

ARTIGO DE REVISÃO

Ultra-som terapêutico no mecanismo de cicatrização: uma revisão *Therapeutic ultrasound mechanisms involved in wound healing: a revision*

Tiago Petrucci de Freitas¹, Luciana Sperb de Freitas², Emilio Luiz Streck³

Resumo

As aplicações terapêuticas do Ultra-som no campo da Fisioterapia produzem uma gama de efeitos biológicos que dependem exclusivamente dos parâmetros utilizados no aparelho de Ultra-som. Quando utilizamos o Ultra-som na forma mecânica podemos observar efeitos celulares presentes sem a transmissão de calor, com a utilização do Ultra-som na forma de ondas contínuas temos o predomínio da atuação do calor na condição terapêutica. O presente trabalho tem como finalidade elucidar e desmistificar a utilização do Ultra-som na Fisioterapia, pois na prática clínica vários estudos têm demonstrado que os mecanismos de utilização do Ultra-som terapêutico ainda são por vezes não compreendidos pela sociedade e até mesmo por profissionais da área da saúde, mesmo que sua descoberta tenha acontecido em meados de 1880, e em 1927 já era identificado como um campo gerador de mudanças permanentes nos sistemas biológicos.

Descritores:

1. Ultra- som terapêutico,
2. Cicatrização,
3. Lesão tecidual.

Abstract

The applications of Ultrasound Therapeutic in the Physiotherapy area produce a range of biological effects that depend exclusively of the parameters used in the Ultrasound machine. When we use the Ultrasound mechanical can see effects in the cell present without the transmission of heat, with the use of Ultrasound in the form of waves continued we have the dominance of the action of heat on condition therapy. This paper aims to clarify and demystify the use of Ultrasound in Physiotherapy, because in clinical practice several studies have shown that the mechanisms of use of therapeutic Ultrasound still are sometimes not understood by society and even by the professionals area of health, even though his discovery has happened in mid-1880, and in 1927 was already identified as a field generator of permanent changes in biological systems.

Keywords:

1. Ultrasound therapeutic,
2. Healing,
3. Tissue injury.

Introdução

O Ultra-som (US) teve sua descoberta em 1880, quando o casal Pierre e Marie Curie descobriu o efeito piezoelétrico através da aplicação de uma corrente elétrica senoidal sobre um cristal de quartzo colocado entre duas placas metálicas; estes cientistas constataram a geração de uma vibração de alta frequência. Langevin, Tournier e Howeck construíram pela primeira vez, em 1917, em Paris, um aparelho piezoelétrico que, embora tivesse utilidade para a Marinha, apresentava aplicações no campo da biologia, observando-se que sob a ação dos ultra-sons que emitia, morriam pequenos peixes depois de grandes convulsões ^(1,2).

1. Doutor do Programa de Pós- Graduação em Ciências da Saúde da UNESC. Centro de Estudos em Fisioterapia Experimental-CNPQ. Laboratório de Fisiopatologia Experimental –CNPQ.
2. Doutora do Programa de Pós- Graduação em Ciências da Saúde da UNESC. Centro de Estudos em Fisioterapia Experimental-CNPQ. Laboratório de Síntese de Complexos Multifuncionais-CNPQ.
3. Centro de Estudos em Fisioterapia Experimental-CNPQ. Laboratório de Fisiopatologia Experimental –CNPQ. Doutor em Bioquímica e Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UNESC.

Em 1927, Wood e Loomis identificaram que o aparelho poderia produzir mudanças duradoras em sistemas biológicos, através da absorção de energia ultra-sônica, levando os tecidos ao aquecimento, o que tem sido usado até os dias atuais. Mais recentemente esse efeito benéfico tem sido estendido também a propriedade de o aparelho produzir efeito não térmicos, facilitando a cicatrização muscular, epitelial, diminuição de processos inflamatórios entre outros benefícios, o que vem provocando nos pesquisadores estudos incessantes, tendo como finalidade a verificação da sua eficácia nos diversos processos teciduais⁽³⁾.

Para obtermos os máximos dos benefícios, são necessários o controle de parâmetros próprios do aparelho, como a frequência, intensidade, duração do tratamento, tipo de cabeçote a ser utilizado, área de tratamento e, principalmente, a calibragem do aparelho⁽⁴⁾.

