



Laser em Baixa Intensidade

Martha Simões Ribeiro ♦ Daniela de Fátima Teixeira da Silva
Silvia Cristina Núñez ♦ Denise Maria Zezell

SUMÁRIO

Nas áreas da saúde, as aplicações do *laser* mais estudadas são aquelas determinadas pelos efeitos térmicos (quando a energia absorvida se transforma subsequentemente em calor), devido à possibilidade de emissão de altas potências para coagular, vaporizar ou ablacionar tecidos biológicos. Sabe-se hoje em dia que a exposição de um corpo ou tecido à radiação *laser* em baixa intensidade, com densidade de potência de alguns mW/cm^2 , exclui a possibilidade da manifestação dos efeitos térmicos. Essa terapia com *lasers* emitindo baixas intensidades é responsável pelos efeitos não térmicos (efeitos fotofísicos, fotoquímicos e fotobiológicos), constituindo-se num tratamento a *laser* no qual a intensidade utilizada é baixa o bastante para que a temperatura do tecido tratado não ultrapasse $37,5^\circ\text{C}$. O sucesso da terapia com *lasers* de baixa potência ou *lasers* operando em baixa intensidade depende de uma conjunção de fatores que englobam características individuais, como a condição clínica a ser tratada e as características do tecido-alvo, e fatores gerais relacionados à dosimetria da luz. Este capítulo abordará duas fototerapias com o *laser* em baixa intensidade na estética: a fototerapia com *lasers* em baixa intensidade, em que estudos *in vitro*, *in vivo* e clínicos sugerem efeitos biomodulatórios obtidos com o *laser*, e a terapia fotodinâmica antimicrobiana, em

que uma molécula exógena absorvedora de luz (algumas vezes endógena, como a porfirina) conduz a uma resposta fototóxica, normalmente via dano oxidativo.

HOT TOPICS

- A fototerapia com *lasers* em baixa intensidade estimula a atividade celular, conduz a liberação de fatores de crescimento por macrófagos, a proliferação de queratinócitos, o aumento de população e desgranulação de mastócitos e a angiogênese.
- A fototerapia com *lasers* de baixa potência não é decorrente de efeitos térmicos, e sim de efeitos não térmicos (efeitos fotoquímicos, fotofísicos e fotobiológicos).
- O regime do *laser* pode ser pulsado, em que a potência varia entre um valor máximo e zero, de forma que a potência média é que é significativa para o cálculo da dose.
- *Lasers* contínuos apresentam potência constante igual à potência média.
- Densidade de potência, intensidade ou taxa de fluência é a potência de saída de luz por unidade de área – medida em W/cm^2 .
- Densidade de energia, exposição radiante, dose ou fluência é a quantidade de energia por unidade de área transferida à matéria – medida em J/cm^2 .

- Terapia fotodinâmica é a modalidade de fototerapia em que três fatores atuam concomitantemente: o fotossensibilizador (corante), a fonte de luz e o oxigênio.
- A eficiência da terapia fotodinâmica depende da seletividade e da capacidade de retenção do fotossensibilizador pela célula, da intensidade da radiação, da eficiência da absorção de fótons ativadores, da eficiência da transferência de energia de excitação e do efeito oxidante na molécula fotossensibilizadora.
- O oxigênio singleto é um poderoso agente oxidante e altamente tóxico para as células.
- A escolha da dosimetria apropriada à terapia fotodinâmica depende da condição do tecido, das condições do paciente (idade, estado de saúde) e do diagnóstico clínico.

INTRODUÇÃO

A fototerapia com *lasers* em baixa intensidade (LILT, *low-intensity laser therapy*) entrou no arsenal da medicina moderna como um componente eficiente para auxiliar no tratamento de

um grande número de enfermidades, como feridas e úlceras indolentes, úlceras de estômago e duodeno, situações pós-cirúrgicas, contusões, artrite crônica, dermatose, isquemia, dor crônica, entre outras.

