

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**UTILIDADE TERAPÊUTICA E BENEFÍCIOS DA LASERTERAPIA DE BAIXA
POTÊNCIA NA REPARAÇÃO TECIDUAL: REVISÃO DE LITERATURA.**

Bruna Schneider Vicente

Porto Alegre

2019/2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**UTILIDADE TERAPÊUTICA E BENEFÍCIOS DA LASERTERAPIA DE BAIXA
POTÊNCIA NA REPARAÇÃO TECIDUAL: REVISÃO DE LITERATURA.**

Autor: Bruna Schneider Vicente

**Trabalho apresentado à Faculdade de
Veterinária como requisito parcial para a
obtenção da graduação em Medicina
Veterinária**

Orientador: Prof. Rui Fernando Felix Lopes

Porto Alegre

2019/2

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor, por sempre me incentivarem e pela compreensão, principalmente nos momentos de ausência, nesses seis anos de graduação.

À Valentinne e à Silvana, minha segunda família, pela amizade e amor que cultivamos nos últimos 17 anos.

Ao Pedro por todo amor, incentivo e companheirismo, por compreender os momentos de ausência e os dias de cansaço extremo e por sempre buscar novas maneiras de me fazer sorrir.

À Raisa, meu “Chris e Greg”, minha dupla inseparável, por toda amizade que construímos dentro e fora da Faculdade de Veterinária.

Aos amigos que cultivei na Faculdade de Veterinária, especialmente Gabriela e Ederson.

Aos colegas de plantão, estagiários e veterinários, pelos ensinamentos, amizade e companheirismo, por alegrarem meus plantões e tornarem a rotina de trabalho mais divertida.

Ao Professor Rui Lopes por me acolher na monitoria de Histologia Veterinária Especial em 2016 e 2017, por me orientar e por ser um professor que ama o que faz, isso faz toda a diferença.

RESUMO

O laser de baixa potência é uma fonte de luz artificial, utilizada pela primeira vez como modalidade terapêutica há 30 anos, porém somente na última década o uso desta modalidade tornou-se tão difundido. Os principais motivos desta mudança são: a maior conscientização e implantação de serviços de reabilitação veterinária, disponibilidade de recursos educacionais sobre lasers terapêuticos e o desenvolvimento de produtos e protocolos que promoveram resultados clínicos mais consistentes. A laserterapia é uma opção de tratamento não invasiva e livre de fármacos, atingindo um nicho de mercado e uma demanda por tratamentos não farmacológicos. A luz artificial do laser possui características específicas que as diferenciam da luz natural: ela é monocromática, coerente e colimada. Estas características asseguram que a absorção dos raios pela pele gere pouco ou nenhum efeito colateral, não provoque efeitos decorrentes de superaquecimento e nem cause outros danos teciduais. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso da laserterapia de baixa potência no processo de reparação tecidual, como alternativa terapêutica na rotina clínica e cirúrgica do médico veterinário, correlacionando os possíveis tecidos onde pode ser utilizada e as espécies que podem ser beneficiadas por esta modalidade terapêutica, bem como apontar outros benefícios não diretamente ligados à reparação tecidual, mas que também têm um papel importante durante este processo.

Palavras-chave: laser de baixa potência, reparação tecidual, reabilitação.

ABSTRACT

Low-level laser is an artificial light that has been used for the first time as a therapeutic modality 30 years ago, however only in the last decade this modality became so widespread. The main reasons for this recent change were: increased awareness and deployment of veterinary rehabilitation services, availability of educational resources on therapy lasers and development of products and protocols that have promoted more consistent clinical results. Laser therapy is a non-invasive and non-pharmacologic therapeutic modality, appealing to a market segment and demand for non-pharmacological treatments. Laser artificial light has specific characteristics that differentiate it from natural light: it is monochrome, coherent and collimated. These characteristics ensure that the absorption of the rays by the skin generates little or no side effects, does not cause effects from overheating, nor does it cause other tissue damage. This paper aims to perform a literature review on the use of low-level laser therapy in the tissue repair process, as a therapeutic alternative in the veterinarian's clinical and surgical routine, correlating the possible tissues where it can be used and the species that may benefit from this therapeutic modality, as well as pointing out other benefits not directly linked to tissue repair, but which also play an important role during this process.

Keywords: low level laser, tissue repair, rehabilitation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Laser	7
2.1.1	Histórico	7
2.1.2	Formação da luz e funcionamento do aparelho laser	8
2.1.3	Propriedades do laser.....	8
2.1.4	Modos de emissão e cálculo de dose.....	9
2.1.5	Técnicas de aplicação	10
2.1.6	Classificação.....	11
2.2	Fotobiomodulação	11
2.3	Aplicações clínicas do laser de baixa potência	13
2.3.1	Pele e seus anexos	13
2.3.1.1	Cicatrização de feridas	13
2.3.1.2	Classificação de feridas e tratamento	15
2.3.1.3	Outras afecções cutâneas	16
2.3.2	Tecido muscular	17
2.3.3	Tendões	18
2.3.4	Tecido ósseo	19
2.3.5	Sistema nervoso central e nervos periféricos	20
2.4	Laserterapia no controle da dor e da inflamação	22
2.5	Contraindicações	23
3	CONCLUSÕES	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

LASER é uma sigla para o termo inglês *light amplification by stimulated emission of radiation* (luz amplificada pela emissão estimulada de radiação). Os tipos de lasers utilizados na reabilitação, comumente conhecidos como terapia com laser de baixa potência, são também denominados lasers frios (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008).

Os lasers são fontes artificiais, que emitem radiação na forma de fluxo de fótons. A luz do laser é monocromática, coerente e colimada. Essas características asseguram que a absorção dos raios na terapia com laser de baixa potência (LLLT, sigla do termo inglês, *low-level laser therapy*) pela pele gere pouco ou nenhum efeito colateral (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008), não provocando efeitos decorrentes de superaquecimento nem outros danos teciduais.

Os efeitos biológicos da radiação laser, convencionalmente, podem ser divididos em curto e longo prazo. As respostas à curto prazo são aquelas nas quais o efeito pode ser observado poucos segundos ou minutos após a radiação. Já os efeitos observados em longo prazo são aqueles que ocorrem horas ou ainda dias após o final da irradiação e, usualmente, envolvem nova biossíntese celular (ANDRADE; CLARK; FERREIRA, 2014).

A presente revisão bibliográfica objetiva reunir informações que possibilitem compreender e avaliar os mecanismos através dos quais a laserterapia de baixa potência promove a reparação tecidual, os possíveis tecidos onde pode ser utilizada e as espécies que podem ser beneficiadas. Além disto, pretende-se buscar subsídios que permitam indicar a laserterapia como uma prática terapêutica alternativa na rotina clínica e cirúrgica do médico veterinário, bem como apontar outros benefícios não diretamente ligados à reparação tecidual, mas que também tem um papel importante durante este processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Laser

2.1.1 Histórico

A história do desenvolvimento da laserterapia de baixa potência (LLLT, sigla do termo inglês, *low-level laser therapy*) é composta por duas linhas do tempo distintas, uma sendo o surgimento da Fototerapia (*Light therapy*) e a outra o desenvolvimento dos aparelhos laser.

A Fotomedicina tem início há três mil anos na Índia, onde a luz solar era utilizada com propósitos terapêuticos como descrito nos textos sagrados hindus *Athara Veda*, datados em 1400 a.C. (HAMBLIN, 2016). Herodotus reconheceu a importância do sol para o crescimento dos ossos, os físicos Celsus (grego) e Galeno (romano) recomendavam banhos de sol para o tratamento de epilepsia, artrite e asma (MIKAIL, 2009).

