

Revisão

A primeira parte deste artigo foi publicada em: Fisioterapia Brasil, volume 2 número 4 julho/agosto 2001, "Laser de baixa intensidade: princípios e generalidades - Parte 1"

Laser de baixa intensidade: efeitos sobre os tecidos biológicos - parte 2

Low intensity laser therapy: effect on the biological tissues - part 2

Maria Cristina Sandoval Ortiz*, Patricia Michelassi Carrinho**, Alexandre A. Stuart dos Santos***, Raquel Calvo Gonçalves***, Nivaldo Antonio Parizotto****

.....

Mestranda em Fisioterapia Universidade Federal de São Carlos, **Fisioterapeuta - Estagiária Laboratório de Eletrotermofototerapia, Universidade Federal de São Carlos, *Fisioterapeuta UFSCar, ****Professor Doutor Adjunto do Departamento de Fisioterapia da UFSCar e do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia UFSCar.*

Resumo

O objetivo desta revisão é complementar os dados revisados na parte 1 onde foram discutidos princípios e generalidades, disponibilizar ao leitor referencial teórico para conhecer a interação do laser de baixa intensidade com os diferentes tipos de tecidos e analisar as distintas respostas. Este material constitui um acervo atualizado onde se especificam os diversos parâmetros aplicados e a técnica utilizados em cada trabalho, o qual vai servir para que os profissionais interessados nesta área direcionem melhor suas pesquisas e determinem com maior precisão as doses para o tratamento de seus pacientes ao contar com diferentes alternativas.

Palavras-chave: laser de baixa intensidade, bioefeitos, fotoreatividade tecidual.

Abstract

This revision aims to complement the reviewed data of the first part, in which we discussed principles and generalities, to make theoretical referential available to readers, so they would know the LLLT interaction with some kinds of tissues and also to analyze the different responses. This material is an up-dated pile where several applied parameters and the technique used in each work are specified. The work will help professionals interested in this area, so they could be better guided in their research, determining with higher accuracy the dosages for the treatment of their patients, since they have different alternatives.

Key-words: low level laser therapy, bioeffects, tissue photoreactivity.

Endereço para correspondência: Prof. Dr. Nivaldo Antonio Parizotto, Laboratorio de Eletrotermofototerapia, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, km 235, CP 676, 13565-905 São Carlos SP, Tel: (16) 260-8341 ramal 8704, E-mail: parizoto@power.ufscar.br

Introdução

Tendo como embasamento a revisão dos princípios e generalidades do laser de baixa intensidade, é importante conhecer como são traduzidos seus efeitos sobre os diversos tecidos e como é a interação do laser com cada um deles. Estas alternativas apresentadas vão a subsidiar o terapeuta interessado em tratar seus pacientes com os melhores parâmetros possíveis, e igualmente constituem um referencial teórico para a comunidade interessada neste tópico. Também são um ponto de partida para continuar com a pesquisa e finalmente determinar os parâmetros mais adequados para o tratamento das diversas doenças apresentadas nos diferentes tecidos.

Esta segunda parte consta de três seções principais, onde se revisam os distintos trabalhos *in vivo*, *in vitro* e clínicos do laser de baixa intensidade feitos em relação à cicatrização, tecido musculo-esquelético e tecido nervoso. O tecido músculo-esquelético devido a ser tão abrangente foi a sua vez subdividido em osso, cartilagem, músculo, tendão e tecidos moles periarticulares. Também o tecido nervoso foi subdividido em dor por estar diretamente relacionado e tecido nervoso propriamente dito. Portanto, o objetivo deste artigo é prover ao leitor material de caráter científico para discutir as questões mais importantes acerca da interação do laser de baixa intensidade com diferentes tipos de tecidos biológicos.

Laserterapia de baixa intensidade nos processos cicatriciais

A laserterapia de baixa intensidade tem tido amplo uso nas condições de processos cicatriciais, visando obter cicatrização mais rápida de feridas, bem como em melhores condições. Seu êxito deve-se às particularidades de respostas que induz nos tecidos, como redução de edema, diminuição do processo inflamatório, aumento da fagocitose, da síntese de colágeno e da epitelização [1,2].

Inúmeros estudos têm sido realizados em diversas células que fazem parte do processo cicatricial, em uma tentativa de elucidar os mecanismos biológicos pelas quais a irradiação

de laser de baixa intensidade pode estimular o processo regenerativo. A maioria dos efeitos registrados diz respeito à proliferação de células, principalmente de fibroblastos. Há estudos [3,4] usando fibroblastos embrionários nos quais foram observados um aumento na multiplicação celular seguida da irradiação com o recurso do tipo HeNe. Bosatra *et al.* [5] estudaram o efeito do laser HeNe na dose de 2 J/cm² sobre culturas de fibroblastos humanos irradiadas diariamente por 20 dias, seus resultados estiveram de acordo com os estudos citados anteriormente [3,4].

Loevschall e Bindslev [6] aplicaram laser GaAlAs (912 nm) nas doses crescentes de 4,5; 13,5; 45; 144; 450; 1422; 4500 mJ/cm² em exposição única sobre culturas de fibroblastos de mucosa oral de humanos, observaram um incremento na proliferação de fibroblastos principalmente na amostra submetida à dose de 4,5 mJ/cm², concluindo que a radiação laser HeNe é capaz de induzir aumento no número de células dependendo da dose e do tempo de radiação utilizados. Outro estudo realizado em 1998 [7] analisou o efeito do laser de 660 nm de comprimento de onda, nas doses de 2 e 4 J/cm² nas culturas de tecido de cicatrizes hipertróficas e normais de humanos do sexo feminino, e atestou que em ambos os grupos houve aumento do número de células, nas duas doses testadas, em relação ao grupo controle.

Hallman *et al.* [8] atestaram em seu estudo, em oposição aos resultados obtidos, que o laser HeNe na dose de 24,7 mW/cm² em exposição durante 5 dias consecutivos por 60 segundos, em culturas de fibroblastos de pele humana, não se mostra efetivo na proliferação de células.

Porém, a proliferação não é o único meio pelo qual a laserterapia pode acelerar o processo cicatricial [2]. A radiação pela modalidade de HeNe estimula a produção de colágeno pelos fibroblastos [9,4] podendo aumentar essa síntese em até quatro vezes o normal.

Quanto ao poder de penetração do laser de baixa intensidade, um estudo [10] comprova que o do tipo HeNe, de comprimento de onda 632,8 nm, penetra em todos os tipos de pele, utilizou-se neste trabalho exemplares de derme

humana de até dezenove milímetros. Além disso, mostrou-se que tecidos granulares possuem propriedades óticas diferentes, sendo que a penetração de luz neles é 2,5 vezes maior do que no normal, se comparando a espessura por causa da diferença histológica da estrutura.

Alguns estudos *in vitro* em animais buscam elucidar os possíveis efeitos deletérios da radiação laser. Gross e Jelkmann [11] analisaram culturas de epitélio renal de ratos tratados com doses crescentes de radiação laser, 4,7; 11,9; 35,6; 71,7; 142,2 J/cm² em tempos de 2, 5, 15, 30 e 60 segundos, bem como ainda submeteram amostra do tecido a exposição única de 60 segundos na dose de 142,2 J/cm², as aplicações ocorreram durante 5 dias consecutivos, os resultados revelaram decréscimo no número de células em todos os grupos estudados quando o tempo de radiação excedia 5 segundos. Samar *et al.* [12], em 1995, aplicaram laser tipo HeNe por 3 minutos na potência de 5mW na cavidade oral de frangos recém-nascidos, observaram alterações histopatológicas das glândulas salivares destes animais, como edema, vasodilatação, retração de epitélio e hiperemia.

Rochkind *et al.* [13] fizeram diversos experimentos, num deles analisou a ação do laser HeNe (632,8 nm) em dose de 7,65 J/cm² durante 7 minutos diários por 21 dias em ratos submetidos a incisões paramediais ao longo de seu dorso. Metade desses animais permaneceu como grupo controle enquanto outra parte foi dividida em sujeitos que sofreram irradiação nas duas incisões e os que foram irradiados somente em uma delas. Resultados levaram a crer que o laser favoreceu a cicatrização de feridas em todos os grupos comparados ao placebo.

Outro experimento da mesma equipe de Rochkind [13] submeteu 20 ratos a queimaduras nas patas traseiras, consistindo de metade desses animais como controle, e a outra metade dividida em sujeitos que receberam aplicação laser em ambas as patas ou em apenas na direita. O laser utilizado foi HeNe (632,8 nm) na dose de 10 J/cm². Os resultados mostraram que o grupo controle apresentou gangrena e tecido necrótico bilateralmente após 21 dias, diferentemente dos grupos tratados, o laser HeNe na dose especificada foi efetivo.

