

Uso da fotobiomodulação no tratamento da lesão tendínea aguda

Use of photobiomodulation in the treatment of acute tendon injury

Uso de la fotobiomodulación en el tratamiento de la lesión aguda del tendón

Recebido: 24/09/2020 | Revisado: 25/09/2020 | Aceito: 30/09/2020 | Publicado: 01/10/2020

Enéas de Freitas Dutra Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8260-8287>

Universidade Brasil, Brasil

E-mail: eneasfdjr@hotmail.com

Silvia Maria Cardoso Magalhães Hidd

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1092-5923>

Universidade Brasil, Brasil

E-mail: silviahidd@terra.com.br

Marcello Magri Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9962-5646>

Universidade Brasil, Brasil

E-mail: marcello.magri@universidadebrasil.edu.br

Antônio Luiz Martins Maia Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6184-8003>

Universidade Estadual do Piauí, Brasil

E-mail: almmaiaf@ccs.uespi.br

Lívia Assis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8343-3375>

Universidade Brasil, Brasil

E-mail: livia.assis@universidadebrasil.edu.br

Cintia Cristina Santi Martignago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-6354>

Indústria Brasileira de Equipamentos Eletromédicos, Brasil

E-mail: csantimartignago@yahoo.com.br

José Figueredo-Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7117-8784>

Universidade Estadual do Piauí, Brasil

E-mail: figueredo_silva@hotmail.com

Carla Roberta Tim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4745-9375>

Universidade Brasil, Brasil

E-mail: carla.tim@universidadebrasil.edu.br

Resumo

Diante de controvérsias sobre os tratamentos das lesões tendíneas, o tratamento não cirúrgico por meio da utilização da terapia por fotobiomodulação tem demonstrado ser efetivo no reparo. Objetivo foi avaliar os efeitos da terapia por fotobiomodulação no processo de reparo tendíneo. Utilizou-se 42 *Rattus norvegicus* pertencentes à linhagem wistar, que foram divididos aleatoriamente em 2 grupos experimentais: Controle (GC); Fotobiomodulação (FBM). Os grupos foram subdividido em 3 períodos experimentais: 7, 14 e 21 dias. A FBM iniciou 24 horas após indução da lesão e seguiu-se por 7, 14, 21 dias. Para FBM foi utilizada o laser 660 nm, 40 mW, 0,23 J and 6 s. Foi avaliado o volume do edema, imediatamente antes da transecção tendínea; 24 horas após; no dia da eutanásia, seguindo seus respectivos períodos experimentais. Análise histopatológica da região lesionada e a quantificação de vasos sanguíneos foram realizadas através do HE. Resultados do edema: após 24 horas da indução da lesão, não houve diferença estatística entre os grupos experimentais. Após os períodos experimentais, 7, 14 e 21 dias, o grupo FBM foi eficaz em reduzir o edema comparando-se ao controle. Os resultados histológicos revelaram que o grupo FBM apresentou maior lesão tendínea comparado ao controle após 7 dias. Após 14 e 21 dias o grupo FBM apresentou melhor processo de reparo comparado ao grupo controle. Igualmente, FBM apresentou maior número de vasos sanguíneos quando comparado ao controle, após todos os períodos experimentais. O tratamento FBM foi eficaz em reduzir o volume do edema, prevenir alterações morfológicas degenerativas do tendão, após 21 dias.

Palavras-chave: Lesão tendínea; Fotobiomodulação.

Abstract

In the face of controversies about the treatment of tendon injuries, non-surgical treatment using photobiomodulation therapy has been shown to be effective in repair. Objective was to evaluate the effects of photobiomodulation therapy on the tendon repair process. 42 *Rattus norvegicus* belonging to the wistar lineage were used, which were randomly divided into 2 experimental groups: Control (CG); Photobiomodulation (PBM). The groups were subdivided into 3 experimental periods: 7, 14 and 21 days. PBM started 24 hours after injury induction

and followed for 7, 14, 21 days. For FBM, the 660 nm, 40 mW, 0.23 J and 6 s laser was used. The volume of the edema was evaluated, immediately before the tendon transection; 24 hours later; on the day of euthanasia, following their respective experimental periods. Histopathological analysis of the region of the transect and the quantification of blood vessels were performed using HE. Edema results: 24 hours after injury induction, there was no statistical difference between the experimental groups. After the experimental periods, 7, 14 and 21 days, the PBM group was effective in reducing the edema compared to the control. Histological results revealed that the PBM group had a greater tendon injury compared to the control after 7 days. After 14 and 21 days, the PBM group showed a better repair process compared to the control group. Likewise, PBM showed a greater number of blood vessels when compared to the control, after all experimental periods. The PBM treatment was effective in reducing the volume of the edema, preventing degenerative morphological alterations of the tendon, after 21 days.

Keywords: Tendon injury; Photobiomodulation.

