

# Efeitos do laser terapêutico no processo de cicatrização das queimaduras: uma revisão bibliográfica

## *Effects of the therapeutic laser on the wound healing of burns: a bibliographic review*

Alexsandra G. de Andrade<sup>1</sup>, Cláudia F. de Lima<sup>2</sup>, Ana Karlla B. de Albuquerque<sup>3</sup>

### RESUMO

**Introdução:** O tratamento de queimaduras sempre foi um desafio, tanto pela sua gravidade, como pelas múltiplas complicações que normalmente ocorrem proporcionais ao tempo necessário para a cura da lesão. O laser terapêutico é uma luz monocromática e coerente que tem sido usada para induzir a cicatrização de feridas indolentes. **Objetivos:** O estudo tem como objetivo descrever os efeitos, o mecanismo de ação e parâmetros de aplicação do laser terapêutico na cicatrização de queimaduras. **Método:** Foi realizado um levantamento bibliográfico por meio de livros e publicações de periódicos indexados (MEDLINE, LILACS, SciELO, Portal Periódicos da CAPES) que enfoquem o tema em questão. **Resultados:** Essa revisão evidencia que o laser terapêutico acelera a proliferação das células reparativas e aumenta a organização do colágeno, porém há carência de estudos utilizando queimaduras como modelo experimental, falta de padronização dos parâmetros de aplicação e informação da profundidade da lesão. **Conclusão:** O laser terapêutico pode ser um recurso valioso no tratamento de queimados pela sua capacidade de induzir cicatrização rápida e organizada.

**DESCRITORES:** Lasers. Queimaduras. Cicatrização de feridas.

### ABSTRACT

**Background:** The treatment of burns has always been a challenge in terms of their seriousness, as the multiple complications that usually occur in proportion to the time needed to cure the lesion. The therapeutic laser is a monochromatic and coherent light that has been used to induce the healing of wounds indolent. **Objectives:** The study aims to describe the effects, the mechanism of action and application parameters of therapeutic laser on the healing of burns. **Methods:** A bibliographic survey was carried out through books and publications indexed journals (MEDLINE, LILACS, SciELO, CAPES) that address the issue in question. **Results:** This review shows that the laser therapy accelerates the proliferation of reparative cells and increases the organization of collagen, but there is a lack of studies using burns as an experimental model, lack of standardized criteria and application information on the depth of the lesion. **Conclusion:** Laser treatment can be a valuable resource in the treatment of burns by its ability to induce rapid healing and organized.

**KEY WORDS:** Lasers. Burns. Wound healing.

1. Fisioterapeuta formada pela Universidade Federal de Pernambuco; Residente em Saúde Coletiva pelo CPqAM- Fiocruz-Pernambuco.
2. Fisioterapeuta do Centro de Terapia de Queimados – Hospital da Restauração/PE; Professora do Curso de Fisioterapia da UNICAP.
3. Fisioterapeuta do Centro de Terapia de Queimados – Hospital da Restauração/PE; Especialista em Anatomia do Aparelho Locomotor.

**Correspondência:** Alexsandra Gomes de Andrade  
Rua Victor José Fernandes, 482 – Bairro Novo – Olinda, PE – CEP: 53030-090  
E-mail: xandinahg@hotmail.com  
Recebido em: 15/1/2010 • Aceito em: 5/3/2010

A queimadura é um dos traumas mais devastadores que pode atingir o homem, e considerada uma das causas frequentes de mortalidade e de graves incapacidades a longo prazo<sup>1</sup>. No Brasil, o trauma contribui com 57% do total de mortalidade na faixa etária de 0 a 19 anos e corresponde a 38% dos principais agravos atendidos no sistema de saúde<sup>2</sup>. Sabe-se que cerca de 1.000.000 de casos de queimaduras ocorrem ao ano, dos quais 100.000 pacientes procurarão atendimento hospitalar e 2.500 irão a óbito em decorrência de suas lesões<sup>1</sup>. Estima-se uma taxa de mortalidade entre 0,86% a 34,4%, sendo que a maior parte ocorre por infecção e o período de internação é, em média, de 1 a 266 dias<sup>3</sup>. Segundo Linde<sup>4</sup>, o tempo necessário para a cura da queimadura é um dos principais determinantes para o desenvolvimento de complicações.

O tratamento de queimaduras sempre foi um desafio, tanto pela sua gravidade, como pela multiplicidade de complicações que normalmente ocorrem. A cura da queimadura implica não somente em cirurgias de enxertia de pele precoces, mas também em controlar e orientar a regeneração cicatricial, que tende a ocorrer de forma anárquica e com potencial de sequelas e infecções<sup>5,6</sup>.

As falhas mais importantes do reparo ocorrem em estágios iniciais, levando à diminuição dos elementos celulares e alterações na síntese de colágeno. Diversos fatores locais e sistêmicos interferem e retardam a cicatrização e, por isso, a reparação tecidual tem merecido atenção em vários estudos, em busca de métodos terapêuticos que possam solucionar ou minimizar as falhas no processo<sup>7</sup>.

Entre os vários recursos utilizados, o laser de baixa potência vem ganhando destaque nas últimas décadas. O laser terapêutico ou terapia por laser de baixa potência é uma forma de fototerapia que envolve a aplicação de luz monocromática e coerente de baixa energia em vários tipos de lesões, obtendo sucesso quando usada para induzir a cicatrização de feridas difíceis<sup>8</sup>. Seu êxito deve-se a amplos efeitos sobre os diferentes tecidos, entre os quais se destacam os efeitos trófico-regenerativos, antiinflamatórios e analgésicos, os quais têm sido demonstrados em estudos tanto *in vitro* como *in vivo*<sup>7</sup>.

Considerando-se os agravantes mencionados e a preocupação de verificar a aplicabilidade clínica deste recurso, esse artigo pretende, por meio da revisão de literatura, descrever os efeitos, o mecanismo de ação, parâmetros mais adequados e possíveis benefícios do uso do laser terapêutico na cicatrização de queimaduras.

## QUEIMADURAS

A queimadura é uma lesão dos tecidos orgânicos em decorrência de um trauma de origem térmica, que varia desde uma pequena bolha até formas graves, capazes de desencadear respostas sistêmicas proporcionais à extensão e à profundidade<sup>9</sup>. São lesões que podem levar à desfiguração, à incapacidade e até à morte<sup>10</sup>.

Existem várias formas de classificação de uma lesão por queimadura, dentre elas a que se baseia na profundidade da pele

prejudicada, o que determinará o tratamento e prognóstico do paciente<sup>11,12</sup>. Essas lesões são denominadas como superficiais (antes referidas como 1º grau), de espessura parcial (conhecidas como de 2º grau) ou de espessura total (referidas como de 3º grau)<sup>4</sup>.

As queimaduras superficiais afetam apenas a epiderme, apresentando-se hiperemiadas, edematosas e dolorosas, resolvendo-se dentro 5 a 7 dias. As queimaduras de espessura parcial podem ser superficiais ou profundas. As superficiais cicatrizam em 14 a 21 dias, acometem a derme e sua camada superior (derme papilar) apresentando bolhas, umidade e dor acentuada, deixando mínimo tecido cicatricial. As queimaduras profundas de espessura parcial acometem quase toda a espessura da derme, apresentando coloração pálida e menos dor. O tempo necessário para cicatrização pode ser de três a seis semanas ou mais, e tais queimaduras deixarão um tecido cicatricial que pode hipertrofiar-se e contrair-se. Nas queimaduras de espessura total, a lesão acomete toda espessura da pele e, em alguns casos, se estende ao tecido subcutâneo, músculo e osso. São de aspecto esbranquiçado e rígido e, por não haver elementos dérmicos para regeneração, só cicatrizam com enxerto<sup>4,11</sup>.