No século XVIII começam a surgir alguns relatos na literatura médica indicando que a luz solar poderia ser utilizada como tratamento de uma grande variedade de doenças (HAMBLIN, 2016). Isso encorajou os cientistas do Século XIX a investigarem os efeitos desta forma de radiação. Em 1877, Downs e Blunt descobriram o efeito bactericida da luz do sol, esses achados levaram à utilização da radiação ultravioleta (UV) para a esterilização até os dias de hoje (MIKAIL, 2009).

O final do século XIX era visto como a era dos “raios e ondas” com a descoberta do raio-X e radioatividade. Abriu-se então um grande espectro de radiação eletromagnética, com comprimentos de onda maiores e menores que a luz visível (HAMBLIN, 2016). Albert Einstein publicou a teoria dos quanta, em 1917, que explicava, pela primeira vez, o princípio da emissão estimulada de fótons, ou seja, como um átomo poderia produzir energia. Entretanto a produção de aparelhos com essa finalidade só ocorreu 40 anos mais tarde (MIKAIL, 2009).

O primeiro aparelho foi produzido por Gordon *et al.*, em 1955, na Columbia University, e foi chamado de MASER (*microwave amplification by stimulated emissions of radiation*), pois não emitia radiação na faixa visível do espectro eletromagnético. No entanto, em 1960, o Dr. Theodore Maiman, do Hughes Laboratories na Califórnia (EUA), utilizou, pela primeira vez, um aparelho construído à base de Cristal Rubi, que emitia radiação na faixa

visível do espectro. A partir disto, os aparelhos receberam a denominação LASER (*light amplification by stimulated emission of radiation*) (MIKAIL, 2009).

2.1.2 Formação da luz e funcionamento do aparelho laser

A luz é uma forma de energia eletromagnética que é transmitida por partículas de energia denominadas fótons. Esses fótons se deslocam em ondas no espaço (MIKAIL, 2009).

Quando um átomo recebe energia, o elétron pode saltar para uma camada mais externa. Os elétrons de um átomo excitado tendem a voltar para as camadas de origem e, quando isto ocorre, ele devolve, sob forma de onda eletromagnética, a energia anteriormente recebida (DINIZ, 2018). A passagem de um estado atômico excitado para o estado de repouso ocorre por meio de liberação de fótons de luz, isto é, emissão espontânea de radiação. Além da energia externa, esses fótons também excitam os átomos vizinhos, ou seja, causam a amplificação da luz (DINIZ, 2018).

Os lasers são fontes artificiais, que emitem radiação na forma de fluxo de fótons (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008). Um aparelho de emissão de raios laser tem três componentes principais: uma fonte de energia, um meio de amplificação e uma cavidade ressonante delimitada por espelhos (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

O processo de emissão da luz começa com a ativação de elétrons em um componente do aparelho de emissão de laser (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008). O raio laser é gerado a partir de uma câmara fechada e necessita de um princípio ativo (*lasing medium*) que pode ser sólido, como o rubi, gasoso, como o hélio-neônio carbono, ou ainda diodo como o arsenieto de gálio (DINIZ, 2018). Essa substância deve ser capaz de absorver energia de uma fonte externa, mudar sua configuração subatômica e emitir fótons (MIKAIL, 2009).

2.1.3 Propriedades do laser

A luz laser é monocromática, coerente e colimada. Define-se como monocromática aquela luz que possui apenas um comprimento de onda, portanto, uma única cor (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008). O comprimento de onda é diretamente proporcional à profundidade de penetração da luz, sendo expressa em nanômetros (nm) (DINIZ, 2018). Os comprimentos de onda mais utilizados são o vermelho ou infravermelho (600nm a 1000nm), porém não há um consenso de qual seria o comprimento de onda ideal (CARROLL, 2016).

Define-se como propriedade de coerência o trajeto de fótons em uma única fase e na mesma direção (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008). É definida como colimada, porque todos os fótons são emitidos no mesmo comprimento de onda, e essas ondas se deslocam em fases, ou seja, são sincrônicas no tempo e no espaço (MIKAIL, 2009). Essas características asseguram que a absorção dos raios da LLLT pela pele gere pouco ou nenhum efeito colateral, não provoque efeitos decorrentes de superaquecimento, nem cause danos teciduais (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008).

2.1.4 Modos de emissão e cálculo de dose

Os aparelhos podem emitir a luz no modo contínuo ou no modo pulsado. No modo contínuo a potência que sai do aparelho é emitida de forma constante e, dessa forma, a potência do raio vai ser igual à potência do aparelho (MIKAIL, 2009), ou seja, uma potência constante durante o período em que a unidade é ativada (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

No modo pulsado, a emissão do raio sofre períodos de interrupção durante o tratamento, portanto, a potência do raio vai ser menor do que a do aparelho (MIKAIL, 2009). O modo pulsado não afeta a penetração no tecido e pode ser visto como uma maneira de retardar a administração da dose. Existem dois modos pulsados: pulsos fechados e super pulsos (RIEGEL; GODBOLD, 2017a). Se um laser for definido no modo de pulso fechado, ele emitirá luz em um ciclo de trabalho de 50% com a energia ligada e 50% com ela desligada. A emissão super pulsada é uma série de pulsos de luz intensos e extremamente curtos, seguidos por um intervalo. Como cada emissão de super pulso é muito curta, a potência média de uma série é baixa (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

A potência de saída do aparelho de laser é medida em miliWatts (mW) ou Watts (W) (DINIZ, 2018). Argumenta-se que maior potência significa que a dose necessária é alcançada em menos tempo, e matematicamente isso é verdade; no entanto, muitas vezes foi demonstrado que existe um "efeito da taxa de dose" e, se a dose é administrada muito rapidamente, os efeitos benéficos são reduzidos (CARROLL, 2016).

De acordo com Mikail (2009), para o cálculo da potência do raio, utiliza-se a seguinte fórmula: Potência do raio (W) = Frequência (Hz) x Potência do aparelho (W) x Largura do pulso (nanossegundos; $1\text{ns} = 10^{-9}$ segundo).

A dose do laser é calculada em Joules (J) por cm^2 , sendo necessário conhecer a área afetada, bem como a potência do aparelho, para calcular o tempo total de cada aplicação. Em

animais de pele e/ou pelos escuros, recomenda-se aumentar a dose em 25% pela absorção da luz pelos pigmentos (DINIZ, 2018).

Para calcular o tempo total de aplicação, Mikail (2009) sugere a utilização da seguinte fórmula: Tempo de aplicação = [Dose desejada (J/cm^2) / Potência do raio (W)] x Área de feixe (cm^2).

A área do feixe é difícil de ser medida e, frequentemente não é relatada, pois cada *lasing medium* tem áreas de feixe com diferentes características. A maneira correta de medir a área do feixe é utilizando um perfilador de feixes (CARROLL, 2016).

2.1.5 Técnicas de aplicação

O laser de baixa potência pode ser aplicado na forma pontual ou na forma de varredura (MIKAIL, 2009). A maioria dos dispositivos é utilizado em contato com a pele, não podendo ter nenhum tipo de vestuário, bandagens e curativos sobre a área a ser tratada (HAMBLIN, 2016). A área ser tratada deve estar limpa e livre de medicações, principalmente, aquelas que apresentam cor, pois a coloração pode interferir na penetração da radiação (MIKAIL, 2009).

