

Laser: fundamentos e indicações em dermatologia

Laser: bases and use in dermatology

M.^a Goreti Catorze

Centro de Dermatologia Médico-Cirúrgica de Lisboa.

Correspondencia:

M.^a Goreti Catorze

Centro de Dermatologia Médico-Cirúrgica de Lisboa

Ministério da Saúde, ARSLVT

Rua José Estevão, 135

1150-201 Lisboa

Tel.: 21 3196200/7 - Fax: 21 3534888

e-mail: goreticatorze@iol.pt

Resumo

"Laser" é um acrónimo de "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*". Na prática, são dispositivos que produzem radiação electromagnética (REM) por um processo denominado "emissão estimulada". A luz laser é coerente, monocromática e colimada o que a distingue das outras formas de REM e lhe dá potencialidades próprias. Estas características têm sido aproveitadas em numerosas áreas nomeadamente na medicina. Em 1964 foi inventado o laser de CO₂ que continua a ser usado como laser cirúrgico. A par do laser Erbium:YAG, o laser de CO₂ também é usado no rejuvenescimento cutâneo tanto no modo normal, em que a pele é atingida de forma uniforme pelo feixe laser, como no modo fraccionado, em que o feixe laser emite radiação como se fosse um chuveiro. Mais recentemente surgiram lasers de rejuvenescimento cutâneo que actuam na derme com atingimento mínimo da epiderme. São os chamados sistemas não ablativos. Em 1983, o conceito de fototermólise selectiva postula que uma substância pode ser atingida selectivamente se o comprimento de onda da emissão laser for idêntico ao dessa mesma substância. Este conceito deu origem ao aparecimento de lasers que actuam de forma específica em certos tecidos ou pigmentos como a hemoglobina, pigmentos externos das tatuagens e melanina da pele e dos pêlos. A luz intensa pulsada não é um laser mas é usada de acordo com os mesmos princípios e permite seleccionar comprimentos de onda com utilidade no fotorrejuvenescimento e epilação.

(M.^a Goreti Catorze. Laser: fundamentos e indicações em dermatologia. Med Cutan Iber Lat Am 2009;37(1):5-27)

Palavras chave: laser, luz intensa pulsada (IPL), laser CO₂, fototermólise selectiva, lasers vasculares, laser epilatórios, laser Q-switched, rejuvenescimento cutâneo, renovação fraccionada ablativa, renovação fraccionada não ablativa.

Summary

The term "Laser" is an acronym for "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*". It is a device that emits electromagnetic radiation (EMR) by the process of "stimulated emission". Light laser is coherent, monochromatic and collimated in contrast to other light sources of EMR. These features allow its use to a lot of purposes namely, medical purposes. In 1964, CO₂ laser was invented and is still one of the most useful surgical lasers. Equal to Erbium:YAG, CO₂ laser is also used for skin resurfacing not only in normal mode, in which skin is attained by laser beam uniformly, but also in micro-fractional mode, in which laser beam emits radiation as a shower. Recently, there are lasers used in cutaneous rejuvenation that penetrate into dermis without destruction of epidermis. They are called micro-fractional non ablative lasers. In 1983 theory of tissue selective photothermolysis was presented: laser beam can be selectively absorbed by a substance with the same wavelength of the laser. This effect gave origin to a variety of specialized lasers acting in certain tissues or pigments like haemoglobin, tattoo pigment and skin and hair melanin. Intense pulsed light is not a laser device but is used according the same rules and allow to select specific wavelengths useful in the treatment of photo-rejuvenation and epilation.

Key words: laser, intense pulsed light (IPL), CO₂ laser, selective photothermolysis, vascular laser, laser hair removal, Q-switched laser, skin resurfacing, micro-fractional ablative laser, micro-fractional non ablative laser.

Definição

LASER é um acrónimo de “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*” que quer dizer: “amplificação da luz por emissão estimulada de radiação”. Em termos práticos, chamamos laser a certos dispositivos que geram radiação electromagnética (REM) com características próprias[1-6]. Luz e radiação são aqui usadas de forma indistinta.

Radiação electromagnética

A radiação electromagnética é uma onda que se autopropaga no espaço resultante da interacção de campos eléctricos e magnéticos (Figura 1). Classifica-se de acordo com o comprimento de onda (Δ), que é a distância entre 2 cristas consecutivas da onda (Figura 1). A frequência (ν) é o número de ondas por unidade de tempo ou contidas na unidade de comprimento (Figura 2)[1]. A unidade elementar de REM é o fóton. De acordo com a mecânica quântica este é simultaneamente onda e partícula. O espectro electromagnético é constituído por radiação de vários comprimentos de onda: raios gama, raios X, ultravioletas, luz visível, infravermelhos, micro-ondas e ondas de rádio (Figura 2). Têm aplicações práticas muito diversas. Chama-se luz à parte de radiação que é percebida pelo olho humano (Figura 2). Os lasers podem emitir radiações de todas as frequências[1].

Voltando à palavra LASER, já explicámos o significado de L = luz = REM. Passamos agora a ASER, “amplificação por emissão estimulada de radiação” que é o processo pelo qual esta forma de luz é gerada.

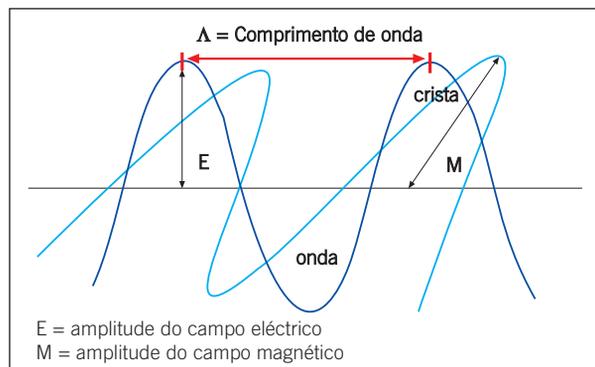


Figura 1. Radiação electromagnética.

Amplificação por emissão estimulada de radiação

Em 1917, Einstein desenvolve a teoria quântica e deste modo lança os fundamentos da invenção do laser ao propor o conceito de emissão estimulada. De acordo com a mecânica quântica, os átomos encontram-se de forma preferencial no estado fundamental que é o estado de menor energia e por isso o mais estável. Quando o átomo recebe um fóton (= energia) passa a um estado excitado, instável e tende a emití-lo o mais depressa possível para regressar novamente ao seu estado estável (Figura 3). A emissão estimulada baseia-se neste facto: se uma população de átomos for transportada para estados excitados, de energia superior

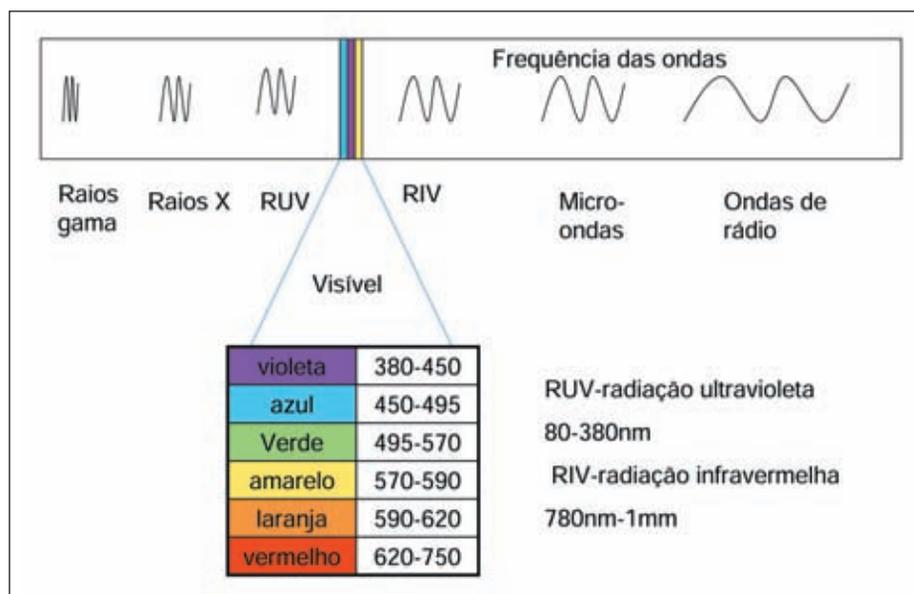


Figura 2. Espectro electromagnético.

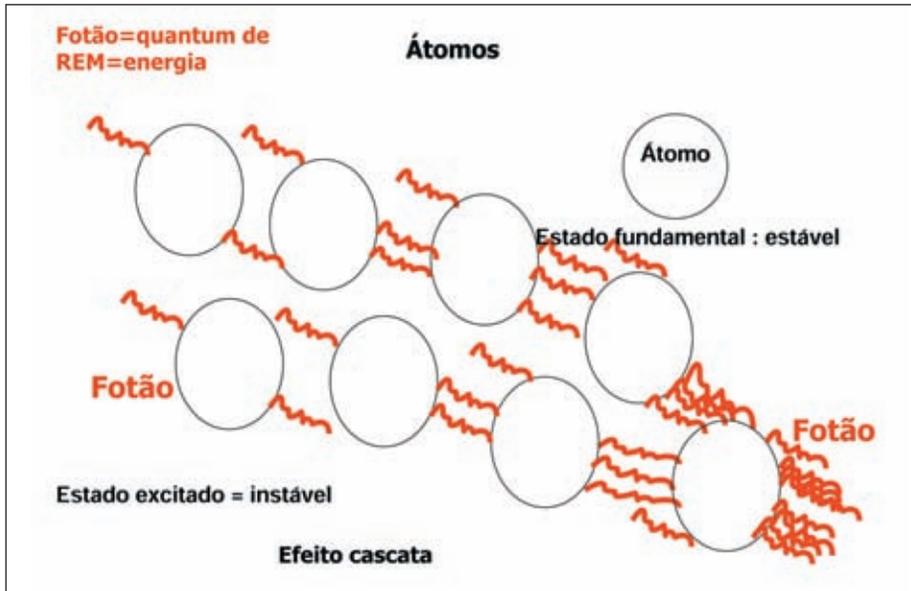


Figura 3. Emissão estimulada: amplificação da radiação.

—“inversão da população”, esses fótons serão emitidos espontaneamente. Como aos fótons iniciais fornecidos a partir duma fonte externa de energia se juntam os fótons re-emitidos pelos átomos adjacentes, gera-se um efeito de cascata em que esses fótons estimulam os átomos vizinhos— “amplificação da radiação” (Figura 3). Os fótons re-emitidos são idênticos aos fótons estimulantes o que significa que têm o mesmo comprimento de onda, polarização, direcção de propagação e estão em fase uns com os outros[1].

Características da luz laser

Ao contrário da luz solar e da luz incandescente que são caóticas e emitem radiação em todas as direcções e de todo o espectro de comprimento de onda, a luz laser tem características diferentes (Figura 4): é 1) *coerente*: as ondas estão em fase no tempo e no espaço; 2) *monocromática*: têm o mesmo comprimento de onda (luz pura, da mesma cor); 3) *colimada*: as ondas têm a mesma direcção, a luz é paralela, não divergente, estreita, concentrada, 1 mm de diâmetro; 4)

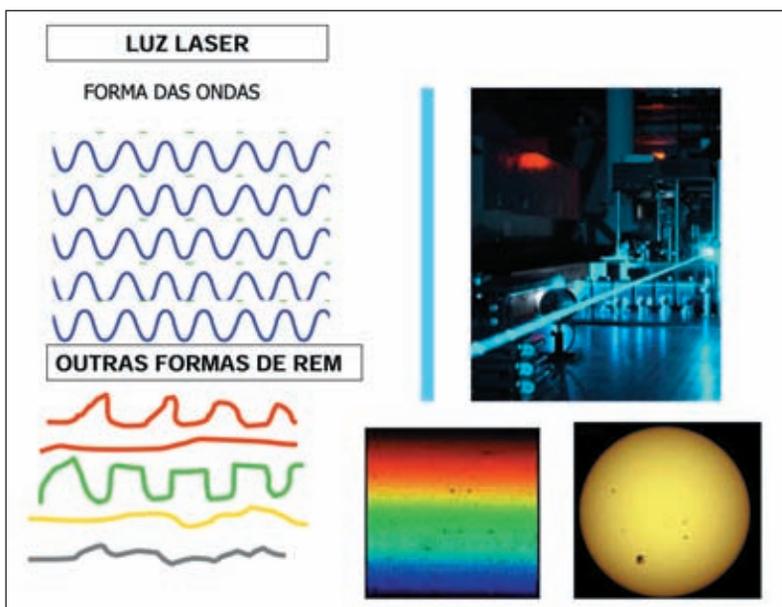


Figura 4. Características da REM.

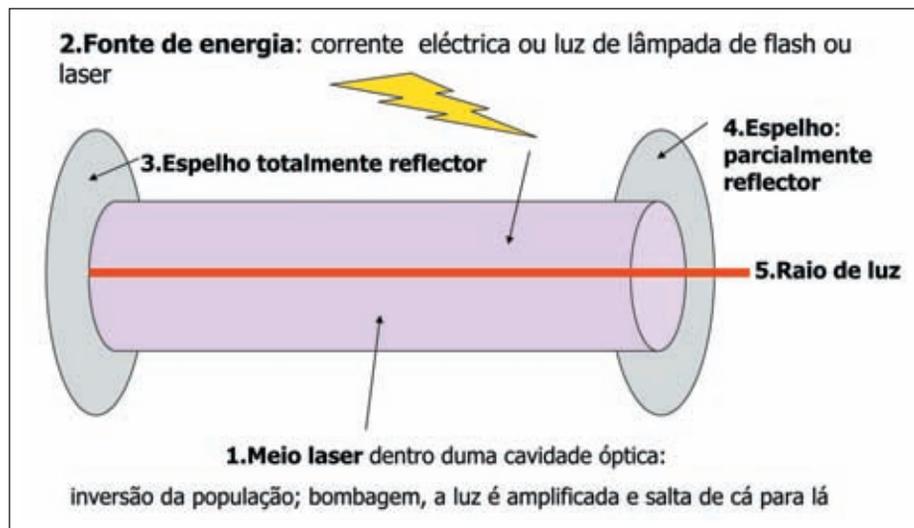


Figura 5. Constituição do sistema laser.

