

O efeito das orelhas externa e média nas emissões otoacústicas

The effect external and middle ears have in otoacoustic emissions

Christiane Marques do Couto¹, Renata Mota Mamede Carvalho²

Palavras-chave: emissões otoacústicas espontâneas, orelha externa, orelha média.
Keywords: spontaneous otoacoustic emissions, external ear, middle ear.

Resumo / Summary

Características como a frequência de ressonância da orelha externa e da orelha média podem interferir na captação das emissões otoacústicas. **Objetivo:** Investigar a influência da frequência de ressonância da orelha externa e da orelha média na resposta das emissões otoacústicas. **Desenho Científico:** Estudo de série, prospectivo, clínico. **Material e Método:** Foram feitas medidas com microfone-sonda na orelha externa, timpanometria de multifrequência e teste de emissões otoacústicas por transitório e produto de distorção em 19 orelhas direitas e 20 orelhas esquerdas de indivíduos do sexo masculino e 23 orelhas direitas e 23 orelhas esquerdas de indivíduos do sexo feminino com 17 a 30 anos. As 85 orelhas eram audiologicamente normais. **Resultados:** Não foram observadas relações estatisticamente significantes entre a melhor frequência de emissões otoacústicas e a frequência de ressonância da orelha externa oclusa e da orelha média. **Conclusão:** Os níveis de respostas das emissões otoacústicas por transitório e produto de distorção não são influenciadas apenas pela ressonância da orelha externa e da orelha média.

Characteristics of how external and middle ear resonance frequency can impact the capture of otoacoustic emissions. **Aim:** to study the impact of external and middle ear resonance frequency in otoacoustic emissions. **Study Design:** Prospective, clinical, series study. **Materials and Methods:** Microphone-probe measurements were made in the external ear, together with multifrequency tympanometry distortion product transient otoacoustic emissions in 19 right and 20 left ears from male individuals and 23 right and 23 left ears from female individuals with 17 to 30 years of age. The 85 ears were audiologically normal. **Results:** We did not observe statistically significant associations between the best otoacoustic emission best frequencies and the occluded external and middle ear resonance frequencies. **Conclusion:** Response levels for both transient and distortion product otoacoustic emissions are not influenced by the external and middle ear resonances alone.

¹ Professor Doutor do Curso de Fonoaudiologia da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

² Livre-docente, Professor Doutor do Curso de Fonoaudiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de São Paulo- USP. Universidade Estadual de São Paulo - USP.

Endereço para correspondência: Dra. Christiane Marques do Couto - Rua Pedro Vieira da Silva 144 apto. 2A Jd. Santa Genebra Campinas SP 13080-570.

Este artigo foi submetido no SGP (Sistema de Gestão de Publicações) da RBORL em 1 de julho de 2007. cod.4640

Artigo aceito em 22 de setembro de 2007.

INTRODUÇÃO

Durante o processo de transmissão do som pela orelha externa e orelha média, uma série de fatores é responsável por modificações no padrão acústico, resultando em um estímulo diferente processado pelo sistema nervoso central em comparação com o estímulo presente no ambiente¹.

Essas modificações se iniciam na orelha externa que possui um formato aproximado de corneta e apresenta ressonâncias que resultam em amplificação de determinadas frequências. Segundo Menezes e Motta², cada estrutura provoca um aumento de pressão sonora em sua frequência natural de aproximadamente 10 a 12 dB. O primeiro modo de ressonância da orelha externa está entre 2500 a 3000Hz³.

Os efeitos de ressonância causados pelo pavilhão auricular, concha e meato acústico externo sobre a onda sonora incidente na membrana timpânica podem ser verificados colocando-se um microfone-sonda próximo à membrana timpânica. Quando as medidas de pressão sonora com microfone sonda são realizadas, há variações na pressão sonora e nos valores de impedância, principalmente em altas frequências^{4,6}. Sob condições normais, a impedância do meato ao nível da membrana timpânica é igual à impedância acústica do tímpano para 3000Hz, providenciando assim máxima condição de sensibilidade auditiva^{5,7}.

O meato acústico externo exerce a função de guia de ondas, ligando o campo sonoro externo com a membrana timpânica. A membrana timpânica age como transdutor, transformando a pressão sonora em movimento mecânico, o qual interage, via cadeia ossicular, com a cóclea. O som transmitido faz vibrar a cadeia ossicular formada por três ossículos - martelo, bigorna e estribo - os quais mantêm conexões flexíveis entre si. Esse movimento mecânico por sua vez é transmitido aos líquidos existentes na cóclea.