Uma quantidade significativa de energia dos fótons é perdida quando utilizado o modo de varredura, assim como a pele e pelos refletem e absorvem parte da energia. Quando possível, é indicado o uso do método pontual (de contato). Poucos fótons serão refletidos com a técnica pontual e a compressão aplicada nesta técnica empalidece o tecido, reduzindo a absorção acidental por cromóforos no sangue (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

Independente da técnica de aplicação, o aparelho deve ser posicionado perpendicularmente à área-alvo. Na técnica pontual, o aparelho é colocado próximo ou em contato com a área-alvo e mantida no local até que a dosagem adequada seja administrada. Se a área-alvo for maior que a área de feixe, o aparelho deve ser movido adjacente ao primeiro ponto e o procedimento repetido até que toda área receba a dosagem apropriada (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

Quando utilizada a técnica de varredura, o aparelho também será posicionado próximo ou em contato com a área-alvo, mas será constantemente movida sobre a área-alvo na velocidade de 3-7cm/segundo. Utiliza-se um padrão de varredura repetitivo com uma série de movimentos paralelos para frente e para trás, alternando com uma série de movimentos paralelos a 90° (RIEGEL; GODBOLD, 2017a).

2.1.6 Classificação

Os tipos de lasers utilizados na reabilitação, comumente conhecidos como laser de baixa potência, são também denominados lasers frios. Os lasers cirúrgicos têm alta potência e são capazes de causar destruição térmica (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008).

Lasers são categorizados de acordo com o risco de lesão, dano ou fogo. Eles são definidos no padrão acordado internacionalmente conforme a norma técnica 60825 da *International Electrotechnical Commission* (IEC) ou pelo padrão estadunidense, de acordo com as diretrizes Z136 da *American National Standards Institute* (ANSI) (CARROLL, 2016).

Assim, de acordo com Carroll (2016) os lasers podem ser agrupados da seguinte forma: a) os da Classe 1/1M são considerados não perigosos; o perigo aumenta se visualizados com auxílios ópticos, incluindo lupas, binóculos ou telescópios; são utilizados em impressoras laser e leitores de DVD; b) os da Classe 1/2M são perigosos quando visualizados diretamente por longos períodos de tempo se utilizados auxílios ópticos; são utilizados em leitores de código de barra; c) os da Classe 3R podem ser momentaneamente perigosos quando visualizados diretamente ou quando o feixe é visualizado diretamente, e o risco de dano aumenta quando utilizado auxílio óptico; são utilizados em ponteiros laser; d) os da Classe 3B são lasers emitindo 5mW a 500mW; são perigosos quando o feixe é visualizado diretamente, mas normalmente seguros ao visualizar reflexos difusos; são os normalmente utilizados para LLLT; e) os da Classe 4 normalmente emitem mais de 500mW; podem cortar, queimar e iniciar fogo; são os utilizados em cirurgia.

2.2 Fotobiomodulação

Postula-se que a fotobiomodulação da atividade celular por terapia a laser de baixa potência seja provocada por diversos mecanismos inter-relacionados, que acabam resultando em melhor reparo tecidual, resolução mais rápida do processo inflamatório e redução da dor (PEPLOW; CHUNG; BAXTER, 2010).

O mecanismo de ação pelo qual o laser produz efeito bioestimulador envolve respostas celulares que dependem da combinação dos parâmetros utilizados como comprimento de onda, energia, potência, área de feixe, técnica de aplicação, tempo de irradiação e intervalos de tratamento (FREITAS; HAMBLIN, 2016b).

Quando a energia é liberada pelo aparelho, ela será absorvida pelos tecidos e criará uma série de efeitos biológicos. A absorção do laser acontece por meio de receptores

primários e secundários. Os receptores primários seriam os cromóforos naturais e os secundários seriam as estruturas que absorvem a energia entregue ao tecido por intermédio dos campos eletromagnéticos (MIKAIL, 2009). Cromóforos diferentes absorvem diferentes comprimentos de onda (CARROLL, 2016).

As mitocôndrias são os principais fotorreceptores celulares. Os fótons são absorvidos pelos cromóforos mitocondriais na pele, causando um aumento na atividade da cadeia respiratória, aumentando os níveis de adenosina trifosfato (ATP) e a liberação de óxido nítrico (NO) e espécies reativas de oxigênio (ERO) (KUFLER, 2016). Alterações funcionais que ocorrem em resposta à irradiação estão relacionadas à fosforilação oxidativa, incluindo modulação do potencial da membrana mitocondrial e metabolismo e ingestão de cálcio (ANDERS; KETZ; WU, 2017).

A citocromo C oxidase (Cox) é a enzima terminal da cadeia de transporte de elétrons, mediando a transferência de elétrons do citocromo C para o oxigênio molecular. Várias linhas de evidência mostram que a Cox atua como um fotorreceptor e transdutor de foto-sinais nas regiões vermelha e infra-vermelha do espectro da luz (FREITAS; HAMBLIN, 2016b).

O laser de baixa potência parece aumentar a disponibilidade de elétrons para a redução do oxigênio molecular no centro catalítico da Cox, aumentando o potencial da membrana mitocondrial e os níveis de adenosina trifosfato (ATP), adenosina cíclica monofosfato (AMPC) e também espécies reativas de oxigênio (ERO) (FREITAS; HAMBLIN, 2016b).

Os níveis de ATP controlam o nível de AMPC e carreadores conduzidos por ATP (Na^+/K^+ ATPase e bombas de íons cálcio). O ATP estimula vias intracelulares, como as proteínas quinases ativadas por mitógenos (MAPKs), e pode atuar em conjunto com fatores de crescimento, como o fator de crescimento fibroblástico 2 (FGF2), o fator de crescimento epidérmico (EGF) e o fator de crescimento nervoso (NGF). Portanto, os níveis de ATP podem ter efeitos profundos em quase todos os processos bioquímicos importantes (ANDERS; KETZ; WU, 2017).

O metabolismo do oxigênio produz moléculas quimicamente reativas e contendo oxigênio, conhecidas coletivamente como ERO. Altas concentrações de ERO podem causar danos oxidativos às células. No entanto, em concentrações mais baixas, essas moléculas têm efeitos benéficos. Promovem a proliferação celular e servem como importantes moléculas de sinalização para expressão gênica, crescimento celular e ativação do fator de transcrição (ANDERS; KETZ; WU, 2017).

O óxido nítrico (NO) é um gás de radicais livres que regula a circulação e atua como um neurotransmissor essencial. É gerado a partir do aminoácido L-arginina pela enzima óxido

nítrico sintase (NOS). Os efeitos benéficos do NO incluem alívio da dor, resolução do edema, melhoria da drenagem linfática e melhor cicatrização de feridas por angiogênese (ANDERS; KETZ; WU, 2017).

A cascata de efeitos metabólicos provocados pela laserterapia inclui aumento do cálcio, secreção de fatores de crescimento, ativação de enzimas e outras substâncias como segundo mensageiro. Aumentos subsequentes na atividade celular e mitose *in vitro* e *in vivo* incluem neutrófilos, macrófagos, fibroblastos, mastócitos, células endoteliais e queratinócitos (KUFLER, 2016).

Por estimular o metabolismo e a multiplicação celular, o laser apresenta um potencial para acelerar o reparo tecidual e a multiplicação celular (MILLIS; FRANCIS; ADAMSON, 2008).