A verdadeira profundidade da queimadura pode não ser precisa ou facilmente determinada no primeiro dia. Durante sua evolução, uma infecção ou uma instabilidade hemodinâmica podem aprofundar a lesão. O próprio processo de reposição volêmica produz vários radicais livres que levam os danos adicionais aos tecidos<sup>13</sup>, isto permite que uma lesão de espessura parcial superficial evolua para espessura total depois de 72 h da lesão<sup>14</sup>.

## PROCESSO DE CICATRIZAÇÃO

Quando a integridade da pele é alterada, inicia-se a cicatrização, que é um processo complexo, envolvendo a interação entre células estromais e circulatórias que são ativadas por um conjunto de mediadores químicos, fragmentos de células e matriz celular, microorganismos e alterações físico-químicas do microambiente da lesão e áreas circunjacentes. É didaticamente dividido em três fases, interdependentes e sobrepostas dinamicamente no tempo<sup>15</sup>.

A fase inflamatória ou exsudativa inicia-se logo após a lesão, com formação de rede de fibrina e migração de neutrófilos, linfócitos e, mais tardiamente, os macrófagos, tendo como objetivo remover tecidos desvitalizados. A fase proliferativa é dividida em três subfases e é responsável pela formação do tecido de granulação. A primeira subfase é a reepitelização que ocorre pela migração de queratinócitos das bordas e anexos remanescentes; a segunda é a fibroplasia, na qual ocorre proliferação de fibroblastos e produção de colágeno, elastina e outras proteínas; a terceira é a angiogênese que ocorre paralelamente à fibroplasia, onde os novos vasos darão suporte à formação da nova matriz<sup>16</sup>. Nessa fase, tem início o fenômeno de contração realizado pelos miofibroblastos, reduzindo de 0,60 a 0,75 mm por dia a área da ferida<sup>17</sup>. A última fase é a de maturação ou remodelação, onde ocorre a substituição do colágeno tipo 3

pelo tipo I, absorção de água, diminuição do número de vasos, que pode levar de 6 meses a 2 anos<sup>15,16,18</sup>.

Com base na natureza da ferida e quantidade de tecido lesado, as lesões cutâneas podem ter uma cicatrização por primeira ou por segunda intenção<sup>19,20</sup>. A cicatrização por primeira intenção ocorre por aproximação das bordas, com menor quantidade de colágeno e reduzido tempo de recuperação<sup>19,21</sup>. Em lesões cutâneas por queimadura, a extensão da perda cutânea dificulta ou mesmo impossibilita a aproximação das bordas, ocorrendo a cicatrização por segunda intenção, que é um processo mais lento, com alto risco de infecção, produzindo retração cicatricial, cicatrizes extensas e alto custo de tratamento<sup>17</sup>.

Diversos fatores locais e sistêmicos podem atrasar ou impedir a cicatrização, como: suporte nutricional inadequado, déficit na oxigenação tecidual, infecção, necrose, ambiente seco, tamanho da ferida, idade do paciente e imunossupressão<sup>19</sup>. Qualquer alteração no processo de reparo leva à cicatrização patológica, que pode ser agrupada de forma geral em: formação deficiente de tecido cicatricial, formação excessiva (cicatriz hipertrófica e quelóide) e a formação de contraturas<sup>20</sup>.

## LASER TERAPÊUTICO

O termo laser é um acrônimo para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa amplificação da luz por emissão estimulada da radiação. Embora tenha sido Albert Einstein quem concebeu os princípios da geração deste tipo de luz, somente em 1960 foi produzido o primeiro emissor de laser<sup>22,24</sup>.

Os primeiros lasers foram rapidamente introduzidos na Medicina, particularmente na cirurgia, utilizando-se de suas propriedades fototérmicas e fotoablativas por serem de alta potência<sup>22</sup>. Posteriormente foi possível observar efeitos não térmicos benéficos quando aplicado em baixa intensidade<sup>23</sup>.

Os primeiros trabalhos com laser de baixa intensidade foram conduzidos pelo professor Mester<sup>1</sup>, que observou que o laser é capaz de modular processos biológicos, em particular, estimular processo de regeneração tecidual<sup>25</sup>.

Essa luz terapêutica corresponde a uma pequena porção do espectro que compreende os comprimentos de onda do visível ao infravermelho próximo (330 a 1100 nm), potência menor que 500 mW e dosagens menores que 35 J/cm<sup>2,24,26,27</sup>.

A modalidade tem encontrado crescente aplicação por fisioterapeutas, dentistas e acupunturistas. Os lasers utilizados por fisioterapeutas são os de Hélio-Neônio (He-Ne), Arseneto de Gálio (AsGa), Alumínio-Gálio-Índio-Fósforo (AlGaInP) e Arseneto-Gálio-Alumínio (AsGaAl), conhecidos como lasers terapêuticos, lasers de baixa intensidade ou de baixa potência<sup>28</sup>.

## Mecanismos de ação fotobiológica

A efetividade do laser se deve em grande parte à sua diferença da luz ordinária em características como a monocromaticidade, coerência e colimação. A monocromaticidade indica que a radiação é constituída por fótons com um único comprimento de onda e, portanto uma só cor, esta característica determina quais biomoléculas absorverão a radiação incidente. A colimação significa que os raios são todos paralelos, o que mantém a potência agrupada numa área pequena e percorre grandes distâncias. As depressões e picos das ondas de luz emitidas combinam-se perfeitamente no tempo e no espaço, isto determina a coerência do laser<sup>22,23</sup>.

Segundo Low & Reed<sup>23</sup>, a colimação e a coerência diminuem e se perdem nos primeiros extratos da pele, não sendo importantes para a ação biológica.

Enquanto nos lasers de alta potência os efeitos são fototérmicos; em lasers de baixa intensidade ocorre a conversão fotoquímica da energia absorvida por fotorreceptores específicos. Os cromóforos ou fotorreceptores são quaisquer tipos de moléculas (enzimas, membranas, substâncias) que apresentam uma configuração atômica capaz de ser excitada pela incidência de fótons específicos. A melanina, porfirina, hemoglobina e citocromo c oxidase são exemplos de fotorreceptores<sup>29</sup>.

As respostas das células à radiação visível e infravermelha próxima ocorrem devido às mudanças físicas e químicas destes fotorreceptores que, ao absorverem a luz, assumem estado eletrônico excitado que desencadeia quatro ações primárias:

- mudanças do estado redox e aceleração da transferência de elétrons;
- alterações estruturais e da atividade bioquímica pelo aquecimento transitório dos cromóforos;
- aumento da produção de superóxido;
- geração de oxigênio molecular.

Na sequência, os mecanismos secundários de ação consequentes às reações físicas e químicas iniciadas, correspondem à transdução do fotossinal e amplificação ao núcleo das células irradiadas, sendo conectadas às alterações dos parâmetros da homeostasia celular (pH, Ca, AMPc, ATP e outros), que acontecem horas e até dias após irradiação<sup>24,29</sup>. Campos<sup>30</sup> afirma que a ação do laser HeNe no organismo permanece por 41 dias após a aplicação. Isso leva a possíveis mudanças na taxa de síntese de RNA e DNA, alteração nas taxas de consumo de oxigênio, regulação do potencial de membrana e aumento da síntese de ATP<sup>24</sup>.

