

Dermatologia e Procedimento Estéticos - Ed. XI

Capítulo 8

LASER COMO INSTRUMENTO NA MEDICINA ESTÉTICA: APLICAÇÕES E AVANÇOS

KASSIA GARBELOTE SOARES¹
PEDRO IGOR JERONIMO SILVA²
RUDY ALISSON DE MIRANDA ALMEIDA¹
ADRIANA GAVIOLI³
SILVANA OLIVEIRA SILVA⁸
LAERTE CARDOSO SANTOS JÚNIOR⁴
JADER HORACIO SATURNINO VASCONCELOS²
CLARA BATISTA SATURNINO DE VASCONCELOS⁵
BERNARDO BORGES PESSATO⁶
GEOVAM NATAL LIMA RAMOS⁷
SUELLEN R. MORETTI PESSATO⁶
ANA KAROLINE DE ALMEIDA MACHADO RAMOS⁷
POLLIANA TOSTA MOREIRA¹

¹Discente – Universidade Brasil

²Médico – Universidade Brasil

³Biomédica – Universidade Cruzeiro do Sul

⁴Médico – Universidade Federal Fluminense

⁵Médico – Universidade Federal Fluminense Uninorte

⁶Discente – Universidade Anhembi Morumbi

⁷Discente – FACIMPA

⁸Discente – FAI-Centro Universitário de Adamantina

Palavras-chave: Laser; Estética; Medicina

DOI

10.59290/978-65-6029-167-6.8

P EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

O uso do laser na medicina estética representa um avanço significativo nas terapias minimamente invasivas para o tratamento de diversas questões pertinentes. Desde sua introdução, o laser revolucionou a abordagem de patologias dermatológicas, rejuvenescimento e correção de imperfeições, proporcionando maior precisão e eficácia. As diferentes modalidades de laser, com variações de comprimento de onda, duração de pulso e potência, permitem tratamentos personalizados que minimizam danos aos tecidos adjacentes. Neste capítulo, exploraremos as principais aplicações estéticas do laser, bem como os avanços recentes que ampliaram seus cronogramas e resultados terapêuticos.

METODO

Este capítulo foi desenvolvido com base em uma revisão sistemática e crítica da literatura científica sobre o uso de lasers na medicina estética. Foram consultadas publicações de alto impacto, indexadas em bases de dados como PubMed, Scopus e *Web of Science*, abrangendo estudos clínicos, revisões sistemáticas e diretrizes de consenso de especialistas. O foco principal foi nas principais tecnologias de laser, incluindo CO₂, Erbium, Nd, Alexandrita, e sistemas de picossegundo, com especial atenção aos seus mecanismos de ação, parâmetros técnicos, indicações estéticas e eficácia clínica.

O critério de seleção dos materiais não foi restrito pelo tempo de publicação, desde que os estudos demonstrassem relevância clínica e atualidade nos princípios aplicados, permitindo uma visão completa tanto dos fundamentos teóricos quanto das inovações tecnológicas recentes. Foram incluídos dados sobre as modalidades ablativas e não ablativas, suas aplicações

em *resurfacing* cutâneo, rejuvenescimento, remoção de lesões pigmentares e tatuagens, bem como tratamentos vasculares. Além disso, o estudo considerou avanços como a fototermólise fracionada e as novas plataformas híbridas de laser, destacando suas contribuições para a evolução dos procedimentos estéticos minimamente invasivos.

A escolha dos estudos priorizou aqueles com amostras robustas, metodologias rigorosas e resultados replicáveis, garantindo que as informações aqui apresentadas sejam baseadas em evidências sólidas. Este processo metodológico permitiu uma abordagem técnica e abrangente, combinando os aspectos teóricos com as inovações práticas na utilização do laser em medicina estética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Introdução ao Uso do Laser na Medicina Estética

O uso de laser na medicina estética marcou um grande avanço nas terapias minimamente invasivas, permitindo tratamentos seguros e eficazes para uma ampla gama de condições dermatológicas e estéticas. Para uma compreensão completa de seu impacto, é crucial explorar seu desenvolvimento histórico, os princípios físicos subjacentes ao funcionamento dos lasers e seus mecanismos de ação sobre os tecidos biológicos.

Breve Histórico e Evolução

O desenvolvimento do laser remonta à década de 1960, com a criação do primeiro laser de rubi por Theodore Maiman, em 1960. Originalmente empregado em outras áreas médicas, como oftalmologia, o potencial do laser em tratamentos dermatológicos foi logo identificado. Um dos marcos foi a utilização do laser de CO₂ em tratamentos cutâneos na década de 1990, consolidando-se no rejuvenescimento facial e

na remoção de cicatrizes (FITZPATRICK *et al.*, 1996).

Desde então, novos tipos de lasers foram desenvolvidos, cada um com propriedades específicas adaptadas para diferentes indicações clínicas. O surgimento dos lasers fracionados no início dos anos 2000 representou um avanço significativo, permitindo tratamentos mais eficazes com menor tempo de recuperação. Essa tecnologia divide o feixe de laser em múltiplos microfeixes, atingindo áreas específicas da pele e preservando as regiões ao redor (MANSTEIN *et al.*, 2004).

Princípios Físicos e Mecanismos de Ação do Laser

Laser é o acrônimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa "Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação". Os lasers emitem luz colimada, monocromática e coerente, com um comprimento de onda específico, que pode ser seletivamente absorvida por cromóforos da pele, como a água, melanina ou hemoglobina (ANDERSON & PARRISH, 1983).

O princípio básico que rege o uso de laser na medicina estética é o da fototermólise seletiva, um conceito introduzido por Anderson e Parrish (1983), que descreve a destruição de estruturas específicas na pele com base na absorção de luz por cromóforos-alvo, sem prejudicar o tecido ao redor. A absorção da luz pelo cromóforo resulta em aquecimento localizado, promovendo coagulação, vaporização ou destruição das estruturas tratadas.