Por outro lado, Braverman [14] submeteu coelhos, com feridas cirúrgicas em cada lado do dorso, a três tipos diferentes de radiação. Um grupo recebeu laser HeNe (632,8 nm) na dose de 1,65 J/cm², em outro grupo foi aplicado laser infravermelho na dose de 8,25 J/cm², um terceiro número de sujeitos recebeu os dois tipos de laser em doses acumuladas, em todos os animais as feridas irradiadas foram somente as do lado esquerdo, enquanto as outras serviam de controle. Os resultados evidenciaram aumento da tensão de tecido, da área de colágeno, espessura da epiderme e cicatrização da ferida em todos os grupos em relação ao controle, sem diferenças significativas entre os diferentes tipos de aplicação.

As pesquisas em laboratório, portanto, indicam efeitos notáveis da laserterapia sobre a atividade da maioria das células envolvidas no processo cicatricial.

Kana *et al.* [15] estudaram 96 ratos com feridas cirúrgicas, uma de cada lado do dorso, quando da aplicação de laser HeNe (632,8 nm) e Argônio (514 nm) nas doses de 4, 10 e 20 J/cm² durante 17 dias, apenas as úlceras do lado esquerdo foram tratadas, enquanto as do lado direito passaram a ser controle. Todas as feridas, de ambos os grupos, cicatrizaram até o final do período proposto, apresentando processo cicatricial otimizado com laser HeNe na dose de 4 J/cm² e Argônio em 10 J/cm².

Tataruna [16] aplicou laser AsGa nas doses de 2 e 4 J/cm² nas feridas cirúrgicas de gatas domésticas submetidas a ovariectomia de conveniência, em aplicação única no pós-operatório imediato, os resultados mostraram ser o laser nas duas doses testadas efetivo na cicatrização de primeira intenção.

Hunter *et al.* [17] em seu trabalho estudaram 2 suínos domésticos com 30 e 32 feridas cirúrgicas no dorso, parte das feridas foi tratada com laser HeNe na dose 96 J/cm² e a outra parte foi controle. Todas as feridas, de ambos os grupos, cicatrizaram em período de 19 a 29 dias nos dois animais.

Haedersdal [18] submeteu 120 ratos com feridas cirúrgicas a laser vapor de cobre (578 nm) a doses crescentes de 25,5; 31,8; 38,2 J/cm² durante 27 dias, divididos em um grupo ao qual foi administrado antiinflamatório em baixas doses, outro que recebeu doses altas

do mesmo medicamento e um terceiro participou como controle. Os resultados mostraram que o uso combinado de laser com antiinflamatório em altas doses retarda o processo de cicatrização e aumenta a concentração de tecido fibrótico.

Surge como relato da aplicação de tal recurso em humanos um estudo de Mester [19] no qual foram irradiadas mil cento e vinte feridas de difícil cicatrização com laser HeNe, obtendo-se como resultado 875 úlceras totalmente curadas e fechadas em um período de 12 a 16 semanas, cento e 60 com considerável melhora e apenas 85 sem mudanças consideráveis.

Pesquisa em clientes portadores de lesões dérmicas de membro inferior [20] verificaram que o tratamento executado com maior êxito, ou seja, realizado em menor período sem recidivas, e com redução ou ausência de complicações associadas, foi aquele que deu-se com a técnica padrão associada à terapia laser de baixa intensidade, dos atendidos, 70% obteve cura, e 30% apresentou quadro de melhora. O grupo tratado apenas com os procedimentos clínicos resultou em valores de 38% de cura, 48% de melhora e 14% de não recuperação.

Malm e Lunderberg [21] acompanharam 46 indivíduos com úlcera venosa em membro inferior quando da aplicação de laser AsGa na dose de $1,96 \text{ J/cm}^2$ com 10 minutos de exposição 2 vezes por semana, durante 12 semanas. Metade desses sujeitos participou como controle placebo. Os resultados mostram que não houve diferenças significativas no tempo de cicatrização das feridas dos dois grupos, portanto, esse trabalho relata não haver eficácia no tratamento laser AsGa na dose aplicada.

Diferentemente do trabalho acima citado, outro estudo [22] submeteu 12 sujeitos com úlceras venosas crônicas em membro inferior ao tratamento laser de dois tipos, com GaAlAs (780 nm) e AsGa (904 nm) por 20 minutos, 3 vezes por semana durante 12 semanas. Resultados revelam redução do tamanho da úlcera, aumento do tecido epitelial, aumento da rede capilar e redução da dor em ambos grupos tratados. Schindl *et al.* [23] relata estudo de caso de indivíduo do sexo masculino portador de úlcera diabética. Fez-se aplicações de laser no comprimento de onda de 670 nm na dose de 30 J/cm^2 , 3 vezes por semana durante 16 sessões, tendo a

ferida cicatrizado neste determinado período de tempo, sem episódio de recorrência durante os 9 meses seguintes de acompanhamento.

Laserterapia – sistema musculoesquelético

A Laserterapia tem sido utilizada de modo corriqueiro na prática clínica principalmente, em lesões músculo esqueléticas com diversas finalidades tais como alívio da dor, diminuição da inflamação, etc. No entanto, apesar desse grande uso clínico, ainda não há consenso na literatura especializada sobre os reais efeitos da irradiação laser, existindo grandes divergências entre os diversos estudos e seus autores. Isto é refletido em dois metanálises que foram realizadas reunindo diversas doenças musculoesqueléticas.

Assim, uma metanálise feita em 1992 por Beckerman *et al.* [24] a respeito da eficácia da laserterapia nas desordens musculoesqueléticas e de pele, os autores concluíram que a eficácia do laser de baixa intensidade não ficou definida nas desordens de pele, porém nas lesões músculo-esqueléticas os resultados em relação a fidedignidade da laserterapia, pareceu mais eficaz comparado com o tratamento placebo. Foram realizados nesse estudo 36 testes clínicos aleatorizados envolvendo 1.704 pacientes, os resultados desfavoráveis encontrados talvez foram atribuídos à falhas metodológicas como por exemplo: necessidade de descrição do processo de escolha, não cálculo de potência, falhas nas análises dos dados, incoerência na escolha da dose ideal, etc. No entanto, alguns dos melhores testes realizados, sugerem que o laser de baixa intensidade é eficiente, principalmente em desordens como a artrite reumatóide, lesões pós-traumáticas articulares e dor miofascial.

Uma outra metanálise feita por Gam *et al.* [25] em relação ao tratamento laser de baixa intensidade na dor músculo-esquelética, concluiu que a laserterapia não produziu efeitos nas síndromes músculo-esqueléticas. Foram analisados 23 estudos, onde 17 foram testes controles sendo 10 duplo cego e 7 foram insuficientes para compreensão; 557 pacientes foram envolvidos no teste e a dor foi avaliada pela escala analógica visual.

Tecido ósseo

A atuação da laserterapia de baixa intensidade em tecidos ósseos requer ainda de inúmeros estudos, poucos são os relatos de trabalhos realizados neste sentido e a maioria deles tem sido feita em animais.

Trelles e Mayo [26] submeteram 50 ratas com fraturas de tibia com fixação externa, a aplicações diárias de laser He-Ne em doses de 2,4 J/cm² por 30 minutos durante 14 dias, com técnica pontual a 20 cm de distância da região da fratura. Metade dos sujeitos participou como controle placebo, trata-se de estudo duplo-cego. Após 4 semanas os sujeitos foram sacrificados e os resultados mostraram aumento da resistência máxima do tecido e da densidade da tibia em comparação ao grupo controle. Entre os animais tratados todos tiveram suas fraturas consolidadas.

Outro trabalho *in vivo* [27] utilizou laser Hélio Neônio com comprimento de onda de 632 nm, potência de 6,0 mW aplicada por um tempo de 2,3 minutos produzindo uma densidade energética de 31 J.cm² para irradiar fraturas no osso cortical da tibia de 292 ratos. Foi encontrado um duplo aumento da atividade da fosfatase - alcalina, alteração dos osteoblastos e osteoclastos, diminuição significativa da fosfatase - ácida num 40% aos 11 dias pós-cirúrgicos. A análise histomorfométrica revelou acumulação mais rápida de novo osso reparativo na fratura. O volume fração do novo osso compacto reparativo foi maior no grupo irradiado, em tanto que o osso trabecular diminuiu mais rapidamente no grupo tratado.

