

Efeitos do ultrassom pulsado de baixa intensidade em fraturas, pseudoartroses e consolidação óssea de adultos: uma revisão de literatura

Effects of low-intensity pulsed ultrasound on fractures, pseudoarthrosis, and bone consolidation in adults: a literature review

Moacir Rodrigues Serpa Neto¹
Carolina Gonçalves Pinheiro²

REVISÃO DE LITERATURA

Recebido: 10-10-2024
Aprovado: 01-12-2024

PALAVRAS-CHAVE:

Terapia não invasiva;
Reparo ósseo;
Regeneração tecidual.

KEYWORDS:

Non-invasive therapy;
Bone repair;
Tissue regeneration.

Resumo: O tratamento com ultrassom tem sido utilizado no reparo ósseo; contudo, ainda existem controvérsias em relação aos seus efeitos e aos parâmetros de utilização, sendo seu uso, muitas vezes, negligenciado ou fundamentado apenas na experiência prática. Assim, um estudo que busque, na literatura, pesquisas existentes sobre a utilização do ultrassom na consolidação óssea é de grande importância para a academia, a fim de descrever seus parâmetros e efeitos e fornecer subsídios para a utilização dessa terapia na prática clínica. Além disso, essa abordagem pode constituir uma alternativa terapêutica fundamentada para o tratamento de alterações na consolidação óssea. Nesse contexto, a utilização do ultrassom terapêutico tem sido explorada como uma opção não invasiva, com potencial para acelerar a consolidação óssea, reduzir o tempo de recuperação e melhorar os resultados funcionais. Nessa perspectiva, este artigo teve como objetivo elucidar os efeitos terapêuticos do uso do ultrassom no processo de consolidação óssea em pacientes adultos com fraturas ou pseudoartrose. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura sobre a utilização do ultrassom terapêutico no tratamento de fraturas em adultos, de caráter exploratório e descritivo, com abordagem qualitativa. A terapia com ultrassom pulsado de baixa intensidade mostrou-se segura e eficaz, favorecendo a formação óssea endocondral e do calo ósseo, além de reduzir o tempo de consolidação em casos de fraturas ou pseudoartroses. Portanto, o ultrassom pulsado de baixa intensidade apresenta-se como uma terapia promissora, com potencial para auxiliar no tratamento de fraturas, pseudoartroses e alterações na consolidação óssea. Entretanto, ainda são necessários estudos adicionais que contribuam para a padronização dos parâmetros de utilização dessa terapia.

Abstract: Ultrasound therapy has been used in bone repair; however, there are still controversies regarding its effects and application parameters, and its use is often neglected or based solely on practical experience. Thus, a study that investigates the existing literature on the use of ultrasound in bone healing is of great importance to the academic community, as it can describe the relevant parameters and effects and provide evidence to support the use of this therapy in clinical practice. In addition, this approach may represent an evidence-based therapeutic alternative for the treatment of impaired bone healing. In this context, therapeutic ultrasound has been explored as a non-invasive option with the potential to accelerate bone healing, reduce recovery time, and improve functional outcomes. From this perspective, this study aimed to elucidate the therapeutic effects of ultrasound use on the bone healing process in adult patients with fractures or pseudoarthrosis. This is an integrative literature review on the use of therapeutic ultrasound in the treatment of fractures in adults, characterized as exploratory and descriptive, with a qualitative approach. Low-intensity pulsed ultrasound therapy was shown to be safe and effective, promoting endochondral bone and callus formation, as well as reducing healing time in cases of fractures or pseudoarthrosis. Therefore, low-intensity pulsed ultrasound represents a promising therapeutic approach with the potential to support the treatment of fractures, pseudoarthrosis, and impaired bone healing. However, further studies are needed to contribute to the standardization of the parameters for the use of this therapy.



¹Especialista em saúde pública. Faculdades Integradas do Ceará, Iguatu, Ceará, Brasil. Email: moacirserpaneto@gmail.com

²Discente do curso de graduação em Fisioterapia. Faculdades Integradas do Ceará, Iguatu, Ceará, Brasil.

INTRODUÇÃO

O reparo ósseo é um processo regenerativo complexo, a qual inclui a interação de uma série de eventos biológicos, como a síntese ativa de genes e a ação de variadas células e proteínas, que determinarão a restauração da integridade do tecido ósseo (Amancio et al., 2006).

Assim, o processo de cicatrização óssea acontece por duas fases, a cicatrização óssea primária, na qual ocorre o curso da inflamação e a cicatrização óssea secundária, ocorrendo a formação do calo ósseo. A fase secundária é subdividida ainda em três fases: inflamatória, reparadora e remodeladora (Teixeira et al., 2023).

A consolidação óssea ocorre especialmente em casos de fraturas. E entende-se por fraturas a descontinuidade óssea, a qual se manifesta a partir de movimentos ósseos no local fraturado, dor e fraqueza no membro atingido (Silva et al., 2020). A consolidação normal de uma fratura é um processo biológico denominado osteointegração devido à osteogênese, que significa formação de um novo tecido (Waris et al., 2013).

Outra condição que também há necessidade de consolidação óssea é a pseudoartrose, que é uma complicação na qual uma fratura não consolidou e/ou não apresenta sinais clínicos ou radiológicos de calos moles. Esta complicação repercute com dor, deformidades ósseas, compressão neurológica e necrose óssea (Silva et al., 2020).