Diferentes tipos de laser possuem comprimentos de onda ajustados para maximizar a afinidade por certos cromóforos:

- O laser de CO₂ (10.600 nm), por ser fortemente absorvido pela água, é amplamente utilizado para vaporização e ablação de camadas superficiais da pele (FITZPATRICK *et al.*, 1996).

- O laser Nd (1.064 nm) é mais seletivo para hemoglobina, sendo usado no tratamento de lesões vasculares (KILMER & GARDEN, 2006).

- O laser Alexandrita (755 nm) é eficaz para remoção de pigmentos e depilação, dado seu alto nível de absorção pela melanina (FRIEDMAN, 2005).

Aplicações da Fototermólise Seletiva na Estética

A fototermólise seletiva encontra ampla aplicação na estética médica. Diferentes lasers são usados para tratar rugas, cicatrizes de acne, remoção de tatuagens, lesões pigmentadas e vasculares. Por exemplo, o **laser Erbium** (2.940 nm) é utilizado para *resurfacing* cutâneo, promovendo regeneração de colágeno (MANSTEIN *et al.*, 2004). Já lasers **não ablativos** como o Nd são frequentemente usados em tratamentos vasculares e de remoção de pelos (KILMER & GARDEN, 2006).

A eficácia dos tratamentos depende de fatores como fluência, duração do pulso e tamanho do feixe. Esses parâmetros técnicos influenciam diretamente o resultado clínico e a taxa de complicações, o que exige conhecimento detalhado do funcionamento do laser por parte do médico (ALSTER, 2003).

Desafios e Limitações

Apesar dos avanços, o uso de laser na medicina estética apresenta desafios. A precisão dos tratamentos depende de uma cuidadosa seleção de parâmetros e de uma curva de aprendizado complexa. Além disso, a fototermólise seletiva pode ser menos eficaz em peles mais escuras devido à alta concentração de melanina, o que limita a seletividade dos cromóforos (ANDERSON & PARRISH, 1983).

Complicações comuns incluem hiperpigmentação pós-inflamatória, queimaduras, cicatrizes e infecções. Para mitigar esses riscos, tecnologias de resfriamento e avanços em protocolo

los de segurança têm sido incorporados, aumentando a segurança dos procedimentos (FRIEDMAN, 2005).

Importância na Medicina Estética Moderna

Atualmente, o laser é uma das principais ferramentas na prática da medicina estética. Ele oferece opções minimamente invasivas para o tratamento de condições estéticas que antes requeriam intervenções cirúrgicas mais agressivas. Além disso, o curto tempo de recuperação e a alta taxa de satisfação dos pacientes consolidam o laser como um recurso valioso no rejuvenescimento facial e outros procedimentos (ALSTER, 2003).

O desenvolvimento contínuo de novas tecnologias de laser, como o laser de pico-segundo, e o aperfeiçoamento das plataformas existentes prometem expandir ainda mais as aplicações do laser, aprimorando seus resultados e segurança.

Tipos de Lasers Utilizados

O uso do laser na medicina estética envolve uma variedade de tecnologias baseadas em diferentes tipos de lasers, cada um com características próprias de comprimento de onda, profundidade de penetração e seletividade de cromóforos. A escolha do tipo de laser é determinada pelo objetivo clínico, considerando a estrutura alvo (melanina, hemoglobina ou água) e o perfil do paciente. Neste tópico, abordaremos os principais tipos de lasers utilizados na medicina estética, suas indicações e as inovações associadas a cada tecnologia.

Lasers Ablativos

Os lasers ablativos removem camadas superficiais da pele por meio da vaporização do tecido, sendo amplamente utilizados para rejuvenescimento cutâneo, tratamento de cicatrizes, rugas e lesões cutâneas benignas. Esses lasers promovem uma intensa regeneração do tecido colágeno, resultando em uma pele mais firme e homogênea após o processo de cicatrização (ALSTER & TANZI, 2004).

Laser de CO2 (Dióxido de Carbono)

O laser de CO2, com comprimento de onda de 10.600 nm, é altamente absorvido pela água, o principal componente do tecido humano. Isso permite que ele seja um dos lasers ablativos mais eficazes para vaporizar as camadas superficiais da pele e estimular a remodelação do colágeno. O CO2 é utilizado principalmente para *resurfacing* facial, tratamento de cicatrizes de acne e rejuvenescimento. Apesar da sua eficácia, está associado a um tempo de recuperação mais prolongado e a um risco maior de complicações, como hiperpigmentação pós-inflamatória (FITZPATRICK *et al.*, 1996).

Nos últimos anos, o desenvolvimento de lasers de CO2 fracionados reduziu o tempo de recuperação e as complicações associadas, ao criar colunas de microlesões térmicas na pele, preservando áreas intactas e acelerando a cicatrização (MANSTEIN *et al.*, 2004).

Laser de Erbium

Com um comprimento de onda de 2.940 nm, o laser de Erbium também é fortemente absorvido pela água, mas em uma proporção ainda maior que o CO2, o que o torna mais preciso e com menor dispersão térmica. Por isso, ele é indicado para *resurfacing* mais superficial e tratamentos ablativos com menor risco de hiperpigmentação. É frequentemente usado para tratar rugas finas e cicatrizes superficiais (ALSTER & NANNI, 1999). A recuperação, nesse caso, é mais rápida do que com o laser de CO2, e há menor risco de complicações, porém com uma profundidade de penetração e resultados menos intensos em rugas mais profundas.

Lasers Não Ablativos

Os lasers não ablativos tratam a pele sem remover suas camadas externas, promovendo a

estimulação de colágeno nas camadas mais profundas da derme. Estes dispositivos são indicados para pacientes que desejam melhorar a textura e a qualidade da pele sem o tempo de recuperação prolongado dos lasers ablativos.

