

Revisão

Agentes de acoplamento de ultra-som terapêutico e fonoforese

Coupling agents of therapeutic ultrasound and phonophoresis

Maria Fernanda Bertini Mardegan*, Rinaldo Roberto de Jesus Guirro, D.Sc.**

.....
 *Fisioterapeuta, Mestranda em Fisioterapia pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, Professora do Curso de Fisioterapia da Universidade de Uberaba – UNIUBE, **Fisioterapeuta, Coordenador e professor do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP

Resumo

Este artigo de revisão bibliográfica aborda os agentes de acoplamento utilizados na terapia ultra-sônica e a fonoforese, que consiste na introdução de fármacos para o interior dos tecidos biológicos, através do ultra-som terapêutico (UST). Dentre os fatores que podem alterar a transmissividade ultra-sônica estão: frequência do transdutor, intensidade, regime de pulso, além dos acoplantes, que são necessários nas aplicações de UST, em virtude deste não se propagar no ar. A literatura mostra que existem vários produtos utilizados como agentes de acoplamento e muitos deles provocam atenuação da onda ultra-sônica, fazendo com que a fonoforese, nesses casos, não tenha a eficácia esperada. De nada adiantará pensar nos parâmetros físicos do aparelho de UST se o agente de acoplamento não for bem selecionado. Por isso, é importante que o profissional faça uma cuidadosa seleção do acoplante a ser empregado, levando em consideração preceitos científicos.

Palavras-chave: Ultra-som terapêutico, agentes de acoplamento, fonoforese.

Abstract

This study is a literature review on the coupling agents used in therapeutic ultrasound and phonophoresis, which consists in introducing pharmaceuticals into tissues through ultrasound (TUS). Among the factors that can modify the ultrasound transmissibility are the frequency of the transducer, intensity, pulse regimen as well as the coupling agents needed in TUS since it does not spread in the air. Several products have been described as coupling agents and many of them lessen the ultrasound wave impairing the efficacy of the phonophoresis to its utmost. Therefore, it is important for the professional to take the scientific principles into account on choosing a coupling agent as the physical parameters of a TUS device will not produce the desired effect if the coupling agent is not suitable.

Key-words: Therapeutic ultrasound, coupling agents, phonophoresis.

Introdução

A primeira aplicação, com sucesso, de ultra-som (US) em medicina ocorreu no início de 1950, sendo que, a partir daí, sua evolução foi muito rápida. Atualmente, o ultra-som terapêutico (UST) é um dos recursos mais utilizados na fisioterapia, tanto no Brasil quanto em outros países. Estima-se que são realizados 15 milhões de tratamentos fisioterapêuticos com US por ano, nos Estados Unidos [1]. Foi verificado, através de um questionário respondido por 171 fisioterapeutas australianos, que 84% deles usavam US diariamente em seus tratamentos [2]. Sabe-se que, no Brasil,

o UST também é muito utilizado, mas não são encontrados registros desse tipo na literatura.

A aplicabilidade da onda ultra-sônica tem aumentado com o passar dos anos, auxiliando no tratamento das mais variadas patologias. O UST vem sendo considerado um recurso físico de grande importância nas afecções do sistema músculo-esquelético, atuando na reparação óssea, processos cicatriciais e inflamatórios, bem como na redução da dor [3,4,5]; além disso, há evidências de que o ultra-som pode atuar incrementando a síntese de fibroblastos e colágeno, além de acelerar a resposta inflamatória pela liberação de histamina, macrófagos e monócitos [4].

Recebido em 9 de agosto de 2004; aceito 15 de maio de 2005.

Endereço para correspondência: Maria Fernanda Bertini Mardegan, Rua Sérgio Pereira Dias, 413 Jardim Induberaba 38040-140 Uberaba MG, Tel: (34) 3336-3214, E-mail: mfbmardegan@ig.com.br ou maria.mardegan@uniube.br

Um fator importante e pouco considerado pelos usuários do UST é o material utilizado para o acoplamento do transdutor à pele do paciente, pois diversos meios de acoplamento utilizados podem acarretar atenuação da energia irradiada [6]. Os agentes de acoplamento são usados nas aplicações de UST, em virtude deste não se propagar no ar, fazendo com que o coeficiente de atenuação entre os dois meios envolvidos se torne similar e, assim, quase toda a intensidade incidente seja transmitida [7]. Para Casarotto [8], os produtos mais utilizados como acoplantes, no Brasil, são a vaselina, o óleo mineral, o gel, as pomadas e os cremes.

