

# TERAPIA POR ULTRASSOM NA REABILITAÇÃO MUSCULAR: REVISÃO

Ultrasound therapy in the rehabilitation of muscle strength: review

Ayala Nathaly Gomes da Silva<sup>1</sup>; João Ricardhis Saturnino de Oliveira<sup>2</sup>;  
Álvaro Nóbrega de Melo Madureira<sup>3</sup>; Wildberg Alencar Lima<sup>4</sup>; Rebeca Xavier da Cunha<sup>5</sup>; Ana Paula  
Sant'Anna da Silva<sup>6</sup>; Vera Lúcia de Menezes Lima<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>UFPE, Recife - PE. Mestranda em Bioquímica e Fisiologia. ayalla86@yahoo.com.br

<sup>2</sup>UFPE, Recife - PE. Doutorando em Bioquímica e Fisiologia. ricardhis@gmail.com

<sup>3</sup>UFPE, Recife - PE. Mestrando em Bioquímica e Fisiologia. alvaronobrega1@gmail.com

<sup>4</sup>UFPE, Recife - PE. Doutorando em Bioquímica e Fisiologia. wildbergalencar@gmail.com

<sup>5</sup>UFPE, Recife - PE. Doutoranda em Bioquímica e Fisiologia. rebeca.cunha@ufpe.br

<sup>6</sup>UFPE, Recife - PE. Doutora em Bioquímica e Fisiologia. ana.pssilva3@ufpe.br

<sup>7</sup>UFPE, Recife - PE. Professora Titular do Departamento de Bioquímica. lima.vera.ufpe@gmail.com

Data do recebimento: 23/09/2021 - Data do aceite: 24/03/2022

**RESUMO:** Ultrassom terapêutico (UST) é utilizado na reabilitação de lesões osteomusculares desde 1950. UST demonstrou ser eficaz na regeneração de tecidos biológicos por aumentar o metabolismo celular e angiogênese. No músculo, o UST influencia na proliferação de mioblastos e recrutamento de miofibrilas, otimizando a capacidade contrátil muscular. Realizamos busca ativa de artigos nas plataformas virtuais sobre o uso do UST na reabilitação muscular. Foram selecionados 12 estudos. Efeitos térmicos do UST são aumento do fluxo sanguíneo, redução do espasmo muscular, aumento da extensibilidade das fibras de colágeno e resposta pró-inflamatória. Estes efeitos estarão presentes em intensidades  $\geq 0,5$  W/  $\text{cm}^2$  e tempos de aplicação  $> 5$  minutos. Os efeitos mecânicos do UST podem induzir alteração na permeabilidade e no transporte de íons e moléculas através da membrana celular. Em músculos lesionados, UST parece aumentar o estímulo para formação de novas fibras musculares. Logo, UST pode auxiliar na reabilitação muscular, embora haja necessidade de padronização de parâmetros para alcançar este efeito na prática clínica.

**Palavras-chave:** Ultrassom terapêutico. Músculo esquelético. Células musculares. Lesão muscular.

**ABSTRACT:** Therapeutic ultrasound (UST) has been used in physical therapy since 1950 to treat musculoskeletal injuries. UST has shown to be effective in the regeneration of biological tissues by increasing cell metabolism and angiogenesis. The UST influences myoblast proliferation and myofibrillar recruitment in the muscle, optimizing muscle contractile capacity. Active search for articles on virtual platforms about the use of UST in muscle rehabilitation was performed, in which 12 studies were selected. Thermal effects of UST are increased blood flow, reduced muscle spasm, increased collagen fiber extensibility and pro-inflammatory response. These effects will be present at intensities  $\geq 0.5$  W/ cm<sup>2</sup> and application times of  $> 5$  minutes. Mechanical effects of UST can induce changes in permeability and transport of ions and molecules across the cell membrane. In injured muscles, UST seems to increase the stimulus for the formation of new muscle fibers. Therefore, UST may help in muscle rehabilitation, although there is the need for standardization of parameters to achieve this effect in clinical practice.

**Keywords:** Therapeutic ultrasound. Skeletal muscle. Muscle cells. Muscle injury.

## Introdução

Ondas ultrassônicas são vibrações mecânicas com frequência superior a 20000Hz, imperceptíveis ao ouvido humano (BORGES, 2006). Foram descobertas em 1880, pelo casal Pierre e Marie Curie ao observarem vibrações de alta frequência em placas de metal colocadas em volta de um cristal de quartzo estimulado eletricamente. Este fenômeno do cristal denominou-se efeito piezométrico, e suas vibrações foram denominadas de ondas ultrassônicas. Devido à sua natureza e aos seus efeitos piezométricos, as ondas ultrassônicas podem se propagar de acordo com a impedância do meio e a sua frequência (AGNE, 2006). Também podem sofrer refração, reflexão, atenuação e absorção, promovendo cavitação, agitação de moléculas, alteração da permeabilidade e viscosidade de fluidos e se dissipar em forma de calor, ou seja, produz efeitos térmicos e mecânicos. (KITCHEN, 2003).

