uma resolução mais rápida em crianças e adultos, assim como um tempo reduzido de cicatrização e uma tolerância melhor do paciente ao tratamento com laser.

## HEMANGIOMAS

Hemangiomas capilares são os tumores vasculares mais comumente descritos, ocorrendo em mais de 2,6% dos recém-nascidos. Os lasers foram usados de forma eficaz para o tratamento de hemangiomas capilares, com um objetivo específico de prevenir

formação de cicatriz, infecção, sangramento recorrente e de proporcionar alívio do trauma psicológico no paciente e na família.

**O PDL é atualmente o tratamento de escolha para hemangiomas capilares**, que estão contidos na maioria de vasos superficiais. Tratamentos múltiplos podem ser necessários para alcançar um clareamento máximo. Um início de tratamento precoce, tanto antes ou imediatamente depois do início do estágio proliferativo do tumor, ajuda a minimizar o rápido crescimento do tumor, assim como sangramentos, ulcerações ou a obstrução de órgãos vitais. Lesões que crescem **3 mm ou menos** podem responder com resolução quase completa. Para lesões que são mais espessas do que 3 mm, é mais difícil parar a progressão e alcançar resolução total. Intervalos de tratamento recomendados são de 2-3 semanas, para proliferar os hemangiomas, e de 1-2 meses, para regredi-los. Devido a sua penetração limitada na pele, a PDL não é eficaz no tratamento de componente profundo de hemangiomas superficiais ou de hemangiomas cavernosos (profundos). Estes últimos são mais prováveis de responder ao tratamento com o laser não seletivo CW Nd:YAG, que penetra mais profundamente, mas tem um risco maior de anormalidades texturais. Eles também podem responder aos lasers mais novos de pulso longo Nd:YAG, que tem uma reação de maior seleção vascular no tecido. Estudos estão sendo realizados no momento para determinar a eficiência dos lasers de tintura de pulso longo (1,5 ms) e de fontes de luz pulsadas no tratamento de hemangiomas.

TELANGIECTASIAS

As telangiectasias podem ser classificadas em quatro tipos: linear, “em árvore”, “em aranha” e puntiforme ou papular. As telangiectasias “em árvore” e linear eritematosas ocorrem freqüentemente na face, particularmente na região nasal, malar e mentoniana. Elas medem de 0,1-1,0 mm de diâmetro e provavelmente resultam de uma variedade de fatores, tais como predisposição genética, fatores hormonais, gravidez, stress e exposição solar crônica. Duas abordagens são bem estabelecidas para o tratamento das telangiectasias com lasers, baseadas nos aparelhos de lasers existentes: as PDLs, que deixam púrpura após o tratamento e as fontes de lasers Nd:YAG de freqüência dupla e de pulso longo, que não causam púrpura. A PDL tradicional mostrou tratar de forma eficiente a telangiectasia facial, assim como a telangiectasia associada à rosácea, eritema, angiomas em aranha, telangiectasia associada à síndrome de CREST (Telangiectasia, Esclerodactilia, Distúrbio da Motilidade Esofágica, Fenômeno de Raynaud, Calcinose) precoce e a telangiectasia essencial generalizada. O laser de tinta de pulso longo (1,5 ms) e os lasers de tinta de pulso ultralongo (acima de 40 ms) são eficientes para todos os tipos de telangiectasia citados, assim como para a telangiectasia linear maior das cavidades paranasais, que podem ser resistentes ao tratamento com PDLs. Os lasers KTP pulsados de luz verde (532 nm) também clareiam a telangiectasia facial e não resultam em púrpura no pós-operatório. Eles também são associados a uma fase de cicatrização da lesão, abreviada com a formação de crosta limitada ou nula e uma aceitação elevada pelos pacientes. As desvantagens incluem o fato de que o tratamento é tedioso e consome muito tempo, exigindo várias sessões em pacientes com telangiectasias extensas.

O laser Nd:YAG pulsado em mili-segundos (1064 nm, 1-100 ms), que tem sido usado no tratamento de vasos da perna, também foi eficaz no tratamento de vasos faciais maiores e mais profundos. Outros sistemas a laser usados são o laser de tinta ajustável bombeado com argônio, o laser de argônio e lasers de modo quase-contínuo (vapor de cobre, brometo de cobre, criptônio, KTP). A fonte de IPL é também muito eficiente para clarear a telangiectasia facial em várias sessões de tratamento, sem

desenvolvimento significativo de púrpura. As fontes de laser visíveis CW, tradicionalmente usadas, podem também tratar a telangiectasia facial sem púrpura no pós-operatório, mas o índice de clareamento é mais baixo do que com as fontes pulsadas, e a taxa de risco/benefício é levemente mais alta.