Luger *et al.* [28] também fez o modelo de fratura de tibia em ratos, mas eles recebiam posterior fixação interna da fratura. Foi utilizado o laser de Hélio - Neônio com 35 mW de potência aplicado por 14 dias consecutivos em 3 pontos com 10 minutos por ponto, produzindo uma irradiação total de 892 J.cm². Os parâmetros avaliados foram biomecânicos concluindo que a máxima carga de falha e a rigidez estrutural da tibia foram aumentadas significativamente no grupo irradiado, entretanto a carga máxima de extensão foi diminuída. A área de calho máxima tendeu à redução comparada com o grupo controle. Além disso, o calho foi mais

ossificado e menos fibrocartilaginoso no grupo irradiado. Continuando com este mesmo modelo de fratura de tibia em ratos, Yaakobi *et al.* [29] também usou um laser de Hélio Neônio com uma potência de 5,3 mW, uma sessão por dia por 2,3 minutos dando um total de 31 J.cm². A diferença dos outros trabalhos, neste o laser foi iniciado 5 - 6 dias pós-lesão. Os resultados foram alteração da atividade osteoblástica nos 5 e 6 dias pós-lesão e aumento do acúmulo do cálcio nos dias 9-18, comparado com os controles.

Saito *et al.* [30] submeteram 76 ratos a expansão da sutura mediopalatina, os quais logo foram irradiados com laser Ga-Al-As, 830 nm com densidade de potência de 35,3 J/s/cm², tipo contínuo com uma potência de 100 mW com diferentes tempos de irradiação. Este protocolo de tratamento mostrou maior efetividade durante o período inicial da expansão, gerando um efeito dose-dependente.

Kawasaki e Shimizu [31] submeteram 48 ratos a forças ortodônticas sobre os molares, e posteriormente irradiados com laser Ga-Al-As de 830 nm de comprimento de onda, com 100 mW de potência, contínuo, 3 minutos por ponto dando um total de 9 pontos, uma densidade de potência de 35,3 W.cm² e uma energia total de 54 J. Foi feita uma aplicação por dia por 13 dias consecutivos. A taxa de formação de novo osso ao longo das bordas do osso alveolar marcadas por calceína foi maior no grupo tratado do que no grupo não irradiado. A avaliação quantitativa por histomorfometria mostrou que o desenvolvimento de osso novo formado mineralizado no lado em tensão do grupo irradiado foi significativamente acelerado comparado ao grupo não irradiado. O grupo irradiado teve um aumento marcado do número de osteoclastos no lado da compressão nos primeiros dois dias, o qual facilitou o movimento dos dentes numa etapa precoce.

Outro modelo experimental [32] usou 44 coelhos com fratura do rádio. O laser utilizado foi de CO₂ com potência de 18,5 W gerando uma densidade de potência de 236 mW.cm² aplicado por 10 minutos por 10 dias consecutivos. Como resultado do tratamento as células sanguíneas vermelhas foram induzidas a desintegrar-se promovendo a absorção do hematoma. Os macrófagos emergiram e proli-

feraram precocemente acelerando o desbridamento do tecido necrótico. Os fibroblastos foram mais ativos para produzir calho, os condrócitos foram inusualmente ativos em formar tecidos ósseos. O rápido e mantido aparecimento dos osteoclastos favoreceu o processo de remodelação óssea, aumentando assim a formação capilar endógena na fratura com rico suprimento sanguíneo, também os depósitos de sais de cálcio aconteceram de forma mais rápida.

Um trabalho realizado *in vitro* por Ozawa *et al.* [33], utilizando células de fetos de ratos que foram irradiadas com laser Ga-Al-As de 830 nm e 500 mW de potência encontrando que a irradiação estimulou a proliferação celular, a atividade da fosfatase alcalina e a expressão gênica da osteocalcina. Também a irradiação nas primeiras etapas da cultura estimulou significativamente um grande número e uma grande área de nódulos ósseos. Eles concluíram que o laser pode ter dois principais papéis em estimular a formação óssea. Um deles é estimular a proliferação celular, especialmente a proliferação de células formando nódulos de linhagem dos osteoblastos e em segundo lugar o laser vai a estimular a diferenciação celular, especialmente para precursores, resultando em aumento do número de células osteoblásticas diferenciadas e aumento na formação de osso.

Cartilagem

Neste tecido tem sido feitos trabalhos *in vitro*, *in vivo* e principalmente a nível clínico, encontrando também resultados conflitantes.

Herman e Khosla [34] observaram aumento das glicosaminoglicanas em cartilagem bovina do côndilo femoral após 96 hs de irradiação, utilizando um laser Nd:Yag, modo pulsado (150mJ pulsos, 10/seg.) e spot de 4mm, as doses utilizadas foram de 1, 30 e 60 J. Constatou-se também aumento da síntese protéica total e de colágeno após 120 hs de irradiação nas doses de 30 e 60 J, e, após 72 e 144 hs, foi observado um aumento na síntese de DNA o qual foi dependente do nível de energia aplicada.

O estudo de Lievens *et al.* [35] demonstrou uma clara evidência de que o feixe utilizado AsGa (904 nm) por 3 min aplicado sobre carti-

lagem elástica de rato, influenciou na regeneração cartilaginosa através da ativação do pericôndrio, comparado com o grupo controle não tratado.

Guerino *et al.* [36] constataram no estudo realizado com 19 cobaias uma melhora do processo de reparo da cartilagem lesada através da redução das células inflamatórias e nos danos teciduais e aumento na transformação de pontes de cartilagem que uniram as partes destruídas, favorecendo a formação do tecido de reparo, essas evidências foram promovidas pela utilização de um feixe laser He-Ne (633 nm), 6mW de potência, spot de 2 mm e 7 J/cm² durante 37 s, na cartilagem lesada.

Num trabalho realizado por Akai *et al.* [37] utilizando um laser GaAlAs, 40 e 60 mW de potência, feixe de 1,04 mm², 3,9 e 5,8 W/cm² de densidade de potência com doses de 43 J e 65 J por 3 min/dia durante 2 semanas, aplicado nos côndilos femorais e no platô tibial de 42 ratos Wistar não mostrou diferenças significativas no tecido cartilaginoso e ósseo entre o grupo tratado e o placebo.

Porém, em outro trabalho, Calatra *et al.* [38] utilizando um laser de He-Ne (632.8nm) potência de 10 mW, área de irradiação de 0,4 cm², 25-35 % de divergência, dose de 8 J/cm² e o laser As-Ga (904 nm), potência de 40 mW, feixe de 0,1 cm, divergência de 12,5°, área de irradiação de 0,31 cm², frequência de 5000 Hz e dose de 8 J/cm² em cartilagem articular de 20 coelhos com aplicações pontuais em 5 locais ao redor da articulação por 20 s cada ponto, durante 13 sessões, os resultados obtidos mostraram que ambos os lasers promoveram melhora da regeneração articular através da produção de glicosaminoglicanas e mucopolissacarídeos pelos condrócitos próximos à lesão, porém no grupo tratado com laser As-Ga (904 nm) esses resultados foram mais evidentes, pela sua característica de penetração em tecidos mais profundos.

Segundo Schultz *et al.* [39], num estudo feito com 20 cobaias utilizando laser de Nd-Yag com feixe de 3 mm nas doses de 25 J (5 W/s); 75 J (15 W/s); 125 J (25 W/s) e um grupo controle, foi observado que o laser Nd-Yag proporcionou regeneração da cartilagem comparado com os controles, porém o grupo tratado com altas doses de laser Nd-Yag apresentaram

morte celular e destruição da cartilagem com formação de tecido fibroso, o tratamento foi feito por 6 semanas.

Hardie *et al.* [40] não encontrou evidências de que a foto-estimulação laser, Nd-Yag (1.060 nm) à 30 J com potência média de 15W, spot de 6mm, densidade de potência de 53W/cm² aplicada na cartilagem hialina de côndilos femurais de 20 cães, promoveu o reparo da cartilagem hialina desses animais.

Manzanares *et al.* foram responsáveis por uma série de estudos no relacionado com o estímulo do crescimento da cartilagem pelo laser. Entre eles o realizado em 1990 [41] com 20 ratas Wistar em idades de crescimento semelhantes, divididas em grupos tratados respectivamente durante 15, 30 e 60 minutos e um controle. Mensurou-se o nível do fator de crescimento somatomedina G no sangue dos animais submetidos ao laser HeNe. Neste mesmo estudo induziu ainda 90 ratas divididas segundo idades de crescimento diferentes exposição laser ou em radiação única ou em radiação por 3 e 5 dias consecutivos. Os resultados mostram aumento das doses de somatomedina G nas exposições de 60 minutos, mais elevado em ratas na idade da puberdade em aplicações em dose única e durante 3 dias consecutivos, enquanto as aplicações por 5 dias incrementou os níveis desse fator de crescimento nos grupos de todas as idades.

Em outro estudo realizado por Manzanares *et al.* [42] diz respeito a 80 ratas Wistar em idade de crescimento separados em grupos: tratados com doses únicas de divididos em grupos segundo os dias de sacrifício; tratados durante 3 dias consecutivos e sacrificados após 3 dias do fim das aplicações. O laser foi HeNe nas doses de 3,6; 5,4 e 7,2 J/cm² por 10, 15 e 20 minutos. Os resultados mostram ação estimulante na cartilagem de crescimento nas radiações em doses múltiplas e mais intensas nas doses de 5,4 e 7,2 J/cm².