Dadas essas propriedades, desde a década de 1930 os efeitos das ondas ultrassônicas sobre os tecidos biológicos são alvos de estudo e têm sua aplicabilidade clínica na medicina, biologia, biomedicina e fisioterapia (WELLS, 1977). Para a fisioterapia, foi desenvolvido um aparelho, o ultrassom terapêutico (UST), formado por um circuito, com capacidade de receber energia elétrica e transformá-la em oscilações elétricas de alta frequência, e um transdutor com cristal piezométrico, capaz de transformar as oscilações elétricas em ondas ultrassônicas (BORGES, 2006). O UST é uma ferramenta da fisioterapia estabelecida desde a década de 1950 e largamente utilizada para tratamento de dores e inflamações articulares agudas e crônicas (MILLER et al., 2012; VAN DER WINDT et al., 1999). No entanto, há ainda pouco desenvolvimento de pesquisas na fisioterapia, bem como o entendimento de seus efeitos fisiológicos pelos fisioterapeutas (KITCHEN, 2003).

Na fisioterapia, UST se faz pelo contato do transdutor, chamado cabeçote, com a pele da região a ser tratada com um meio de

acoplamento, geralmente gel de contato. Essa forma de aplicação é chamada de método direto (AGNE, 2006). Entretanto, podem-se utilizar formas indiretas de aplicação, usando-se uma bolsa de água como meio de acoplamento, imergindo o membro e o cabeçote, chamada aplicação subaquática, e aplicação reflexa sobre raízes paravertebrais correspondentes (BORGES, 2006). Considerando os efeitos do UST no tratamento de lesões musculares e como essa aplicação pode ser utilizada na reabilitação de força, este estudo objetiva revisar dados bibliográficos sobre essa indicação na prática clínica da fisioterapia.

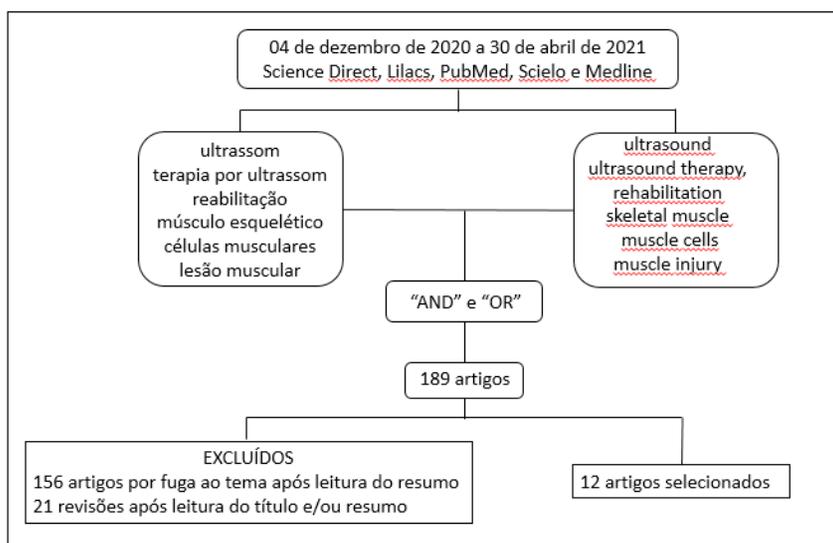
## Metodologia

O presente estudo se trata de uma revisão integrativa com base em prática baseada em evidência de pesquisas relevantes para o suporte no uso de UST, na prática clínica, com o objetivo de reparo ao tecido muscular que possam se traduzir em reabilitação da força muscular.

Para tanto, foi realizada busca ativa de artigos, no período de 04 de dezembro de 2020 a 30 de abril de 2021, nas fontes de informação ScienceDirect, Lilacs, PubMed, Scielo e Medline, com descritores em saúde disponíveis no portal de Descritores em Ciências da Saúde (DeCS). A seleção dos descritores foi norteada por sua proximidade ao objeto em questão, designando as palavras-chave “ultrassom”, “terapia por ultrassom”, “reabilitação”, “músculo esquelético”, “células musculares”, “lesão muscular”. As palavras-chave foram utilizadas durante a busca no idioma português e inglês, “*ultrasound*”, “*ultrasound therapy*”, “*rehabilitation*”, “*skeletal muscle*”, “*muscle cells*”, “*muscle injury*”. O cruzamento das palavras-chave através de operadores booleano “*and*” e “*or*” também foram utilizados.

Dadas associações dos descritores nas bases de dados, foram encontrados 189 artigos. Após a leitura do título e resumo, foram selecionadas apenas aqueles artigos que passaram pelo crivo dos critérios de inclusão e exclusão

**Figura I:** Fluxograma de síntese das estratégias de busca utilizando descritores isolados ou combinados com operadores booleanos nos idiomas português e inglês, resultando em 12 artigos como amostra final



deste estudo e, ao final, contemplou-se um número total de 12 artigos científicos para compor a amostra deste estudo.

Como critério de inclusão foram artigos originais, com proposta de intervenção, que respondiam à temática desta revisão. Os critérios de exclusão foram estudos experimentais que avaliavam efeitos do UST, que

não eram objeto desta revisão (156 artigos), e outras revisões de literatura (21 estudos) também foram excluídas. Não houve delimitação temporal de artigos, com o propósito de evidenciar as publicações mais específicas sobre a temática abordada, que parece ainda ser pouco abordada.