A orelha média não é um transdutor perfeito: possibilita a passagem de somente parte da energia, oferecendo assim uma certa oposição ao som. A impedância acústica verificada na transmissão sonora do meato acústico externo à cóclea é determinada pela interação da massa, rigidez e atrito existentes na orelha média e pela impedância dos líquidos intralabirínticos. Apesar de o componente atrito atuar uniformemente na transferência dessa energia, dependendo da frequência transmitida observa-se maior ou menor influência da massa ou rigidez. No entanto, existe uma frequência de ressonância da orelha média em que o efeito de massa e de rigidez se anulam. Em adultos normais, o valor médio da frequência de ressonância da orelha média é 950Hz variando de 600 a 1350Hz⁸. Essa frequência pode ser pesquisada pela timpanometria de multifrequência, sendo que a curva timpanométrica realizada na frequência de ressonância geralmente apresenta

uma característica de duplo pico de admitância.

O sistema auditivo, porém, não teria uma função exclusivamente passiva voltada à captação dos estímulos, mas também teria uma função ativa regulando esse processo, tendo como subproduto a produção de sons. Essa hipótese foi comprovada por Kemp⁹, que constatou a presença de uma energia sonora produzida na orelha. Essa energia foi denominada de emissão otoacústica.

As emissões otoacústicas são sons registrados no meato acústico externo e derivados da atividade da orelha interna, mais especificamente da motilidade das células ciliadas externas¹⁰. Podem ser espontâneas ou geradas por estimulação acústica. As emissões otoacústicas evocadas mais utilizadas clinicamente são as emissões otoacústicas por estímulo transitório (EOAT) e emissões otoacústicas produto de distorção (EOAPD). As EOAT são desencadeadas por clique - transitório acústico de curta duração com faixa de frequência abrangente. As EOAPD ocorrem quando a estimulação é feita com a apresentação simultânea de dois tons puros de frequências diferentes (f1 e f2). A resposta coclear é caracterizada pela ocorrência de um terceiro tom cuja frequência (2f1-f2) é um produto de distorção das frequências do estímulo.

As emissões otoacústicas refletem preferencialmente o estado funcional da cóclea¹¹. Entretanto, sofrem variações pelas estruturas da orelha externa e da orelha média da mesma forma que a informação sonora proveniente do ambiente atinge o sistema auditivo. Apesar das emissões otoacústicas possibilitarem uma forma objetiva, rápida e não-invasiva de avaliação da função pré-neural da orelha interna, principalmente das células ciliadas externas, elas podem estar ausentes mesmo com a cóclea íntegra.

Estudos relatados na literatura¹²⁻²⁰ mostram que características da orelha externa e da orelha média interferem duplamente no registro das emissões. Apesar das interferências causadas por condições de vedação da oliva no meato acústico externo e do meato propriamente dito, maiores considerações têm sido feitas a respeito do papel da orelha média.

Segundo Elisson e Keefe²¹, dada à influência da orelha média nas emissões e a relação de emissões para a condição auditiva, variabilidade nas características do funcionamento normal da orelha média podem responder por algumas das variações na sensibilidade auditiva. Além disso, condições patológicas da orelha média geralmente diminuem a amplitude das emissões otoacústicas e algumas vezes obliteram a resposta²². Esse é o caso da atenuação resultante dos efeitos de massa ou rigidez em distúrbios no sistema ossicular da orelha média como otites ou otosclerose.

A existência simultânea da transmissão adiante e reversa do estímulo e a resposta em certos tipos de emissões resultam em interação potencial entre estímulo e resposta. As emissões otoacústicas são transmitidas da cóclea para

o meato, via orelha média. Portanto, as propriedades de transmissão da orelha média e do meato acústico externo influenciam diretamente as características das emissões. Da mesma forma, a efetividade do estímulo usado para a captação das emissões também sofre alteração.

De acordo com Margolis e Trine²³, apesar de a orelha média transmitir o som nas duas direções, as características da transmissão adiante e reversa são diferentes. A transmissão adiante através da orelha média determina a efetividade do estímulo que alcança a cóclea. A membrana timpânica e os ossículos produzem um ganho de pressão descrito como função de transformador, acoplando as impedâncias. Na direção reversa, há uma perda de pressão quando a energia é transmitida da cóclea, através da cadeia ossicular, para o meato. As vibrações mecânicas da cadeia ossicular adaptam-se à membrana em movimento, produzindo uma onda de pressão de fluxo aéreo no meato. A pressão sonora produzida no meato é inversamente proporcional ao volume do meato. Essa influência nas características da resposta pode ser observada no sentido oposto: o volume do meato entre a sonda e a membrana afeta a intensidade e o espectro do estímulo na transmissão adiante, uma vez que um pequeno volume resulta em maior pressão sonora do estímulo e em uma mais alta frequência de ressonância do meato.