Na Fisioterapia a terapia ultra-sônica é definida pelas oscilações de ondas cinéticas ou mecânicas produzidas pelo transdutor vibratório, que aplicado sobre a pele atravessa e penetra no organismo em diferentes profundidades, dependendo da frequência, que varia de 0,75 a 3,0 MHz, sendo utilizado no tratamento de pequenas lesões musculares, acelerando o processo de cicatrização muscular e epitelial^(2,5).

Efeitos biológicos do Ultra-som

Os efeitos do Ultra-som dependem de muitos fatores físicos e biológicos, tais como a intensidade, tempo de exposição, estrutura espacial e temporal do campo ultra-sônico e estado fisiológico do objeto. Este grande número de variáveis complica a compreensão exata do mecanismo de ação do ultra-som na interação com os tecidos biológicos^(1,6,7,8,9).

Independente do tipo de mecanismo de interação que está agindo no tecido biológico estudado, o objetivo principal é estabelecer limiares para a intensidade ultra-sônica, abaixo dos quais não provoca efeito lesivo. Experimentos realizados com o US demonstram que a interação com os tecidos biológicos provocam alterações fisiológicas que podem ser benéficas ou provocar danos^(2,10).

Os mecanismos físicos envolvidos na terapêutica do US que induzem respostas clinicamente significantes sobre as células, tecidos, órgãos e organismo são geralmente classificados em mecanismo térmico e não térmico⁽¹¹⁾.

Térmico

É decorrente da absorção das ondas ultra-sônicas pelo tecido que se transforma em calor. A vibração celular e de suas partículas provoca um atrito entre elas, produzindo assim o efeito térmico. A produção de calor é maior nas áreas limítrofe músculo/osso⁽¹¹⁾.

No US com feixe contínuo, prevalece o efeito térmico, o que não ocorre com o feixe ultra-sônico pulsátil ou intermitente, promovendo ação analgésica, antiinflamatória ou antiespasmódica na zona tratada. Melhora a circulação do local e região, promovendo uma leve hiperemia^(12,13,14,15).

O tecido ao ser estimulado pelo plexo terminal nervoso ocorre vasodilatação em extremidades, e com isso, temos o efeito térmico provocando um aumento do fluxo sanguíneo, o que produzirá reflexamente nos capilares e arteríolas uma vasodilatação reflexa^(1,11,14,15).

Não Térmico ou Mecânico

As ondas ultra-sônicas, ao penetrarem no tecido, provocam vibrações sobre os mesmo em nível celular (micromassagem), acelerando a velocidade de difusão de íons através da membrana celular e o intercâmbio de fluidos, favorecendo o processo de difusão e melhorando o metabolismo celular. O potencial da membrana é alterado, produzindo a sua despolarização. Além disso, regula o desequilíbrio, auxilia a liberação de aderências, pela separação das fibras colágenas^(1,11,12,12,13).

Com o aumento das trocas e da vasodilatação, teremos mais anticorpos, leucócitos e eletrólitos na área, o que concorrerá para uma maior defesa, além de aumentar consideravelmente o retorno venoso e linfático, facilitando a absorção de edemas^(2,13).

O US age através dos fatores mecânicos e térmicos, que provocam uma série de reações químicas que aceleram as reações e aumentam a condutibilidade das ações, como a liberação de substâncias vasodilatadoras, facilitando a dispersão dos líquidos e a desagregação de moléculas complexas^(12,13).

As ondas ultra-sônicas sofrem reflexão de mais ou menos 99% ao incidir ar/pele, parte daí a importância de se evitar gases e a necessidade de utilizar substâncias de acoplamento (gel, óleo, água, almofada de gel) entre o emissor e a pele do paciente^(13,15,16,17).

O Ultra-som pode provocar a formação de bolhas ou cavidades micrométricas nos líquidos contendo gás, causada por pressões negativas no tecido durante a rarefação. Esta formação de bolhas pode quebrar ligações moleculares entre o gás e o tecido (cavitação transitória). O colapso das bolhas libera energia que pode também quebrar ligações. Radicais livres produzidos durante a quebra de ligações podem levar a reação de oxidação^(14, 16,18).

Portanto, trata-se de um efeito destrutivo ou danoso, constituindo uma lesão celular provocada por força excessiva de tração e compressão das ondas do ultra-som^(14, 16,19).