## VASOS NA PERNA

Atualmente a escleroterapia continua sendo a abordagem mais popular e mais bem sucedida para as varizes na perna. Fontes de laser e de luz têm sido usados como um tratamento coadjuvante a escleroterapia, mas o seu uso foi dificultado pelo tratamento incompleto e uma alta incidência de hipo e hiperpigmentação após o tratamento. A PDL em 585 nm pode ser eficaz nas veias da perna com menos de 0,2 mm de diâmetro, mas ela não funciona bem com veias de calibre mais grosso. Em um estudo, houve hipo e hiperpigmentação persistentes em quase 50% dos pacientes que seguiam o tratamento com PDL. O laser de tintura de pulso longo (1,5 ms) tem sido usado em comprimentos de onda de 595 nm e 600 nm, com remoção das telangiectasias da perna e complicações não freqüentes. Um estudo usando um laser de tintura de pulso longo de 595 nm para tratar telangiectasias de extremidade mais baixa de 0,4-1,5 mm de diâmetro, demonstrou redução de 84% e 76% de telangiectasias após três aplicações, com fluências de 15 J/cm<sup>2</sup> e 20 J/cm<sup>2</sup>, respectivamente. A adição de um sistema de resfriamento com spray à PDL capacitou o uso seguro de fluências suficientemente altas para causar prejuízo vascular irreversível. Um estudo usando laser de tintura de pulso longo de 595 nm, a uma fluência de 23 J/cm<sup>2</sup>, juntamente com o spray resfriador, tratando telangiectasias da perna com mais de 1,2 mm de diâmetro, produziu mais de 75% de clareamento, em 83% dos pacientes, após apenas uma única aplicação. A fonte de IPL foi usada no tratamento de veias da perna com tamanhos variando de 0,3 a 01 mm. Em um estudo, as aplicações consistiram em uma seqüência de pulsos em fluências , variando de 25-70 J/cm<sup>2</sup> e em comprimentos de onda

interrompidos de 515, 550, 570 ou 590 nm, dependendo do diâmetro do vaso. Os autores mostraram mais de 50% de clareamento de vasos em 94% dos casos, após uma a cinco aplicações, com intervalos de duas a quatro semanas. O risco de formação de cicatriz e hiperpigmentação foi mais baixo do que em outros tratamentos.

Fontes de luz visíveis e pulsadas são as preferidas para a telangiectasia superficial isolada, assim como para telangiectasias, após a escleroterapia. Estudos recentes, entretanto, usando lasers com penetração mais profunda, comprimentos de onda próximos ao infravermelho e fluências mais altas, juntamente com vários métodos de resfriamento da epiderme, demonstraram um boa remoção de telangiectasias da perna, situada mais profundamente e de diâmetro maior (acima de 2-3 mm) e veias reticulares. Lasers de Alexandrite de pulso longo (755 nm, 03 ms), com um sistema de resfriamento com spray, alcançaram 75% de clareamento, em 65% dos vasos tratados (com mais de 2 mm de diâmetro) em 12 semanas depois de 1-3 passes de laser. Uma hiperpigmentação temporária foi vista em 35% dos locais de aplicação. O laser de diodo de 810 nm (30-40 ms) foi usado para tratar telangiectasias na perna de 0,4-1,0 mm de diâmetro, juntamente com um aparelho de safira de resfriamento de contato. Nas fluências de 40 J/cm<sup>2</sup>, houve uma redução de 50%, após duas aplicações e um redução de 75%, após três aplicações. Resultados semelhantes foram realizados com um laser de pulso longo Nd:YAG, de 1064 nm (10-16 ms), com fluência de 80-130 J/cm<sup>2</sup>. Setenta e cinco por cento das veias (0,5-3,0 mm de diâmetro) desapareceram em três meses após uma única aplicação.

## OUTRAS LESÕES VASCULARES

Uma grande variedade de lesões vasculares foram tratadas de forma eficaz com os aparelhos de laser disponíveis. Granulomas piogênicos respondem bem ao tratamento de PDL, mas sessões de tratamento múltiplas, em altas fluências são geralmente exigidas. A

poiquiloderma de Civatte também responde favoravelmente às PDLs, mas deve-se ter cuidado, devido à alta incidência de efeitos colaterais no pescoço e tórax, tais como hipo-pigmentação e mudanças na textura. Estas mudanças podem ser evitadas pelo uso de fluências mais baixas. Angiomas em aranha de fluxo baixo desaparecem dentro de 1-2 sessões de aplicação, usando quaisquer dos lasers vasculares. Angiomas de aranha de fluxo alto exigem tratamento agressivo, usando resfriamento para proteger a epiderme superior. Outras condições receptivas aos PDLs, ao vapor de cobre ou a outros lasers CW incluem lagos venosos, angioqueratomas, sarcoma de Kaposi e o componente eritematoso da rosácea.

## **METODOLOGIAS DE TRATAMENTO A LASER PARA LESÕES VASCULARES**

### **ANESTESIA**

O tratamento com a PDL é relativamente bem tolerado por adultos e apenas ocasionalmente exige anestesia. Em bebês e crianças, o tratamento é freqüentemente traumático e exige anestesia tópica, local, regional, ou mesmo geral em certos casos. Um desconforto durante o tratamento com laser é descrito como um estalo de elástico contra a pele. O tratamento de áreas mais sensíveis, tais como a região periorbital e infranasal, os dígitos e a região perineal, pode ser melhor realizado com o uso de um anestésico tópico ou local. No caso dos lasers KTP pulsados de 532 nm, a maioria dos pacientes tem uma sensação de queimação ou de picada temporária, que é geralmente bem tolerada sem qualquer anestesia local.

## TÉCNICA

Com a PDL, pulsos de laser individuais são emitidos através de um aparelho de fibra óptica, e pode ser distribuído numa taxa repetitiva de mais de 1,5 Hz. Os pulsos são colocados de forma adjacente um ao outro, com aproximadamente uma cobertura de 18%, para evitar áreas ausentes entre as marcas circulares, portanto prevenindo uma aparência reticular. A densidade de energia da PDL pode ser variada, indo de 5-12 J/cm<sup>2</sup>, dependendo do fabricante do laser. Em geral, fluências mais baixas são usadas para o tratamento de doenças maculares, enquanto fluências mais altas são utilizadas em lesões vasculares mais hipertróficas. A aparência de descoloração cinza-claro da área tratada é o ponto final terapêutico. No caso do laser de raio de luz tipo V, as fluências podem alcançar mais de 15 J/cm<sup>2</sup>. Quando usado no modo não-púrpura, o ponto final do tratamento é uma púrpura temporária, durando 1-2 segundos, mas não além disso. Com os lasers pulsados KTP e de luz verde, o aparelho é usado perpendicularmente à superfície da pele, a uma distância pré-determinada, e os vasos são traçados individualmente em uma velocidade necessária para aquecer e fechá-los, sem produzir prejuízo da epiderme superior.

