

Influência da velocidade da movimentação do transdutor na administração da terapia ultrassônica pulsada na cicatrização de feridas cutâneas em ratos

Influence of transducer drive speed on ultrasonic pulsed therapy management in the healing of skin wounds in rats

DOI:10.34119/bjhrv5n2-331

Recebimento dos originais: 14/01/2022

Aceitação para publicação: 28/02/2022

Jean Douglas Moura dos Santos

Mestre em Engenharia Biomédica

Instituição: Universidade Estadual do Piauí - UESPI

Endereço: R. Olavo Bilac, 2335 - Centro (Sul), Teresina - PI, CEP: 64001-280

E-mail: jeanfisiobr@yahoo.com.br

Shakyrá Hillary Sá Arrais de Sousa

Graduada em Fisioterapia

Instituição: Centro Universitário UNINOVAFAPI

Endereço: Rua Vitorino Orthiges Fernandes, 6123, Uruguai, Teresina - PI

E-mail: shakyrant@gmail.com

Roberta Mara de Carvalho Reis

Graduada em Fisioterapia

Instituição: Centro Universitário UNINOVAFAPI

Endereço: Rua Vitorino Orthiges Fernandes, 6123, Uruguai, Teresina - PI

E-mail: robertamara59@gmail.com

Maria Telma Oliveira da Conceição

Especialista em Fisioterapia Dermatofuncional

Instituição: UNINOVAFAPI

Endereço: Rua Vitorino Orthiges Fernandes, 6123, Uruguai, Teresina - PI

E-mail: telma.fisio@hotmail.com

Leonel Marques Rodrigues

Graduado em Fisioterapia

Instituição: Universidade Federal do Delta do Parnaíba e UNINOVAFAPI

Endereço: Rua Vitorino Orthiges Fernandes, 6123, Uruguai, Teresina - PI

E-mail: leonelmarquesr@hotmail.com

Francisco Valmor Macedo Cunha

Doutor em Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Delta do Parnaíba e UNINOVAFAPI

Endereço: Rua Antilhon Ribeiro Soares, 5000

E-mail: orfeueudicie@gmail.com

RESUMO

Introdução: O ultrassom terapêutico tem sido usado extensivamente para promover a cicatrização de tecidos. Objetivo: Avaliar a influência da velocidade da movimentação do

transdutor na administração da terapia ultrassônica pulsada na cicatrização de feridas cutâneas em ratos. Métodos: 21 ratos da linhagem Wistar, foram distribuídos em 03 grupos experimentais de 07 animais: Grupo 01: constituído de animais submetidos apenas à produção da ferida e tratados com aparelho desligado; Grupo 02: constituído de animais submetidos à produção da ferida e tratados com ultrassom pulsado com transdutor estacionário; E grupo 03: constituído de animais submetidos à produção da ferida e tratados com ultrassom pulsado com transdutor em movimento. O tratamento teve duração de treze dias com (ERA: 3 cm²; BNR: = 8; Frequência: 1 MHz; Ciclo de trabalho: 20%; Intensidade de 0,4 W/cm²; Frequência de repetição de pulso: 48 Hz; Potência: 1,6 W; Tempo de aplicação: 5 min.) de irradiação. Analisou-se a morfometria por meio do software ImageJ®. Para resultados quantitativos, utilizou-se como análise estatística ANOVA Two way e o post test Bonferroni. Resultados: No 7º e 13º dias foi observado redução estatisticamente significativa entre as áreas das lesões não havendo presença de processo inflamatório com contaminação e infecção a nível macroscópico, apresentaram cicatrização mais avançada com uma significativa presença de tecido fibrinoso e de granulação quando comparado os grupos G2 e G3 ao grupo G1. Conclusão: O tratamento com ultrassom terapêutico pulsado, favoreceu a cicatrização de feridas cutâneas em ratos, independente da velocidade e movimentação do transdutor ultrassônico.

Palavras-chave: ultrassom terapêutico pulsado, lesão cutânea, cicatrização.

ABSTRACT

Introduction: Therapeutic ultrasound has been used extensively to promote tissue healing. Goal: To assess the influence of transducer drive speed on the management of pulsed ultrasound therapy in the healing of skin wounds in rats. Methods: 21 Wistar rats were divided into 03 experimental groups of 07 animals: Group 01: composed of animals subjected only to wound production and treated with power turned off; Group 02: composed of animals subjected to wound production and treated with pulsed ultrasound and stationary transducer; and group 03: made up of animals subjected to wound production and treated with pulsed ultrasound and moving transducer. The treatment period lasted thirteen days with (ERA: 3 cm²; BNR: = 8; Frequency: 1 MHz, Work cycle: 20%; intensity of 0.4 W / cm², pulse repetition frequency: 48 Hz; Power : 1.6W; application time: 5 min) of radiation. Morphometrics was analyzed through ImageJ® software. For quantitative results, two-way ANOVA and the Bonferroni posttests were used as statistical analysis. Results: On the 7th and 13th days, a statistically significant reduction among the areas of the injuries was observed, with no presence of inflammatory process involving contamination and infection at the macroscopic level, there was a more advanced cicatrization with a meaningful presence of fibrinous granulation tissue when compared G2 and G3 groups to G1 group. Conclusion: Treatment with pulsed therapeutic ultrasound has favored the healing of skin wounds in rats, regardless the speed and driving of the ultrasonic transducer.