O uso dessa terapia nas áreas biomédicas é um tópico relativamente recente, constituindo-se num campo de pesquisa a ser explorado e que levará ainda muitos anos para que seus mecanismos de ação sejam completamente esclarecidos. Os primeiros estudos sobre os efeitos da LILT em cicatrização datam de aproximadamente 40 anos atrás. Desde então, um grande número de estudos é realizado *in vitro* e *in vivo*, em animais e humanos, mas as informações obtidas ainda permanecem discordantes, principalmente em razão da falta de um protocolo comum de pesquisa e da adoção de modelos e métodos que não são frequentemente reprodutíveis.

Na metade da década de 1970, iniciou-se o emprego da LILT na medicina estética, e atualmente vários artigos podem ser encontrados na literatura para o tratamento de queimaduras, queloides, cicatrizes hipertróficas, alopecia, acne, celulite e estrias.

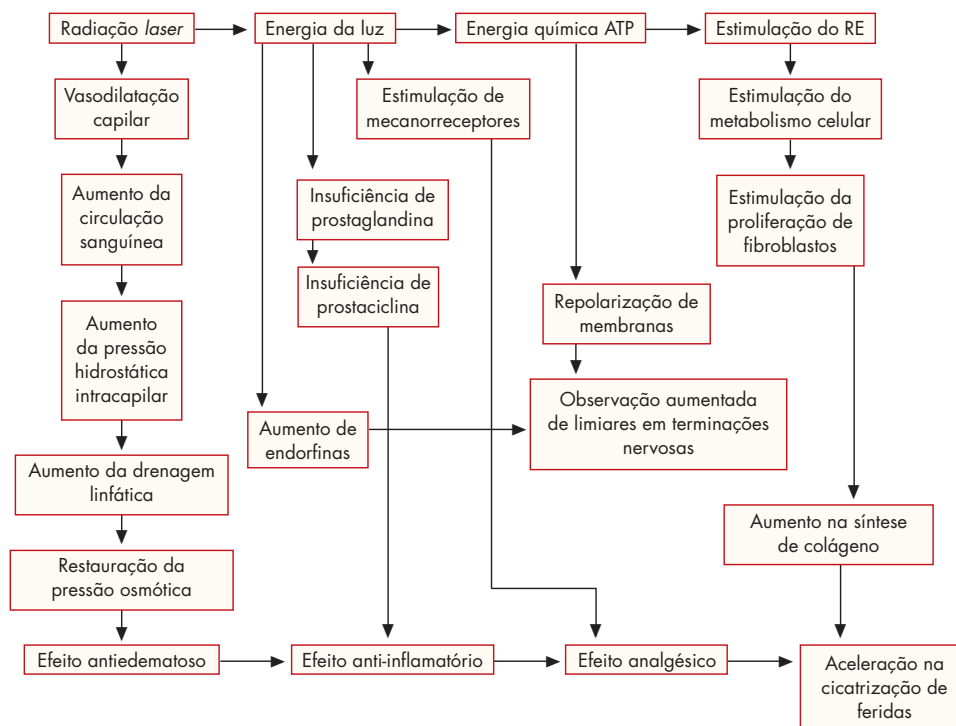


Figura 66.1 – Efeitos atribuídos à fototerapia com *lasers* em baixa intensidade. ATP = trifosfato de adenosina; RE = retículo endoplasmático.



No caso da cicatrização de uma queimadura ou de uma úlcera de pele, por exemplo, o produto final no processo de reparação deve ser uma ferida cicatrizada. Para entender como a radiação *laser* em baixa intensidade atua nesse processo, é necessário conhecer a estrutura normal dos tecidos envolvidos na lesão e os estágios envolvidos no reparo destes tecidos.

Os efeitos da LILT nos eventos celulares, que ocorrem durante a cicatrização de feridas da pele, são importantes no entendimento dos mecanismos que agem neste processo. Entre os efeitos da LILT, podem-se citar o estímulo à atividade celular, conduzindo à liberação de fatores de crescimento por macrófagos, proliferação de queratinócitos, aumento da população e desgranulação de mastócitos e angiogênese. Esses efeitos podem provocar aceleração no processo de cicatrização de feridas. Essa aceleração é devida, em parte, à redução na duração da inflamação aguda, resultando em uma entrada mais rápida no estágio proliferativo de reparo, quando o tecido de granulação é produzido. A Figura 66.1 resume a interação, para efeitos biomodulatórios, da radiação *laser* em baixa intensidade com o tecido.