é uma luz de *alta intensidade*. Pelo facto de ser monocromática pode interagir intensamente com certas substâncias e pouco com outras e como é emitida na forma dum feixe altamente colimado, pode ser direccionada com grande precisão para distâncias significativas pelo que é utilizada de forma rotineira nos satélites para medir distâncias (ex: mede com exactidão distâncias entre a terra e a lua). Além disso, a luz laser pode ser colectada por uma lente e focada num pequeno círculo o que permite aumentar significativamente a energia por unidade de superfície[1].

Utilização do laser

O laser é usado vulgarmente na: 1) pesquisa científica: pinças ópticas, física atómica, óptica quântica, resfriamento de nuvens atómicas, informação quântica; 2) comércio: leitores de códigos de barras, comunicação por fibra óptica; 3) leitores de CD e DVD, impressoras; 4) holografia: técnica que permite apresentar imagens fotográficas a três dimensões; 5) litografias; 6) indústria: para cortar, furar, soldar e gravar materiais de grande dureza como a madeira e o aço 7) medicina.

Constituição do sistema laser

O sistema laser é composto por três componentes essenciais (Figura 5): 1) Meio laser; 2) Fonte de energia; 3) Espelhos reflectores. O meio laser está dentro de uma cavidade óptica. É o meio activo onde se dá a emissão estimulada de radiação. A inversão da população do meio laser faz-se por um sistema denominado bombagem. A energia inicial é for-

necida a partir duma fonte externa que pode ser a corrente eléctrica, a luz de uma lâmpada de *flash* ou outro laser. Deste modo a luz é amplificada e os fotões emitidos saltam de cá para lá dentro da cavidade. Esta tem em ambas as extremidades dois espelhos reflectores em que um deles é totalmente reflector. O outro é parcialmente reflector e tem um orifício central por onde passa uma pequena parte da luz gerada no seu interior[1-6]. O raio de luz pode sair de forma contínua ou pulsada. Depois deste ponto a luz pode passar através de: 1) braços articulados com espelhos reflectores (ex: laser CO₂); ou de 2) fibras ópticas (ex: laser árgon, corantes, alexandrite, Nd:YAG). As fibras ópticas são tubos de vidro muito finos, totalmente reflectores que transportam a luz a grande velocidade. A peça de mão permite o manuseamento do feixe laser pelo utilizador.

Lasers médicos

Habitualmente os lasers médicos são denominados pelo nome do meio activo ou meio lasante. Em relação ao estado físico o meio laser pode ser: 1) gasoso; 2) líquido; 3) sólido; ou 4) de electrões livres. Os lasers gasosos podem ser, por sua vez: atómicos, iónicos, moleculares. Os lasers gasosos são os mais comuns e os mais antigos. São constituídos por uma mistura de gases. Exemplos de lasers gasosos são: CO₂, árgon, vapor de cobre, hélio-néon (HeNe). O laser de HeNe é um laser gasoso, atómico, cujo hélio é o gás transportador e o néon o gás lasante. O ponteiro laser é o exemplo da utilização de um laser HeNe, que emite na área do visível. O laser de corantes é o exemplo de um laser líquido. Os lasers sólidos podem ser de 2 tipos: 1) isolantes dopados

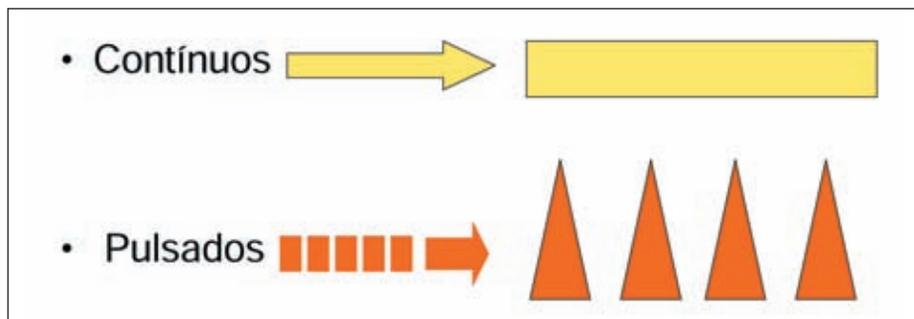


Figura 6. Modo de emissão temporal da luz solar.

(cristais: rubi, Nd:YAG) e 2) semicondutores (ex: diodo). No laser Nd:YAG o meio laser é constituído por cristais de ítrio, alumínio e granada. O laser de excímeros é um laser de electrões livres.

Modo de emissão temporal da luz laser

Quanto ao modo de emissão temporal da luz, os lasers podem ser: 1) Contínuos: emitem radiação de forma contínua, com mais de 1 segundo de duração: ex: CO₂, árgon (Figura 6); 2) Pulsados: emitem radiação em pulsos regulares (Figura 6). Esses impulsos podem ter maior ou menor duração. A Taxa de repetição é o número de impulsos emitidos por segundo e mede-se em *Hertz*. Pode ser: muito baixa: menos de 1 impulso por segundo ou muito alta: 10⁹ impulsos por segundo. Os lasers pulsados podem ter pulsos tão rápidos (10⁻¹² segundos) que parecem ser contínuos e neste caso fala-se em laser pseudocontínuo. O meio laser é bombeado com uma fonte pulsada que pode ser uma lâmpada de *flash* ou outro laser pulsado (ex: vapor de cobre, crípton, excímeros). Ao contrário, os pulsos podem ser muito longos da ordem dos milisegundos (1 ms = 10⁻³ s): ex: laser pulsado de corantes, diodo, rubi, alexandrite e Nd:YAG de pulso longo. Os lasers iónicos como o árgon e crípton existem em versão pulsada quase-contínua e em versão contínua. Os lasers Nd:YAG também existem nas versões contínua, pulso longo e Q-switched.

Modo pulsado

Existem dois métodos para obter luz pulsada: 1) Através dum modulador externo: o laser é emitido de forma contínua mas tem um interruptor externo que só deixa sair a luz da cavidade óptica durante curtos intervalos de tempo. Exemplo de um laser contínuo modelado é o laser de CO₂, quando a funcionar em modo pulsado. 2) Através dum modula-

dor interno que liga e desliga o próprio processo de emissão laser. Existem quatro métodos para obter modulação interna da luz laser que por sua vez dá origem a quatro tipos de emissão de luz pulsada: 1) laser pulsado relaxado; 2) Q-switching; 3) Cavity dumping; 4) Mode-locking.

- 1) *Laser pulsado relaxado*: consiste em ligar e desligar o sistema de bombeamento do meio activo do laser. Emite pulsos longos de baixa energia. Ex: laser de rubi, o bombeamento por lâmpada de *flash* é ligado periodicamente.
- 2) *Q-switched*: Baseia-se na presença de obturadores foto-ópticos que acumulam a energia e a libertam toda duma vez. Deste modo a energia armazenada sai como uma explosão. Estes lasers permitem pulsos curtos de alta energia da ordem dos nanosegundos: ns 10⁻⁹ s. Ex: laser Q-switched alexandrite, rubi, Nd:YAG.
- 3) *Cavity dumping*: a energia ou seja, a radiação produzida, é armazenada em cavidade fechada, a cavidade óptica, que abre periodicamente deixando sair toda a radiação. Também produz impulsos curtos mas de menor energia que o laser Q-switched.
- 4) *Mode-locking*: os fotões estão agrupados em “modos” e parte deles é emitida quando bate no espelho semi-reflector gerando impulsos muito curtos. Os outros dão outra volta à cavidade até se reiniciar o processo. Ex: laser de diodo.

Dosimetria da luz laser

- Energia E (Joules): quantidade de fotões.
- Energia do fotão: $E = h \nu$ ($h = \text{constante de Planck}$).
- Tempo de exposição, duração do pulso $t = s$.
- Tamanho do spot (cm²).
- Frequência ou taxa de repetição (*Hertz*): número de ciclos por segundo.

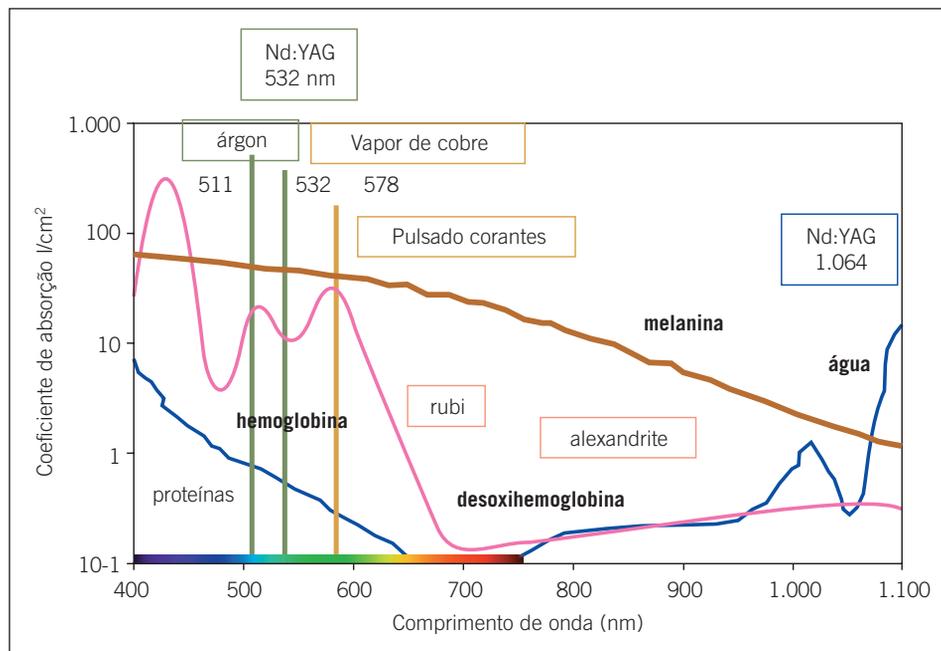


Figura 7. Cromóforos da pele.

- Potência P (W: J/s): fluxo de fótons, é a quantidade de energia fornecida por uma fonte por unidade de tempo.
- Energia (J) = potência (W) x tempo (s).

- **Irradiância ou densidade de potência:** mede a potência da radiação electromagnética por unidade de área. Na prática, corresponde à intensidade da luz.

$$\text{Irradiância} = \frac{\text{Potência de saída do laser (W)}}{\text{Tamanho do spot (cm}^2\text{)}} \text{ W/cm}^2$$

- **Fluência ou densidade de energia:** é a energia fornecida por unidade de área num determinado período de tempo.

$$\text{Fluência} = \frac{\text{Potência de saída do laser (W) X duração de pulso (s)}}{\text{Tamanho do spot (cm}^2\text{)}} \text{ J/cm}^2$$

Tanto o comprimento de onda da luz laser como a fluência dependem do meio activo do laser. Variações na densidade de potência e no tempo de exposição condicionam diferentes efeitos nos tecidos.

Interação luz laser com os tecidos

Quando a radiação é absorvida pelo tecido biológico, o efeito provocado pode ser: 1) efeito fototérmico: a alta energia laser absorvida pelos tecidos pode gerar calor que causa a destruição do tecido: Ex: laser CO2. 2) Fotodisrupção: uma onda de

choque, cuja vibração causa explosão e fragmentação do tecido alvo; efeito mecanoacústico e fotoacústico: ex: laser Q-switched. 3) fotoablação: rotura directa das ligações moleculares por fótons ultravioleta de alta energia: ex: laser excímeros (ultravioletas). 4) ablação induzida por plasma ablação através da ionização das moléculas e dos átomos quando se obtém a formação de plasma: ex: Nd:YAG. 5) Efeito fotoquímico: terapêutica fotodinâmica (PDT) ou fotoquimioterapia. Baseia-se na administração de uma substância fotossensibilizante, que é captada selectivamente por células tumorais (ou outras) e que, sob a acção de uma fonte de luz de determinadas características, origina produtos tóxicos que lesam as células neoplásicas, induzindo a sua morte. Essa fonte de luz pode ser laser.