A artrite reumatóide e a osteoartrite são as enfermidades mais freqüentes que atingem a cartilagem. É por isto que um bom número dos estudos clínicos tem sido feitos em relação estas doenças.

Assim num trabalho feito por Amano *et al.* [43] com 32 pacientes portadores de artrite reumatóide com idade média de 64,2 anos,

usando um laser GaAlAs (790 nm), potência de 10 mW por 6 pontos durante 8 minutos, num período de 6 dias, resultou em uma importante diminuição do infiltrado celular inflamatório e folículos linfóides, levando à conclusão que o laser escolhido para promover o alívio dos sintomas da artrite reumatóide demonstrou eficácia relevante.

Num estudo duplo-cego e controle-placebo feito com 40 pacientes portadores de artrite reumatóide das articulações metacarpo-falangeanas e interfalangeanas utilizou-se um laser de baixa intensidade GaAlAs (820 nm) à 36 J/cm², feixe de 0,1 cm², freqüência de pulso de 5 KHz, saída de potência máxima de 50 mW, saída de potência média 40mW (80% do ciclo de trabalho), ângulo de divergência de 6°, irradiância de 400 mW/cm² e aplicação perpendicular por 90 segundos em cada articulação, e um laser multidiódo (880 nm, 870 nm, 950 nm, 820 nm), saída de potência de 60 mW, feixe de cada diodo 0.1 cm², exposição mínima 27 J/cm² e exposição máxima 4,5 J/cm² durante 180 s. O tratamento foi realizado 3 vezes por semana durante 4 semanas. Os resultados obtidos, não mostraram diferenças estatísticas entre os grupos tratados e o placebo, não confirmando assim a efetividade da laserterapia de baixa intensidade nesse protocolo de tratamento [44].

Walker *et al.* [45] num estudo feito com 72 pacientes portadores de artrite reumatóide, utilizando laser He-Ne (632,8 nm), 1 mW de potência, freqüência de 20 Hz, feixe 4 mm, o tempo de tratamento nos pontos dolorosos aumentou de 6 min. nas 5-7 semanas para 8 min. nas 8-10 semanas, o tratamento foi realizado 3 vezes por semana. Os pacientes do grupo experimental (n = 38) exibiram uma melhora significativa da intensidade algica na artrite reumatóide comparado com o grupo controle não tratado.

Basford *et al.* [46] em outro estudo clínico (um cego e um controle) em 81 pacientes com sintomas de osteoartrite do polegar, usando um laser He-Ne (632,8 nm) com 0,9 mW de potência, emissão contínua por 15 segundos em 4 pontos ao redor de cada articulação 3 vezes por semana, concluiu que o laser utilizado não produziu bons resultados no alívio dos sintomas produzidos pela osteoartrite de polegar.

Goats *et al.* [47] realizou um trabalho com 35 sujeitos com artrite reumatóide de joelho e articulações metatarso-falangeanas onde foi feito testes duplo-cego e placebo-controle, os pacientes foram tratados 2 vezes por semana, durante 4 semanas com laser GaAlAs (emissão coerente) e um diodo superluminoso (emissão não coerente) com 6 comprimentos de onda no intervalo de 660-950 nm à 8,1 J/cm² por 240 s, área de radiação individual de 0,125 cm², os resultados encontrados mostraram um fraco efeito e de pouca significância terapêutica sobre articulações reumatóides que suportam peso.

Heussler *et al.* [48] utilizando um laser GaAlAs (820 nm), potência média de 50 mW, feixe de 0,126 cm², frequência de 5 KHz e pulso médio de 0,16 ms à 12 J/cm² por 30 s em 28 pacientes através de teste duplo cego durante 12 tratamentos em 4 semanas, demonstraram que o tratamento laser nos pacientes com artrite reumatóide foi ineficaz, no entanto, um alívio da dor encontrada em alguns pacientes foi atribuída ao potente efeito placebo produzido pela terapia utilizada.

O tratamento com feixe laser pareceu ser uma boa e bem tolerada terapia nas articulações interfalangeanas com osteoartrite ativa, obtendo melhores resultados ao combinar laser He-Ne e laser infravermelho, o estudo foi feito em 40 mulheres com osteoartrite ativa bilateral das mãos em teste duplo-cego. O tratamento foi feito diariamente por 15 dias por 10 min/dia [49].

Bliddal *et al.* [50] através de um estudo feito em 17 pacientes com envolvimento simétrico das articulações metacarpofalangeanas em teste duplo cego 3 vezes por semana durante 3 semanas consecutivas, utilizando um aparelho laser He-Ne (633 nm), 10 mW de potência, fibra óptica de 1,5 mm, área de irradiação de 0,5 cm² e tempo de tratamento de 5 min, reportou em seus resultados que a laserterapia de baixa intensidade produziu um alívio parcial da dor não influenciando porém, na rigidez matinal ou performance articular, com isso reduzindo a efetividade da terapia laser na artrite reumatóide.

Num estudo triplo-cego feito com 30 indivíduos com artrite reumatóide bilateral de interfalangeana e metacarpo-falangeana

proximal, concluí-se que o feixe laser produziu melhora da função da mão com aumento da força de preensão e de pinça e redução do edema e dor. O laser empregado foi Neodymium - YAG (1060nm), feixe de 32 mm, dose de 15-20 J/cm², com duração de pulso de 30 ns, durante 13 sessões [51].

Brosseau *et al.* [52] reportou em seu metanálise que o tratamento com laser de baixa intensidade em artrite reumatóide é benéfico no alívio da dor e na redução da rigidez matinal com melhores resultados utilizando doses baixas (ex: 3 J/cm²) e comprimento de onda de 632,8 nm comparado ao 820 nm, porém os resultados são conflitantes, pois não há um efeito à longo prazo desta terapia nos trabalhos analisados.

Tendão

A fotoestimulação laser de baixa energia com certos comprimentos de onda pode estimular o reparo tecidual por favorecer a liberação de fatores de crescimento dos fibroblastos e estimular o processo cicatricial. Além disso, estudos prévios sugerem que a fotoestimulação laser aumenta a síntese de ATP, promove a produção de ácidos nucleicos e aumenta a divisão celular [29,53].

O aparecimento precoce da morfologia ondulada nas fibras colágenas de tendões lesados induzidas pela radiação laser, propicia uma influência significativa na performance funcional desta estrutura corporal [54]. Estudos utilizando o tecido tendinoso mostraram significativa confiabilidade da terapia laser de baixa intensidade no processo de reparo.

Enwemeka *et al.* [55] em seu estudo detectou aumento na produção de colágeno em tendões de 24 coelhos tratados com feixe laser He-Ne (632,8 nm) a 1 J/cm², diariamente por 14 dias, comparados com o grupo controle não tratado.

Num outro estudo, o mesmo autor reportou aumento das fibrilas de colágeno no citoplasma de fibroblastos de 18 tendões tenotomizados de coelhos expostos ao feixe laser He-Ne (632,8 nm), potência de 11mW, feixe pulsado (50 vezes por segundo), área de 5 cm onde a densidade de energia utilizada foi de 1 mJ/cm² e 5 mJ/cm², concluindo assim, um aumento da síntese de colágeno promovida pelo feixe [56].

Estudos feitos em 18 tendões tenotomizados de coelhos, utilizando laser He-Ne (632,8 nm), potência de 1 mW, feixe pulsado (50%), de 1,82 mm² e área de 1,0 cm², ângulo de divergência de 30° e distância vertical de 9,76 mm entre o aplicador e a pele nas doses de 1, 2, 3, 4 e 5 mJ/cm², demonstraram um maior alinhamento de fibroblastos e fibrilas de colágeno no eixo longitudinal do tendão. Esses efeitos foram mais significantes nas doses de 4 e 5 mJ/cm², comparado com os controles, esses achados indicam que a fotoestimulação laser He-Ne modula a biossíntese de colágeno em tendões lesados [57].

Parizotto e Baranauskas [58], utilizando um feixe laser He-Ne (632,8 nm) com 6 mW de potência, feixe de 1 mm e emissão contínua nas doses de 0,5; 5,0 e 50 J/cm² em 32 tendões de ratos Wistar, observaram através de espectroscopia por infravermelho um aumento das ligações de hidrogênio intra e inter molecular em moléculas de colágeno de tendões lesados após tenectomia com maior significância na dose de 5,0 J/cm², comparados com o grupo controle.