Resumen

Frente a las controversias sobre el tratamiento de las lesiones de los tendones, se ha demostrado que el tratamiento no quirúrgico mediante la terapia de fotobiomodulación es eficaz en la reparación. El objetivo fue evaluar los efectos de la terapia de fotobiomodulación en el proceso de reparación del tendón. Se utilizaron 42 *Rattus norvegicus* pertenecientes al linaje wistar, los cuales fueron divididos aleatoriamente en 2 grupos experimentales: Control (CG); Fotobiomodulación (FBM). Los grupos se subdividieron en 3 períodos experimentales: 7, 14 y 21 días. La FBM comenzó 24 horas después de la inducción de la lesión y se siguió durante 7, 14, 21 días. Para FBM, se utilizó el láser de 660 nm, 40 mW, 0,23J y 6 segundos. Se evaluó el volumen del edema, inmediatamente antes de la sección del tendón; 24 horas después; el día de la eutanasia, siguiendo sus respectivos períodos experimentales. El análisis histopatológico de la región del transecto y la cuantificación de vasos sanguíneos se realizaron mediante HE. Resultados de edema: 24 horas después de la inducción de la lesión, no hubo diferencia estadística entre los grupos experimentales. Después de los períodos experimentales, 7, 14 y 21 días, el grupo FBM fue eficaz en la reducción del edema en comparación con el control. Los resultados histológicos revelaron que el grupo FBM tuvo una mayor lesión del tendón en comparación con el control después de 7 días. Después de 14 y 21 días, el grupo FBM mostró un mejor proceso de reparación en comparación con el grupo de control. Asimismo, FBM mostró un mayor número de vasos sanguíneos en comparación con

el control, después de todos los períodos experimentales. El tratamiento con FBM fue eficaz para reducir el volumen del edema, evitando alteraciones morfológicas degenerativas del tendón, a los 21 días.

Palabras clave: Lesión tendinosa; Fotobiomodulación.

1. Introdução

As lesões musculoesqueléticas causam um ônus significativo para a sociedade e podem ter um impacto considerável na morbimortalidade do paciente. As lesões nos tecidos moles, incluindo tendão e ligamentos, representam 50 % dessas lesões (James et al., 2008). Os tendões são estruturas alongadas, formadas por tecido conjuntivo denso que transmitem força de contração muscular ao tecido ósseo para que ele possa produzir o movimento ou simplesmente manter sua postura. Este tecido é formado predominantemente de colágeno, do tipo I, produzidos por tenócitos e apresentam a estrutura de hélice tripla que se alonga quando é submetida à força tênsil (resistência ao estiramento), ofertando ao tendão as suas propriedades mecânicas (Frauz et al., 2019; Volpi, 2016).

Devido sua complexa estrutura altamente organizada, os tendões são capazes de suportar grandes cargas e estrese (Thorpe et al., 2016). Essa organização permite o tendão calcâneo carrear a força de tensão do músculo gastrocnêmio e sóleo até o osso calcâneo gerando o movimento de flexão plantar. Durante a realização de um esforço físico essa tensão é multiplicada e podem gerar lesão (Bogaerts et al., 2016; Egger & Berkowitz, 2017). Assim, as evidências sugerem que o tendão é suscetível a diversos traumas como as macros lesões (traumas de alta energia) ou por micro lesões ou overuse (traumas de baixa energia) que podem acarretar a lesões agudas, crônicas e/ou ruptura parcial/total. Os grandes tendões que apresentam uma alta demanda de carga, como o tendão calcâneo, normalmente são os mais acometidos e estas lesões tendíneas estão entre os problemas ortopédicos mais comuns (Karaaslan et al., 2016).

O tratamento ideal de rupturas agudas tem sido debatido há muito tempo, com opções cirúrgicas e não cirúrgicas apresentando riscos e benefícios únicos (Deng et al., 2017; Meulenkamp et al., 2018; Stavenuiter et al., 2019). Alguns autores relatam que a reincidência de lesão no tendão calcâneo é menor quando realizado o tratamento operatório. Ainda, o risco de outras complicações, principalmente infecções, o tratamento cirúrgico apresenta um risco significativo, cerca de 3,3 % (Andarawis-Puri et al., 2015; Ochen et al., 2019).

Desta forma, um recurso que vêm amplamente sendo investigado e têm demonstrado resultados efetivos no tratamento não cirúrgico de lesões tendínea é a terapia por fotobiomodulação (FBM). Esta terapia pode ser definida como o uso de fontes de luz não ionizantes para fins terapêuticos (Vaghardoost et al., 2018). A ação da TFBM é baseada na absorção da luz pelos tecidos, o que resulta em uma expressão aumentada de trifosfato de adenosina (ATP), produção de oxigênio molecular e fatores de transcrição (De Freitas & Hamblin, 2016). Esses efeitos podem aumentar a síntese de DNA, RNA e proteínas reguladoras do ciclo celular, promovendo a proliferação celular (Hamblin, 2018). Além disso, a FBM modula a expressão de alguns mediadores inflamatórios, estimula fatores angiogênicos e a produção de colágeno, desempenhando assim, um papel essencial no processo de reparo (Tim et al., 2016). Assim, essa modalidade terapêutica tem sido utilizada para estimular o reparo tendíneo (de Mattos et al., 2014; Naterstad et al., 2018).