Efeito terapêutico

O efeito terapêutico do laser varia em função de: 1) comprimento de onda; 2) duração do impulso, 3) tamanho, tipo e profundidade do alvo; 4) interacção entre a luz emitida pelo laser e o alvo determinado. Os principais alvos do laser médico são: 1) pigmento natural, 2) pigmento externo; 3) água intracelular; 4) aminoácidos e ácidos nucleicos. Aos pigmentos naturais e externos chamam-se cromóforos. O cromóforo é um grupo de átomos que dá cor a uma substância e absorve luz com um comprimento de onda específico no espectro do visível. Os cromóforos da pele são a oxihemoglobina e desoxihemoglobina, melanina, carotenos, água e proteínas (Figura 7). As proteínas e a água não são absorvidas no espectro do

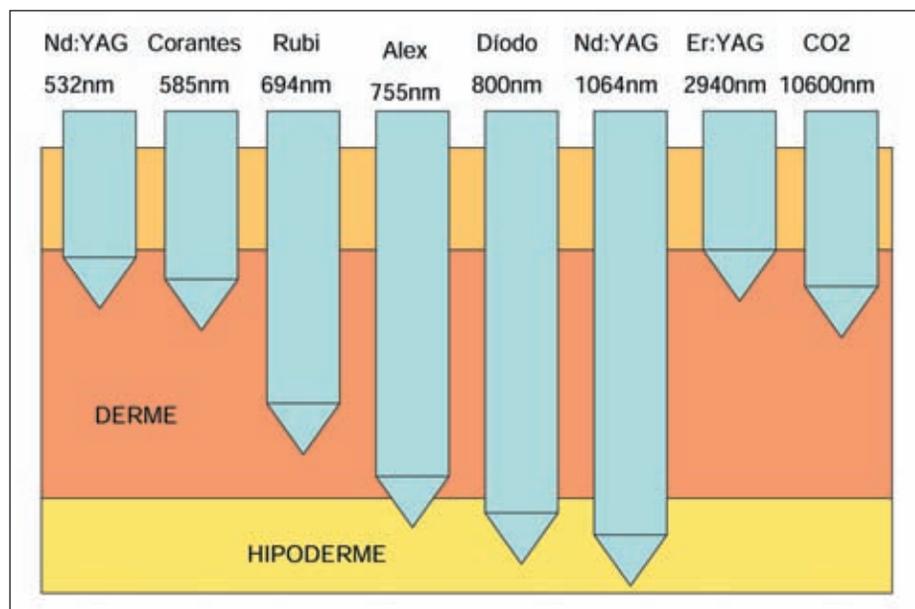


Figura 8. Penetração do laser nos tecidos.

visível e teoricamente não deviam chamar-se cromóforos mas na prática são moléculas orgânicas que absorvem REM, por isso fala-se em cromóforos numa forma geral, mesmo que absorvam os UV ou os infravermelhos[1-8].

A maioria das moléculas orgânicas absorvem muito os UV pela forte absorção das proteínas nesta área do espectro. A oxihemoglobina tem um pico de absorção entre os 490 nm e os 595 nm que corresponde ao verde e ao amarelo. A desoxihemoglobina aos 770 nm. A metahemoglobina que resulta da transformação da hemoglobina após aquecimento sanguíneo tem uma absorção preferencial aos 1.000 nm[9]. A melanina tem uma absorção muito larga no espectro óptico mas que diminui lentamente dos UV aos infravermelhos. É máxima por volta dos 530 nm. A absorção da água predomina para comprimentos de onda superiores a 1.800 nm. Não há nenhum comprimento de onda que permita atingir um cromóforo de forma completamente específica. A janela óptica escolhida é apenas a mais selectiva possível para o tecido alvo. Daí a importância dos sistemas de arrefecimento que arrefecem a epiderme e a derme superficial e deste modo reforçam a selectividade da acção térmica ao nível dum alvo mais profundo.

Fototermólise selectiva e tempo de relaxação térmica

Em 1983 Andersen e Parrish descreveram a fototermólise selectiva para o laser de corantes pulsado. A fototermólise selectiva postula que um cromóforo pode ser atingido selecti-

vamente se o Δ da emissão laser for o mesmo do cromóforo do tecido. Tem como consequência o facto de a absorção selectiva pelos tecidos da luz laser levarem à destruição selectiva desse tecido. Além disso a duração do pulso de emissão deve ser inferior ao tempo de relaxação térmica. O tempo de relaxação térmica é o tempo necessário para que o calor gerado com o impulso laser arrefeça até metade do inicial[1-9]. O comprimento de onda determina não só a absorção por determinado cromóforo mas também a profundidade de penetração da luz. O espectro visível vai dos 380 até aos 750 nm. Em geral quanto maior é o comprimento de onda maior é a penetração nos tecidos (Figura 8). Os comprimentos de onda que penetram mais profundamente situam-se entre os 800 nm e os 1.100 nm. A partir deste ponto a radiação infravermelha média e longínqua é absorvida quase totalmente pela água da epiderme (a epiderme é constituída por 90% de água) e neste caso a penetração é menor. A penetração nos tecidos depende também do diâmetro do *spot* e varia com o Δ do laser. Para o laser de CO2 a penetração é inversamente proporcional ao tamanho do *spot*. Noutros lasers como o Nd:YAG e o laser de alexandrite, o aumento do tamanho do *spot* acompanha-se de um aumento da profundidade do feixe[1-9].

Luz intensa pulsada

Em meados dos anos 90 surgiu um novo sistema denominado luz intensa pulsada (IPL) que não é um laser mas rege-se pelos mesmos princípios.

Quadro I. Tipos de laser.

Tipo de láser	λ (nm)	COR	Modo
Árgon	488-514	Azul-verde	contínuo
Corantes pigmentado	500-520	Verde	Pulsado
Cobre	511 ou 578	Verde ou amarelo	“pseudo-contínuo”
Crípton	530 ou 568	Verde ou amarelo	Contínuo
Q-switched Nd:YAG dupla frequência	532	Verde	Q-switched
Pulsado corantes (ajustável)	570-650	Amarelo	Pulsado
Árgon corantes iónico	585 ou 630	Amarelo ou vermelho	Contínuo
Díodo	630-950	Vermelho ou infra-vermelho	
Q-switched rubi	694	Vermelho	Q-switched
Q-switched alexandrite	755	Infra-vermelho	Q-switched
Q-switched Nd:YAG	1.064	Infra-vermelho	Q-switched
CO2	10.600	Infra-vermelho	contínuo

Os sistemas de IPL são fontes pulsadas de alta intensidade que emitem luz policromática num espectro largo de comprimentos de onda que vai dos 515 aos 1.200 nm. À semelhança do laser, o mecanismo de acção é a fototermólise selectiva mas ao contrário deste, os Δ e a duração de pulso podem ser seleccionados com a ajuda de filtros[10].

Utilidade do laser em medicina

A escolha do melhor laser depende do efeito pretendido e da doença a tratar.

Laser em dermatologia

Em dermatologia podemos classificar os lasers não só de acordo com o meio laser e o comprimento de onda, como fizemos até aqui (Quadro 1) mas também de acordo com as funcionalidades a que se destinam e a aplicação clínica dos mesmos[11]. 1) Lasers de corte e de vaporização; 2) Lasers vasculares; 3) Lasers pigmentares; 4) Lasers epilatórios; 4) Lasers de rejuvenescimento não ablativo.

Lasers de corte e de vaporização

Os principais lasers de corte e de vaporização são: 1) Laser CO2 (10.600nm); 2) Erbium:YAG (2.940 nm). Ambos emitem radiação infravermelha. Requerem anestesia local. Vamos descrever com mais detalhe o laser CO2 dada a sua importância incontornável na prática clínica dermatológica. Foi inventado em 1964 por Patel. É formado por uma mistura de gases moleculares em que: o CO2 é o gás lasante que dá o nome ao laser. O azoto N2 é o gás transportador. O He é o gás envolvido na última transição de fotões. Este laser emite de forma contínua um raio invisível infravermelho médio de 10.600 nm. Como a radiação infravermelha é invisível, o laser de CO2 está alinhado co-axialmente com um laser do espectro visível de baixa potência (hélio-néon) que fornece ao cirurgião um raio de luz visível para se poder dirigir o feixe laser para o local pretendido. Tem indicações essencialmente cirúrgicas. Por este motivo estes lasers são, por vezes, denominados “bisturis luminosos”. A luz do laser de CO2 é absorvida de forma não selectiva pela água intra e extracelular produzindo lesão térmica a cerca de 0,6 mm da superfície da pele. Essa lesão térmica é não selectiva e pode deixar cicatrizes em todos os tipos de pele mas sobretudo na pele negra em que existe maior risco de cicatrizes discrómicas e quelóides. Estes lasers são usados para ablação (vaporização), corte e coagulação. A coagulação é eficaz apenas para vasos de diâmetro inferior a 0,5 mm. Para vasos de diâmetro superior é necessário recorrer à electrocoagulação clássica. O laser de CO2 pode ser usado em modo focado ou desfocado consoante o *spot* é maior ou menor. Para o corte é necessária maior densidade de potência que é inversamente proporcional ao tamanho do *spot*. O modo focado é portanto usado para o corte ou excisão das lesões e o modo desfocado para a vaporização do tecido destruindo-o por completo[1-6]. Existem modelos com *scanner* de que resultam melhores resultados cosméticos. Permitem a vaporização de lesões extensas numa forma uniforme e podem funcionar em modo pulsado que permitem uma maior dissipação do calor. Quanto maior a duração do pulso maior o aquecimento do alvo.

Exemplos de outros lasers usados com bons resultados na vaporização de lesões são: árgon 492 nm e 510 nm, alexandrite 755 nm e díodo 532 nm, este último com excelentes resultados no tratamento das queratoses seborreicas.

Segurança laser

Devem colocar-se avisos nas portas da sala onde está instalado o laser e no próprio aparelho prevenindo contra as radiações visíveis e/ou invisíveis directas ou dispersas.

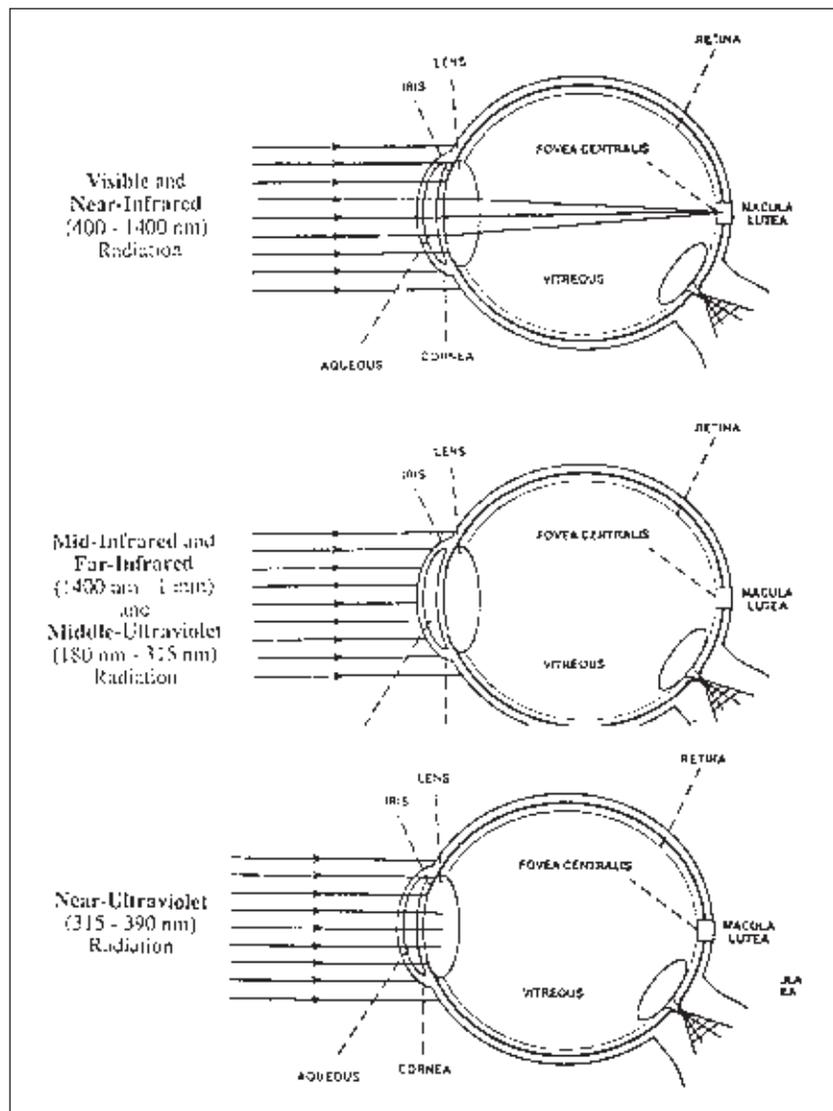


Figura 9. Penetração ocular do laser. Adaptado "segurança laser" Dietmar Appelt.

Proteção ocular

A utilização do laser de CO₂ (tal como a de outros lasers) exige rigorosa protecção ocular. O laser de CO₂ pode provocar lesões ou cicatrizes irreversíveis da córnea e da esclerótica. Consoante o Δ do laser assim o nível da lesão ocular (Figura 9)[1,12]. Todo o pessoal que se encontra no bloco operatório deve usar óculos de protecção específicos para o Δ e a potência do laser. Os doentes podem ser protegidos por óculos opacos ou compressas humedecidas com água ou soro fisiológico. Deve ter-se atenção não só à exposição directa ao laser mas também à exposição indirecta através de superfícies reflectoras. O laser pode ser reflectido através de superfícies metálicas pelo que o material cirúrgico deve ter um tratamento antireflector (metal despolido) ou ser de

plástico. Não deve haver espelhos ou vidros reflectores na área de tratamento.

Campo operatório

A pele deve ser limpa antes do tratamento com soluções não alcoólicas como por exemplo o soro fisiológico. Devem colocar-se compressas húmidas na periferia do campo operatório devido ao perigo de ignição.

