

Propriedades ortotrópicas na análise dinâmica da membrana timpânica

Carolina Ana Garbe, IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica, FEUP, e-mail: garbe@fe.up.pt

Fernanda Gentil, IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica, FEUP, e-mail: fernanda.fgnanda@gmail.com

Marco Parente, IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica, FEUP, e-mail: mparente@fe.up.pt

Pedro Martins, IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica, FEUP, e-mail: palsm@fe.up.pt

Renato Natal Jorge, IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica, FEUP, e-mail: rnatal@fe.up.pt

Introdução

O mau funcionamento do sistema auditivo pode resultar em surdez, o que dificulta a compreensão das palavras, que por sua vez pode causar problemas profissionais, psicológicos, de aprendizagem, da fala, insatisfação e solidão [1]. Para melhor se entender o funcionamento auditivo, tornou-se indispensável fazer um estudo biomecânico do ouvido médio (OM), com base no Método dos Elementos Finitos (MEF).

O OM é constituído pela cadeia ossicular (martelo, bigorna e estribo), ligamentos, músculos e tendões [2]. A energia sonora captada pelo pavilhão auricular passa pelo canal auditivo externo até à membrana timpânica (MT), onde é transformada em energia mecânica, sendo transmitida aos ossículos. A MT tem uma área média de 73 mm^2 , mas cerca de 55 mm^2 tem mobilidade (já que a periferia é rígida). A MT é formada por três camadas [2]: (a) externa, fina, cutânea: ligada à camada que reveste o canal auditivo externo; (b) intermédia, fibrosa: principal responsável pela rigidez da MT; e, (c) interna, mucosa: contínua com o revestimento do OM.

A MT é constituída por duas regiões: *pars tensa* (PT), em que a parte central, correspondente a parte final do cabo do martelo é chamada umbo, e *pars flaccida* (PF), localizada na parte superior, com poucas fibras [1].

Este trabalho tem o objectivo de estudar o comportamento vibro-acústico da MT com propriedades ortotrópicas (PO) e propriedades isotrópicas (PI). Com base no MEF efectuou-se a simulação para o cálculo dos deslocamentos a nível do umbo e de um ponto central da platina do estribo, utilizando o programa ABAQUS e as propriedades mecânicas disponíveis na literatura [3, 4].

Os resultados obtidos, para 80 e 105dB SPL (*sound pressure level*) sobre a MT foram comparados na análise dinâmica do OM através da utilização de PO e PI.

Materiais e Métodos

Construiu-se um modelo digital do OM baseado em imagens extraídas de TAC (Tomografia Axial Computadorizada) pertencentes a uma mulher de 65 anos com audição normal [5].

Com base neste modelo gerou-se a malha para o MEF. A MT é formada por elementos hexaédricos do tipo

C3D8. Em relação aos ossículos, todos os elementos são tetraédricos do tipo C3D4.

Em relação às condições de fronteira, a MT e a platina do estribo foram fixas em toda a sua periferia, simulando respectivamente o sulco timpânico e o ligamento anular. O martelo com os ligamentos anterior, superior e lateral e a bigorna com os ligamentos superior e posterior. As ligações entre os ossículos martelo/bigorna e bigorna/estribo foram efectuadas por intermédio de formulações representativas de contacto [6], com um coeficiente de atrito igual a 0,9.

As propriedades do material foram baseadas nas referências [3] e [4], em que consideraram-se todos os ossículos e a MT com o mesmo coeficiente de Poisson (0,3). Em relação ao módulo de Young (E) foi atribuído um valor de 14,1GPa para os ossículos e para a MT dividiu-se em duas partes: *PT* e *PF*. Foram feitas três simulações, duas em que a MT foi considerada com PI e uma em que a mesma foi considerada com PO, para 80 e 105dB SPL (Quadro 1), sendo que E_θ é o módulo na direcção tangencial, E_r é o módulo na direcção radial.

Simulação	Tipo	<i>Pars tensa</i>		<i>Pars flaccida</i>	
1ª	Isotrópica	20 MPa		10 MPa	
2ª	Isotrópica	32 MPa		10 MPa	
3ª	Ortotrópica	E_θ	E_r	E_θ	E_r
		20 MPa	32 MPa	10 MPa	10 MPa

Quadro 1: Valores do módulo de Young para a MT

Os ligamentos e músculos foram considerados como tendo um comportamento elástico [5].

Com o objectivo de se perceber o comportamento do OM, ao longo de uma gama frequencial entre 100Hz e 10kHz, efectuaram-se simulações da aplicação de um nível de pressão sonora uniforme correspondente a 80 e 105 dB SPL. O nível de pressão sonora (SPL) é o nível correspondente à pressão provocada pela vibração sonora, medida num determinado ponto. A escala decibéis SPL define níveis sonoros comparando as pressões sonoras, p , com uma pressão sonora de referência, p_0 , é dado pela equação 1:

$$SPL = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (1)$$

em que $p_0 = 20 \mu Pa$ é denominada pressão sonora de referência, correspondente ao limiar de audibilidade [5]. Resulta assim a aplicação na MT de uma pressão de 0,2Pa para 80dB SPL e 3,56Pa para 105 dB SPL.

Resultados e Discussão

A simulação foi realizada fazendo incidir sobre a MT diferentes valores de pressão acústica, comparando os resultados obtidos, tanto em termos de deslocamento do umbo como da parte central da platina do estribo, para frequências compreendidas entre 100Hz e 10kHz. Na figura 1 apresentam-se os deslocamentos obtidos ao nível do umbo para um estímulo acústico de 80 (A) e 105 dB SPL (B). Pode-se observar que, através da aplicação das PO na MT, os resultados encontram-se compreendidos entre os resultados obtidos com PI.