Apesar dos dados encorajadores sobre os efeitos potenciais da FBM no tratamento de ruptura de tendão ainda não são totalmente compreendidos. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da terapia por fotobiomodulação no processo de reparo tendíneo.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa experimental, com a finalidade de obter uma constatação científica, utilizando-se para tal, procedimentos que visam responder os objetivos do estudo em questão (Pereira et al., 2018).

Foram utilizados 42 *Rattus norvegicus* pertencentes à linhagem Wistar, com com peso corporal de $202,8 \pm 27,2$ g e 60 dias de idade foram obtidos no biotério da Universidade Estadual do Piauí (UESPI) Teresina – Piauí, esse número de animais foi baseado em cálculo amostral com dados da literatura. Os animais foram mantidos em fotoperíodo claro/escuro de 12 horas, com temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$, com livre acesso a água e ração. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual do do Piauí - UESPI (0326/2019).

Os animais foram separados aleatoriamente em dois grupos experimentais, com 21 animais em cada grupo:

Controle (GC): animais foram submetidos a transecção parcial no tendão calcâneo direito e não receberam nenhum tratamento;

Fotobiomodulação (FBM) animais foram submetidos a transecção parcial no tendão calcâneo direito e receberam tratamento com a fotobiomodulação a laser;

Os grupos foram subdividido em 3 períodos experimentais: 7, 14 e 21 dias.

Para o procedimento cirúrgico os animais foram previamente anestesiados com injeção intraperitoneal de cloridrato de ketamina 80 mg/kg e cloridrato de xilazina a 10 mg/kg. Então, foi realizada a tricotomia e assepsia com álcool 70 % na pata inferior direita de cada animal. Em seguida, uma incisão longitudinal de três cm foi realizada na pele do animal, para exposição do tendão calcâneo. Logo após, com microscópio cirúrgico foi realizada uma transecção parcial no tendão (Dietrich, 2012). Em seguida, a pele foi suturada com fio de náilon (Shalon 5-0) e agulha (1,5 cm) (Johnson & Johnson, St. Stevens-Woluwe, Belgium). Os animais receberam analgesia (0,05 mg / kg de dornil) imediatamente após e nos 5 dias subsequentes a cirurgia. O estado de saúde dos ratos foi monitorado diariamente.

A Fotobiomodulação aplicada no grupo FBM foi realizada com o equipamento Laser (InGaAlP), MMOptics™. O dispositivo foi calibrado adequadamente pelo fornecedor. As aplicações da TFBM a laser foram realizadas da seguinte forma: 24 horas após o procedimento cirúrgico e a cada 24 horas, totalizando 7, 14 ou 21 aplicações com a caneta do laser foi posicionada a 90 graus sobre o tendão e foi utilizada a técnica pontual com contato, seguindo os parâmetros da Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros dos instrumentos usados para a Fotobiomodulação.

Parâmetros	
Comprimento de onda (nm)	660
Equipamento	MMOptics©
Densidade de Energia (J/cm ²)	6
Energia (J)	0,23
Potência (W)	0,04
Área transversa (cm ²)	0,04
Tempo de irradiação (s)	6
Densidade de potência (W/cm ²)	1,05
Tempo de tratamento por ponto (s)	6
Número de pontos	1
Frequência tratamento	24 horas
Número total de sessões	7, 14 ou 21 dias

Fonte: Autores.

A presença do edema na pata lesionada foi avaliada utilizando um pletismômetro. Este equipamento registra o volume de líquido deslocado em um sistema de vasos comunicantes,

em resposta à introdução da pata dos animais em uma das cubas que compõe o sistema. Para isso, a pata direita dos animais foi inserida no pletismômetro até a altura da articulação do joelho o que causou o deslocamento de líquidos para outro reservatório capaz de quantificar a alteração volumétrica em mL, sendo assim o equipamento quantificava o edema.

Foram realizadas análises do edema em momentos distintos: A primeira avaliação - (AV1) – imediatamente antes da transecção tendínea; a segunda avaliação - (AV2) - 24 horas após a transecção tendínea, a terceira avaliação - (AV3) – foi realizada no dia da eutanásia dos animais seguindo seus respectivos grupos experimentais, 7, 14 e 21 dias (Karvat et al., 2014). Para calcular o valor de edema inicial foi realizado o cálculo: AV2 - AV1. Para calcular o valor de edema final foi realizado o cálculo: AV3 - AV1.

