

## Revisão

# Mecanismos de interação do ultra-som terapêutico com tecidos biológicos

## *Mechanisms of therapeutical ultrasound interaction with biological tissues*

João Luiz Quagliotti Durigan\*, Karina Maria Cancelliero\*\*, Michel Silva Reis\*\*\*, Carolina Náglio Kalil Dias\*\*\*\*, Denis Rafael Graciotto\*\*\*\*\*, Carlos Alberto da Silva\*\*\*\*\*, Maria Luiza Ozores Polacow, D.Sc.\*\*\*\*\*

.....  
 \*Mestrando em Fisioterapia da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, \*\*Doutoranda em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFScar, \*\*\*Mestrando em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos – UFScar, \*\*\*\*Acadêmica do curso de Fisioterapia da Universidade Metodista de Piracicaba UNIMEP, \*\*\*\*\*Fisioterapeuta, Universidade Paranaense – UNIPAR, \*\*\*\*\*Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação da Universidade Metodista de Piracicaba UNIMEP

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi revisar os mecanismos e interações do ultra-som terapêutico nos diversos tecidos biológicos. Para isso, foram consultadas as bases de dados Medline, Pubmed, e Periódicos da Capes com as seguintes palavras-chaves: ultra-som terapêutico, reabilitação, fisioterapia, tecidos biológicos. Foram abordados os aspectos físicos do recurso incluindo os mecanismos térmicos e não térmicos, além da sua influência sobre a temperatura e circulação, síntese de colágeno, proliferação celular e reparação tecidual, sistema tegumentar e seus anexos, efeitos em processos inflamatórios e aplicações de baixa intensidade. Apesar da freqüente aplicação na fisioterapia, o ultra-som é um recurso físico ainda controverso quanto alguns dos seus efeitos e suas interações com o meio biológico. Além disso, em algumas aplicações específicas, os estudos ainda são escassos. Neste sentido, fica evidente a necessidade de mais investigações para determinar parâmetros físicos adequados e as suas interações com o meio biológico.

**Palavras-chave:** ultra-som terapêutico, reabilitação, fisioterapia, mecanismos de interação.

### Abstract

The objective of this work was to review the mechanisms and interactions of the therapeutic ultrasound in various biological tissues. For this, were consulted Medline, Pubmed and Capes databases with the following key-words: therapeutic ultrasound, rehabilitation, physiotherapy, biological tissues. The physical aspects of the resource included the thermal and non thermal mechanisms, besides its influence on the temperature and circulation, collagen synthesis, cellular proliferation and tissue repairing, tegumentar system and its annexes, effect in inflammatory processes and applications of low intensity. Despite the frequent use in the physical therapy, the ultrasound is still controversial as a physical resource related with some of its effect and its interactions with the biological environment. Moreover, in some specific applications, the studies still are scarce. In this direction, it is evident the necessity of more investigations to determine adequate physical parameters and their interactions with the biological environment.

**Key-words:** therapeutic ultrasound, rehabilitation, physiotherapy, interaction mechanisms.

### Introdução

O ultra-som (US) é uma forma de energia mecânica transmitida transcutaneamente por ondas de pressão acústica de alta freqüência em organismos biológicos. Ondas acústicas são vibrações organizadas das moléculas ou átomos de um meio capaz de favorecer a sua propagação, podendo este ser gasoso, líquido ou sólido. A onda sonora é audível pelo apa-

relho auditivo humano quando possui freqüências na faixa de 20 Hz a 20 kHz e ondas acima desse limite, não audíveis, são denominadas ultra-sônicas [1].

Em 1917, ocorreu a primeira prática do US, com a criação de sonares para a detecção de submarinos. Porém, foi no final da década de 40 e início da de 50 que se conseguiu, com sucesso, a primeira aplicação do US na área biológica, sendo que a partir daí a sua evolução progrediu rapidamente [2].

Recebido 1 de agosto de 2005; aceito em 15 de janeiro de 2006.

**Endereço para correspondência:** Karina Maria Cancelliero, Rua Gomes Carneiro, 875 Centro 13400-530 Piracicaba SP, E-mail: karca@terra.com.br

Atualmente, a energia ultra-sônica está entre as mais utilizadas pelo fisioterapeuta, para auxiliar o tratamento das mais diversas disfunções dos tecidos moles, incluindo contraturas articulares, tendinites, bursites, espasmos músculos-esqueléticos e dor [3]. Ademais, uma quantidade considerável de trabalhos laboratoriais tem sido realizada com o objetivo de esclarecer seus efeitos sobre os tecidos biológicos [4].