MECANISMOS DE INTERAÇÃO

A LILT não se baseia em aquecimento, ou seja, a energia dos fótons absorvidos não é transformada em calor. Nesse caso, a energia absorvida é utilizada para produzir efeitos fotoquímicos, fotofísicos e/ou fotobiológicos nas células e no tecido.

Quando a luz administrada na dose adequada interage com as células ou o tecido, certas funções celulares poderão ser estimuladas. Esse efeito é particularmente evidente se a célula em questão tem a sua função debilitada. Trabalhos encontrados na literatura mostram que a LILT tem efeitos mais pronunciados sobre órgãos ou tecidos enfraquecidos, como em pacientes que sofrem algum tipo de desordem funcional. A celulite, por exemplo, caracteriza-se por debilidade no sistema venoso e capilar da circulação sanguínea e linfática. O dano ocorre no tecido subcutâneo e conduz a um fibroblasto anormal e resposta reticuloendotelial na área afetada, causando aumentada

deposição de gordura nas células adiposas. Distúrbios no sistema capilar inibem a liberação de gordura e reduzem a circulação linfática causando, assim, mudanças no trofismo do tecido afetado. O tecido conectivo reage por meio da formação de micro e macronódulos, que posteriormente impedem a circulação linfática, causando fibrose intersticial em forma de rede. No tratamento da celulite, portanto, sugere-se que o efeito bioestimulador da LILT significativamente aumente a microcirculação sanguínea e linfática, reduza a dor e relaxe as fibras colágenas, se utilizada em doses adequadas.

Há três níveis possíveis nos quais vários aspectos da fototerapia podem ser considerados: níveis molecular, celular e orgânico. Em outras palavras, a absorção da luz por um fotoabsorvedor em uma célula conduz a mudanças físicas ou químicas nas moléculas ali presentes e, conseqüentemente, respostas biológicas positivas podem ser observadas. Por outro lado, dependendo da dose administrada, certas funções celulares podem ser inibidas, ao invés de estimuladas.

A absorção da radiação visível por um sistema biológico causa reação fotoquímica. Entretanto, a absorção de radiação emitida na região do infravermelho do espectro eletromagnético resulta em rotações e vibrações moleculares. Assim, não se espera que esse tipo de radiação cause mudanças químicas nas moléculas. Já que tanto a radiação visível como a infravermelha mostram ser benéficas nesse tipo de terapia e já que diferem drasticamente em suas propriedades fotoquímicas e fotofísicas, a literatura propõe dois modelos para explicar os efeitos produzidos por ambos os comprimentos de onda.

No modelo de Karu¹, a luz visível produz mudanças fotoquímicas em fotoabsorvedores das mitocôndrias, que alteram o metabolismo, conduzindo à transdução (processo de transferência de energia de um sistema para outro) do sinal a outras partes da célula (incluindo membranas), que finalmente conduzem à fotorresposta (biomodulação). Ao passo que a luz visível provavelmente inicie a cascata de eventos na cadeia respiratória das mitocôndrias, por eventos fotoquímicos (provavelmente a fotoativação de enzimas), o modelo de Smith sugere que, por

causa das propriedades fotofísicas e fotoquímicas da radiação infravermelha, esta inicie a cascata de eventos metabólicos através de efeitos fotofísicos sobre as membranas (provavelmente nos canais Ca^{++}), conduzindo à mesma resposta final. O modelo para a LILT, sugerido por Smith, é mostrado na Figura 66.2.

Em um artigo mais recente referente aos mecanismos de ação primários e secundários sobre células irradiadas com luz monocromática no intervalo do visível ao infravermelho do espectro eletromagnético, discute-se a enzima citocromo c oxidase como o possível fotoabsorvedor. Cinco mecanismos primários de ação são propostos como resultados da fotoexcitação de estados eletrônicos: mudanças nas propriedades redox dos componentes da cadeia respiratória após excitação, liberação de óxido nítrico (NO) do centro catalítico do citocromo c oxidase (ambas envolvem reações redox), formação de oxigênio singlete, aquecimento transitório local de cromóforos absorvedores e aumento da produção do ânion superóxido com aumento subsequente na concentração dos produtos de sua dismutação, H_2O_2 [envolvem a geração de espécies reativas de oxigênio (ERO)].