O desaparecimento dos vasos e um efeito de branqueamento súbito na área tratada são os pontos finais do tratamento. As fluências e durações de pulso variam, dependendo do aparelho usado. O resfriamento da epiderme com um gel resfriador é aconselhado no tratamento de certas lesões, tais como veias na perna, caso o laser usado não possua um sistema inerente de resfriamento ativo.

## MUDANÇAS E CUIDADOS PÓS-OPERATÓRIOS

Imediatamente após o tratamento, as áreas cuidadas com PDLs desenvolvem púrpura, que gradualmente desintegra-se em aproximadamente 7-14 dias. Com os lasers de tintura de pulso longo, eritema e edema geralmente desenvolvem-se e duram 1-2 dias, embora possam durar mais (acima de 7 dias) em pacientes de pele sensível. Fontes KTP de luz verde produzem um eritema reativo ao redor do sítio tratado, que geralmente diminui em 24 horas. Com cada tipo de laser, o cuidado pós-operatório inclui vestimentas e compressas frias imediatamente após o tratamento e o uso de pomadas com antibiótico ou cicatrizante por vários dias após o procedimento.

## EFEITOS COLATERAIS E COMPLICAÇÕES

Os efeitos colaterais da PDL no tratamento de PWSs não são infreqüentes, e têm sido atribuídos ao uso de fluências inapropriadamente altas ou pulsos de coberturas excessivos. Em um amplo estudo de 701 pacientes tratados com PDLs, o efeito adverso mais freqüente foi hiper-pigmentação (9,1%), seguida por cicatrizes atróficas (4,3%), hipo-pigmentação (1,4%) e formação de cicatriz hipertrófica (0,7%). Esta última pode também ocorrer com as fontes pulsadas de KTP, devido às fluências excessivamente altas ou aos pulsos cobertos. É necessário cuidado ao tratar tipos de pele de pigmentação escura, por causa da absorção concomitante de luz de 532 nm pela melanina da epiderme e pelo potencial para mudanças de pigmentação.

## TRATAMENTO A LASER DE LESÕES PIGMENTADAS

A idéia de tratar a laser lesões pigmentadas foi primeiramente testada por Leon Goldman, no início dos anos 60. Um laser de rubi de modo normal foi usado para alcançar lesões do melanócito e tatuagens. Lasers CW, tais como de CO<sub>2</sub>, Nd:YAG, e lasers de

argônio, foram inicialmente usados para remover pigmentação cutânea, mas devido ao seu efeito de tecido não-específico, eles freqüentemente levaram a sérios efeitos adversos, como exemplo a formação de cicatriz. O desenvolvimento de lasers de pigmento específico, de pulsos curtos (lasers Q-switched), nas últimas duas décadas, capacitou os médicos em tratar pigmentação cutânea com um alto grau de seletividade do tecido e um baixo risco de complicações pós-operatórias. Eles emitem pulsos de alta energia com durações de pulso extremamente curtas, que se direcionam ao pigmento endógeno ou exógeno de forma seletiva, com um prejuízo colateral mínimo às estruturas de tecido adjacentes. Vários estudos experimentais mostraram que o alvo dos lasers Q-switched é o melanossoma, e que a destruição dos melanossomas é o primeiro evento subcelular após irradiação com estes lasers. A ação termomecânica nos melanossomas e a geração de ondas acústicas resultam em dispersão de pigmento em queratinócitos, melanócitos ou células névicas à periferia da célula. Isto dá a aparência de formação de anel celular histologicamente, que se correlaciona em parte com o fenômeno de branqueamento observado imediatamente após terapia a lasers Q-switched de lesões pigmentadas.

## TIPOS DE LASERS

Os lasers que nós atualmente usamos para tratar lesões pigmentares são agrupados em três categorias: os lasers Q-switched ou altamente seletivos, os lasers de seleção menos pigmentados, e os lasers específicos não-pigmentados. Os lasers Q-switched incluem o laser de rubi Q-switched em 694 nm (duração de pulsos de 25-40 ns), o laser alexandrite Q-switched em 755 nm (50-100 ns), e o laser Nd:YAG Q-switched em 1064 nm (5-7 ns), sendo que todos emitem na região infravermelha e são capazes de direcionar pigmento da derme superficial ou mais profunda. Além do mais, o laser Nd:YAG de dupla freqüência Q- Q-switched em 532 nm (duração de pulso de 5-7 ns) e o bombeamento de luz da PDL