FUMO

Durante a utilização deste e de outros lasers (ex: CO₂, Er:YAG, Q-switched tatuagens) é emitido fumo que é consti-

tuído por gases e/ou vapores tóxicos como o benzeno, formaldeído e cianeto de hidrogénio, bioaerossóis, vapor e restos celulares vivos ou mortos (incluindo restos de sangue e vírus). É aconselhável o uso de aspirador de fumos com filtro, exaustor exterior de fumos, luvas e máscara de laser aquando do manejo do laser de CO₂. O cabo do aspirador pode ser manuseado por um ajudante ou estar acoplado à peça de mão.

O laser de CO₂ tem sido utilizado no tratamento de verrugas virais e condilomas genitais. Vários estudos mostraram que o fumo resultante da vaporização de lesões virais por laser de CO₂ é um aerossol contendo partículas virais que se dispersam por um diâmetro superior a 2 metros, mesmo sob aspiração, pelo que contaminam o material e as pessoas envolvidas (pele e seios nasais) no acto cirúrgico. Por este motivo, o laser CO₂ não é um tratamento de primeira escolha no tratamento de lesões virais como as verrugas vulgares e os condilomas genitais. Estudos que analisaram o fumo resultante da vaporização de verrugas virais humanas com laser Er:YAG não detectaram a presença de DNA viral pelo que este laser é aparentemente mais seguro que o laser de CO₂[13-20]. Mesmo assim, foi descrito o caso dum médico que utilizou o laser Nd:YAG para tratar condilomas perianais que desenvolveu uma papilomatose laríngea[21]. Para além do vírus HPV também foram encontradas partículas virais do vírus HIV e do vírus da hepatite C no fumo provocado pela vaporização por laser CO₂, pelo que não se recomenda o tratamento de doentes sofrendo destas infecções por este processo[20]. Esta é, no entanto, uma questão que levanta ainda alguma discussão. Somos da opinião que não se justifica a vaporização de lesões virais por laser quando existem alternativas terapêuticas mais seguras.

Pós-operatório

Recomenda-se a higiene diária com produtos não irritantes seguida de aplicação tópica de antisépticos suaves e/ou de pomada de antibiótico ou cicatrizante. A protecção solar subsequente não deve ser inferior a 6 meses.

Indicações do laser CO₂

Tumores malignos de baixo grau de malignidade, lesões pré-malignas e/ou benignas superficiais ou pediculadas susceptíveis de ser excisadas ou tratadas com vaporização ou corte com laser CO₂[22-25]. Exemplos de indicações do laser de CO₂:

- *Malignas*: basaliomas superficiais, síndrome dos basaliomas nevídes, doença de Bowen cutânea ou

mucosa, papulose bowenóide, eritroplasia de Queyrat, papilomatose oral florida.

- *Pré-malignas*: leucoplasia, queratoses actínicas da face, queilite actínica.
- *Benignas*: tricoepiteliomas, siringomas, hidradenomas das pálpebras, neurofibromas, xantelasmas, poroqueratose, alguns angiomas, alguns linfangiomas, angiofibromas, rinofima, algumas cicatrizes deprimidas (acne, varicela), algumas cicatrizes hipertróficas, hamartomas verrucosos, nevos sebáceos, doença de Darier, doença de Hailey-Hailey, adenomas sebáceos da doença de Bourneville, adenomas sebáceos palpebrais ou labiais, lentiginose peri-orifical, quistos de mília, sebocistomatose.

Vantagens

Relativamente às técnicas cirúrgicas convencionais, o laser CO₂ tem algumas vantagens: 1) permite um campo cirúrgico sem sangue pois os vasos de calibre ≤ 0,5 mm são fotocoagulados e fechados o que é útil, sobretudo em doentes com alterações da coagulação; 2) reduz a dor no pós-operatório já que oclui as terminações nervosas de pequeno calibre; 3) reduz o edema pós-operatório pois fecha os pequenos vasos linfáticos; 4) pode ser usado em doentes com *pace-maker*; 5) os resultados estéticos em geral são melhores que os da electrocirurgia convencional.

Sistemas ablativos: *resurfacing*/dermabrasão

Os lasers ablativos vaporizam e destroem por fototermólise a epiderme e a derme superficial. Para além das indicações referidas no capítulo anterior, são usados na dermabrasão por laser, vulgarmente denominada *resurfacing* ou, com mais propriedade laserabrasão. O alvo destes lasers é a água das camadas superficiais da pele (água intracelular da epiderme e água extracelular da derme). Actuam não só a este nível mas também a um nível cutâneo mais profundo pois a lesão térmica variável resultante da sua utilização induz a retracção e remodelação do colagénio e neoformação de fibras de colagénio e elásticas[25-28]. Os lasers usados para este efeito são o laser de CO₂ e o laser de Erbium:YAG, de preferência em modo pulsado para o que se usam os sistemas com *scanner* acoplado. São utilizados na laserabrasão da dermatoheliose da face, cicatrizes de acne, rinofima, rejuvenescimento facial (rugas perilabiais e palpebrais pouco profundas, blefaroplastia, flacidez, etc). Este sistema de tratamento destrói de forma programada e sucessiva as várias camadas de pele desde a epiderme até à derme. O

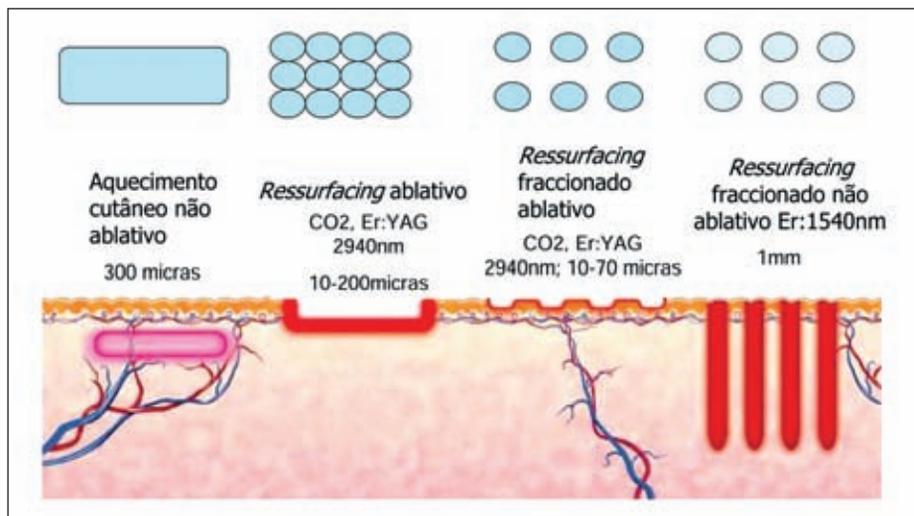


Figura 10. Lasers de rejuvenescimento.

grau e a profundidade da fototermólise varia consoante os aparelhos utilizados. O laser Erbio:YAG pulsado é menos eficaz quando se pretende actuar a maior profundidade. Devido ao seu Δ tem um coeficiente de absorção pela água muito superior ao do laser de CO₂. É um laser ablativo que provoca lesão térmica mínima pelo que a neocolagenése é inferior à conseguida pelo laser de CO₂. Se ultrapassarmos a epiderme há o risco de sangramento importante porque estes lasers, ao contrário do laser CO₂ não têm efeito coagulante. Em geral, para uma dermabrasão simples com pouca inflamação em que não é necessária a neosíntese de colagénio optamos pelo laser de Erbio:YAG. Mas se procuramos uma neosíntese de colagénio importante o laser de CO₂ está preferível. Realizam-se em regra três passagens ou duas em tecidos mais finos como as pálpebras. A cicatrização demora cerca de 2 semanas. O laser de Erbio:YAG provoca menos inflamação e a cicatrização é mais rápida. O eritema pós-operatório dura cerca de um mês para o laser Erbio:YAG enquanto para o laser de CO₂ dura 3 a 4 meses. Em ambos existe o risco de cicatrizes inestéticas, hipo ou hiperpigmentação. A protecção solar subsequente é obrigatória.

Recentemente surgiram lasers Erbio: YAG de modo duplo que alternam pulsos ablativos curtos e intensos, como no laser Erbio: YAG clássico, com pulsos longos de menos energia e efeito coagulante como no laser CO₂[28].

Lasers fraccionados ablativos

São lasers de Erbio:YAG 2.940 nm ou CO₂ 10.600 nm dotados de um sistema denominado fraccionado em que o feixe de laser é separado em vários microfios, como se

fosse um chuveiro. Isso permite deixar ilhotas de pele sã entre as áreas de pele tratadas o que facilita a re-epitelização dessas áreas[28]. Os aparelhos permitem variar a profundidade do feixe laser de acordo com a potência, a duração de pulso, a distância entre um ponto e outro e o diâmetro dos pontos (Figura 10). Pode anestesiarse a pele com creme de EMLA (*eutectic mixture of lidocaine and prilocaine*). O tempo de recuperação pós-operatório é muito inferior ao da laserabrasão clássica (dos dois tipos de laser fraccionado é ligeiramente menor para o Er:YAG em relação ao laser de CO₂). A fase aguda de lesão térmica dura 48-72 horas, a fase proliferativa, em que há recrutamento de fibroblastos 30 dias e a fase de remodelação cerca de 15 dias. O eritema dura aproximadamente 1 semana em contraponto com os 2 a 3 meses da laserabrasão convencional. Podem fazer-se até 5 sessões com pelo menos 45 dias de intervalo, altura em que a regeneração dos tecidos é considerável e os resultados se começam a notar. Ao fim de 3 sessões as rímulas já não melhoram significativamente. Para além da renovação da epiderme, este sistema de laserabrasão também promove a contração e formação de novo colagénio pelo que melhora simultaneamente a textura e o tónus da pele. É utilizado no rejuvenescimento cutâneo (rugas, discromia, blefaroplastia) e no tratamento de cicatrizes de acne.

Lasers vasculares

Os lasers vasculares actuam selectivamente nos vasos. Emitem REM com comprimento de onda entre os 500 e os 600 nm[29]. Nas lesões vasculares os alvos ou cromóforos da



Figura 11. Esclerose dos vasos por laser vascular. 1- Varicosidades do membro inferior em tratamento com laser Nd:YAG 1.064 nm. 2- Púrpura e hematoma intracutâneo pós-laser vascular.

pele são a hemoglobina (oxihemoglobina, desoxihemoglobina, carboxihemoglobina e metahemoglobina). A esclerose dos vasos pode ser induzida por dois processos: 1) Fotocoagulação selectiva e; 2) Fototermólise selectiva.

A fotocoagulação selectiva é provocada por efeito térmico (Figura 11). É o mecanismo de acção dos lasers contínuos. A vantagem deste processo é a capacidade de tratar vasos de grande calibre e a ausência de púrpura. A desvantagem é que o efeito térmico pode provocar atrofia da pele, cicatrizes inestéticas ou acromia. Não devem ser usados na época estival nem em recém-nascidos. Entre os lasers contínuos que se podem utilizar no tratamento de lesões vasculares contam-se: 1) Lasers iónicos: laser de árgon (emite em vários Δ no visível e UV); laser de cóprton (emite em vários Δ no visível)[30]; 2) lasers de vapor metálico (quase contínuo): vapor de cobre (578 nm). O pós-laser caracteriza-se por eritema, edema, crostas ou vesículas.

O laser de árgon foi muito usado nos anos 60 e 70 do século XX. Como é um laser contínuo o tempo de relaxação térmica é maior que o dos lasers pulsados o que provoca com alguma frequência cicatrizes hiper e hipopigmentadas. Os lasers contínuos ou pseudo-contínuos (cóprton, vapor de cobre, árgon) estão indicados essencialmente no tratamento de angiomas planos maduros, violáceos, hipertróficos do adulto com zonas nodulares[31]. O laser de cóprton é muito eficaz no tratamento dos lagos venosos do lábio e angiomas rubis[30].

O outro processo é a fototermólise selectiva. Resulta da explosão da parede vascular sem efeito térmico significativo

para a derme circundante (Figura 11). A rotura da parede vascular tem a desvantagem de poder provocar púrpura e hematomas intracutâneos que desaparecem em poucos dias. Em contrapartida o risco de cicatrizes é mínimo ou inexistente. Podem ser usados em qualquer altura do ano e em qualquer idade ou área anatómica incluindo pálpebras. A fototermólise selectiva é o mecanismo de acção dos lasers de corantes pulsados. Os lasers de corantes pulsados de nova geração podem actuar por estes dois processos conforme a duração de impulsos escolhida: 1) fototermólise selectiva (impulsos curtos); 2) fotocoagulação selectiva (impulsos longos). Neste último modo o número de sessões é geralmente superior às que são necessárias no modo pulsado.

Laser pulsado de corantes ou pulsado de contraste

O laser pulsado de corantes foi introduzido nos anos 80 e é o mais usado na actualidade no tratamento de lesões vasculares. Nos lasers de corantes pulsados o meio activo é um corante fluorescente. Estes lasers são sintonizáveis para vários corantes (rodamina 6G, fluoresceína, cumarina, stilbeno, umbeliferona, tetrazeno, verde de malaquite). Emitem radiação de comprimento de onda entre 585 e 600 nm (actualmente estão comercializados lasers de $\Delta = 585$ nm, 595 nm e 600 nm). O bombeamento faz-se por outros lasers (Ar, Nd:YAG,...) ou por lâmpadas de *flash*. Penetram a uma profundidade de 1,8 mm.