**Tabela 1** - Efeitos do UST sobre a recuperação muscular em diferentes lesões

| AUTOR/ANO             | MÉTODO  | PROTOCOLO UST  | RESULTADOS  |
|-----------------------|---|--|---|
| MENEZES, 1997         | Lesão por pinçamento em reto de quadríceps de coelhos bilateralmente.   | USTP; F=1MHz; i=0,5W/cm <sup>2</sup> , W= 20%; t=5min/dia/10 dias.<br><br>Início do protocolo 3 dias após lesão. Aplicação foi unilateral em cada animal.  | - Os músculos tratados apresentaram maior capacidade de deformação máxima, de deformação no limite de proporcionalidade, de carga aplicada no limite de proporcionalidade e de resiliência.   |
| KARNES e BURTON, 2002 | Lesão dos músculos extensores longos dos dedos de ratos por contrações excêntricas repetidas.<br><br>Animais divididos em 5 grupos: controle não lesionado, controle lesionado não tratado, 3 grupos experimentais tratados com UST por 3, 5, 7 dias.   | USTC; F=1MHz; i=0,5W/cm <sup>2</sup> , t=5 min/dia por 3, 5 e 7 dias respectivamente ao grupo experimental.<br><br>Início do protocolo imediatamente após lesão.   | - P <sub>0</sub> dos grupos controle lesionados, tratados com USTC por 3 e 5 dias foi menor do que o grupo controle não lesionado;<br><br>- P <sub>0</sub> do grupo tratado com USTC por 7 dias foi maior do que o grupo controle lesionado e não tratado, e não diferia do grupo controle não lesionado. |
| WILKIN et al., 2004   | Lesão contusiva por impacto nos músculos gastrocnêmios bilaterais de ratos.   | USTP em gastrocnêmio D; F=3,3MHz; i=1,0W/cm <sup>2</sup> ; W= 20%; t=5min/dia por 7 dias;<br><br>Início do protocolo 6h após lesão.  | Não houve diferenças na massa muscular, concentração de proteína total ou área da seção transversal da fibra entre os músculos gastrocnêmios direito (experimental) e esquerdo (controle) em qualquer momento pós-lesão examinado.  |
| MATHEUS et al., 2008  | Lesão contusiva por peso em gastrocnêmio D. Animais divididos em 4 grupos: C, controle não lesionado e não tratado; L, lesão muscular sem tratamento, LT1, lesão muscular tratada com UST de frequência 1MHz (0,5W/cm <sup>2</sup> ); e LT3, lesão muscular tratada com UST de frequência 3MHz (0,5W/cm <sup>2</sup> ). | - LT1: USTP, F=1MHz; i= 0,5W/cm <sup>2</sup> ; W=20%, t= 5min/dia por 6 dias;<br><br>- LT3: USTP; F=3MHz; i= 0,5W/cm <sup>2</sup> ; W=20%, t=5min/dia por 6 dias.<br><br>Início do protocolo 24h após lesão. | Alongamento no limite máximo: C=LT1=LT3>L<br><br>Carga no limite máximo: L<C, LT1, LT3<br><br>C>LT3<br><br>C=LT1 e LT1=LT3<br><br>Rigidez: C=LT1=LT3>L<br><br>*relações de acordo com diferenças significativas.  |

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| OKITA et al., 2009              | <p>Imobilização bilateral da articulação do tornozelo de ratos em flexão plantar completa por 4 semanas. 1 grupo controle, 3 grupos experimentais: imobilizado sem tratamento, imobilizado com tratamento com UST simulado e imobilizado tratado com UST.</p>  | <p>USTC em tríceps sural: F=1MHz; i=1W/cm<sup>2</sup>; t=15min/dia, 6 dias/semana durante as 4 semanas de imobilização.</p>  | <p>- ADM em dorsiflexão de todos os grupos experimentais foi menor do que no grupo controle, no entanto, o grupo tratado com UST teve maior ADM em comparação aos outros grupos experimentais;</p> <p>- Arranjo de fibrila de colágeno no endomísio dos grupos controle e UST foi longitudinal ao eixo das fibras musculares, enquanto no grupo imobilização e com tratamento simulado esse arranjo foi circunferencial.</p> |
| CHAN et al., 2010               | <p>Laceração de 50% da área transversa e 100% da espessura do músculo gastrocnêmio E de camundongos. 6 grupos de 8 animais: controle não lesionado, controle lesionado com tratamento simulado, e experimentais tratados com USTP por 7, 14, 21 e 28 dias.</p> | <p>USTP:<br/>F=1,5MHz; i=30mW/cm<sup>2</sup>; W=20%<br/><i>In vitro</i>: t=20min/dia por 4, 6 e 8 dias;<br/>Início do protocolo <i>in vivo</i> 24h após lesão.<br/><i>In vivo</i>: t=20min/dia por 7, 14, 21, 28 dias.</p> | <p>Aumento de miofibras em regeneração em todos os grupos experimentais em comparação ao controle lesionado, sendo mais significativo nos grupos tratados por 14, 21 e 28 dias; aumento de força muscular significativa nos grupos tratados por 14, 21 e 28 dias em comparação ao controle lesionado; sem diferença significativa na força do músculo controle não lesionado e tratado por 28 dias com USTP.</p>             |
| BARBOSA et al., 2014            | <p>Criolesão transversal em gastrocnêmio D de ratos. 3 grupos: controle sem lesão (GC), lesionado sem tratamento (GL), lesionado com tratamento com USTP(GLUST)</p>  | <p>- USTP em gastrocnêmio D:<br/>F=1,0MHz; i=0,5W/cm<sup>2</sup>; W= 50%;<br/>t=4min/7 dias, protocolo iniciado 24h após lesão.</p>  | <p>- O GLUST obteve os maiores valores de carga suportada no limite elástico e na fase plástica em comparação aos grupos GC e GL;</p> <p>- O GLUST apresentou maior capacidade de absorver energia na fase elástica em relação aos grupos (GC e GL).</p>   |
| CHONGSA-TIENTAM; YIMLAMAI, 2016 | <p>Lesão por contusão do músculo gastrocnêmio D em camundongos. 3 grupos: controle não lesionados; lesionado com tratamento simulado; e lesionado tratado com USTP, subdividido pelo tempo de intervenção de 3, 7 e 14 dias (LIPUS 3, LIPUS 7 e LIPUS 14)</p>  | <p>-USTP em gastrocnêmio D:<br/>F=1,0MHz; i=0,3W/cm<sup>2</sup>; W=20%; t=5min/dia por 3,7, 14 dias.<br/>Início do protocolo 24h após lesão.</p>   | <p>- Redução de 50% da força isométrica nos grupos lesionados em comparação ao controle no 3º dia de lesão; e redução de 18% e 21% da força tetânica no grupo lesionado com tratamento simulado e lesionados tratado com USTP, respectivamente;</p> <p>- Recuperação de força isométrica e tetânica para os grupos lesionados tratados com USTP a partir do 7ºdia, com recuperação total no 14º dia de lesão.</p>            |