Assim, este artigo tem como objetivo revisar os mecanismos e interações do ultra-som terapêutico nos tecidos biológicos. Para tanto, foi consultado as bases de dados Medline, Pubmed, e Periódicos da Capes, no período de 1968 a 2004, tendo como ênfase as respostas dos tecidos biológicos promovidas pela utilização do ultra-som terapêutico.

Foram levantadas as informações dos últimos trinta anos, tendo como palavras-chave os termos: ultra-som terapêutico, reabilitação, fisioterapia; mecanismos de interação. Uma vez fichado, observando as informações de maior relevância, e organizado por assunto (mecanismos de interação, efeitos sobre a temperatura, circulação, angiogênese, síntese de colágeno, proliferação celular, reparação tecidual, efeitos no sistema tegumentar e em processos inflamatórios), o material foi utilizado para a redação do artigo.

### *Mecanismos de interação com tecidos biológicos*

A ação do US depende de muitos fatores físicos e biológicos, tais como intensidade, tempo de exposição, estrutura espacial e temporal do campo ultra-sônico e estado fisiológico do objeto. A interação deste grande número de variáveis dificulta a compreensão exata do mecanismo de ação do US na interação com os tecidos biológicos [5].

Os mecanismos físicos pelos quais o US induz respostas clinicamente significativas nos tecidos biológicos são classificados como térmicos e não térmicos, ou mecânicos [1,6]. Esses mecanismos e seus subseqüentes efeitos estão diretamente relacionados com os parâmetros físicos do US, com o tempo e a técnica de aplicação e podem ter seus efeitos potencializados conforme os parâmetros utilizados. Desse modo, o US contínuo caracteriza-se pela forte produção de calor, que também está presente no pulsado, porém de forma reduzida, devido às interrupções regulares na propagação da onda [7].

### *Mecanismo térmico*

Os efeitos térmicos do US ocorrem devido à conversão de energia cinética em energia térmica pelos tecidos. Para se ter um efeito terapêutico, a temperatura tecidual deve ser mantida entre 40 e 45 graus, pelo menos 5 minutos [6]. Um aquecimento muito lento e suave permite o resfriamento e dissipação pelo fluxo sanguíneo eliminando as possibilidades de efeitos terapêuticos promovidos pelo aquecimento. Nesse sentido, caso ocorra um aquecimento muito rápido e excessivo, dor e necrose térmica podem ocorrer [8].

A elevação da temperatura tecidual produzida através da absorção da energia ultra-sônica pode trazer benefícios através de uma vasodilatação local ou até queimar os tecidos irradiados. A magnitude do aquecimento dependerá de alguns fatores como: tipo de US (contínuo ou pulsado), intensidade, tempo de aplicação, frequência, tamanho da área tratada, profundidade do tecido, absorção (tecidos altamente protéicos absorvem energia mais do que os tecidos com alto teor de gordura), propriedades de dissipação e resfriamento tecidual [9,10].

Os efeitos fisiológicos provenientes do aquecimento tecidual, que podem produzir aumento do fluxo sanguíneo e da atividade metabólica; aumento da extensibilidade do colágeno em estruturas tais como tendões, ligamentos e cápsulas articulares; alívio da dor e diminuição do espasmo muscular [6,11].

Por outro lado, nas enfermidades associadas a transtornos vasculares, um aumento da temperatura associado com o efeito mecânico do US pode promover um efeito adverso [12], e cuidados devem ser tomados para que não ocorram alguns efeitos mecânicos indesejáveis, como a cavitação transiente que inevitavelmente podem acompanhar as dosagens que promovem os efeitos térmicos [6].

Assim, a prevalência do efeito térmico do US sobre os mecanismos ocorre somente nas intensidades superiores a  $1 \text{ W/cm}^2$ , no modo contínuo, nas frequências de 1 ou 3 MHz, embora não existem dados científicos ou clínicos que justifiquem a utilização do US com intensidades acima de  $1 \text{ W/cm}^2$ , visto que intensidades mais elevadas podem ser lesivas [7].

### *Mecanismos não-térmicos*

Os efeitos não térmicos do US são obtidos pelo microfluxo acústico e pela cavitação [7]. Microfluxo corresponde a movimentos unilaterais que ocorrem em fluidos submetidos a um campo ultra-sônico. Esses movimentos originam forças e tensões que podem modificar a posição de partículas intra e extra-celulares ou mesmo a configuração normal das células, e conseqüentemente podem afetar a atividade celular [1,6,11].

Desse modo, o microfluxo pode alterar organelas celulares e membranas de maneira reversível ou irreversível, dependendo de sua magnitude. O microfluxo pode ter seu valor terapêutico uma vez que sua ação facilita a difusão através de membranas. Dependendo do tipo de célula, a alteração iônica produzida pode desenvolver modificações na motilidade, síntese ou secreção celular, que podem acelerar o processo de reparo [6].