O Ultrassom de baixa intensidade de forma pulsada, ao se propagar como energia mecânica, atinge a superfície óssea e gera sinais elétricos que estimulam o metabolismo ósseo (Fontes-Pereira et al., 2013).

Reações físicas não térmicas produzidas pelo ultrassom, aumentam ocasionalmente a permeabilidade celular, da síntese proteica, do fluxo de íons de cálcio e da passagem de metabólitos através da membrana celular, contribuindo positivamente na reparação. É sugerido que ondas sonoras pulsáteis de baixa intensidade antecipem o processo cicatricial de ossos fraturados, compelindo reação anabólica direta de células osteogênicas (Silva et al., 2021).

O tratamento com ultrassom tem sido utilizado em reparo ósseo, porém, ainda existem controvérsias em relação aos seus efeitos, bem como parâmetros, sendo, seu uso, muitas vezes negligenciado ou fundamentado na experiência prática. Assim, um estudo que busque na literatura, as pesquisas já existentes sobre o uso do ultrassom na consolidação óssea são de grande importância para a

Academia, afim de descrever os parâmetros e efeitos para justificativa da utilização na prática clínica. Além disso, pode se tornar uma alternativa fundamentada no tratamento da consolidação óssea.

Dessa forma, a utilização do ultrassom terapêutico tem sido explorada como uma opção não invasiva que pode potencialmente acelerar a consolidação óssea, reduzindo o tempo de recuperação e melhorando os resultados funcionais. Com isso se faz necessário o seguinte questionamento: quais os efeitos terapêuticos do ultrassom em adultos com fratura ou pseudoartrose? Nesta perspectiva, este artigo tem como objetivo elucidar os efeitos terapêuticos do uso do ultrassom no processo de consolidação óssea em pacientes adultos com fraturas ou pseudoartrose.

METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma revisão integrativa de literatura que de acordo com Marconi e Lakatos (2019), a revisão de literatura é um processo investigativo que envolve a análise de artigos correlatos ao tema em estudo, sendo este do tipo exploratório descritivo, com abordagem qualitativa sobre a utilização do ultrassom terapêutico no tratamento de fraturas em adultos.

O levantamento bibliográfico foi realizado no período entre janeiro e junho de 2024, nas bases de dados PUBMED (Public/Publisher) da National Library of Medicine (NLM), publicadas no período de 2014 a 2024. Foram utilizados como descritores fornecidos pelo DECS – Descritores em Ciências da Saúde: Ultrasonic Therapy, Fracture Healing, Pseudarthrosis, Adult, em língua inglesa, correlacionadas pelo booleano AND.

Para a realização da triagem dos artigos, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: artigos disponíveis em texto completo e gratuitamente, publicados nos últimos dez anos e que apresentassem relação direta com a temática investigada. Foram excluídos trabalhos de conclusão de curso, artigos de revisão, dissertações, teses, relatórios, trabalhos publicados em anais de conferências e outros tipos de documentos, bem como estudos publicados em idiomas diferentes do português, inglês e espanhol.

Os critérios de seleção dos estudos foram definidos seguindo o método PICO, composta por quatro componentes essenciais: Paciente (população do estudo), Intervenção (tratamento ou condição em análise), Comparação (o grupo de controle ou a alternativa comparada) e Outcomes (os resultados medidos). Essa estruturação visa garantir a relevância e a clareza na identificação dos estudos.

Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão dos artigos relacionados à revisão de acordo com o PICO.

Etapas do PICO	Inclusão	Exclusão
P: Participate	Estudo com participantes adultos acometidos por fraturas ou pseudoartroses.	Estudos onde os participantes não eram adultos e acometidos por outras patologias.
I: Intervention	Utilização do ultrassom terapêutico em adultos acometidos por fraturas ou pseudoartroses.	Intervenções sem correlação com o tema.
C: Comparision	Comparação dos efeitos do ultrassom terapêutico em adultos acometidos por fraturas ou pseudoartroses.	-
O: Outcome	Pressuposição de efeitos positivos da utilização ultrassom terapêutico em adultos acometidos por fraturas ou pseudoartroses.	-

Inicialmente, procedeu-se à triagem dos artigos através da análise dos títulos. Artigos cujos títulos não demonstravam relação com os critérios de elegibilidade estabelecidos foram prontamente descartados. Em seguida, os resumos dos artigos pré-selecionados foram examinados, adotando-se os critérios de inclusão e exclusão definidos para o estudo. Confirmada a pertinência dos artigos nesta fase, procedeu-se à leitura completa dos mesmos, de onde se extraiu

as informações relevantes para serem empregadas na pesquisa.

A busca PUBMED totalizou em 29 artigos utilizando-se destes critérios de inclusão: texto completo e gratuito, publicados nos últimos 10 anos e que tivessem correção com a temática em questão. Após a busca, realizou-se a leitura do título, evidenciando-se que alguns destes, não atendiam os critérios de inclusão. Deste, foram selecionados 16 artigo para a leitura na íntegra.

Tabela 2: Busca em Base de Dados.