|                    |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|
| KOIKE et al., 2016 | <p>Lesão por impacto em gastrocnêmio D de ratos. Animais divididos em 5 grupos: LA, lesionado e sem tratamento por 2 dias; L, lesionado sem tratamento por 7 dias; CR, lesionado tratado com crioterapia; TU, lesionado tratado com UST; CRTU, lesionado tratado com crioterapia+UST.</p>                                | <p>- Crioterapia: 20 minutos, imediatamente, 24h e 48h após protocolo de lesão nos grupos CR e CRTU;<br/>                 - USTP em gastrocnêmio D:<br/> <math>F=1,0\text{MHz}</math>; <math>i=0,5\text{W}/\text{cm}^2</math>; <math>W=?</math>; <math>t=5\text{min}/\text{dia}</math> por 7 dias nos grupos TU e CRTU.<br/>                 No grupo CRTU a crioterapia foi realizada antes do USTP.</p>  | <p>- Não houve diferença significativa do peso muscular entre grupos;<br/>                 - Intragrupo houve diferença significativa do peso muscular para os intragrupos para LA e L;</p>  |
| TANG et al., 2017  | <p>- DM1 induzido por injeção intraperitoneal de estreptozotocina;<br/>                 - 4 grupos: controle não diabético (NC), controle diabético com tratamento simulado (DC), diabético tratado com insulina (DI), diabético tratados com USTP (DL).</p>   | <p>- DI: Injeção subcutânea de insulina, 6-8 U/dia, das 8h às 10h e às 21h;<br/>                 - USTP em panturrilhas<br/> <math>F=1\text{MHz}</math>; <math>i=30\text{mW}/\text{cm}^2</math>; <math>W=?</math>; <math>t=20\text{min}/\text{dia}</math>/ 6 dias durante/6 semanas.</p>   | <p>- Peso muscular:<br/> <math>\text{NC}&gt;\text{DI}=\text{DL}&gt;\text{DC}</math>, nos 3 músculos analisados<br/>                 - Força de prensão:<br/>                 Antes das terapias:<br/> <math>\text{NC}&gt;\text{DI}=\text{DL}=\text{DC}</math><br/>                 Após terapias: <math>\text{NC}&gt;\text{DI}=\text{DL}&gt;\text{DC}</math></p> |
| KIM et al., 2018   | <p>Atrofia muscular secundária a neurectomia de nervo ciático D de camundongos. 5 Grupos: C, controle apenas neurectomizado; L, neurectomizado tratado com laser por agulhas; U, neurectomizado tratado com UST; V, neurectomizado tratado com PVS; MS, neurectomizado tratado com estimulação biofísica multimodal.</p> | <p>- Laser: diodo de 660 nm, 20 mW, 10J, 500s;<br/>                 - USTP: <math>F=1,0\text{MHz}</math>; <math>i=83\text{mW}/\text{cm}^2</math>; <math>W=1\%</math>; <math>t=20\text{min}/\text{dia}</math>;<br/>                 - PVS: 10 Hz, 0,3 g, 20 min;<br/>                 - Estimulação multimodal: Laser+USTP+PVS com os mesmos parâmetros anteriores de forma associada.<br/>                 Todos os protocolos foram realizados 5 dias/ semana por 2 semanas em todo o membro posterior D.</p> | <p>- Volume muscular de 0-3 semanas após neurectomia:<br/> <math>\text{C}: -77\%</math>; <math>\text{L}: -86\%</math>; <math>\text{U}: -95\%</math>; <math>\text{V}: 102\%</math> e <math>\text{MS}: +106\%</math>.</p>  |

|                     |   |   |   |
|---------------------|---|---|---|
| MACEDO et al., 2020 | Lesão contusiva de gastrocnêmio D de ratos. Grupos: Controle (GC); controle com lesão (GL); lesionado tratado com UST (LUSG); lesionado tratado com alongamento (LSG); lesionado tratado com UST+alongamento (LUSSG). | USTP: F=1,0MHz; i=0,5W/cm <sup>2</sup> ; W=50%; t=5min/dia, 5 dias. Início do protocolo 72h após lesão. Alongamento: Manual passivo de gastrocnêmio D mantido por 30seg/4 repetições/dia/5dias consecutivos/2semanas. Início do protocolo 10 dias após lesão. | - Aumento do peso corporal nos grupos LUSG e GL em comparação aos LSG e LUSSG;<br>- Aumento do peso muscular do gastrocnêmio D de animais LUSG em comparação com LSG; |
|---------------------|---|---|---|

\*UST= Ultrassom terapêutico; US=ultrassom; USTP= Ultrassom terapêutico pulsátil; USTC=Ultrassom terapêutico contínuo; F=frequência; i=intensidade; t=tempo; W=ciclo de trabalho; min=minutos; s=segundos; V=velocidade; D=direito; E=esquerdo; DM1=diabetes mellitus tipo 1; PVS= estimulação de vibração parcial; MS=estimulação multimodal.