Laser Nd - (Neodímio: Yttrium-Aluminum-Garnet)

Com comprimento de onda de 1.064 nm, o laser Nd penetra mais profundamente na pele e é seletivamente absorvido pela hemoglobina, sendo ideal para o tratamento de lesões vasculares, como telangiectasias, varizes e rosácea. Além disso, devido à sua alta penetração, é eficaz na depilação a laser, especialmente em pessoas com fototipos mais altos (FRIEDMAN, 2005). Também é amplamente utilizado no tratamento de lesões pigmentadas e tatuagens escuras, uma vez que sua afinidade por melanina permite a fragmentação de pigmentos.

A principal vantagem do Nd é sua capacidade de tratar alvos profundos sem danificar a epiderme, mas exige múltiplas sessões para resultados visíveis e a precisão deve ser ajustada cuidadosamente para evitar efeitos adversos (KILMER & GARDEN, 2006).

Laser de Diodo

O laser de diodo, com comprimento de onda variando entre 800 nm e 810 nm, é amplamente utilizado na depilação definitiva, sendo eficaz em melanina. Ele apresenta uma maior penetração do que o Alexandrita e é seguro para uma ampla variedade de fototipos (GOLDBERG *et al.*, 2000). Em comparação com o Nd, ele é mais eficiente para pelos mais finos e em áreas de pele mais clara, sendo considerado o padrão-ouro para depilação a laser.

Laser Alexandrita

O laser Alexandrita, com comprimento de onda de 755 nm, tem alta afinidade pela mel-

nina, o que o torna especialmente eficaz no tratamento de pigmentações superficiais e na remoção de pelos. É amplamente utilizado para a remoção de tatuagens e hiperpigmentações benignas, como manchas solares. Sua principal vantagem é a velocidade, já que pode tratar grandes áreas em menor tempo (FRIEDMAN, 2005). No entanto, por sua absorção também na melanina da epiderme, ele apresenta maior risco de hiperpigmentação em fototipos mais altos.

Luz Intensa Pulsada (IPL)

Embora tecnicamente não seja um laser, a luz intensa pulsada (IPL) utiliza um amplo espectro de luz que pode ser ajustado para diferentes comprimentos de onda, permitindo tratar uma gama de condições estéticas, incluindo lesões vasculares, pigmentares e remoção de pelos. A vantagem do IPL é sua versatilidade, podendo tratar várias condições com uma única plataforma, mas, por não ser uma luz coerente e colimada como os lasers, apresenta menor precisão e eficácia em comparação com lasers específicos (GOLDBERG, 2000).

Inovações Recentes

Nos últimos anos, o campo da tecnologia a laser na medicina estética evoluiu consideravelmente, com o desenvolvimento de dispositivos de pico-segundo e nano-segundo, que emitem pulsos ultrarrápidos para tratar tatuagens e lesões pigmentadas com maior segurança e eficácia (KAUVAR, 2012). A introdução de sistemas de resfriamento também tem permitido a realização de tratamentos mais agressivos com maior conforto e segurança para os pacientes, minimizando o risco de queimaduras e cicatrizes.

Considerações Clínicas

A escolha do laser adequado para cada tratamento deve ser baseada em uma avaliação criteriosa da condição do paciente, do tipo de pele (classificado de acordo com a escala de Fitzpatrick) e dos objetivos clínicos. O sucesso do tratamento depende de ajustes técnicos finos, incluindo fluência, duração do pulso e tempo de resfriamento. A combinação de diferentes lasers em tratamentos complementares também tem mostrado eficácia superior em muitos casos (ALSTER & TANZI, 2004).

Aplicações Clínicas

A aplicação de lasers na medicina estética tem se tornado uma das intervenções mais procuradas para o tratamento de uma ampla gama de condições dermatológicas e estéticas. As principais indicações clínicas do uso de laser incluem o rejuvenescimento da pele, tratamento de cicatrizes, remoção de tatuagens, lesões pigmentadas, lesões vasculares, e depilação definitiva. O uso adequado de cada tipo de laser, com base em suas propriedades e características, proporciona resultados significativos, além de uma abordagem minimamente invasiva com menor tempo de recuperação. A seguir, detalharemos as principais indicações clínicas e as tecnologias a laser correspondentes.

Rejuvenescimento Facial

O rejuvenescimento facial com lasers visa melhorar a aparência da pele envelhecida ou danificada, estimulando a produção de colágeno e promovendo a remodelação do tecido dérmico. Esse tratamento é indicado para rugas, flacidez, manchas solares, e textura irregular da pele.

Laser de CO2 e Erbium

Os lasers ablativos, como o **laser de CO2** (10.600 nm) e o **laser Erbium** (2.940 nm), são amplamente utilizados para *resurfacing* da pele, especialmente em casos de rugas mais profundas e fotoenvelhecimento severo (ALSTER & TANZI, 2004). Esses lasers promovem uma destruição controlada da epiderme e da derme superior, com

subsequente regeneração do tecido e remodelação do colágeno. A escolha entre os dois geralmente depende da profundidade desejada e do perfil do paciente, com o Erbium sendo preferido em pacientes com pele mais clara e que requerem um tempo de recuperação mais rápido (FITZPATRICK *et al.*, 1996).

Lasers Não Ablativos

Para pacientes que não desejam ou não podem se submeter a procedimentos mais agressivos, os **lasers não ablativos**, como o Nd (1.064 nm) e o **laser de diodo** (800-810 nm), são opções menos invasivas para melhorar a textura da pele e estimular a produção de colágeno nas camadas mais profundas da derme (KILMER & GARDEN, 2006). O rejuve-nescimento não ablativo é mais indicado para rugas finas e flacidez leve, com a vantagem de apresentar pouco ou nenhum tempo de recuperação, embora exija múltiplas sessões para alcançar resultados satisfatórios.