Já cavitação é a formação e pulsação de bolhas de gás ou de vapor no interior dos fluidos, como resultado das mudanças de pressão no campo acústico, induzidas pelas ondas do US. A cavitação pode ser estável ou transitória, sendo que a primeira é decorrente de uma vibração estável, em resposta às alterações de pressão regularmente repetidas, enquanto que a segunda transitória ocorre quando há alterações irregulares

de pressão e altas temperaturas na região da bolha colapsada e pode desintegrar localmente os tecidos e levar à produção de radicais livres [13].

O reparo de tecidos produzidos pela onda ultra-sônica, através de modificações na permeabilidade da membrana celular para os íons de cálcio e sódio que provocam a síntese de proteínas é atribuído a cavitação estável. As membranas celulares tornam-se mais permeáveis, devido aos movimentos unidirecionais do fluido em campo ultra-sônico, e as organelas podem se alterar devido às forças de radiação [11].

Dyson [6,7] relacionou os efeitos fisiológicos de: degranulação de células de sustentação; alterações na função da membrana celular, aumento dos níveis intracelulares de cálcio; estimulação da atividade dos fibroblastos, resultando num aumento da síntese protéica, da angiogênese, da permeabilidade vascular e da tensão elástica do colágeno aos mecanismos não térmicos.

### *Efeitos terapêuticos do US*

Na fisioterapia, o US tem sido utilizado no tratamento de diversas patologias e seus efeitos sobre os tecidos têm sido objeto de investigações a fim de elucidar a sua influência em compostos orgânicos e em estruturas biológicas [14].

### *Efeitos sobre temperatura, circulação e na angiogênese*

Draper *et al.* [15], num estudo experimental em coelhos, compararam a taxa de aumento da temperatura na região medial do tríceps sural, utilizando frequência de 1MHz e 3MHz. As temperaturas foram medidas em duas profundidades para cada uma das frequências, sendo 2,5 e 5,0 cm para 1MHz e 0,8 e 1,6 cm para 3MHz, com doses de 0,5, 1,0, 1,5, e 2,0 W/cm<sup>2</sup>, em aplicações de 10 minutos de duração. A temperatura tecidual foi medida a cada 30 segundos, mas não foram encontradas diferenças significativas para os vários parâmetros utilizados, embora o aquecimento tenha ocorrido de forma mais rápida com a frequência de 3MHz.

Hogan *et al.* [16] investigaram a possibilidade de haver aumento do fluxo sanguíneo em tecidos isquêmicos de músculos de ratos, quando irradiados com US pulsado, na frequência de 1 MHz e com intensidades de 1,25 a 10,0 W/cm<sup>2</sup>, por 5 minutos, em dias alternados, por 1 ou 3 semanas. Os resultados mostraram diferenças significativas entre estimulação aguda e crônica do músculo, com ligeira constrição das arteríolas, mas a repetição da exposição à intensidade de 2,5 W/cm<sup>2</sup> melhorou o fluxo sanguíneo.

Young & Dyson [12] referem aumento na formação de vasos sanguíneos na fase mais precoce de reparação com uso do US. Em contra partida, Menezes & Volpon [17] observaram os efeitos do US na vascularização, após lesão muscular do reto femoral em coelhos, utilizando US no modo pulsado (50%), com frequência de 1 MHz, intensidade de 0,5 W/cm<sup>2</sup>,

durante 5 minutos, iniciando 24 horas após a lesão, por 10 dias consecutivos. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas na rede vascular, sugerindo que o US não provoca mudanças no padrão vascular.

### *Efeitos sobre a síntese de colágeno, proliferação celular e reparação tecidual*

Embora os mecanismos não sejam ainda perfeitamente conhecidos, há evidências demonstrando a influência do US na reparação tecidual, pelas modificações provocadas na permeabilidade da membrana das células. Trabalhos sugerem que estes efeitos ocorram devido à cavitação [18]. Dinno *et al.* [19], referem que o US produz modificações hemodinâmicas microvasculares, aumentando a perfusão e o tecido de granulação, estimulando assim a reparação.

Com o objetivo de estudar os efeitos do US no processo de cicatrização de tendões rompidos, Roberts *et al.* [20] aplicaram US pulsado, na intensidade de 0,8 W/cm<sup>2</sup> e frequência de 1 MHz, por 5 minutos, cinco vezes por semana, durante seis semanas. Os resultados mostraram que, nos animais submetidos ao tratamento com o US, não houve cicatrização dos tendões, enquanto que no grupo controle os tendões cicatrizam espontaneamente. Concluíram que o US, no protocolo proposto, tem efeitos deletérios sobre a cicatrização tendinosa.

