

## *Dosimetria na Terapia com Laser em Baixa Intensidade*

*Daniela de Fátima Teixeira da Silva, Silvia Cristina Núñez,  
Luís Cláudio Suzuki e Martha Simões Ribeiro*

A Odontologia contemporânea conta com o auxílio da tecnologia laser tanto para finalidades terapêuticas quanto diagnósticas. O sucesso da terapia utilizando lasers de baixa potência ou lasers operando em baixa intensidade depende de uma conjunção de fatores que englobam características individuais, como condição clínica a ser tratada e características do tecido alvo, e fatores gerais, relacionados à dosimetria da luz (1).

Podemos chamar de dosimetria um conjunto de parâmetros físicos associados à radiação. Dentre estes parâmetros temos a energia, a densidade de energia (ou dose, ou exposição radiante), a densidade de potência (ou intensidade, ou irradiância), o comprimento de onda, a taxa de repetição, no caso de lasers pulsados, e o modo de aplicação. Além destes parâmetros, a frequência das aplicações e a duração do tratamento também podem ser considerados de fundamental importância para o sucesso terapêutico, porém, a escolha da frequência e duração está associada aos fatores individuais e varia entre as diferentes situações clínicas.

A efetividade terapêutica depende da entrega da energia apropriada com adequada intensidade para que se obtenha o tempo ideal de aplicação. Acertar esses parâmetros em todas as aplicações clínicas nem sempre é uma tarefa simples.

Quanto à dosimetria, ela é a medida da dose absorvida ou da dose de radiação fornecida a um sistema. A questão que norteia a dosimetria, quando da aplicação do laser de baixa potência, é justamente determinar o quanto de dose é absorvida pelo tecido biológico – ta-

refa difícil, já que grande parte dos tecidos biológicos são heterogêneos e compostos por diferentes absorvedores de luz dependentes, claro, do comprimento de onda incidente. A dificuldade em saber o quanto de dose é absorvida por um determinado tecido leva a outro obstáculo: a quantidade de dose necessária para desencadear um efeito positivo.

Dessa maneira, a relação dose-resposta não foi ainda esclarecida, e os mecanismos básicos responsáveis pelos efeitos observados no intervalo de doses terapêuticas não são completamente entendidos. Sabe-se, contudo, que os valores de energia conseguidos com este tratamento produzem mudanças mínimas e insignificantes no gradiente de temperatura; o aquecimento induzido está no intervalo de 0,1 a 0,5°C (2).

O comportamento da luz incidente sobre os tecidos biológicos é de grande importância, uma vez que os coeficientes de absorção e espalhamento de um tecido permitem entender uma série de efeitos da interação luz-tecido, sendo que a efetividade do tratamento depende da quantidade e distribuição da luz no tecido alvo (3).

A absorção da radiação depende, principalmente, da constituição do tecido (3).

Assim sendo, em uma incidência normal do feixe laser sobre, por exemplo, a pele, uma porção da luz será refletida. A fração de radiação que penetra nas camadas mais profundas será então absorvida e espalhada dentro do tecido, e determinará a profundidade de penetração da luz, sendo que uma porção ainda sairá do tecido sendo transmitida.

Os princípios que regulam a possibilidade de ocorrer um determinado efeito seriam (4):

- A radiação ser absorvida para produzir uma mudança física ou química, que resulte em uma resposta biológica;
- O espectro de absorção de um sistema biológico demonstra quais comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas podem ser absorvidos pelo sistema, encontrando-se desta forma os comprimentos de onda que têm chances de gerar um efeito biológico;
- A sensibilidade à radiação de um sistema para um determinado comprimento de onda é o produto da absorção ( $A$ ), que é a probabilidade de a radiação ser absorvida, multiplicada pelo efeito obtido por fóton de luz (rendimento quântico  $[\Phi]$ ), que é a probabilidade de a radiação absorvida produzir uma mudança química ou física no sistema.

Na interação da luz com os tecidos, alguns fenômenos físicos como reflexão, refração, espalhamento e absorção estão presentes.

Atribuem-se os resultados clínicos positivos da terapia com laser em baixa intensidade a uma seqüência de eventos celulares e moleculares, na qual os fatores determinantes na resposta fotoquímica, fotofísica e/ou fotobiológica são o comprimento de onda, a intensidade, a própria dose, a concentração de cromóforos ativos e as propriedades ópticas do tecido tratado, bem como o seu estado fisiológico.

A seguir, cada um dos fatores determinantes supramencionados serão devidamente descritos, em uma seqüência didática, para que se entenda o processo de cálculo da dosimetria na terapia com laser em baixa intensidade.