Keywords: pulsed therapeutic ultrasound, skin injury, healing.

1 INTRODUÇÃO

Uma escoriação é representada pela interrupção da continuidade de um tecido corpóreo, em maior ou menor extensão, causada por qualquer tipo de trauma físico, químico, mecânico ou desencadeada por uma afecção clínica (RAMALHO et al. 2018). A cicatrização é complexa, com alterações vasculares e celulares, mecanismos de proliferação celular, síntese e deposição

de colágeno, produção de elastina e revascularização, até a contração da ferida (BAVARESCO et al. 2019), o tratamento em alguns casos por longo período pode impactar negativamente a qualidade de vida do indivíduo.

No Brasil, estima-se que 3% das pessoas apresentam feridas crônicas, uma vez que as pessoas com o diagnóstico de Diabetes Mellitus tendem a apresentar maiores lesões, facilitando assim o aumento do número de casos. No contexto mundial, estima-se que a prevalência de feridas crônicas está entre 0,5% a 2% da população. (LEAL et al. 2017)

O ultrassom terapêutico (UST) tem sido usado extensivamente para promover a cicatrização de tecidos há mais de 60 anos, proporcionando efeitos físicos, químicos e biológicos. (CONNER-KERR; OESTERLE. 2017). Segundo Daltro et al. (2020) emite ondas de alta frequência de pressão acústica que, ao interagir com os tecidos biológicos, promovem alterações micromecânicas. Essas alterações geram eventos bioquímicos capazes de acelerar a consolidação de fraturas, estimular o reparo de tecidos lesionados, como o tecido ósseo e o muscular, inibir respostas inflamatórias e participar do processo de modulação da dor.

Os mecanismos físicos pelos quais o UST induz respostas clinicamente significativas nos tecidos biológicos são classificados como térmicos e não térmicos, ou mecânicos. (CANCELLIERO, 2018). Considera-se que o UST apresenta frequência de 1 a 3 MHz, sendo que, quanto menor a frequência maior será a profundidade atingida, 1 MHz é indicado para tecidos superficiais e 3 MHz para alvos mais profundo (RODRIGUES; MACHADO; PEREIRA, 2020)

Apesar de seu uso generalizado ainda há falta de provas de sua eficácia por ensaios clínicos randomizados, bem como não existe consenso em relação aos parâmetros a serem usados durante a aplicação em tratamento de várias lesões musculoesqueléticas e tegumentares nem quanto ao tempo de movimentação do transdutor na modalidade pulsada (WONG et al., 2007).

Considerando a baixa probabilidade de formação de ondas estacionárias na terapia ultrassônica pulsada e nos benefícios que esta terapia promove na cicatrização de feridas, a investigação desse aspecto poderá promover excelentes perspectivas ou até mesmo a mudança de paradigmas na utilização desse recurso terapêutico para este fim. Pela escassez de dados a respeito do assunto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influencia da velocidade da movimentação do transdutor na administração da terapia ultrassônica pulsada na cicatrização de feridas cutâneas em ratos.

2 METODOLOGIA

2.1 ANIMAIS

Foram utilizados 21 ratos albinos adultos (70-90 dias) da linhagem Wistar (*Rattus norvegicus*) pertencente à ordem Rodentia e à família Muridae, machos, com massa corporal entre 250 a 300g, que permaneceram acondicionados no biotérico da UNINOVAFAPI. Os animais foram mantidos em gaiolas coletivas (7 animais/caixa) com ração padrão para ratos (Labina-Purina) e água libitum. Os animais foram mantidos em sala climatizada com temperatura ambiente de 25°C e fotoperíodo de 12 horas de claro e 12 horas de escuro.

2.2 GRUPO DE ESTUDO

Os animais foram divididos aleatoriamente em 03 grupos experimentais de 07 animais para cada tratamento: Grupo 01 (G1): controle (C), constituído de animais submetidos apenas à produção da ferida e tratados com aparelho desligado; Grupo 02 (G2): constituído por animais submetidos à produção da ferida e tratados com UST pulsado com transdutor estacionário; E Grupo 03 (G3): constituído por animais submetidos à produção da ferida e tratados com UST pulsado com transdutor em movimento.