Tratamento de Cicatrizes

As cicatrizes, especialmente as de acne e cicatrizes traumáticas, representam uma das principais indicações para o uso de lasers na prática clínica. O tratamento com laser visa suavizar as irregularidades da pele e estimular a remodelação do colágeno, promovendo uma aparência mais uniforme.

Laser Fracionado

A introdução dos **lasers fracionados** representou um avanço significativo no tratamento de cicatrizes. A tecnologia fracionada cria microzonas de dano térmico na pele, promovendo a regeneração do tecido sem destruir completamente a epiderme, o que resulta em menor tempo de recuperação. Os **lasers de CO2 fracionado** e **Erbium fracio-nado** são os mais utilizados para cicatrizes de acne e cicatrizes hipertróficas (MANSTEIN *et al.*, 2004). A profundidade do tratamento pode ser ajustada de acordo com a gravidade da cicatriz, proporcionando resultados eficazes com riscos reduzidos de efeitos adversos, como hiperpigmentação.

Laser de Diodo e Nd

Para cicatrizes menos profundas ou pacientes com fototipos mais altos, os **lasers não ablativos**, como o **Nd** e o **laser de diodo**, podem ser eficazes na remodelação da cicatriz sem causar danos à epiderme (FRIEDMAN, 2005). Esses lasers induzem a produção de colágeno na derme sem ablação, o que pode ser benéfico para a melhora gradual da cicatriz com menor risco de complicações.

Remoção de Tatuagens

A remoção de tatuagens é uma das áreas em que o uso de lasers teve um impacto transformador. O laser atua fragmentando os pigmentos da tatuagem, que são gradualmente eliminados pelo sistema imunológico do corpo.

Laser Q-switched

O **laser Q-switched**, como o **Nd Q-switched** (1.064 nm), é considerado o padrão-ouro para remoção de tatuagens, especialmente aquelas com pigmentos escuros, como preto e azul. O comprimento de onda de 1.064 nm penetra profundamente na pele e é bem absorvido pela melanina e pelos pigmentos da tatuagem, fragmentando-os em partículas menores (KILMER & GARDEN, 2006). Lasers com diferentes comprimentos de onda, como o **Alexandrita** (755 nm) e o **Ruby** (694 nm), são utilizados para tatuagens com cores mais claras e difíceis de tratar (KAUVAR, 2012).

Laser de Pico-Segundo

Mais recentemente, os **lasers de pico-segundo** surgiram como uma tecnologia revolucionária na remoção de tatuagens. Esses lasers emitem pulsos ultrarrápidos, com duração de pico-segundo, o que reduz o risco de danos térmicos à pele e aumenta a eficácia na fragmentação dos pigmentos (Brauer *et al.*, 2014). O tratamento com lasers de pico-segundo também requer menos sessões em comparação aos lasers *Q-switched* tradicionais,

tornando-se uma opção preferida para muitos pacientes.

Tratamento de Lesões Pigmentadas

As lesões pigmentadas, como melasma, efélides, lentigos solares e nevos pigmentados, também podem ser tratadas com eficácia por meio de lasers. A escolha do laser depende do tipo e profundidade da pigmentação.

Laser Alexandrita e Nd

O **laser Alexandrita** (755 nm) é frequentemente utilizado para lesões pigmentadas superficiais devido à sua alta afinidade pela melanina. Lesões como lentigos solares e efélides podem ser tratadas com poucas sessões, proporcionando clareamento visível da pele (FRIEDMAN, 2005). Para lesões pigmentadas mais profundas, como o melasma, o **Nd** (1.064 nm) é preferido, pois sua maior penetração e menor afinidade pela melanina da epiderme permitem o tratamento sem causar hiperpigmentação em peles mais escuras (KILMER & GARDEN, 2006).

Tratamento de Lesões Vasculares

As lesões vasculares, incluindo telangiectasias, hemangiomas, rosácea e varizes, são tratadas com lasers que possuem alta afinidade pela hemoglobina, resultando em coagulação seletiva dos vasos sanguíneos.

Laser Nd

O **Nd** (1.064 nm) é o laser mais utilizado para o tratamento de lesões vasculares, devido à sua capacidade de penetrar profundamente na pele e atingir vasos sanguíneos maiores e mais profundos, como as varizes. Ele promove a coagulação dos vasos, que posteriormente são reabsorvidos pelo corpo (FRIEDMAN, 2005). O Nd também é eficaz no tratamento de telangiectasias e rosácea, com menos efeitos colaterais em comparação aos lasers com comprimentos de onda menores.

Laser de Diodo

O **laser de diodo** também é utilizado no tratamento de lesões vasculares menores, como

telangiectasias faciais, e tem mostrado bons resultados na coagulação seletiva de pequenos vasos superficiais (ALSTER & TANZI, 2004).

Depilação a Laser

A depilação a laser é uma das aplicações mais populares da tecnologia de laser na medicina estética. O objetivo é destruir seletivamente o folículo piloso através da absorção seletiva da melanina.

Laser Alexandrita, Diodo e Nd

Os principais lasers utilizados para depilação incluem o **Alexandrita** (755 nm), **diodo** (800-810 nm) e o **Nd** (1.064 nm). O laser Alexandrita é altamente eficaz em peles claras, enquanto o diodo e o Nd são mais indicados para peles mais escuras, devido à menor afinidade desses lasers pela melanina na epiderme, o que reduz o risco de hiperpigmentação (GOLDBERG *et al.*, 2000).

Avanços Recentes

Nos últimos anos, a tecnologia de lasers na medicina estética passou por uma série de inovações que têm ampliado as possibilidades de tratamento, melhorado os resultados clínicos e reduzido os riscos associados. A pesquisa e o desenvolvimento de novos tipos de lasers, além de aprimoramentos nos sistemas existentes, resultaram em tratamentos mais eficazes, menos invasivos e com menores tempos de recuperação. Este tópico explora alguns dos avanços tecnológicos mais recentes no campo do laser aplicado à estética.