Em outro estudo [59] os mesmos autores reportaram melhora da organização molecular de feixes de colágenos em tendões lesados de 32 ratos Wistar utilizando os mesmos parâmetros do estudo anterior. Através da análise por Microscopia de Força Atômica observou-se melhor arranjo e ordem molecular nas moléculas e fibrilas de tendões tratados com laser, principalmente na dose de 5,0 J/cm².

Músculo

Não se conta com muitos estudos no quais seja tratada a lesão muscular específica. Embora poucos, os estudos reportam como a terapia laser de baixa intensidade pode influenciar ou não o processo de reparo.

Utilizando culturas celulares de fibroblastos de gengivas estimuladas por laser He-Ne (632,8 nm), potência de 10 mW a 1,2 J/cm² durante 10 minutos, foi possível a observação de uma transformação maciça e direta dessas células em miofibroblastos nas primeiras 24 h após a irradiação com o feixe laser. Essas mudanças, porém, não foram observadas em culturas controles [60].

O estudo feito por Weiss e Oron [61] utilizando um feixe laser He-Ne (632,8 nm), 6 mW de potência, 1,9 de diâmetro de feixe, 31,2 J/cm² de densidade de energia, num tempo de 2,3 min no músculo gastrocnêmio lesado de 30 ratos, durante 5 dias após lesão, demonstrou fortes evidências de que o laser de baixa intensidade estimulou a regeneração muscular através da proliferação e diferenciação de células satélites em miofibroblastos e miotubos, favorecendo assim o reparo muscular nos grupos tratados comparados com o controle.

Achados semelhantes foram encontrados quando utilizou-se laser He-Ne (632,8 nm), potência de 2,6 mW, emissão contínua, feixe de 0,07 cm² nas doses de 2,6; 8,4 e 25 J/cm² por 5 dias consecutivos na lesão do músculo tibial anterior de 15 camundongos. Os resultados demonstraram que o feixe laser utilizado principalmente na dose de 2,6 J/cm² foi eficiente para promover uma melhora qualitativa no processo de regeneração do tecido muscular de camundongos [62].

Um estudo realizado por Oliveira *et al.* [63] utilizando um laser de As-Ga (904 nm), potência de 1,5 mW, intensidade de 7,5 mW/cm², de 0,2 cm², duração de pulso de 200 ns, frequência de 1.000 Hz, nas doses de 3 e 10 J/cm² não foi suficiente para promover alterações morfológicas significativas na regeneração muscular, do músculo tibial anterior de 16 camundongos suíços.

Tecidos moles periarticulares

Estudos que exemplificam essa controvérsia de opiniões dizem respeito a eficácia da laserterapia nas epicondilites. Simunovic *et al.* [64] analisou 324 sujeitos com diagnóstico clínico de epicondilite lateral ou medial, divididos em grupos de acordo com seus sintomas, unilaterais ou bilaterais. Os indivíduos com sintomas em ambos lados receberam aplicação laser em um dos braços enquanto o outro participou como controle. Os pacientes com sintomas de apenas um lado foram subdivididos de acordo com os 3 modos de aplicação: técnica de pontos gatilho, varredura e combinação das duas. Utilizou-se laser HeNe (632,8 nm) combinado com AsAlGa (830 nm) em doses de 20 J/cm² para casos agudos e 25 J/cm²

para crônicos. Os resultados obtidos revelaram ser o modo de aplicação combinado entre varredura e pontos gatilho o mais eficaz na redução da dor em epicondilite lateral e medial.

Vassljen *et al.* realizaram uma série de trabalhos acerca do assunto. Em um deles [65], duplo-cego, estudou-se a eficácia do tratamento laser frente ao placebo, com 30 sujeitos, sendo metade submetido ao laser AsGa (904 nm), pulsado, 880 Hz de frequência, dose de 3,5 J/cm², 3 vezes por semana totalizando 8 sessões. Os resultados mostraram ser o laser eficaz neste caso quando comparado ao placebo. Em outro trabalho [66] do mesmo autor, a laserterapia foi comparada ao tratamento fisioterapêutico tradicional, entenda-se ultra-som e fricção. Concluíram que não há diferença significativa entre os dois tipos de tratamento.

Haker *et al.* [67] em estudo com 49 sujeitos com epicondilite lateral, em trabalho duplo-cego, também obtiveram como resultado de seu trabalho uma efetividade do laser AsGa (904 nm), potência de 12 mW, pulsado na frequência de 70 Hz, técnica pontual durante 30 segundos, de 2 a 3 vezes por semana perfazendo total de 12 sessões.

Outro estudo do mesmo autor [68] executado em 1991, submeteu ao tratamento 58 indivíduos com epicondilite, sendo metade placebo, e a outra metade a laserterapia combinada de AsGa e HeNe sobre a região dolorida e em dois pontos de acupuntura, o que revelou as mesmas conclusões de seu anterior estudo.

Há outro bom número de trabalhos feitos com outras doenças de reumatismo não articular. Um deles é o trabalho de England *et al.* [69] que submeteu 30 sujeitos com tendinite de bíceps ou supraespinhoso, a três tipos diferentes de tratamento, placebo, aplicação laser AsGa (904 nm), 4000 Hz de frequência, e administração de drogas. A conclusão obtida foi a de que o laser nos parâmetros utilizados foi efetivo frente aos outros grupos.

Por outro lado, Vecchio *et al.* [70] num trabalho com 35 pacientes com tendinite de manguito rotador, consistindo de 16 sujeitos placebo, não verificou efetividade do laser AsGaAl (830 nm) na dose de 1 J/cm² em 2 aplicações semanais durante 8 semanas.

Waylonis *et al.* [71] estudaram o controle da dor da fibromialgia pelo laser HeNe (632.8

nm) em pontos de acupuntura em 55 pacientes, não encontrando nenhuma eficácia tal tratamento.

Simunovic [72] em trabalho duplo-cego testou o laser AsAlGa (830 nm) nas doses de 20 J/cm² para quadros agudos e 25 J/cm² para crônicos no tratamento de pontos gatilho ativados. Suas conclusões revelaram que o laser apresenta resultados positivos tanto nos casos agudos quanto nos crônicos, mas com melhor desempenho nos agudos.

Basford *et al.* [73] analisou o laser AsAlGa (infravermelho) no modo contínuo, potência de 33 mW durante 33 segundos, 3 vezes por semana durante 4 semanas, no tratamento de fascite plantar em 32 sujeitos, sendo metade formada por placebo. O laser não se mostrou efetivo neste estudo nos parâmetros utilizados.

De Bie *et al.* [74] realizaram estudo duplo-cego com 217 indivíduos com entorse aguda de tornozelo, divididos em 3 grupos, nos quais era aplicado laser AsGa (904 nm), 500 Hz, ou laser AsGa (904 nm) 5000 Hz, ou placebo. Os resultados mostraram que o laser tanto em baixas quanto em altas frequências não atuou positivamente em entorses agudas de tornozelo.

Usuba *et al.* [75] compararam a laserterapia e o turbilhão na viscoelasticidade do joelho contraturado, usando 48 ratos Wistar com as patas traseiras imobilizadas por suturas. O tratamento deu-se com laser de AsAlGa (810 nm) no modo contínuo na potência de 40 e 60 mW com 3 aplicações semanais durante 2 semanas, com turbilhão com água a 42° C e o grupo placebo do laser. De acordo com o trabalho o método de tratamento através do turbilhão foi mais efetivo do que a laserterapia, que não mostrou ação significativa na redução do grau de contratura do joelho.

Tecido neural

As primeiras observações sobre a fotossensibilidade dos nervos em relação ao laser foram de Fork [76] em nervos de *Aplysia*. Posteriormente vários trabalhos foram realizados para analisar os efeitos tanto sobre a sensibilidade como a motricidade. O trabalho de Walker e Akhanjee [77] mostrou ser possível controlar o clônus em pacientes com lesão medular com o uso de laser de baixa intensidade.

Num trabalho controlado e duplo-cego, com amostra aleatorizada, Cambier *et al.* [78] avaliaram as características de velocidade de condução no nervo sural de sujeitos saudáveis após irradiação de laser AsAlGa, com comprimento de onda de 830 nm. Foram irradiados seis pontos para cada dose utilizada. Os indivíduos foram incluídos nos diferentes grupos por sorteio, cujos parâmetros foram os seguintes: grupo A, com potência média de 400 mW e uma dose de 1,5 J por ponto (7,65 J/cm²); grupo B, com potência média de 140 mW e dose de 1,0 J por ponto (5,1 J/cm²) e um terceiro grupo (C), com potência média de 30 mW e 0,5 J por ponto (2,55 J/cm²), além de fazer um quarto grupo, cujo objetivo foi avaliar o efeito placebo da terapia, cujos indivíduos receberam dose zero. Houve o cuidado de se fazer a correção em função da temperatura da pele. Os dados mostraram um decréscimo significativo na velocidade de condução do nervo sural e aumento do pico de latência no tratamento B. Parece que há influência da dose e da fluência nos resultados, o que permite inferir sobre a possibilidade do laser mediar o alívio de dor.