2.3 PRODUÇÃO DA FERIDA

Realizou-se administração profilática de antibiótico combinado com antiinflamatório imediatamente antes da intervenção cirúrgica, conforme detalhamento apresentado a seguir. Destaca-se que 30 minutos antes do procedimento cirúrgico foi administrado por via intramuscular 0,1 mL/100g Pencivet® ppu, antibacteriano e antiinflamatório, contendo as benzilpenicilinas G benzatina e procaína, diidroestreptomicina e piroxicam. Para analgesia durante os primeiros 4 dias no período pós-operatório foi realizada administração de mexolican 0,2 mg/kg, p.o. a cada 12 horas.

Todos os procedimentos cirúrgicos foram realizados sob anestesia por via intramuscular com solução composta por Quetamina na dose de 50mg/kg + Xilazina 10mg/kg de peso corporal. A seguir, selecionou-se a região lateral da linha média dorsal, realizando a tricotomia e posteriormente foi realizado a antissepsia.

Ferida de 2cm² foi produzida, baseando-se na técnica cirúrgica preconizada por (OLIVEIRA et al.,2000). As bordas das feridas foram primeiramente demarcadas com caneta esferográfica preta com auxílio de um molde vazado com 2cm². As feridas foram confeccionadas com lâmina de bisturi e tesoura de íris, retirando pele, tecido subcutâneo e gordura, permanecendo a integridade do tecido muscular. Cada grupo foi redistribuído em

subgrupos conforme a data de eutanásia, sendo esta realizada no 13º dia do experimento (AMORIM et al.,2006).

2.4 TRATAMENTO DA FERIDA

O tratamento foi iniciado no mesmo dia após a cirurgia, uma vez ao dia no mesmo horário, permanecendo as feridas sem curativos durante todo o experimento. O tratamento de cada grupo foi administrado por via tópica, na região lesionada, sempre no mesmo horário do dia (às 14h) (SANTOS et al., 2002). As feridas foram limpas com soro fisiológico 0,9% a cada nova aplicação dos produtos em análise (SANTOS et al.,2002; RAHAL et al.,2001).

2.5 AVALIAÇÃO DA FERIDA

Avaliação Clínica: As Lesões foram avaliadas diariamente no momento da aplicação dos tratamentos. A avaliação clínica foi baseada nas seguintes características: medidas das lesões, presença ou ausência de secreção, reepitelização, formação de tecido de granulação, presença de fibrina, ocorrência de hemorragia e presença de edema.

Mensuração das Feridas: Macroscopicamente foram avaliados através de um paquímetro (STARFER®) medindo-se a área da ferida. Após eutanásia, cada animal foi colocado sobre prancha cirúrgica e teve a lesão fotografada por câmera digital, mantida em tripé a distância fixa. A imagem foi importada para o software de morfometria IMAGEJ®, no qual foi delimitada a periferia da ferida e calculada sua área.



Figura 01 – Paquímetro (STARFER®) para mensuração da área das lesões cutâneas.

2.6 PARA UTILIZAÇÃO TERAPÊUTICA ULTRASSÔNICA DAS REGIÕES TRATADAS

Segundo Prentice (2004), a movimentação do transdutor durante a aplicação do UST distribui mais uniforme a energia na área de tratamento, especialmente quando a unidade tem

um *Beam Nonuniformity Ratio* (BNR) baixo (CASTEL, 1995). Isso pode reduzir os efeitos danosos das ondas estacionárias, particularmente daquelas nas interfaces osso-tecido. Foi utilizado a movimentação em faixas longitudinais. ERA do transdutor (KRAMER, 1984; MICHLOVITZ, 1996).

O equipamento utilizado para a administração da terapia ultrassônica foi (marca: IBRAMED®, SONOPULSE) Segundo as especificações técnicas do equipamento o mesmo fornece uma BNR de (=8) e (Effective Radiating Area= ERA 3cm²); Intensidade de 0,4 W/cm²; Frequência: 1MHz; Ciclo de Trabalho à 20%; Frequência de repetição de pulso: 48Hz; Potência: 1,6W; Tempo de tratamento: 5 minutos; Durante: 13 dias de intervenção.

2.7 EUTANÁSIA E COLETA DE MATERIAL

Método de eutanásia (Deslocamento cervical, uso de câmara de CO₂, Sangria sob anestesia, sobre dose de anestésico geral, decapitação): A eutanásia foi realizada mediante administração de dose de tiopental sódico 100mg/kg por via intraperitoneal (MASSONE, 2003) seguida, após anestesia, de administração intravenosa de cloreto de potássio 10% na veia cava caudal sob supervisão da médica veterinária colaboradora deste projeto (Waldillyny Ribeiro de Araújo Moura), de acordo com a Resolução N° 876 do Conselho Federal de Medicina Veterinária, de 15 de fevereiro de 2008 – Anexo I.

Justificativa para o procedimento de eutanásia proposto: Não expõe o animal a estresse físico ou sofrimento.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise foi utilizado recursos dos software SPSS 11.0 e Bioest 4.0. Foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk ou Kolmogorov-Smirnov para testar a normalidade da amostra. Para os dados paramétricos, comparações dentro dos grupos foi realizado por meio da aplicação de teste t pareado, e as comparações entre grupos foi realizado por ANOVA tow way, seguida de pós teste de Bonferroni. O nível de significância foi estabelecido em $p < 0,05$.