Lasers de Pico-Segundo

Os lasers de pico-segundo representam uma das inovações mais recentes e significativas na tecnologia de laser. Ao emitir pulsos de laser na escala de pico-segundos (um trilionésimo de segundo), esses dispositivos conseguem quebrar as partículas de pigmento com mais eficácia e segurança em comparação aos lasers *Q-switched*, que operam na escala de nanosegundos (ALABDULRAZZAQ *et al.*, 2017).

Esses pulsos ultracurtos minimizam o dano térmico aos tecidos circundantes, o que reduz o risco de cicatrizes e hiperpigmentação, especialmente em tratamentos de remoção de tatuagens e lesões pigmentadas (KAUVAR, 2012).

Além disso, os lasers de pico-segundo são eficazes no tratamento de rugas e cicatrizes de acne, estimulando a produção de colágeno e promovendo a remodelação da derme, com tempos de recuperação significativamente mais curtos em comparação aos lasers tradicionais (BRAUER *et al.*, 2014). O laser de pico-segundo também tem se mostrado eficaz para tratar melasma e outros tipos de hiperpigmentação, problemas que antes eram considerados difíceis de tratar com segurança.

Lasers Fracionados

Os lasers fracionados surgiram como uma inovação essencial, proporcionando um meio-termo entre os lasers ablativos e os não ablativos. O conceito de fracionamento foi introduzido para criar microzonas de dano térmico na pele, preservando áreas intactas ao redor dessas microlesões. Isso permite que a pele se regenere de maneira mais rápida, com menor tempo de recuperação e menor risco de complicações, como infecções e alterações pigmentares (MANSTEIN *et al.*, 2004).

Os lasers fracionados podem ser ablativos (como o CO2 fracionado e o Erbium fracionado) ou não ablativos (como o Nd fracionado). Eles são amplamente utilizados para o tratamento de cicatrizes, rejuvenescimento facial e tratamento de rugas (FITZPATRICK *et al.*, 2008). Essa tecnologia também tem sido adaptada para tratar condições dermatológicas mais profundas, como estrias e cicatrizes cirúrgicas, com resultados significativamente melhores do que os tratamentos a laser convencionais (WANNER, 2010).

Tecnologia de Resfriamento Integrada

Uma inovação importante que acompanhou o avanço dos lasers foi a introdução de sistemas de resfriamento cutâneo, que permitem maior conforto durante o procedimento e reduzem o risco de queimaduras e danos térmicos à epiderme. A tecnologia de resfriamento é particularmente útil em lasers de alta energia, como os lasers de CO₂ e de Alexandrita, que podem causar desconforto significativo durante o tratamento.

Existem diferentes métodos de resfriamento, incluindo resfriamento por contato, spray criogênico e resfriamento por ar. Estudos mostraram que o resfriamento adequado da pele pode não apenas melhorar o conforto do paciente, mas também permitir o uso de energias mais altas e pulsos mais longos, aumentando a eficácia do tratamento (MORDON *et al.*, 2000). O resfriamento é especialmente importante em procedimentos de depilação a laser e tratamento de lesões vasculares, onde a energia precisa ser transmitida profundamente nos tecidos, mas sem danos à epiderme.

Tecnologias Multimodais

O uso combinado de diferentes tipos de lasers e fontes de luz é outro avanço importante na medicina estética. As plataformas multimodais permitem que os médicos usem várias tecnologias em uma única sessão de tratamento, abordando diferentes preocupações estéticas de uma maneira mais abrangente. Por exemplo, um dispositivo pode combinar um laser fracionado ablativo com um não ablativo, ou uma plataforma pode integrar lasers e luz intensa pulsada (IPL), permitindo tratamentos mais personalizados (GOLDBERG, 2005).

Essas plataformas combinadas são eficazes no tratamento de uma variedade de condições dermatológicas, incluindo rejuvenescimento da

pele, cicatrizes, lesões pigmentadas e vasculares. Além disso, a combinação de diferentes tecnologias pode aumentar a eficácia global do tratamento, reduzindo a necessidade de múltiplas sessões e otimizando o tempo de recuperação do paciente.

Laser de Pico-Segundo em Alta Frequência

Uma variação dos lasers de pico-segundo é o uso de alta frequência de pulsos, que aumenta a velocidade com que as sessões de tratamento podem ser realizadas. Esta inovação é particularmente relevante para a remoção de tatuagens, permitindo a fragmentação dos pigmentos com uma eficiência muito maior. Com pulsos mais rápidos e energia controlada, essa tecnologia resulta em menor risco de cicatrizes e descoloração, enquanto trata tatuagens mais complexas e multicoloridas de maneira mais rápida (BRAUER *et al.*, 2015).

Sistemas de Laser com Feedback em Tempo Real

Um dos avanços mais recentes no uso de lasers na medicina estética é a introdução de sistemas com feedback em tempo real. Esses dispositivos monitoram a resposta da pele ao tratamento a laser e ajustam automaticamente os parâmetros, como fluência e duração do pulso, para otimizar a segurança e a eficácia. Essa tecnologia reduz a variabilidade entre os operadores e melhora a precisão dos tratamentos, especialmente em áreas sensíveis, como o rosto e o pescoço (KATZ *et al.*, 2013).

Esses sistemas de feedback também são úteis no tratamento de condições difíceis, como o melasma, onde a energia precisa ser cuidadosamente controlada para evitar hiperpigmentação pós-inflamatória. Ao adaptar os parâmetros do laser com base na resposta do paciente, essas tecnologias reduzem o risco de complicações e aumentam a eficácia do tratamento.