em 510 nm (400 ns) emitem comprimentos de onda mais curtos na região verde do espectro eletromagnético, capacitando-os a tratar de forma eficaz anormalidades pigmentares da epiderme. O segundo grupo de lasers de seleção pigmentar menor incluem o CW e os lasers de onda quase-contínua, tais como criptônio (521 nm), vapor de cobre (510 nm), KTP (532 nm) e lasers de argônio (488-514 nm). Estes lasers produzem a remoção pigmentar seletiva nesses comprimentos de onda, mas, na ausência do confinamento espacial reproduzível, da lesão térmica, trazem um risco mais elevado de mudanças de pigmento e de textura comparada aos lasers pulsados. Lasers sem seleção pigmentar, tais como lasers de CO<sub>2</sub> (10 600 nm) e de granada de alumínio e érbio:ítrio (Er:YAG; 2940 nm), são primariamente usados em revestimento da pele, mas podem remover lesões pigmentares superficiais secundariamente. Remoção pigmentar também pode ser alcançada com a fonte de IPL, gerando uma luz pulsada intensa, policromática de infravermelho, em intervalos e extensões de pulsos variáveis. Finalmente, os lasers de pigmentação específica e de pulso mais longo (rubí de pulso longo, 694 nm; alexandrite de pulso longo, 755 nm; diodo, 810 nm; Nd:YAG de longo pulso, 1064 nm) com durações de pulso no domínio de mili-segundos foram empregados no tratamento de certos nevos, dada a sua habilidade em direcionar ninhos grandes de células ao invés de organelas sub-celulares individuais.

A abordagem do tratamento de lesões pigmentares com lasers depende da localização anatômica do pigmento (epidérmica, dérmica ou mista), do tipo de pigmento (melanina, tatuagem ou tinta), e de sua distribuição no tecido (extra ou intracelular). Na maioria dos casos, o cromóforo é a melanina, embora outros pigmentos exógenos ou endógenos podem ser atingidos. Lesões pigmentadas da epiderme respondem bem a lasers de comprimentos de onda mais curtos (acima de 755 nm), ao passo que, para lesões mais profundas de comprimento de onda mais longo, lasers de pigmentação específica (além de 694 nm) são mais adequados. O Nd:YAG Q-switched de 1064 nm é o melhor para tratar pele de pigmentação escura, devido a seu baixo risco de induzir mudanças na pigmentação. Em geral, lentigens tratadas a

laser, efélides e melanoses dérmicas melhoram notavelmente ou clareiam completamente, enquanto máculas café-com-leite (CALMs), hiper-pigmentação pós-inflamatória e o melasma mostram respostas variáveis ao tratamento a laser.

## APLICAÇÕES CLÍNICAS

### **LESÕES PIGMENTADAS DA EPIDERME**

Lesões pigmentadas da epiderme, tais como efélides, lentigens solar e queratoses seborréicas, podem ser tratadas de maneira eficaz com quaisquer lasers pulsados, de pigmentação específica. O tempo de cicatrização e o perfil de efeitos colaterais entre estes lasers são similares, mas a ausência de púrpura após o tratamento com o rubi Q-switched (694 nm) e lasers de alexandrite (755 nm), torna-os levemente preferidos ao invés dos lasers de luz verde, especialmente quando tratando lesões faciais. Uma ou duas sessões de tratamento são geralmente suficientes para clarear a maior parte das lentigens, embora tratamentos mais longos são ocasionalmente exigidos em lesões mais resistentes e maiores. As maiores preocupações do tratamento são as mudanças pigmentares no pós-operatório, tais como hipopigmentação e hiperpigmentação. A hiperpigmentação pós-inflamatória é mais freqüente em indivíduos de pele fototipo III e IV, assim como indivíduos com a pele bronzeada. O risco de hipopigmentação é mais alto com o laser de rubi Q-switched do que com o lasers de alexandrite Q-switched ou o laser Nd:YAG Q-switched em 1064 nm.

Experiência clínica com os lasers Q-switched, entretanto, produziu respostas variadas ao tratamento das CALMs. Clareamento em curto prazo ou completo é freqüentemente alcançado após tratamentos repetidos de laser Q-switched, por um período de

várias semanas ou meses. Conforme o tratamento progride, a uniformidade de cor é interrompida, e a CALM divide-se em um padrão salpicado de pequenas máculas, até clarear completamente. Apesar da melhora inicial, contudo, recorrências são freqüentes, ocorrendo em cerca de 50% dos casos. Há relatos, entretanto, de clareamento completo das CALMs tratadas com um laser de revestimento de tinta pigmentada de 510 nm, sem evidência de recorrência de 1-11/2 ano mais tarde. Os mecanismos que subjazem as recorrências freqüentes de CALMs após a terapia a laser são desconhecidos, mas podem envolver uma descontinuação temporal de transferência de melanossomas dos melanócitos para os queranócitos, e/ou a destruição de queranócitos pigmentados e melanócitos.

## LESÕES PIGMENTADAS DÉRMICAS E EPIDÉRMICA/DÉRMICA COMBINADAS

Apesar de repetitivas tentativas usando Q-switched e lasers ablativos no tratamento do melasma, resultados reproduzíveis com clareamento duradouro raramente têm sido atingidos e o retorno das lesões é quase sempre uma regra. O tipo epidérmico do melasma mostra uma resposta moderada ao tratamento a laser, assim como ocorre com os agentes clareadores ou através dos peelings químicos, enquanto os tipos dérmicos e mistos são geralmente resistentes ao tratamento a laser. Esta resposta pobre ao tratamento a laser está provavelmente relacionada a falha no controle dos mecanismos básicos fisiopatológicos da hipermelanose, como influencia genética, exposição ao sol e fatores hormonais. Além disso, pacientes portadores de melasma que apresentam a pigmentação da pele mais escura, têm um risco significativo de escurecimento após o tratamento a laser. Uma abordagem diferente no tratamento do melasma dérmico mais refratário envolve o uso do laser de revestimento (com pulsos/scanned CO2 ou Er: YAG lasers) para ablação das porções

superficiais da pele, incluindo os melanócitos anormais. Pacientes com melasma refratário foram tratados com um Er:YAG laser (2940nm, 5.1-7.5 J/cm<sup>2</sup>) e, apesar da marcante melhora notada imediatamente após o tratamento, todos os pacientes desenvolveram hiperpigmentação pós-inflamatória. O resultado final, entretanto, seis meses após o tratamento a laser, julgado pelos resultados clínicos e pela espectroscopia *refletida* da melanina, mostrou clareamento significativo dos pigmentos comparados ao período pré-operatório. Clareamento completo do tipo dérmico do melasma foi atingido com uma combinação do laser de revestimento pulsado com CO<sub>2</sub> seguido pelo tratamento com laser alexandrite Q-switched para seletivamente alcançar a melanina dérmica.