## Resultados

Embora promover regeneração e recuperação de força muscular pareça ser um efeito terapêutico do UST pouco abordado na literatura, uma vez que apenas 12 artigos foram selecionados para esta revisão e, conseqüentemente, parece ser pouco sedimentado na prática clínica, a Tabela I resume estudos experimentais com diferentes mecanismos de lesão muscular, demonstrando que este efeito é factível e vem sendo tema de pesquisas há mais de 2 décadas.

## Discussão

A imobilização é amplamente utilizada no tratamento de lesões osteomusculares. No entanto, desencadeia uma séria de alterações morfológicas com prejuízos funcionais, uma vez que a ausência de contrações musculares voluntárias diminui o recrutamento de fibras musculares com aumento da densidade do tecido conjuntivo e, provoca diminuição do comprimento das fibras musculares (DUCHATEAU; HAINAUT, 1990; CAEIRÃO, 2007).

Com o objetivo de reabilitar as lesões osteomusculares e manter trofismo e função muscular, o UST tem sido utilizado há décadas devido aos seus efeitos térmicos e não térmicos comprovados (MORTIMER; DYSON, 1988). Foi demonstrado que o UST promove reparo de fraturas (MANAKA et al., 2015), cicatrização de feridas (YOUNG; DYSON, 1990; FANTINATI et al., 2016), melhora a extensibilidade muscular (WESSLING et al., 1987) e a força muscular (CHONGSATIEN-TAM; YIMLAMAI, 2017).

Os efeitos térmicos dependem do aumento de temperatura do tecido e abrange aumento do fluxo sanguíneo, redução do espasmo muscular, aumento da extensibilidade das fibras de colágeno e resposta anti-inflamatória (SPEED, 2001; BORGES, 2006). Os efeitos não térmicos envolvem cavitação, absorção e streaming acústico, e parecem ser os responsáveis pelo reparo de lesões de tecidos moles (DINNO, 1989; JOHNS, 2002). Embora o USTP seja comumente associado aos efeitos não térmicos, também pode causar efeitos térmicos de acordo com a impedância do tecido, tamanho da área a ser tratada e tempo de aplicação (GARRET et al., 2000).

Quanto aos efeitos térmicos do UST, estudos comprovam que o desempenho

muscular em vertebrados parece ter melhor desenvoltura a partir de elevação média de temperatura de 5°C em relação à temperatura corporal basal, por pelo menos 5 minutos com produção de gradiente de energia mecânica e geração de força muscular (BENNET, 1985; GEORGE, 2010). Há, também, evidências de que o UST em intensidades de 0,1 a 0,7W/cm<sup>2</sup> foi capaz de aumentar a taxa de crescimento celular e que frequências terapêuticas eficazes variam entre 1-3MHz (JOHNS, 2002). Correlacionando com os estudos encontrados, protocolos de tratamento com UST em intensidades inferiores a 0,5W/cm<sup>2</sup> e tempos inferiores a 5 minutos não foram efetivos na regeneração muscular e/ou recuperação de força.

Os efeitos não térmicos do UST podem induzir a alteração na permeabilidade e no transporte de íons e moléculas através da membrana celular, que atuam como segundos mensageiros, como os íons de cálcio, e são capazes de modificar vias de sinalização eletroquímica celular, interferindo na resposta imunológica e determinando a expressão e diferenciação gênica celular (DINNO, et al., 1989, JOHNS, 2002).

A força contrátil muscular varia diretamente ao comprimento do sarcômero. (BURKHOLDER; LIEBER, 2001). Artifon et al. (2012) demonstrou que um protocolo de reabilitação muscular com UST aumentou o comprimento e o número de sarcômeros, logo pode ser efetivo para recuperação de força muscular. Sakamoto et al. (2012) também evidenciaram aumento no número de fibras musculares após tratamento com UST.

Em contrapartida, Rantanen et al. (1999) não encontraram manifestações morfológicas gerais na regeneração muscular, embora tenha ocorrido significativa expressão de proliferação de células satélite da mioregeneração. Esses achados podem estar relacionados à duração da intervenção, uma

vez que a regeneração muscular envolve três etapas: 1) inflamatória - presença de células inflamatórias, formação de hematoma e atividade fagocítica de tecido necrosado com delimitação da lesão; 2) reparo ou regeneração – intensa proliferação celular por ativação de células satélites e fibroblastos, aumento na síntese de proteínas, neovascularização e formação de tecido cicatricial conectivo; 3) maturação ou remodelação – as células satélites, chamadas mioblastos, se fundem e formam miotubos; há maturação e diferenciação das miofibrilas regeneradas, reguladas por fatores da regulação miogênica, como a miogenina; há ainda reorganização do tecido cicatricial e recuperação funcional muscular (GROUNDS, 1991; NAIDU et al., 1995; MENETREY, 1999; FERNANDES, 2011).