Cinco fenômenos podem ocorrer em consequência da interação da radiação eletromagnética com tecidos biológicos: reflexão, refração, absorção, espalhamento e transmissão. A reflexão e a refração são inter-relacionadas pela lei de Fresnel e, por isso, são estudadas em conjunto. Somente os fótons não refletidos, não absorvidos ou espalhados na mesma direção do feixe incidente são transmitidos pelo tecido. O tipo de tecido e o comprimento de onda incidente determinam qual fenômeno acima é o predominante.

## COMPRIMENTO DE ONDA ( $\lambda$ )

O comprimento de onda é simbolizado por  $\lambda$  e representa a extensão espacial de um ciclo completo de uma

onda. É normalmente medido em nanômetros (nm), sendo  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ; em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), sendo  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ; e ainda em uma unidade mais antiga, o angström ( $\text{\AA}$ ), sendo  $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ . O intervalo do espectro eletromagnético correspondente aos comprimentos de onda mais utilizados na terapia com laser em baixa intensidade situa-se entre  $\lambda = 600 \text{ nm}$  e  $\lambda = 1.200 \text{ nm}$ , devido à maior profundidade de penetração destes comprimentos de onda. A capacidade da luz emitida no vermelho ou infravermelho próximo em penetrar no tecido é devida a dois fatores: a interação predominante é o espalhamento, e a fraca absorção da água e do sangue (maiores componentes dos tecidos biológicos de uma forma geral).

## REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A reflexão é definida como a radiação eletromagnética que incide numa superfície e retorna para o meio de origem. Em geral, a superfície refletora é uma interface física entre dois materiais de índices de refração diferentes, tais como o ar e o tecido biológico. Quando a superfície é lisa, assume-se que suas irregularidades são pequenas quando comparadas ao comprimento de onda da radiação incidente, ocorrendo a reflexão especular (Fig. 3.1A).

Por outro lado, quando a rugosidade da superfície é igual ou maior que o comprimento de onda da radiação incidente, ocorre a reflexão difusa (Fig. 3.1B). Esse último caso é um fenômeno comum para os tecidos biológicos.

A refração ocorre quando uma superfície refletora separa dois meios com índices de refração diferentes (Fig. 3.2). Este fenômeno ocorre em consequência da mudança de velocidade da luz incidente.

A refletividade de uma superfície é a medida da quantidade de radiação refletida. Tanto a refletividade quanto a refletância dependem do ângulo de incidência ( $\theta$ ), da polarização da radiação e dos índices de refração dos meios envolvidos. Vale lembrar para a aplicação clínica que o ângulo de incidência do feixe sobre o tecido deve ser o mais próximo possível a  $90^\circ$  para evitarmos perdas de radiação devido à reflexão.

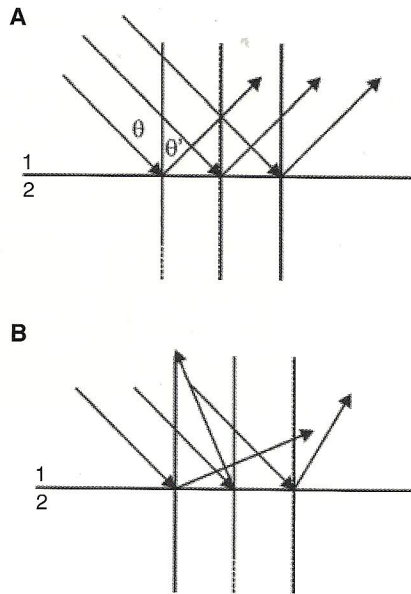


FIG. 3.1 (A) Reflexão especular. (B) Reflexão difusa.

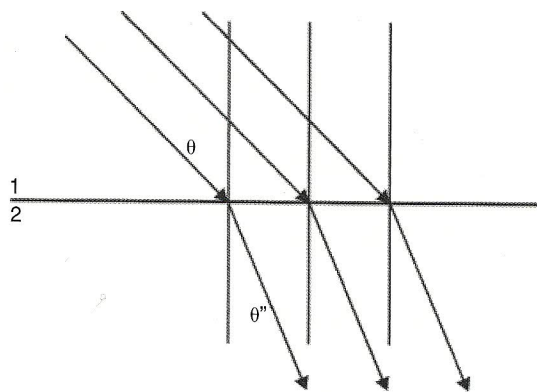


FIG. 3.2 Refração da luz.

## ABSORÇÃO

A absorção ocorre quando a onda eletromagnética não retorna a partir da superfície incidente nem se propaga no meio (Fig. 3.3). A absorbância do meio é definida como a razão das intensidades absorvida e incidente.

Um meio transparente permite a passagem da luz sem qualquer absorção, ou seja, a energia radiante total que entra e sai desse meio é a mesma. Já um meio opaco reduz a energia da radiação incidente praticamente a zero. É preciso ressaltar que os termos transparente e

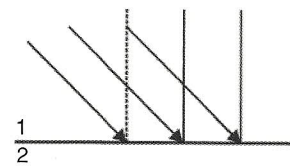


FIG. 3.3 Absorção da luz.

opaco são relativos, pois são dependentes do comprimento de onda.