Para possuir este papel fotobiorregulador, o fotorreceptor deve ser estrutura chave do caminho metabólico, sendo o citocromo c oxidase – uma proteína que catalisa a etapa final do transporte de elétrons nas mitocôndrias – o principal cromóforo das células vias<sup>29</sup>. Diversas obras demonstram que as mitocôndrias são sensíveis

à irradiação monocromática visível e infravermelha<sup>31,32</sup>. Campbell<sup>33</sup> afirma que todas as células possuem citocromos, permitindo que o laser estimule todas elas. Segundo Parizzoto<sup>34</sup>, ainda existe uma outra via de ação, por meio de fotorreceptores secundários que, diferentemente do citocromo c oxidase (fotorreceptor primário), absorvem a energia por intermédio do campo eletromagnético, havendo uma espécie de ressonância desses campos com as biomoléculas, alterando cargas específicas de membranas e proteínas. Sua hipótese é que o colágeno seria um destes fotorreceptores secundários devido as suas propriedades de piezoelectricidade e piroelectricidade que consistem na geração de cargas elétricas quando submetido à pressão e calor, ou vice-versa, respectivamente<sup>34</sup>.

Outros autores ainda referem efeitos bioquímicos, que seriam a liberação de substâncias pré-formadas como histamina, serotonina e bradicinina ou até mesmo interferir na produção de certas substâncias como prostaglandinas e endorfinas. Essa seria a explicação para os efeitos antiinflamatórios e analgésicos do laser terapêutico<sup>28</sup>.

### Efeitos do laser terapêutico no processo de cicatrização das queimaduras

Há evidências na literatura que o laser terapêutico acelera a reparação tecidual<sup>35-39</sup>.

Dentre os protocolos experimentais utilizados, estão a cultura de células e tecidos, que referem um aumento na proliferação de vários tipos celulares, incluindo fibroblastos, células endoteliais e queratinócitos<sup>27,31,40</sup>.

A maioria dos estudos sobre a ação do laser no reparo tecidual foi realizada em modelos animais. Utilizando pele ou tendões, a fotobiomodulação no processo cicatricial é frequentemente analisada do ponto de vista da contração da ferida, por meio da mensuração de área ou diâmetros e eventualmente outras variáveis, como estudo histológico dos vários tipos celulares, contagem de vasos e organização das fibras colágenas<sup>27,34</sup>. A maior parte dos investigadores emprega o rato, que não é o ideal, devido à pouca similaridade com a pele humana<sup>39</sup>.

São poucas as investigações que utilizaram modelo humano, sendo conduzidas com poucos casos e de modo pobremente controlado. Entretanto, as mesmas conclusões reportadas em estudos *in vitro* e em animais são sugeridas pelos estudos em humanos<sup>25,41</sup>.

Em seus estudos *in vivo*, os pesquisadores produzem feridas cirúrgicas, tenectomias e queimaduras para serem submetidas à radiação laser<sup>34,38,42</sup>. As investigações com queimaduras são poucas e contraditórias, talvez pela dificuldade em padronizar as lesões produzidas, utilizar pacientes, e diferenças do microambiente de feridas cirúrgicas e queimaduras<sup>27,42</sup>.

Alguns desses trabalhos indicam que o laser terapêutico não acelera a cicatrização de queimaduras, sugerindo que a fisiopatologia da cicatrização delas é caracterizada por reações inflamatórias

que levam à rápida formação de edema e necrose do tecido, o que não permite a fotoestimulação de células remanescentes<sup>42</sup>. O contrário é provado por estudos histológicos que revelam não existir diferenças no processo de cicatrização de queimaduras e outros tipos de feridas<sup>43</sup>.

A seguir, serão relacionados e comentados os principais efeitos do laser terapêutico em cada fase do processo cicatricial, relatados em artigos de revisão e em estudos experimentais com cultura de células, feridas cirúrgicas e queimaduras, relacionando-os às principais dificuldades na cicatrização de queimaduras e os possíveis benefícios.

### A fase inflamatória da cicatrização e os efeitos da aplicação do laser terapêutico

A inflamação é a fundamental para processo de reparo<sup>21</sup>. As células desta fase têm papel importante na liberação de enzimas e produtos de oxigênio, facilitando a limpeza dos detritos teciduais e bactérias<sup>44</sup>. Entre as condições relacionadas à cicatrização anormal estão a inflamação prolongada, o trauma repetitivo e a infecção<sup>45</sup>.

Corazza<sup>26</sup> observou que animais irradiados com laser na dosagem de 5 j/cm<sup>2</sup> apresentavam redução das células inflamatórias nos primeiros 3 dias, configurando uma modulação do processo inflamatório. Segundo Campos<sup>30</sup>, o laser He-Ne é capaz de aumentar o número e a atividade dos polimorfonucleares sobre bactérias e promover maior fagocitose sobre os detritos teciduais. Sugere-se que a fotomodulação corresponde a um aumento inicial do número das células inflamatórias, removendo rapidamente o excesso de detritos e, posteriormente, a redução do número destas células, dinamizando a produção de fatores de crescimento para as fases seguintes<sup>26</sup>.

Relata-se que a lesão térmica aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio e que atuam como fator perpetuante da resposta inflamatória<sup>13,46</sup>. Embora sejam fundamentais para sinalização e ativação das células de reparo e da síntese protéica, a concentração excessiva dessas moléculas promove elevada ação inflamatória<sup>15</sup>. Na queimadura, os radicais livres são produzidos durante a reposição de fluidos, e pela resposta a estímulos como bactérias e fragmentos teciduais que inicia uma sequência de fagocitoses, realizadas principalmente pelos neutrófilos, a qual é dependente de oxigênio<sup>13</sup>.

Campos<sup>30</sup> afirma que o laser terapêutico tem efeito antioxidante, através da estimulação da enzima Superóxido Dismutase (SOD), principal componente antioxidante do sistema endógeno.

Karu<sup>29</sup> relata em seus estudos que um dos possíveis mecanismos de ação do laser de baixa potência é o aumento do radical superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que conduzem a regulação do metabolismo celular, em equilíbrio com muitas enzimas antioxidantes. Em seus experimentos ele demonstra o efeito biomodulador do laser ao verificar que não só a produção

do radical superóxido foi aumentada, mas também a atividade da enzima catalase (antioxidante) levando ao aumento da síntese protéica em cultura de células de levedura.

Após aplicar laser He-Ne usando a dosagem de 1J em lesões de espessura parcial de coelhos, Araújo et al.<sup>35</sup> observaram o desaparecimento precoce dos neutrófilos e de necrose ao 5º dia de cicatrização, além de um maior número de macrófagos e discreto edema intersticial. Para Mandelbaum et al.<sup>16</sup>, o macrófago é a célula inflamatória mais importante, pois direciona a formação do tecido de granulação pela liberação de fatores de crescimento. A presença marcante desta célula no sítio inflamatório indica o início da fase proliferativa<sup>18</sup>. Ao analisar histologicamente as queimaduras dos ratos submetidos a laser de 670 nm, Lange et al.<sup>47</sup> corroboram os achados de Araújo et al.<sup>35</sup> e afirmam que o laser auxilia a formação e o aparecimento dos linfócitos e macrófagos, diminuindo o edema e o número de neutrófilos após algum tempo de aplicação.