As primeiras mudanças físicas e/ou químicas induzidas pela luz nas moléculas fotoabsorvedoras são seguidas por uma cascata de reações bioquímicas na célula, que não precisam de posterior ativação de luz e que ocorrem no escuro (transdução do fotossinal e cadeias de amplificação). Essas reações são conectadas com mudanças nos parâmetros da homeostase celular.

Acredita-se que o ponto crucial seja uma alteração do estado redox celular: uma variação buscando oxidação é associada com estimulação da vitalidade celular e uma variação buscando redução é ligada à inibição. Células com pH mais baixo que o normal, em que o estado redox é alterado na direção reduzida, são consideradas mais sensíveis à ação estimuladora de luz que aquelas com os respectivos parâmetros sendo ótimos ou próximos de ótimo. Essa circunstância explica as possíveis variações nas magnitudes observadas com os efeitos da LILT.

A ação da luz sobre o estado redox de uma célula, via cadeia respiratória, também explica a diversidade dos efeitos obtidos com a LILT. Além de explicar muitas controvérsias, o mecanismo de regulação redox proposto pode ser um esclarecimento fundamental para alguns efeitos clínicos da radiação, por exemplo, os resultados positivos alcançados no tratamento de feridas e inflamações crônicas, ambas caracterizadas por acidose (pH diminuído) e hipóxia [pressão de oxigênio (pO_2) diminuída]. A transdução e a amplificação do fotossinal na célula conduziriam a uma cascata de reações conectadas com alterações nos parâmetros da homeostase celular, que pode acontecer na ausência de luz [mecanismos secundários: metabolismo celular e síntese de colágeno mais acentuada em fibroblastos; aumento no potencial de ação de células nervosas; estimulação da formulação de ácido desoxirribonucleico (DNA, *deoxyribonucleic acid*) e ácido ribonucleico (RNA, *ribonucleic acid*) no núcleo da célula; efeitos sobre o sistema

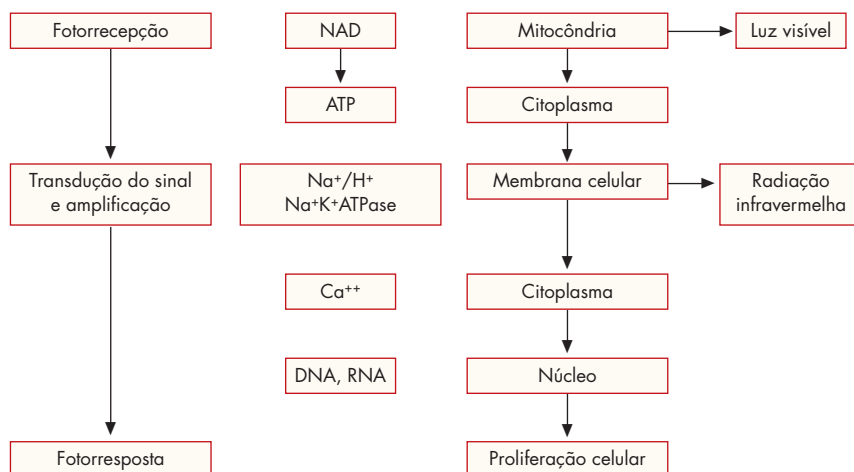


Figura 66.2 – Modelo para a modulação de sistemas biológicos mediante a fototerapia com lasers em baixa intensidade. ATP = trifosfato de adenosina; ATPase = trifosfatase de adenosina; DNA = ácido desoxirribonucleico; NAD = nicotinamida adenina dinucleotídeo; RNA = ácido ribonucleico.



imunológico; formação de capilares mais pronunciada pela liberação de fatores de crescimento; aumento na atividade de leucócitos]. De acordo com a literatura, não há argumentos para se acreditar que somente um desses processos ocorra quando uma célula é irradiada e uma importante questão para o futuro seria determinar qual dessas reações é responsável por determinado efeito relativo à LILT.