2.9 ASPECTOS ÉTICOS

Os procedimentos descritivos seguiram os princípios éticos de experimentação animal definidos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA).

O projeto foi previamente, ao início dos experimentos, submetido à apreciação pelo A Comissão de Ética no Uso de Animais do Centro Universitário UNINOVAFAPI (CEUA-UNINOVAFAPI)

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Foram registrados os perímetros das lesões, imediatamente após a produção e nos vários períodos de observação pós-operatória, para ambos os grupos experimentais.

Os registros foram obtidos por meio de uma máquina fotográfica digital marca SONY Cyber-shot DSC-WX100, 18.2 Mpx, AVCHD. Esses registros foram armazenados para processamento e análise computacional utilizando um programa específico de processamento e análise de imagens (IMAGEJ®), capaz de realizar a medida planimétrica da área. Os registros foram reproduzidos juntamente com a escala em centímetros do paquímetro (STARFER®) para cálculo das áreas.

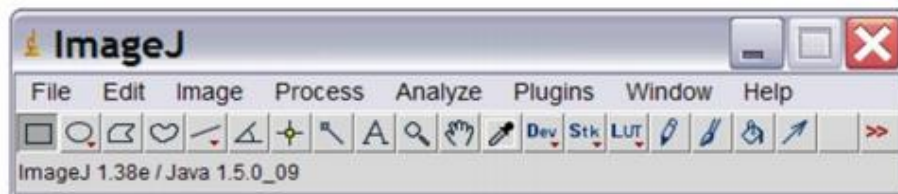
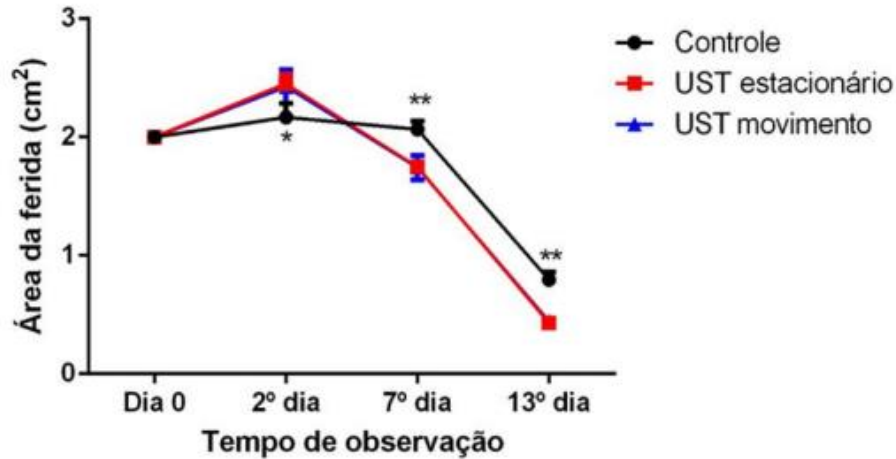


Figura 02: Programa específico de processamento e análise de imagens.

Neste estudo, a variável área da lesão foi estabelecida comparando-se as diferenças entre os valores observados no segundo dia após a sua produção, sétimo e o último dia de cada grupo experimental, ou seja, os períodos de observação pós-operatória (3, 7 e 13 dias) e os grupos experimentais (G1-controle), (G2- UST estacionário), (G3- UST em movimento) dos grupos G2 e G3 (irradiação efetiva com cabeçote estacionário e irradiação efetiva com cabeçote em movimento).

Gráfico 01 – Área da ferida (cm²) de ratos submetidos a lesão dorsal não tratados e tratados com ultrassom estacionário ou em movimento durante 13 dias. Anova two-way seguida de pós-teste de Bonferroni: *P<0,05 em relação aos grupos UST estacionário e UST movimento (vs) Controle; **p<0,01 em relação aos grupos UST estacionário e UST movimento. Teresina, 2014.



A análise evidenciou que não houve diferença estatisticamente significativa nas áreas das lesões entre os grupos experimentais G2 e G3 no 2º, 7º e 13º dias de pós-operatório. Porém, quando comparado os grupos G2 e G3 ao grupo G1 as diferenças entre as áreas das lesões verificadas foram estatisticamente significativas, com redução expressiva da área da ferida ao 7º e 13º dia de intervenção.