Segundo Baum & Arpey<sup>44</sup>, o fibrinogênio presente no exsudato inflamatório converte-se em fibrina, e esta, quando em excesso, impede a migração dos fibroblastos e deposição de matriz. O acúmulo de líquido inflamatório é, portanto, indesejável, haja vista que limita a capacidade das células reparativas migrarem para dentro da ferida, aumentando o risco de infecção<sup>48</sup>.

É atribuída ao laser terapêutico a capacidade de reduzir a intensidade do infiltrado inflamatório (edema)<sup>37,38</sup>. Paim et al.<sup>49</sup> avaliaram a ação do laser AsGa aplicado sobre enxertos autólogos de pele em feridas carpometacarpianas de cães. Os autores observaram ocorrência reduzida de exsudato e edema, o que favoreceu uma "pega" precoce dos enxertos irradiados. Marcon & André<sup>38</sup> concluíram que a laserterapia através de diodo AlGalP (a 3, 6 ou 9j/cm<sup>2</sup> diariamente) provocou a ausência de sinais de infecção ou inflamação acentuada, o que, segundo os autores, determinou a aceleração do processo cicatricial das feridas irradiadas em comparação ao grupo controle.

Sabe-se que a sepse ainda é uma das principais causas de óbito no queimado<sup>50</sup>. A literatura relata que a luz laser pode inibir o crescimento de bactérias em feridas<sup>42,51,52</sup>. Para Desimone et al.<sup>51</sup>, é necessária a fotossensibilização prévia das bactérias com corantes específicos para que a irradiação laser provoque a destruição dos microorganismos. Em seu estudo, ao irradiar culturas de *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*, não previamente coradas, não ocorreu a inibição do crescimento dos microorganismos nas zonas irradiadas. Por outro lado, Bayat et al.<sup>52</sup> (2006) relatam que os mesmos microorganismos cresceram em mais de 50% das amostras obtidas de seu grupo controle, enquanto nenhuma das amostras do grupo tratado a laser apresentou as bactérias. Neste estudo, os autores não utilizaram corantes específicos e compararam as queimaduras tratadas a laser com um grupo não-tratado e outro exclusivamente tratado com bactericida tóxico.

## A fase proliferativa da cicatrização e os efeitos da aplicação do laser terapêutico

Vários estudos indicam que a luz laser promove aumento da proliferação fibroblástica e aceleração da epitelização em feridas<sup>35-37,53</sup>. Ressalta-se que antissépticos como o povidine iodine, utilizados nas balneoterapias, são potentes tóxicos aos fibroblastos e linfócitos humanos, dificultando a sua proliferação e migração durante a cicatrização das queimaduras<sup>54</sup>.

Rocha Júnior et al.<sup>37</sup> investigaram o comportamento de feridas cutâneas produzidas em ratos quando submetidas a laserterapia, observando o aumento significativo na proliferação fibroblástica. Araújo et al.<sup>35</sup>, em estudo semelhante conduzido em feridas de espessura parcial, corroboram os achados dos autores anteriores, onde a derme irradiada continha alto número de fibroblastos, e nestes, encontraram-se uma amostra maior de vesículas de colágeno em seu citoplasma e retículos endoplasmáticos bem desenvolvidos, indicando maior atividade em comparação ao grupo controle.

A reepitelização e fibroplasia requer a proliferação e migração das células<sup>44</sup>. Analisando o efeito das diferentes doses do laser He-Ne sobre cultura de fibroblastos humanos, Hawkins et al.<sup>53</sup> verificaram que as menores doses utilizadas (2,5 e 5 j/cm<sup>2</sup>) estimularam a proliferação e migração, enquanto as altas doses (16 j/cm<sup>2</sup>) inibiram as células. Sobre a proliferação e migração das células, Hu et al.<sup>31</sup> utilizaram como modelo cultura de células de melanoma humano. A aplicação do laser He-Ne induziu um aumento na proliferação destas células após três dias, mas não alterou a migração.

Meirelles<sup>55</sup> comparando o efeito dos lasers de 660 nm e 780 nm em queimaduras de ratos obtiveram maior pavimentação epitelial em todos os grupos irradiados, afirmando ser o laser um recurso eficaz para estimular o reparo das queimaduras. Schlager et al.<sup>56</sup>, apesar de não confirmarem a efetividade do laser terapêutico em acelerar o reparo de queimaduras, ressaltam que, macroscopicamente, a epitelização do grupo irradiado demonstrou leve aceleração da epitelização comparado ao grupo controle.

Para a eficiência da fibroplasia é necessário ocorrer a formação paralela dos vasos<sup>15</sup>. Em seus trabalhos pioneiros com feridas de diversas etiologias em humanos, Mester et al.<sup>25</sup> demonstraram que o desenvolvimento dos vasos sanguíneos foi significativamente influenciado pelo laser de baixa potência. Recente estudo de Schindl et al.<sup>40</sup> revelou aumento da proliferação de células endoteliais de veia umbilical humana após irradiação com laser diodo de 670 nm a 2 e 8 j/cm<sup>2</sup>. Paim et al.<sup>49</sup> e Bossini<sup>24</sup>, baseados no princípio da radiação laser possuir a capacidade de promover a angiogênese e aumento do fluxo sanguíneo, investigaram este recurso na viabilidade de retalhos cutâneos. Seus achados demonstraram que a terapia realmente aumentou o número de vasos e a integração dos retalhos cutâneos foi favorecida.

Há indicações que o laser estimule a transformação precoce de fibroblastos em miofibroblastos<sup>8,27</sup>, o que é de grande valor

para o paciente queimado, uma vez que no processo cicatricial a contração, devido à extensa perda tecidual, torna-se prolongada<sup>18</sup>.

Araújo et al.<sup>35</sup>, utilizando feridas cirúrgicas no dorso de ratos, analisaram o padrão histológico das feridas ao 8º, 15º e 20º dias. Observou-se que o número de miofibroblastos aumentou gradativamente no grupo controle ao longo do período analisado, enquanto na derme irradiada a população de miofibroblastos foi significativamente maior no início e muito inferior no 22º dia. Os autores consideraram que as feridas irradiadas fecharam mais rapidamente devido ao aumento da contração promovida pelos miofibroblastos no estágio precoce da cicatrização.

Alguns estudos lançaram mão da mensuração da área cruenta para avaliar a magnitude do processo de contração<sup>36,41,56,57</sup>. Hopkins et al.<sup>41</sup> avaliaram as alterações na área de feridas experimentais de humanos tratadas a laser diodo 820 nm a 8 j/cm<sup>2</sup>. Verificaram, já no 6º dia, que as feridas irradiadas demonstraram redução da área 153% maior que o grupo não-irradiado.

Segundo Lomely Mejía<sup>36</sup>, foi possível reduzir em 40% o tempo de resolução das feridas submetidas a terapia laser. Em contraste, Schlager et al.<sup>56,57</sup>, usando laser diodo 635, 690 e 670 nm, não encontraram diferenças significativas mensuráveis ou visíveis quanto ao fechamento de queimaduras.

### **A fase de remodelação da cicatriz e os efeitos da aplicação do laser terapêutico**

Segundo alguns experimentos analisados, a aplicação precoce do laser terapêutico sobre as feridas mostrou-se capaz não só de acelerar o fechamento das mesmas, provocando efeitos na fase inflamatória e proliferativa, mas de estimular um processo cicatricial mais harmônico e organizado, produzindo efeitos posteriores sobre o aspecto estético da cicatriz<sup>48,5-60</sup>.