Apesar da vasta quantidade de trabalhos encontrados na literatura, nota-se que as informações sobre os efeitos não térmicos do *laser* em tecidos biológicos não são conclusivas; muitas vezes, são conflitantes; outras, inconsistentes. Por exemplo, com relação a estudos realizados *in vivo*, não se encontram trabalhos na literatura que procurem investigar a distribuição da luz na pele em condições patológicas. Portanto, adequar os parâmetros e conhecer a penetração da luz, nas diferentes camadas da pele para determinada patologia, é fator decisivo para selecionar a dose a ser administrada nessa terapia.

Parâmetros Associados

Os seguintes parâmetros, entre outros, são significantes nos bons resultados conseguidos com a LILT: escolha do comprimento de onda do *laser*, densidade de energia (exposição radiante, dose ou fluência), densidade de potência (irradiância, intensidade ou taxa de fluência), tipo de regime de operação do *laser* (contínuo ou pulsado), frequência do pulso (taxa de repetição), número de tratamentos e dados ópticos do tecido a ser irradiado, como características de absorção e espalhamento da luz.

Comprimento de Onda

É importante utilizar o comprimento de onda/tipo de *laser* adequado em cada tratamento. Embora ainda não tenha sido possível determinar o melhor comprimento de onda para cada disfunção, a literatura sugere que o *laser* de hélio-neônio (He-Ne) ($\lambda = 632,8\text{nm}$) seja a melhor opção para úlceras, herpes, regeneração nervosa e cicatrização de feridas abertas; o *laser* de GaAs ($\lambda = 904\text{nm}$) é a melhor escolha para o tratamento de lesões do esporte e tem mais influência em

tratamento de dor pós-operatória e inchaço; o *laser* de gálio alumínio arsênio gálio arsênio (GaAlAs) ($\lambda = 790\text{nm}$ ou 830nm) pode ser uma boa alternativa de terapia em analgesia, tendinites e edema e há bons resultados do uso deste *laser* no tratamento de úlcera crônica.

Potência do Laser

É importante conhecer a potência média do *laser* para o cálculo da exposição radiante (dose) a ser administrada. Quando o regime do *laser* é pulsado, a potência varia entre um valor máximo (potência-pico) e zero, de forma que é a potência média do *laser* que é significativa para o cálculo da dose. Se o regime de operação do *laser* for contínuo, a potência do *laser* permanece constante por todo o tempo e é igual à potência média.

Densidade de Potência (Irradiância, Intensidade ou Taxa de Fluência)

É a potência de saída da luz, por unidade de área, geralmente medida em W/cm^2 . É a grandeza física que avalia a possibilidade de dano microtérmico.

Densidade de Energia (Exposição Radiante, Dose ou Fluência)

É a grandeza física que avalia a possibilidade de estimulação, inibição ou não manifestação dos efeitos terapêuticos. A exposição radiante é a quantidade de energia por unidade de área transferida à matéria (tecido ou células em cultura). Geralmente, é medida em J/cm^2 .

Cálculo do Tempo de Tratamento

A situação mais comum é aquela em que se quer administrar certa quantidade de energia a uma área específica a ser tratada. Para tanto, é necessário calcular o tempo de exposição:

$$t = \frac{ER \cdot A}{P}$$

em que t é o tempo de exposição, em segundos; ER é a exposição radiante a ser transferida, em J/cm^2 ; A é a área tratada, em cm^2 . P é a potência média, em W .



Efeitos Sistêmicos Relacionados

Segundo a literatura, *lasers* em baixa intensidade podem produzir efeitos em outras partes do corpo além do local em que o tecido é irradiado. Uma possível razão para o efeito sistêmico é que as células no tecido que são irradiadas produzem substâncias que se espalham e circulam nos vasos sanguíneos e no sistema linfático. Entretanto, efeitos sistêmicos associados à LILT ainda não estão claros. Há trabalhos na literatura que mostram resultados positivos estatisticamente significantes nos grupos irradiados quando comparados a grupos-controle, mesmo quando o controle situa-se no próprio animal ou no indivíduo tratado.