2.3 Aplicações clínicas do laser de baixa potência

2.3.1 Pele e seus anexos

Uma das utilizações mais populares e estudadas da laserterapia é na cicatrização de feridas e outras condições de natureza dermatológica. Na verdade, a cicatrização de feridas foi descrita como seu conceito fundador. A laserterapia será, na maioria das vezes, utilizada como tratamento adjunto de outros protocolos padrão (BRADLEY, 2017).

2.3.1.1 Cicatrização de feridas

A ferida é uma abertura na pele e pode ser causada por trauma, cirurgia, doenças arteriais e venosas, edema ou pressão. Geralmente, as feridas cicatrizam dentro de algumas semanas; no entanto, problemas de circulação, de síntese de colágeno ou doenças auto-imunes podem atrasar o processo de cicatrização. A cicatrização de feridas pode ser aprimorada pela LLLT (RAMOS; RAMOS; SOUSA, 2016).

A cicatrização de feridas ocorre em três fases principais: inflamatória, de epitelização, e de contração e remodelamento (MIKAIL, 2009). Para obter os melhores resultados, uma série bem organizada de eventos precisa ocorrer, incluindo coagulação, inflamação, formação de tecido de granulação, síntese de colágeno, epitelização e remodelação de tecidos. (BRADLEY, 2017).

Segundo Bradley (2017), os processos importantes que ocorrem na cicatrização de feridas são: a) formação de um tampão contendo plaquetas e fibrina no local da ferida; b) invasão da ferida por neutrófilos, monócitos e macrófagos; c) proliferação e migração de queratinócitos da borda da ferida para iniciar a reepitelização da ferida; d) proliferação de fibroblastos na borda dérmica; e) formação de tecido de granulação, compreendendo fibroblastos, macrófagos, linfócitos, células plasmáticas e uma matriz extracelular (MEC) contendo fibras de colágeno e componentes macromoleculares, como glicoproteínas, bem como a formação de novos vasos sanguíneos; f) maturação do tecido de granulação e fibras colágenas e vascularização do tecido da ferida.

Especificamente para a cicatrização de feridas, os efeitos de fotobiomodulação mais descritos estão relacionados à migração, proliferação e angiogênese celular. Esses processos podem ser regulados por muitos fatores de crescimento e estão conectados à sinalização de óxido nítrico (NO), cuja liberação e produção podem ser moduladas pelo laser. Muitas funções nas paredes vasculares são reguladas pelo NO, incluindo supressão da resposta inflamatória, vasodilatação, angiogênese, inibição da apoptose e migração celular. A laserterapia de baixa potência pode melhorar o metabolismo celular, a fim de eliminar patógenos, limpar restos celulares e estimular a neovascularização, o que facilita a migração de células imunes e o transporte de oxigênio e nutrientes para o local da ferida (RAMOS; RAMOS; SOUSA, 2016).

Em animais de laboratório, a bioestimulação do processo de cicatrização de feridas resulta na estimulação da proliferação de fibroblastos, aumento significativo na reepitelização, aumento da síntese de colágeno e formação de tecido de granulação, aceleração do fechamento da ferida, resistência à tração das cicatrizes e recuperação mais rápida de queimaduras. A terapia a laser estimula um melhor alinhamento e organização das fibras de colágeno, e esta é importante para a força e elasticidade da cicatrização de feridas (BRADLEY, 2017).

Hussein *et al.* (2011) verificaram em um experimento com coelhos, através de exame histopatológico de feridas cirúrgicas, que aqueles tratados com laserterapia de baixa potência obtiveram uma resposta imunológica mais rápida, pelo aparecimento precoce de neutrófilos, uma maior proliferação de fibroblastos e conseqüente maior e precoce formação de colágeno, bem como contração da ferida quando comparado ao grupo controle.

Araújo *et al.* (2008) relataram o uso de laserterapia sobre úlceras de pressão em um equino, utilizando um laser de arsenieto de gálio, na dosagem de 4J/cm², realizando um total

de 16 sessões em 8 semanas. De acordo com os autores, o processo de cicatrização já podia ser percebido, pela redução do tamanho da ferida na terceira sessão de laserterapia.

De maneira geral, o laser aumenta o fluxo sanguíneo do local, aumentando conseqüentemente a oxigenação da área afetada que auxiliará na reparação tecidual. O efeito do laser no fluxo sanguíneo se estende mesmo após o término de exposição à luz; este é assegurado por um aumento na angiogênese promovida pelo fator de crescimento fibroblástico e fator de crescimento endotelial vascular. O aumento da oxigenação também atua contra infecções, onde muitos patógenos têm crescimento reduzido em ambientes ricos em oxigênio, além do laser aumentar a atividade fagocítica de macrófagos, a produção de ERO e modular a resposta imune (BRADLEY, 2017).

2.3.1.2 Classificação de feridas e tratamento

Feridas cirúrgicas e feridas limpas poderão ser beneficiadas por uma única sessão de laserterapia. Deve-se levar em consideração uma margem de tecido íntegro que será coberto pelo tratamento (BRADLEY, 2017). Wardlaw *et al.* (2019) relataram resolução mais rápida e uma melhor estética da cicatriz cirúrgica de cães da raça Dachshund, pós-hemilaminectomia, quando tratados com laserterapia de baixa potência (8J/cm² diariamente por sete dias) no período pós-cirúrgico.

Feridas crônicas, granulomatosas e contaminadas exigirão um tratamento com laserterapia mais agressivo e prolongado. Recomenda-se iniciar um tratamento diário concomitantemente com um protocolo padrão, no qual dosagens altas (4-6J/cm²) serão necessárias (BRADLEY, 2017).

Em queimaduras, a gravidade da lesão é estimada pelo grau ou profundidade em conjunto com a porcentagem de área superficial afetada (PAVLETIC, 2018). Nestas é recomendado iniciar o tratamento com uma dosagem baixa (2J/cm²) (BRADLEY, 2017).

Deslucamento de membros, normalmente, apresentam inicialmente um grau de contaminação diminuto; contudo, sem o adequado manejo são suscetíveis à infecção. Na maioria das vezes, as lesões são extensas e bastante complexas (LOPES, 2016). É necessária uma terapia prolongada por várias semanas concomitantemente a protocolos padrão. O laser irá melhorar a formação de tecido de granulação, prevenir infecções e melhorar a taxa e qualidade da epitelização (BRADLEY, 2017).

No caso de *flaps* ou enxertos serem utilizados, a laserterapia irá aumentar a chance de sobrevivência e proliferação do enxerto, bem como cicatrizar o local doador. Neste tipo de

ferida deve-se considerar uma margem ampla de tecidos íntegro para estimular a vasculatura; também pode-se aplicar o laser no centro vascular mais próximo ao local para a mesma finalidade (BRADLEY, 2017).

Algumas feridas e danos nos tecidos resultam de vasculite ou dano vascular e levam à isquemia do tecido. A terapia a laser é indicada, pois melhora o fluxo sanguíneo e a circulação através dos mecanismos discutidos anteriormente: gradientes térmicos, vasodilatação e angiogênese (BRADLEY, 2017).

Ainda, segundo Bradley (2017), durante o processo de cicatrização das feridas acima citadas se não for notada uma melhora nas primeiras quatro sessões de laserterapia, a dose deverá ser elevada em 25-50% por sessão, até que se note melhora.

2.3.1.3 Outras afecções cutâneas

Core e Godbold (2017) recomendam a laserterapia como terapia adjuvante para dermatite por lambadura ou dermatite psicogênica, eczema úmido, abscesso do saco anal, otohematoma, foliculite bacteriana, otite externa, pênfigo, fistulas perianais e pododermatites, por seus efeitos imunomoduladores, por acelerar o processo de cicatrização, aumentar a circulação sanguínea do local afetado, reduzir dor, edema e inflamação (sendo uma boa alternativa ao uso de corticoesteróides), diminuir prurido e acelerar crescimento dos pelos.