A ressonância da orelha externa e a da orelha média têm papel importante na função de transmissão e são facilmente detectadas. Wada et al.¹³ concluíram que as emissões otoacústicas são melhor detectadas na frequência de ressonância da orelha média e em sujeitos cuja mobilidade de orelha média é moderada.

Frente à potencial influência das ressonâncias no registro das emissões otoacústicas, este estudo pretendeu avaliar as características acústicas da orelha externa (nas condições de meato aberto e ocluso pela sonda), da orelha média e das emissões otoacústicas.

A investigação constitui-se de extrema importância, na medida em que a análise das emissões otoacústicas tem sido utilizada para detecção precoce de lesões da orelha interna. A utilização das emissões otoacústicas pode ser mais apurada se o avaliador estiver ciente da participação das demais estruturas (orelha externa e média) na geração das respostas a serem coletadas.

A imitanciometria tradicional pretende contribuir com informações sobre a participação da orelha média neste processo. No entanto, apesar de já ser possível correlacionar a ausência ou redução do nível de resposta das emissões otoacústicas com a timpanometria, não há consenso se o tipo de desordem ou fluido da orelha média altera a ausência ou presença de emissões²⁴, assim como a presença ou ausência de emissões nem sempre é dependente do tipo de timpanograma. Timpanometria não é o padrão ouro no diagnóstico da orelha média²⁵. De forma não-invasiva, a avaliação das características di-

nâmicas (pela busca da frequência de ressonância) pode providenciar maior discernimento nas condições funcionais da orelha média²⁶.

Nessa direção, Keefe et al.²⁷ recomendam a utilização de uma maior faixa de informação (0,25 a 8kHz) na avaliação do estado da orelha média conjuntamente com a função de transferência de energia acústica pelo meato acústico externo para melhorar as predições de perdas auditivas feitas por emissões otoacústicas.

O presente estudo tem como objetivo investigar a influência da frequência de ressonância da orelha externa e da orelha média na resposta das emissões otoacústicas.

MATERIAL E MÉTODO

Aspectos Éticos

A pesquisa foi desenvolvida de acordo com os princípios da declaração de Helsinki. O estudo foi analisado e aprovado pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa da Instituição onde foi realizado, sob o protocolo de número 536/01.

Todos os sujeitos envolvidos consentiram na realização desta pesquisa e a divulgação de seus resultados conforme Resolução 196/96.

Sujeitos

Foram analisadas as respostas auditivas obtidas em 85 orelhas. Para isso, foram avaliados 20 sujeitos do sexo masculino (19 orelhas direitas e 20 orelhas esquerdas) e 23 sujeitos do sexo feminino (23 orelhas direitas e 23 orelhas esquerdas) na faixa etária de 17 a 30 anos, com a audição normal na orelha avaliada. Os sujeitos avaliados não deveriam apresentar história de doença otológica, exposição a ruído, drogas ototóxicas e doença metabólica e deveriam obrigatoriamente apresentar limiares auditivos na orelha testada iguais ou melhores do que 25 dBNA, compliância estática maior do que 0,2ml, e presença de reflexo acústico ipsilateral nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

Procedimento

Os sujeitos foram submetidos à inspeção do meato acústico externo para identificação de presença de impedimentos à realização da bateria de avaliação, como alterações da orelha externa e da membrana timpânica, audiometria tonal de 250 a 8.000Hz, limiar de recepção de fala (LRF) e índice percentual de reconhecimento de fala (IPRF), timpanometria na modalidade de admitância (Ymt) com frequências de sonda de 226Hz, e pesquisa de reflexos acústicos ipsilaterais com estímulos de 500Hz, 1.000Hz, 2.000Hz. O audiômetro clínico GSI-61 - Grason Stadler, com dois canais independentes, micro-processado, calibrado de acordo com os padrões da ANSI 1996 e fones TDH 50 e o analisador de orelha média GSI 33 - Grason

Stadler version 2 - micro-processado foram usados.

A amostra foi coletada com medidas de microfona-sonda adaptadas na orelha externa, timpanometria de multifrequência e teste de emissões otoacústicas.