Assim, pode ser que a duração da intervenção em estudo de Rantanen et al. (1999) tenha sido insuficiente para alcançar a terceira fase de regeneração muscular, uma vez que os próprios autores afirmam que houve a fase de proliferação celular, mas não a diferenciação. A capacidade do UST em aumentar a capacidade proliferativa das células de diferentes tecidos já era conhecida e ainda é explorada, embora todos os mecanismos fisiológicos ainda não sejam totalmente compreendidos (YOUNG; DYSON, 1990; FANTINATI, 2016). Entre as células com proliferação aumentada em lesões musculares, há os fibroblastos, responsáveis pela formação do tecido cicatricial não funcional (CHAN, et al., 2005). Estes irão competir com a diferenciação de células satélites em mioblastos e neoformação de miofibras normais (CHAN et al., 2010).

Ainda sobre as fases de regeneração tecidual, Chan et al. (2010) não comprovou diferença significativa na força do grupo tratado com UST por 28 dias e o grupo controle, sugerindo que 28 dias após lesão as fases de regeneração muscular possam ter-se completado e a força muscular normal esta-

belecida. Contudo, Karnes e Burton (2002) comprovam que em 7 dias consecutivos de tratamento com USTC a força de músculos lesionados não diferia do seu controle negativo. Segundo esses autores, a combinação do tipo de tecido, modelo de lesão, modo, intensidade e frequência do tratamento por UST são responsáveis por modificar os resultados. Vale salientar, portanto, que o método de lesão muscular e de avaliação dos efeitos do UST nesses estudos diferiam entre si.

Outro fator importante na recuperação funcional em músculos lesionados promovida pelo UST é seu efeito na resolução da inflamação, permitindo redução de edema e controle da dor. (SATURNINO-OLIVEIRA et al., 2012; BASSOLI, 2001; FAGANELLO, 2003; ROCHA, 2010). Estudos posteriores demonstraram que o alívio da dor promovido pelo UST permite aumentar a tolerância do indivíduo ao processo de reabilitação, com conseqüente restabelecimento das suas funções motoras e de sua qualidade de vida (RUBIRA et al., 2019; LIMA; CALDEIRA, 2017).

Assim, resultados demonstrados nesta revisão evidenciam que UST atua no metabolismo, permeabilidade e sinalização celular, sendo capaz de promover a reabilitação de músculos. No entanto, todos os estudos encontrados trataram músculos de mamíferos pequenos, não ocorrendo nenhum estudo com homens, o que dificulta a completa translação dos resultados para seres humanos.

## Conclusão

Esta revisão demonstrou que o UST pode auxiliar na reabilitação muscular, uma vez que melhora a vascularização, reduz edema e dor. Estes efeitos demonstram que o UST promove recuperação de lesões agudas, bem como reestabelece função e força. Contudo, os estudos dessa revisão demonstraram heterogeneidade em relação à padronização de parâmetros para alcançar este efeito na prática e os benefícios para o ganho de força.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. E.; RANKIN, L. L. Regulation of Satellite Cells during Skeletal Muscle Growth and Development. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 194, n. 2, p. 81-86, 1990.
- ARTILHEIRO, P. P.; OLIVEIRA, E. N.; VISCARDI, C. S.; MARTINS, M. D.; BUSSADORI, S. K.; FERNANDES, K. P. S.; MESQUITA-FERRARI, R. A. Efeitos do ultra-som terapêutico contínuo sobre a proliferação e viabilidade de células musculares C2C12. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 167-172, 2010.
- ARTILHEIRO, P. P.; BARBOSA, J. L. P.; FERNANDES, K. P. S.; OLIVEIRA, T. S. de; BUSSADORI, S. K.; MESQUITA-FERRARI, R. A. Análise comparativa dos efeitos do ultrassom terapêutico e laser de baixa potência sobre a proliferação de células musculares durante a diferenciação celular. **Fisioterapia Em Movimento**, v. 25, n. 1, p. 21-29, 2012.