Desafios e Futuro das Tecnologias de Laser

Apesar dos avanços significativos, os tratamentos a laser ainda enfrentam desafios, como a variabilidade nos resultados, especialmente em pacientes com diferentes fototipos e características de pele. A hiperpigmentação pós-inflamatória continua sendo uma preocupação, especialmente em peles mais escuras (FITZPATRICK, 1996). O desenvolvimento de novas tecnologias que ofereçam maior controle sobre a dispersão da energia e a interação seletiva com diferentes cromóforos pode ajudar a mitigar esses riscos.

No futuro, a personalização dos tratamentos a laser com base no perfil genético do paciente pode se tornar uma realidade, permitindo que os médicos adaptem os parâmetros do laser para otimizar os resultados e minimizar os riscos de complicações (ZELICKSON *et al.*, 2014). Além disso, o uso de inteligência artificial para prever a resposta do tecido ao tratamento e ajustar os parâmetros em tempo real pode representar uma nova fronteira na medicina estética a laser.

Benefícios e Resultados Clínicos

A aplicação de lasers na medicina estética revolucionou a abordagem a diversas condições dermatológicas e estéticas. Os avanços tecnológicos permitiram tratamentos menos invasivos, com melhores resultados estéticos e menor tempo de recuperação. Esta seção abordará de forma detalhada os principais benefícios clínicos do uso de lasers, os resultados observados em diferentes tratamentos estéticos, e as considerações que influenciam a escolha do laser adequado para cada indicação.

Tratamentos de Rejuvenescimento Facial

O uso de lasers para rejuvenescimento facial é um dos procedimentos mais procurados

na medicina estética. Esses tratamentos visam melhorar a textura e o tom da pele, reduzindo rugas, linhas finas e outros sinais de envelhecimento, como manchas de hiperpigmentação e danos solares. Existem duas categorias principais de lasers utilizados para rejuvenescimento: ablativos e não ablativos.

Lasers Ablativos

Os lasers ablativos, como o CO₂ (dióxido de carbono) e o Erbium, removem a camada superficial da pele (epiderme) e causam um dano controlado à derme, estimulando a regeneração da pele e a produção de colágeno. Esses lasers são considerados o padrão-ouro para rejuvenescimento facial profundo, sendo altamente eficazes na redução de rugas periorbitais e periorais, além de cicatrizes e manchas pigmentadas. Estudos demonstram que o laser de CO₂ ablativo pode promover uma melhora significativa na textura e firmeza da pele, com resultados duradouros por até 10 anos após o tratamento (FITZPATRICK, 1996).

No entanto, os lasers ablativos têm desvantagens, como o tempo de recuperação prolongado e o maior risco de efeitos colaterais, incluindo cicatrizes, infecções e alterações pigmentares (WANNER, 2010). A recente introdução de lasers fracionados, que criam microzonas de dano térmico na pele em vez de remover toda a camada superficial, tem reduzido significativamente esses riscos, ao mesmo tempo em que oferece resultados clínicos comparáveis (HANTASH *et al.*, 2007).

Lasers Não Ablativos

Os lasers não ablativos, como o Nd e o Diodo, promovem a remodelação do colágeno sem remover a epiderme, resultando em tempos de recuperação muito mais curtos. Embora os resultados sejam menos dramáticos do que os obtidos com lasers ablativos, esses tratamentos

são ideais para pacientes que preferem procedimentos minimamente invasivos e com pouco tempo de inatividade. O laser de Nd, por exemplo, é eficaz para o tratamento de rugas finas e para a melhoria da textura da pele em áreas mais delicadas, como a área periorbital (ALSTER & TANZI, 2004).

Tratamento de Lesões Pigmentadas

As lesões pigmentadas, como melasma, lentigos solares e nevos, são outro alvo comum do uso de lasers na estética. A fototermólise seletiva é o princípio chave nesses tratamentos, onde a energia do laser é absorvida pela melanina, resultando na destruição controlada das células pigmentadas sem danificar os tecidos adjacentes.

Lasers de Pico-Segundo

Os lasers de pico-segundo representam um avanço significativo no tratamento de lesões pigmentadas, especialmente para o melasma e outras hiperpigmentações resistentes a tratamentos convencionais. Esses lasers emitem pulsos ultracurtos que fragmentam o pigmento em partículas menores, facilitando sua eliminação pelo sistema imunológico. Estudos mostram que os lasers de pico-segundo são superiores aos lasers *Q-switched* na remoção de pigmentos, especialmente em peles mais escuras, onde há maior risco de hiperpigmentação pós-inflamatória (CHOI *et al.*, 2018).

Laser de Nd e Alexandrita

O laser Nd (1064 nm) é amplamente utilizado para o tratamento de lesões pigmentadas mais profundas, como melasma e tatuagens, devido à sua capacidade de penetrar profundamente na pele sem causar danos à epiderme. Além disso, o laser de Alexandrita (755 nm) é eficaz no tratamento de pigmentações superficiais, como sardas e lentigos solares. Ambos os lasers são seguros e eficazes para uma ampla

variedade de tipos de pele (KILMER *et al.*, 2012).

Remoção de Tatuagens

A remoção de tatuagens com laser é um dos usos mais estabelecidos da tecnologia de laser na estética. Os lasers *Q-switched* e, mais recentemente, os lasers de pico-segundo, são os mais comumente utilizados para esse fim. O laser fragmenta as partículas de pigmento em fragmentos menores, que são então absorvidos e eliminados pelo sistema imunológico.

Eficácia por Tipo de Laser

Os lasers *Q-switched*, que operam na faixa de nano-segundos, foram por muitos anos o padrão de cuidado na remoção de tatuagens. Eles são eficazes para remover pigmentos de tatuagens pretas e escuras, mas apresentam limitações em tatuagens coloridas, especialmente em tons verdes e azuis. Estudos demonstram que até 10 a 15 sessões podem ser necessárias para a remoção completa de uma tatuagem de grande porte com lasers *Q-switched* (IZIKSON *et al.*, 2009).