Outro dado importante sobre ação do laser de baixa intensidade aplicado no tecido neural se refere ao controle do herpes labial (herpes tipo 1). Rallis-Tena e Spruance-Spotswood [79] demonstraram a possibilidade do uso do laser neste tipo de vírus que tem sua preferência de ataque ao tecido neural.

Rochkind *et al.* [13] fez experimentos acerca de lesões do nervo ciático. Em um deles mediu-se a atividade elétrica do nervo em grupo placebo e outro exposto ao laser HeNe (632,8 nm) na dose de 10 J/cm² por 7 minutos diários durante 20 dias, não houve diferença significativa entre os grupos. Outro estudo os animais tiveram o nervo ciático lesado e foram agrupados em placebo e grupo tratado com o mesmo laser acima citado, revelando uma diferença significativa na atividade elétrica favorecendo o grupo tratado. Novo trabalho submeteu ratos também com lesão nervosa do ciático ao mesmo tratamento com laser, analisou-se, no entanto, a regeneração do tecido nervoso através de lâminas da medula espinhal nos segmentos L4 e S1 em diferentes tempos pós-irradiação. Os dados mos-

traram ser o laser efetivo na regeneração de lesões nervosas centrais, com dependência em relação ao tempo.

Bernal [80] tratou pacientes portadores de paralisia facial com laser HeNe e AsGa. Os pacientes que receberam laser até os 2 primeiros dias após a lesão obtiveram resultados de recuperação total em 100% dos casos em 15 sessões. Nos casos de início do tratamento após este período, se fez laser com a suplementação do tratamento com meticorten (40 mg/dia), necessitando de mais de 30 sessões para obter alguma melhora, sem um resultado tão eficiente como nas fases precoces da lesão. Num outro trabalho, no qual o autor tratou paralisia de Bell em 52 pacientes, dos quais 26 foram submetidos a bloqueio do gânglio estrelado (simpático cervical), 11 receberam laser infravermelho (830 nm) e 15 receberam uma combinação de ambos os tratamentos. A resposta foi melhor nos pacientes que tiveram o uso do laser, tendo havido uma melhora inicial maior nos pacientes que trataram somente com laser [81].

Padua *et al.* [82] estudaram a ação do laser pulsado de AsGa (830 nm) com uma abordagem eletrofisiológica sobre a condução nervosa periférica da mão de pacientes com síndrome do túnel do carpo, assim como por meio de um questionário clínico validado. Os resultados das 6 avaliações ao longo da terapia e no seguimento após o período do tratamento mostrou diferenças importantes. Os melhores efeitos foram observados no início e 15 dias após a terapia. As avaliações tardias (2 e 12 meses) mostraram que os resultados retornaram progressivamente aos padrões anteriores ao tratamento. Portanto, os dados sugerem que se pode utilizar este tipo de tratamento para melhorar as condições de condução nervosa periférica, porém os resultados são transitórios e devem ser mantidos os tratamentos para se obter vantagens clínicas. Casos selecionados de síndrome do túnel do carpo podem ser tratados com laser em baixa intensidade.

O que se pode afirmar é que há respostas evidentes do tecido neural ao laser em baixa intensidade, cujos resultados são normalmente dependentes do tempo de lesão, do grau da lesão e do momento do início do tratamento com

a irradiação, assim como da irradiância e da fluência de laser utilizadas nos tratamentos.

Laser e dor

Um dos mecanismos propostos para o controle da dor pelos lasers em baixa intensidade é a hiperpolarização da membrana celular. Neste sentido, o trabalho de Piasecka *et al.* [83] mostra a ação do laser sobre o potencial da membrana de eritócitos pro meio de corantes fluorescentes sensíveis ao potencial. Além da hiperpolarização observada, houve um aumento da microviscosidade da região polar, além da provocação de aumento na atividade enzimática da acetilcolinesterase.

Borges *et al.* [84] estudaram a influência do laser AsGa (904 nm) nas doses de 1 e 5 J/cm² sobre a dor em camundongos. Houve um grupo controle placebo, outro tratado com a menor e outro com a maior dose de laser. Os resultados permitiram concluir que o laser na dose de 5 J.cm⁻² se mostrou efetivo no bloqueio da dor de 15 a 20 minutos após a aplicação, a dose de 1 J.cm⁻² não obteve efeitos analgésicos quando comparados ao placebo.

Outros efeitos

Há outros efeitos do laser em baixa intensidade que tem sido investigado por diferentes grupos de trabalho em várias partes do mundo. Dentre eles, podemos destacar a análise mais detida da sua ação sobre a microcirculação, usando para isso tecnologias avançadas observação. Schaffer *et al.* [85] examinaram em 6 voluntários saudáveis submetidos a ação do laser (780 nm) sobre o tecido normal da pele, analisando a dependência temporal do aumento da chegada do contraste, determinado pelas imagens de ressonância magnética. Foram determinados o conteúdo de volume sanguíneo corrente local e a distribuição do contraste (Gadolinium-DPTA) na planta do pé. As imagens foram obtidas antes e após a irradiação do laser com 5 J.cm⁻² a uma fluência de 100 mW.cm⁻². O resultado foi uma aceleração da circulação local, o que poderia, segundo os autores, explicar alguns dos efeitos biomoduladores sobre a cicatrização e a redução da dor. Os autores sugerem ainda que

esta melhora circulatória poderia melhorar os resultados de outras modalidades terapêuticas como a radioterapia e a quimioterapia local.

Outro trabalho que merece destaque é a investigação de Desimone, Christiansen e Dore [86], que analisa os efeitos bactericidas dos lasers vermelho e infravermelho, com diferentes tempos de exposição, cujos resultados podem ter implicações clínicas importantes. Os autores utilizaram um agente fotosensibilizador (azul de toluidina O) para facilitar a interação da luz com as bactérias estudadas. As bactérias *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* tiveram morte celular após serem irradiadas tanto com laser vermelho como com o infravermelho nas regiões sensibilizadas. Apesar de ambos os lasers terem provocado efeito bactericida na região da placa de petri que foi irradiada, o laser de 5 mW (infravermelho) foi o mais efetivo, porquanto o laser vermelho teve reduzida efetividade, provavelmente pelas suas características de potência (0,95 mW). Os resultados do trabalho nos alerta sobre a potencialidade clínica do uso do laser no tratamento de lesões infectadas da pele, ainda dependendo de estudos *in vivo* para certificação destes resultados.

Conclusões finais

Como pode-se notar, o laser em baixa intensidade pode ter diferentes reações na dependência do tecido com o qual ele interage. As dosimetrias devem ser revisadas para cada tipo de lesão, relacionando com a profundidade, características teciduais, estágio da lesão e condições fisiológicas dos pacientes, como idade, cor, grau de nutrição e hidratação, assim como o estado físico e imunológico do indivíduo.

Diferentes modalidades de lesão podem ser tratadas pelo laser, mas a escolha do comprimento de onda deve ser pautada pelo tipo de processo sob intervenção, para os quais podemos citar os processos de reparação tecidual, onde o laser deve ser de cor vermelha preferencialmente, e quando o processo tem a dor como objetivo terapêutico principal (dores crônicas e restrições funcionais pela dor e tensão

muscular), o laser infravermelho deve ser priorizado.

Há muito que ser pesquisado ainda na área de fototerapia por laser em baixa intensidade, mas acreditamos poder beneficiar os pacientes com esta modalidade terapêutica, desde que haja critérios sérios e bem definidos para sua indicação, assim como uma avaliação criteriosa quanto às contra-indicações e cuidados nas aplicações. Muitos trabalhos não foram incluídos nas revisões (Parte 1 e 2) por dificuldade de espaço, já que demandaria todo um livro para isso, havendo uma priorização dos trabalhos que melhor atendiam aos critérios metodológicos científicos para embasar as argumentações descritas ao longo desta revisão.