- BARBOSA, H. H. S.; NASCIMENTO FILHO, J. H. do; NONATO, D. T. T.; ALMEIDA, M. J. M. de; SILVA, F. S.; ABREU, B. J.; VIEIRA, W. H. de B. Efeito do ultrassom terapêutico sobre as propriedades mecânicas do gastrocnêmio em ratos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 20, n. 2, p. 151-155, 2014.
- BENNETT, A. F. Temperature and muscle. **Journal of Experimental Biology**, v. 115, p. 333-344, 1985.
- BURKHOLDER, T. J.; LIEBER, R. L. Sarcomere length operating range of vertebrate muscles during movement. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, n. 9, p. 1529-1536, 2001).
- CAIERÃO, Q.; TEODORI, R. M.; MINAMOTO, V. B. A influência da imobilização sobre o tecido conjuntivo muscular: uma revisão; **Fisioterapia em Movimento**, p. 87-92, 2007.
- CHAN, Y. S.; LI, Y.; FOSTER, W.; FU, F. H.; HUARD, J. The use of suramin, an antifibrotic agent, to improve muscle recovery after strain injury. **American Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 1, p. 43-51, 2005.
- CHAN, Y. S.; HSU, K. Y.; KUO, C. H.; LEE, S. D.; CHEN, S. C.; CHEN, W. J.; UENG, S. W. N. Using low-intensity pulsed ultrasound to improve muscle healing after laceration injury: An in vitro and in vivo study. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 36, n. 5, p. 743-751, 2010.
- CHONGSATIENTAM, A.; YIMLAMAI, T. Therapeutic Pulsed Ultrasound Promotes Revascularization and Functional Recovery of Rat Skeletal Muscle after Contusion Injury. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 42, n.12, p. 2938-2949, 2016.
- DEASY, B. M.; QU-PETERSON, Z.; GREENBERGER, J. S.; HUARD, J. Mechanisms of Muscle Stem Cell Expansion with Cytokines. **Stem Cells**, v. 20, p. 50-60, 2002.
- DE LIMA, L. S.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA-JÚNIOR, J. F. S.; PINTO, P. A.; OMENA, T. P.; COSTA, R. M.; VON KRÜGER, M. A.; PEREIRA, W. C. A. Evaluation of gloves as a water bag coupling agent for therapeutic ultrasound. **Revista Brasileira de Engenharia Biomedica**, v. 33, n. 1, p. 42-49, 2017.
- DE MACEDO, A. C. B.; YWAZAKI, J. L.; MARTINS, A. P. C.; DE AZEVEDO, M. L. V.; NORONHA, L.; GOMES, A. R. S. Effects of ultrasound and stretching on skeletal muscle contusion in rats: Immunohistochemistry analysis. **International Journal of Morphology**, v. 38, n. 5, p. 1288-1295, 2020.
- DINNO, M. A.; DYSON, M.; YOUNG, S. R.; MORTIMER, A. J.; HART, J.; CRUM, L. A. The significance of membrane changes in the safe and effective use of therapeutic and diagnostic ultrasound. **Physics in Medicine and Biology**, v. 34, n. 11, p. 1543-1552, 1989.
- DUCHATEAU, J.; HAINAUT, K. Effects of immobilization on contractile properties, recruitment and firing rates of human motor units. **The Journal of Physiology**, v. 422, n. 1, p. 55-65, 1990.
- DYSON, M. Non-thermal cellular effects of ultrasound. **British Journal of Cancer**, v. 45, n. Suppl. 5, p. 165-171, 1982.
- FANTINATI, M. S.; MENDONÇA, D. E. O.; FANTINATI, A. M. M.; DOS SANTOS, B. F.; REIS, J. C. O.; AFONSO, C. L.; VINAUD, M. C.; LINO JÚNIOR, R. S. 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 Cirúrgica Brasileira**, v. 31, n. 7, p. 463-471, 2016.
- FERNANDES, T. L.; PEDRINELLI, A.; HERNANDEZ, A. J. Lesão muscular - Fisiopatologia, diagnóstico, tratamento e apresentação clínica. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 46, n. 3, p. 247-255, 2011.

- GARRETT, C. L.; DRAPER, D. O.; KNIGHT, K. L. Heat Distribution in the Lower Leg from Pulsed Short-Wave Diathermy and Ultrasound Treatments. **Journal of Athletic Training**, v. 35, n. 1, p. 50-55, 2000.
- GEORGE, N. T.; DANIEL, T. L. Temperature gradients in the flight muscles of *manduca sexta* imply a spatial gradient in muscle force and energy output. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 6, p. 894-900, 2011.
- GROUNDS, M. D. Towards Understanding Skeletal Muscle Regeneration. **Pathology Research and Practice**, v. 187, n. 1, p. 1-22, 1991.
- IKEDA, K.; TAKAYAMA, T.; SUZUKI, N.; SHIMADA, K.; OTSUKA, K.; ITO, K. Effects of low-intensity pulsed ultrasound on the differentiation of C2C12 cells. **Life Sciences**, v. 79, n. 20, p. 1936-1943, 2006.
- JOHNS, L. D. Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: The frequency resonance hypothesis. **Journal of Athletic Training**, v. 37, n. 3, p. 293-299, 2002.
- KARNES, J. L.; BURTON, H. W. Continuous therapeutic ultrasound accelerates repair of contraction-induced skeletal muscle damage in rats. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 83, n. 1, p. 1-4, 2002.
- KIM, S.; HWANG, D.; LEE, H.; SEO, D.; CHO, S.; JUNG, B.; SEO, J.; KIM, H. S. Therapeutic Effects of Multimodal Biophysical Stimulation on Muscle Atrophy in a Mouse Model. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 19, n. 10, p. 1553-1560, 2018.
- KOBAYASHI, Y.; SAKAI, D.; IWASHINA, T.; IWABUCHI, S.; MOCHIDA, J. Low-intensity pulsed ultrasound stimulates cell proliferation, proteoglycan synthesis and expression of growth factor-related genes in human nucleus pulposus cell line. **European Cells and Materials**, v. 17, p. 15-22, 2009.
- KOIKE, T. E.; CAMARGO, R. C. T.; OZAKI, G. A. T.; CASTOLDI, R. C.; SERAPHIM, P. M.; OIKAWA, S. M.; CAMARGO FILHO, J. C. S. Morphometric and fractal analysis of injured skeletal muscle tissue subjected to a combination of treatments; cryotherapy and therapeutic ultrasound. **International Journal of Morphology**, v. 34, n. 3, p. 1076-1082, 2016.
- LESSARD, J. L. Two monoclonal antibodies to actin: one muscle selective and one generally reactive. **Cell Motility and the Cytoskeleton**, v. 10, n. 3, p. 349-362, 1988.
- MANAKA, S.; TANABE, N.; KARIYA, T.; NAITO, M.; TAKAYAMA, T.; NAGAO, M.; LIU, D.; ITO, K.; MAENO, M.; SUZUKI, N.; MIYAZAKI, M. Low-intensity pulsed ultrasound-induced ATP increases bone formation via the P2X7 receptor in osteoblast-like MC3T3-E1 cells. **FEBS Letters**, v. 589, n. 3, p. 310-318, 2015.
- MATHEUS, J. P. C.; OLIVEIRA, F. B.; GOMIDE, L. B.; MILANI, J. G. P. O.; VOLPON, J. B.; SHIMANO, A. C. Efeitos do ultra-som terapêutico nas propriedades mecânicas do músculo esquelético após contusão. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 12, n. 3, p. 241-247, 2008.
- MENETREY, J.; KASEMKIJWATTANA, C.; FU, F. H.; MORELAND, M. S.; HUARD, J. Suturing versus mmobilization of a muscle laceration. A morphological and functional study in a mouse model. **American Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 2, p. 222-229, 1999.
- MENEZES, D. F.; VOLPON, J. B.; SHIMANO, A. C. Aplicação de ultra-som terapêutico em lesão muscular experimental aguda. **Braz. j. Phys. Ther.** (Impr.), p. 27-31, 1999.
- MILLER, D. L.; SMITH, N. B.; BAILEY, M. R.; CZARNOTA, G. J.; HYNYNEN, K.; MAKIN, I. R. S. Overview of therapeutic ultrasound applications and safety considerations. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 31, n. 4, p. 623-634, 2012.