Se for evitado um campo de ondas estacionárias e se forem utilizadas baixas intensidades durante a terapia, será improvável a ocorrência desta cavitação temporária^(1,14,16).

Técnicas de aplicação

O Ultra-som utiliza como meio de condução transdutor-paciente a água, gel, emulsão, óleos ou medicamentos em forma de gel. A manipulação do cabeçote deve ser de maneira lenta, com movimentos curtos e uniformes, circulares ou em formato de oito, sempre com cuidado com as proeminências ósseas, pois o contato com as mesmas pode gerar forças de cavitação que são a energia armazenada em uma cavidade, promovendo um estado de pressão, temperatura mais elevada, ou concentrando energia em zonas vizinhas. Observar um tempo máximo de quinze minutos de aplicação da técnica ^(2, 20, 21).

Sonoforese

É uma técnica de aplicação ultra-sônica também conhecida como Fonoforese ou ultrafonoforese, que é a capacidade de transporte por via cutânea de medicamentos transdérmicos facilitando a penetração dos mesmos de uso tópico ^(16, 22).

Terapia Ultra-sônica e a lesão muscular

A terapia por Ultra-som de forma mecânica influencia a atividade das células, plaquetas, mastócitos, macrófagos e neutrófilos envolvidos na fase inflamatória do processo de regeneração tecidual, acelerando o processo de cicatrização. As ondas ultra- sônicas produzem o aumento da permeabilidade da membrana e das plaquetas facilitando a liberação de serotonina. Os mastócitos terão o rompimento de sua membrana celular em resposta ao aumento dos níveis de cálcio intracelular, liberando histamina. A capacidade de efetuar o transporte de cálcio através das membranas celulares, segundo mensageiro, pode exercer efeito profundo na atividade celular, aumentando a síntese e secreção dos fatores de lesão pelas células envolvidas no processo de cicatrização ^(1, 6, 14, 15).

Na fase de proliferação ou granulação, que inicia aproximadamente três dias após a lesão, no período em que as células são expostas a níveis terapêuticos de Ultra- som a motilidade dos fibroblastos estará aumentada, não tendo comprovação na literatura sobre a ação desta terapia no estímulo da atividade dos fibroblastos. Outro efeito está relacionado ao aumento da velocidade de angiogênese e aumento na secreção de colágeno presentes nesta fase. No artigo de revisão de Maxwell (1992) foi observado que a utilização da terapia ultra- sônica pode gerar radicais livres que prejudicam a fase de granulação, outros estudos afirmam que o US térmico pode potencializar ou inibir o processo infamatório ^(15, 23, 24, 25).

O estágio de remodelamento pode durar meses ou anos, até que o novo tecido esteja com a formação e estrutura próximas ao tecido outrora lesado. O tratamento com US térmico fornece melhor resistência tênsil e elasticidade

do colágeno maduro, quando o tratamento é realizado desde o processo inflamatório até a fase de remodelagem no processo cicatricial ^(10, 14, 15).

Nikolaou (1987) admitem que após a lesão provocada por esforço, a cicatrização da lesão muscular sete dias após apresentava inflamação reduzida e a fibrose por colágeno mais avançada. Os achados desse estudo demonstram que a recuperação funcional do músculo ocorre 48 horas após, a despeito da inflamação e cicatrização ⁽²⁶⁾.

Os efeitos do Ultra-som dependem de muitos fatores físicos e biológicos ^(6, 7, 8). Experimentos realizados com o ultra-som demonstram que a interação com os tecidos biológicos provoca alterações fisiológicas que podem ser benéficas ou provocar danos ^(2, 27).

Terapia Ultra-sônica e a lesão epitelial

A comunidade médica e científica tem estudado de modo exaustivo, a prevenção e cicatrização das feridas cutâneas. Nos dias atuais seria impossível referenciar todas as substâncias orgânicas e inorgânicas e procedimentos que foram empregados durante os séculos. Mesmo em épocas modernas, a busca do melhor agente cicatrizador tem continuado a confundir médico e a classe dos cientistas ⁽²⁸⁾. Sabe-se que na derme, os fibroblastos são responsáveis por regular o tecido epitelial e interagem com os constituintes da matriz extracelular, tais como, o colágeno, o tecido fibroso e os proteoglicanos através de uma integração perfeita ⁽²⁹⁾.