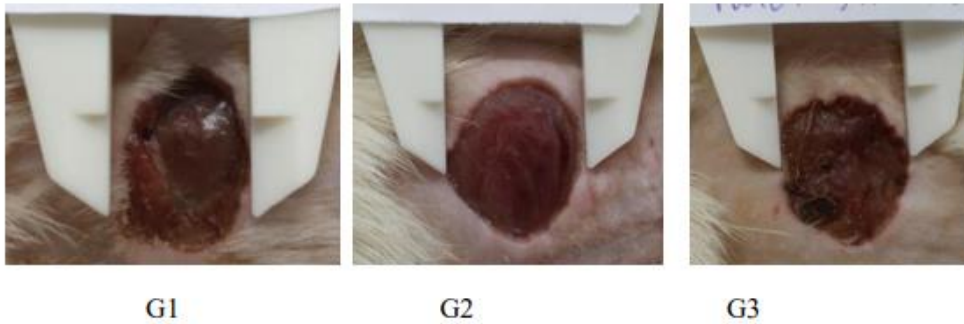
Neste estudo foi encontrada a diferença no índice de contração das feridas no 7º e 13º dia entre os grupos (UST estacionário) e (UST em movimento) em relação ao grupo controle após a realização das intervenções. Observou-se também, que ao final do período de acompanhamento (13º dia) a contração da ferida foi significativamente menor nos animais do grupo controle, quando comparados com UST estacionário e UST em movimento.

3.2 ANÁLISE MACROSCÓPICA

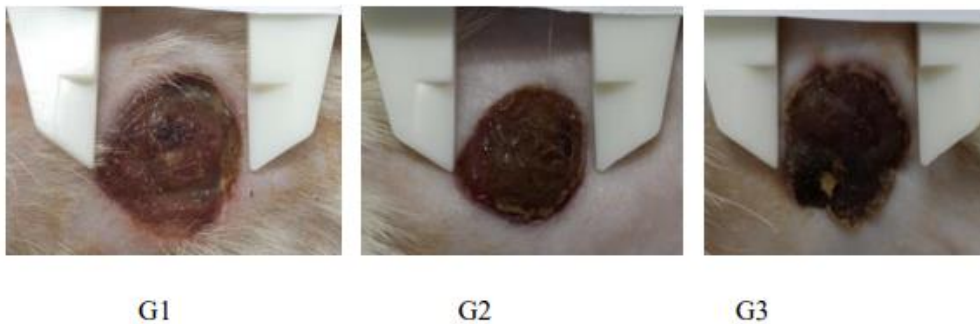
Todos os animais foram submetidos a pesagem e anestesiados com a solução composta pela associação de Quetamina na dose de 50mg/kg + Xilazina 10mg/kg de peso corporal, sendo o procedimento anestésico realizado por via intramuscular. Após a comprovação da anestesia, os animais foram colocados em decúbito dorsal e procedeu-se a tricotomia seguida de assepsia e incisão cirúrgica de 02cm². A mensuração macroscópica e avaliação clínica das feridas foram realizadas diariamente antes da intervenção com o UST pulsado através de um paquímetro (STARFER) medindo-se a área das lesões cutâneas e fotografadas com câmera digital, posteriormente foi realizada a avaliação clínica.

A seguir estão as fotos do segundo dia, do sétimo dia e do décimo terceiro dia, na ordem os grupos G1 (controle) e G2 (UST estacionário) ao G3 (UST em movimento), para mostrar a evolução da cicatrização macroscópica em todos os grupos:

Figuras 03: Aspecto clínico do processo cicatricial dos ratos (G1); (G2); (G3), no terceiro dia de intervenção. Teresina, 2014.



Figuras 04: Aspecto clínico do processo cicatricial dos ratos (G1); (G2); (G3), no sétimo dia de intervenção. Teresina, 2014.



Figuras 05: Aspecto clínico do processo cicatricial dos ratos (G1); (G2); (G3), no décimo terceiro dia de intervenção. Teresina, 2014.

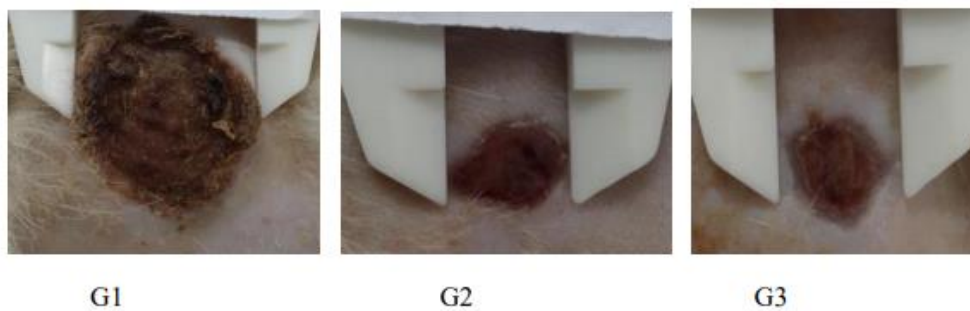


Tabela 1: Índice de cicatrização de feridas cutâneas em ratos submetidos à produção da ferida. Teresina, 2014.