Muitas patologias exigem o uso tópico de medicamentos em seu tratamento, o que leva à necessidade de desenvolver metodologias que possibilitem a associação de fármacos com agentes físicos. Por isso, estão sendo usados métodos como a iontoforese e a fonoforese, na tentativa de aumentar a permeação cutânea de fármacos [9].

A fonoforese consiste na introdução, de medicamentos selecionados, nos tecidos biológicos, sob a influência do ultra-som terapêutico [10].

Frente ao exposto, o presente estudo tem como objetivo atualizar os conceitos sobre agentes de acoplamento utilizados com ultra-som terapêutico e fonoforese, discutindo alguns estudos realizados nessa área.

Desenvolvimento

Agentes acoplantes

A interface metal-ar do transdutor ultra-sônico promove um índice de reflexão próximo a 100%. Por isso, para que a transmissão da energia ultra-sônica ocorra de maneira adequada, possibilitando a transferência de energia entre o transdutor e a área a ser tratada, faz-se necessária a utilização de um meio de acoplamento que impeça a formação de camadas ou bolhas de ar nessa região [8].

A função do meio de acoplamento é excluir o ar existente entre o transdutor e o tecido cutâneo no local de aplicação, possibilitando que a onda ultra-sônica chegue na região a ser irradiada. Para Williams [11], alguns critérios precisam ser pensados ao se procurar um meio de acoplamento ideal, como por exemplo: impedância acústica similar a do tecido a ser irradiado, baixo coeficiente de absorção, disponibilidade, baixo custo e aceitabilidade geral. Meidan [12] acrescenta, ainda, que um meio de acoplamento ideal deve exibir coeficiente de absorção similar ao da água e conservar consistência gelatinosa à temperatura corpórea para, então, manter o contato entre o transdutor e a pele.

A transmissão da onda ultra-sônica, através de um meio de acoplamento, está relacionada às características desse meio, por isso há necessidade de uma seleção cuidadosa do material [13].

Dentre os agentes de acoplamento, os líquidos, especialmente a água, são bons transmissores de onda ultra-

sônica, sendo os sólidos ainda melhores, pois suas moléculas estão mais próximas umas das outras e, dessa forma, repassam a energia mais facilmente [14]. Há de se considerar, ainda, que a transmissão depende da elasticidade do meio, assim como de sua densidade, as quais, associadas à composição química, provavelmente interferem diretamente na transmissividade [15].

Para que a energia produzida pelo ultra-som seja bem aplicada deve-se conhecer, quantitativamente, a velocidade do som e seu coeficiente de absorção, além da proporção entre a quantidade de energia que atinge o paciente e a que é perdida durante a transmissão no agente acoplante [16].

Nesse contexto, considera-se que a transmissividade é inversamente proporcional à impedância [17]. Para a maioria dos líquidos e sólidos, se a energia acústica transmitida é alta e a impedância do agente acoplante é baixa, sua temperatura será baixa (porque não houve grande atenuação e o tecido a ser tratado foi atingido).

Existem várias técnicas de acoplamento que podem ser realizadas na terapia com ultra-som, sendo a sua escolha dependente da área a ser tratada [8]:

1. O método direto é aquele usado em superfícies lisas, onde o acoplamento (gel, óleo mineral, vaselina, pomadas e cremes) é colocado entre a pele e o transdutor;
2. O método indireto pode ser realizado de duas maneiras: técnica de imersão (a área a ser tratada e o transdutor ficam submersos num recipiente com água) e técnica do balão de água (um balão é preenchido com água e colocado entre o transdutor e a área a ser tratada). Essas duas técnicas são empregadas quando a superfície é irregular.

Apesar de descrita na literatura, a técnica indireta que utiliza meios intermediários não apresenta bons índices de transmissividade. Em estudo realizado recentemente foi analisada a transmissividade do ultra-som a 1,0 MHz em colimadores, balões e luvas de látex. Independentemente dos meios intermediários utilizados, ocorre uma atenuação próxima a 80 % da intensidade emitida. Dessa forma, esses meios são contra-indicados para aplicações terapêuticas de US, sendo a técnica subaquática apropriada em áreas onde o acoplamento não é satisfatório [6], considerando que a superfície corpórea deve estar sempre a 90 graus em relação à face do transdutor, para se evitar a reflexão e a refração da energia incidente.