Os lasers de pico-segundo, no entanto, têm revolucionado a remoção de tatuagens, oferecendo maior eficácia em menos sessões. De acordo com um estudo de Brauer *et al.* (2014), o laser de pico-segundo é particularmente eficaz para a remoção de pigmentos difíceis, como verde e azul, e requer significativamente menos sessões do que os lasers tradicionais.

Tratamento de Lesões Vasculares

Os lasers também são amplamente utilizados para o tratamento de lesões vasculares, como telangiectasias, hemangiomas e rosácea. Lasers com comprimentos de onda que são seletivamente absorvidos pela hemoglobina são os mais eficazes nesse tipo de tratamento.

Laser de Corante Pulsado (PDL)

O laser de corante pulsado (585-595 nm) é considerado o padrão ouro para o tratamento de lesões vasculares superficiais, como telangiectasias e eritema facial. Ele promove a coagulação seletiva dos vasos sanguíneos dilatados, sem danificar a pele ao redor. Os resultados clínicos são altamente eficazes, com uma taxa de sucesso de até 80-90% na redução de lesões vasculares após 2 a 3 sessões (GOLDMAN *et al.*, 1995).

Laser Nd

Para lesões vasculares mais profundas, o laser Nd é preferido devido à sua capacidade de penetrar mais profundamente na pele. Ele é eficaz no tratamento de varizes de pequeno calibre, além de hemangiomas e veias reticulares. No entanto, como penetra mais profundamente, o Nd tem um risco maior de causar dor durante o tratamento e requer mais cuidados pós-operatórios para evitar complicações (GREVE & RAULIN, 2002).

Depilação a Laser

A depilação a laser é uma das aplicações mais populares de lasers na medicina estética, sendo eficaz para a remoção prolongada de pelos indesejados. Os lasers mais comumente usados para depilação incluem o laser de Alexandrita (755 nm), o Nd (1064 nm), e o Diodo (810 nm).

Eficácia e Resultados Clínicos

A eficácia da depilação a laser está relacionada à fototermólise seletiva, onde a energia do laser é absorvida pela melanina no folículo piloso, causando sua destruição. Estudos mostram que, após 6 a 8 sessões, é possível obter uma redução de até 80-90% dos pelos em áreas tratadas, com resultados duradouros (LIEW, 1999). No entanto, a eficácia varia de acordo com o tipo de pele e de pelo do paciente. Peles

claras com pelos escuros tendem a obter os melhores resultados, enquanto peles escuras ou com pelos claros podem exigir mais sessões.

Redução de Cicatrizes e Estrias

A remodelação de cicatrizes e estrias com lasers, especialmente com lasers fracionados, tem sido uma aplicação crescente nos últimos anos. O laser de CO2 fracionado, por exemplo, é amplamente utilizado para tratar cicatrizes de acne e estrias, promovendo a regeneração do colágeno e a remodelação da derme.

Laser Fracionado de CO2

O laser de CO2 fracionado é altamente eficaz na redução de cicatrizes de acne, com estudos mostrando uma melhoria de até 70% na aparência das cicatrizes após várias sessões (FABBROCINI *et al.*, 2010). Ele também é utilizado para melhorar a aparência de estrias, especialmente em áreas como abdômen e coxas, onde há maior elasticidade da pele. Embora os resultados variem, muitos pacientes relatam uma melhoria significativa na textura e cor das estrias após o tratamento com lasers fracionados.

CONCLUSÃO

O uso de lasers na medicina estética evoluiu de forma significativa, consolidando-se como uma ferramenta indispensável para o tratamento de diversas condições dermato-lógicas e estéticas. Com o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais precisas, como a fototermólise seletiva, os lasers ablativos e não ablativos, e as plataformas de picossegundo, os profissionais agora podem fornecer resultados estéticos altamente eficazes com menor risco de complicações e tempos de rec.

A capacidade de ajustar parâmetros como o comprimento de onda, a duração do pulso e a potência do laser, permite tratamentos personalizados que otimizam a coleta seletiva pelos cromóforos-alvo, minimizando danos aos tecidos

adjacentes. Essa solução torna o laser uma solução ideal para procedimentos como rejuvenescimento facial, *resurfacing*, remoção de tatuagens e lesões pigmentares, e tratamento de cicatrizes e os avanços recentes, como a fototermólise fracionada, trouxeram novas perspectivas para a remodelação dérmica, promovendo a regeneração teórica com lesões microscópicas controladas, o que tem ampliado o leque de agendamentos clínicos e resultados estéticos superiores. Além disso, os lasers de picossegundo surgiram como uma tecnologia disruptiva, com eficácia aprimorada em

tratamentos de pigmentação resistente e tatuagens multicoloridas.