Após cada período experimental, 7, 14 e 21 dias, os animais foram eutanasiados por sobredose de anestesia ketamina (240 mg/Kg) e xilazina (30 mg/kg), para posterior dissecação do tendão calcâneo. As amostras de tendão foram lavadas de 3 a 4 vezes em solução salina. Após a limpeza, foi feita a remoção de qualquer tipo de tecido periférico e demais artefatos visíveis.

Após a coleta, as peças permaneceram em soluções de formaldeídos a 10% para a fixação durante 24 horas. Em seguida elas foram lavadas em água corrente por 24 horas. Na sequência, passaram por desidratação em solução crescente de álcool etílico a 70 %, 90 % e 100 %. Após os banhos de desidratação, foi iniciada a diafanização das peças em solução de álcool/xilol (1:1) e, a seguir, em 2 banhos de xilol puro. Em seguida, as peças foram incluídas em parafina e cortadas por meio de um micrótomo rotativo, Spencer – 820 com cortes seriados com 5 µm de espessura. Os cortes foram realizados no plano longitudinal. Dos cortes obtidos, foram confeccionadas lâminas coradas com Hematoxilina-Eosina (HE) para realização da análise histopatológica.

A análise histopatológica da região da transecção parcial no tendão calcâneo foi realizada através das lâminas coradas com Hematoxilina e Eosina. Por meio de um microscópio de luz (Olympus, Optical Co. Ltd, Tokyo, Japan). As lâminas foram avaliadas por um patologista quanto às seguintes alterações: presença de tenócitos, processo inflamatório, tecido fibrinóide e organização da matriz extracelular (MEC).

A quantificação de vasos sanguíneos da região da transecção tendínea foi realizada através das lâminas coradas com hematoxilina-eosina. Foi fotografado doze campos distintos da lesão, por meio de um microscópio óptico (Olympus, Optical Co. Ltd, Tokyo, Japan) com uma câmera digital acoplada (Sony DSCs75, Tokyo, Japão) em um aumento de (200x).

As imagens foram analisadas no software Image J, no qual foram considerados todos os vasos sanguíneos. A quantificação foi realizada por dois avaliadores experientes, então os resultados foram comparados e foi obtida a média de vasos sanguíneos.

Os resultados estão descritos em valores de médias e desvio padrão e apresentados em tabelas e gráficos. A normalidade dos dados foi testada com o teste de KS e a Homogeneidade com o teste de Levene. Para a variável de edema Inicial foi testada a diferença entre os grupos com o teste de One-Way ANOVA com pos-hoc de Tukey, com o intuito de comprovar a igualdade entre eles. Para a comparação entre os grupos e o tempo e verificar se houve interação entre o grupo e tempo as demais variáveis foram testadas com Anova Two way e pós hoc de Bonferroni. Para a diferença estatística foi adotado um valor de $\alpha \leq 0,05$. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa SPSS 26 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

3. Resultados

Os resultados da análise de edema estão demonstrados na Tabela 2. A análise estatística evidencia que não houve diferença nos valores de edema após 24 horas após a indução da lesão.

Ainda, a análise de volume de edema, após os períodos experimentais, ou seja o volume final de edema após 7, 14 e 21 dias, apontou que ocorreu a interação entre o tratamento e os períodos experimentais ($p = 0,003$), e foi evidenciado o efeito do tratamento ($p < 0,001$) assim como também houve diferença entre os períodos experimentais ($p < 0,001$). Assim, pode-se observar que o grupo controle apresentou edema maior que o grupo FBM, nos três períodos avaliados (7, 14 e 21 dias). Ainda, quando avaliamos os diferentes períodos, é possível observar que o grupo FBM apresentou uma diminuição significativa de edema apenas quando comparado os períodos 7 e 21 dias.

Tabela 2. Análise do volume de edema.

Grupos	24 horas	7 dias	14 dias	21 dias
Controle	0,68 ± 0,16	0,70 ± 0,24 ^a	0,65 ± 0,15 ^a	0,41 ± 0,04
FBM	0,64 ± 0,19	0,27 ± 0,07* ^b	0,12 ± 0,09*	0,10 ± 0,15*