A medida do nível de pressão sonora pelas frequências para um sinal de entrada na orelha aberta foi realizada com microfona-sonda. Foi utilizado o equipamento "Hearing Aid Analyzer MS 40" (Interacoustics). No modo in situ, o MS40 pode medir a resposta da orelha aberta. O tubo sonda foi introduzido no meato a uma profundidade de inserção de 27mm a partir do tragus, o que garantiu o posicionamento do microfona-sonda a uma distância aproximada de 8mm da membrana timpânica. O paciente foi colocado a 0,4m do alto-falante e a 0º azimute. Foi selecionada uma varredura de tom modulado (warble) com um nível de entrada de 70 dBNPS e conduzidas as medidas na faixa de 125Hz a 8000Hz.

Após a realização dessa medida, pode ser verificado o ponto de maior amplitude da curva, sendo a frequência correspondente a frequência de ressonância da orelha externa. Essa frequência possibilitou o cálculo do comprimento do meato acústico externo (L') utilizando a equação (1). Após isso, foi possível calcular a frequência de ressonância do meato ocluso pela mesma equação. Para esse último cálculo, um novo comprimento do canal foi considerado (L''). O novo comprimento é $L'' = L' - 8$, causado pela inserção da oliva do equipamento. A inserção da oliva a partir do tragus foi de 8mm.

Nos dois casos, o meato acústico foi considerado como um tubo fechado (aberto em uma das pontas), cuja frequência de ressonância seria dada por:

$$v = f \cdot L \quad (1)$$

Sendo f = frequência, v = velocidade do som, L = comprimento de onda e l = comprimento do tubo (neste caso L' ou L'').

O passo seguinte referiu-se à avaliação da frequência de ressonância da orelha média e para isso cada orelha foi submetida à timpanometria em multifrequência, pelo programa padrão do equipamento, com o analisador de orelha média GSI 33 - Grason Stadler version 2- micro-processado e com três frequências de tom na sonda da imitação: 226Hz, 678Hz e 1.000Hz. O equipamento é capaz de realizar medidas de timpanometria automaticamente, na velocidade de 50daPa/s, e a impressora acoplada ao sistema de gravação registra o resultado.

A frequência da sonda varia automaticamente de 250 a 2000Hz, em intervalos de 50Hz na pressão inicial. As medidas dos componentes da imitação e das fases são estocadas na memória do equipamento. O primeiro timpanograma gravado é registrado na modalidade de Admitância Acústica (Y_a), na frequência da sonda de 226Hz, sendo denominado Teste 1. Os dados do pico são identificados. Uma segunda varredura é apresentada na pressão em que ocorreu o Pico Timpanométrico

(Y_a) em 226Hz. Novamente são estocadas as medidas dos componentes e das fases. As diferenças nos valores dos componentes (ΔY , ΔB , ΔG) e os valores de fase (Dq) entre a primeira varredura de frequências e a segunda são calculadas e registradas na tela em função da variação de frequência (de 250 a 2000Hz). Este teste é denominado Teste 2. A frequência de ressonância da orelha testada é automaticamente identificada pelo cursor da tela. No Teste 3, um novo timpanograma é traçado na frequência de ressonância, para a verificação do tipo de curva. Ao término desta avaliação foram registradas as medidas de admitância (Y_{mt}) e a frequência de ressonância de orelha média.

Os sujeitos foram também submetidos à estimulação acústica por um analisador de emissões cocleares, ILO 92-versão 5.6 (Otodynamics) para identificação de ocorrência de emissões otoacústicas evocadas por transitório (EOAT) e produto de distorção (EOAPD). Para o estudo das EOAT foram utilizados cliques na faixa de 480 a 5000Hz, com intensidade de estímulo entre 78 e 83dBpeNPS; foram observados os seguintes parâmetros: reprodutibilidade maior que 50%, estabilidade da sonda maior que 75%. Foram consideradas as respostas obtidas em 4 bandas centradas nas frequências de 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz e 4000Hz.

Para as EOAPD foram apresentadas frequências pareadas (f_1 e f_2) em uma relação tal que $f_2/f_1 = 1,2$, tendo sido mantidas as intensidades de 65dBNPS para f_1 e 55dBNPS para f_2 . Foram consideradas as respostas nas frequências de f_2 de 1001Hz, 1257Hz, 1587Hz, 2002Hz, 2515Hz, 3174Hz, 4004Hz, 5042Hz e 6348Hz.