Base de dados	DECS	Encontrados	Encontrados após os filtros	Excluídos (quantidade e motivo)	Utilizados
PUBMED	Ultrasonic Therapy AND Fracture Healing AND Adult.	108	29	9 Motivo: Revisão integrativa 4 Não atendia a temática pesquisada.	16
	Ultrasonic Therapy AND Pseudarthrosis AND Adult.	8	1	1 Motivo: Não atendia a temática pesquisada.	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a leitura e análise dos artigos selecionados, os dados pertinentes foram organizados nas tabelas subsequentes. A

investigação resultou na identificação de 18 estudos relevantes, que foram examinados e posteriormente discutidos à luz do conhecimento científico contemporâneo.

Tabela 3: Distribuição de artigos por Autor (es)/ Ano, Título, Objetivos e Tipo de Estudo

Autor (es)/ano	Título	Objetivo	Tipo de pesquisa
Nozaka, et al., 2014.	Combined effect of teriparatide and low-intensity pulsed ultrasound for nonunion: a case report.	Observar potenciais efeitos aditivos do ultrassom pulsado de baixa intensidade e da terapia com teriparatida na consolidação óssea.	Relato de caso.
Salem; Schmelz, 2014.	Low-intensity pulsed ultrasound shortens the treatment time in tibial distraction osteogenesis.	Estudar o efeito do ultrassom pulsado de baixa intensidade na maturação óssea após distração do calo tibial em relação ao índice de cicatrização, tempo de fixação e densidade óssea radiográfica no ambiente clínico.	Ensaio clínico randomizado.
Busse et al., 2014	Trial to re-evaluate ultrasound in the treatment of tibial fractures (TRUST): a multicenter randomized pilot study.	Explorar a viabilidade de um ensaio definitivo para estabelecer o papel do ultrassom pulsado de baixa intensidade na consolidação de fraturas da tíbia.	Estudo randomizado multicêntrico e cego.
Liu et al., 2014	Ultrasound treatment for accelerating fracture healing of the distal radius. A control study.	Investigar os efeitos aceleradores da estimulação ultrassonográfica pulsada de baixa intensidade (LIPUS) na consolidação de fraturas do rádio distal.	Estudo de controle.
Zura, et al., 2015 ^a	A cohort study of 4,190 patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS): findings in the elderly versus all patients.	Relatar o conjunto de dados completo e validados incluindo o dobro de pacientes relatados anteriormente.	Estudo de Coorte.
Farkash et al., 2015.	Low-intensity pulsed ultrasound for treating delayed union scaphoid fractures: case series.	Definir a taxa de sucesso do tratamento por ultrassom pulsado de baixa intensidade para consolidação tardia de fraturas do escafoide.	Estudo de séries de casos.
Povlsen; Povlsen, 2015.	Low-intensity pulsed ultrasound treatment as an alternative to vascular bone graft surgery for a 5-year-long ulnar non-union in a patient with haemochromatosis.	Demonstrar que o tratamento com ultrassom pulsado de baixa intensidade pode tratar com sucesso uma pseudartrose de longa data, previamente revisada e sem sucesso, em um paciente com hemocromatose.	Estudo de Caso.
Zura et al., 2015b.	Treatment of chronic (> 1 year) fracture nonunion: heal rate in a cohort of 767 patients treated with low-intensity pulsed ultrasound.	Observar se o ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS) pode induzir a cicatrização em fraturas crônicas não consolidadas.	Estudo de coorte observacional retrospectivo.
Biglari et al., 2016	Failed treatment of long bone nonunions with low intensity pulsed ultrasound.	Saber se esse procedimento tem utilidade clínica e quais cofatores influenciam seus resultados terapêuticos.	Estudo observacional prospectivo.
Nolte et al., 2016	Heal rate of metatarsal fractures: A propensity-matching study of patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) vs. surgical and other treatments.	Averiguar se o Ultrassom pulsado de baixa intensidade produz taxas de cura comparáveis às técnicas cirúrgicas atuais.	Estudo de coorte observacional retrospectivo.
Busse, et al., 2016.	Re-evaluation of low intensity pulsed ultrasound in treatment of tibial fractures (TRUST): randomized clinical trial.	Determinar se o ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS), comparado ao tratamento simulado, acelera a recuperação funcional e a cicatrização radiográfica em fraturas da tíbia tratadas cirurgicamente.	Ensaio clínico multicêntrico, randomizado, cego, controlado.
Simpson et al., 2017	Low-intensity pulsed ultrasound does not influence bone healing by distraction osteogenesis: a multicentre double-blind randomised control trial.	Avaliar se o ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS) acelerou ou aumentou a taxa de consolidação óssea em pacientes adultos submetidos à osteogênese por distração.	Estudo duplo-cego, prospectivo, randomizado e controlado.

Tarride et al., 2017	Low-intensity pulsed ultrasound for treatment of tibial fractures.	Estabelecer o efeito do ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS) nas fraturas da diáfise da tíbia tratadas com haste intramedular.	Ensaio clínico randomizado, multicêntrico e controlado.
Song et al., 2019	Low-intensity pulsed ultrasound enhances callus consolidation in distraction osteogenesis of the tibia by the technique of lengthening over the nail procedure.	Avaliar a eficácia do ultrassom pulsado de baixa intensidade durante a osteogênese por distração sob a hipótese de que o ultrassom aumentaria a maturação do calo.	Estudo retrospectivo.
Bawale, et al., 2021	Experience of an isolated use of low-intensity pulsed ultrasound therapy on fracture healing in established non-unions: a prospective case series.	Avaliar os resultados do ultrassom pulsado de baixa intensidade nos pacientes selecionados.	Estudo prospectivo de série de casos.
Zhang et al., 2021	Fracture nonunion treated with low-intensity pulsed ultrasound and monitored with ultrasonography: a feasibility study.	Investigar o efeito positivo da terapia por ultrassom pulsado de baixa intensidade na pseudoartrose e monitorar a ocorrência de ossificação heterotópica que pode ser estimulada pelo ultrassom.	Estudo de caso.