O fármaco, incorporado ao meio de transmissão do US, é colocado na pele na forma de gel, creme, pomada ou líquido [12], sendo os géis, eficientes meios de acoplamento para US, de acordo com os resultados de alguns estudos [18].

Um questionário foi aplicado em clínicas de fisioterapia da cidade de Santa Maria (RS), através do qual pôde-se observar que, em 70% das clínicas, o agente de acoplamento mais utilizado foi o gel aquoso, o que condiz com os dados

da literatura. O gel medicamentoso e a vaselina também foram citados, sendo ambos utilizados em 15% das clínicas, enquanto a aplicação subaquática não foi citada [19].

Um fator que pode alterar a transmissão da energia ultrassônica através dos acoplantes é a frequência utilizada nos aparelhos de UST. Sabe-se que, quanto maior a frequência, menor a penetração no tecido, por isso há uma maior tendência do uso de frequências próximas de 1 MHz [20].

Um outro fator que também pode afetar a transmissividade do US é a espessura da camada do agente de acoplamento. Quando se aplica uma fina camada de agente de acoplamento, qualquer produto pode ser utilizado na terapia ultrassônica, através da técnica de contato direto. Isso porque o efeito do coeficiente de atenuação não age significativamente nesses casos [21].

Um estudo foi realizado para avaliar a transmissividade indireta de cinco agentes de acoplamento: Aquasonic gel, glicerol, água destilada, acoplamento de eletrocardiograma (ECG) e parafina líquida, além do ar (ou nenhum agente de acoplamento). Os produtos foram testados com intensidades de 0.7, 1.4, 2.1, 2.8 e 3.5 W/cm², no modo contínuo, sendo as leituras tomadas em intervalos de 1 minuto por 5 minutos consecutivos. Os resultados mostraram que o Aquasonic gel foi o mais efetivo, transmitindo uma média de 72,60%, seguido pelo glicerol e água destilada. O acoplamento de ECG transmitiu apenas 26,60%, enquanto a parafina líquida transmitiu 19,06% e o ar, como esperado, não transmitiu uma quantidade mensurável [15].

A transmissividade ultrassônica e a mudança da temperatura na glicerina, óleo mineral e água (da rede de abastecimento) também foram analisadas [17]. Para isso, foi utilizada a técnica de imersão com as seguintes distâncias entre transmissor e receptor: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 e 5.0 cm. Para cada distância foram usadas as intensidades: 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 e 2.0 W/cm². Os resultados demonstraram que a transmissividade através da água foi significativamente maior, quando comparada aos meios não aquosos, em todas as intensidades e distâncias estudadas. Além disso, houve um maior aumento da temperatura nos meios não aquosos, sendo maior com a glicerina, o que pode estar relacionado à maior absorção da onda ultrassônica.

Para um acoplante ser mais apropriado, ele precisa que suas características de viscosidade e transmissividade sejam altas, precisa ter odor agradável ou neutro, baixo custo, além de ter susceptibilidade a bolhas e atenuação baixas. Nesse contexto, 14 agentes de acoplamento foram analisados sob essas características, o que permitiu concluir que os acoplantes, em forma de óleo, apresentam uma alta taxa de atenuação da onda, ao contrário das formulações em gel [22].

Mais de 40 produtos tiveram sua transmissividade ultrassônica testada [23]. Dessa forma, foram divididos em quatro grupos (agentes acoplantes de US, formulações para inflamações, corticosteróides tópicos e anestésicos locais), usando diferentes frequências (0.75, 1.5 e 3.0 MHz) e regime

contínuo. Para isso, foi utilizada uma balança Medisonics para mensurar a potência acústica transmitida através de cada acoplante. A superfície superior da câmara de mensuração era composta por água desgaseificada e por uma membrana de Kapton, que permite 100% de transmissão da onda sonora, que separava os agentes de acoplamento da água. Dessa forma, observou-se que os produtos na forma gel apresentavam alta transmissividade (acima de 80%) e, conseqüentemente, baixa atenuação, enquanto que os produtos na forma creme apresentavam baixa transmissão. Cabe destacar que alguns produtos na forma creme não apresentaram nenhuma transmissividade.