A habilidade de um meio absorver radiação eletromagnética depende de alguns fatores, principalmente da constituição eletrônica de seus átomos e moléculas, do comprimento de onda da radiação, como já dito anteriormente, da espessura da camada absorvedora e de parâmetros internos, tais como temperatura e concentração de agentes absorvedores.

Nos tecidos biológicos, a absorção de determinados comprimentos de onda é causada principalmente por moléculas de água e macromoléculas, como proteínas e pigmentos. Conforme acima mencionado, a chamada janela terapêutica é delimitada entre  $\lambda = 600$  nm e  $\lambda = 1.200$  nm, em razão de não haver fortes absorções nem das macromoléculas, nem da água. Nessa faixa do espectro eletromagnético, a radiação penetra mais profundamente nos tecidos biológicos e por esta razão esses comprimentos de onda são mais utilizados na terapia com laser em baixa intensidade.

## ESPALHAMENTO

Quando partículas carregadas e confinadas elasticamente são expostas às ondas eletromagnéticas, seus movimentos passam a ser de acordo com o campo elétrico incidente. Se a frequência da onda é igual à frequência natural das vibrações livres das partículas, ocorre ressonância, acompanhada por quantidade considerável de absorção.

O espalhamento, por outro lado, ocorre quando a frequência da onda não corresponde à frequência natural das partículas. A oscilação resultante é determinada pela vibração forçada. Em geral, esta vibração terá a mesma frequência e direção daquela da força elétrica da radiação incidente. Sua amplitude, porém, é muito menor do que para o caso da ressonância. Além disso, a fase da

vibração forçada difere da fase da onda incidente, fazendo com que os fótons diminuam a velocidade ao penetrarem num meio denso. Por isso, o espalhamento pode ser considerado como origem básica da dispersão.

Dependendo da maneira em que a energia do fóton incidente é convertida, há o espalhamento elástico ou inelástico.

No caso elástico, os fótons incidente e espalhado têm a mesma energia. Um caso especial do espalhamento elástico é o espalhamento Rayleigh, onde o espalhamento é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Sua restrição é que as partículas espalhadoras sejam menores do que o comprimento de onda da radiação incidente.

Quando as partículas espalhadoras têm extensão comparável ao comprimento de onda incidente, o espalhamento Rayleigh não é aplicável e outro tipo de fenômeno é definido: o espalhamento Mie.

Nos tecidos biológicos, os fótons são preferivelmente espalhados na mesma direção do feixe incidente (5). Este fenômeno não pode ser explicado pelo espalhamento Rayleigh. Além disso, a dependência do comprimento de onda é mais forte do que prediz o espalhamento Mie. Desta forma, nem Rayleigh nem Mie descrevem completamente o espalhamento nos tecidos.

## TRANSMISSÃO E ATENUAÇÃO

Grande parte dos tecidos biológicos sofre, simultaneamente, absorção e espalhamento (5). Por este motivo, são chamados meios túrbidos. O coeficiente de atenuação total destes tecidos, ou seja, a parte da radiação que fica dentro do tecido, é expresso pela soma dos coeficientes de absorção e espalhamento.

### Cromóforos

No corpo humano, os cromóforos absorvedores de luz são diferentes para os diferentes tecidos e, portanto, as concentrações e a distribuição espacial destes cromóforos são raramente conhecidas. De qualquer maneira, segue uma breve descrição dos principais cromóforos presentes nos mamíferos.

De  $\lambda = 200$  nm a  $\lambda = 400$  nm (UV) as proteínas e DNA são os principais cromóforos, portanto, esta é uma região fortemente absorvedora para os tecidos biológicos, onde a influência do espalhamento é relativamente

pequena e, conseqüentemente, a radiação não penetra profundamente no tecido.

De  $\lambda = 400$  nm a  $\lambda = 600$  nm (visível) a oxihemoglobina, a hemoglobina e a melanina são os principais cromóforos, mas além da absorção há também espalhamento nesta região, com profundidade de penetração aproximada da radiação entre 0,5 e 2,5 mm. De  $\lambda = 600$  nm a  $\lambda = 1.500$  nm (final do espectro visível e infravermelho próximo) os principais cromóforos são os mesmos da região visível, porém o espalhamento predomina em relação à absorção, apresentando maior profundidade de penetração, entre 8 e 10 mm (6). Acima de  $\lambda = 1.500$  nm (infravermelho) a água e a hidroxiapatita são os principais cromóforos e a profundidade de penetração da radiação é pequena. Sendo assim, de  $\lambda = 200$  nm a  $\lambda = 400$  nm tanto os tecidos moles como os tecidos mineralizados são fortemente absorvedores. De  $\lambda = 400$  nm a  $\lambda = 600$  nm os tecidos moles são tanto absorvedores quanto espalhadores, e os tecidos duros são pouco absorvedores. De  $\lambda = 600$  nm a  $\lambda = 1.500$  nm os tecidos moles são altamente espalhadores e os duros continuam fracamente absorvedores. Acima de  $\lambda = 2.000$  nm, os tecidos moles são menos absorvedores e os tecidos duros são fortemente absorvedores.