TERAPIA FOTODINÂMICA

É uma modalidade de fototerapia em que três fatores atuam concomitantemente: o fotossensibilizador (ou corante), uma fonte de luz e o oxigênio. Isoladamente, nem a droga fotossensibilizadora nem a luz têm a capacidade de produzir o efeito deletério ao sistema biológico testado. Atualmente, a terapia fotodinâmica é estudada em várias especialidades médicas. Em oncologia, a área mais investigada para uso da terapia fotodinâmica na medicina, o tratamento de neoplasias com *laser*, tem mostrado bons resultados. A acessibilidade da pele à luz oferece oportunidade para o uso da terapia fotodinâmica no tratamento dermatológico e/ou estético. Estudos na literatura indicam que essa terapia pode ser útil no tratamento de psoríase, acne, *alopecia areata*, manchas vinho do Porto, entre outros.

Quando a utilização de *lasers* em baixas intensidades busca um efeito bactericida, tem-se a terapia fotodinâmica antimicrobiana. Essa técnica mostra-se efetiva, *in vitro*, contra bactérias (incluindo cepas resistentes a agentes antimicrobianos). Essas terapias fazem uso de fotossensibilizadores ou corantes aplicados no tecido biológico, os quais tornam o tecido vulnerável à luz em comprimentos de onda absorvidos por estes corantes, resultando em resposta fototóxica, normalmente via dano oxidativo. Vários trabalhos encontrados na literatura indicam a utilização de fotossensibilizadores exógenos, introduzidos no

organismo como o primeiro passo do tratamento. Entretanto, alguns trabalhos mostram que o tratamento com luz vermelha ou azul pode ser empregado como método terapêutico para inativar certas bactérias patogênicas, que sintetizam porfirinas, cromóforos naturais, sem o uso de um fotossensibilizador externo. O diferencial da terapia fotodinâmica é a capacidade de excitar o fotossensibilizador em seu alvo com mínimo fotoefeito no tecido circunvizinho sadio.

Nessa terapia, as irradiâncias utilizadas são baixas, aproximadamente da ordem de mW/cm^2 . Mantendo-se a mesma exposição radiante, mas variando-se a irradiância ou o tempo de exposição, diferentes resultados podem ser obtidos e os efeitos também podem ser dependentes da concentração do fotossensibilizador (se exógeno) e do tempo de pré-irradiação (tempo em que o corante interage com a célula antes da irradiação). É preciso lembrar que a eficiência dessa terapia depende da seletividade e da capacidade de retenção do fotossensibilizador pela célula, da intensidade da radiação eletromagnética que chega à região de tratamento, da eficiência da absorção dos fótons ativadores, da eficiência da transferência de energia de excitação e do efeito oxidante na molécula fotossensibilizadora.

Mecanismos de Interação

Quando uma molécula absorve luz de certa energia, pode sofrer transição eletrônica ao estado singleto excitado. Dependendo da sua estrutura molecular e do seu ambiente, a molécula pode então perder sua energia por processos físicos ou eletrônicos, assim retornando ao estado fundamental, ou então pode sofrer transição ao estado tripleto excitado. Nesse estágio, a molécula pode novamente sofrer decaimento eletrônico e voltar ao nível fundamental, pode sofrer reações redox com seu ambiente ou sua energia de excitação pode ser transferida ao oxigênio molecular, conduzindo à formação do oxigênio singleto instável.

Para os fotossensibilizadores, é importante que o estado tripleto T^1 seja bem povoado e relativamente de longa duração. Se isso acontecer, o fotossensibilizador excitado tem tempo de reagir com seu ambiente (por transferência ele-



trônica/reações redox) ou transferir sua energia de excitação a uma molécula de oxigênio e produzir o altamente reativo oxigênio singlete. Se essas reações são iniciadas no meio biológico, por exemplo, dentro de um tumor ou na parede celular bacteriana, pode ocorrer morte celular.

A interação do fotossensibilizador no estado excitado com o meio pode ocorrer em duas formas, descritas como reações do tipo I e do tipo II. Na reação do tipo I ocorre a transferência de elétrons do fotossensibilizador excitado a um substrato oxidável. A transferência de elétrons ou átomos de hidrogênio gera um radical no substrato semioxidado e corante semirreduzido. A subsequente reação de ambos com o oxigênio provoca a formação de substrato oxidado, a volta do fotossensibilizador ao estado fundamental e a produção de ERO. Na reação do tipo II, o estado tripleto do fotossensibilizador transfere sua energia de excitação para o oxigênio molecular no estado fundamental e a molécula resultante é então o oxigênio singlete, que é um poderoso agente oxidante e altamente tóxico para as células.