Muitas doenças auto-imunes têm um componente dermatológico. A terapia sistêmica é sempre garantida para ajudar a regular o sistema imunológico, e a laserterapia pode ser usada para mitigar os efeitos dermatológicos locais, porém outros tratamentos tópicos e imunomoduladores devem ser usados em conjunto. Pode-se utilizar a laserterapia como tratamento profilático de rotina (BRADLEY, 2017).

Alzamora Filho *et al.* (2018) utilizaram a laserterapia associada à terapia fotodinâmica antimicrobiana (laser diodo irradiado sobre solução de azul de metileno) em um caso de dermatite interdigital infecciosa ovina. Neste, observou-se uma resolução da dermatite em curto período, não sendo necessário uso de fármacos antimicrobianos, reepitelização do espaço interdigital, muralha e sola, bem como ausência de claudicação cinco dias após o início do tratamento.

Sellera *et al.* (2014) também utilizaram terapia fotodinâmica antimicrobiana (laser diodo irradiado sobre solução de azul de metileno) como terapia adjuvante à laserterapia para solucionar, em menor período quando comparado ao uso exclusivo dos protocolos padrão, lesões de pododermatite em pinguins no Aquário Municipal de Santos (Santos, Brasil).

Kraut *et al.* (2013) relataram o uso bem-sucedido da laserterapia em uma tartaruga-de-carapaça-mole-chinesa (*Pelodiscus sinensis*) para a resolução de úlceras de pele e de casco causadas por *Citrobacter spp.*

2.3.2 Tecido muscular

A lesão muscular pode ocorrer em muitas situações diferentes, como trauma direto, disfunção neurológica ou defeitos genéticos. A cicatrização muscular após uma lesão é uma interação complexa das células musculares, regulada por uma série de moléculas de sinalização celular, citocinas, proteínas e fatores de crescimento, que induzem ou modulam a transformação de células miogênicas em músculos maduros levando à restauração da arquitetura e função do tecido (RODRIGUES *et al.*, 2013).

O primeiro passo do processo de cicatrização muscular é a fase inflamatória, que começa imediatamente após a lesão, com a chegada de macrófagos e o recrutamento de neutrófilos e monócitos. Após a fase inflamatória, inicia-se a regeneração e remodelação do tecido, com o recrutamento de células satélites, responsáveis pela manutenção pós-natal, crescimento, reparo e regeneração dos músculos esqueléticos (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Em fibras musculares lesionadas, observa-se uma redução na população de mitocôndrias, além do influxo de cálcio causado pela ruptura do sarcolema que inibe a respiração mitocondrial, reduzindo em ambas as situações, a disponibilidade de adenosina trifosfato (ATP). Os fótons da LLLT melhoram significativamente a produção de ATP e sua maior disponibilidade reativa nos processos celulares que foram inibidos devido a alterações fisiológicas desencadeadas pela lesão, como a síntese de DNA, RNA e proteínas, que desempenham um papel importante nos processos de proliferação e recuperação muscular (SANTOS *et al.*, 2010).

A LLLT favorece a regeneração do tecido muscular através da ativação de células satélites, introduzindo-as no ciclo celular que promove sua proliferação e progressão para o *status* de novas fibras musculares (SANTOS *et al.*, 2010).

No experimento desenvolvido por Rodrigues *et al.* (2013), dois grupos de ratos Wistar com lesão muscular, foram submetidos a dois protocolos de dose diferentes, 10 e 50 J/cm², sendo a primeira sessão 48 horas após a lesão, seguida por sessões diárias por cinco dias. A análise histopatológica revelou que a laserterapia, principalmente na dose de 50J/cm², acelerou o processo muscular regenerativo, ativando as células inflamatórias no primeiro período de tratamento; de acordo com os autores, esse fato pode resultar em recrutamento

premature de células satélites. Além disso, foi encontrada uma melhor organização do tecido no local lesionado nos animais irradiados.

2.3.3 Tendões

Tendões são estruturas especializadas destinadas a suportar cargas de força, transmitindo-as dos músculos para as inserções ósseas (FREITAS; HAMBLIN, 2016a). Os tendões são compostos de colágeno, principalmente do tipo I, e sua principal função é a resistência à tração. O colágeno tipo III está presente no início da fase de cicatrização; sua função mais importante é fornecer resistência mecânica à matriz recém-formada. O colágeno é responsável por manter a integridade e a força do tecido lesionado (CARVALHO *et al.*, 2016). Juntamente com o colágeno, os proteoglicanos desempenham um papel importante na composição dos tendões e na resistência à tração (FREITAS; HAMBLIN, 2016a).

O tendão é reparado em três fases: a) a fase inflamatória, com a proliferação de capilares e migração de fibroblastos, chamados tenócitos ou tendinócitos, que fazem deposição de matriz extracelular; b) a fase proliferativa, quando inicia a produção de colágeno tipo III; c) a fase de remodelação, onde ainda há produção de colágeno, porém a presença de fibroblastos começa a diminuir gradualmente (FREITAS; HAMBLIN, 2016a).

A cicatrização do tendão, mesmo quando bem-sucedida, não resulta em tendão normal, o que torna obrigatória a busca de técnicas para acelerar e melhorar esse tipo de cicatrização (ABID; ABID, 2015). Embora o processo cicatricial nos tendões possa se remodelar e mimetizar a arquitetura de um tendão normal, dificilmente irá reproduzir a conformação prévia ou retornará às suas propriedades mecânicas originais (MILLER, 2017).

O tratamento de tendinopatias em pacientes veterinários é idealmente realizado em conjunto com um excelente programa de fisioterapia. A dosagem e a frequência do tratamento são típicas das condições músculo-esqueléticas dos tecidos profundos, levando-se em consideração a localização (profundidade) do tendão que está sendo tratado e dos tecidos moles associados, ao se selecionar os parâmetros de potência (MILLER, 2017).

No estudo realizado por Abid e Abid (2015) na reparação de tendão de ratos machos, os autores observaram que o uso de laserterapia acelerou a reparação dos tendões, diminuindo o tempo de recuperação necessário.

Mikail (2009) observou que o laser de arsenieto de gálio, na dose de 20J/cm², mostrou-se efetivo em acelerar a reparação da lesão tendínea em membros torácicos de equinos, lesão comum em equinos atletas. Neste estudo, os animais foram avaliados após 30

dias do aparecimento da lesão, sendo que a última sessão de laser ocorreu no dia 15, mostrando que o laser apresenta efeitos secundários e algumas ações podem ocorrer dias após a aplicação.

2.3.4 Tecido ósseo

O laser de baixa potência também pode ser usado para tratar fraturas, recém-fixadas cirurgicamente ou com atraso/não união. Além dos aspectos de alívio da dor que o laser traz para esses casos, há muitas evidências na literatura para seu uso em situações em que a cicatrização óssea é desejada (MILLER, 2017).

O osso é um tecido conjuntivo especializado composto por 33% de matriz orgânica, compreendendo 28% de colágeno tipo I e o restante de proteínas não colágenas, dispostos para formar ossos rígidos e resistentes. O tecido ósseo é uma estrutura adaptável, que se desenvolve de acordo com os tipos de forças mecânicas recebidas e suas necessidades metabólicas (PINHEIRO; SOARES; MARQUES, 2016).