Os produtos: Feldene gel, Ibugel, Oruvail gel, Proflex cream, Traxam gel e Voltarol emulgel foram analisados com o objetivo de identificar os anti-inflamatórios não esteroidais (NSAID) tópicos, cujas características são adequadas como agente acoplante de UST [18]. Para isso, os autores utilizaram um wattímetro digital Bio-Tek (modelo UW - II) que media a potência acústica total e um US (Sonacel Multiphon II), modo contínuo, com potência acústica total de 1.5 e 5.0 W (equivalente a 0.3 e 1.0 W/cm², respectivamente) e frequências de 0.75, 1.5 e 3.0 MHz. A análise revelou diferenças significativas entre as frequências do US, mas não apontou diferenças significativas entre as potências ou formulações tópicas. Quanto às frequências só houve diferença significativa quando se comparou 0.75 MHz com 1.5 e 3.0 MHz, mas não quando foram comparadas 1.5 e 3.0 MHz entre si. Segundo os autores, mesmo não havendo diferença significativa entre as formulações tópicas, eles observaram que os resultados sugerem que os géis transmitem US mais eficientemente que os cremes.

A transmissividade acústica e as alterações térmicas da vaselina, óleo mineral, gel de carbopol e água desgaseificada foram avaliadas quando estes produtos se encontravam em situação de acoplamento ultrassônico [21]. Para verificar as características de transmissividade dos meios de acoplamento, foi utilizada uma célula para medição de densidade de líquidos de Adamowski, que fornecia os resultados dos coeficientes de reflexão, atenuação e transmissividade, além da densidade e impedância dos acoplantes. A análise das perdas térmicas dos mesmos foi realizada através da irradiação do US e do aumento da temperatura no transdutor, registrado pela colocação de um termopar na face interna do alumínio do transdutor do aparelho de UST de 1 MHz (Bioset, modelo Sonacel III). Foram usadas camadas de 0.5 e 0.3 mm de acoplante, as quais foram irradiadas pelo US por 5 minutos numa intensidade de 1.0 W/cm², sendo realizadas 6 medidas para cada acoplante. Como resultado verificou-se que a água e o gel possuem os menores coeficientes de reflexão e atenuação, apresentando a impedância acústica mais próxima da pele, o que acarreta menor reflexão nesta interface. Já os dados térmicos apontaram a vaselina e o óleo mineral como tendo o maior aquecimento, devido às características de condutividade térmica dos meios e não por perdas devido à

atenuação. Dessa forma, a conclusão da autora é que o gel é o produto que apresenta as características mais apropriadas à transmissão das ondas sonoras.

Catorze medicamentos utilizados na prática de fisioterapeutas de Natal/RN foram avaliados [10]. O procedimento inicial do trabalho constava de uma análise qualitativa da transmissão ultra-sônica (baseado em modelo sugerido por Cameron & Monroe – 1992), para isso o ultra-som era ligado no regime contínuo e depois no pulsado, na frequência de 1 MHz, com intensidade ajustada gradativamente de 0.2 até 1.0 W/cm². Os medicamentos considerados de condutividade negativa eram excluídos e os de condutividade positiva foram submetidos à análise quantitativa, que era realizada através de uma balança semi-analítica. Como resultado da análise qualitativa, 3 produtos obtiveram condutibilidade negativa (Inflamene creme, Iodex pomada e Gelol). Através da análise quantitativa, 2 agentes tiveram transmissão ruim (Clofenak gel: 30.9% e Proflam creme: 13.5%), 1 moderada (Calminex pomada: 52.4%) e 8 boa (Feldene gel: 105.1%, Profenid gel: 102.7%, Gel Sonic: 95.4%, Voltarem emulgel: 94.2%, Reparil gel: 93.6%, Nisulid gel: 89.7%, Cataflan emulgel: 84.0% e Scaflan gel: 83.4%).

De acordo com os estudos anteriormente apresentados, observa-se que o gel é o meio que melhor transmite a onda ultra-sônica, sendo, portanto, o agente de acoplamento de UST mais indicado.