Tatarunas et al.<sup>48</sup> compararam as alterações histológicas em lesões cutâneas cirúrgicas em dois grupos de gatas após tratamento com laser AsGa a 2 e 4 j/cm<sup>2</sup> e em um grupo controle. As fibras colágenas mostravam maior tendência à organização, orientadas paralelamente à epiderme em comparação ao controle. As cicatrizes das gatas irradiadas apresentaram maior resistência tênsil. É aceito que a maior organização das fibras de colágeno aumenta a força tênsil da cicatriz.

Visando estudar a influência do laser de baixa intensidade sobre fibras colágenas e elásticas, Pugliese et al.<sup>58</sup> procederam à análise das secções teciduais por meio dos corantes sírius vermelho, que reage especificamente com o colágeno, e orceína, para fibras elásticas. Foi revelado, durante processo cicatricial dos grupos tratados, um padrão de organização mais evidente, com fibras mais unidas e, por isso, coradas de modo mais intenso e não esparsamente distribuídas como no grupo não tratado. O laser também contribuiu para uma discreta expressão das fibras elásticas na fase inicial.

Para uma melhor análise da participação das fibras colágenas na cicatrização, alguns trabalhos utilizaram tendões como modelo experimental<sup>59,60</sup>. Arruda et al.<sup>59</sup>, utilizando laser AlGaInP no tratamento de lesões tendíneas de ratas, relatam a eficácia do laser em promover melhor grau de organização das fibras colágenas ao longo do eixo longitudinal. Elwakil<sup>60</sup> analisou histologicamente e biomecanicamente tendões de Aquiles seccionados e, em seguida, suturados, submetidos a fotobiomodulação por laser HeNe. Os tendões fotoestimulados mostraram alterações fibroproliferativas bem organizadas, com faixas de colágeno adequadamente alinhadas e melhores resultados biomecânicos quanto a força, deformação a carga e alongamento, enquanto nos tendões controle as bandas de colágeno mostravam-se mal alinhadas e em formas bizarras.

### **DOSAGEM E PARÂMETROS DE IRRADIAÇÃO**

A interação do laser com o tecido vivo depende do comprimento de onda, do nível de energia depositado, frequência de tratamento e estado do tecido irradiado<sup>24</sup>.

Os pesquisadores da área acreditam que as células do processo cicatricial respondem a lasers que atuam na faixa espectral vermelho, principalmente no estímulo angiogênico. Araújo et al.<sup>35</sup>, Lange et al.<sup>47</sup>, Corrêa et al.<sup>61</sup>, Carvalho et al.<sup>7</sup>, Mello et al.<sup>39</sup> e Bossini<sup>24</sup> confirmaram esta hipótese em seus experimentos. Em contrapartida, Bayat et al.<sup>42</sup> (2005) e Schlager et al.<sup>56,57</sup>, ao utilizarem lasers terapêuticos para bioestimular a cicatrização de queimaduras em ratos, não observaram alterações significativas no comportamento das células envolvidas no processo cicatricial e na velocidade de fechamento das lesões.

Paim et al.<sup>49</sup>, Marcon & André<sup>38</sup> e Rocha Júnior et al.<sup>37</sup> relataram efeitos positivos da aplicação de luz infravermelha em feridas, como diminuição do infiltrado inflamatório, aumento da vascularização e proliferação fibroblástica. Segundo Arruda et al.<sup>59</sup>, a radiação visível tem uma via mitocondrial e a invisível tem uma ação sobre cromóforos da membrana, o que os levaram a pesquisar a possibilidade de utilizar ambas as vias de estimulação e obter melhores efeitos. Utilizando lasers de 670 nm e 904 nm de modo individual e associado confirmou suas hipóteses observando uma organização das fibras colágenas significativamente melhor nos tendões irradiados com os dois comprimentos de onda.

Segundo Karu<sup>29</sup>, o citocromo c oxidase é o fotorreceptor chave que responde à estimulação de luz no espectro vermelho e infravermelho próximo. Silveira et al.<sup>32</sup> discordam de tal afirmação e demonstraram, utilizando laser AsGa 904nm em lesões cutâneas, que atividade do citocromo c oxidase responde de maneira similar à luz infravermelha.

Apesar dos relatos sobre a especificidade de absorção das biomoléculas, verifica-se uma ampla janela biológica de absorção de luz nos tecidos diante da aplicação das luzes terapêuticas, permitindo a ação biomoduladora em várias faixas do espectro com magnitudes

diferentes. Como exemplo, as células sanguíneas possuem uma ampla absorção da luz, determinando picos em algumas faixas de comprimentos de ondas, o que garante uma extensão da fotomodulação na janela biológica<sup>26</sup>.

Dentro de um comprimento de onda específico os efeitos são dose-dependentes. Alguns autores acreditam que exista uma janela terapêutica para fotoestimulação efetiva acima de um valor limiar, porém abaixo de um valor que ocasione uma fotoinibição. Esse conceito é descrito como lei Arnoldt-Schultz, que prediz a existência de um efeito dose-dependente representado por uma curva fluência *versus* resposta biológica<sup>22,23</sup>.

A fluência recomendada para promover a reparação tecidual está entre 1 e 5 j/cm<sup>2</sup> e doses acima provocariam efeitos inibitórios ou não satisfatórios<sup>22</sup>. A maioria dos artigos analisados seguiu este protocolo<sup>7,31,35,37,42,47,48,56,57,61</sup>. Pugliese et al.<sup>58</sup> observaram a influência do laser AsGaAl na biomodulação de fibras elásticas e colágenas comparando a utilização da fluências de 4 e 8 j/cm<sup>2</sup> e um grupo controle, os efeitos de 4 j/cm<sup>2</sup> sobre a deposição e organização das fibras foi superior ao de 8j/cm<sup>2</sup>. Tatarunas et al.<sup>48</sup>, comparando as dosagens de 2 e 4 j/cm<sup>2</sup> na cicatrização de feridas cirúrgicas de gatas, obtiveram resultados mais vantajosos com 2 j/cm<sup>2</sup>.

Contrariando os achados que apontavam para uma provável janela terapêutica do laser com fluência abaixo de 5j/cm<sup>2</sup>, Hopkins et al.<sup>41</sup> avaliaram alterações em feridas de espessura parcial de

humanos com laser de 820 nm utilizando 8 j/cm<sup>2</sup>. Ao realizarem duas abrasões de pele no mesmo membro, houve sucesso da ferida estimulada e também daquela não irradiada. Isto fez os autores acreditarem no efeito sistêmico do laser.

Mester et al.<sup>25</sup>, em seus estudos pioneiros, já relatam que não há necessidade de se irradiar toda a superfície da úlcera, pois a radiação promove efeitos em lugares distantes, por meio da liberação de fatores de crescimento criados no local irradiado que caem na circulação. Esta modalidade pode ser de grande benefício no tratamento de lesões grandes ou de múltiplas localizações como no grande queimado.

Quanto à frequência do tratamento ideal, não se há determinação na literatura, de modo que existem relatos de experimentos com aplicação diária até aplicações alternadas e únicas<sup>38,54</sup>.

Mester et al.<sup>25</sup>, ao utilizarem laser rubi para estimular crescimento de pêlo de camundongos brancos, relatam que mesmo as pequenas doses cumulativas, aplicadas de maneira repetitiva induzem a inibição. A dosagem 1 j/cm<sup>2</sup>, quando utilizada por 3 a 5 semanas, levou ao crescimento dos pêlos, mas após a décima primeira semana inibiu o crescimento dos mesmos.