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

A maioria dos estudos foi randomizado e controlado. E todos objetivaram resultados do ultrassom na consolidação óssea.

A tabela a seguir apresentam os parâmetros utilizados e os resultados obtidos. E a partir dela é possível evidenciar que sete estudos não apresentaram os parâmetros, o que dificulta a análise. 9 estudos que apresentaram os parâmetros definidos, a maioria trouxe a frequência de 1,5 MHz, largura de pulso de 200ms, frequência de repetição de 1kHz, intensidade de 30mW/cm² e tempo de 20 minutos.

Tabela 4: Distribuição de artigos por Autor (es)/ Ano, Métodos, Parâmetros do Ultrassom Terapêutico (UST) e Resultado.

Autor (es)/ ano	Métodos	Parâmetros do UST	Resultado
Nozaka, et al., 2014	Relata-se um caso de um homem japonês de 56 anos com fratura, diafisária do fêmur esquerdo que não apresentava sinais de cura após 3 meses de tratamento inicial (cirurgia de osteossíntese intramedular). O tratamento com ultrassom pulsado de baixa intensidade foi então iniciada, seguida pela terapia com paratormônio humano após mais 3 meses, quando a fratura ainda persistia.	Frequência de 1,5 MHz, largura de pulso de 200ms, frequência de repetição de 1kHz, intensidade de 30mW/cm ² .	A combinação desses tratamentos resultou na total consolidação da fratura 6 meses depois, sugerindo que a terapia combinada promoveu a formação óssea necessária para a recuperação. Os autores tem ciência de que novos estudos são necessários para fortalecer esse relato de caso.
Salem; Schmelz, 2014.	Ensaio clínico realizado de 2000 a 2006 com 21 pacientes adultos, todos acima de 18 anos, foram submetidos à distração de calo ósseo após fraturas da tíbia. Foram divididos em dois grupos: um experimental, que recebeu estimulação por ultrassom pulsado de baixa intensidade (Sonic Accelerated Fracture Healing System – SAFHS), e um controle. O grupo experimental era composto por 12 homens, com média de idade de 32 anos, e o grupo controle por nove pacientes, com média de idade de 29 anos. Todos os pacientes foram tratados com fixadores de Ilizarov e a distração do calo começou dez dias após a corticotomia.	Frequência: 1,5 MHz Forma: pulsada Largura de pulso: 200 µs Frequência de repetição de sinal: 1 kHz Intensidade: 30 mW/cm ² Tempo: 20 minutos por dia.	Os pacientes do grupo experimental levaram em média 33 dias para consolidar cada 1 cm de nova formação óssea, e no grupo controle esse tempo foi de 45 dias. Isso resultou em uma redução de 12 dias/cm no índice de cicatrização para o grupo experimental, indicando uma aceleração de 27% na maturação do calo ósseo. Além disso, o período de uso do fixador foi reduzido em 95 dias e a densidade radiográfica do calo ósseo do grupo experimental apresentou um aumento de 33% em comparação com o grupo controle.
Busse et al., 2014	Entre março de 2006 e junho de 2007 foram recrutados 51 pacientes adultos, com fraturas de tíbias tratadas cirurgicamente. Os pacientes foram randomizados e receberam um dispositivo EXOGEN 2000+ fabricado pela Smith & Nephew, juntamente com um livreto informativo e instrução verbais dos pesquisadores. A aplicação era feita uma vez ao dia, até cicatrização da fratura.	Especifica apenas o tempo de 20 minutos diários.	Os pacientes apresentaram alta adesão ao tratamento, sendo esta, medida pelo aparelho de ultrassom, com 39 participantes (76%) registrando adesão total e 12 participantes (24%) registrando adesão superior a 50%. Não foi observado nenhum efeito adverso. As visitas de acompanhamento foram 82% concluídas com sucesso.