Em resumo, o laser na medicina estética continua a ser uma área em constante inovação, com perspectivas futuras promissoras. A capacidade de integrar diferentes comprimentos de onda, modos de emissão e novas tecnologias, como sistemas híbridos, indica que o campo seguirá avançando, oferecendo tratamentos cada vez mais seguros e eficazes. Portanto, o domínio dessa tecnologia pelos profissionais da área é essencial para atender às demandas crescentes por intervenções estéticas com resultados otimizados e minimamente invasivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALABDULRAZZAQ, H.; BRAUER, JA.; BAE, Y. S. *et al.* Clearance of Yellow Tattoo Ink with a Novel 532-nm Picosecond Laser. *JAMA Dermatology*, v. 153, p. 59-62, 2017. DOI: 10.1001/jamadermatol.2016.4415.
- ALSTER, TS. Cutaneous Resurfacing with CO2 and Erbium Lasers: Preoperative, Intraoperative, and Postoperative Considerations. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 111, p. 620-628, 2003.
- ALSTER, TS.; NANNI, CA. Pulsed Dye Laser Treatment of Hypertrophic Burn Scars. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 103, p. 1073-1075, 1999.
- ALSTER, TS.; TANZI, EL. Laser Skin Resurfacing: Ablative and Non-Ablative Lasers. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 113, p. 2189-2195, 2004.
- ANDERSON, RR.; PARRISH, JA. Selective Photothermolysis: Precise Microsurgery by Selective Absorption of Pulsed Radiation. *Science*, v. 220, p. 524-527, 1983. DOI: 10.1126/science.6836297.
- BRAUER, JA. *et al.* Successful and Rapid Treatment of Blue and Green Tattoo Pigment with a Novel Picosecond Laser. *Archives of Dermatology*, v. 150, p. 796-802, 2014. DOI: 10.1001/jamadermatol.2013.9257.
- BRAUER, JA. *et al.* Treatment of Tattoos with a Picosecond Alexandrite Laser: A Prospective Trial. *Archives of Dermatology*, v. 151, p. 755-762, 2015. DOI: 10.1001/jamadermatol.2014.4777.
- CHOI, JE.; CHOI, JY.; YOUN, JI. *et al.* Efficacy of a Picosecond 755-nm Alexandrite Laser in the Treatment of Melasma: A Randomized, Prospective, Split-Face Trial. *Lasers in Surgery and Medicine*, v. 50, p. 230-237, 2018. DOI: 10.1002/lsm.22766.
- FABBROCINI, G.; ANNUNZIATA, MC.; D'ARCO, V. *et al.* Acne Scars: Pathogenesis, Classification and Treatment. *Dermatology Research and Practice*, v. 2010, p. 1-13, 2010. DOI: 10.1155/2010/893080.
- FITZPATRICK, RE. CO2 Laser Resurfacing. *Dermatologic Clinics*, v. 14, p. 439-451, 1996.
- FITZPATRICK, RE.; GOLDMAN, MP.; RUIZ-ESPARZA, J. Clinical Advantage of the CO2 Laser Superpulsed Mode Over The Continuous Mode in Cutaneous Surgery. *Journal of Dermatologic Surgery and Oncology*, v. 22, p. 705-710, 1996.
- FRIEDMAN, PM. Lasers and Light Devices for the Treatment Of Pigmentary Disorders. *Dermatologic Therapy*, v. 18, p. 191-208, 2005.
- FRIEDMAN, PM.; JIH, MH.; KIMYAI-ASADI, A. *et al.* Treatment of Atrophic Facial Acne Scars with the 1064-nm Q-Switched Nd Laser: A Pilot Study. *Dermatologic Surgery*, v. 31, p. 1166-1171, 2005.
- GOLDBERG, DJ. Laser Treatment of Vascular Lesions. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, v. 7, p. 72-76, 2005.
- GOLDBERG, DJ. *et al.* Laser Hair Removal with A Diode Laser: Long-Term Efficacy and Safety. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, v. 2, p. 25-30, 2000.
- GREVE, B.; RAULIN, C. Professional Errors Caused by Lasers and Intense Light Sources: Preventive Measures. *Lasers in Medical Science*, v. 17, p. 101-104, 2002. DOI: 10.1007/s101030200017.
- HANTASH, BM.; BEDI, VP.; SUDIREDDY, V. *et al.* Laser-induced Transepidermal Elimination of Dermal Content by Fractional Photothermolysis. *Journal of the American Academy of Dermatology*, v. 56, p. 372-379, 2007. DOI: 10.1016/j.jaad.2006.08.049.
- IZIKSON, L.; FITZPATRICK, R.; ANDERSON, RR. Treatment of Tattoo Allergies with the Q-switched Nd laser: A Clinicopathologic Study. *Journal of the American Academy of Dermatology*, v. 61, p. 519-525, 2009. DOI: 10.1016/j.jaad.2009.01.014.
- KATZ, B.; KAUVAR, AN.; GERONEMUS, RG. Treatment of Pigmented Lesions with a Novel 694-nm Q-switched Ruby Fractional Laser. *Lasers in Surgery and Medicine*, v. 45, p. 91-97, 2013. DOI: 10.1002/lsm.22115.

KAUVAR, AN. The Evolution of Tattoo Removal. *Lasers in Surgery and Medicine*, v. 44, p. 239-248, 2012. DOI: 10.1002/lsm.22031.

KILMER, SL.; GARDEN, JM. Laser Treatment of Benign Pigmented Lesions. *Dermatologic Therapy*, v. 19, p. 173-186, 2006.

KILMER, SL.; ANDERSON, RR.; ROSS, EV. Laser Treatment of Tattoos: Standard and Novel Approaches. *Dermatologic Surgery*, v. 38, p. 281-291, 2012. DOI: 10.1111/j.1524-4725.2011.02274.x.

LIEW, SH. Laser Hair Removal: Guidelines for Patient Selection and Treatment Parameters. *Australasian Journal of Dermatology*, v. 40, p. 181-186, 1999.

MANSTEIN, D.; HERRON, GS.; SINK, RK. *et al.* Fractional Photothermolysis: a New Concept for Cutaneous Remodeling Using Microscopic Patterns of Thermal Injury. *Lasers in Surgery and Medicine*, v. 34, p. 426-438, 2004. DOI: 10.1002/lsm.10232.

MCCABE, MP.; DE WAAL MALEFYT, M.; ANTONY, M. Ethical Concerns in the Marketing of Cosmetic Surgery and Aesthetic Dermatology. *Ethics & Behavior*, v. 17, p. 101-118, 2007. DOI: 10.1080/10508420701378056.

MORDON, S. *et al.* Evaluation of Laser Parameters for Epicardial Ablation of Ventricular Myocardium. *Lasers in Medical Science*, v. 2000, s/p., 2000.

SARWER, DB.; WADDEN, TA.; WHITAKER, LA. An Investigation of Changes in Body Image Following Cosmetic Surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 111, p. 579-586, 2003.

WANNER, M. Fractional Photothermolysis: a New Concept in Facial Rejuvenation. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, v. 12, p. 210-217, 2010.