O reparo ósseo é diferente da cicatrização dos tecidos moles devido à morfologia e à composição. É mais lento e compreende fases consecutivas, que podem diferir dependendo do tipo e intensidade do trauma, bem como da extensão do dano ao osso (PINHEIRO; SOARES; MARQUES, 2016).

A LLLT estimula a formação de nódulos ósseos, acelera a proliferação e diferenciação celular, aumento da atividade da fosfatase alcalina (ALP) e a expressão de osteocalcina, fator de transcrição associado à diferenciação de osteoblastos (RUNX-2) e proteína morfogenética óssea (BMP) em osteoblastos (TIM *et al.*, 2013).

RUNX-2 é predominantemente expresso em osteoblastos e é obrigatória para o comprometimento dos progenitores mesenquimais a linhagem osteoblástica, é essencial para a regulação positiva de outros marcadores osteoblásticos (osteocalcina, osteopontina, fosfatase alcalina e colágeno tipo I). BMP é responsável por um recrutamento precoce de células que acarreta maior número de osteoblastos maduros e maior deposição de novo tecido ósseo (TIM *et al.*, 2013).

No trabalho realizado por Tim *et al.* (2013), em ratos Wistar, a análise histológica revelou que a laserterapia, melhorou a resposta biológica do osso por estimular deposição e organização de novo tecido ósseo no local da lesão. A presença de RUNX-2 e BMP foi maior no grupo tratado em relação ao controle. Ainda, neste estudo, foi observado um pico de expressão de COX-2, 15 dias após o procedimento; na reparação óssea a COX-2 aumenta a

diferenciação de células-tronco mesenquimais em osteoblastos, em resposta aos sinais osteogênicos.

Sinan, Eesa e Omar (2017) conduziram um estudo em asnos com fratura do osso sesamóide proximal, divididos em três grupos para observar os efeitos do plasma rico em plaquetas e da laserterapia sobre as fraturas. O grupo tratado com laser diodo seguiu o protocolo de três dias de tratamento, em sessões de 15 minutos por dia, e um de descanso, durante três semanas. Na observação clínica, um mês após o procedimento, os animais beneficiados pela laserterapia já conseguiam suportar o seu peso sobre o membro tratado e apresentavam movimentação normal do membro e, em avaliação histopatológica, já apresentavam um maior estreitamento da linha de fratura em relação aos outros grupos.

Em outro experimento, conduzido por Sella *et al.* (2015), a redução do infiltrado inflamatório (dias 13 e 18) nos ratos tratados, levou a supor que esses foram menos afetados pela fase inflamatória do reparo ósseo, permitindo adiantar a fase reparadora e, conseqüentemente, nova formação óssea. A irradiação com laser não eliminou a inflamação; ao contrário, acelerou todas as etapas envolvidas na formação óssea, incluindo essa fase inflamatória. Na borda da fratura, tanto a osteocalcina quanto a osteopontina (proteínas associadas à formação da matriz extracelular e à atividade dos osteoblastos) foram detectadas precocemente nos ratos tratados. Na opinião dos autores, isso é muito importante, pois esses fatores da matriz contribuem para o crescimento, forma e tamanho da matriz óssea e afetam a qualidade da matriz produzida.

2.3.5 Sistema nervoso central e nervos periféricos

O laser adiciona uma nova modalidade de tratamento a várias doenças notoriamente difíceis de tratar, como demência, doença do disco intervertebral e neuropatias periféricas. Sua capacidade de promover a regeneração do tecido neural, juntamente com a diminuição da inflamação, dor e estresse oxidativo, faz dele uma opção terapêutica ideal em doenças neurológicas (GODINE, 2017).

Lesões traumáticas e bioquímicas nos axônios da medula espinhal podem levar à desmielinização, degeneração axonal, morte neuronal e cavitação. Demonstrou-se que o laser é eficaz na redução de citocinas pró-inflamatórias e espécies reativas de oxigênio (ERO) que se infiltram na medula espinhal após lesão (GODINE, 2017). Além disso, a irradiação transcutânea a laser da medula espinhal melhora a recuperação do nervo periférico lesionado correspondente (DRAPER *et al.*, 2012).

No nível molecular, o mecanismo do laser de baixa potência foi atribuído a vários processos. Um destes mecanismos é a redução da atividade do fator de transcrição nuclear kappa B (NF- κ B). Astrócitos ativados desempenham um papel na propagação de lesão medular secundária através da atividade de NF- κ B. A sua inibição correlaciona-se com a expressão reduzida de mediadores pró-inflamatórios e aumento da preservação da substância branca, potencialmente poupando tecido axonal (DRAPER *et al.*, 2012).

Na medula espinhal recomenda-se que o dispositivo de aplicação de laser deva ser direcionado entre os processos espinhosos dorsais da lesão, com pontos adicionais dois espaços intervertebrais cranialmente e três espaços intervertebrais caudalmente. Ao tratar lesões cervicais, o laser deve ser direcionado do lado dorsolateral para o forame intervertebral de ambos os lados, pois há consideravelmente mais massa muscular entre a superfície da pele e a medula espinhal ao se aproximar do processo espinhoso dorsal no pescoço (GODINE, 2017).

Um estudo conduzido por Draper *et al.* (2012) na Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade da Flórida mostrou que os cães tratados com laserterapia antes e imediatamente após a cirurgia de hemilaminectomia exigiram um tempo significativamente reduzido para retornar à ambulação em comparação aos não tratados.

No experimento de Paula *et al.* (2010) os ratos tratados com laserterapia após 6 horas da lesão medular apresentaram melhora motora mais rápida, bem como redução de disfunções autonômicas ou vesicais quando comparados aos que receberam laserterapia 40 horas após lesão e àqueles que não receberam tratamento.

No caso de lesões cerebrais traumáticas, foi demonstrado que a intervenção precoce com laserterapia não apenas auxilia na resolução precoce dos sinais clínicos, mas também pode ser neuroprotetora contra sintomas remanescentes. O mecanismo parece envolver prevenção de danos nos tecidos à curto prazo e aumento do reparo cerebral à longo prazo devido à neurogênese (XUAN *et al.*, 2013). O laser diminui a inflamação intracraniana, o estresse oxidativo e ajuda a estabilizar as membranas danificadas, porém é preciso monitorar hemorragias intracranianas, pois o laser pode causar um aumento transitório do fluxo sanguíneo (GODINE, 2017).

Estudos em modelos animais usando ratos demonstraram que a aplicação do laser infravermelho transcraniano pode fornecer benefícios em casos de lesões cerebrais traumáticas agudas (WU *et al.*, 2012; XUAN *et al.*, 2013).

Em cães e gatos, lesões nos nervos periféricos são geralmente o resultado de evento traumático. Avulsões do plexo braquial são comumente observadas no cão, outras lesões

nervosas periféricas podem ocorrer em brigas, lesões balísticas e acidentes veiculares. As lesões graves geralmente são permanentes quando não há intervenção cirúrgica adequada, enquanto a neuropraxia geralmente desaparece ao longo de oito semanas. O uso de laser de baixa potência oferece ao clínico uma maneira de aumentar a taxa de regeneração nervosa periférica e sobrevivência de neurônios motores (GODINE, 2017).

2.4 Laserterapia no controle da dor e da inflamação

A Associação Internacional para o Estudo da Dor (IASP) define dor como "uma experiência sensorial e emocional desagradável que é associada ou descrita em termos de lesões teciduais". A dor pode ser dividida em três tipos diferentes: dor nociceptiva e neuropática, as quais podem ser moduladas pela laserterapia, e dor central que, atualmente, não é tratada com laserterapia (CHOW, 2016).