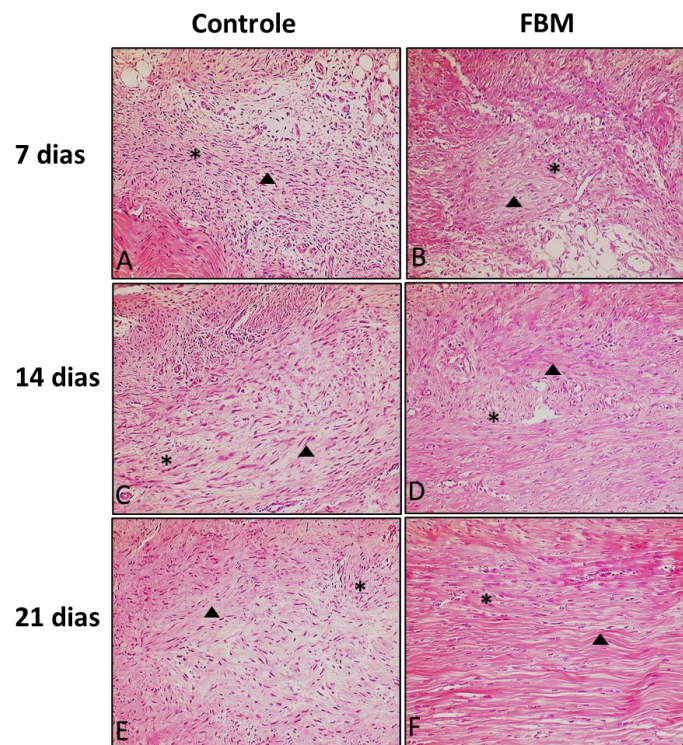
* vs controle; ^a vs controle 21 dias; ^b vs FBM 21 dias. Controle = sem tratamento; FBM = fotobiomodulação. Média ± desvio padrão. Fonte: autores.

Os achados histopatológicos demonstraram que após 7 dias o grupo controle apresentou uma matriz extracelular (MEC) edemaciada, contendo poucos vasos sanguíneos neoformados e moderado infiltrado inflamatório, composto predominantemente por macrófagos. Os tenócitos se agruparam em feixes dispostos aleatoriamente em diferentes orientações (Fig. 1A). No grupo FBM apresentou MEC edemaciada com muitos vasos sanguíneos neoformado e intensa presença de células inflamatórias e tenócitos dispostos aleatoriamente (Fig. 1B).

Após 14 dias da transecção parcial do tendão, o grupo controle apresentou uma redução acentuada da atividade inflamatória, alguns vasos sanguíneos neoformados e poucos tenócitos estavam dispostos em feixes pouco organizados em uma MEC ainda frouxa e pouco edemaciada (Fig. 1C). O grupo FBM apresentou MEC mais densa e com numerosos vasos sanguíneos neoformados e fibroblastos dispostos em feixes paralelos (Fig. 1D).

Após 21 dias de tratamento não observou a recuperação integral da estrutura histológica do tendão calcâneo. No grupo controle, numerosos tenócitos ainda se encontraram dispostos em feixes com diferentes orientações e a MEC exibiu áreas de edema (Fig. 1E). Diferentemente, o grupo FBM exibiu a MEC densa com os tenócitos dispostos em grupos paralelos e compactos (Fig. 1F).

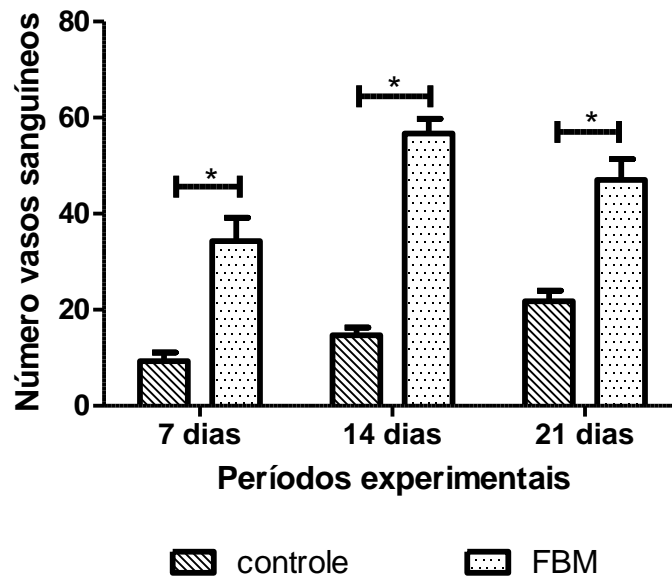
Figura 1. Achados histológicos.



Legenda: matriz extracelular; (↑) tenócitos. Controle = sem tratamento; FBM = fotobiomodulação. H.E., 100x. Fonte: Autores.

Na análise dos vasos sanguíneos pode-se notar que houve a interação entre o tratamento e os períodos experimentais ($p = 0,002$). Da mesma forma, foi evidenciado o efeito do tratamento ($p < 0,001$) e dos períodos experimentais ($p = 0,043$). Desta forma, detectou-se que o grupo controle apresentou menor número de vasos quando comparado ao grupo FBM, após 7, 14 e 21 dias (Figura 2).

Figura 2 - Quantificação de vasos sanguíneos.



Legenda: Controle = sem tratamento; FBM = fotobiomodulação. Fonte: Autores.

Tabela 3. Análise intragrupo do número de vasos sanguíneos.

Grupos	7 dias	14 dias	21 dias
Controle	9,28 ± 1,79	14,67 ± 1,63	21,80 ± 2,16
FBM	34,33 ± 4,84 ^a	56,71 ± 3,03	47,00 ± 4,33

^a vs 14 dias. Controle = sem tratamento; FBM = fotobiomodulação. Média ± desvio padrão.
Fonte: Autores.