Confirmando os efeitos de doses altas x doses baixas, Hawkins & Abrahamse<sup>53</sup> demonstraram que cultura de fibroblastos humanos expostas a doses cumulativas de 2,5 ou 5 j/cm<sup>2</sup> durante três dias

**QUADRO I**  
**Efeitos do laser sobre as Queimaduras\***

Autor	Sinais avaliados	Protocolo de aplicação	Profundidade da lesão	Resultados
Mester (1985)	Epitelização	Laser 694,3nm, 4J/cm <sup>2</sup> , varredura, 2x/sem.	Não informado	40 dos 53 casos tratados obtiveram sucesso
Schlager et al. (2000)	Edema, vermelhidão e diâmetro da ferida	Diodo 670nm, 2J/cm <sup>2</sup> , diariamente por 30 dias	Não informado	Epitelização acelerada, mas não estatisticamente significativa
Schlager et al. (2000)	Edema, vermelhidão e diâmetro da ferida	690nm e 635nm, 1,5 J/cm <sup>2</sup> diariamente por 30 dias	Não informado	Resultados estatisticamente não significantes
Lange et al. (2003)	Análise histológica	670nm, 4J/cm <sup>2</sup> , varredura, 5x/sem durante 3 sem.	Terceiro grau	Aumento de fibras colágenas e vasos sanguíneos e completa epitelização
Meireles (2005)	Análise Histológica	660nm e 780nm, 5J/cm <sup>2</sup> , pontual, diário por 21 dias	Terceiro grau	Maior deposição de fibras colágenas; maior repavimentação e número de vasos
Bayat et al (2005)	Presença de bactérias e espessura da epiderme	632,8nm; 1,2 e 2,4J/cm <sup>2</sup> , varredura, diário por 30 dias	Segundo grau	Menor incidência de bactérias, maior espessura da epiderme, mas sem aceleração do processo
Bayat et al. (2006)	Presença de bactérias e nº de vasos	632,8nm; 1,2 e 2,4J/cm <sup>2</sup> , varredura, diário por 30 dias	Terceiro grau	Destruição de bactérias, maior nº de vasos
Mello et al. (2007)	Análise histológica e epitelização; Comparação entre método varredura e pontual.	632,6nm; 4J/cm <sup>2</sup> , diário por 21 dias	Não informado	Melhores resultados pelo método varredura; epitelização completa no 14º dia

\*Resumo dos estudos que pesquisaram os efeitos do laser terapêutico sobre queimaduras.

determinou aumento da proliferação e migração, e as culturas expostas por três dias à fluência de  $16 \text{ j/cm}^2$  foram inibidas.

A magnitude da fotobioestimulação também depende do estado fisiológico da célula e momento da aplicação. Karu<sup>29</sup> observou que células com pH menor que o normal, onde o estado redox tende para uma direção reduzida, são consideradas mais sensíveis à ação estimulante da luz do que aquelas com parâmetros ótimos ou próximo do normal. Todos os artigos analisados iniciaram a laserterapia imediatamente após a lesão ou com até 48 horas.

## ESTUDOS SOBRE A LASERTERAPIA NA CICATRIZAÇÃO DE QUEIMADURAS

Dentre os 26 artigos experimentais analisados, 8 avaliaram os efeitos do laser sobre a cicatrização de queimaduras (Quadro 1).

Lange et al.<sup>47</sup>, em seu experimento, testaram os efeitos do laser AlGaInP a  $4 \text{ j/cm}^2$  no modo varredura, em queimaduras de terceiro grau, observando na análise histológica, sete dias após a lesão, a presença de fibrina hemática neutrófica, linfócitos, neutrófilos e fibroblastos jovens, enquanto no grupo não tratado apresentava fibrina hemática neutrófica em maior quantidade, secreção purulenta, menor número de capilares e fibroblastos.

Mello et al.<sup>39</sup> (2007) confirmam os efeitos positivos da irradiação com o laser terapêutico, observando que as queimaduras do seu grupo experimental tratadas pelo método varredura estavam cicatrizadas ao 14º dia, enquanto que as do grupo experimental tratadas pelo método pontual e as do grupo controle não estavam cicatrizadas.

Meirelles<sup>55</sup> comparou, por meio da microscopia de luz, o efeito dos comprimentos de onda 660 nm e 780 nm no reparo de queimaduras de terceiro grau, em ratos diabéticos e não diabéticos. Os resultados mostraram maior deposição de fibras colágenas, tecido de granulação, maior repavimentação epitelial e maior número de vasos em todos os grupos irradiados, principalmente quando utilizou 780 nm nos não diabéticos e 660 nm diabéticos.

Por causa dos resultados animadores obtidos em seus estudos piloto, em 1971, Mester et al.<sup>25</sup> começaram a utilizar o laser no tratamento de vários tipos de feridas em humanos. Os estudos foram iniciados com laser ruby e, mais tarde, HeNe e Argônio a  $4 \text{ j/cm}^2$ , 2 vezes por semana. Dos 53 casos de queimaduras tratados, 40 obtiveram sucesso.

Bayat et al.<sup>52</sup> utilizaram laser HeNe com densidade energética de 1,2 e  $2,4 \text{ j/cm}^2$  no tratamento de queimaduras de ratos, comparado a grupos exclusivamente tratados com bactericida tópico e não tratados. Observou que as queimaduras de terceiro grau tratadas a  $2,4 \text{ j/cm}^2$  não apresentaram *S. aureus* e *P. aeruginosa*, e histologicamente mostraram um maior número de vasos em ambos os grupos irradiados.

Em estudo anterior, Bayat et al.<sup>42</sup> utilizaram em queimaduras de segundo grau, os mesmos parâmetros de aplicação e critérios de investigação. Os resultados foram semelhantes quanto ao efeito bactericida e contagem de vasos, mas concluíram que o laser não acelerou a cicatrização de queimaduras, pois todos os grupos cicatrizaram no mesmo intervalo de tempo.

Schlager et al.<sup>57</sup> usaram laser 670 nm, 250 mW a  $2 \text{ j/cm}^2$  e em outro estudo, esse mesmo grupo<sup>56</sup> empregou dois diferentes lasers com 635nm e 690nm, e densidade de energia de  $2 \text{ j/cm}^2$  em ambos os casos, 30 e 12mW de potência, respectivamente. Em ambos estudos, duas queimaduras foram infligidas em cada rato e apenas uma foi irradiada e sua evolução cicatricial analisada macroscopicamente por meio de edema, vermelhidão e epitelização. Segundo o autor, não foram observadas diferenças visíveis ou mensuráveis entre os grupos.

A diversidade entre os resultados pode estar ligada à falta de padronização dos parâmetros e da frequência de tratamento. Além disso, a profundidade da queimadura é de grande importância clínica, pois determina a conduta e o sucesso da cicatrização<sup>11</sup>. Schlager et al.<sup>56,57</sup>, Mello et al.<sup>39</sup>, Mester et al.<sup>25</sup> não informaram a profundidade das queimaduras. Lange et al.<sup>47</sup>, Bayat et al.<sup>52</sup> e Meirelles<sup>55</sup> informaram que produziram queimaduras de terceiro grau em seus animais.

Sabe-se que queimaduras de terceiro grau dificilmente cicatrizam sem enxertos e queimaduras de segundo grau profundo têm aparência muito semelhante às de terceiro grau<sup>62</sup>. Segundo Linde<sup>4</sup>, mesmo cirurgiões experientes se confundem ao classificar as queimaduras no primeiro momento.