Nesses dois exames de emissões, a frequência com o nível de resposta máximo foi registrada. Essa frequência foi denominada "melhor frequência".

Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente. A análise compreendeu a comparação das variáveis estudadas:

§ frequência de ressonância da orelha externa oclusa denominada "Ressonância Orelha Externa Oclusa";

§ frequência de ressonância da orelha média denominada "Ressonância Orelha Média";

§ frequência com maior nível de resposta das EOAT denominada de "Melhor Frequência EOAT";

§ frequência (f_2) com maior nível de resposta das EOAPD denominada de "Melhor Frequência EOAPD f_2 ".

Foi realizada a regressão linear para verificar a correlação entre as variáveis, e feita a Análise de Variância (ANOVA). O nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Os valores mínimos, médios, máximos e as medianas das medidas da frequência de ressonância da orelha

média, frequência de ressonância da orelha externa oclusa, e a frequência onde os valores da EOAT e EOAPD foram maiores ou detectados mais distintamente (melhor frequência) das 85 orelhas podem ser observadas na Tabela 1.

Primeiramente, é possível observar que o valor médio da melhor frequência das EOAT e respectiva mediana foram 1811Hz e 1000Hz e das EOAPD foi 4862Hz e 5042Hz, da frequência ressonância da orelha externa oclusa foi 3641,17Hz e 3552,17Hz e da frequência ressonância da orelha média foi 972,35Hz e 950Hz.

Pode-se ver relação entre as EOAT/EOAPD e as frequências de ressonância: há uma concentração de níveis mais altos de EOAT e ressonância da orelha média em frequências médias e de níveis mais altos de EOAPD e ressonância da orelha externa em frequências altas.

Contudo, uma análise de regressão tentando se ajustar quatro diferentes modelos lineares foi realizada para verificar se a existência de determinada frequência de ressonância da orelha externa e da orelha média poderia influenciar maiores níveis de resposta encontrados em certas frequências do registro das emissões otoacústicas. Foi feita a análise da variância (ANOVA) para verificação da significância da relação entre as variáveis. Na Tabela 2, pode-se observar os valores de R quadrado e os p-valores; e nos Gráficos de 1 a 4, a relação entre as variáveis.

Nenhum dos modelos apresentou níveis de ajustes satisfatórios que permitissem confirmar a hipótese que as emissões poderiam ser influenciadas diretamente pelas características de ressonância da orelha média ou da orelha externa. Em todos os modelos foi observado que o valor de R-quadrado não alcançou 5% e os p-valores foram todos maiores do que 30%, não demonstrando um bom ajuste.

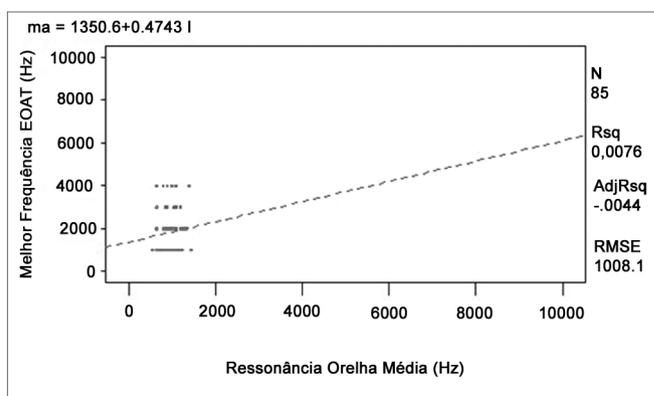


Gráfico 1. Relação entre a melhor frequência da EOAT e a frequência de ressonância da orelha média.

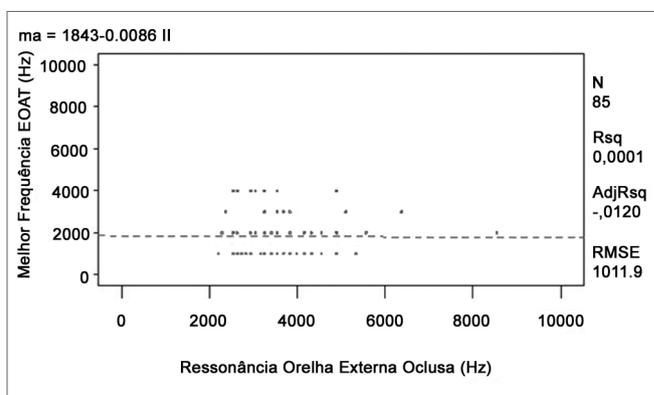


Gráfico 2. Relação entre a melhor frequência da EOAT e a frequência de ressonância da orelha externa oclusa.