4. Discussão

A ruptura do tendão de calcâneo é uma lesão frequente com uma incidência crescente. A estratégia de tratamento ideal para uma ruptura aguda de tendão permanece controversa e os métodos cirúrgico e não cirúrgico apresentam vantagens e desvantagens distintas (Deng et al., 2017; Khan & Carey Smith, 2010; Wilkins & Bisson, 2012). Assim, o presente estudo investigou os efeitos da aplicação da terapia por fotobiomodulação em transecção parcial do tendão calcâneo. Os resultados da avaliação de edema demonstraram que, após 24 horas da indução da lesão, não houve diferença estatística entre os grupos experimentais. Assim

podemos sugerir que a lesão promoveu um processo inflamatório semelhante em todos os grupos experimentais. Após uma lesão ou procedimentos cirúrgicos é esperada uma resposta inflamatória, na tentativa de realizar fagocitose local e reparar os tecidos danificados. Desde modo, mediadores inflamatórios como prostaglandinas, leucotrienos, bradicinina e outros são liberados e, conseqüentemente, há um aumento na dilatação e permeabilidade vascular, resultando em um edema (Aller et al., 2006; Arias et al., 2009).

Diante disso, quando foi investigado o efeito dos tratamentos na redução do edema observou-se que o grupo FBM foi eficaz em reduzir o edema quando comparado ao controle, independentemente do período experimental. Os efeitos da fotobiomodulação na redução do edema podem ser relacionados a sua capacidade de ativar células como linfócitos, estimular o fluxo linfático e modular o processo inflamatório (Aimbire et al., 2005; Albertini et al., 2004; Boschi et al., 2008).

Interessantemente, o grupo FBM apresentou achados histológicos compatíveis com uma maior lesão tendínea quando comparado aos demais grupos, após 7 dias da transecção tendínea. Entretanto, após 14 e 21 dias, o grupo FBM apresentou menor lesão tendínea quando comparado ao grupo controle. Da mesma forma, o grupo FBM apresentou maior número de vasos sanguíneos quando comparado aos demais grupos, nos 3 períodos avaliados. Diante de tais resultados, é possível sugerir que os parâmetros utilizados para a fotobiomodulação não foram eficientes para promover o reparo tendíneo após 7 dias. Estes resultados podem ser suportados pela lei de Arndt Schulz que diz uma dose muito baixa de luz não tem efeito, uma dose um pouco maior tem um efeito positivo até que um platô seja atingido. Entretanto, se a dose de luz for aumentada além desse ponto, o benefício irá diminuir progressivamente, até que a linha de base seja alcançada (nenhum efeito), e aumentos adicionais começarão a ter efeitos inibitórios no tecido. Este comportamento da luz nos tecidos também é conhecido como efeito dose-dependente (Hamblin, 2018; Hamblin et al., 2011). Ainda, para Sommer et al., (2001) o efeito estimulante da fotobiomodulação em tecidos biológicos é depende do comprimento de onda, energia, área de irradiação, tempo total de irradiação e a densidade de energia. Assim, é possível sugerir que, nos parâmetros utilizados neste estudo, a fotobiomodulação promoveu um efeito dependente da dose e da frequência do tratamento, ou seja, o efeito estimulatório da fotobiomodulação apenas foi observado após 14 e 21 dias de tratamento. Este efeito pode estar relacionado com a baixa energia utilizada neste estudo, necessitando assim de várias sessões de tratamento para alcançar um efeito estimulatório. Da mesma forma, Martignago et al., (2019) demonstraram que os efeitos da fotobiomodulação foram dependentes do número de dias que os animais

receberam o tratamento, sendo que 5 aplicações consecutivas de FBM não foram eficientes em promover a viabilidade do tecido enquanto que 8 aplicações consecutivas de FBM promoveram maior viabilidade tecidual (Hamblin et al., 2011).

Tomados em conjunto, os resultados mostraram que a FBM é um potencial recurso terapêutico no tratamento da lesão tendínea. Como este estudo limitou-se a investigação das fases inflamatória e proliferativa informações sobre a influência das terapias na fase de remodelamento ainda precisam ser fornecidas. Além disso, outros parâmetros da fotobiomodulação devem ser investigados.

5. Considerações Finais

Os achados sugerem que a terapia por fotobiomodulação foi eficaz em reduzir o volume do edema, prevenir alterações morfológicas degenerativas do tendão, observadas na diminuição do escore de Bonar, contribuições positivas para o processo regenerativo. No entanto, seria importante realizar mais investigações, a fim de uma melhor compreensão a respeito da padronização dos parâmetros da fotobiomodulação na terapia do tendão calcâneo.