Até o desenvolvimento dos lasers com pulsos curtos, não havia tratamento efetivo para as melanocitoses dérmicas como o Nevo de Ota, nevo de Ito e mancha mongólica. A terapia com laser Q-switched tornou-se o tratamento de escolha para este tipo de lesões pigmentares. O laser rubi Q-switched, o laser alexandrite Q-switched e o laser Nd:YAG Q-switched a 1064 nm são todos altamente efetivos para alcançar as células melanocíticas dendríticas na derme, produzindo clareamento lesional significativo (>75%) ou completo após uma média de quatro a oito tratamentos com laser com fluência variando de 5-12 J/cm<sup>2</sup>. O grau de clareamento é geralmente diretamente proporcional ao número de tratamentos executados. Em um estudo usando o laser Q-switched com baixa fluência (5J/cm<sup>2</sup>), lesões acastanhadas e violetas atingiram clareamento ótimo após três a quatro tratamentos com laser, em contraste com o mais altamente pigmentado Nevo azul que exige seis tratamentos para o mesmo grau de clareamento.

Tratamento a laser da hiperpigmentação pós-inflamatória tem sido desapontante. Apesar da melhora poder ser vista inicialmente, retorno ou mesmo piora da pigmentação pode ocorrer em indivíduos sensíveis devido a traumas epidérmicos adicionais do impacto do laser.

Certas formas de hiperpigmentação induzida por drogas também têm sido melhoradas com o uso de laser a pulsos curtos. A hiperpigmentação azul-aczentada causada pela minociclina tem

sido clareada após o tratamento com o laser rubi Q-switched, o laser alexandrite Q-switched e o laser Nd:YAG Q-switched (1064nm). Um resultado similar tem sido relatado com a hiperpigmentação induzida por amiodarona tratada com o laser rubi Q-switched

Nevus spili tem uma resposta variada ao tratamento com laser, mostrando maior melhora das porções profundamente pigmentadas (porções juncionais) do que as porções mais superficiais (porções epidérmicas ou *café-au-lait*). Em um estudo de seis pacientes com nevus spillus, clareamento completo ou próximo ao completo (>80%) foi relatado após uma média de três a quatro sessões usando o tratamento com o laser rubi V(694nm,505-10 j/cm<sup>2</sup>)

Nos nevos de Becker, no qual hiperpigmentação e hipertricose são as principais preocupações do paciente, o laser Q-switched atingiu resultados variáveis. Apesar de múltiplos tratamentos com laser, hipopigmentação, remoção incompleta e retorno ocorrem frequentemente. Apesar das células pigmentadas superficiais dos nevos serem desorganizadas após a exposição ao laser rubi Q-switched, uma quantidade significativa de pigmentos persistem nas estruturas anexais. Crescimento mais esparso do pêlo foi observado após tratamento com laser Q-switched mas é geralmente temporário. As razões para esta pobre resposta e a alta taxa de retorno provavelmente relaciona-se a complexa natureza hamartomatosa dos nevos de Becker e suas dependências hormonais, demonstradas pelo aumento da atividade de seus receptores androgênicos. No momento a melhor abordagem no tratamento destas lesões é a combinação de um laser Q-switched e um laser com pulso mais longo, específico ao pigmento para remover concomitantemente a pigmentação epidérmica e os pêlos do nevos de Becker.

Lentigo maligno *in situ* precursora do lentigo maligna melanoma, tem sido tratada com uma variedade de lasers de uma forma compassiva.

Um estudo de pacientes com lentigo maligno que foram tratados com o laser rubi Q-switched (694nm, 10 j/cm<sup>2</sup>) mostrou significativo clareamento da lesão de três dos quatro pacientes analisados, mas o retorno ocorreu, e em um paciente o tumor recidivou na forma de um melanoma amelanótico. Em geral, nós não recomendamos usar lasers para o tratamento da lentigo maligno. Enquanto lasers Q-switched podem ser usados para clarear a pigmentação, eles de forma alguma alteram a história natural da doença ou alteram seu risco maligno.

## TATUAGENS

Um número de procedimentos diferentes tem sido usado para remover tatuagens, como excisão cirúrgica, dermoabrasão, criocirurgia, ou destruição química cáustica, sujeitas a várias respostas e frequentemente causando cicatrizes. O uso dos lasers Q-switched tem revolucionado o campo da remoção de tatuagens por seletivamente alcançar e clarear pigmentos tatuados com risco mínimo de mudanças textural.

Para um laser ser eficiente na remoção de tatuagens, a luz deve ser absorvida pelo pigmento da tatuagem, e a duração de pulso deve ser mais curta do que o tempo de relaxamento térmico das partículas pigmentadas. Lasers Q-switched apresentam estes critérios distribuindo alta energia, pulsos ultra-curtos (escala de nano-segundo), com um comprimento de onda que é bem absorvido pelo pigmento da tatuagem. Pigmento preto de tatuagem absorve todos os comprimentos de onda, tornando-as as mais suscetíveis ao tratamento, enquanto tatuagens coloridas absorvem seletivamente luz do laser e podem, portanto, ser efetivamente tratadas por apenas um dos aparelhos de laser disponíveis.