Stevenson *et al.* [21] relataram que não houve alteração na formação de cicatriz, nem na resistência à ruptura de tendões flexores de galinha seccionados, suturados e irradiados diariamente, por 20 dias consecutivos, com US na frequência de 3MHz e intensidade de 0,75 W/cm<sup>2</sup>.

Turner *et al.* [22] estudaram o efeito do US na cicatrização de tendões flexores, utilizando o método subaquático, iniciando a irradiação 7 dias após a lesão e sutura, com intensidade de 1,0 W/cm<sup>2</sup>, três vezes por semana durante 5 semanas, e não encontraram diferenças significativas na resistência, nem na amplitude do movimento produzido.

Por outro lado, Enwemeka [23] avaliou a aceleração do processo de cicatrização em tendões aquileanos de coelhos, tenotomizados e irradiados com US contínuo na frequência de 1MHz e intensidade de 1 W/cm<sup>2</sup>, por 9 dias. Os tendões removidos foram submetidos a testes mecânicos que demonstraram o aumento na capacidade de absorção de energia do lado tratado, sugerindo aceleração do processo de cicatrização.

Resultados semelhantes foram mostrados por Jackson *et al.* [24], que usaram o US contínuo na intensidade de 1,5 W/cm<sup>2</sup> para o tratamento de rupturas parciais do tendão aquileano de ratos, pelo o método subaquático de irradiação, em sessões de 4 minutos de duração, diariamente nos oito primeiros dias. Foi constatado que houve aumento simultâneo da força dos tendões e da síntese de colágeno.

Os efeitos do US sobre o processo de cicatrização de tendão flexores em galinhas, no modo pulsado de 3MHz de

freqüência e intensidade de  $0,8 \text{ W/cm}^2$  em sessões de 3 minutos, durante 10 dias, na fase precoce de cicatrização num grupo (7 dias após a lesão) e na fase tardia no outro (24 dias após a lesão) foram referidos por Gan *et al.* [25]. Os resultados mostraram um aumento da amplitude do movimento, bem como, em nível microscópico, alinhamento mais regular do colágeno produzido e diminuição do infiltrado inflamatório, sendo que esses dois últimos achados foram mais pronunciados no grupo de tratamento na fase precoce, sugerindo que o US pode ter efeitos benéficos sobre a cicatrização tendinosa, principalmente quando aplicado na fase precoce.

Ramirez *et al.* [26] investigaram os efeitos do US na síntese de colágeno e proliferação celular usando cultura de fibroblastos derivados do tendão de aquiles de ratos recém-nascidos. Seus resultados apontaram aumento da síntese de colágeno e divisão celular durante os períodos de proliferação celular.

Doan *et al.* [27] utilizaram o US em gengiva humana *in vitro* e verificaram que o uso no modo pulsátil (1 MHz) nas intensidades  $0,1$  e  $0,4 \text{ W/cm}^2$  induziram a proliferação celular, produção de colágeno, formação óssea e angiogênese.

Cunha *et al.* [28] demonstraram que o uso do US em ratos após tenotomia do tendão de aquiles estimula a formação de tecido de reparação, aumentando a síntese de colágeno, com melhor agregação e alinhamento das fibras de colágeno no eixo do tendão. Estes resultados foram encontrados com o uso do US no modo pulsátil (freqüência de 1 MHz, intensidade de  $0,5 \text{ W/cm}^2$ , por 5 minutos, durante 14 dias consecutivos), sendo que no modo contínuo com os mesmos parâmetros não foram encontrados resultados benéficos no tecido de reparação destes tendões.

Christine *et al.* [29] estudaram o tendão de Aquiles de ratos com objetivo de avaliar os efeitos do US sobre as suas propriedades estrutural e atuação funcional no processo de reparo. Os tendões foram hemi-seccionados cirurgicamente e tratados com um US de 1MHz contínuo divididos em dois grupos tratados, onde um deles recebeu  $1 \text{ W/cm}^2$  por 4 minutos de irradiação ultra-sônica e outro de  $2 \text{ W/cm}^2$  por 4 minutos. Os autores concluíram que tanto  $1 \text{ W/cm}^2$  quanto  $2 \text{ W/cm}^2$  de intensidade estimula o processo de reparo de tendão. Porém, Barnett *et al.* [13], alertam para a ocorrência de danos biológicos em altas intensidades de irradiação ultra-sônica.