Sendo assim, os fotossensibilizadores, sob iluminação com o comprimento de onda apropriado, são excitados para promover a produção de ERO. As subseqüentes reações das ERO no meio biológico resultam em inativação das cé-

lulas-alvo através de reações de óxido-redução com, por exemplo, lipídeos da membrana celular, ácidos nucleicos e proteínas. A iluminação precisa da área-alvo aumenta a seletividade da terapia, uma vez que somente na área irradiada ocorre o efeito fotodinâmico. A Tabela 66.1 apresenta os principais caminhos fototóxicos para a terapia fotodinâmica antimicrobiana, conhecida pela sigla em inglês PACT (*photodynamic antimicrobial therapy*).

Dosimetria da Luz na Terapia Fotodinâmica

A dosimetria ainda é um desafio, já que muitos fatores podem influenciar a eficiência do tratamento, como a variação biológica das lesões, as características individuais dos pacientes e a disponibilidade de oxigênio molecular. Em dosimetria da luz, comumente utiliza-se taxa de fluência (irradiância) e fluência (exposição radiante) para descrever a taxa de dose da luz. A irradiância dá a quantidade de potência óptica, sem considerar a direção de propagação, que poderá ser absorvida ou espalhada. A exposição radiante geralmente é prescrita como fluência incidente, que não leva em consideração a luz refletida e espalhada. Isso é particularmente

Tabela 66.1 – Caminhos fototóxicos na terapia fotodinâmica antimicrobiana

Lugar de ação	Ação	Resultado	Consequência	Evento citotóxico
Água	Redução de hidrogênio	Formação de radical hidroxila (HO·)	Formação de peróxido de hidrogênio, superóxido (O ₂ ·)	Processos oxidativos posteriores
Parede celular/membrana; lipídeos insaturados/esteróis	Peroxidação	Peroxidação	Formação de hidroperóxido	Permeabilidade a íons (passagem de Na ⁺ /K ⁺) aumentada
Peptídeos	Redução de hidrogênio	Ligação cruzada nos peptídeos	Inativação de enzimas	Perda da facilidade de reparação; lise
Camada de proteína viral	Oxidação de resíduos de tir/met/his	Degradação de proteínas	–	Perda de infecciosidade viral
Cadeia respiratória	Reações redox	–	–	Inibição da respiração
Enzimas citoplasmáticas/enzimas virais	Oxidação ou ligações cruzadas	–	–	Inibição do corpo de ribossomos; inibição de replicação/infecciosidade
Resíduos de ácidos nucleicos (tipicamente guanosina)	Oxidação da base ou açúcar	8-hidroxiguanosina	Degradação de nucleotídeos e de açúcar/quebra	Substituição de base; quebra de fitas; mutação e inibição de replicação



importante em órgãos ocos (traqueia, estômago, bexiga) em que o retroespalhamento da luz de outras partes do órgão pode conduzir a um aumento na fluência efetiva sobre a fluência incidente calculada. A relação entre a fluência incidente e total depende da localização e da pigmentação da área-alvo. A dosimetria da luz é importante nessa terapia. Entretanto, sem oxigênio, não há efeito. Além disso, se a distribuição da droga em diferentes tecidos-alvos não é a mesma para a mesma dose de droga administrada, então a mesma dose de luz não produzirá o mesmo efeito biológico. Três componentes, resumindo, precisam estar presentes para a citotoxicidade ocorrer: fotossensibilizador no tecido-alvo, oxigênio e luz.