O mecanismo pelo qual os lasers Q-switched removem pigmento de tatuagem não está completamente compreendido. Embora alguns dos pigmentos da tatuagem são eliminados externamente, através de crosta, descamação, ou por meio de

refagocitose, estudos histológicos mostraram a presença de uma quantidade considerável de pigmento de tatuagem residual nas áreas tratadas.

O tratamento de tatuagens com laser depende do tipo de tatuagem e seu conteúdo de pigmento. Cada tatuagem pode se constituir de mais de uma cor, e porque não há um único laser que possa tratar de todas as cores, tatuagens multicoloridas geralmente exigem o uso de mais de um laser para remoção completa. Tatuagens amadoras exigem menos tratamentos a laser (três a seis sessões), porque elas geralmente se constituem de um único pigmento baseado em carbono, que é mais facilmente interrompido por pulsos de luz de laser. Tatuagens profissionais são tipicamente mais resistentes ao tratamento a laser, porque elas são mais densamente pigmentadas e podem conter pigmentos múltiplos e menos receptivos, particularmente das cores amarelo e verde-escuro. Seis a dez tratamentos são necessários para melhorar notavelmente tatuagens profissionais, mas ocasionalmente sessões adicionais podem ser exigidas. Frequentemente não é possível clarear totalmente o pigmento da tatuagem. Tatuagens tipicamente traumáticas respondem bem aos lasers Q-switched, devido a sua localização predominantemente superficial e ao pigmento baseado em carbono.

Tatuagens preto-azuladas respondem bem ao tratamento com o laser de rubi Q-switched, com tatuagens amadoras, respondendo mais favoravelmente (85% completamente removidas, em uma média de três tratamentos) do que tatuagens profissionais (10% completamente resolvidas e 70% razoavelmente resolvidas, após uma média de seis tratamentos). Tatuagens verdes são menos receptivas aos lasers de rubi, sendo que 65% delas clareiam após seis a oito tratamentos. Tatuagens amarelas e vermelhas não respondem ao tratamento de lasers de rubi Q-switched, porque a luz vermelha não é bem absorvida pelas partículas de pigmento. O laser de alexandrite Q-switched produz resultados comparáveis ao laser de rubi Q-switched em remoção de tatuagem, devido ao seu comprimento de onda semelhante e à duração de pulso. Devido a absorção concomitante de luz alexandrite ou de rubi pela melanina,

o tratamento a laser pode resultar em hipopigmentação, que é geralmente temporária. O laser Nd:YAG Q-switched (1064 nm) é eficaz na remoção de tatuagens pretas e vermelhas, e isto pode ser mais eficiente ao tratar tatuagens mais profundas do que o laser de rubi, devido a sua penetração mais profunda na pele. O tratamento a laser de tatuagens pode ser notavelmente eficaz, mas ainda está longe do ideal em alguns casos.

## METODOLOGIAS DE TRATAMENTO A LASER PARA LESÕES PIGMENTADAS

### **ANESTESIA**

Anestesia é raramente exigida no tratamento de pequenas lesões pigmentadas. No tratamento do Nevo de Ota e Nevo de Becker, utilizamos solução meio a meio de soro fisiológico com 1-2% de lidocaína com epinefrina (adrenalina) de 1:100 000 ou 1:200 000.

### TÉCNICA

Os parâmetros do tratamento do laser variam e dependem do tipo de laser, do tipo de lesão pigmentada e do fototipo de pele do paciente. Em geral, fluências mais altas são necessárias para lesões dérmicas, comparadas aquelas usadas para lesões da epiderme. Um branqueamento uniforme imediatamente após o tratamento é considerado uma resposta terapêutica adequada. Fluências excessivas que rompem a epiderme deveriam ser evitadas, pois podem resultar em substituição de tecido, tempo de cicatrização prolongado e um risco aumentado de hiperpigmentação ou hipopigmentação pós-inflamatória. Além do mais, pacientes com fototipo de pele de pigmentação escura (tipos IV e V) deveriam ser tratados cuidadosamente com fluências de

energia mais baixas, porque sua resposta de entrada, é provável ocorrer em uma energia mais baixa do que pacientes com pele de pigmentação leve. O número de sessões de tratamento exigido para remover ou melhorar uma lesão pigmentar varia de forma significativa, dependendo do tipo e da localização anatômica da lesão. Enquanto apenas um a três tratamentos são suficientes para algumas desordens pigmentadas (lentigens), tratamentos múltiplos são exigidos por outros (CALMs, tatuagens, nevo de Ota).

## **MUDANÇAS E CUIDADOS PÓS-OPERATÓRIOS**

Imediatamente após o tratamento, a aplicação de gaze encharcada com água gelada, compressas de gelo, ou vestimentas hidro-oclusivas podem aliviar o desconforto de queimação ou de picada. Preferimos realizar curativo com quantidade abundante de creme de dipropionato de clobetasol + gentamicina, deixando até o momento do banho, quando então após enxarcamento abundante e retirado o curativo. Analgésicos também podem ser usados, embora eles sejam raramente exigidos. O paciente é instruído a lavar delicadamente a área tratada com água e sabão, nunca remover as crostas e regularmente aplicar pomada cicatrizante e antibacteriana. A hidratação é fundamental nos primeiros dez dias. Evitar sol e usar um protetor solar de FPS alto (maior ou igual a 30) seria aconselhado durante o período pós-operatório.