As fibras musculares esqueléticas foram estudadas por Rantanen *et al.* [30], após lesão do músculo gastrocnêmio de ratos sobre os efeitos do US. A velocidade de regeneração muscular nos animais tratados no modo pulsado foi comparada com o grupo controle, utilizando técnicas de imunohistoquímica e morfometria. Foi encontrado que a proliferação de células satélites foi bastante significativa (96%) com o uso do US modo pulsátil durante os primeiros estágios de reparação em comparação com o grupo controle.

Desse modo, Dyson *et al.* [6] concluem que o US usado na fase aguda de uma lesão, pode estimular a liberação de agentes quimiotáticos e a degranulação celular. Já durante a fase de proliferação celular, que se inicia aproximadamente

no terceiro dia após a lesão, os fibroblastos expostos a níveis terapêuticos de US seriam estimulados a sintetizar maior quantidade de colágeno, que é a proteína fibrosa que confere resistência à tração aos tecidos, possibilitando, assim, um tecido cicatricial mais forte e elástico. Baseando-se nesses efeitos, acredita-se que o US possa melhorar a cicatrização tecidual, conferindo propriedades mecânicas mais adequadas ao tecido mole cicatrizado.

### *Efeitos no sistema tegumentar e seus anexos*

Na década de 60, ocorre o relato sobre o uso do US em lesões nas orelhas de coelhos, sendo o tratamento iniciado no 14º dia após a lesão, com o uso de diversas formas e diferentes intensidades de aplicação do US. Os autores concluíram que o US acelera a cicatrização com os melhores resultados correm na fase inicial [31].

Posteriormente, Dyson & Suckling [32], utilizaram o US em úlceras varicosas no membro inferior de pacientes, no modo pulsátil, 3 MHz,  $0,2 \text{ W/cm}^2$ , por 5 minutos, com uma redução significativa do tamanho das lesões. Da mesma maneira Roche & West [33] referem que o uso do US na periferia de úlceras varicosas, na freqüência de 3 MHz,  $1 \text{ W/cm}^2$ , durante 5 minutos, em áreas menores que  $5 \text{ cm}^2$ , apresentaram resultados significativos, com redução da área das úlceras.

Com relação aos efeitos benéficos do US no tratamento de queimaduras em ratos, Cambier & Vanderstraten [34] não encontraram efeitos estimulantes do US no modo contínuo ( $0,3 \text{ W/cm}^2$ ), nem no modo pulsátil ( $0,25 \text{ W/cm}^2$ ), discordando da aplicação clínica do US na cicatrização de queimaduras.

Young & Dyson [35] que analisaram os efeitos do US em lesões de total pele em ratos, utilizando o modo pulsátil,  $0,75$  ou 3 MHz,  $0,1 \text{ W/cm}^2$ , por 5 dias, encontraram maior tecido de granulação, leucócitos, macrófagos e fibroblastos no grupo tratado que no grupo controle. Após 7 dias havia uma diferença significativa de celularidade entre os grupos, sugerindo que o US nos parâmetros utilizados pode ser usado para acelerar o processo inflamatório e a proliferação celular.

Byl *et al.* [36] realizaram lesões na pele de porcos e aplicaram o US contínuo (1 MHz,  $1,5 \text{ W/cm}^2$ , por 5 minutos) e o US pulsátil (1 MHz,  $0,5 \text{ W/cm}^2$ , por 5 minutos), sendo que significativa diferença na cicatrização foi encontrada somente após 10 dias de tratamento.

Em 2002, Aynaci *et al.* [37] referem ter realizado o primeiro estudo sobre os efeitos do US na cicatrização de enxerto ósseo pediculado em músculo, na coluna vertebral. Foram utilizados 20 coelhos, sendo o recurso aplicado durante 20 minutos a partir do terceiro dia pós-operatório com uma freqüência de 1,5 Mhz no modo pulsado. Os coelhos foram sacrificados após 6 semanas de cirurgia, onde foi observada uma aceleração da reparação óssea, com aumento da velocidade e qualidade da fusão espinha.

### *Efeitos do US de baixa intensidade*

O pioneiro no estudo do US pulsado de baixa intensidade como estimulador osteogênico foi Duarte que, baseando-se nas propriedades elétricas do tecido ósseo (piezoelectricidade), investigou o uso desse US na consolidação de fraturas ósseas em coelhos. Por meio da área do calo formado e das análises histológicas e radiográficas, concluiu-se que o US acelerou a formação do calo ósseo e obteve em seu experimento ganho de tempo na consolidação de fraturas de coelhos, sob estímulo do US, na ordem de 50% [38].