Liu et al., 2014	81 pacientes com fratura distal de rádio foram recrutados de outubro de 2005 a março de 2008 e foram divididos aleatoriamente em dois grupos: grupo tratamento com ultrassom e grupo controle. Todos os pacientes tiveram suas lesões reduzidas e imobilizadas com gesso. A aplicação o ultrassom terapêutico de baixa intensidade (Shanghai Dahu Medical Instrument Plant) era feito mediante a uma janela no gesso.	Frequência: 1,5 MHz, largura de pulso de 200 μ s, intensidade de 30mW/cm ² e tempo de 15 minutos por dia.	O tempo de consolidação óssea foi significativamente menos no grupo que utilizou o ultrassom (32,04 $\pm$ 2,58d) do que no grupo controle (40,75 $\pm$ 5,12d).
Zura, et al., 2015	Foram coletados que constavam em prontuários de outubro de 1994 a outubro de 1998 de participantes de um registro pós-comercialização de um ultrasson pulsado de baixa intensidade da marca Exogen Bone Healing System, por uma enfermeira registrada no processo. 72,7% dos pacientes com fraturas receberam o tratamento com o ultrassom. A idade média dos pacientes era de 43,3 anos, sendo 20 anos a idade mínima.	Não especifica.	Dos 73% que aderiram ao tratamento, 96,2% alcançaram a taxa de cura. Fatores como fratura exposta, tabagismo, diabetes, insuficiência vascular, osteoporose, câncer, artrite reumatoide e o uso de anti-inflamatórios não esteroides - AINEs não afetaram significativamente a taxa de cura.
Farkash et al., 2015	Durante o período de 2011 a 2013, os pacientes da clínica de ortopedia da instituição realizadora do estudo receberam o tratamento com ultrassom pulsado de baixa intensidade (Melmak GmbH, Raisting, Alemanha) como tratamento alternativo ao tratamento cirúrgico para fratura de escafoide tardia. Foram excluídos os que possuíam fratura com desvio maior que 1mm ou com deformidade. Os 29 pacientes eram todos do sexo masculino com idade de 18 a 34 anos, subdivididos em 2 grupos: Diagnóstico precoce (13 indivíduos) e diagnóstico tardio (16 indivíduos).	Frequência de 1,5MHz, duração de pulso de 200 μ s, taxa de repetição de 1,0 KHz, potência de 30 mW/cm ² e tempo de 20 minutos.	O tratamento médio com ultrassom durou 2,3 meses, sendo 2,0 meses para o grupo com diagnóstico precoce e 2,6 meses para o grupo com diagnóstico tardio. Dos pacientes tratados, 76% das fraturas cicatrizaram, com uma taxa de sucesso de 92% no grupo de diagnóstico precoce e 63% no grupo de diagnóstico tardio. A consolidação das fraturas variou de acordo com a localização, com 82% na região proximal, 71% na cintura e 100% na região distal.
Povlsen; Povlsen, 2015.	Relato de caso de uma mulher de 75 anos, diagnosticada com hemocromatose há mais de 30 anos, apresentou dor persistente no antebraço direito após uma osteotomia ulnar realizada há 5 anos. Ela sofreu uma fratura de Colles em 1995, que necessitou de uma osteotomia radial. Posteriormente, desenvolveu síndrome de impatcação da ulna e foi submetida a várias cirurgias para correção. A paciente recusou mais cirurgias e optou por não tratar a condição pelos próximos 2 anos, apesar da dor intensa. Optou por tratamento não invasivo com ultrassom pulsado de baixa intensidade, com o uso de um dispositivo Exogen.	Frequência de 1,5 MHz, potência de 117 mW, área de 3,88 cm ² e tempo de 20 minutos.	O trabalho relata que a paciente experimentou uma redução significativa da dor no antebraço com a completa união, a ponto de não sentir mais a necessidade de tratamento médico. Ela já havia mencionado desconforto nas áreas onde sua placa estava localizada. No entanto, devido ao alívio dos sintomas após a consolidação ulnar, ela optou por não remover a placa para evitar mais procedimentos cirúrgicos.
Zura et al., 2015	Este estudo observacional retrospectivo analisou pacientes que usaram o dispositivo Exogen para tratar fraturas. A amostra foi 4190 pacientes, sendo homens ou mulheres (não grávidas) com 18 anos ou mais. Os dados foram extraídos de um registro pós-comercialização entre 14 de outubro de 1994 e 15 de outubro de 1998. Para serem incluídos na análise, os pacientes precisavam ter quatro pontos de dados: data da fratura, início e término do tratamento com ultrassom pulsado de baixa intensidade, e resultado (curado/falha). O estudo também calculou o tempo desde a fratura até o tratamento e o tempo desde o tratamento até o final do tratamento. A análise incluiu pacientes com pseudoartrose crônica.	20 minutos contínuos todos os dias até a cura. Não foi mencionado outros parâmetros.	O estudo revelou uma taxa de cura de 86,2% para pacientes com pseudoartrose crônica (N = 767) tratados com ultrassom. Entre os pacientes com pseudoartrose crônica de duração $\geq$ 5 anos, a taxa de cura foi de 82,7%, e 12 pacientes conseguiram curar após mais de 10 anos de pseudoartrose crônica. A idade do paciente foi o único fator associado à falha na cicatrização entre as pseudoartroses crônicas, sendo a taxa de cura inversamente proporcional a idade. Entre os pacientes que iniciaram o uso do ultrassom $\geq$ 90 dias após a última cirurgia, a taxa de cura foi em média de 85,7%.
Biglari et al., 2016	Este estudo prospectivo e observacional de uma	A frequência foi de	32% dos pacientes (G1- 20 pessoas) alcançaram