Alguns curativos também podem ser utilizados como agentes de acoplamento para ultra-som e, na literatura, são encontrados artigos que sustentam seu uso. Um deles trata-se de um estudo que avaliou o Geliperm como um agente de acoplamento estéril para US [24]. Geliperm é um gel impermeável à bactérias, contendo 96% de água, usado para cobrir fraturas expostas, úlceras de decúbito, queimaduras, entre outros ferimentos. Os parâmetros do UST foram: frequência de 1 MHz, intensidade de 0.5 W/cm² e modo contínuo. Primeiramente, o experimento foi feito sem o Geliperm e depois com este interposto entre a balança de radiação e o transdutor, sendo que as amostras (3.3 mm de espessura e 5 cm²) ficavam submersas em água durante o experimento. Sob essas condições, as amostras de Geliperm permitiram a transmissão de 95% da potência incidente, mostrando ser um acoplante eficiente com US, sem que houvesse risco de infecção ou irritação mecânica causada pelo movimento do transdutor.

Outro trabalho, que segue a mesma linha do anteriormente citado, investigou a transmissividade acústica em alguns curativos, pois, dessa forma, o US poderia ser aplicado, promovendo reparação em feridas abertas [25]. Nos experimentos, utilizou-se um UST com frequências de 1 e 3 MHz e os curativos (Geliperm, 2nd Skin, Opsite e Granuflex film). Os valores da transmissividade foram comparados à água obtendo-se para 1 MHz: Granuflex: 80%, Opsite: 98%, 2nd Skin: 99% e Geliperm: 100%. Com 3 MHz os resultados obtidos foram: Granuflex: 73%, Opsite:

98%, 2nd Skin: 100% e Geliperm: 100%. Com isso, foi possível concluir que o US pode ser aplicado sobre soluções de continuidade, tendo como meio de acoplamento os curativos avaliados nesse estudo.

Fonoforese

A fonoforese é definida como sendo o uso do ultra-som para dirigir moléculas de fármacos através da pele [23]. Essa técnica envolve a aplicação de formulações tópicas sobre a pele na área a ser tratada, associada à irradiação de energia ultra-sônica [26].

A fonoforese é um procedimento aceito na fisioterapia e que pode ser uma modalidade de tratamento eficaz. Os dados do questionário aplicado em 20 clínicas de fisioterapia na cidade de Natal-RN revelaram que 65% das clínicas fazem uso da fonoforese [10].

Deve ser tomado um certo cuidado durante a aplicação da fonoforese, pois como já se sabe, esta pode acentuar a penetração transdérmica do fármaco, enquanto promove o efeito terapêutico do UST e, com o aumento da penetração do fármaco, pode-se aumentar os benefícios ou malefícios clínicos promovidos pelo medicamento no organismo [13].

Os mecanismos pelos quais o UST acentua a penetração de fármacos ainda não estão muito bem esclarecidos, mas suas propriedades térmicas e não-térmicas devem ser consideradas. O aquecimento provocado pelo UST aumenta a energia cinética das moléculas do fármaco e da membrana celular, dilata os pontos de entrada dos folículos pilosos e glândulas sudoríparas e aumenta a circulação da área irradiada. As características mecânicas não-térmicas do UST podem aumentar a difusão de fármacos pela oscilação em alta velocidade das células, mudanças no potencial de repouso da membrana celular e ruptura da membrana de algumas células da área irradiada. A cavitação é uma propriedade mecânica do UST que pode alterar o transporte de fármacos, através do estresse mecânico, elevação da temperatura ou aumento da reatividade química que ocasiona [27].

Dentre variáveis que podem alterar a eficácia da fonoforese estão os parâmetros de tratamento, que deveriam ser selecionados a partir de critérios científicos. Ao invés disso, o que vemos é que a escolha dos parâmetros decorre de idéias subjetivas de fisioterapeutas e de clínicas individuais [12].

Um dos primeiros relatos de caso realizados sobre a eficácia da fonoforese foi utilizando a hidrocortisona para o tratamento da disfunção têmporo mandibular (DTM). Para isso, utilizou-se um UST no modo contínuo por 8 minutos com uma intensidade de 1.0 a 1.5 W/cm² (até que o paciente sentisse um calor agradável) e uma pomada de hidrocortisona a 10% [28]. A autora observou, ao final do tratamento (10 sessões), aumento da amplitude de movimento (de 16 para 32 mm) e diminuição da dor (de 10 para 3 quando mastigava alimentos sólidos).