Logo em seguida foi realizada uma investigação clínica, em que o uso da estimulação ultra-sônica do calo ósseo foi avaliado em 27 pacientes portadores de pseudartrose e ou retardo de consolidação de fraturas. O índice de cura obtido foi de 70% nas pseudartroses do tipo hipertrofico. Nestes casos, houve nítida neoformação óssea, com aumento e reforço do calo periosteal, acompanhado do fechamento progressivo da falha óssea [39].

O estudo de Heckman *et al.* [40], randomizado, duplo-cego, avaliou o efeito do US na cura de fraturas corticais, sendo examinadas 67 fraturas de tíbia. Os critérios clínico e radiográfico mostraram uma diminuição de 154 para 96 dias (38%) no tempo de cura de fraturas do grupo tratado com US ativo comparando-se com o grupo não tratado (placebo).

Kristiansen *et al.* [41], também realizaram um grande estudo randomizado, duplo-cego, para testar a eficácia do US pulsado de baixa intensidade na redução do tempo de consolidação de fraturas distais do rádio de 60 pacientes. No grupo placebo demorou em média 98 dias para ocorrer a consolidação da fratura enquanto o grupo tratado com US necessitou de apenas 61 dias em média, ou seja, uma diminuição de 38% no tempo de consolidação como encontrado no estudo de Heckman *et al.* [40].

O mecanismo específico pelo qual o US pulsado de baixa intensidade acelera o reparo ósseo continua tema de especulações científicas; no entanto, em termos de mecanismos físicos, o US pode exercer uma força mecânica nas células de tecidos moles no local da fratura [42].

Existem evidências que campos elétricos variáveis, com frequência semelhante aquela do US utilizado em estimulação de crescimento ósseo, produzem aumento na incorporação de cálcio iônico intracelular em culturas de células ósseas, através da ativação de canais de transporte de cálcio do tipo L (sensíveis à variação de tensão elétrica) presentes na membrana plasmática [43]. Mais tarde, foi determinado que os canais de transporte de cálcio do tipo L também são mecano-sensíveis, ou seja, respondem a estímulos mecânicos [44].

### *Efeitos em processos inflamatórios*

literatura é conflitante quando se estuda os efeitos do US em processos inflamatórios crônicos em humanos. Falconer *et*

*al.* [45], pesquisaram os seus efeitos na osteoartrite de joelho em 34 pacientes, sendo que os voluntários foram divididos em dois grupos: tratados com US contínuo com intensidade máxima tolerada de até 2,5 W/cm<sup>2</sup> e controle. Os autores concluíram que não havia diferenças significativas entre os grupos estudados. Também foi observado, que o US foi efetivo na melhora da dor e amplitude de movimento das disfunções inflamatórias agudas, fato não observado nas disfunções inflamatórias crônicas [46].

Um fato a se destacar é que diversos estudos mostram que o US não possui benefícios em humanos com osteoartrite de joelho, mas a maioria deles não possui metodologia confiável [3,47].

O US também demonstrou não possuir efeitos antiinflamatórios em modelos experimentais de artrite. Goddard *et al.* [48], submeteram recipientes contendo *Mycobacterium tuberculosis* ao US de baixa intensidade com frequência de 1,5 MHz e com antiinflamatório não-esteroidal flurbiprofen, do 0 ao 4º dia. Os autores demonstraram que não houve diferença significativa na qualidade e na quantidade do infiltrado inflamatório entre o grupo tratado com o US e o grupo controle, porém houve diferença significativa entre o grupo tratado com flurbiprofen e o controle.

Pereira *et al.* [49], avaliaram a evolução do edema de pata em ratos tratados através do US contínuo com intensidade de 0,2 W/cm<sup>2</sup> apreciado ao tratamento farmacológico (indometacina). Os autores observaram que o US não foi capaz de reduzir o edema das patas posteriores dos ratos artríticos, mas a associação do US com a indometacina foi capaz de inibir o edema.

Esses estudos coincidem com os resultados apresentados por Durigan *et al.* [50], que observou a evolução do edema de pata em ratos Holtzman adultos artríticos, tratados através do US pulsado com frequência de 1 MHz, recorte de 20% e intensidade média de 0,4 W/cm<sup>2</sup> associado ao tratamento farmacológico. Os resultados sugerem que o US não foi capaz de reduzir o edema e que somente o tratamento farmacológico e a sua associação com o US foram capazes de reduzir o edema das patas posteriores.

Conforme descrito na literatura, os efeitos do US em processos inflamatórios crônicos ainda permanecem obscuros, existindo a necessidade de mais estudos para o entendimento dessa questão.

### **Conclusão**

Embora de aplicação corrente na fisioterapia, o ultra-som é um recurso físico ainda controverso, quanto alguns dos seus efeitos e as suas interações com o meio biológico. Além disso, em algumas aplicações específicas os estudos ainda são escassos. Neste sentido, fica evidente a necessidade de mais investigações para determinar parâmetros físicos adequados e as suas interações com o meio biológico.