Angiomas planos

O laser pulsado de corantes é o tratamento de referência da mancha de vinho do Porto do recém-nascido e dos angiomas planos em geral[8,32,33]. O tratamento pode iniciar-se nas primeiras semanas de vida. As vantagens deste tempo opcional residem no facto de a superfície ser menor e a pele mais fina o que conduz a melhor resultado terapêutico. A limitação reside no facto de nem sempre a aplicação tópica de EMLA ser suficiente para conseguir a colaboração do recém-nascido. Por vezes é necessário recorrer a anestesia geral ou troncular e a anestesia geral não se recomenda em recém-nascidos[34]. A ausência de efeito térmico dérmico permite a sua utilização nas pálpebras, ao contrário de todos os outros lasers vasculares. Há melhores resultados no tronco, nuca, face lateral do pescoço, porção lateral da face e pálpebras. A porção médio-facial geniana, lábio superior e extremidades respondem pior (as extremidades inferiores pior que as superiores e as porções distais pior que as proximais). Quanto mais escuro for o angioma melhor a resposta. Os intervalos entre os tratamentos são de 3 a 6 meses. Habitualmente são necessárias múltiplas sessões até ao desaparecimento completo da mancha (geralmente 3 a 10 sessões ou até mais). Quando não há resposta após 2 passagens sucessivas com os parâmetros correctos o tratamento deve ser suspenso porque o angioma plano considera-se resistente à terapêutica. Duma forma geral, 1/3 dos doentes responde bem, 1/3 mais ou menos e 1/3 responde mal[29-34]. A terapêutica fotodinâmica vascular é uma importante alternativa terapêutica para o tratamento dos angiomas planos[35]. A IPL é outra possibilidade terapêutica. Embora não haja estudos conclusivos que comparem a IPL com o laser pulsado de corantes no tratamento dos angiomas planos, o laser parece ser bastante mais eficaz.

Hemangiomas

Nos hemangiomas infantis vulgares não se justifica nenhuma intervenção terapêutica porque a história natural desta neoplasia é a regressão espontânea. Justifica-se o tratamento apenas em casos específicos de hemangiomas ulcerados e dolorosos localizados em áreas de traumatismo como por exemplo região glútea ou nas sequelas tardias de hemangiomas. Nos casos de hemangiomas em que haja o risco de cicatrização inestética ou disfuncional (periorifical) não existe consenso quanto à utilização do laser. A opção terapêutica deve ser tomada caso a caso em geral por volta dos 2 anos de idade, de acordo com as dimensões, localização e gravidade do problema. Devem ser equacionados os tratamentos médicos (corticóides, interferon) e cirúrgicos e a sua eventual associação ao laser[36]. O laser de corantes só é

eficaz para hemangiomas pequenos e superficiais porque a sua penetração é curta (1 a 2 mm). É um dos lasers que pode ser usado no tratamento de hemangiomas congénitos superficiais (cl clinicamente hemangiomas “em framboesa”). Podem tratar-se hemangiomas em fase proliferativa e involutiva. São necessários aproximadamente 6 sessões com 2 a 4 semanas de intervalo.

As porções mais profundas do hemangioma superficial não respondem ao tratamento com laser pulsado de corantes mas apenas ao Nd:YAG 1.064 nm. Este último não pode ser usado nas pálpebras[29-32].

Outras indicações

O laser de corantes pulsado também é usado no tratamento das rosáceas estadio I e II, eritroses faciais, aranhas vasculares, telangiectasias (ex: doença de Osler-Rendu-Weber). É pouco eficaz no tratamento de telangiectasias de diâmetro muito grande mas muito eficaz nas telangiectasias resultantes de cicatrizes de radiodermite. O tratamento pode repetir-se de 10 em 10 dias. É uma opção terapêutica nas cicatrizes hipertróficas, verrugas virais e poiquilodermia de Civatte. Foram publicados 4 casos de xantelasmas tratados com laser pulsado de corantes que desapareceram após 3 sessões de laser. Nos fototipos mais elevados há o risco de cicatrizes hipopigmentadas devido à sobreposição de Δ aborvidos pela oxihemoglobina e melanina epidérmica que tem um espectro de absorção mais alargado que a primeira. Também pode sobrevir hiperpigmentação pós-inflamatória[29-32].

Laser Nd:YAG

Para além dos lasers já referidos, podem usar-se também os lasers de Nd:YAG 1.064 nm e Nd:YAG de dupla frequência 532 nm (chamado laser Nd:YAG KTP) no tratamento das lesões vasculares. Actuam por fotocoagulação selectiva pelo que não causam púrpura (Figura 11). A grande vantagem do laser Nd:YAG 1.064 nm é a maior profundidade de penetração em relação aos outros lasers vasculares[37]. O único laser com indicação terapêutica para hemangiomas cavernosos é o Nd:YAG 1.064 nm porque a profundidade de coagulação consegue ir até 5 a 6 mm. Utiliza-se frequentemente no tratamento de varicosidades dos membros inferiores cujo calibre e profundidade dos vasos não permita o recurso ao laser pulsado de corantes ou à IPL. Usa-se também para tratar telangiectasias da face ou de outras áreas anatómicas, sobretudo se tiverem coloração azulada. Está contra-indicada a utilização deste laser no escroto e nas pálpebras.

O laser Nd:YAG KTP 532 nm está indicado no tratamento de vasos dérmicos superficiais como os da rosácea, aranhas

vasculares, radiodermite telangiectásica, angiomas rubis, lagos venosos dos lábios, poiquilodermia de Civatte, angiomas planos do adulto ou resistentes ao tratamento com o laser pulsado de corantes, telangiectasias das pernas, varicosidades de calibre inferior a 0,7 mm situadas na derme superficial[30].

Os sistemas de dupla banda que combinam o laser pulsado de corantes 595 nm com o Nd:YAG 1.064 nm de forma sequencial mostraram-se mais eficazes no tratamento de telangiectasias da face do que os sistemas de um único comprimento de onda.

Varicosidades dos membros inferiores

O tratamento das varicosidades dos membros inferiores por laser tem resultados variáveis, eficácia inconstante e risco de discromia em 20 a 30% dos casos. Em geral o laser usa-se no tratamento de lesões vasculares benignas refractárias à escleroterapia ou em que esta teve efeitos adversos. Obtêm-se melhores resultados em vasos superficiais e de calibre < 1 mm[3]. O tratamento deve ter em conta vários factores: 1) localização das lesões, 2) extensão da malformação, 3) largura e profundidade do vaso, 4) grau de oxigenação da hemoglobina. De acordo com estes dois últimos critérios podemos optar por vários tipos de laser conforme se discrimina a seguir[37].

Venulectasias avermelhadas 0,1-1mm

1) IPL 500-1.200 nm, 2) Corantes pulsados 585-600 nm, 3) KTP 532 nm, 4) Vapor de cobre 578 nm. Efeito secundário: hiper e hipopigmentação.

Venulectasias azuladas e veias reticulares 1-4 mm

Lasers com Δ longos 800-1.100 nm. 1) Alexandrite pulso longo 755; 2) Nd:YAG percutâneo ou intersticial 1.064 nm; 3) Díodo 800 nm reguláveis em todas as variáveis.

Nos membros inferiores o tratamento deve incidir no local da incompetência valvular, habitualmente na bifurcação dos vasos. Esta pesquisa faz-se através de pressão manual até encontrar o ponto de colapso vascular, do mais largo para o mais fino. Nos membros inferiores o tratamento repete-se de 6 em 6 semanas. As manchas hipo e hiperpigmentadas cicatriciais são frequentes nos membros inferiores nos fototipos mais elevados e previnem-se pelo uso duma técnica adequada, fotoprotecção e escolha da época do ano menos luminosa.

Lasers endovenosos

Os lasers de diodo 810 nm e 980 nm usam-se não só para tratamento percutâneo mas também endovenoso de varizes[38].

Verrugas virais

Já foi abordada a polémica do tratamento de verrugas vulgares virais e dos condilomas anogenitais por laser de CO₂. Uma das alternativas é o tratamento por laser vascular. Estes actuam, por um lado, por fotocoagulação dos vasos que irrigam a verruga e, por outro, através da destruição da mesma por efeito fototérmico. Para reduzir o número de sessões recomenda-se a eliminação prévia da camada hiperqueratósica. Têm sido descritos bons resultados com o laser de corantes pulsado[39-41], o laser Nd:YAG (em modo normal ou Q-switched 1.064 nm ou frequência dupla)[42-44] e a IPL no Δ que se usa para o tratamento de lesões vasculares. No entanto, os resultados terapêuticos não superam, geralmente, os alcançados com os tratamentos convencionais. A título de curiosidade, referimos que a Associação Germânica para as doenças sexualmente transmissíveis inclui nos *guidelines* para o tratamento de condilomas anogenitais extensos a criocirurgia, excisão cirúrgica, electrocirurgia, laser de CO₂ e laser Nd:YAG. Considera que estas opções têm iguais taxas de recorrência.

Existem equipamentos de IPL que produzem um espectro de banda dupla de 500-650 nm e 870-1.400 nm. A região de Δ curto sobrepõe o espectro de absorção da oxihemoglobina e desoxihemoglobina e destrói os vasos telangiectásicos. A região de Δ longo produz efeito térmico profundo e um aumento da temperatura da epiderme que ajuda na destruição do vírus HPV. A janela que vai dos 670 aos 870 nm destina-se a proteger a melanina epidérmica motivo pelo qual é seguro nos fototipos I-IV. Estes tratamentos têm a vantagem de ser relativamente indolores, seguros e eficazes no tratamento de verrugas peri-ungueais[45].

Lasers pigmentares

Destinam-se ao tratamento de manchas pigmentadas por lasers que emitem num comprimento de onda específico absorvido pela melanina ou pelo pigmento externo[46-50].

Cromóforos da pele

- 1) Cromóforos da pele: manchas melânicas (ex: nevo de Ota, hamartoma de Becker, mancha café-au-lait, nevo spilus, lentigos solares, lentiginose, etc)



Figura 12. Destatagem de tatuagem verde com laser Q-switched alexandrite.

- 2) Pigmento externo: tatuagens: 1) cosméticas; 2) traumáticas: (ex: partículas externas: alcatrão, terra, ferro).

O espectro de absorção da melanina vai dos 300 aos 1.200 nm que é uma janela terapêutica considerável mas o pico de absorção situa-se entre os 530 e os 690 nm.

Lasers Q-switched

Actuam por fragmentação dos melanossomas e fagocitose dos restos melânicos. No caso das tatuagens actua por fragmentação e fagocitose do pigmento externo. Esta acção resulta de efeito vibratório ligado a onda de choque. Têm uma duração de pulso muito curta de 10 a 100 ns que condicionam a explosão e fragmentação dos aglomerados de pigmentos por um mecanismo fotoacústico. O pigmento assim disperso no espaço extracelular pode ser removido por macrófagos, ser transportado aos gânglios linfáticos ou ser eliminado de forma transepitelial. Os lasers Q-switched demonstraram utilidade no tratamento da hipermelanose dérmica, tatuagens e lentigos solares. Também é eficaz no tratamento de nevos melanocíticos de junção ou compostos embora esta não seja uma indicação formal deste ou de outro qualquer laser dada a impossibilidade de análise histológica que daqui resulta. Os laser Q-switched constituem a técnica ideal para o tratamento das tatuagens, de preferência pretas ou azuis. O nevo de Ota só responde ao laser Q-switched 1.064 nm. O hamartoma de Becker e a mancha café-au-lait respondem melhor ao laser Q-switched Nd:YAG 532 nm.

Não têm indicação no melasma pelo risco elevado de hiperpigmentação pós-inflamatória pós-laser embora se possa associar o laser alexandrite Q-switched ao resurfacing com CO2 ou Er:YAG. No entanto, a morbidade e o risco de efeitos adversos desta opção é grande, embora menor com o advento dos sistemas fraccionados, sobretudo os não ablativos.

Actualmente existem três tipos de lasers Q-switched: 1) Nd:YAG 1.064 e 532 nm, 2) Alexandrite 755 nm; 3) Rubi 694 nm. São utilizados de forma mais ou menos selectiva no tratamento de uma variedade de cores (Quadro 2). O laser de Q-switched rubi é o mais rápido a actuar mas tem uma incidência mais elevada de hipocromia porque corresponde ao comprimento de onda melhor absorvido pela melanina. O laser Q-switched Nd:YAG 1064nm é o preferido nos fototipos elevados (V e VI) porque é aquele que penetra mais profundamente e portanto em que o risco de discromia é menor dado que neste comprimento de onda a absorção pela melanina diminui muito (Figura 7). Actualmente pensa-se que a resposta dos pigmentos à radiação laser depende mais da sua configuração molecular do que da cor. Existem estudos "in vitro" de análise espectral dos pigmentos das tatuagens. Segundo a teoria da fototermólise selectiva o comprimento de onda do laser usado na destatagem seria o da cor complementar do espectro electromagnético e a duração do pulso inferior ao do tempo de relaxação térmica do alvo (Quadro 2). Além disso, o laser tem que penetrar na derme papilar e reticular onde se encontra o pigmento. Na prática não é assim tão simples. A cor e a composição dos pigmentos é complexa. Por um lado, o pico de absorção nem sem-

Quadro 2. Lasers usados na destatuagem.