Apenas Bayat et al.<sup>42</sup> utilizaram queimaduras de segundo grau em seu experimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos achados descritos, observa-se que o laser terapêutico é capaz de promover um processo cicatricial mais rápido e de melhor qualidade. A maioria dos estudos revela que a laserterapia acelerou a proliferação de células, aumentou a vascularização e melhorou a organização do colágeno. Entretanto, poucos exploraram os efeitos do laser na cicatrização de queimaduras e mostraram achados divergentes.

Foi verificada uma diversidade de parâmetros de aplicação, além de alguns autores não informarem a profundidade da queimadura. Talvez a falta de padronização dos protocolos e da identificação da profundidade das lesões seja o motivo de resultados contraditórios.

É importante intervir precocemente no processo cicatricial do paciente queimado, a fim de evitar complicações inerentes de uma hospitalização prolongada, diminuir o comprometimento estético e funcional. Diante dessa necessidade, das vantagens atribuídas ao laser e da carência de experimentos com queimaduras, sugere-se

que mais estudos busquem os efeitos do laser terapêutico sobre a pele queimada, por meio de protocolos mais padronizados, com critérios de avaliação e inclusão rigorosos e utilizem modelos humanos ou animais com tegumento semelhante.

## REFERÊNCIAS

- Gomes DR, Serra MC, Macieira L. Queimaduras no Brasil. In: Condutas atuais em queimaduras. Rio de Janeiro:Revinter;2001. p.1-3.
- Brasil. Ministério da Saúde. Seminário discute uso do álcool gel para prevenir queimaduras. Disponível em: [http://www.portal.saude.gov.br/portal/aplicações/noticias/noticias\\_detalhe.cfm?co\\_seq\\_noticia=7032](http://www.portal.saude.gov.br/portal/aplicações/noticias/noticias_detalhe.cfm?co_seq_noticia=7032) Acesso em 6 de maio de 2008.
- Pires RAJ. Análise de 781 crianças com queimaduras internadas no Hospital Infantil Joana Gusmão - Florianópolis-SC [Monografia]. Florianópolis:Curso de Graduação em Medicina, UFSC;2003. 41p.
- Linde LG. Reabilitação de crianças com queimaduras. In: Tecklin JP, ed. Fisioterapia pediátrica. 3ª ed. Porto Alegre:Artmed;2002. p.384-422.
- Ferreira SR. O grande queimado: uma abordagem fisioterapêutica [Monografia]. Goiânia: Graduação em Fisioterapia, Universidade Católica de Goiás;2003. 162p.
- Crisóstomo MR, Serra MC, Gomes DR. Epidemiologia das queimaduras. In: Maciel E, Serra MC, eds. Tratado de queimaduras. 1ª ed. São Paulo: Atheneu;2004. p.31-5.
- Carvalho PTC, Siqueira JFR, Ferreira JVL, Silva IS. Análise de fibras colágenas através da morfometria computadorizada em feridas cutâneas de ratos submetidos a irradiação do laser HeNe. Fisioter Bras. 2003;4(4):253-8.
- Hawkins D, Hourelid N, Abrahamse H. Low level laser therapy (LLLT) as an effective therapeutic modality for delayed wound healing. Ann N Y Acad Sci. 2005;1056:486-93.
- Guirro E, Guirro R. Queimaduras. In: Fisioterapia dermatofuncional: fundamentos, recurso e patologias. São Paulo:Manole;2004. p.491-7.
- Silveira JMS, Gomes DR, Serra MC. Atendimento pré-hospitalar. In: Maciel E, Serra MC, eds. Tratado de queimaduras. 1ª ed. São Paulo:Atheneu;2004. p.51-63.
- Johson RM, Richard R. Partial-thickness burn: identification and management. Adv Skin Wound Care. 2003;16(4):178-87.
- Watts AM, Tyler MP, Perry ME, Roberts AH, McGrouther DA. Burn depth and its histological measurement. Burns. 2001;27(2):154-60.
- Barbosa E, Moreira EAM, Faintuch J, Pereima MJ. Suplementação de antioxidantes: enfoque em queimados. Rev Nutr. 2007;20(6):693-702.
- Gomes DR. Fisiologia e fisiopatologia. In: Gomes DR, Serra MC, Pellon MA. Tratamento de queimaduras: um guia prático. Rio de Janeiro:Revinter;1998. p. 8-17.
- Balbino CA, Pereira LM, Curi R. Mecanismos envolvidos na cicatrização: uma revisão. Rev Bras Cienc Farm. 2005;41(1):27-51.
- Mandelbaum SH, DiSantis EP, Mandelbaum MHS. Cicatrização: conceitos atuais e recursos auxiliares-Parte I. An Bras Dermatol. 2003;78(4):393-410.
- Coelho COM, Rezende CMF, Tenório APM. Contração de feridas após cobertura com substitutos temporários de pele. Ciência Rural. 1999;29(2):297-303.
- Piccolo MTS, Piccolo NS, Piccolo MS. O processo de cicatrização. In: Serra MC, Maciel E, eds. Tratado de queimaduras. Rio de Janeiro:Atheneu;2004. p.583-94.
- Hess CT. Tratamento de feridas e úlceras. 4ª ed. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso;2002.
- Robbins SL, Cotran RS, Kumar V, Abbas AK, Fausto N. Tecido de renovação e reparação: regeneração, cicatrização e fibrose. In: Robbins e Cotran. Patologia: bases patológicas das doenças. 7ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier;2005. p.91-124.
- Guirro ECO, Guirro RRJ. Cicatriz hipertrófica e quelóide. In: Fisioterapia dermatofuncional: fundamentos, recursos, patologias. 3ª ed. Barueri:Manole;2002. p.413-24.
- Baxter D. Laserterapia de baixa intensidade. In: Kitchen S, ed. Eletroterapia: prática baseada em evidências. 11ª ed. Barueri: Manole;2003. p.171-88.
- Low J, Reed A. Laserterapia. In: Eletroterapia explicada: princípios e prática. São Paulo:Manole;2001. p.389-409.
- Bossini PS. Laser de baixa intensidade (670nm) na viabilidade do retalho cutâneo randômico em ratos [Dissertação de Mestrado]. São Carlos:Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia (Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Instituto de Química de São Carlos), Universidade de São Paulo;2007. 132p.
- Mester E, Mester A, Mester A. The biomedical effects of laser application. Lasers Surg Med. 1985;5(1):31-9.
- Corazza AV. Fotobiomodulação comparativa entre Laser e LED de baixa intensidade na angiogênese de feridas cutâneas em ratos [Dissertação de Mestrado]. São Carlos: Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia (Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Instituto de Química de São Carlos), Universidade de São Paulo;2005. 89p.
- Posten W, Wronne DA, Dover JS, Arndt KA, Silapunt S, Alam M. Low level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy. Dermatol Surg. 2005;31(3):334-40.
- Guirro ECO, Guirro RRJ. Laser. In: Fisioterapia Dermatofuncional: fundamentos, recursos, patologias. 3ª ed. Barueri:Manole;2002. p.209-22.
- Karu T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. J Photochem Photobiol B. 1999;49(1):1-17.
- Campos S. Laserterapia HeNe. [S.L.]2004. 9p. Disponível em <<http://www.drshirleycampos.com.br/noticias/11509>> Acesso em: 7 de maio 2008.
- Hu WP, Wang JJ, Yu CL, Lan CC, Chen GS, Yu HS. Helium-neon laser irradiation stimulates cell proliferation through photostimulatory effects in mitochondria. J Invest Dermatol. 2007;127(8):2048-57.
- Silveira PC, Streck EL, Pinho RA. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in wound healing by low level laser therapy. J Photochem Photobiol B. 2007;86(3):279-82.
- Campbell MK. Fosforilação oxidativa. In: Bioquímica. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed;2003. p 520-43.
- Parizotto NA. Ação do laser de Hélio-Neônio sobre o processo de reparo tecidual: um estudo do colágeno por microscopia eletrônica de varredura, microscopia eletrônica de força atômica e espectroscopia por infravermelho [Tese de Doutorado]. Campinas:Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP;1998. 196p.
- Araújo CEN, Ribeiro MS, Favaro R, Zzell DM, Zorn TMT. Ultrastructural and autoradiographical analysis show a faster skin repair in He-Ne laser-treated wounds. J Photochem Photobiol B. 2007;86:87-96.
- Lomely Mejía PA, Lecona Butrón H, Montiel Hernandez AM, Rosillo Ruiz A, García Lopez ES. Reducción del tiempo de cicatrización por medio de laser de helio-neón. Modelo experimental en conejos. Rev Mex Ortop Traum. 1999;13(5):455-8.
- Rocha Junior AM, Oliveira RG, Farias RE, Andrade LCR, Aarestrup FM. Modulação da proliferação fibroblástica e da resposta inflamatória pela terapia a laser de baixa intensidade no processo de reparo tecidual. An Bras Dermatol. 2006;81(2):150-6.
- Marcon K, André ES. Efeitos do laser GaAlInP no processo de cicatrização de feridas induzidas em ratos. Rev Fisioter FURB. 2005;1(1):1-7.
- Mello PB, Sampedro RMF, Piccinini AM. Efeitos do laser HeNe e do modo de aplicação no processo de cicatrização de queimaduras em ratos. Fisioter Pesqui. 2007;14(2):6-13.
- Schindl A, Merwald H, Schindl L, Kaun C, Wojta J. Direct stimulatory effect of low intensity 670nm laser irradiation on human endothelial cell proliferation. Br J Dermatol. 2003;148(2):334-6.