## Referências

1. Kitchen SS, Partridge CJ. A review of therapeutic ultrasound. *Physiotherapy* 1990;76:599-00.
2. Ter Haar G. Therapeutic ultrasound. *Eur J Ultrasound* 1999;9(1):3-9.
3. Geoffrey R, Harris M, Jeffrey LS. Managing musculoskeletal complaints with rehabilitation therapy: Summary of the Philadelphia Panel evidence-based clinical practice guidelines on musculoskeletal rehabilitation interventions. *J Fam Pract* 2002;51(12):1042-1046.
4. Guirro R, Guirro EDO, Breitschwerdt C, Elias D, Ferrari M, Ratto R. As variáveis físicas o ultra-som: uma revisão. *Revista de ciência e tecnologia* 1996;13:31-41.
5. Sarvazyan AP. Some general problems of biological action of ultrasound. *Transactions on Sonics and Ultrasonics* 1983;30:2-12.
6. Dyson, M. Mechanism involved in therapeutic ultrasound. *Physiotherapy* 1987; 73(3):116-20.
7. Dyson, M. Non-Thermal cellular effects of ultrasound. *Br J Cancer* 1982;165 (Suppl):165-71.
8. Kimura IF, Gulick DT, Shelly J, Ziskin MC. Effects of two ultrasound device and angles of application on the temperature of tissue phantom. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998;27(1):27-31.
9. Draper DO, Castel JC, Castel D. (1995). Rate of temperature increase in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995;22(4):142-50.
10. Rantanen J, Thorsson O, Wollmer P, Hurme T, Kalimo H. Effects of therapeutic ultrasound on the regeneration of skeletal myofibers after experimental muscle injury. *Am J Sports Med* 1999;27(1):54-9.
11. Ter Haar G. Therapeutic ultrasound. *Eur J Ultrasound* 1999;9(1):3-9.
12. Young SR, Dyson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol* 1990;16(3):261-9.
13. Barnett SB, Ter Haar GR, Ziskin MN, Nyborg WL, Maeda K, Bang, J. Current status of research on biophysical effects of ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 1994; 20(3):205-18.
14. Brayman, AA, Miller, MW. Bubble cycling and standing waves in ultrasonic cells lysis. *Ultrasound Med Biol* 1992;18:411-20.
15. Draper DO, Castel JC, Castel D. Rate of temperature increase in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995; 22(4):142-50.
16. Hogan RD, Burke KM, Franklin TD. The effect of ultrasound on microvascular hemodynamics in skeletal muscle: effects during ischemia. *Microvasc Res* 1982; 23(3):370-9.
17. Menezes DF, Volpon JB, Shimano AC. Aplicação do ultra-som terapêutico em lesão muscular experimental aguda. *Rev Bras Fisioter* 1999;4(1):27-31.
18. Maxwell L. Therapeutics ultrasound: its effects on the celular and molecular mechanism of inflammation and repair. *Physiotherapy* 1992;78(6):421-6.
19. Dinno MA, Dyson M, Young SR, Mortimer A, Hart J, Crum LA. The significance of membrane changes in the safe and effective use of therapeutic and diagnostic ultrasound. *Phys Med Biol* 1989;34(11):1543-52.
20. Roberts M, Rutherford JH, Harris D. The effect of ultrasound on flexor tendon repairs in the rabbit. *Hand* 1982;14(1):17-20.
21. Stevenson JH, Pang CY, Lindsay WK, Zuker RM. Functional, mechanical, and biochemical assessment of ultrasound therapy on tendon healing in the chicken toe. *Plast Reconstr Surg* 1986;77(6):965-72.
22. Turner SM, Powell ES. The effect of ultrasound on the healing of repaired cockerel tendon: is collagen cross-linkage a factor? *J Hand Surg* 1989;14(4):428-33.
23. Enwemeka CS. The effects of therapeutic ultrasound on tendon healing. A biomechanical study. *Am J Phys Med Rehabil* 1989;68(6):283-7.
24. Jackson BA, Schwane JA, Starcher BC. Effect of ultrasound therapy on the repair of Achilles tendon injuries in rats. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(2):171-6.
25. Gan BS, Huys S, Sherebrin MH, Scilley CG. The effects of ultrasound treatment on flexor tendon healing in the chicken limb. *J Hand Surg* 1995;20(6):809-14.
26. Ramirez A, Schwane JA, McFarland C, Starcher B. The effect of ultrasound on collagen synthesis and fibroblast proliferation in vitro. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(3):326-32.
27. Doan N, Reher P, Meghji S, Harris M. In vitro effects of therapeutic ultrasound on cell proliferation, protein synthesis, and cytokine production by human fibroblasts, osteoblasts, and monocytes. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57(4):409-19.
28. Cunha AM, Parizotto NA, Vidal BC. The effect of therapeutic ultrasound on repair of the achilles tendon (tendo calcaneus) of the rat. *Ultrasound Med Biol* 2001;27(12):1691-6.
29. Christine OY, Gabriel N, See EK, Leung MC. Therapeutic ultrasound improves strength of Achilles tendon repair in rats. *Ultrasound Med Biol* 2003;29(10):1501-6.
30. Rantanen J, Thorsson O, Wollmer P, Hurme T, Kalimo H. Effects of therapeutic ultrasound on the regeneration of skeletal myofibers after experimental muscle injury. *Am J Sports Med* 1999;27(1):54-9.
31. Dyson M, Pond JB, Joseph J, Warwick R. The stimulation of tissue regeneration by means of ultrasound. *Clin Sci* 1968;35(2):273-85.
32. Dyson M, Suckling J. Stimulation of tissue repair by ultrasound: a survey of the mechanisms involved. *Physiotherapy* 1978;64(4):105-8.
33. Roche C, West J. A controlled trial investigating the effect of ultrasound on venous ulcers referred from general practitioners. *Physiotherapy* 1984;70(12):475-77.
34. Cambier DC, Vanderstraeten GG. Failure of therapeutic ultrasound in healing burn injuries. *Burns* 1997;23(3):248-9.
35. Young SR, Dyson M. Effect of therapeutic ultrasound on the healing of full-thickness excised skin lesions. *Ultrasonics* 1990;28(3):175-80b.
36. Byl NN, Mckenzie A, Halliday B, Wong T, O'Connell J. The effects of phonophoresis with corticosteroids: a controlled pilot study. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993;18(5):590-600.
37. Aynaci O, Onder C, Piskin A, Ozoran Y. The effect of ultrasound on the healing of muscle-pediculated bone graft in spinal fusion. *Spine* 2002;27(14):1531-5.
38. Duarte LR. The stimulation of bone growth by ultrasound. *Arch Orthop Trauma Surg* 1983;101(3):153-9.
39. Duarte LR, Xavier CAM. Estimulação ultrasônica do calo ósseo. Aplicação clínica. *Rev Bras Ortop* 1983;18(3):73-80.
40. Heckman JD, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Kilcoyne RF. Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76(1):26-34.