Referências

- Gogia PP. Laser Treatment. Clinical Wound Management. United States of America; Slack Incorporated; 1995;177-178.
- Baxter GD. Therapeutic Lasers: Theory and Practice. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1994.
- Boulton M, Marshall J. He-Ne laser stimulation of human fibroblast proliferation and attachment in vitro. *Lasers in Life Sci* 1986;1:125-134.
- Abergel RP, Meeker C, Lam T, Dwyer RM, Lyons RF, Castel JC. Control of connective tissue metabolism by laser. Recent developments and future prospects. *Dermt Surg Oncol* 1984;11:1142-1150.
- Bosatra M, Jucci A, Olliaro D, Sacchi S. In vitro Fibroblast and Dermis Fibroblast Activation by Laser Irradiation at Low Energy. *Dermatologica* 1984;168:157-162.
- Loevscall H, Arenholt BD. Effect of Low Level Diode Laser Irradiation of Human Oral Mucosa Fibroblasts in Vitro. *Lasers in Surgery and Medicine* 1994;14:347-354.
- Webb C, Dyson M, Lewis WHP. Stimulatory Effect of 660 nm Low Level Laser Energy on Hypertrophic Scar-derived Fibroblasts: possible mechanisms for increase in cell counts. *Lasers in Surgery and Medicine* 1998;88:204-301.
- Hallman HO, Basford JR, O'Brien JF, Cummins LA. Does Low-energy Helium Neon Laser Irradiation Alter in Vitro Replication of Human Fibroblasts? *Lasers in Surgery and Medicine* 1988;8:125-129.
- Castro DJ, Abergel P, Meeker C, Dwyer R, Johnston K. Effects of Nd-YAG laser on DNA synthesis and collagen production in human skin fibroblast cultures. *Annals Plast Surg* 1983;3:214-222.
- Kolárová H, Ditrichová D, Wagner J. Penetration of the Laser Light Into the Skin In Vitro. *Lasers in Surgery and Medicine* 1999;24:231-235.
- Gross AJ, Jelkmann W. Helium Neon Laser Irradiation Inhibits the Growth of Kidney Epithelial Cells in Culture. *Lasers in Surgery and Medicine* 1990;10:40-44.
- Samar ME, Avila RE, Juri HO, Plivelic T, Fabro SP. Histopathological Alterations Induced by HeNe in the Salivary Glands of the Posthatched Chicken. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery* 1995;4:267-272.
- Rochkind S, Rousso M, Nissan M, Villareal M, Barr NL, Rees DG. Systemic Effects of Low Power Laser Irradiation on the Peripheral and Central Nervous System, Cutaneous Wounds and Burns. *Lasers in Surgery and Medicine* 1969;9:174-182.
- Braverman B, Mccathy RJ, Ivankovich AD. Effect of Helium-Neon and Infrared Laser Irradiation on Wound Healing in Rabbits. *Laser in Surgery and Medicine* 1989;9:50-58.
- Kana JS, Hutschenreiter R. Effect of Low-Power Density Laser Radiation on healing of Open Skin Wounds in Rats. *Arch Surg* 1981;116.
- Tatarunas AC, Matera JM, Dagli MLZ. Estudo clínico e anatomopatológico da cicatrização cutânea no gato doméstico. Utilização do laser de baixa potência GAAS (904 nm). *Acta Cirúrgica Brasileira* 1998;13:86-93.
- Hunter J, Leonard L, Wilson R, Snider G. Effects of Low Energy Laser on Wound Healing in a Porcine Model. *Laser in Surgery and Medicine* 1984;3:285-290.
- Haedersdal M, Poulsen T, Wulf HC. Laser Induced Wounds and Scarring Modified by Antiinflammatory Drugs: a murine model. *Lasers in Surgery and Medicine* 1993;13:55-61.
- Mester E, Mester A, Mester A. The biomedical effects of laser application. *Lasers in Surgery and Medicine* 1985;5:31-39.
- Arantes C, Griss RR, Martis L, Griss M. Fisioterapia preventiva em complicações de úlceras de membros inferiores. *Fisioterapia em movimento* 1991;4:47-66.
- Malm M, Lunderberg T. Low-Power HeNe Laser Treatment of venous leg ulcers. *Ann Plast Surg* 1991;27:537-539.
- Sugrue ME, Carolan J, Leen EJ. The use of infra-red laser therapy in the treatment of venous ulcerations. *Annals of Vascular Surgery* 1990;4:179-181.

23. Schindl A, Schindl M, Pernerstorfer SH. Diabetic Neuropathic Foot ulcer: Successful treatment by Low-intensity Laser Therapy. Case Report. *Dermatology* 1999;314-316.
 24. Beckerman HA De Bie R, Bouter LM, Cuyper HJ, Oostendorp RAB. The efficacy of laser therapy for musculoskeletal and skin disorders: A criteria-based meta-analysis of randomized clinical trials. *Physical Therapy* 1992;72:483-491.
 25. Gam AN, Thorsen H, Lonnberg F. The effect of low level laser therapy on musculoskeletal pain: a meta-analysis. *Pain* 1993;52:63-66.
 26. Trelles MA, Mayayo E. Bone Fracture Consolidates Faster With Low Power Laser. *Lasers In Surgery and Medicine* 1987;7:36-45.
 27. Barushka O, Yaakobi T, Oron U. Effect of low-energy laser (He-Ne) irradiation on the process of bone repair in the rat tibia. *Bone* 1995;16:47-55.
 28. Luger E J, Rochkind S, Wollman Y, Kogan G, Dekel S. Effect of low-power laser irradiation on the mechanical properties of bone fracture healing in rats. *Lasers in Surgery and Medicine* 1998;22:97-102.
 29. Yaakobi T, Maltz L, Oron U. Promotion of bone repair in the cortical bone of the tibia in rats by low energy laser (He-Ne) irradiation. *Calcified Tissue International* 1996;59:297-300.
 30. Saito S, Shimizu N. Stimulatory effects of low-power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1997;111:525-532.
 31. Kawasaki K, Shimizu N. Effects of low-energy laser irradiation on bone remodeling during experimental tooth movement in rats. *Lasers in Surgery and Medicine* 2000;26:282-291.
 32. Tang XM, Chai BP. Effect of CO₂ laser irradiation on experimental fracture healing: a transmission electron microscopic study. *Lasers in Surgery and Medicine* 1986;6:346-352.
 33. Ozawa Y, Shimizu N, Kaariya G, Abiko Y. Low-energy laser irradiation stimulates bone nodule formation at early stages of cell culture in rat calvarial cells. *Bone* 1998;22:347-354.
 34. Herman HJ, Khosla RC. In vitro effects of Nd:Yag laser radiation on cartilage metabolism. *The Journal of Rheumatology* 1988;15(12):1818-1826.
 35. Lievens P, Lippens E, Van Der Veen PH. The influence of low level infrared lasertherapy on the regeneration of cartilage tissue. *Proceeding 2nd Congress World Association of Laser Therapy, Kansas-USA.* 1998;12.
 36. Guerino MR, Baranauskas V, Guerino AC, Parizotto NA. Laser treatment of experimentally induced chronic arthritis. *Applied Surface Science* 2000;154-155:561-564.
 37. Akai M, Usuba M, Maeshima T, Shirasaki Y. Laser's effect on bone and cartilage change induced by joint immobilization: experiment with animal model. *Lasers in Surgery and Medicine* 1997;21:480-484.
 38. Calatrava RI, Santisteban Valenzuela JM, Gómez-Villamandos RJ, Redondo JI, Gómez-Villamandos JC, Avila-Jurado I. Histological and clinical responses of articular cartilage to low-level laser therapy: experimental study. *Lasers in Medical Science* 1997;12:117-121.
 39. Schultz RJ, Krishnamurthy S, Thelmo W, Rodriguez J, Harvey G. Effects of varying intensities of laser energy on articular cartilage. *Lasers in Surgery and Medicine* 1985; 5:577-588.
 40. Hardie E M, Carlson C S, Richardson DC. Effect Nd:Yag laser energy on articular cartilage healing in the dog. *Lasers in Surgery and Medicine* 1989; 9:595-601.
 41. Manzanares MTL, Ruiz MAG, Claros ML, Morillo MM. Efectos de la irradiación láser de HeNe sobre el cartílago de crecimiento. *Rehabilitación.* 1990; 24:211-214.
 42. Manzanares MTL, Vega JMP, Portero FS, Fernandez LDLP, Claros ML, Morillo MM. Morfometría del cartílago de crecimiento de ratas Wistar irradiadas con láser de baja potencia (He-Ne). *Rehabilitación* 1992;26:68-73.
 43. Amano A, Miyagi K, Azuma T, Ishihara Y, Katsube S, Aoyama I. Histological studies on the rheumatoid synovial membrane irradiated with a low energy laser. *Lasers in Surgery and Medicine* 1994;15:290-294.
 44. Hall J, Clarke AK, Elvins DM, Ring FJ. Low level laser therapy is ineffective in the management of rheumatoid arthritic finger joints. *British Journal of Rheumatology* 1994;33:142-147.
 45. Walker JB, Akhanjee LK, Cooney MM, Goldstein J. Laser therapy for pain of rheumatoid arthritis. *The Clinical Journal of Pain* 1987;3:54-59.
 46. Basford JR, Sheffield CG, Mair SD, Ilstrup DM. Low energy helium neon laser treatment of thumb osteoarthritis. *Arch. Phys. Med. Rehabil* 1987;68:794-797.
 47. Goats GC, Flett E, Hunter JA, Stirling A. Low intensity laser and phototherapy for rheumatoid arthritis. *Physiotherapy.* 1996;82(5):311-320.
 48. Heussler JK, Hinchey G, Margiotta E, Quinn R, Butler P, Martin J, Sturges AD. A double blind randomized trial of low power laser treatment in rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 1993;52:703-706.
-