## INTENSIDADE, DENSIDADE DE POTÊNCIA OU IRRADIÂNCIA ( $W/cm^2$ )

A intensidade (I) é a potência de saída da radiação característica de cada equipamento laser, por unidade de área, geralmente medida em  $W/cm^2$ :

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}}$$

A intensidade é a grandeza física que avalia a possibilidade de dano térmico. Ressalta-se que a intensidade dá a quantidade de potência óptica por unidade de área na superfície do tecido, sem considerar a direção de propagação da radiação, que poderá ser absorvida ou espalhada. Deve-se ter em mente que, para o cálculo da intensidade de uma fonte de radiação, deve-se considerar a seção transversal do feixe, também conhecida por spot (Fig. 3.4).

Para a compreensão da grandeza intensidade, uma definição apropriada deve ser estabelecida. A American Association of Physicists in Medicine (AAPM) define os seguintes parâmetros (7):

**Potência radiante.** Potência emitida, transferida ou recebida como radiação eletromagnética. A unidade utilizada segundo o sistema internacional (SI) é o watt (W).

**Taxa de fluência.** Razão entre a potência incidente em uma esfera infinitésima (contendo o ponto de interesse) e a seção transversal da área da esfera. A unidade do SI é  $W/m^2$ , porém a unidade  $mW/cm^2$  é mais comumente utilizada quando se usam lasers de baixa potência.

**Intensidade.** Potência radiante incidente em uma superfície infinitésima de um elemento (contendo o ponto de interesse) dividida pela área do elemento. A unidade do SI é  $W/m^2$ , porém a unidade  $mW/cm^2$  é comumente utilizada.

A intensidade e a taxa de fluência possuem a mesma unidade (potência por área), porém elas não representam a mesma quantidade. A intensidade é definida para uma superfície particular, enquanto a taxa de fluência pode ser definida e medida no espaço livre ou no interior de um objeto. Mais recentemente, a Comissão Internacional de Iluminação propôs o termo irradiância, que tem a mesma definição de intensidade ou densidade de potência (8). Conforme descrito anteriormente, quando a radiação incide sobre tecidos biológicos, vários fenômenos ocorrem simultaneamente. A irradiância (ou intensidade) é o termo adotado, pois somente temos certeza dos valores desta grandeza em uma superfície. Ao utilizarmos a expressão taxa de fluência deveríamos conhecer o volume como um todo; como isso nem sempre é possível, a utilização do termo irradiância é mais adequada. Porém, comumente pode ser encontrada em artigos científicos a expressão taxa de fluência. Vale ressaltar que intensidade e irradiância estimam a potência em

uma determinada área na superfície do tecido. Neste capítulo adotamos o termo intensidade para descrever a potência em uma área.

O cálculo da intensidade pode ser realizado de forma simplificada. Por exemplo, para um dado laser de potência 10 mW e spot de 6 mm de diâmetro, deve-se calcular a área do feixe como a área de um círculo dado pela fórmula:  $Área_{círculo} = \pi \times raio^2$ . Logo, um feixe de 6 mm de diâmetro tem um raio de 3 mm; transformando em centímetros, teremos 0,3 cm; sendo assim, como a área é dada por  $\pi (0,3)^2$ , a área do feixe é de  $0,28 \text{ cm}^2$  aproximadamente.

Finalmente, o cálculo da intensidade, que deve ser feito com a potência transformada em W e a área em cm, será:

$$I = \frac{0,01 \text{ W}}{0,28 \text{ cm}^2} \approx 0,035 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \text{ ou } 35 \text{ mW/cm}^2$$

Para a realização do cálculo da intensidade foi preciso, primeiramente, transformar miliwatt (mW) em watt (W) e a área em centímetro (cm). A notação correta para essa grandeza pelo sistema internacional de unidades (SI) é em  $W/m^2$ , porém, em artigos científicos é mais comum encontrar as unidades  $W/cm^2$  ou  $mW/cm^2$ . Para transformar  $W/m^2$  em  $W/cm^2$  basta dividir por 10.000 ( $10^4$ ).