Na escolha da dosimetria apropriada, o paciente deve ser visto como um todo, sendo assim, diversos fatores devem ser clinicamente analisados. Dentre eles, pode-se destacar:

- *Condições do tecido:* tecidos ulcerados, pigmentados ou queratinizados possuem propriedades ópticas diferentes, sendo assim, terão diferentes coeficientes de absorção e espalhamento. Cabe ao clínico avaliar as condições do tecido e definir por aumento ou por diminuição da dosimetria indicada. Tecidos ulcerados e expostos requerem menor energia para alcançar o alvo do que tecidos hiperpigmentados ou fibrosos.
- *Idade e condição sistêmica do paciente:* sabe-se que a atividade celular é maior em indivíduos mais jovens quando comparados a indivíduos idosos. Sendo assim, a quantidade de energia necessária para alcançar um efeito biológico pode ser diferente, com jovens requerendo menor energia do que pacientes idosos. Em condições de debilidade sistêmica, pode haver a necessidade de ajuste da dosimetria; porém, segundo alguns pesquisadores, os efeitos da radiação seriam mais notados em casos de debilidade da resposta fisiológica normal.
- *Anamnese e diagnóstico:* assim como em qualquer aplicação médica, é imprescindível a realização de uma anamnese abrangente, bem como o correto diagnóstico.

EFEITOS COLATERAIS E CONTRAINDICAÇÕES

A literatura mostra que não há efeitos colaterais e contraindicações relacionados à LILT ou à terapia fotodinâmica, desde que estas terapias sejam administradas corretamente. Também não há efeitos prejudiciais relacionados a essas terapias, excetuando-se a incidência do feixe, direta ou indireta, nos olhos.

A fototerapia com *lasers* em baixa intensidade não provoca câncer. Nenhum efeito mutagênico resultante de luz com comprimentos de onda no visível ou no infravermelho foi observado no limite de doses preconizado nessas terapias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os acontecimentos tecnológicos dos últimos tempos, o *laser*, sem dúvida, ocupa um lugar de destaque. O *laser* está presente na pesquisa básica, na indústria e na medicina de maneira marcante. É usado para melhorar técnicas já existentes ou para fazer tarefas que antes não eram possíveis. A medicina – e mais recentemente a estética – tem sido um dos grandes beneficiários dessa tecnologia... e os pacientes agradecem!

QUESTÕES

1. Quais os elementos básicos para o sucesso da aplicação clínica da terapia fotodinâmica?
2. Ao considerarmos o fator dosimetria na aplicação da LILT, quais fatores devem ser considerados pelo clínico em relação ao paciente para que observemos os efeitos desejados?
3. Por que nem todos os indivíduos respondem da mesma forma à radiação?
4. Quais os principais modelos criados para explicar os efeitos produzidos pela LILT?
5. Qual a principal característica da LILT em relação a outras aplicações a *laser*?

REFERÊNCIAS

1. KARU, T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.*, v. 49, p. 1-17, 1999.



2. SMITH, K. The photobiological basis of low level laser radiation therapy. *Laser Ther.*, v. 3, p. 19-24, 1991.

LEITURA COMPLEMENTAR

JORI, G. Photodynamic therapy of microbial infections: state of the art and perspectives. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, v. 25, p. 505-519, 2006.

MAISCH, T.; SZEIMIES, R. M.; JORI, G.; ABELS, C. Anti-bacterial photodynamic therapy in dermatology. *Photochem. Photobiol. Sci.*, v. 3, p. 907-917, 2004.

MARIWALLA, K.; ROHRER, T. E. Use of lasers and light-based therapies for treatment of acne vulgaris. *Lasers Surg. Med.*, v. 37, p. 333-342, 2005.

POSTEN, W.; WRONE, D. A.; DOVER, J. S.; ARNDT, K. A.; SILAPUNT, S.; ALAM, M. Low-level laser therapy for wound

healing: mechanism and efficacy. *Dermatol. Surg.*, v. 31, p. 334-340, 2005.

REDDY, G. K. Photobiological basis and clinical role of low-intensity lasers in biology and medicine. *J. Clin. Laser Med. Surg.*, v. 22, p. 141-150, 2004.

SCHINDL, A.; SCHINDL, M.; PERNERSTORFER-SCHÖN, H.; SCHINDL, L. Low-intensity laser therapy: a review. *J. Invest Med.*, v. 48, p. 312-326, 2000.

SLINEY, D. H. Radiometric quantities and units used in photobiology and photochemistry: recommendations of the Comission Internationale de l'Eclairage (International Comission on Illumination). *Photochem. Photobiol.*, v. 83, p. 425-432, 2007.

UEBELHOER, N. S.; DOVER, J. S. Photodynamic therapy for cosmetic applications. *Dermatol. Ther.*, v. 18, p. 242-252, 2005.