49. Lonauer G. Controlled double blind study on the efficacy of HeNe laser beams versus HeNe plus infrared laser beams in the therapy of activated osteoarthritis of finger joints. *American Society for Laser Medicine and Surgery Abstracts*. 1982;172.
 50. Bliddal H, Hellesen C, Ditlevsen J, Asselberghs J, Lyager L. Soft-laser therapy of rheumatoid arthritis. *Scand J. Rheumatology* 1987;16:225-228.
 51. Goldman JA, Chiapella J, Casey H, Bass N. Laser therapy of rheumatoid arthritis. *Lasers in Surgery and Medicine* 1980;1:93-101.
 52. Brosseau L, Welch V, Wells G, Tugwell P. Low level laser therapy for osteoarthritis and rheumatoid arthritis: a metaanalysis. *The Journal of Rheumatology* 2000;27(8):1961-1969.
 53. Passarella S, Casamassima E, Molinari S, Pastore E, Quaglianiello E, Catalano IM, Cingolani A. Increase of proton electrochemical potential and ATP synthesis in rat liver mitochondria irradiated in vitro by helium-neon laser. *Febs Lett* 1984;175:95-99.
 54. Parizotto NA, Baranauskas V. Structural analysis of collagen fibrils after He-Ne laser photostimulated regenerating rat tendon. *Proceeding 2nd Congress World Association of Laser Therapy, Kansas-USA*. 1998;66-67.
 55. Enwemeka CS, Reddy GK, Bittel LS. Laser photostimulation of collagen production in healing rabbit achilles tendons. *Lasers in Surgery and Medicine* 1998;22:281-287.
 56. Enwemeka CS. Ultrastructural morphometry of membrane-bound intracytoplasmic collagen fibrils in tendon fibroblasts exposed to HeNe laser beam. *Tissue and Cell* 1992;24(4):511-523.
 57. Enwemeka CS, Rodriguez OO, Gall NG, Walsh NE. Morphometrics of collagen fibril populations in HeNe laser photostimulated tendons. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* 1990;6:47-62.
 58. Parizotto NA, Baranauskas V. Hydrogen bonding of collagen molecule stimulated by He-Ne laser in the regenerating of tendon. *Proceeding 2nd World Association of Laser Therapy, Kansas-USA*. 1998;64-65.
 59. Parizotto NA, Baranauskas V. Structural analysis of collagen fibrils after He-Ne laser photostimulated regenerating rat tendon. *Proceeding 2nd World Association of Laser Therapy, Kansas-USA*. 1998;66-67.
 60. Porreau-Schneider N, Ahmed A, Soudry M, Jacquemier J, Koopp F, Franquin JC, Martin PM. Helium-Neon laser treatment transforms fibroblasts into myofibroblasts. *American Journal of Pathology* 1990;137(1):171-177.
 61. Weiss N, Oron U. Enhancement of muscle regeneration in the rat gastrocnemius muscle by low energy laser irradiation. *Anat. Embryol* 1992;186:497-503.
 62. Amaral AC, Parizotto NA, Salvini TF. He-Ne Laser Action in the Regeneration of Tibialis anterior Muscle of Mice. *Lasers in Medical Science, London*, 2001;16:44-52.
 63. Oliveira NML, Parizotto NA, Salvini TF. GaAs (904nm) laser radiation does not affect muscle regeneration in mouse skeletal muscle. *Lasers in Surgery and Medicine* 1999;25:13-21.
 64. Simunovic Z, Trobonjaca T, Trobonjaca Z. Treatment of Medial and Lateral Epicondylitis-Tennis and Golfer's Elbow - with Low Level Laser Therapy: A Multicenter Double Blind, Placebo-Controlled Clinical Study on 324 Patients. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery* 1998;16:145-151.
 65. Vasseljen O, Hoeg N, Kjoeldstad B, Johnsson A, Larsen S. Low Level Laser Versus Placebo in the Treatment of Tennis Elbow. *Scand Journal Rehab Medicine*. 1992;24:37-42.
 66. Vasseljen O. Low Level Laser Versus Traditional Physiotherapy in the Treatment of Tennis Elbow. *Physiotherapy* 1992;78:329-334.
 67. Haker EHK, Lundeberg TCM. Laser Treatment applied to acupuncture points in lateral humeral epicondylalgia. A double blind study. *Pain* 1990;43:243-247.
 68. Haker EHK, Lundeberg TCM. Lateral Epicondylalgia: Report of Noneffective Midlaser Treatment. *Arch. Phys. Med. Rehabil* 1991;72:984-988.
 69. England S, Farrell AJ, Coppock JS, Struthers G, Bacon PA. Lower Power Laser Therapy of Shoulder Tendonitis. *Scand. Journal Rheumatology* 1989;18:427-431.
 70. Vecchio P, Cave M, King V, Adebajo AO, Smith M, Hazleman BL. A Double Blind Study of the Effectiveness of Low Laser Treatment of Rotator Cuff Tendinitis. *British Journal of Rheumatology* 1993;32:740-742.
 71. Waylonis GW, Wilke S, O'toole D, Waylonis D A, Waylonis DB. Chronic Myofascial Pain: Management by Low Output Helium-Neon Laser Therapy. *Arch. Phys. Med. Rehabil* 1998;69:1017- 1020.
 72. Simunovic Z. Low Level Laser Therapy with Trigger Points Technique: A Clinical Study on 243 Patients. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery* 1996;14:163-167.
 73. Basford JR, Malanga GA, Krause DA, Harmsen WS. A Randomized Controlled Evaluation of Low Intensity Laser Therapy: Plantar Fasciitis. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:249-254.
-

74. De Bie RA, De Vet HCW, Lenssen TF, Van Den Wildenberg FAJM, Kootstra G, Knipschild PG. Low Level Laser Therapy in Ankle Sprains: A Randomized Clinical Trial. *Arch. Phys Med Rehabil* 1998;79:1415-1420.
 75. Usuba M, Akai M, Shirasaki Y. Effect of Low Level Laser Therapy (LLLT) on Viscoelasticity of the contracted Knee Joint: Comparison with Whirlpool Treatment in Rats. *Lasers in Surgery and Medicine* 1998;22:81-85.
 76. Fork RL. Laser stimulation of nerves cells in aplysia. *Science* 1971;171:907-908.
 77. Walker JB, Akhanjee LK. Laser-Induced Somatosensory Evoked Potentials: Evidence of Photosensitivity in Peripheral Nerves. *Pain Research* 1985;344:281-285.
 78. Cambier D, Blom K, Witvrouw E, Ollevier G, De Muynck M, Vanderstraeten G. The influence of low intensity infrared laser irradiation on conduction characteristics of peripheral nerve: A randomised, controlled, double blind study on the sural nerve. *Lasers in Medical Science* 2000;15 (3):195-200.
 79. Rallis-Tena M, Spruance-Spotswood L. Low-intensity laser therapy for recurrent herpes labialis. *Journal of Investigative Dermatology* 2000;115(1):131-132.
 80. Bernal G. Helium Neon and Diode laser therapy is an effective adjunctive therapy for facial paralysis. *Laser Therapy* 1993;5(6):381-385.
 81. Murakami F. Diode low reactive level laser therapy and stellate ganglion block compared in the treatment of facial paralysis. *Laser Therapy* 1993;5(3):131-138.
 82. Padua L, Padua R, Moretti C, Nazzaro M, Tonali P. Clinical outcome and neurophysiological results of low-power laser irradiation in carpal tunnel syndrome. *Lasers in Medical Science* 1999;14(3):196-202.
 83. Piasecka A, Leyko W, Krajewska E, Bryszewska M. Effect of combined treatment with perindoprilat and low-power red light laser irradiation on human erythrocyte membrane fluidity, membrane potential and acetylcholinesterase activity. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 2000;60(5):395-402.
 84. Borges DS, Moretti JA, Parizotto NA, Chagas EF. Influência do laser de arseneto de gálio (AsGa) sobre a dor no modelo experimental de contorção abdominal em camundongos. *Revista Brasileira de Fisioterapia* 1996;1:1-7.
 85. Schaffer M, Bonel H, Sroka R, Schaffer PM, Busch M, Reiser M, Duehmke E. Effects of 780 nm diode laser irradiation on blood microcirculation: Preliminary findings on time-dependent T1-weighted contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology* 2000;54(1):55-60.
 86. 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. *Physical Therapy* 1999;79:839-846.
-