Referências

Aimbire, F., Albertine, R., De Magalhães, R. G., Lopes-Martins, R. A. B., Castro-Faria-Neto, H. C., Zângaro, R. A., Chavantes, M. C., & Pacheco, M. T. T. (2005). Effect of LLLT Ga-Al-As (685 nm) on LPS-induced inflammation of the airway and lung in the rat. *Lasers in Medical Science*, 20(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/s10103-005-0339-9>

Albertini, R., Aimbire, F. S. C., Correa, F. I., Ribeiro, W., Cogo, J. C., Antunes, E., Teixeira, S. A., De Nucci, G., Castro-Faria-Neto, H. C., Zângaro, R. A., & Lopes-Martins, R. A. B. (2004). Effects of different protocol doses of low power gallium-aluminum-arsenate (Ga-Al-As) laser radiation (650 nm) on carrageenan induced rat paw oedema. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 74(2–3), 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2004.03.002>

Aller, M. A., Arias, J. L., Sánchez-Patán, F., & Arias, J. (2006). The inflammatory response: An efficient way of life. *Medical Science Monitor*, 12(10), 225–234.

Andarawis-Puri, N., Flatow, E. L., & Soslowsky, L. J. (2015). Tendon basic science: Development, repair, regeneration, and healing. *Journal of Orthopaedic Research*, 33(6), 780–784. <https://doi.org/10.1002/jor.22869>

Arias, J. I., Aller, M. A., & Arias, J. (2009). Surgical inflammation: A pathophysiological rainbow. *Journal of Translational Medicine*, 7, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1479-5876-7-19>

Bogaerts, S., Desmet, H., Slagmolen, P., & Peers, K. (2016). Strain mapping in the Achilles tendon - A systematic review. *Journal of Biomechanics*, 49(9), 1411–1419. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.02.057>

Boschi, E. S., Leite, C. E., Saciura, V. C., Caberlon, E., Lunardelli, A., Bitencourt, S., Melo, D. A. S., & Oliveira, J. R. (2008). Anti-inflammatory effects of low-level laser therapy (660 nm) in the early phase in carrageenan-induced pleurisy in rat. *Lasers in Surgery and Medicine*, 40(7), 500–508. <https://doi.org/10.1002/lsm.20658>

De Freitas, L. F., & Hamblin, M. R. (2016). Proposed Mechanisms of Photobiomodulation or Low-Level Light Therapy. *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 22(3). <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2016.2561201>

de Mattos, L. H. L., Álvarez, L. E. C., Yamada, A. L. M., Hussni, C. A., Rodrigues, C. A., Watanabe, M. J., & Alves, A. L. G. (2014). Effect of phototherapy with light-emitting diodes (890 nm) on tendon repair: an experimental model in sheep. *Lasers in Medical Science*, 30(1), 193–201. <https://doi.org/10.1007/s10103-014-1641-1>

Deng, S., Sun, Z., Zhang, C., Chen, G., & Li, J. (2017). Surgical Treatment Versus Conservative Management for Acute Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 56(6), 1236–1243. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.05.036>

Dietrich, F. (2012). *Comparação Do Efeito Do Plasma Rico Em Plaquetas E Fibrina Rica Em Plaquetas No Reparo Do Tendão De*. 1–104.

Egger, A. C., & Berkowitz, M. J. (2017). Achilles tendon injuries. *Current Reviews in*

Musculoskeletal Medicine, 10(1), 72–80. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9386-7>

Frauz, K., Teodoro, L., Carneiro, G., Cristina da Veiga, F., Lopes Ferrucci, D., Luis Bombeiro, A., Waleska Simões, P., Elvira Alvares, L., Leite R. de Oliveira, A., Pontes Vicente, C., Seabra Ferreira, R., Barraviera, B., do Amaral, M., Augusto M. Esquisatto, M., de Campos Vidal, B., Rosa Pimentel, E., & Aparecida de Aro, A. (2019). Transected Tendon Treated with a New Fibrin Sealant Alone or Associated with Adipose-Derived Stem Cells. *Cells*, 8(1), 56. <https://doi.org/10.3390/cells8010056>

Hamblin, M. R. (2018). Mechanisms and Mitochondrial Redox Signaling in Photobiomodulation. *Photochemistry and Photobiology*, 94(2), 199–212. <https://doi.org/10.1111/php.12864>

Hamblin, M. R., Huang, Y. Y., Sharma, S. K., & Carroll, J. (2011). Biphasic dose response in low level light therapy - an update. *Dose-Response*, 9(4), 602–618. <https://doi.org/10.2203/dose-response.11-009.Hamblin>

James, R., Kesturu, G., Balian, G., & Chhabra, A. B. (2008). Tendon: Biology, Biomechanics, Repair, Growth Factors, and Evolving Treatment Options. *Journal of Hand Surgery*, 33(1), 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2007.09.007>

Karaaslan, F., Mermerkaya, M. U., Çıraklı, A., Karaoğlu, S., & Duygulu, F. (2016). Surgical versus conservative treatment following acute rupture of the Achilles tendon: Is there a pedobarographic difference? *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 12, 1311–1315. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S116385>