Laser (comprimento de onda)	Cromóforo da tinta	Duração do pulso	Fluência
Q-switched Nd:YAG (1.064 nm)	Preto, azul	10 nseg	6-12 J/cm ²
Q-switched alexandrite (755 nm)	Preto, azul, verde	50-100 nseg	4,5-8 J/cm ²
Q-switched rubi (694 nm)	Preto, azul, verde	25 nseg ±	8-10 J/cm ²
Q-switched Nd:YAG dupla frequência (532 nm)	Vermelho, laranja, púrpura	10 nseg	2-12 J/cm ²
Q-switched Nd:YAG com lentes coloridas (585 e 650 nm)	Verde		
Nd:YAG com lentes coloridas (570 a 700 nm contínuo)	Grande extensão de cores		
Laser pulsado de contraste (510 nm)	Vermelho, laranja, púrpura, amarelo	300 ± 100 nseg	3-3,5 J/cm ²

pre é na cor complementar, como se verifica no vermelho, mas na porção adjacente da luz visível como acontece com o azul, o amarelo e o laranja. A absorção pelo verde é muito variável (Figura 12). O castanho é uma cor terciária que resulta da mistura de mais de duas cores primárias e é difícil prever o espectro de absorção desta cor. Os pigmentos de carbono são os mais fáceis de tratar porque o preto absorve todos os comprimentos de onda da luz visível, ao contrário do branco. Outro problema é a composição dos pigmentos: todos os pigmentos que contêm ferro, à excepção do preto, escurecem com o tratamento. Nos que contêm titânio a resposta é variável, podem aclarar ou escurecer. Por este motivo um dos efeitos secundários mais conhecidos do laser *Q-switched* é a sua capacidade de escurecer tatuagens das seguintes cores: cor da pele, púrpura, vermelho, laranja, amarelo, castanho e branco (devido ao titânio), o que as torna dificilmente tratáveis, muitas delas irreversíveis. A explicação é que as tatuagens à base de ferro (pigmento castanho-avermelhado usado nas tatuagens vermelhas ou da cor da pele) enferrujam com o tempo isto é, transformam-se em óxido férrico que é de cor castanha ou castanho-avermelhado. O laser *Q-switched* reduz o óxido férrico a óxido ferroso que é negro e insolúvel. Este efeito pode ser desastroso ao transformar uma tatuagem noutra de cor mais escura (o preto é excepção porque se pensa que o ferro já se encontra na forma de óxido ferroso). No entanto, é por vezes

aproveitado pelos doentes para melhorarem o aspecto cosmético das tatuagens das sobrancelhas. Nestes casos, deve ser sempre efectuado um *spot* de ensaio que será avaliado ao fim de 10 minutos. Caso o resultado seja mau pode tentar-se o laser de CO₂ ou mais recentemente os lasers fracionados. O laser *Q-switched* Nd:YAG 532nm é um dos que pode transformar em preto as tatuagens vermelhas e escurecer as brancas, por redução do dióxido de titânio. O dióxido de titânio pode estar nas tatuagens brancas mas também em muitas outras cores pois o branco é usado como aclarador da cor. O problema acentuou-se com os novos pigmentos usados pelos tatuadores profissionais havendo o risco de persistência de uma tatuagem fantasma após o tratamento. As tatuagens policromáticas são as mais complicadas de abordar porque implicam uma combinação de laser de vários comprimentos de onda, muitas vezes de difícil execução. As mais difíceis de tratar são a cor amarela, vermelha e verde. As tatuagens das extremidades são mais resistentes que as outras, provavelmente devido à menor drenagem linfática nessas áreas. O desaparecimento completo da tatuagem pode requerer 5 a 12 tratamentos, espaçados no mínimo de 6 a 8 semanas, nunca menos, para evitar o risco de cicatrizes. As tatuagens amadoras e as traumáticas são tratadas eficazmente com apenas 1 a 2 sessões[6-8,73-75]. A destatuagem efectua-se com ou sem creme anestésico, infiltração local com lidocaína com ou sem adrenalina, bloqueio nervoso troncular ou sedação oral. A utilização ou não de anestésias depende da área e tamanho da lesão e/ou da sensibilidade à dor por parte do doente[46-49].

Efeitos adversos

Fragmentação

A incidência de efeitos secundários dos laser pulsados é geralmente baixa. São dominados por cicatrizes relacionadas com sessões muito próximas ou tratamento de tatuagens muito densas e muito superficiais.

Podem surgir também incontinência pigmentar pós-inflamatória, hiper e hipopigmentações (Figura12). Esta última surge principalmente nos fototipos III e IV devido à interacção do feixe laser com os melanocitos e os queratinocitos carregados de melanina da região supra-basal. É susceptível de repigmentar ao fim de pouco tempo (Figura12). A hiperpigmentação pós-inflamatória costuma ser transitória durante 3 a 4 meses e melhora com a aplicação de cremes despigmentantes. Se não desaparece ao fim de um ano é provável que se torne definitiva.

É proibido destatuar tatuagens por inclusão de pólvora porque pode dar origem a micro-explosões. As tatuagens

Quadro 3. Tabela de crescimento dos pêlos.

	Fase anagénica (%)	Fase telogénica (%)	Duração da fase anagénica (%)	Duração da fase catagénica	Duração da fase telogénica	Duração ciclo pilar	Profundidade do folículo anagénico
Mento	20	80	9 sem	2 a 3 sem	50 sem	15 mês	3,5 mm
Lábio superior	60	40	12	2 a 3	6	5	1,5 a 2,5
antebraço	40	60	13	2 a 3	16	9	3,5
pernas	25	75	15	3 a 6	45	16	4
Púbis, axilas	30	70	22	2 a 3	47	18	4,5 a 5

com sinais de alergia como eritema, infiltração ou prurido não devem ser tratadas com laser *Q-switched* para evitar a generalização das reacções alérgicas. Foram descritas reacções alérgicas sistémicas, muitas delas graves nos portadores de tatuagens de cor vermelha que querem destatuar-se e estão sensibilizados ao mercúrio ou a outros alérgenos das partículas de tinta. Pode também haver reacções granulomatosas locais[6-10,73-75].

Cuidados a ter na utilização dos laser *Q-switched*

Antes de iniciar o tratamento com laser devem ser removidas a maquilhagem e os protectores solares para não haver interferências da luz na superfície da pele. Além disso, os produtos usados na sua composição como os sais metálicos e os óxidos (por exemplo o dióxido de titânio) podem incendiar-se após a exposição aos pulsos do laser *Q-switched*. A protecção ocular durante a utilização dos laser *Q-switched* é obrigatória porque pode estar na origem de lesão da retina e cegueira definitiva. Este traumatismo é indolor pelo que não existe sinal de alarme! Os doentes tratados com isotretinoína nos últimos 6 meses ou com antecedentes de cicatrizes hipertróficas têm maior risco de cicatrização inestética. No pós-operatório recomenda-se a aplicação de gelo local para reduzir a reacção inflamatória[7].

Outros lasers usados na despigmentação

Podem ser usados outros lasers no tratamento de manchas pigmentadas, alguns dos quais já foram abordados:

- *Contínuos e quase contínuos*: árgon, vapor de cobre, cripton, CO₂, Erbium (os lasers fraccionados são uma alternativa em estudo).

- *Corantes pulsado 510 nm.*
- *Pulsados de pulso longo*: rubi 694 nm, alexandrite 755 nm, Nd:YAG 1.064 nm Díodo 810 nm.
- *Luz intensa pulsada.*

No que se refere à destatuação, os resultados são em geral inferiores aos dos laser *Q-switched*. A destatuação é apenas parcial e deixa muitas vezes cicatrizes residuais.

Lasers epilatórios

Destinam-se à epilação. O alvo é o pigmento melânico presente nos bulbos pilosos. O objectivo é a destruição do bulbo que leva a epilação permanente. Apenas se destroem os bulbos que se encontram em fase anagénica. Na fase catagénica e telogénica o pêlo desprende-se progressivamente do bulbo. Por esse motivo o cromóforo melanina não pode servir de condutor selectivo até às células alvo atrofiadas. A duração do ciclo pilar é diferente no vèlo, pêlo intermediário e pêlo terminal. Daí que a duração e a percentagem de pêlos na fase anagénica seja variável dumas zonas para outras (Quadro 3). A duração ideal do tratamento é a do ciclo pilar e os intervalos entre as sessões de 2 a 4 meses, tanto maior quanto mais espesso é o pêlo. Quanto mais escuro e mais espesso é o pêlo mais eficaz o tratamento. Os pêlos brancos não respondem ao laser. Entre as sessões o pêlo não deve ser arrancado. Ao fim de 15 dias cai espontaneamente. Está indicado no hirsutismo, hipertricrose, hamartoma de Becker, foliculites (traumáticas, decalvante, hidrosadenite), *pili incarnati* da raça negra (Nd:YAG), estética. Não há estudos que apoiem a tese de que o laser pode melhorar a evolução da hidradenite supurativa[51-53]. Não se preconiza o tratamento por laser de nevos pilosos pelo risco de lesão de células névicas cuja evolução é imprevisível[54].

Usam-se lasers pulsados mas com duração de pulso maior que nos lasers *Q-switched*. Os comprimentos de onda devem destes lasers estão compreendidos entre 600 e

1.100 nm que é a janela óptica óptima em que a competição entre a melanina e os outros cromóforos cutâneos é menor: 1) alexandrite 755 nm, 2) diodo 800 nm, 3) rubis 694 nm, 4) Nd:YAG 1064 nm pulso longo, 5) IPL 500-1.200 nm, 6) combinação alexandrite 755 nm + Nd:YAG 1.064 nm. A explicação para a escolha destes Δ e desta duração de pulso está na competição que existe entre a melanina folicular e a melanina da epiderme para a absorção de energia de determinado comprimento de onda. Quanto maior o Δ menor a probabilidade de ser absorvido pela melanina da epiderme pois a radiação penetra mais profundamente na derme. Para obter uma fototermólise selectiva do folículo piloso a radiação deve penetrar pelo menos 3 mm. Nos fototipos elevados IV a VI apenas se recomendam os lasers diodo 800nm e o Nd:YAG 1.064 nm. O laser diodo é mais eficaz mas o laser Nd:YAG é mais seguro pois devido ao seu maior Δ é menos absorvido pela epiderme. Nas peles claras o laser de alexandrite é o mais eficaz, seguido do laser de diodo e por último o Nd:YAG. Os dois primeiros são também os melhor tolerados. Um estudo comparativo recente entre os vários lasers usados na epilação não mostrou qualquer benefício do laser combinado alexandrite + Nd:YAG em relação ao laser de alexandrite. A IPL consegue resultados muito idênticos aos do laser de alexandrite e os aparelhos de nova geração podem ser utilizados também nos fototipos elevados. O laser de rubi de pulso longo teria teoricamente o comprimento de onda ideal para a epilação de pêlo pigmentado mas é comercializado habitualmente na forma *Q-switched* e não na forma de “pulso longo”, a única eficaz na destruição dos folículos pilosos[55]. Estes lasers têm acoplados sistemas de refrigeração para evitar lesão da epiderme e acumulação de calor na mesma. A temperatura ambiente deve ser de 19-21°C. Está contra indicado o tratamento dos supracílios e das mucosas. Deve evitar-se a exposição solar um mês antes e um mês após o tratamento. Do mesmo modo está contra indicada a terapêutica com fármacos fotossensibilizantes, isotretinoína nos 6 meses anteriores, betacarotenos e autobronzeadores. As doenças associadas a fotossensibilidade como o lúpus e a erupção polimorfa à luz contra-indicam a IPL mas não os lasers. Isto porque o lúpus é desencadeado maioritariamente por radiação UVB (280-320 nm), em menor grau pelos UVA (320-400 nm) e excepcionalmente pela luz visível (400-800 nm). A radiação infravermelha não é prejudicial[56,57]. A gravidez é sempre uma contraindicação para o laser. Foi publicado um estudo de epilação com laser de diodo que concluiu ser seguro em doentes sob medicação com isotretinoína. Actualmente existem dispositivos portáteis de IPL e laser de diodo para epilação “faça você mesmo”. Trazem livro de instruções. A opinião dos dermatologistas em relação a estes equipamentos não é consensual.

Complicações

Pode assistir-se a uma repilação paradoxal nas áreas adjacentes às áreas tratadas onde antes não existiam pêlos. Este fenómeno não está bem explicado mas pode relacionar-se com o uso de fluências demasiado baixas e com a estimulação térmica dos bulbos pilosos. Nas mulheres é mais frequente no pescoço e região malar e nos homens no dorso. Recomenda-se a aplicação de gelo na periferia das áreas tratadas e no decurso e após o tratamento. Também se recomenda o uso de fluências adequadas e segundo alguns autores é preferível optar por aparelhos com Δ mais elevados.

Fototerapia

A fototerapia é a terapêutica da pele por meio de radiação ultravioleta UV. A luz UV pode ser emitida por lasers (ex: excimer 308 nm UVB). Utiliza-se no tratamento da psoríase em placas, vitiligo, micose fungóide[58], etc em substituição das cabines de UV.

O laser pulsado de corantes também tem sido utilizado com bons resultados em placas de psoríase resistentes a tratamentos tópicos convencionais. Neste caso aproveita-se o efeito da fototermólise selectiva do laser sobre os capilares ectasiados na derme papilar de lesões de psoríase. A melhoria traduz-se na redução da infiltração das lesões por células T, diminuição da proliferação epidérmica e da queratinização.

Acne

O *Propionibacterium acnes* produz uma grande quantidade de porfirinas endógenas que quando expostas à luz libertam um oxigénio singuleto que mata as bactérias. Nas lesões inflamatórias o outro cromóforo presente em grande quantidade é a hemoglobina dos vasos que rodeiam as glândulas sebáceas. Por este motivo têm sido utilizados lasers de diodo[59] como alternativa terapêutica para o acne.

- *Diodo 1.450 nm* cujo alvo são as glândulas sebáceas. Obtêm-se bons resultados ao fim de 4 tratamentos.
- *Diodo 810 nm* de pulso longo cujo alvo é a indocianina produzida pelo *Propionibacterium acnes*.