Note que, como descrito anteriormente, a intensidade é a grandeza que delimita a possibilidade de dano térmico. Logo, é importante que seus valores permaneçam em limites seguros. No exemplo citado acima, um laser de 10 mW produz uma intensidade de  $35 \text{ mW/cm}^2$ , porém, este mesmo equipamento, com um spot de 0,06 cm, resulta em uma intensidade de  $3,5 \text{ W/cm}^2$ , ou seja, uma intensidade 100 vezes maior.

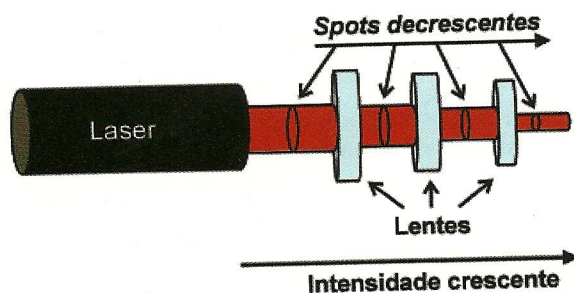


FIG. 3.4 A intensidade é inversamente proporcional à área do spot da fonte de radiação.

## ENERGIA

A energia radiante é a energia total emitida, transferida ou recebida como radiação eletromagnética. A unidade do SI é o joule (J).

A energia é calculada através da potência e tempo de exposição, logo a energia é igual a:

$$E = \frac{\text{Potência (W)}}{\text{Tempo (s)}}$$

Em um exemplo prático, com um laser de potência total de 30 mW em 30 s, transferimos para o nosso alvo 0,001 J de energia. Note que a grandeza energia não leva em consideração a área alvo, somente a potência emitida e enviada ao alvo em um intervalo de tempo.

### Exposição Radiante, Densidade de Energia, Dose ou Fluência (D)

A exposição radiante, comumente chamada de dose, densidade de energia ou fluência, é a grandeza física que avalia a possibilidade de estimulação, inibição ou não-manifestação dos efeitos terapêuticos.

De acordo com as definições da AAPM (7), a significância física de cada termo seria:

**Fluência.** Energia radiante total incidente em uma esfera infinitésima (contendo o ponto de interesse) dividida pela seção transversal da área da esfera. A unidade do SI é J/m<sup>2</sup>, porém a unidade J/cm<sup>2</sup> é comumente empregada.

**Exposição radiante.** Energia radiante incidente em uma superfície infinitésima de um elemento (contendo o ponto de interesse) dividida pela área do elemento. A unidade do SI é J/m<sup>2</sup>, porém a unidade J/cm<sup>2</sup> é comumente utilizada. A exposição radiante é a irradiância integrada no tempo. Assim como o termo irradiância é o termo mais apropriado para a unidade de potência por área, o termo mais apropriado para a aplicação em tecidos biológicos da energia por área seria exposição radiante.

A dose é a quantidade de energia por unidade de área transferida à matéria (tecido ou células em cultura). Geralmente é medida em J/cm<sup>2</sup>. É o termo que será utilizado neste capítulo para definir a energia entregue ao tecido por unidade de área.

Neste ponto vale salientar que a dosimetria para terapia com laser em baixa intensidade não se restringe à dose, pois, mantendo-se a mesma dose, porém variando-se a intensidade e o tempo de exposição, podem-se obter diferentes resultados.

Também é importante conhecer a potência média do laser para o cálculo da dose a ser administrada, quando o regime do laser é pulsado, pois a potência varia entre um valor máximo (potência pico) e zero, de forma que a potência média do laser 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 período de tempo e é igual à potência média.

A dose pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$Dose = \frac{Tempo (s) \cdot Potência (W)}{Área (cm^2)}$$

Utilizando o mesmo exemplo dado anteriormente, ou seja, um laser cuja potência seja 10 mW e spot de 6 mm de diâmetro, o cálculo da dose para um tempo de exposição à radiação de 30 s será:

$$\begin{aligned} Dose &= \frac{Tempo (s) \cdot Potência (W)}{Área (cm^2)} \\ &= \frac{30 s \times 0,01 W}{0,28 cm^2} \approx 1 J/cm^2 \end{aligned}$$

Novamente, o mais comum na literatura científica é encontrar a dose em unidades J/cm<sup>2</sup>, e não em J/m<sup>2</sup>, que é a notação correta de acordo com o SI. A transformação segue a mesma regra anterior, ou seja, dividir a resposta cujas unidades são J/m<sup>2</sup> por 10<sup>4</sup>.

A situação mais comum é aquela em que se quer administrar uma certa dose a uma área específica que deve ser tratada e é necessário calcular o tempo de exposição.

Algumas considerações devem ser feitas sobre esta situação. Primeiramente, o mais indicado é calcular a dose ou a intensidade levando-se em consideração a área da seção transversal do feixe laser, e não da área a ser tratada, pois como os locais a serem tratados são volumétricos, ou seja, a profundidade deve ser calculada, teríamos que obter a informação em J/cm<sup>3</sup>, o que na prática seria quase impraticável. Imaginemos uma lesão a ser tratada cuja área seja menor ou igual à área do spot do laser (Fig. 3.5).