41. Kristiansen TK, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Roe LR. Accelerated healing of distal radial fractures with the use of specific, low-intensity ultrasound. A multicenter, prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 1997;79(7):961-73.
  42. Takikawa S, Matsui N, Kokubu T, Tsunoda M, Fujioka H, Mizuno K, Azuma Y. Low-intensity pulsed ultrasound initiates bone healing in rat nonunion fracture model. *J Ultrasound Med* 2001;20(3):197-205.
  43. Duncan RL, Hruska KA. Chronic, intermittent loading alters mechanosensitive channel characteristics osteoblast-like cell. *Am J Physiol* 1994;267:909-14.
  44. Chen NX, Ryder KD, Pavalko FM, Turner, CH, Burr DB, Qiu J, Duncan RL. Ca(2+) regulates fluid shear-induced cytoskeletal reorganization and gene expression in osteoblasts. *Am J Physiol Cell Physiol* 2000;278(5):C989-97.
  45. Falconer J. Effect of ultrasound on mobility in osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care Res* 1992;5(1):29-35.
  46. Falconer J, Hayes KW, Chang RW. Therapeutic ultrasound in the treatment of musculoskeletal conditions. *Arthritis Care Res* 1990;3(2):85-91.
  47. Casimiro L, Brosseau L, Robinson V, Milne S, Judd M, Well G et al. Therapeutic ultrasound for the treatment of rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2002;3:37-47.
  48. Goddard H, Revell PA, Cason J, Gallagher S, Currey HLF. Ultrasound has no anti-inflammatory effect. *Ann Rheum Dis* 1983;38:582-4.
  49. Pereira LSM, Francisch JN, Silva FMP, Santos AMC, Tiradentes K, Carmo SC. Os efeitos do ultra-som na hiperalgesia e no edema de ratos artríticos. *Rev Fisioter Univ São Paulo* 1998;2:83-96.
  50. Durigan JLQ, Costa CN, Borges HE. Efeito do ultra-som terapêutico associado a indometacina no edema de ratos artríticos. *Fisioter Bras* 2005;6(2):130-5.
-