	única instituição analisou 61 pseudoartroses em 60 pacientes, com idade média de 45,4 (18-63 anos). Os pacientes foram categorizados em dois grupos com base nos resultados clínicos e radiológicos: G1 - tratamento bem-sucedido e G2 - tratamento sem sucesso. O tratamento de 75% dos pacientes foi em ossos longos dos membros inferiores. O equipamento utilizado foi o ultrassom pulsado de baixa intensidade da EXOGEN.	1,5 MHz a potência foi de 30 mW/cm ² , a duração do pulso foi de 200µs e frequência de repetição foi de 1 kHz.	a consolidação óssea em um tempo médio de 5,3 meses. O G2 67,2% (41 pessoas), precisou de nova cirurgia. A maioria dos pacientes (70,5%) não relatou alívio da dor. No G2, 12 pacientes (29,3%) tinham histórico de osteíte. Este tratamento em pseudoartroses de ossos longos e o uso deve ser feito caso a caso.
Nolte et al., 2016	Este estudo retrospectivo observacional de coorte utilizou resultados de pacientes tratados com ultrassom pulsado de baixa intensidade, coletado prospectivamente, conforme exigido pela Food & Drug Administration dos EUA. Os dados do registro, coletados ao longo de 5 anos, foram revisados e validados por uma enfermeira registrada. A análise exigiu dados sobre os dias de tratamento com ultrassom e um resultado de cura versus falha, avaliado por critérios clínicos e radiográficos. Pacientes do registro com dias de tratamento <365 dias foram pareados por propensão a pacientes com fratura de metatarso de um banco de dados de reivindicações de saúde.	Não especifica.	Foram analisados nesse estudo 594 fraturas de metatarso tratadas com ultrassom pulsado de baixa intensidade, incluindo 161 fraturas de Jones. A taxa de cura com ultrassom foi de 97,3%, similar à taxa de 95,3% entre pacientes de 2011 que não usaram ultrassom. A taxa de consolidação de fraturas recentes com ultrassom foi superior, e a de uniões tardias foi comparável. Excluindo pacientes que passaram por cirurgia, a taxa de cura apenas com ultrassom (97,4%) foi significativamente melhor do que a de pacientes pareados de 2011 (94,2%).
Busse, et al., 2016.	Foram avaliados nesse estudo 3.105 pacientes com fraturas da tíbia, dos quais 599 eram elegíveis e 501. Os pacientes, homens ou mulheres esqueleticamente maduros, foram alocados para autoadministrar o tratamento com ultrassom pulsado de baixa intensidade diariamente ou usar um dispositivo simulado até a consolidação radiográfica da fratura da tíbia ou até um ano após a fixação intramedular. Para medir os resultados, utilizou-se de pontuações do resumo do componente físico (PCS) do SF-36, retorno ao trabalho e às atividades domésticas, retorno a ≥80% da função antes da lesão, tempo para atingir a pontuação total.	ultrassom de baixa intensidade 30 mW/cm ² , por 20 minutos. Não especifica outros parâmetros.	Coletou-se dados do SF-36 PCS de 96% dos pacientes e dados de cicatrização radiográfica de 96% dos pacientes, com 82 sendo censurados. Não houve impacto significativo nos escores do SF-36 PCS entre os grupos Ultrassom e controle, nem na interação entre tempo e tratamento. Os resultados de segurança foram semelhantes entre os grupos de tratamento. A adesão do paciente ao tratamento foi moderada, com 73% dos pacientes recebendo pelo menos 50% de todos os tratamentos recomendados.
Simpson et al., 2017.	O estudo envolveu 62 pacientes, randomizados em dois grupos: ultrassom ativo (32 participantes) ou placebo (30 participantes). Todos eram adultos submetidos a alongamento de membros ou transporte ósseo por distração osteogênica, randomizados para tratamento com um dispositivo de ultrassom ativo ou placebo. Todos os pacientes passaram por uma corticotomia padronizada na metáfise proximal da tíbia e utilizaram fixador circular de Ilizarov. O aparelho utilizado em todos os pacientes foi o Exogen 2000+ (Smith & Nephew).	Não especifica	No grupo protocolo, a diferença a favor do grupo controle foi de 10,1 dias/cm, com um intervalo de confiança de 95%. No grupo intenção de tratamento, a diferença foi de 5,0 dias/cm, com um intervalo de confiança de 95%. A única covariável que resultou em um aumento no tempo para a remoção da estrutura foi o tabagismo, com um <i>hazard ratio</i> de 0,47 e um intervalo de confiança de 95%.
Tarride et al., 2017	Para avaliar a qualidade de vida relacionada a saúde dos pacientes, utilizou-se o Health Utilities Index Mark-3, e o QALYs para verificar anos e qualidade de vida, comparando o grupo que utilizou o ultrassom pulsado de baixa intensidade e o grupo controle, totalizando 501 pacientes.	Não especifica.	Devido ao custo médio de US\$ 3995, os pacientes do grupo tratamento obtiveram mais gastos. Devido o preço atual, o uso do ultrassom apresenta um resultado que não é viável para fraturas recentes da tíbia tratadas com haste intramedular.
Song et al., 2019	Foram revisados prontuários médicos e radiográficos no período de outubro de 2009 a outubro de 2015 de pacientes submetidos a	Frequência de 1,5 MHz, frequência de repetição de 1 kHz,	O ultrassom estimulou a formação de um calo ósseo mais cilíndrico, homogêneo e denso ao final da fase de distração. O grupo ultrassom