Num estudo com 77 fisioterapeutas do Norte da Califórnia, foi aplicado um questionário sobre a utilização da fonoforese [13]. 77% dos fisioterapeutas afirmaram usar, regularmente, o ultra-som através da fonoforese durante o tratamento de seus pacientes. O fármaco mais utilizado por esses profissionais foi a hidrocortisona, nas concentrações 10 e 1%, sendo a primeira concentração utilizada por 81% dos entrevistados. Quanto aos meios de transmissão mais utilizados, estão o creme (46%) e creme misturado com gel para ultra-som (44%). Além disso, nesse mesmo estudo avaliou-se a transmissão de UST através de alguns meios, usando uma balança de força de radiação (Ohmic – UPM 30) e um UST. O aparelho de UST gerava uma potência de 0-3 W/cm², numa frequência de 1MHz e ERA de 8,5 cm², sendo que o transdutor era coberto por uma camada de 5 mm de agente acoplante. Como resultado, os acoplantes utilizados foram divididos em dois grupos: boa transmissão (transmissão maior que 80%) e transmissão ruim (menor que 40%). Os géis corticoesteróides, creme de metil salicilato e outros meios, especialmente formulados para serem usados com US, se encaixaram no primeiro grupo e os géis de US, misturados com pó de acetato de hidrocortisona, no segundo. As autoras desta pesquisa acreditam que o gel de US misturado com hidrocortisona apresentou baixa transmissão, em função das partículas do fármaco gerarem reflexão do US.

Uma meta-análise foi realizada com o intuito de averiguar a relevância e a confiabilidade da fonoforese nas desordens músculo-esqueléticas, e sua utilização clínica [20]. Para isso, foram selecionados 56 artigos de 1954 a 2001, que foram submetidos a critérios de inclusão e exclusão, resultando em apenas 6 artigos.

Acreditando-se que a metodologia relatada pudesse ser adequada para obter conclusões sobre a utilização da fonoforese como recurso terapêutico, foram elaborados parâmetros para avaliação: grupo controle, estudo duplo-cego, estudo aleatório, fármaco – tipo de antiinflamatório (esteroidal ou não), fármaco manipulado na forma gel, valor de concentração do fármaco no gel, calibração do equipamento de ultra-som, 10 amostras no mínimo, 10 sessões no mínimo, modo de emissão das ondas acústicas do equipamento (contínuo ou pulsado), frequência do transdutor, intensidade, tempo/ERA e mensuração da dor. Para a execução da meta-análise, esses parâmetros funcionaram como filtros, verificando a relevância e confiabilidade desses artigos. Após esses procedimentos, os autores observaram que nenhum estudo seguiu inteiramente os critérios propostos, por isso, eles colocam em dúvida a relevância e a confiabilidade dos resultados obtidos, em razão das falhas no processo de elaboração da pesquisa ou omissão de parâmetros importantes.

Dessa forma, novas investigações precisam ser feitas a fim de estabelecer as condições ideais para o uso da fonoforese.

Conclusão

Alguns meios de acoplamento podem interferir na eficácia da terapia ultra-sônica e na fonoforese, por apresentarem baixa transmissividade. A literatura nos mostra que os géis são os melhores meios para serem empregados com o UST. Por isso, é importante que o profissional faça uma cuidadosa seleção do acoplante a ser empregado, levando em consideração preceitos científicos. De nada adiantará pensar, apenas, nos parâmetros físicos do aparelho de UST, se o agente de acoplamento não for bem selecionado.

No Brasil, existem poucas pesquisas com relação a fonoforese e aos agentes de acoplamento de UST. Por isso, há necessidade de que mais estudos sejam desenvolvidos nessa área, a fim de averiguar a transmissividade dos acoplantes utilizados pelos profissionais brasileiros e o modo e os parâmetros que são empregados durante a fonoforese ou a terapia ultra-sônica convencional.