A dor nociceptiva é a forma mais comum de dor e surge da ativação dos nociceptores, as fibras nervosas A-delta (A δ) mielinizadas e as fibras nervosas C aferentes não mielinizadas, encontradas na pele e nos tecidos mais profundos. Quando ocorre dano tecidual, mediadores químicos e citocinas pró-inflamatórias são liberados em decorrência da lesão ou inflamação, que sensibiliza nociceptores. A dor neuropática ocorre como resultado de lesão de um nervo subjacente. As condições de dor neuropática geralmente são muito sensíveis ao laser e podem ser facilmente agravadas por tratamento muito agressivo (CHOW, 2016).

Segundo Pryor e Millis (2015), a laserterapia promove os seguintes acontecimentos que favorecem o controle da dor: a) aumenta os níveis de serotonina (5-HT); b) aumenta os níveis de beta endorfinas que reduzem a sensação de dor; c) aumenta os níveis de óxido nítrico (NO) que tem efeito na vasodilatação e aumenta a oxigenação; d) diminui bradicininas que, normalmente, induzem a sensação de dor por estimular nervos nociceptivos aferentes; e) normaliza os canais iônicos; f) bloqueia a despolarização de fibras nervosas aferentes C; g) aumenta o potencial de ação da célula nervosa; h) melhora o brotamento axonal e a regeneração da célula nervosa.

Os potenciais de ação das células nervosas diminuem quando há lesão de uma célula nervosa, causando um limiar de dor diminuído. Através da aplicação de energia fotônica às células nervosas, pode-se aumentar o potencial de repouso para o mais próximo da tensão de transmissão normal. Ao mesmo tempo, a velocidade de transmissão do sinal nociceptivo pode ser diminuída através do bloqueio da despolarização dos aferentes da fibra C. A redução da transmissão e o aumento da quantidade de nocicepção necessária para converter um sinal de

dor são mais úteis para a dor aguda. O uso do laser para aumentar a velocidade da cicatrização das células nervosas é um componente essencial do alívio da dor promovido pela laserterapia (JOHNSON, 2017).

A quantidade e o período durante o qual os mediadores da dor são liberados influenciam seus efeitos fisiológicos na cicatrização; períodos curtos estimulam a cicatrização, enquanto períodos prolongados ou grandes doses de exposição ao mediador da dor podem impedir a cicatrização, alterar a resposta nociceptiva ou causar fibrose exuberante (WIDGEROW; KALARIA, 2012).

Outro mecanismo muito importante de alívio da dor nociceptiva com LLLT é o seu efeito anti-inflamatório. A inflamação é uma resposta fisiológica no tecido a lesões ou condições patológicas. É mediada pela liberação de peptídeos pró-inflamatórios liberados pelas células na área lesada que sensibilizam as terminações nervosas periféricas dos nociceptores, causando dor e agindo como estímulos quimiotáticos para que outras células, como os neutrófilos, entrem na área lesionada para iniciar a cicatrização (CHOW, 2016).

Segundo Pryor e Millis (2015) a laserterapia reduz a inflamação através de: a) produção de ATP; b) estimulação da vasodilatação por indução do NO; c) redução da interleucina-1; d) estabilização das membranas celulares; e) aceleração da atividade dos leucócitos; f) redução da produção de prostaglandinas; g) resposta linfocitária; h) angiogênese; i) níveis de superóxido dismutase.

2.5 Contraindicações

A única contraindicação clínica absoluta para laserterapia é a exposição direta ou refletida através da pupila à retina. Os riscos inerentes à interação do laser com as estruturas oculares são a base histórica das classificações de laser pelos órgãos reguladores (RIEGEL; GODBOLD, 2017b). Ao usar uma fonte de luz laser, o uso de óculos de proteção é essencial para todos aqueles que estão presentes na área de tratamento (HIRSCHBERG, 2016). Os pacientes ainda podem utilizar colares elisabetanos ou panos escuros (RIEGEL; GODBOLD, 2017b).

A terapia com laser não deve ser aplicada nos locais de injeção ou de medicação locais até que tenha passado tempo suficiente para que a substância injetada seja absorvida e translocada. A vasodilatação induzida por laser pode alterar as taxas de absorção e translocação farmacologicamente ideais, e não existe informação sobre como vários

comprimentos de onda da luz podem interagir com componentes ou medicamentos de vacinas (RIEGEL; GODBOLD, 2017b).

O efeito do LLLT em neoplasias é desconhecido até o momento. Entendendo que a terapia com luz melhora a circulação e acelera alguns fatores de crescimento, é lógico evitar o uso em qualquer área em que haja presença ou suspeita de neoplasia (HIRSCHBERG, 2016). Até que dados específicos de espécies veterinárias estejam disponíveis, a terapia a laser não deve ser aplicada sobre uma neoplasia ou no local cirúrgico do qual uma neoplasia foi removida (RIEGEL; GODBOLD, 2017b).

Epífises ósseas são listadas como contra-indicações, porque são áreas de rápido crescimento, com células em rápida divisão. O raciocínio é que, se a taxa metabólica for aumentada pela terapia com laser e a osteogênese for estimulada, talvez ocorra fechamento prematuro ou crescimento ósseo assíncrono (RIEGEL; GODBOLD, 2017b).

3 CONCLUSÕES

A regeneração tecidual é um processo complexo que pode ser retardado por diversos fatores (infecções bacterianas, doenças concomitantes, problemas circulatórios, inflamação e dor) e, ainda, mesmo que sem intercorrências pode resultar em um novo tecido sem as mesmas características organizacionais, de resistência e movimento.

O presente trabalho apresentou os mecanismos através dos quais a laserterapia de baixa potência auxilia a reparação tecidual, modulando a inflamação, a resposta imunológica e a produção de ATP e, conseqüentemente, segundos mensageiros e fatores de crescimento, diminuindo o tempo de recuperação da lesão e formando um novo tecido com as características mais próximas do tecido original.

Como demonstrado ao longo do trabalho, a laserterapia auxilia na reparação de diferentes tecidos e pode ser utilizado em diferentes espécies, porém não há um consenso quanto ao tipo de *lasing medium*, comprimento de onda, dosagem e protocolo ideal, indicando a necessidade de pesquisas com a finalidade de estabelecer protocolos para o uso da laserterapia na medicina veterinária.