As ondas ultra-sônicas ao penetrarem no tecido provocam vibrações sobre os tecidos incididos a nível celular (micromassagem), acelerando a velocidade de difusão de íons através da membrana celular, acelerando o intercâmbio de fluidos, favorecendo o processo de difusão e melhorando o metabolismo celular ^(1, 2, 16, 28).

Fase Inflamatória

As forças geradas pelas correntes acústicas alteram a permeabilidade da membrana da plaqueta, levando à liberação de serotonina. Isso inclui a liberação de histamina dos mastócitos e, muito importante, fatores liberados dos macrófagos. O ultra-som tem o potencial de acelerar a resolução normal da inflamação desde que o estímulo inflamatório seja removido. Essa aceleração pode também dever-se à suave agitação do líquido dos tecidos que pode aumentar a taxa de fagocitose e o movimento das partículas e células ^(11, 30, 31).

A terapia por Ultra-som causa aumento do cálcio iônico que funcionam como um sinal intracelular para resposta metabólica apropriada ^(1, 2, 14, 15, 16).

Fase Proliferativa

Inicia três dias após a lesão. Ocorre melhora da moti-

lidade dos fibroblastos, onde são estimulados a produzir mais colágeno; tem-se mostrado que o ultra-som pode promover a síntese de colágeno. Isso parece ocorrer devido ao aumento na permeabilidade da membrana celular, causado pelo ultra-som, permitindo entrada de íons de cálcio que controlam a atividade celular. Não só é formado mais colágeno, mas também estes apresentam maior força tênsil após o tratamento com ultra-som ^(1,11,30,31).

Fase de Remodelamento

Podem durar meses ou anos, dependendo do tecido envolvido e da natureza da lesão. Ocorre a promoção da reorientação das fibras, levando a uma maior elasticidade sem perda de força. As propriedades mecânicas da cicatriz estão relacionadas à quantidade de colágeno e arranjo ou alinhamento de colágeno no leito da ferida ^(1,14,33,34,35).

Conclusão

A terapia ultra-sônica sem dúvida pode causar bio-efeitos a curto e a longo-prazo desde que os tempos de cicatrização tanto muscular como epitelial possam ser respeitados. O bom manejo do aparelho requer não só a prática, mas também o conhecimento do funcionamento embasado nos fatores biológicos, conhecimento e entendimento das fases da lesão e principalmente do funcionamento físico do aparelho de Ultra-som. O artigo teve como objetivo elucidar alguns parâmetros aos profissionais da área médica, indicando o potencial terapêutico do Ultra-som no campo da Fisioterapia e a possibilidade de interação do corpo clínico com Fisioterapeuta através da indicação da Sonoforese.