Referências

1. Näslund J. Modes of sensory stimulation – clinical trials and physiological aspects. *Physiotherapy* 2001;87(8):413-23.
2. Warden SJ, McMeeken JM. Ultrasound usage and dosage in sports physiotherapy. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2002;28(8):1075-80.
3. Guerino MR, Luciano E, Gonçalves M, Leivas TP. Aplicação do ultra-som pulsado terapêutico sobre a resistência mecânica na osteotomia experimental. *Rev Bras Fisioter* 1997;2(2):63-6.
4. Guirro ECO, Guirro R, Ferreira AL. Efeitos da estimulação ultra-sônica pulsada de baixa intensidade no processo cicatricial: estudo experimental em ratos. *Rev Cienc Tecnol* 1995;2(8):37-47.
5. Ter Haar G. Therapeutic ultrasound. *Eur J Ultrasound* 1999;9:3-9.
6. Guirro R, Cancelieri AS, Sant'Anna IL. Avaliação dos meios intermediários utilizados na aplicação do ultra-som terapêutico. *Rev Bras Fisioter* 2001;5(2):49-52.
7. Okuno E, Caldas IL, Chow C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas. São Paulo: Harbra; 1986.
8. Casarotto RA. Agentes acoplantes em fisioterapia: perdas acústicas e térmicas. [Tese]. São Paulo: Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo; 1999. 51f.
9. Machel L et al. In vitro phonophoresis of mannitol, oestradiol and hydrocortisone across human and hairless mouse skin. *Int J Pharm* 1998;165:169-74.
10. Brasileiro JS, Alves TC, Escóssia CC. Análise da transmissibilidade ultra-sônica de medicamentos utilizados na prática da fonoforese. *Rev Bras Fisioter* 2003;7(2):139-144.
11. Williams R. Production and transmission of ultrasound. *Physiotherapy* 1987;73(3):113-6.
12. Meidan VM, Walmsley AD, Irwin WJ. Phonophoresis – is it a reality? *Int J Pharm* 1995;118:129-49.
13. Cameron MH, Monroe LG. Relative transmission of ultrasound by media customarily used for phonophoresis. *Phys Ther* 1992;72(2):142-8.

14. Wood EJ. Ultra sound as I see it. *Physiotherapy* 1973;3-7.
 15. Reid DC, Cummings GE. Efficiency of ultrasound coupling agents. *Physiotherapy* 1977;63(8):255-7.
 16. Reid DC, Cummings GE. Factors in selecting the dosage of ultrasound: with particular reference to the use of various coupling agents. *Physiother Can* 1973;25(1):5-9.
 17. Griffin JE. Transmissiveness of ultrasound through tap water, glycerin and mineral oil. *Phys Ther* 1980;60(8):1011-6.
 18. Benson HAE, McElnay JC. Topical non-steroidal anti-inflammatory products as ultrasound couplants: their potential in phonophoresis. *Physiotherapy* 1994;80(2):74-6.
 19. Agne, JE, Franco CW, Griebeler D, Petri FC. O uso do ultrassom terapêutico em clínicas de fisioterapia da cidade de Santa Maria – RS – Brasil. *Fisioter Mov* 2003;16(2):11-6.
 20. Parizotto NA, Koeke PU, Moreno BGD, Lourencin FTC. Utilização da fonoforese em distúrbios músculo-esqueléticos: uma meta-análise. *Rev Brás Fisioter* 2003;7(1):9-15.
 21. Casarotto RA, Adamowski JC, Fallopa F, Bacanelli F. Coupling agents in therapeutic ultrasound: acoustic and thermal behavior. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation* 2004;85:162-5.
 22. Docker MF, Patrick MK, Foulkes DJ. Ultrasound couplants for Physiotherapy. *Physiotherapy* 1982;68(4):124-5.
 23. Benson HAE, McElnay JC. Transmission of ultrasound energy through topical pharmaceutical products. *Physiotherapy* 1988;74(11):587-9.
 24. Brueton RN, Campbell B. The use of geliperm as a sterile coupling agent for therapeutic ultrasound. *Physiotherapy* 1987;73(12):653-4.
 25. Pringle DW. Therapeutic Ultrasound: Acoustic transmissiveness of wound dressings. *Physiotherapy* 1995;81(4):240.
 26. Benson HAE, McElnay JC, Harland R. Use of ultrasound to enhance percutaneous absorption of benzydamine. *Phys Ther* 1989;69(2):113-8.
 27. Byl NN. The use of ultrasound as an enhancer for transcutaneous drug delivery: phonophoresis. *Phys Ther* 1995;75(6):539-53.
 28. Wing M. Phonophoresis with hydrocortisone in the treatment of temporomandibular joint dysfunction. *Phys Ther* 1982;62(1):32-3. ■
-