Dia de tratamento	Grupo - 01 (controle)	Grupo - 02 (UST estacionário)	Grupo - 03 (UST em movimento)
7°	-3,32 ± 8,62	12,5 ± 5,92	12,8 ± 12,5
13°	60,15 ± 7,70	78,3 ± 4,96	77,7 ± 3,9

Animais tratados com aparelho desligado (G1), animais tratados com aplicação de ultrassom pulsado com transdutor estacionário (G2), e animais tratados com ultrassom pulsado com transdutor em movimento (G3) no 7° e 13° dia de tratamento. *P<0,05/**p<0,01

Mediante as imagens apresentadas, no terceiro dia de intervenção nos animais dos grupos G2 e G3 esta cicatrização ocorreu de maneira satisfatória, não havendo presença de processo inflamatório com contaminação e infecção a nível macroscópico, apresentaram cicatrização mais avançada com uma significativa presença de tecido fibrinoso e de granulação nos animais. No grupo G1 foi observado neste dia a presença de processo inflamatório e edema.

Ao sétimo dia de intervenção o grupo G1 apresentou ainda processo inflamatório intenso com infiltrados e edema e uma discreta camada de fibrina. Nos grupos experimentais G2 e G3 apresentavam intensa reepitelização e significativa presença de tecido fibrinoso e de granulação e diminuição significativa da área das lesões.

Somente no décimo terceiro dia o grupo G1 apresentou ausência de infiltrados, redução do edema e da inflamação, formação de tecido de granulação, presença de fibrina e leve reepitelização. Os grupos experimentais G2 e G3 progrediram com a contração das feridas cutâneas, padrão leve e moderado de reepitelização, tecido de granulação e fibrina.

4 DISCUSSÃO

Apesar de existirem muitos estudos publicados sobre a terapia ultrassônica pulsada no processo de reparo tecidual, ainda existe ceticismo quanto a utilização do uso do cabeçote estacionário e sua eficácia sobre o processo de cicatrização da pele, tendões, músculos, ligamentos, demonstrando seus benefícios com baixas doses e seus prejuízos com doses elevadas.

Nos dias atuais o UST provavelmente seja um dos recursos físicos mais utilizados no tratamento de lesões de pele e tecidos moles, podendo acelerar o processo de cicatrização tecidual em todas as fases com ação pró-inflamatória e analgésica, estimula a angiogênese, a

contração da ferida e o alinhamento das fibras colágenas. Com a irradiação ultrassônica, é possível uma eventual melhora na velocidade da reparação cutânea, quanto à qualidade do tecido cicatricial. No modo pulsado, o efeito térmico se reduz devido à interrupção cíclica da emissão de energia, ao mesmo tempo em que mantém o efeito biológico. Tem sido sugerido que os efeitos não térmicos do UST, incluindo a cavitação e a micro-massagem acústica são mais importantes no tratamento de lesões dos tecidos moles do que os efeitos térmicos (YENG,2005).

A aplicação de UST influencia na remodelagem do tecido cicatricial, podendo intensificar a orientação apropriada das fibras de colágeno recém-formadas e mudar o perfil de colágeno predominantemente tipo III para um mais dominante do tipo I, então, aumentando a força de tensão e intensificando a modalidade da cicatriz (LARSEN, 2005; WANG et al.,2003) ,ou seja, intensifica a capacidade funcional dos tecidos cicatriciais.

No presente estudo, as feridas cutâneas foram tratadas por UST, 1MHz, pulsado a 20%, intensidade 0,4W/cm², durante 5 minutos, no período de 13 dias. Observou-se que, no sétimo e décimo terceiro dias após a lesão, houve diferenças estaticamente significativas entre as áreas das lesões quando comparado os grupos G2 e G3 ao grupo G1, com redução expressiva da área das feridas de intervenção. Provavelmente no sétimo e décimo terceiro dia após a lesão houve um número inferior de células inflamatórias (polimorfos e macrófagos) nas feridas tratadas por UST estacionário e UST em movimento do que no grupo controle, havendo um maior número de fibroblastos dispostos em alinhamento específico de modo a favorecer a contração da ferida.

Os resultados obtidos na análise das áreas das lesões, vão de encontro com os achados de Tacini, et al. (2014) que realizou um estudo retrospectivo por análise de 316 prontuários de pacientes com deiscência da ferida operatória no pós-operatório de cirurgia plástica com 1,1 e 4,2 cm de comprimento, estes sendo tratados por UST (3MHz, pulsado a 50%, intensidade 0,5W/cm², 10 minutos, 8 sessões) todos os indivíduos apresentaram fechamento completo das lesões após oito dias de intervenção.

Este fator, provavelmente, se dá por meio da ação do UST pulsado sobre os miofibroblastos na área de lesão durante a fase de maturação, reduzindo o tamanho da cicatriz por remodelação e alinhamento das fibras de colágenos por aumento da expressividade dos miofibroblastos e enzima colagenase, melhorando a tensão existente no local e proporcionando uma contrabilidade efetiva da ferida (TAZIMA et al.2008; NASCIMENTO,2008) .