Referências

- Freitas LBS, Freitas TP, Rocha LG, Silveira P, Pinho RA, Streck EL. Effect of therapeutic pulsed ultrasound on parameters of oxidative. *Cell Biology International* 2007; 31:482-488.
- Haar TG. Therapeutic applications of ultrasound. *Biophysics & Molecular Biology* 2007; 93: 111-129.
- Wood RW, Loomis AL. The physical and biological effects of high frequency sound waves of great intensity. *Phil. Mag.* 1927; 4:417-436.
- Michlovitz S. *Thermal Agents in Rehabilitation*. FA Davis. 3rd ed. Philadelphia; 1996.
- Robertson VJ, Ward AR. Longwave Ultrasound Reviewed and Reconsidered. *Physiotherapy* 1997; 83:123-130.
- Sarvazyan AP, Belousov LV, Petropavlovskaya MN, et al. The action of low-intensity pulsed ultrasound on amphibian embryonic tissues. *Ultrasound Medicine Biology* 1982; 8(6):639-654.
- Richardson PD. Piezoelectric plymes. *Medicine and Biology Magazine* 1989; 111-120.
- Robertson VJ. Dosage and treatment response in randomised clinical trials of therapeutic ultrasound. *Physical Therapy Sport* 2002; 3:124-133.
- Gann N. Relationship between Applied Pressure and Temperature Change in a Simulated Model during Therapeutic Ultrasound. *Physiotherapy* 2003; 89.
- Fisher BD, Hiller CM, Renne SGA. A comparison of continuous ultrasound and pulsed ultrasound on soft tissue injury. *Journal Physiotherapy Science* 2003; 15: 65-70.
- Dyson M. Mecanismos Involved in therapeutic ultrasound. *Physiotherapy* 1987; 73(3):116-130.
- Silva OL. Estudo do mecanismo da ação do ultra-som na estimulação do tecido ósseo. (dissertação). São Paulo: UNESP; 1987.
- Machado CM. *Eletroterapia prática*. 2ª ed. São Paulo; 1991.
- Kitchen S, Bazin S. *Eletroterapia de Clayton*. 10ª ed. São Paulo; 1998.
- Low J, Reed A. *Fisioterapia Explicada princípios e prática*. 3ª ed. São Paulo; 2001.
- Agne JE. *Eletroterapia teoria e prática*. 2ª ed. Santa Maria; 2005.
- Yang JH, Kim DK, Kim TY, et al. Anti-inflammatory effects by transdermal application of triamcinolone acetonide gel using phonophoresis in rats. *International journal of pharmaceutics* 2005; 302:39-46.
- Clemence M. Comparative failure (letter). *Physiotherapy* 1996; 82(4): 279.
- Forrest G, Rosen K. Ultrasound: Effectiveness of treatments given under water. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1989; 70:28-29.
- Bradnock B, Law HT, Roscoe K. A quantitative comparative assessment of the immediate response to high frequency ultrasound and low frequency ultrasound (longwave therapy) in the treatment of acute ankle sprains. *Physiotherapy* 1996; 82(2):78-84.
- Byl NN, McKenzie AL, West JM, et al. Low-dose ultrasound effects on wound healing: A controlled study with Yucatan pigs. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1992; 73:656-664.
- Cameron MH. Book Review: *Physical Agents in Rehabilitation: From Research to Practice*. Philadelphia: Pennsylvania; 1999.
- Maxwell L. therapeutic ultrasound: Its effects on cellular and molecular mechanism of inflammation and repair. *Physiotherapy* 1992; 78:421-425.
- Maxwell L, Collecutt T, Gledhill M, Sharma S, Edgar S, Gavin J. The augmentation of leucocyte adhesion

- to endothelium by therapeutic ultrasound. *Ultrasound in Medicine and Biology* 1994; 20:383-390.
25. Menetrey J, Kasemkijwattana C, Fu FH, Morenland MS, Huard J. Suturing versus immobilization of a muscle laceration a morphological and functional study in mouse model. *The American Journal of Sports Medicine* 1999; 27:222-229.
26. Nikolaou PK, Macdonald BL, Glisson RR, Seaber AV, Garret JR. Biomechanical and histological evaluation of muscle after controlled strain injury. *The American Journal of Sports Medicine* 1987; 15(1):09-14.
27. Ferrari AL. Estudos dos mecanismos de cavitação em meio biológico (dissertação). São Paulo: UNESP; 1987.
28. Wanda A, Dorsett M. Rat models of skin wound healing: A review. *Wound Repair and Regeneration* 2004; 12(6):591-599.
29. Fujimura T, Moriwaki S, Imokawa G, Takema Y. Crucial role of fibroblast integrins $\alpha 2$ and $\beta 1$ in maintaining the structural and mechanical properties of the skin. *Journal Dermatol Sci.* 2006.
30. Moritmer AJ, Dyson M. Effect of therapeutic ultrasound on calcium uptake in fibroblasts. *Ultrasound Med Biol* 1988; 14:499-506.
31. Cambier DC, Vanderstraeten GG. Failure of therapeutic ultrasound in healing burn injuries. *Burns.* 1997; 23:248-49.
32. Young SR, Dyson M. Effect of therapeutic ultrasound on the breaking of full-thickness excised skin lesions. *Ultrasonics* 1990; 28:170-80.
33. Young SR, Dyson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol.* 1990; 16:261-69.
34. Taskan I, Özyazgan I, Tercan M, et al. Comparative study of the effect of ultrasound and electrostimulation on wound healing in rats. *Plast Reconstr Surg.* 1997; 100(4):966-72.
35. Byl NN, Mc KA, Wong T, et al. Incisional wound healing: A controlled study of low and high dose ultrasound. *Journal of Orthopaedic and SportsPhysical Therapy* 1993; 18:619-628.

Endereço para correspondência

Tiago Petrucci de Freitas

Email: prof_tiagofreitas@yahoo.com.br