No acne inflamatório foi usado com algum sucesso o laser pulsado de corantes 595 nm associado ao laser diodo 1.450 nm[60]. Os sistemas de IPL que emitem luz em duas bandas de comprimento de onda 400-700 nm e 870-1.200 nm, actuam simultaneamente nas glândulas sebáceas e nas bactérias e são outra opção na terapêutica adjuvante do acne[61,62]. A primeira erradica o *P. acnes* e a segunda

destrói as glândulas sebáceas obstruídas e hiperactivas através do efeito fototérmico nos vasos periglandulares.

Medicina estética: lasers de rejuvenescimento não ablativo

As técnicas de rejuvenescimento não ablativo preservam a integridade da epiderme estimulando a produção de colagénio na derme. Estão indicados no rejuvenescimento e na profilaxia do envelhecimento cutâneo. São lasers de infravermelhos que actuam por estimulação da neossíntese de colagénio, sem destruição da epiderme pelo que este método se denomina *subsurfacing*. O laser tem que penetrar 100-400 µm para atingir o pigmento da junção dermo-epidérmica, o colagénio e os vasos da derme. A absorção da luz pela água provoca efeito fototérmico e conseqüentemente resposta inflamatória que estimula a actividade fibroblástica. A epiderme é protegida por arrefecimento que pode ser obtido por um jacto de gás criogénico ou por contacto directo da pele com uma janela de safira inserida na peça de mão. Consegue-se uma acção global de rejuvenescimento com melhoria das rídulhas, fotoenvelhecimento (cor, textura, telangiectasias, lentigos, melasma), cicatrizes de acne, cicatrizes traumáticas ou de queimaduras, estrias, etc. Os lasers usados no rejuvenescimento não ablativo são os seguintes: 1) Nd:YAG 1.064 nm e 1.320 nm, 2) Díodo 1.450 nm, 3) Erbium 1.540 nm, 4) Q-switched Nd:YAG 1.064 nm, 5) Cripton/Nd:YAG 532 nm, 6) Laser pulsado de corantes 595 nm, 7) IPL. Vários lasers vasculares como o laser pulsado de corantes e o laser Cripton/Nd:YAG têm sido utilizados no rejuvenescimento cutâneo. Isto porque a activação plaquetária e a libertação de citoquinas provocada pelo laser nos vasos sanguíneos activa os fibroblastos e induz a neossíntese de colagénio de que resulta uma acção reafirmante. Além disso actuam no componente vascular e pigmentar do fotoenvelhecimento[63-70]. O laser Nd:YAG 1.064 nm e o laser pulsado de corantes são usados com eficácia no tratamento de estrias imaturas ou seja, eritematosas cujo alvo é a hemoglobina. Os lasers de infravermelhos actuam por remodelação da derme e estimulam a produção de fibras de colagénio e elásticas. Há sistemas que combinam lasers distintos como o Er:YAG 2.940 nm e o Nd:YAG 1.064 nm permitindo actuar a vários níveis numa mesma sessão.

Renovação fraccionado não ablativa

A renovação fraccionada não ablativa é o último desenvolvimento no rejuvenescimento cutâneo (Figura 10). A radiação laser é emitida por microfioses ópticos que actua

em colunas rodeadas de uma zona hipertérmica. Esta técnica é menos invasiva que as técnicas ablativas e permite uma recuperação mais rápida que o rejuvenescimento não fraccionado. Os tratamentos podem ser repetidos cada 3 a 4 semanas. Podem adaptar-se caso a caso a área de tratamento e a densidade de energia dos microfioses. A profundidade de penetração na pele depende da energia e do Δ do feixe laser. Está disponível em laser Erbium 1.540 nm fraccionado. Não requer em geral anestesia. Provoca eritema e edema moderado durante três dias. Pode ser usado em todos os fototipos e em todas as áreas anatómicas. Tem uma taxa de complicações baixa e inferior à de outros procedimentos usados para rejuvenescimento. As mais comuns são as erupções acneiformes e infecção por herpes simplex. A hiperpigmentação pós-inflamatória é rara mas mais frequente nos fototipos elevados. Tem indicação na melhoria das rugas, cicatrizes acneicas, cicatrizes cirúrgicas/traumáticas/queimaduras, estrias, etc. Têm-se obtido resultados razoáveis no melasma (é o único laser aprovado pela FDA para esta doença) e no fotoenvelhecimento cutâneo. Ressalvamos que a terapêutica do melasma é em geral decepcionante seja qual for a opção terapêutica: 1/3 dos doentes melhora, 1/3 não responde e 1/3 recidivam.

Luz intensa pulsada

A luz intensa pulsada surgiu nos anos 90. A possibilidade de variar os ?, as fluências, a duração de pulso e o intervalo entre os mesmos torna este sistema muito versátil e flexível o que lhe permite ser usado na vertente vascular, pigmentar e epilatória e no fotorejuvenescimento cutâneo. É uma alternativa aos lasers para o tratamento de diversos tipos de lesões vasculares desde angiomas planos, telangiectasias, rosácea, poiquilodermia de Civatte, etc. Nalguns estudos obtiveram-se bons resultados no tratamento do melasma epidérmico e misto com IPL. O mesmo para manchas pigmentadas como os lentigos solares a epilação ou o acne. O pós-laser pode cursar com eritema, edema, púrpura, crostas. Os efeitos secundários da IPL são hiper e hipopigmentação. Há sistemas fraccionados de IPL 850-1.350 nm que emitem luz intensa pulsada de elevada energia na área do infravermelho, o que provoca a elevação de temperatura da derme, que se estende a uma profundidade de 1,5 a 3 mm. Como nos outros sistemas fraccionados a luz é emitida em feixes. Usam-se no rejuvenescimento cutâneo. São efectuadas várias sessões em geral 4 com 3 semanas de intervalo. Também estão comercializados sistemas fraccionados de IPL 850-1.350 nm que atingem maior densidade de energia o que permite uma maior profundidade de penetração e por-

tanto maior eficácia quando se pretendem correcções mais profundas[63-70]. Os sistemas de IPL que emitem luz em duas bandas de comprimento de onda 400-700 nm e 870-1.200 nm são usados na terapêutica do acne como foi explicado no capítulo correspondente.

Terapêutica fotodinâmica

Pode usar-se luz laser ou outra. Já foi referida a sua importância no tratamento de angiomas planos. O tratamento de lesões malignas e pré-malignas cutâneas é sobejamente conhecido. Há estudos que demonstram a sua utilização com sucesso no acne vulgar e nas verrugas virais[71].

Laser Nd:YAG sub-dérmico: laserlipólise, hiperhidrose e bromidrose axilar

O laser Nd:YAG 1064nm subdérmico é usado com bons resultados no tratamento da hiperhidrose e bromidrose axilar[72]. É um laser de pulso intermédio da ordem dos microsegundos. Elimina as glândulas sudoríparas. Histologicamente observa-se microvesiculação, decapitação e dilatação das glândulas écrinas após o tratamento laser seguida de necrose e colapso das mesmas. O efeito térmico circundante nas fibras nervosas também contribui para o resultado clínico. É um procedimento invasivo que requer anestesia local. O dispositivo laser tem uma cânula de fibra óptica que se introduz na pele até à derme. É o mesmo laser que se usa na laserlipólise. Nesta aplicação o efeito fotomecânico do laser rompe a membrana do adipócito que se abre e esvazia a gordura no espaço intercelular. Ao fim de alguns meses o adipócito é eliminado e a gordura excretada. Este laser também provoca fotocoagulação dos vasos o que melhora a hemostase e induz a neoformação de colagénio.

Bibliografia

1. 1º Curso básico de laser médico. Sociedade Portuguesa interdisciplinar de laser médico SPILM. Director: Prof. Doutor M. Ribau Teixeira; Coordenador pedagógico: Dra. Leonor Xavier de Brito, Dr. José Henriques, Dr. Carlos Marques Neves, 1999.
2. Pinto Soares A. Laser em Dermatologia. *Trab Soc Port Dermatol Venereol* 1997;55:99-118.
3. Tanzi EL, Lupton JR, Alster TS. Laser in dermatology: four decades of progress. *J Am Acad Dermatol* 2003;49:1-31.
4. Spicer MS, Goldberg DL. Lasers in dermatology. *J Am Acad Dermatol* 1996;34:1-25.
5. Mazer JM. Les lasers en Dermatologie. *Ann Dermatol Venereol* 2000;127:532-41.
6. Michaud T, Mordon S. Théorie des lasers et des lampes. *Ann Dermatol Venereol* 2008; 135:S184-8.
7. Trelles MA. Laserterapia. Perspectivas de futuro. *Piel* 2000;15:1112.
8. Polla LL, Jacques SL, Margolis RJ, Prince MR, Anderson RR, Parrish JA, Tan OT. Selective photothermolysis: contribution to the treatment of flat angiomas (port wine stains) by laser. *Ann Dermatol Venereol* 1987;114:497-505.
9. Mordon S. Transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine lors du chauffage sanguin Intérêt pour le traitement par laser Nd:YAG (1,06 µm) des lésions vasculaires. *Ann Dermatol Venereol* 2003;130:648-51.
10. Raulin C, Greve B, Grema H. IPL technology: a review. *Lasers in surgery and medicine* 2003;28:78-87.
11. Mazer JM. Indications des lasers médicaux en dermatologie. *Presse Med* 2002;31:223-31.
12. <http://arapaho.nsuok.edu/~salmonto/Env/Laser Safety.pdf>

Conclusão

A tecnologia laser aplicada à medicina e, em particular à dermatologia, tornou-se cada vez mais indispensável na abordagem terapêutica de numerosas situações. O laser de CO2 é usado desde há longa data como instrumento cirúrgico em complemento da cirurgia convencional e da electrocirurgia. Mais tarde, o conceito de fototermólise selectiva foi um passo decisivo que revolucionou o tratamento do componente cutâneo das malformações vasculares congénitas, impensável há poucas décadas. O conhecimento do comprimento de onda e da duração de pulso específicos de cada laser são essenciais para que se obtenham bons resultados terapêuticos e se tire o máximo partido da sua funcionalidade adaptada à clínica. A exploração das potencialidades do laser e da luz intensa pulsada, permitiu também avanços importantes na área da estética, como a epilação permanente ou a destatuação. Recentemente, os lasers fraccionados ablativos e não ablativos assumiram a primazia na correcção do fotoenvelhecimento e envelhecimento cutâneos pois são sistemas eficazes mas menos invasivos que os lasers convencionais. Assiste-se também ao aparecimento de vários sistemas de laser e IPL que combinam comprimentos de onda distintos permitindo actuar a vários níveis em simultâneo. Veremos até onde nos leva este caminho, que se iniciou com a teoria quântica de Einstein em 1917 e continua a abrir perspectivas prometedoras que sempre aguardamos com expectativa.

Adenda

Sub-múltiplos do SI:

1 ms = 0,001s = 1 milissegundo = 10^{-3} s.

1 microsegundo = 10^{-6} s.

1 nanosegundo = 10^{-9} s.

1 picosegundo = 10^{-12} s.

1 femtosegundo = 10^{-15} s.