Os miofibroblastos são células que além de serem potentes estimuladoras da formação de células epiteliais (queranócitos, granulócitos, etc) aumentam a angiogênese pela estimulação do crescimento de novos vasos sanguíneos por favorecerem a proliferação de células do

endotélio capilar, com proliferação diferenciada de neovasos, melhorando a oxigenação dos tecidos em reparação e, como consequência a estimulação da proliferação do colágeno tipo IV. (SKINOVSKY et al. 2016)

O aspecto clínico macroscópico no terceiro, sétimo e décimo terceiro dia de intervenção nos animais dos grupos G2 e G3 ocorreu de maneira satisfatória não havendo presença de processo inflamatório com contaminação e infecção a nível macroscópico, eles apresentam cicatrização mais avançada com uma significativa presença de tecido fibrinoso e de granulação nos animais, sendo que a quantidade de tecido granulação e tecido fibrinoso é presumivelmente relacionada maior síntese de fibroblastos pela matriz extracelular por estimulação do UST, sugerindo-se progressão mais efetiva em fase proliferativa de reparação do que no grupo 1, onde foi observado nestes dias a presença de processo inflamatório e edema.

De acordo com Beck et al. (2001) a maior quantidade de tecido de granulação vistos nos grupos tratados com UST pulsado com cabeçote estacionário ou em movimento tenha sido por aceleração da fase proliferativa e estimulação de uma maior quantidade de células inflamatórias residentes (por exemplo, macrófagos) que sintetizaram a liberação precoce de fatores da reparação tecidual (por exemplo, interleucina-1, fator de crescimento de fibroblastos, fator de necrose tumoral alfa), que atraem fibroblastos e células endoteliais para dentro da área das feridas.

Segundo Romo e Mclaughlin (2003) o fator de crescimento de fibroblastos tanto pode estimular quanto inibir os fibroblastos, tornando-se importante no mecanismo de retroalimentação da síntese e degradação do colágeno, bem como na própria cicatrização da ferida. A interleucina-1 (IL-1), fator de crescimento de necrose tumoral alfa (TNF- α) e fator de necrose tumoral (TNF) produzidos por macrófagos também são estimuladores potentes da síntese de colágeno pelos fibroblastos, embora não tenham efeito mitogênico sobre essas células.

Fantinati et al., (2016) evidencia que a utilização do UST nas fases inflamatória e proliferativa traz benefícios como o controle do tecido necrótico, aumento significativo do tecido de granulação e na contração de feridas, sendo assim quando aplicado nas primeiras horas após a lesão torna-se um importante coadjuvante na amplificação da resposta inflamatória inicial e acelerando todos os eventos da inflamação aguda cicatricial (alteração do calibre vascular, aumento da permeabilidade vascular e diapedese) não deixando o ferimento se tornar crônico. Durante o reparo de lesões teciduais, na fase de proliferação, o UST estimula os fibroblastos a produzirem mais colágeno pelo aumento na permeabilidade da membrana celular,

estimulando também o crescimento de novos capilares no tecido isquêmico. (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004)

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados indica que o tratamento com UST pulsado com a dosimetria estabelecida, favoreceu a cicatrização das feridas cutâneas em ratos bem como favoreceu amplificação a resposta inflamatória inicial contribuindo como mecanismo facilitador da cicatrização cutânea.

Apesar de a literatura sugerir que na prática de aplicação de UST seja com a movimentação do cabeçote visando a prevenção de lesão tecidual pelas ondas estacionárias, nesse estudo podemos afirmar que quando administrado o UST como meio facilitador do processo de cicatrização tecidual, a movimentação do transdutor não influencia na capacidade regenerativa do tecido, portanto a utilização do UST com cabeçote estacionário não gera riscos potenciais ao processo de regeneração cutânea.