	alongamento tibial bilateral. Foram incluídos 30 participantes (60 segmentos tibiais). A idade média foi de 22,1 anos. Foram agrupados em grupo Ultrassom e grupo controle. O ultrassom pulsado de baixa intensidade foi aplicado desde a fase de distração até a fase inicial da consolidação. Os dispositivos utilizados foram o Sonic Accelerated Fracture Healing System (Exogen Inc., Piscataway, NJ, EUA) e o dispositivo de cicatrização óssea por ultrassom BH-1000 (Orthoheal, Seul, Coreia).	largura de pulso de 200µs, 117 mW de potência e intensidade de 30 mW/cm².	apresentou uma cicatrização óssea mais rápida nas corticais anterior (média de 36,6 dias/cm e media (32,5 dias/cm) comparada ao grupo controle que (média 57,5 dias/cm e 44,2 dias/cm respectivamente). Não foi relatada efeitos adversos do uso do ultrassom.
Bawale, et al., 2021	Selecionou-se pacientes acima de 16 anos, com consolidações tardias não consolidadas. A faixa etária dos participantes foi de 19 a 85 anos (idade média de 49,2 anos). Foram incluídos 66 pacientes no período de agosto de 2016 a dezembro de 2018. Pacientes foram pós tratamento de fraturas foram encaminhados em um período médio de 8,2 meses e após a inclusão no estudo, o acompanhamento foi de seis meses. Após o tratamento, estes ainda foram observados a cada três meses, dependendo da necessidade.	Não especifica.	Nesta série de casos, 39 das 62 fraturas tiveram cicatrização bem-sucedida com a terapia de ultrassom pulsado de baixa intensidade, resultando em uma taxa de sucesso de 67%. A terapia parece influenciar a consolidação óssea, dependendo do início da terapia, do tipo de fratura e da abordagem de tratamento. Observou-se falha na fratura de escafoide e de tornozelo pós osteossíntese.
Zhang et al., 2021.	Paciente chinês de 42 anos, sexo masculino, com dor e limitação funcional no membro inferior direito, foi admitido em um centro de reabilitação após uma cirurgia para tratar fraturas no calcâneo esquerdo, tibia direita e fíbula. Após a hospitalização, o paciente passou por tratamento fisioterapêutico, terapia ocupacional e tratamento medicamentoso. Após cerca de três meses e meio, foi realizada uma cirurgia para remover o fio de Kirschner do maléolo medial direito. No entanto, após 5 meses de tratamento, a fratura na tibia direita não consolidou adequadamente, sendo diagnosticada como pseudoartrose. Foi então sugerida a terapia por ultrassom pulsado de baixa intensidade (SXUltrasonic, Shenzhen, China) para acelerar a consolidação da fratura.	Frequência de 1,5 MHz, largura de pulso de 200µs, ciclo de trabalho de 20%, frequência de repetição de 1 kHz e potência de 30 mW/cm²	Após duas semanas de terapia com ultrassom, foi observado um defeito distinto na tibia distal direita do paciente, que se tornou menos demarcado com o tempo. Após seis semanas, a formação óssea mineralizada foi observada na área do defeito. Duas semanas após o término da terapia, o paciente deixou o hospital e, dois meses depois, retornou para reexame, apresentando alívio dos sintomas, mas com leve dor na articulação do tornozelo após uma longa caminhada. A radiografia mostrou formação de calo na maior parte da área da fratura e foi diagnosticada artrite traumática na articulação do tornozelo.

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Os resultados da tabela agrupam 4997 participantes adultos bem descritos pelos autores, com fraturas ou pseudoartroses. Em sua maioria, o dispositivo para o tratamento foi o Sonic Accelerated Fracture Healing System (Exogen Inc., Piscataway, NJ, EUA), com exceção dos autores Song et al., 2019, que além do EXOGEN utilizou o BH-1000 (Orthoheal, Seul, Coreia) e Zhang et al. (2021) utilizou o SXUltrasonic (Shenzhen, China).

Em relação aos parâmetros, alguns autores não os descreveram, entretanto, Nozaka, et al. (2014), Salem; Schmitz (2014), Bigler et al. (2016), Song et al. (2019) e Zhang et al. (2021) compartilham dos mesmos parâmetros de aplicação, sendo estes: frequência foi de 1,5 MHz a potência foi de 30 mW/cm², a duração do pulso foi de 200µs e frequência de repetição foi de 1 kHz. A maioria dos autores estipulou o tempo de 20 minutos de aplicação.

Quanto aos efeitos, a maior parte os artigos apresentaram resultados positivos da aplicação do ultrassom pulsado de baixa intensidade, tais como maiores taxas de cura, formação de um calo ósseo mais homogêneo e saudável, redução no tempo de consolidação óssea, bons resultados no tratamento das pseudoartroses e redução de sintomas como a dor na região tratada. Em contrapartida, apenas nos estudos de Simpson et al. (2017) e Tarride et al. (2017), não foram vistos efeitos significativos.

Em comparação com os resultados, Palanisamy et al. (2022),

afirma que a terapia de ultrassom pulsado de baixa intensidade é segura e eficaz, melhora a formação óssea endocondral e acelera a cicatrização de fraturas, sendo mais efetiva quando aplicada logo após a fratura. Pode ser usada em conjunto com fixadores metálicos e na cicatrização de ossos maxilofaciais, beneficiando pacientes independentemente de idade, tabagismo, tipo e localização da fratura. Além disso, acelera a formação de calos ósseos em fraturas diabéticas e no lado estimulado da fratura, tornando-se uma terapia promissora para a recuperação óssea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do ultrassom, especificamente o ultrassom pulsado de baixa intensidade, tem se mostrado uma ferramenta valiosa no tratamento de fraturas, pseudoartroses e na consolidação óssea. Sua capacidade de acelerar a formação de calo ósseo e endocondral na área lesada tem demonstrado resultados promissores na redução do tempo de cicatrização, com segurança e eficácia. A terapia beneficia pacientes independentemente de fatores como idade, tabagismo, tipo e localização da fratura, reforça ainda mais seu potencial como uma terapia universal para a recuperação de fraturas.