Neste caso, o tempo de tratamento pode ser determinado por meio da mesma equação usada para o cálculo da dose, bastando isolar, matematicamente, o tempo em vez da dose:

$$Tempo (s) = \frac{Dose (J/cm^2) \cdot Área (cm^2)}{Potência (W)}$$

No entanto, quando a lesão a ser tratada tem área maior que a área do spot do laser, calcula-se o tempo conforme a equação acima e depois se multiplica este

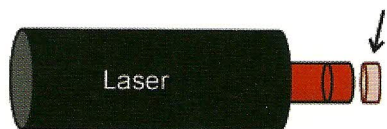


FIG. 3.5 Situação em que a lesão a ser tratada é menor ou igual ao spot do laser.

tempo pelo número de spots que cabem na área a ser tratada (Fig. 3.6).

É importante salientar, para o caso em que a área da lesão é maior que a área do spot do laser, que o tempo é cumulativo, mas a dose não. Isto é, a dose não será multiplicada pelo número de spots que couberam na lesão, a dose será considerada pontualmente. Para este caso, também é comum encontrar a denominação irradiação por ponto.

Claro que a situação ideal é expandir o feixe de tal maneira que seja necessária apenas uma irradiação para cobrir a lesão. Isso pode ser conseguido por meio de uma óptica apropriada, com lentes, por exemplo. Mas quando esta maneira ideal não for possível, a segunda opção para o método de irradiação deverá ser por ponto. A inconveniência deste método é a possibilidade de ficarem áreas na lesão sem receber radiação direta (Fig. 3.6). Diz-se radiação direta porque há a possibilidade de a radiação que penetrou no tecido ser espalhada lateralmente, irradiando indiretamente os espaços que não foram diretamente irradiados. Porém, é sempre bom lembrar que esta probabilidade é pequena, já que os tecidos biológicos espalham, preferencialmente, a radiação na mesma direção de incidência do feixe.

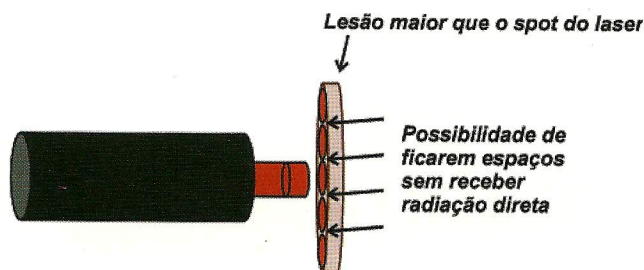


FIG. 3.6 Situação em que a lesão a ser tratada é maior que o spot do laser. Neste exemplo, cinco spots couberam na lesão, portanto, o tempo calculado por meio da equação deve ser multiplicado por cinco, resultando no tempo total de irradiação.

A terceira opção deverá ser o método de irradiação por varredura, mas também é preciso cuidados para aplicação deste método. Continuando com o mesmo exemplo dado anteriormente, o tempo necessário para que os parâmetros do laser se ajustem e irradiem a dose de  $1 \text{ J/cm}^2$  é 30 s com a ponteira do laser parada no local cuja área corresponda à área do spot. Numa área maior que a área do spot do laser, não é correto pensar que o movimento de varredura por toda a área durante 30 s oferecerá dose de  $1 \text{ J/cm}^2$ , pois a dose não é cumulativa. A dose de  $1 \text{ J/cm}^2$  é válida para a área específica de  $0,28 \text{ cm}^2$  quando a potência do laser é 10 mW.

Alguns livros e apostilas que são distribuídos dentro de equipamentos laser comercializados costumam mostrar uma tabela de doses utilizadas em cada doença, podendo variar até 3 vezes a sua dose. Isto acontece porque os equipamentos vendidos comercialmente calculam a dose de forma arbitrária em uma área de  $1 \text{ cm}^2$  ou pela área da seção transversal do feixe (spot). Assim, discrepâncias entre as doses calculadas automaticamente pelos equipamentos podem aparecer, conforme descrito a seguir.

O equipamento A tem potência de 30 mW e diâmetro do feixe na saída de  $0,3 \text{ cm}^2$ . O cálculo automático de dose neste equipamento é feito para uma área de  $1 \text{ cm}^2$ . Portanto, quando o painel deste equipamento marcar  $1 \text{ J/cm}^2$ , o tempo necessário para fazer esta aplicação será de 33,3 s. No equipamento B, de mesma potência (30 mW) e diâmetro do feixe igual ( $0,3 \text{ cm}^2$ ), o cálculo automático é feito pela área do feixe. Logo, para entregar a mesma dose de  $1 \text{ J/cm}^2$  neste equipamento, o tempo de aplicação será de 10 s. Note que na realidade as especificações dos equipamentos são as mesmas e as intensidades também, a diferença está somente na forma de calcular a dose. Portanto cabe ao usuário conhecer o sistema de cálculo do equipamento utilizado e escolher a forma de cálculo apropriada para cada situação clínica.