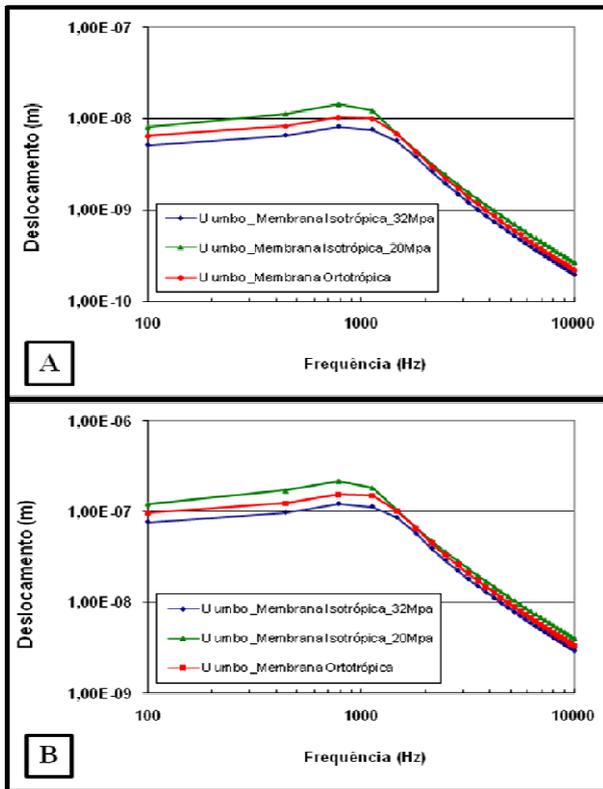


Figura 1: Deslocamentos do umbo para 80dB SPL (A) e 105dB SPL (B).

Na figura 2 apresentam-se os deslocamentos obtidos ao nível da parte central da platina do estribo para um estímulo acústico de 80 (C) e 105 dB SPL (D). Pode-se observar também que, através da aplicação das PO na MT, os resultados encontram-se compreendidos entre os resultados obtidos com PI.

Conclusões

Pode-se observar que existe diferença nos deslocamentos obtidos ao nível do umbo considerando a MT com PO ou com PI, sendo essas diferenças mais assinaláveis para as frequências mais graves. Todavia, essa variação é menos perceptível nos deslocamentos

sofridos na base da platina do estribo. Conclui-se, também, a partir dos gráficos que quanto maior o nível de pressão sonora (dB SPL) aplicada na MT, maior será o deslocamento obtido no umbo e na parte central da platina do estribo, sendo que os maiores deslocamentos estão compreendidos entre 100Hz e 1kHz.

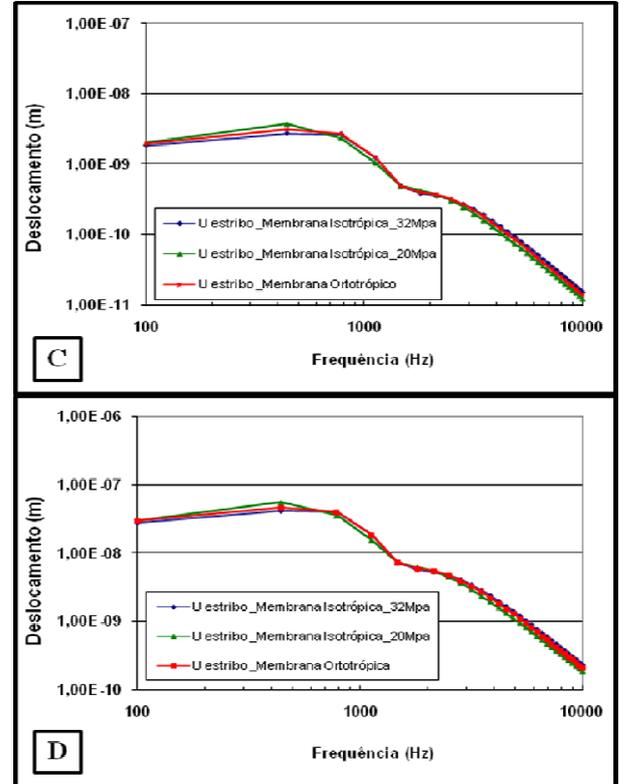


Figura 2: Deslocamentos da parte central da platina do estribo para 80dB SPL (C) e 105dB SPL (D).

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento concedido pelo Ministério da Ciência e do Ensino Superior (FCT - Portugal), enquadrado no projecto PTDC/EME-PME/81229/2006.

Referências bibliográficas

- [1] F. Gentil, R.M.N. Jorge, A.J.M. Ferreira, M.P.L. Parente, M. Palms, E. Almeida. *Estudo Dinâmico do Ouvido Médio Considerando a Perfuração da Membrana*, CMNE/CILAMCE, APMTAC, Portugal. 2007.
- [2] J. Paço, *Doenças do Timpano*. Lidel. Lisboa. 2003.
- [3] Q. Sun, R.Z. Gan, K.H. Chang, K.J. Dormer, Computer-integrated finite element modeling of human middle ear, *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 1:109-122. 2002.
- [4] P.J. Prendergast, P. Ferris, H.J. Rice, A.W. Blayney, Vibro-Acoustic Modelling of the Outer and Middle Ear Using the Finite-Element Method, *Audiology & Neuro-Otology*, 4, pp. 185-191, 1999.
- [5] F. Gentil, *Estudo Biomecânico do Ouvido Médio*. Tese de Doutoramento, FEUP. Porto. 2008.
- [6] ABAQUS Analyses User's Manual, Version 6.5, 2005.