Portanto, o ultrassom pulsado de baixa intensidade, é uma terapia propícia que pode potencializar o tratamento de fraturas,

pseudoartroses e a consolidação óssea. Entretanto, ainda há a necessidade de mais estudos que padronizem os parâmetros de sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amancio, A. C. G. et al. Estimulação ultrassônica da integração de enxertos de pele total: estudo experimental em coelhos. *Acta Ortopédica Brasileira*, v. 14, n. 5, p. 276-279, 2006.
- Bawale, R. et al. Experience of an isolated use of low-intensity pulsed ultrasound therapy on fracture healing in established non-unions: a prospective case series. *Journal of Ultrasound*, v. 24, p. 249-252, 2021.
- Biglari, B. et al. Failed treatment of long bone nonunions with low intensity pulsed ultrasound. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, v. 136, p. 1121-1134, 2016.
- Busse, J. W. et al. Trial to re-evaluate ultrasound in the treatment of tibial fractures (TRUST): a multicenter randomized pilot study. *Trials*, v. 15, p. 1-8, 2014.
- Busse, J. W. et al. Re-evaluation of low intensity pulsed ultrasound in treatment of tibial fractures (TRUST): randomized clinical trial. *bmj*, v. 355, 2016.
- Farkash, U. et al. Low-intensity pulsed ultrasound for treating delayed union scaphoid fractures: case series. *Journal of orthopaedic surgery and research*, v. 10, p. 1-7, 2015.
- Fontes-Pereira, A. J. et al. Efeito do ultrassom terapêutico de baixa intensidade em fratura induzida em tíbia de ratos. *Acta Ortopédica Brasileira*, v. 21, n. 1, p. 18–22, 2013.
- Liu, Y. et al. Ultrasound treatment for accelerating fracture healing of the distal radius. A control study. *Acta Cirúrgica Brasileira*, v. 29, p. 765-770, 2014.
- Marconi, M. A; Lakatos, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- Nolte, P. et al. Heal rate of metatarsal fractures: A propensity-matching study of patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) vs. surgical and other treatments. *Injury*, v. 47, n. 11, p. 2584-2590, 2016.
- Nozaka, K. et al. Combined effect of teriparatide and low-intensity pulsed ultrasound for nonunion: a case report. *BMC Research Notes*, v. 7, p. 1-5, 2014.
- Palanisamy, P. et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Stimulation for Bone Fractures Healing: A Review. *Journal of Ultrasound in Medicine*, v. 41, n. 3, p. 547-563, 2022.
- Povlsen, S. D.; Povlsen, B. Low-intensity pulsed ultrasound treatment as an alternative to vascular bone graft surgery for a 5-year-long ulnar non-union in a patient with haemochromatosis. *Case Reports*, v. 2015, p. bcr2015211950, 2015.
- Salem, K. H.; Schmelz, A. Low-intensity pulsed ultrasound shortens the treatment time in tibial distraction osteogenesis. *International orthopaedics*, v. 38, p. 1477-1482, 2014.
- Silva, A. F. e et al. Aplicabilidade do ultrassom terapêutico em fraturas com atraso na consolidação: uma revisão integrativa. *Maringá: Rev. UNINGÁ*, v. 57, n. 1, p. 1-10, 2020.
- Silva, K. D. A. da; Luna, P. M. de; Fernandes, N. L.; Durante, R. A. Atuação fisioterapêutica no tratamento de fratura por estresse por Overtraining/ Physiotherapy activation without Overtraining stress fracture treatment. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 10276–10293, 2021.
- Simpson, A. H. R. W. et al. Low-intensity pulsed ultrasound does not influence bone healing by distraction osteogenesis: a multicentre double-blind randomised control trial. *The bone & joint journal*, v. 99, n. 4, p. 494-502, 2017.
- Song, M. H. et al. Low-intensity pulsed ultrasound enhances callus consolidation in distraction osteogenesis of the tibia by the technique of lengthening over the nail procedure. *BMC musculoskeletal disorders*, v. 20, p. 1-8, 2019.
- Tarride, J. E., et al. Low-intensity pulsed ultrasound for treatment of tibial fractures. *The Bone & Joint Journal*, v. 99-B, n. 11, 2017.
- Teixeira, D. S. C. et al. Análise da resposta dos anti-inflamatórios não-esteroidais no reparo ósseo em pacientes submetidos à distração osteogênica. *Revista Contemporânea*, v. 3, n. 9, 2023.
- Waris, C. D. A. e et al. A eficácia do ultrassom terapêutico pulsado na consolidação de fraturas. *Revista Paraense de Medicina* - v.27, n. 3, 2013.
- Zhang, P. et al. Fracture nonunion treated with low-intensity pulsed ultrasound and monitored with ultrasonography: a feasibility study. *BioMed Research International*, 2021.
- Zura, R. et al. A cohort study of 4,190 patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS): findings in the elderly versus all patients. *BMC musculoskeletal disorders*, v. 16, p. 1-10, 2015a.
- Zura, Robert et al. Treatment of chronic (> 1 year) fracture nonunion: heal rate in a cohort of 767 patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS). *Injury*, v. 46, n. 10, p. 2036-2041, 2015b.