Também importante na terapia com laser em baixa intensidade é a capacidade de excitar o cromóforo em seu alvo. Dose de radiação geralmente é prescrita como energia incidente, que não leva em consideração a luz refletida e espalhada. A relação entre a energia incidente e a real depende da localização e da pigmentação endógena da área alvo. Dessa forma, para os tecidos biológicos, na faixa entre  $\lambda = 600 \text{ nm}$  e  $\lambda = 1.200 \text{ nm}$  do espectro eletromagnético, no mínimo 2% da radiação incidente é refletida, o espalhamento predomina em relação à absorção e, com cer-

teza, a dose real (aquela que é transferida à matéria) é menor que a dose incidente.

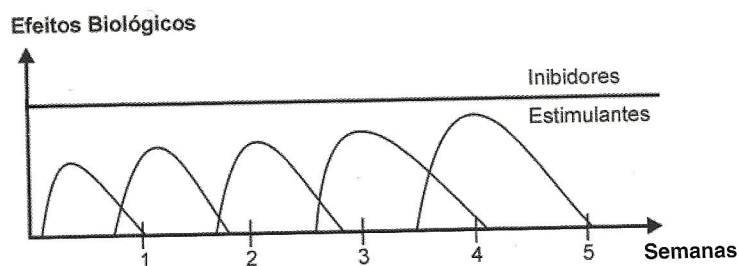
As figuras a seguir representam a relação entre os efeitos biológicos, o tempo e a dose administrada segundo a lei de Arndt-Schultz para efeitos biológicos (9) (Figs. 3.7 a 3.10).

## TECIDO ALVO

A dosimetria não pode deixar de considerar o tecido alvo, pois suas características ópticas e seu estado fun-

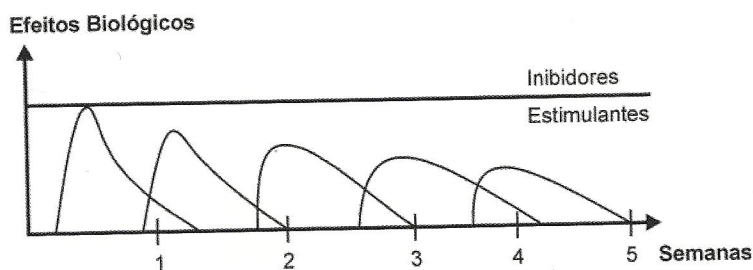
cional vão determinar o efeito obtido nestes tecidos com os parâmetros empregados.

É preciso levar em consideração o estado fisiológico de um tecido para que se estabeleça a melhor dosimetria. Por exemplo, o decaimento exponencial da intensidade de luz em pele sadia é diferente daquele de pele queimada. De fato, o tecido de granulação de queimaduras possui características únicas e varia em muitos aspectos na comparação com a pele normal (10). Sendo assim, a característica fisiopatoló-



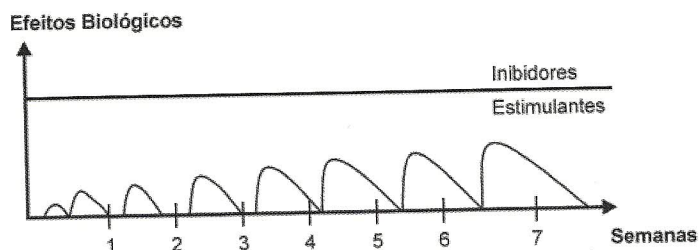
Dose = 1/2 Dose Adequada

FIG. 3.7 Efeitos, em função do tempo, para dose inferior à dose adequada.



Dose = Dose Adequada

FIG. 3.8 Efeitos, em função do tempo, para dose igual à dose adequada.



Dose = 1/4 Dose Adequada

FIG. 3.9 Efeitos, em função do tempo, para dose muito menor que a dose adequada.

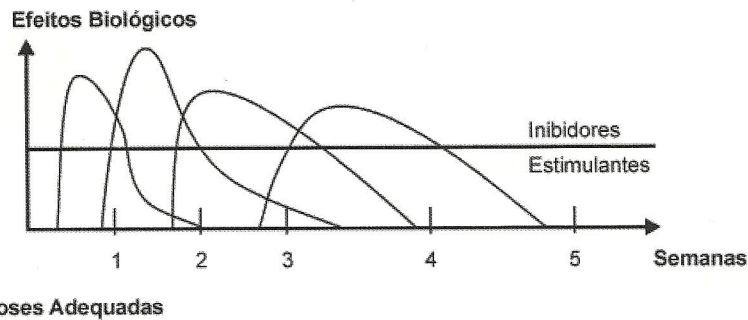


FIG. 3.10 Efeitos, em função do tempo, para dose muito maior que a dose adequada.

gica e a conseqüente característica óptica do tecido são importantes para a terapia com laser.