## **COMPLICAÇÕES E EFEITOS COLATERAIS**

Mudanças texturais e de pigmentação são os efeitos adversos mais comuns observados em lasers Q-switched. Hipopigmentação temporária e raramente uma despigmentação em longo prazo podem se desenvolver, particularmente com lasers de rubi Q-switched e de alexandrite. Hiper-pigmentação ocorre

freqüentemente em pacientes com pigmentação mais escura, e foi relatada em mais de 16% dos casos em algumas séries.

Respostas alérgicas locais a vários pigmentos de tatuagens, tais como sulfeto de cádmio e cromo, foram relatadas, e reações alérgicas sistêmicas a antígenos de tatuagens mobilizadas foram descritas pelo tratamento a lasers Q-switched. Uma complicação bem conhecida do tratamento com lasers Q-switched é o escurecimento de tatuagens cosméticas contendo pigmentos de tatuagem marrom-claro, branco, vermelho, ou tom de pele. Este fenômeno foi atribuído a uma reação do pigmento óxido férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e ao óxido ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), e leva à aparência imediata de uma cor irreversível preto-acinzentada que é muito difícil de remover, embora possa melhorar após tratamentos a laser repetitivos.

Ocasionalmente os lasers Q-switched podem causar hiperpigmentação em pacientes recebendo certos remédios. **Chrysiasis** localizada foi induzida em um paciente recebendo terapia parenteral de ouro, que passou por um tratamento com um laser de rubi Q-switched para hiperpigmentação pós-inflamatória.

## **RESURFACING DA PELE COM LASER**

O rejuvenescimento sempre foi um assunto de grande importância para o público. Nos anos 80 e início da década de 90, lasers  $\text{CO}_2$  CW foram usados para recuperação da pele foto-prejudicada em um procedimento chamado termoabrasão. Contudo, este procedimento foi associado com taxa de risco inaceitavelmente alta, em conseqüência dos períodos de demora que levaram a uma difusão termal excessiva e à formação de cicatriz. O desenvolvimento de uma força de pico alto prolongado e pulso curto e rapidamente escaneado, lasers de  $\text{CO}_2$  com focos de raios de luz e lasers Er:YAG modo normal, que são capazes de remover camadas de pele prejudicadas de uma forma precisamente controlada, revolucionaram o rejuvenescimento da pele e aumentou nossa habilidade em tratar cicatrizes.

## SISTEMAS DE LASER PARA RESURFACING

Para o resurfacing de pele a laser (LSR) ser eficaz, destruição térmica seletiva baseada nos princípios da foto-termólise seletiva é exigida. A fim de controlar a profundidade do dano térmico que ocorre no tecido, a duração de pulso apropriada deveria ser menor do que 1 ms, e para alcançar vaporização do tecido, energia suficiente deve ser distribuída dentro desse tempo.

Dois sistemas de laser de CO<sub>2</sub> básicos foram utilizados em revestimento cutâneo. O primeiro tipo é o sistema de laser de CO<sub>2</sub> com alto poder de pulso, que distribui energia em pulsos individuais de mais ou menos 1 ms ou menores (Ultra-pulso, Lumenis, Santa Calara, CA). Este laser produz acima de 500 mJ de energia, em cada pulso individual de 600 µs-1ms. O segundo tipo de laser de resurfacing de CO<sub>2</sub> alcança ablação bem-controlada do tecido através de um escaneamento rápido da mancha focal ou de um laser de CO<sub>2</sub> CW focado sobre a pele. Os dois sistemas de laser parecem alcançar resultados clínicos equivalentes em mãos apropriadamente treinadas. Desde o desenvolvimento de sistemas de laser de ultrapulso, outros aparelhos utilizando parâmetros semelhantes foram desenvolvidos, com resultados preliminares sugerindo resultados clínicos equivalentes aos lasers protótipos.

O laser Er:YAG foi desenvolvido mais recentemente para resurfacing da pele. Ele emite luz infra-vermelha com um comprimento de onda de 2940 nm, que é próximo ao pico de absorção de água. Isto resulta em um coeficiente de absorção que é 16 vezes maior do que aquele do laser de CO<sub>2</sub>. A profundidade do laser érbio de penetração é limitada cerca de 3µm de tecido para cada J/cm<sup>2</sup>, versus a profundidade de penetração de 20µm do laser de CO<sub>2</sub>, resultando em uma ablação mais precisa da pele, com dano térmico mínimo nos tecidos próximos (RTD estimado: 10-40 µm). O revestimento com o laser Er:YAG foi associado a menor desconforto durante o procedimento e períodos de cicatrização mais rápidos no pós-operatório, se comparados aos sistemas de

laser de CO<sub>2</sub>. Além do mais, o laser Er:YAG não parece produzir a mesma quantidade de contração de tecido, que pode exercer um importante papel na melhora a longo prazo da pele fotoenvelhecida. Menor eritema, redução do edema, e uma cicatrização mais rápida foram notados no local tratado com laser Er:YAG.

## INDICAÇÕES

O LSR foi usado para uma variedade de doenças de pele, mas as duas indicações mais populares são foto-envelhecimento e formação de cicatriz. Fotoenvelhecimento, que compreende rugas, discromias, lentigos solares, efélides e queratoses atínicas, respondem muito favoravelmente ao LSR. Em particular, rugas periorbitais e periorais, que são tradicionalmente não-receptivas a procedimento de *lifting* facial, podem ser prontamente reduzidas. Rugas finas, especialmente aquelas supraorbitárias, perilabiais, ou em regiões malares podem ser completamente apagadas, ao passo que rugas são freqüentemente suavizadas, possivelmente pelo efeito de encurtamento alcançado com o resurfacing a laser. Este resurfacing é eficaz tanto para cicatrizes de acne quanto para cicatrizes cirúrgicas e traumáticas hipertróficas pois leva em consideração a remoção de tecido com um baixo risco de formação de cicatriz. Também é usado para tratar rinofima, queilite atínica difusa, queratose atínica e outras lesões.