- MORTIMER, A. J.; DYSON, M. The effect of therapeutic ultrasound on calcium uptake in fibroblasts. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 14, n. 6, p. 499-506, 1988.
- OKITA, M.; NAKANO, J.; KATAOKA, H.; SAKAMOTO, J.; ORIGUCHI, T.; YOSHIMURA, T. Effects of Therapeutic Ultrasound on Joint Mobility and Collagen Fibril Arrangement in the Endomysium of Immobilized Rat Soleus Muscle. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 35, n. 2, p. 237-244, 2009.
- PELOSI, L.; GIACINTI, C.; NARDIS, C.; BORSELLINO, G.; RIZZUTO, E.; NICOLETTI, C.; WANNENES, F.; BATTISTINI, L.; ROSENTHAL, N.; MOLINARO, M.; MUSAR, A. Local expression of IGF-1 accelerates muscle regeneration by rapidly modulating inflammatory cytokines and chemokines. **The FASEB Journal**, v. 21, n. 7, p. 1393-1402, 2007.
- RUBIRA, A. P. F. de A.; RUBIRA, M. C.; RUBIRA, L. de A.; COMACHIO, J.; MAGALHÃES, M. O.; MARQUES, A. P. Comparison of the effects of low-level laser and pulsed and continuous ultrasound on pain and physical disability in chronic non-specific low back pain: A randomized controlled clinical trial. **Advances in Rheumatology**, v. 59, n. 1, p. 1-9, 2019.
- RUDNICKI, M. A.; LE GRAND, F.; MCKINNEL, I.; KUANG, S. The molecular regulation of muscle stem cell function. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 73, p. 323-331, 2008.
- SEALE, P.; SABOURIN, L. A.; GIRGIS-GABARDO, A.; MANSOURI, A.; GRUSS, P.; RUDNICKI, M. A. Pax7 is required for the specification of myogenic satellite cells. **Cell**, v. 102, n. 6, p. 777-786, 2000.
- ST. PIERRE, B. A.; TIDBALL, J. G. Differential response of macrophage subpopulations to soleus muscle reloading after rat hindlimb suspension. **Journal of Applied Physiology**, v. 77, n. 1, p. 290-297, 1994.
- TANG, L.; LI, N.; JIAN, W.; KANG, Y.; YIN, B.; SUN, S.; GUO, J.; SUN, L.; TA, D. Low-intensity pulsed ultrasound prevents muscle atrophy induced by type 1 diabetes in rats. **Skeletal Muscle**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017.
- VAN DER WINDT, D. A. W. M.; VAN DER HEIJDEN, G. J. M. G.; VAN DEN BERG, S. G. M.; TER RIET, G.; DE WINTER, A. F.; BOUTER, L. M. Ultrasound therapy for musculoskeletal disorders: A systematic review. **Pain**, v. 81, n. 3, p. 257-271, 1999.
- WELLS, P. N. T. Ultrasonics in Medicine and Biology. **Phys. Med. Biol.**, v. 22, n. 4, p. 629-669, 1977.
- WESSLING, K. C.; DEVANE D. A.; HYLTON C. R. Effects of static stretch versus static stretch and ultrasound combined on triceps surae muscle extensibility in healthy women. **Physical Therapy**, v. 67, n. 5, p. 674-679, 1987.
- WILKIN, L. D.; MERRICK, M. A.; KIRBY, T. E.; DEVOR, S. T. Influence of Therapeutic Ultrasound on Skeletal Muscle Regeneration Following Blunt Contusion. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 1, p. 73-77, 2004.
- YOUNG, S.R.; DYSON M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. **Ultrasound Med Biol.**, v. 16, n. 3, p. 261-269, 1990.
- YOUNG, S. R.; DYSON, M. Effect of therapeutic ultrasound on the healing of full-thickness excised skin lesions. **Ultrasonics**, v. 28, n. 3, p. 175-180, 1990.