Karvat, J., Antunes, J. S., Bernardino, G. R., Kakihata, C. M. M., & Bertolini, G. R. F. (2014). Effect of low-level LASER and neural mobilization on nociceptive threshold in experimental sciatica. *Revista Dor*, 15(3), 207–210. <https://doi.org/10.5935/1806-0013.20140045>

Khan, R. J., & Carey Smith, R. L. (2010). Surgical interventions for treating acute Achilles tendon ruptures. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003674.pub4>

Martignago, C. C. S., Tim, C. R., Assis, L., Andrade, A. L. M., Brassolati, P., Bossini, P. S., Leiebano, R. E., & Parizotto, N. A. (2019). Preemptive treatment with photobiomodulation therapy in skin flap viability. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 201, 111634. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111634>

Meulenkamp, B., Stacey, D., Fergusson, D., Hutton, B., Mlis, R. S., & Graham, I. D. (2018). Protocol for treatment of Achilles tendon ruptures; A systematic review with network meta-analysis. *Systematic Reviews*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0912-5>

Naterstad, I. F., Rossi, R. P., Marcos, R. L., Parizzoto, N. A., Frigo, L., Joensen, J., Lopes Martins, P. S. L., Bjordal, J. M., & Lopes-Martins, R. A. B. (2018). Comparison of Photobiomodulation and Anti-Inflammatory Drugs on Tissue Repair on Collagenase-Induced Achilles Tendon Inflammation in Rats. *Photomedicine and Laser Surgery*, 36(3), 137–145. <https://doi.org/10.1089/pho.2017.4364>

Ochen, Y., Beks, R. B., Van Heijl, M., Hietbrink, F., Leenen, L. P. H., Van Der Velde, D., Heng, M., Van Der Meijden, O., Groenwold, R. H. H., & Houwert, R. M. (2019). Operative treatment versus nonoperative treatment of Achilles tendon ruptures: Systematic review and meta-analysis. *BMJ (Online)*, 364. <https://doi.org/10.1136/bmj.k5120>

Pereira, A. S., Shitsuka, Dorlivete Moreira Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da Pesquisa Científica - Licenciatura em Computação*. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 28 março 2020.

Sommer, A. P., Pinheiro, A. L. B., Mester, A. R., Franke, R. P., & Whelan, H. T. (2001). Biostimulatory windows in low-intensity laser activation: Lasers, scanners, and NASA's light-emitting diode array system. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery*, 19(1), 29–33. <https://doi.org/10.1089/104454701750066910>

Stavenuiter, X. J. R., Lubberts, B., Prince, R. M., Johnson, A. H., DiGiovanni, C. W., & Guss, D. (2019). Postoperative Complications Following Repair of Acute Achilles Tendon Rupture. *Foot and Ankle International*, 40(6), 679–686. <https://doi.org/10.1177/1071100719831371>

Thorpe, C. T., Peffers, M. J., Simpson, D., Halliwell, E., Screen, H. R. C., & Clegg, P. D. (2016). Anatomical heterogeneity of tendon: Fascicular and interfascicular tendon compartments have distinct proteomic composition. *Scientific Reports*, 6(October 2015), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep20455>

Tim, C. R., Bossini, P. S., Kido, H. W., Malavazi, I., von Zeska Kress, M. R., Carazzolle, M. F., Rennó, A. C., & Parizotto, N. A. (2016). Low-level laser therapy induces an upregulation of collagen gene expression during the initial process of bone healing: a microarray analysis. *Journal of Biomedical Optics*, 21(8), 088001. <https://doi.org/10.1117/1.jbo.21.8.088001>

Vaghardoost, R., Momeni, M., Kazemikhoo, N., Mokmeli, S., Dahmardehei, M., Ansari, F., Nilforoushzadeh, M. A., Sabr joo, P., Mey Abadi, S., Naderi Gharagheshlagh, S., & Sassani, S. (2018). Effect of low-level laser therapy on the healing process of donor site in patients with grade 3 burn ulcer after skin graft surgery (a randomized clinical trial). *Lasers in Medical Science*, 33(3), 603–607. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2430-4>

Volpi, P. (2016). *Arthroscopy and sport injuries : applications in high-level athletes*.

Wilkins, R., & Bisson, L. J. (2012). Operative versus nonoperative management of acute achilles tendon ruptures: A quantitative systematic review of randomized controlled trials. *American Journal of Sports Medicine*, 40(9), 2154–2160. <https://doi.org/10.1177/0363546512453293>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Enéas de Freitas Dutra Junior – 20 %

Silvia Maria Cardoso Magalhães Hidd – 10 %

Marcello Magri Amaral – 10 %

Antônio Luiz Martins Maia Filho – /10 %

Lívia Assis – 10 %

Cintia Cristina Santi Martignago – 10 %

José Figueredo-Silva – 10 %

Carla Roberta Tim – 20 %