REFERÊNCIAS

- ABID, H. H.; ABID, T. A. The effect of low level laser therapy on tendon healing in male rats. **Al-Qadisiya Journal of Veterinary Medicine Sciences**, [S.l.], v. 14, n. 2, p. 101-113, 2015.
- ALZAMORA FILHO, F. *et al.* Utilização da terapia fotodinâmica antimicrobiana e fototerapia a laser no tratamento da dermatite interdigital infecciosa ovina. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [S.l.], v. 16, p. 1-5, dez. 2018.
- ANDERS, J. J.; KETZ, A. K.; WU, X. Basic principles of photobiomodulation and its effects at the cellular, tissue, and system levels. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.). **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons Inc., 2017. cap. 5, p. 36-52.
- ANDRADE, F. S. S. D.; CLARK, R. M. O.; FERREIRA, M. L. Efeitos da laserterapia de baixa potência na cicatrização de feridas cutâneas. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, Bahia, v. 41, n. 2, p. 129-133, 2014.
- ARAÚJO, A. Rodrigues *et al.* Efeitos do laser de baixa potência no tratamento de úlceras de pressão em um equino. **Fisioterapia Brasil**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 59-63, jan./fev. 2008.
- BRADLEY, D. S. Wounds. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.). **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017. cap. 10, p. 100-113.
- CARROLL, J. Lasers, LEDs and other light sources. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.). **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 3, p. 35-40.
- CARVALHO, P. K. *et al.* Analysis of experimental tendinitis in rats treated with laser and platelet-rich plasma therapies by Raman spectroscopy and histometry. **Lasers in Medical Science**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 19-26, jan. 2016.
- CHOW, R. T. Low-level laser therapy of pain: clinical applications. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T. (Ed.). **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 35, p. 641-684.
- CORE, D. M.; GODBOLD, J. C. Dermatological and non-musculoskeletal soft-tissue conditions. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.). **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons Inc., 2017. cap. 11, p. 114-127.
- DINIZ, R. Laser. *In*: HUMMEL, Jennifer; VICENTE, Gustavo. **Tratado de fisioterapia e fisioterapia veterinária**. São Paulo: Payá, 2018. cap. 8, p. 74-77.
- DRAPER, W. E. *et al.* Low-level laser therapy reduces time to ambulation in dogs after hemilaminectomy: a preliminary study. **Journal of Small Animal Practice**, [S.l.], v. 53, n. 8, p. 465-469, may 2012.
- FREITAS, L. F.; HAMBLIN, M. R. Low-level laser (light) therapy in tendon healing in *in vitro* and *in vivo* models. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.).

Handbook of low-level laser therapy. New York: Pan Stanford Publishing, 2016a. cap. 19, p. 339-356.

FREITAS, L. F.; HAMBLIN, M. R. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. **IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics**, [S.l.], v. 22, n. 3, may-june 2016b. 37p. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5215870/pdf/nihms797827.pdf>>. Acesso em: out. 2019.

GODINE, R. L. Neurological conditions. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.). **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017. cap. 17, p. 179-186.

HAMBLIN, M. R. History of low-level laser (light) therapy. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.). **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 2, p. 17-34.

HIRSCHBERG, R. E. Emergence of low-level laser (light) therapy in clinical veterinary practice. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.). **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 30, p. 542- 558.

HUSSEIN, A. J. *et al.* Effects of a low level laser on the acceleration of wound healing in rabbits. **North American Journal of Medical Sciences**, [S.l.], v. 3, n. 4, p. 193-197, april 2011.

JOHNSON, J. F. Laser therapy and pain management. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.) **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017. cap. 8, p. 77-87.

KRAUT, S. *et al.* Laser therapy in a soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) for the treatment of skin and shell ulceration. **Tierärztliche Praxis Ausgabe K Kleintiere Heimtiere**, [S.l.], v. 41, n. 4, p. 261-266, 2013.

KUFLER, D. P. Photobiomodulation in promoting wound healing: a review. **Regenerative Medicine**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 117-122, dec. 2016.

LOPES, M. L. I. **Abordagem e manejo médico-cirúrgico de feridas abertas em cães e gatos: caracterização etiológica e estudo de padrões traumáticos**. 2016. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

MIKAIL, S. Laser terapêutico. *In*: PEDRO, C. R.; MIKAIL, S. (Ed.). **Fisioterapia veterinária**. 2.ed. Barueri: Manole, 2009. cap. 11, p. 89-97.

MILLER, L. M. Musculoskeletal disorders and osteoarthritis. *In*: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.). **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017. cap. 13 p. 132-149.

MILLIS, D. L.; FRANCIS, D.; ADAMSON, C. Novas modalidades terapêuticas na reabilitação veterinária. *In*: LEVINE, D. *et al* (Org.). **Reabilitação e fisioterapia na prática de pequenos animais**. São Paulo: Roca, 2008. cap. 5, p. 95-107.

PAULA, A. A. *et al.* Análise do efeito clínico do laser de baixa intensidade em ratos portadores de lesão medular traumática. *In: XIV ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e X ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO*, 2010, Universidade do Vale do Paraíba. **Anais [...]**. [S.l.: s.n.], 2010. 6p.

PAVLETIC, M. M. Management of Specific Wounds. *In: Atlas of small animal wound management and reconstructive surgery*. 4. Ed [S. l.]: Wiley Blackwell, 2018. cap. 7, p.173-253.

PEPLOW, P. V.; CHUNG T-Y.; BAXTER, G. D. Laser photobiomodulation of proliferation of cells in culture: a review of human and animal studies. **Photomedicine and Laser Surgery**, [S.l.], v. 28, p. S3-S40, aug. 2010.

PINHEIRO, A. L. B.; SOARES, L. G. P.; MARQUES, A. M. C. Bone repair in animal models. *In: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.)*. **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 20, p. 357-369.

PRYOR, B.; MILLIS, D. L. Therapeutic laser in veterinary medicine. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, [S.l.], v. 45, n.1, p. 45-56, jan. 2015.

RAMOS, A. L. O.; RAMOS, F. S.; SOUSA, M. V. P. Low-level laser (light) therapy for wound healing in animal models. *In: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V.; AGRAWAL, T (Ed.)*. **Handbook of low-level laser therapy**. New York: Pan Stanford Publishing, 2016. cap. 16, p. 311-328.

RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. Fundamental Information. *In: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.)*. **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017a. cap. 2, p. 9-18.

RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. Contraindications, Special Considerations, and Precautions. *In: RIEGEL, R. J.; GODBOLD, J. C. (Ed.)*. **Laser therapy in veterinary medicine**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2017b. cap. 7, p. 67-74.

RODRIGUES, N. C. *et al.* Low-level laser therapy (LLLT) (660 nm) alters gene expression during muscle healing in rats. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S.l.], v. 120, p. 29-35, mar. 2013.

SANTOS, D. R. *et al.* The low-level laser therapy on muscle injury recovery: literature review. **Journal of the Health Sciences Institute**, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 286-288, 2010.

SELLA, V. R. G. *et al.* Effect of low-level laser therapy on bone repair: a randomized controlled experimental study. **Lasers in Medical Science**, [S.l.], v. 30, n. 3, p. 1061-1068, jan. 2015.

SELLERA, F. P. *et al.* Photodynamic therapy for pododermatitis in penguins. **Zoo Biology**, [S.l.], v. 33, p. 353-356, 2014.

SINAN, A; EESA, M. J.; OMAR, R. A. Histopathological study of the influence of platelet rich-plasma and low level laser therapy on healing of experimentally fractured proximal

sesamoid bone in equine. **The Iraqi Journal of Veterinary Medicine**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 160-168, jan. 2017.

TIM, C. R. *et al.* Low-level laser therapy enhances the expression of osteogenic factors during bone repair in rats. **Lasers in Medical Science**, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 147-156, mar. 2013.

WARDLAW, J. L. *et al.* Laser therapy for incision healing in 9 dogs. **Frontiers in Veterinary Science**, [S.l.], v. 5, p. 349, jan. 2019.

WIDGEROW, A. D; KALARIA, S. Pain mediators and wound healing - establishing the connection. **Burns**, [S.l.], v. 38, n. 7, p. 951-959, nov. 2012.

WU, Q. *et al.* Low-level laser therapy for closed-head traumatic brain injury in mice: effect of different wavelengths. **Lasers in Surgery and Medicine**, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 218-226, mar. 2012.

XUAN, W. *et al.* Transcranial low-level laser therapy improves neurological performance in traumatic brain injury in mice: effect of treatment repetition regimen. **PLoS One**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. e53454, jan. 2013. 9p. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3538543/pdf/pone.0053454.pdf>>. Acesso em: nov. 2019.