41. Hopkins JT, McLoda TA, Seegmiller JG, Baxter GD. Low level laser therapy facilitate superficial wound healing in humans: a triple- blind, sham-controlled study. *J Athl Train.* 2004;39(3):223-9.
42. Bayat M, Vashighani MM, Razavi N, Taheri S, Rakhshan M. Effect of low level laser therapy on the healing of second- degree burns in rats: a histological and microbiological study. *J Photochem Photobiol B.* 2005;78(2):171-7.
43. Vorauer-Uhl K, Fürnschliel E, Wagner A, Ferko B, Katinger H. Reepithelialization of experimental scalds effected by topically applied superoxide dismutase: controlled animal studies. *Wound Repair Regen.* 2002;10(6):366-71.
44. Baum CL, Arpey CJ. Normal cutaneous wound healing: clinical correlation with cellular and molecular events. *Dermatol Surg.* 2005;31(6):674-86.
45. Sobral MC. Efeitos do silicone gel no tratamento da cicatriz hipertrófica e do quelóide pós-queimadura: uma revisão bibliográfica [Monografia de Graduação em Fisioterapia]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco;2008. 27p.
46. Jaskille AD, Jeng JC, Sokolich JC, Lunsford P, Jordan MH. Repetitive ischemia-reperfusion injury: a plausible mechanism for documented clinical burn- depth progression after thermal injury. *J Burn Care Res.* 2007;28(1):13-20.
47. Lange F, Kroth A, Steffani JA, Lorencetti N. Influência da laserterapia no processo cicatricial de queimaduras de terceiro grau. *Fisioter Bras.* 2003;4(5):335-40.
48. Tatarunas AC, Matera JM, Dagli MLZ. Estudo clínico e anatomopatológico da cicatrização cutânea no gato doméstico. Utilização do laser de baixa potência GaAs (904nm). *Acta Cir Bras.* 1998;13(2):86-93.
49. Paim CBV, Raiser AG, Cardoso E, Beck C. Enxerto autólogo de pele, em malha, com espessura completa, na reparação de feridas carpopetacarpianas de cães. Resposta à irradiação laser. *Ciência Rural.* 2002;32(3):451-7.
50. Macedo JLS, Rosa SC, Macedo KCS, Castro C. Fatores de risco da sepse em pacientes queimados. *Rev Col Bras Cir.* 2005;32(4):173-7.
51. Desimone NA, Christiansen C, Dore D. Bactericidal effect of 0.95-mW helium-neon and 5-mW indium-gallium-aluminum-phosphate laser irradiation at exposure times of 30, 60, and 120 seconds on photosensitized *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* in vitro. *Phys Ther.* 1999;79(9):839-46.
52. Bayat M, Vashighani MM, Razavi N. Effect of low level helium-neon laser therapy on the healing of third-degree burns in rats. *J Photochem Photobiol B.* 2006;83(2):87-93.
53. Hawkins D, Abrahamse H. Effect of multiple exposures of low level laser therapy on the cellular responses of wounded human skin fibroblasts. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(6):705-14.
54. Gonçalves G, Parizotto NA. Fisiopatologia da reparação cutânea: atuação da Fisioterapia. *Rev Bras Fisioter.* 1998;3(1):5-13.
55. Meirelles GCS. Análise comparativa do efeito dos lasers GaAlAs de  $\lambda = 660\text{nm}$  +  $780\text{nm}$  na cicatrização de úlceras por queimaduras em dorso de ratos diabéticos e não –diabéticos: estudo histológico [Tese de Doutorado]. Salvador:Faculdade de Odontologia, UFBA; 2005. 120p.
56. Schlager A, Oehler K, Huebner KU, Schmuth M, Spoetl L. Healing of burns after treatment with 670 nanometer low power laser light. *Plast Reconstr Surg.* 2000;105(5):1635-9.
57. Schlager A, Kronberger P, Petschke F, Ulmer H. Low power laser light in the healing of burns: a comparison between two different wavelengths (635nm and 690nm) and placebo group. *Lasers Surg Med.* 2000;27(1):39-42.
58. Pugliese LS, Medrado AP, Reis SRA, Andrade ZA. The influence of low level laser therapy on biomodulation of collagen and elastic fibers. *Pesqui Odontol Bras.* 2003;17(4):307-13.
59. Arruda ERB, Rodrigues NC, Taeiro C, Parizotto NA. Influência de diferentes comprimentos de onda da laserterapia de baixa intensidade na regeneração tendínea do rato após tenectomia. *Rev Bras Fisioter.* 2007;11(4):283-8.
60. Elwakil TF. An in-vivo experimental evaluation of He-Ne laser photostimulation in healing Achilles tendons. *Lasers Med Sci.* 2007;22(1):53-9.
61. Corrêa FI, Prado FS, Miranda CM, Souza ARG, Corrêa JCF. O uso do He-Ne (632,8nm) no fechamento de feridas. *Fisioter Bras.* 2003;4(2):144-7.
62. Serra MC, Gomes DR, Crisóstomo MR. Cálculo da área queimada e indicadores para internação hospitalar. In: Maciel E, Serra MC, eds. *Tratado de Queimaduras.* 1ª ed. São Paulo:Atheneu;2004. p.43-9.

Trabalho realizado no Centro de Terapia de Queimados – Hospital da Restauração, Recife, PE.