Embora os resultados aqui apresentados tenham apontado eficácia do UST pulsado no sétimo dia e décimo terceiro dias de intervenção nos grupos experimentais tratados com UST pulsado, cabeçote estacionário e com os parâmetros previamente estabelecidos, não se sabe exatamente até quais métodos e parâmetros podem ser usados para que não haja danos teciduais pelas ondas estacionárias. Portanto, sugerisse mais estudos com diferentes dosagens, afim de avaliar os efeitos da velocidade da movimentação do transdutor em outros tecidos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Elias et al. Efeito do uso tópico do extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (babaçu) na cicatrização de feridas cutâneas: estudo controlado em ratos. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 21, p. 67-76, 2006.
- BAVARESCO, Taline et al. Terapia a laser de baixa potência na cicatrização de feridas. **Rev. enferm. UFPE on line**, p. 216-226, 2019.
- BECK, L. Steven et al. TGF- β 1 accelerates wound healing: reversal of steroid-impaired healing in rats and rabbits. **Growth Factors**, v. 5, n. 4, p. 295-304, 1991.
- CANCELLIERO, Karina Maria. Mecanismos de interação do ultra-som terapêutico com tecidos biológicos. **Fisioterapia Brasil**, v. 7, n. 2, p. 142-148, 2018.
- CASTEL, J. C.: Electrotherapy application in clinical for neuromuscular stimulation and tissue repair. **Presented at the 46th Annual Clinical Symposium of the National Athletic Trainer's Association**. Indianapolis. 1995.
- CONNER-KERR, Teresa; OESTERLE, Mary Ellen. Current perspectives on therapeutic ultrasound in the management of chronic wounds: a review of evidence. **Chronic Wound Care Management and Research**, v. 4, p. 89-98, 2017.
- DALTRO, Ana Flávia Calmon et al. Análise comparativa do efeito de dois protocolos de ultrassom terapêutico para regeneração de defeito ósseo crítico. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 55, n. 3, p. 278-283, 2020.
- DE OLIVEIRA, Simone Tostes et al. Formulações de confrei (*Symphytum officinale* L.) na cicatrização de feridas cutâneas de ratos. **Revista da FZVA**, v. 8, n. 1, 2000.
- FANTINATI, Marcelo Silva et al. Low intensity ultrasound therapy induces angiogenesis and persistent inflammation in the chronic phase of the healing process of third degree burn wounds experimentally induced in diabetic and non-diabetic rats. **Acta cirurgica brasileira**, v. 31, n. 7, p. 463-471, 2016.
- JUNQUEIRA L.C.; CARNEIRO J. **Pele e Anexos. Histologia Básica**. 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A. 10 ed, 2004. p.359-370.
- KRAMER, John F. Ultrasound: evaluation of its mechanical and thermal effects. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 65, n. 5, p. 223-227, 1984.
- LARSEN, Allan et al. The influence of ultrasound on the mechanical properties of healing tendons in rabbits. **Acta orthopaedica**, v. 76, n. 2, p. 225-230, 2005.
- LEAL, Tassia de Souza et al. Percepção de pessoas com a ferida crônica. **Rev. enferm. UFPE on line**, p. 1156-1162, 2017.
- MASSONE, F. **Anestesiologia veterinária: Farmacologia e técnicas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, p. 344, 2003

- MICHLOVITZ, S. Thermal agentes in Rehabilitation. **Philadelphia**, FA. Davis, 1996
- NASCIMENTO, Delcides Gomes et al. Efeitos da irradiação com o laser hene 632.8 nm sobre a cicatrização de feridas em ratos. **Ciência, Cuidado e Saúde**, v. 5, n. 2, p. 229-235, 2006.
- PRENTICE, W.E. **Modalidades Terapêuticas para Fisioterapeutas**. 2ª ed. Porto Alegre, Artmed; 2004. p.269
- RAHAL, Sheila Canevese et al. Pomada orgânica natural ou solução salina isotônica no tratamento de feridas limpas induzidas em ratos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 1007-1011, 2001.
- RAMALHO, Márcia Pinheiro et al. Plantas medicinais no processo de cicatrização de feridas: revisão de literatura. **Rev. Expr. Catól. Saúde**; v. 3, n. 2; Jul – Dez; 2018.
- RODRIGUES, Gabriela Meira; MACHADO, Ana Beatriz Cruz; PEREIRA, Geniffer Prevelato. FISIOTERAPIA E ESTÉTICA: PROCEDIMENTOS COM ULTRASSOM. **Revista Liberum accessum**, v. 1, n. 2, p. 22-26, 2020.
- ROMO III, T; McLAUGHLIN, L. A. WOUND HALING, SKIN. 2003
- SANTOS, Luciana de Oliveira Marques dos et al. Efeito da somatotropina sobre a cicatrização de feridas cutâneas, em ratos. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 17, n. 4, p. 220-224, 2002.
- SKINOVSKY, James et al. A influência da nicotina na cicatrização de anastomoses do intestino delgado em ratos: angiogênese e miofibroblastos. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 43, n. 2, p. 87-92, 2016.
- TACANI, P. M. et al. Prevalência e tratamento fisioterapêutico de deiscências da ferida operatória após cirurgias plásticas: análise retrospectiva. **R Bras Ci Saúde**. 2014; 12 (39): 28-34.
- TAZIMA, M. F.G.S. et al. Biologia da ferida e cicatrização; **Wound biology and healing**. Medicina (Ribeirão Preto), v. 41, n. 3, p. 259-264, 2008.
- WANG, Ching-Jen et al. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon–bone junction. A study in rabbits. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 21, n. 6, p. 984-989, 2003.
- WONG, Rita A. et al. A survey of therapeutic ultrasound use by physical therapists who are orthopaedic certified specialists. **Physical Therapy**, v. 87, n. 8, p. 986-994, 2007.
- YEUNG, Chi Keung; GUO, Xia; NG, Yin Fat. Pulsed ultrasound treatment accelerates the repair of Achilles tendon rupture in rats. **Journal of orthopaedic research**, v. 24, n. 2, p. 193-201, 2006.