Na prática, isso significa que um tecido em processo inicial de inflamação, rico em mastócitos, neutrófilos, monócitos, macrófagos e fibroblastos, por exemplo, deve receber dose maior no início do processo inflamatório, uma vez que possui mais centros espalhadores (células), e tal dose deve diminuir conforme o processo de inflamação inicial regride e ocorre a tendência normal de entrada na fase reparadora, com menor presença celular.

Isto pode parecer um cuidado exagerado, porém, vale lembrar que dose maior que aquela considerada ótima pode inibir os efeitos positivos (Fig. 3.10).

Na escolha da dosimetria apropriada, o paciente deve ser visto como um todo, e portanto diversos fatores devem ser clinicamente analisados para a escolha da dosimetria apropriada. Entre eles citamos (9):

- As condições do tecido: tecidos ulcerados, pigmentados ou queratinizados possuem propriedades ópticas diferentes; sendo assim, terão diferentes coeficientes de absorção, refletância e transmitância. Cabe ao clínico avaliar as condições do tecido e definir por aumento ou 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: é sabido 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. Uma condição de lesão pulpar irreversível diagnosticada como hipersensibilidade dentinária e tratada com laser em baixa intensidade pode acarretar agudização do processo e dor e desconforto para o paciente.

Os fatores anteriormente mencionados, apesar de não fazerem parte direta do cálculo da dosimetria, devem ser considerados pelo clínico para que os efeitos benéficos da terapia sejam observados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas linhas antes de nos referirmos ao termo “dose ótima”. O entendimento deste termo é a questão que norteia a dosimetria na terapia com laser, pois não é nada trivial determiná-la quando tantos parâmetros e características devem ser levados em consideração simultaneamente.

No entanto, sejamos otimistas. O primeiro laser foi construído em 1960, e numa década apenas os lasers cobriram o espectro, do infravermelho ao ultravioleta. A utilização de fontes coerentes permitiu a descoberta de todo um conjunto de novos efeitos ópticos e deu origem a uma gama de instrumentos, aplicações e terapias inovadoras. Considerações econômicas associadas à necessidade de melhorar a qualidade de vida têm, mais do que nunca, levado a Física até o paciente. Os lasers são hoje utilizados em tudo: na leitura de discos compactos, no corte de aço, na impressão de jornais,

na leitura de códigos de barras, em cirurgias, em hospitais, em consultórios, etc. Os conhecimentos mais profundos não são fáceis de obter. Pouco se aprendeu nos últimos três mil anos, embora o ritmo de aprendizagem seja cada vez mais rápido. É maravilhoso, no entanto, assistir a mudanças sutis da resposta à pergunta que permanece imutável: o que é a luz? E quem dirá o que é dose ótima?

## REFERÊNCIAS

1. Turner J, Hode L. The laser therapy handbook. Prima Books, Sweden, 2004.
2. Zmievscoi GN. Dosimetric aspects of low-intensity phototherapy with coherent and incoherent actions. Meas Tech 2005; 48: 1014-20.
3. Melo CAS, Lima ALLA, Brasil IRC *et al.* Characterization of light penetration in rat tissues, J Clin Laser Med Surg 2001; 19: 175-9.
4. Turner J, Hode L. Low level laser therapy: clinical practice and scientific background. Sweden: Prima Books, 1998.
5. Niemz MH. Laser-Tissue Interactions. Fundamentals and Applications. 1996: Springer.
6. Tuchin VV. Fundamentals of the interaction of low-intensity laser radiation with biotissues: dosimetric and diagnostic therapeutics. Bull Russian Acad Soc. 1995; 59: 1031-53.
7. [http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt\\_57.pdf](http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_57.pdf) e [http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt\\_88.pdf](http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_88.pdf)
8. Sliney DH. Radiometric quantities and units used in photobiology and photochemistry: recommendations of the Commission Internationale de l'Éclairage (International Commission on Illumination). Photochem Photobiol. 2007; 83: 1-8.
9. Baxter GD, Diamantopoulos C. Therapeutic Lasers Theory and Practice, 1 ed. Churchill Livingstone, London, 1994.
10. Latha B, Ramakrishnan M, Jayaraman V, Babu M. Physicochemical properties of extracellular matrix proteins in post-burn human granulation tissue. Comp Biochem Phys Part B. 1999; 124: 241-9.