## RESPOSTA CLÍNICA

A maioria dos relatos mostrou uma melhora significativa da pele fotoenvelhecida. A maior parte dos pacientes com rugas alcança uma melhora de 50%-90%.. A melhora é geralmente mais pronunciada em rugas finas, especialmente naquelas periorbitárias e periorais, e menos pronunciada em rugas e sulcos mais profundos.

## EFEITOS COLATERAIS E COMPLICAÇÕES

Efeitos colaterais após resurfacing a laser são freqüentes e previsíveis. No entanto, as complicações podem ser prevenidas, caso a técnica correta for seguida e o gerenciamento pós-operatório seja meticuloso. Eles podem ser divididos em cinco categorias: efeitos imediatos e previsíveis; infecciosos; eczematosos; foliculares; formadores de cicatriz e mudanças pigmentares.

**Imediatos:** eritema durando em média de 1-4 meses é universal e considerado parte do processo normal de cicatrização. A duração do eritema é geralmente de 4 e 8 semanas, para revestimento a laser de CO2 e Er:YAG, respectivamente.

**Pigmentares:** O risco de mudanças pigmentares está geralmente associado à profundidade do dano do laser. Lesão somente na derme papilar é mais provável de causar hiperpigmentação, que depende do tipo de pele. Com passos mais profundos, hipopigmentação é possível. Hiperpigmentação pós-inflamatória é considerada o efeito adverso mais comum possível do resurfacing a laser. Ela pode ocorrer em mais de 36% dos pacientes e é mais freqüentemente vista em pacientes com tipos de pele III-VI de Fitzpatrick. Também é mais freqüente e severa durante os meses de verão e em regiões ensolaradas.

Há dois tipos de hipopigmentação relacionada ao LSR: a primeira é uma hipopigmentação comparada à coloração mosqueada da pele não-tratada fotoprejudicada. Este efeito pode ser minimizado realizando o resurfacing de toda a face ou no mínimo unidades cosméticas inteiras, e fazendo o tratamento em áreas ao redor. O outro tipo de hipopigmentação é uma hipopigmentação tardia que se desenvolve em 6-12 meses após o revestimento e foi relatada em 16% dos pacientes.

**Folicular:** Milia são o resultado de reepiteliação folicular composta pelo uso de umidificantes oclusivos. Acne é um evento pós-operatório freqüente, especialmente em pacientes com um histórico de acne. Geralmente desenvolve-se nas primeiras semanas após o revestimento e responde ao tratamento padrão de acne. Isotretinoína deveria ser evitada no período pós-operatório, devido à possibilidade de formação de cicatriz hipertrófica.

**Dermatite:** Dermatite de contato, notada com o uso de alguns preparativos anestésicos tópicos, não corresponde a achados de teste remendado, mas resolve com tratamento apropriado. Esta ocorrência aumenta as chances de eritema pós-operatório e hiperpigmentação.

**Infecioso:** Em um procedimento que remove a epiderme e parte da derme, infecção é uma preocupação primária. O risco de infecções bacterianas pode ser agora prevenido, devido ao uso profilático de antibióticos sistêmicos e cuidados tópicos apropriado. Entretanto, infecções pelo *Staphylococcus aureus* ou *Pseudomonas aeruginosas* podem ocorrer durante ou após o curso profilático, apresentando pústulas ou crosta amarelada, eritema e cicatrização atrasada, com dor ou prurido.

**Formação de cicatriz:** O risco de formação de cicatriz do resurfacing a laser parece ser pequeno e muito reduzido, com a seleção própria do paciente em uma abordagem conservadora, com relação ao número de sessões de laser e ao bom cuidado da ferida pós-laser. Isso resulta do uso de um grande número de, fluências de energia excessivas, ou empilhamento de pulso (envoltório de locais irradiados com laser) , causando dano térmico excessivo.

## RESUMO DAS TECNOLOGIAS ATUAIS - 2009

- LASER DE ARGÔNIO
- FLAHLAMP PUMPED PULSED DYE LASER
- KRYPTON
- PIGMENTED DYE LASER
- Q-SWITCHED LASERS
- Q-SWITCHED RUBY
- Q-SWITCHED NEODYMIUM YAG LASER(Q-YAG 5)
- Q-SWITCHED ALEXANDRITE LASER
- LASER DE CO2(ANTIGOS E FRACIONADOS\_
- LASER DE ERBIUM(PIXEL,PEARL)
- LASER DE DIODO(SOPRANO,LIGHT SHEER)
- EXCIMER LASER(XTRAC)
- LUZ PULSADA DE ALTA  
ENERGIA(QUANTUM,HARMONY,STAR  
LUX,PROFILE,DERMAPULSE,PLATAFORMA XEO,E-MAX)
- ERBIUM 1550 FRACIONADO NÃO ABLATIVO(FRAXEL)
- ERBIUM 1540 FRACIONADO NÃO ABLATIVO(PONTEIRA 1540  
PLATAFORMA STAR LUX)
- ERBIUM 2940 FRACIONADO ABLATIVO(PIXEL)
- ERBIUM 2790 FRACIONADO ABLATIVO(PEARL)
- INFRA-VERMELHO PROFUNDO(TITAN)
- INFRA-VERMELHO PROXIMO(NIR)