13. Gloster HM, Roenigk RK. Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. *J Am Acad Dermatol* 1995; 32:436-41.
14. Sawchuk WS, Weber PJ, Lowy DR, Dzubow LM. Infectious papillomavirus in the vapor of warts treated with carbon dioxide laser or electrocoagulation: detection and protection. *J Am Acad Dermatol* 1989;21:41-9.
15. Bergbrant IM, Samuelsson L, Olofsson S, Jonassen F, Ricksten A. Polymerase chain reaction for monitoring human papillomavirus contamination of medical personnel during treatment of genital warts with CO2 laser and electrocoagulation. *Acta Derm Venereol* 1994;74:393-5.
16. Garden JM, O'Banion MK, Bakus AD, Olson C. Viral disease transmitted by laser-generated plume (aerosol). *Arch Dermatol* 2002; 138:1303-7.
17. Ferenczy A, Bergeron C, Richart RM. Carbon dioxide laser energy disperses human papillomavirus deoxyribonucleic acid onto treatment fields. *Am J Obstet Gynecol* 1990; 163:1271-4.
18. Andre P, Orth G, Evenou P, Guillaume JC, Avril MF. Risk of papillomavirus infection in carbon dioxide laser treatment of genital lesions. *J Am Acad Dermatol* 1990;22:131-2.
19. Ferenczy A, Bergeron C, Richart RM. Human papillomavirus DNA in CO2 laser-generated plume of smoke and its consequences to the surgeon. *Obstet Gynecol* 1990;75:114-8.
20. Asch H. Risque infectieux viral et laser CO2. *Ann Dermatol Venereol* 1997;124:557.
21. Hallmo P, Naess O. Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1991; 248:425-7.
22. Thual N, Chevallier JM, Vuillamie M, Tack B, Leroy D, Domp Martin A. Laser CO2 continu dans le traitement des hamartomes épidermiques verruqueux. Review. *Ann Dermatol Venereol* 2006;133:131-8.
23. Collet Villette AM, Richard MA, Fourquet F, Monestier S, Gaudy C, Bonerandi JJ, Grob JJ. Traitement de la maladie de Hailey-Hailey par laser ablatif CO2. *Ann Dermatol Venereol* 2005;132:637-40.
24. Vaisse V, Clerici T, Fusade T. Bowen's disease treated with scanned high energy pulsed CO2 laser. Follow-up after treatment of ten cases. *Ann Dermatol Venereol* 2001;128: 1220-4.
25. Vozmediano JF, Hita JCA. Utilidad de la laser abrasión en dermatología. *Piel* 2000;15: 240-5.
26. Angel S. Laser CO2 ultrapulse. *Ann Dermatol Venereol* 2005;132:284-9.
27. Mordon S. Les lasers de relissage. *Ann Dermatol Venereol* 2003; 130:381-4.
28. Beylot C. Lasers ablatifs et lasers fractionnels. *Ann Dermatol Venereol* 2008;135:S189-94.
29. Michaud T. Laser vasculaires. *Ann Dermatol Venereol* 2008; 135:S195-9.
30. Boineau D. Laser KTP. *Ann Dermatol Venereol* 2004;131:1015-7.
31. Dewerd S, Callens A, Machel L, Grangepon-te MC, Vaillant L, Lorette G. [Acquired tufted angioma in an adult: failure of pulsed dye laser therapy]. *Ann Dermatol Venereol* 1998; 25:47-9.
32. Estebanz JLL. Laserterapia y luz pulsada en las malformaciones vasculares congénitas. *Piel* 2000;15:13-5.
33. Fresneda AC, Arias GAM. Tratamiento del nevo flámeo con láser. *Piel* 2000;15:87-94.
34. Michel JL. Le traitement des angiomes plans peut-il être proposé dès les premiers mois de vie? *Ann Dermatol Venereol* 2001;128:1271-3.
35. Gu Y, Huang NY, Liang J, Pan YM, Liu FG. Analyse clinique de 1949 angiomes plans traités par thérapie photodynamique vasculaire (Gu's PDT). *Ann Dermatol Venereol* 2007;134:241-4.
36. Arias, M, Ferrando J. Hemangiomas en la infancia. *Med Cután Iber Lat Am XXVII* 1999; 233-45.
37. Sadick NS, Prieta V, Shea CR et al. Clinical and pathophysiologic correlates of 1064nm Nd:YAG laser treatment of reticular veins and venulectasias. *Arch Dermatol* 2001; 137:613-7.
38. Desmytère J, Grard C, Wassmer B, Mordon S. Endovenous 980-nm laser treatment of saphenous veins in a series of 500 patients. *J Vasc Surg* 2007;46:1242-7.
39. Passeron T, Sebban K, Mantoux F, Fontas E, Lacour JP, Ortonne JP. Traitement des verrues palmo-plantaires par le laser à colorant pulsé à 595 nm: étude randomisée en simple insu contre placebo. *Ann Dermatol Venereol* 2007;134:135-9.
40. Ross BS, Levine VJ, Nehal K, Tse Y, Ashinoff R. Pulsed dye laser treatment of warts: an update. *Dermatol Surg* 1999;25:377-80.
41. Jacobsen E, McGraw R, McCagh S. Pulsed dye laser efficacy as initial therapy for warts and against recalcitrant verrucae. *Cutis* 1997;59:206-8.
42. Volz LR, Carpiello VL, Malloy TR. Laser treatment of urethral condyloma: a five-year experience. *Urology* 1994;43:81-3.
43. Li Y, Yang K. Treatment of recalcitrant-pigmented flat warts using frequency-doubled Q-switched Nd-YAG laser. *Lasers Surg Med* 2001; 29:244-7.
44. Pfau A, Abd-el-Raheem TA, Bäumler W, Hohenleutner U, Landthaler M. Nd:YAG laser hyperthermia in the treatment of recalcitrant verrucae vulgares (Regensburg's technique). *Acta Derm Venereol* 1994; 74:212-4.
45. Gonzales J. The treatment of warts with intense pulsed light technology. University of Puerto Rico, Department of Dermatology. Palomar medical technologies. www.palomarmedical.com.
46. Grogard C. Lasers pigmentaires et autres dispositifs polychromatiques. *Ann Dermatol Venereol* 2008;135:S205-7.
47. Ort RJ, Arndt, Dover JS. Laser in the treatment of pigmented lesions. In Atlas of Cosmetic Surgery, Kaminer S, Dover JS, Arndt KA, WS Saunders Company, Philadelphia, 2002, pp. 161-78.
48. Jimenez G, Weiss E, Spencer JM. Multiple colour changes following laser therapy. *Dermatol Surg* 2002;28:177-9.
49. Fusade T. Techniques de détatouage. *Ann Dermatol Venereol* 2003;130:1164-9.
50. Catorze MG, Bordalo O. Tatuagens e piercings. (Educação médica contínua). *Trab Soc Port Dermatol Venereol* 2006;64:11-42.
51. Michaud T, Tack B. Épilation par laser ou par lampe polychromatique pulsée. *Ann Dermatol Venereol* 2008;135:S200-4.
52. Delhalle C. Epilation laser. *Bedc* 1998;6:78-84.
53. Tack B. Epilation par laser et lumière intense pulsée. *Ann Dermatol Venereol* 2005;132: 75-80.
54. Beaulieu P. Peut-on épiler par laser les naevus pileux sans aucun risque? *Ann Dermatol Venereol* 2002;129:1333-8.
55. Benamor S, Cabotin PP. Lasers sur les peaux noires. *Ann Dermatol Venereol* 2006;133: 945-51.
56. Viney C, Bachelez H, Musette P, Pinquier L, Flageul B, Dubertret L. Lupus érythémateux cutané déclenché par le laser argon. *Ann Dermatol Venereol* 2001;128:49-51.
57. Michel JL, Valanconny C. Laser et lupus 2002;129:233.
58. Passeron T, Angeli K, Cardot-Leccia N, Perrin C, Lacour JP, Ortonne JP. Traitement du mycosis fongoïde par le laser excimer à 308 nm: étude anatomo-clinique chez dix malades. *Ann Dermatol Venereol* 2007;134: 225-31.
59. Astner S, Tsao SS. Clinical Evaluation of a 1 450-nm Diode Laser as Adjunctive Treatment for Refractory Facial Acne Vulgaris. *Dermatol Surg* 2008.
60. Glaich AS, Friedman PM, Jih MH, Goldberg LH. Treatment of inflammatory facial acne vulgaris with combination 595-nm pulsed-dye laser with dynamic-cooling-device and 1,450 nm diode laser. *Lasers Surg Med* 2006;38:177-80.
61. Taub AF. A comparison of intense pulsed light, combination radiofrequency and intense pulsed light, and blue light in photodynamic therapy for acne vulgaris. *J Drugs Dermatol* 2007;6:1010-6.
62. Dierickx C. Treatment of acne vulgaris with a variable filtration IPL system. American society for Laser Medicine and Surgery Abstracts – 2004. www.palomarmedical.com/palomar
63. Sadick NS. Update on non-ablative light therapy for rejuvenation: a review. *Lasers Surg Med* 2003;32:120-8.

64. Mordon S. Les lasers de remodelage. *Ann Dermatol Venereol* 2003; 130:479-84.
65. Le Pillouer-Prost, Dahan S, Grogard C. Remodelage non ablativo par laser ou lampe flash et prise en charge du vieillissement. *Ann Dermatol Venereol* 2005;132: 391-5.
66. Estebarez JLL, Rodríguez AS, Gómez SL. Fotorrejuvenecimento no ablativo con luz pulsada intensa. *Piel* 2003;18:54-8.
67. Zelickson B, Altshuler G, Childs J et al. Optimal parameters for fractional rejuvenation: theory and experiment. University of Minnesota, Minneapolis. American Society for Laser Medicine and surgery Abstracts. <http://www.syneron.com/assets/downloads>
68. Vasily DB. A pilot study using a new fractional infrared laser source for the treatment of post-surgical and post-traumatic scars. *Aesthetica cosmetic and laser surgery center*. Bethlehem. <http://www.medicalsearch.com.au/Features>
69. Djerickx C, Altshuler G, Erofeev A et al. Deep dermal optical/island damage as a novel approach to skin tightening. *Laser Clinic Boom, Belgium*. American Society for Laser Medicine and surgery Abstracts. <http://www.syneron.com/assets/downloads>
70. Laubach HJ, Childs J, Altshuler G et al. Non-ablative fractional photothermolysis with near infrared lamp. Wellman Center for Photomedicine, Harvard Medical School, Boston. American Society for Laser Medicine and surgery. Abstracts. <http://www.syneron.com/assets/downloads>
71. Schroeter CA, Kaas L, Waterval JJ, Bos PM, Neumann HA. Successful treatment of periungual warts using photodynamic therapy: a pilot study. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2007;21:1170-4.
72. Goldman A, Wollina U. Subdermal Nd-YAG laser for axillary hyperhidrosis. *Dermatol Surg* 2008;34:756-62.

Cuestionario de autoevaluación

1. Os dispositivos LASER geram:
 - a) Radiação electromagnética.
 - b) Radiação ionizante.
 - c) Ambas.
 - d) Nenhuma.
2. Quais são as características da luz laser?:
 - a) Coerente, monocromática, colimada, intensa.
 - b) Coerente, policromática, colimada, intensa.
 - c) Coerente, monocromática, colimada, pouco intensa.
 - d) Caótica, policromática, intensa, não colimada.
3. O sistema laser é constituído por:
 - a) Meio laser.
 - b) Fonte de energia.
 - c) Espelhos reflectores.
 - d) Todos.
4. Em relação ao meio laser os lasers classificam-se em:
 - a) Gasoso, sólido, líquido, electrões livres.
 - b) Gasoso, sólido, líquido.
 - c) Electrões livres.
 - d) Líquido, sólido.
5. A luz laser pode ser emitida:
 - a) De modo contínuo.
 - b) De modo pulsado.
 - c) Ambos.
 - d) Nenhum.
6. A fluência é:
 - a) A densidade de energia e mede-se em Joules por cm².
 - b) A densidade de potência e mede-se em W por cm².
 - c) A densidade de energia e mede-se em W por cm².
 - d) Igual à irradiância e mede-se em W por cm².
7. Os lasers actuam nos tecidos por:
 - a) Efeito fototérmico.
 - b) Fotodisrupção.
 - c) Fotoablação.
 - d) Efeito fototérmico, fotodisrupção, fotoablação, ablação induzida por plasma.
8. Um cromóforo é:
 - a) Um pigmento natural ou externo.
 - b) Um grupo de átomos que dá cor a uma substância.
 - c) A hemoglobina e a melanina são cromóforos da pele.
 - d) Todas as anteriores.
9. A fototermólise selectiva:
 - a) Postula que o cromóforo pode ser atingido selectivamente se tiver um comprimento de onda igual ao da emissão laser.
 - b) foi inicialmente descrita para o laser de corantes pulsados.
 - c) ambas.
 - d) nenhuma.
10. O tempo de relaxação térmica é:
 - a) O tempo necessário para que o calor gerado com o impulso laser arrefeça até metade do inicial.
 - b) O tempo necessário para que o calor gerado com o impulso laser arrefeça a totalidade do inicial.
 - c) O tempo necessário para que o calor gerado com o impulso laser arrefeça um quarto do inicial.
 - d) O tempo necessário para que o calor gerado com o impulso laser arrefeça um sexto do inicial.
11. Os principais lasers de corte e vaporização são:
 - a) Laser de CO₂ 10.600 nm.
 - b) Laser Erbium:YAG 2.940 nm.
 - c) Laser Nd:YAG 1.064 nm.
 - d) Os dois primeiros.
12. Os lasers vasculares actuam podem actuar por:
 - a) Fotocoagulação selectiva.
 - b) Fototermólise selectiva.
 - c) Ambas.
 - d) Nenhuma.
13. Podem ser usados para tratamento de lesões vasculares os seguintes lasers:
 - a) Laser de argon e de cripton.
 - b) Laser de vapor de cobre.
 - c) Laser pulsado de corantes, Nd:YAG 1064 nm e 532 nm, laser de diodo.
 - d) Todos os anteriores.
14. Os lasers usados nas destatuagens são:
 - a) Lasers Q-switched alexandrite.
 - b) Lasers Q-switched alexandrite, Nd:YAG e rubi.
 - c) Laser diodo.
 - d) Laser vapor de cobre.
15. Para a epilação usam-se lasers:
 - a) Pulsados de pulso longo.
 - b) Q-switched.
 - c) Contínuos.
 - d) Pseudocontínuos.

16. Nas peles escuras devem usar-se lasers epilatórios:
- a) Com comprimentos de onda preferencialmente curtos.
 - b) Com comprimentos de onda preferencialmente longos.
 - c) Nunca de devem usar lasers.
 - d) Pode escolher-se qualquer laser sem riscos de hipopigmentação.
17. Os lasers de rejuvenescimento não ablativo:
- a) Destroem a epiderme.
 - b) Estimulam a produção de colagénio na derme sem destruir a epiderme.
 - c) São lasers de infravermelhos.
 - d) B e c.
18. A luz intensa pulsada:
- a) Têm comprimentos fixos.
 - b) Podem variar-se os comprimentos de onda.
 - c) Permite tratar lesões pigmentadas, vasculares e pêlos.
 - d) B e c.
19. O fumo emitido pelos lasers de vaporização:
- a) É inócuo.
 - b) Pode transportar partículas virais.
 - c) Não precisa de ser aspirado.
 - d) A e c.
20. A segurança laser implica:
- a) Protecção ocular específica.
 - b) Avisos nas portas contra radiações visíveis e invisíveis, directas e dispersas.
 - c) Uso de soluções não alcoólicas para limpeza da pele.
 - d) Todas.

Respuestas del cuestionario: Aparecerán en esta página en el número 3 de 2009.

Respuestas del cuestionario del número 5 de 2008: 1e 2d 3d 4e 5d 6e 7e 8b 9c 10d 11c 12e 13a 14e 15a