Tabela 1. Valores mínimos (MIN), máximos (MAX), médios (MÉDIA), medianas (MD) e desvios-padrão das variáveis

	MÍN (Hz)	MÉDIA (Hz)	MD (Hz)	DP (Hz)	MÁX (Hz)
Ressonância da Orelha Média	550,00	972,35	972,35	184,35	1450
Ressonância da Orelha Externa Oclusa	2212,58	3641,17	3641,17	978,20	8549,47
Melhor Frequência de EOAT	1000,00	1811,76	1811,76	1005,86	4000,00
Melhor frequência de EOAPD f2	1001,00	4682,36	4682,36	1627,97	6348,00

Tabela 2. Valor de resíduo médio quadrático, valor f e intervalo de confiança da função de cada par de variáveis

Variáveis		R-quadrado	p-modelo	p-intercepto	p-variavel
EOAT (Hz)	Ressonância da Orelha Média (Hz)	0,0076	0,4283	0,0245	0,4283
EOAT (Hz)	Ressonância Orelha Externa Oclusa (Hz)	0,0001	0,9397	<0,0001	0,9397
EOAPD (Hz)	Ressonância da Orelha Média (Hz)	0,0113	0,3337	0,0002	0,3337
EOAPD (Hz)	Ressonância Orelha Externa Oclusa (Hz)	0,0012	0,7513	<0,0001	0,7513

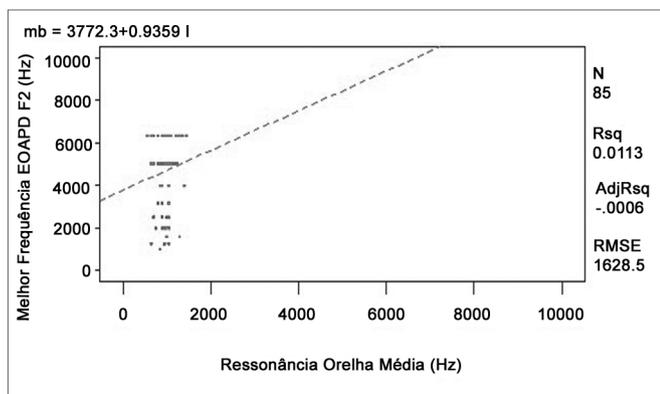


Gráfico 3. Relação entre a melhor frequência da EOAPDf2 e a frequência de ressonância da orelha média.

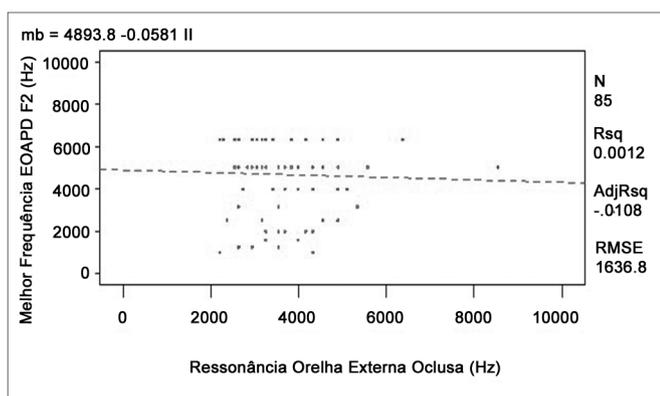


Gráfico 4. Relação entre a melhor frequência da EOAPDf2 e a frequência de ressonância da orelha externa oclusa.

DISCUSSÃO

No estudo atual pode-se observar que a maior concentração das melhores frequências de EOAT foi em 1000Hz. Essa concentração coincide com a maior concentração da frequência de ressonância da orelha média deste estudo, ou seja, de 900 a 1050Hz. Kemp et al.¹² sugeriram que o espectro das frequências das emissões por transitório reflete a função de transferência da orelha média com a melhor eficiência de transmissão na faixa de 1000 a 1500Hz e uma perda de transmissão de aproximadamente 12dB por oitava para frequências baixas e altas.

Segundo Kemp²⁸, as respostas da EOAT são mais fortes e facilmente detectáveis na faixa de frequência de 1 a 4kHz, sendo que uma orelha adulta normal dá fracas EOAT (menores do que 3 dB NPS), com nenhuma resposta substancial acima de 4 kHz. Também foi observada por Mor e Azevedo²⁹ uma resposta de EOAT de ocorrência uniforme entre as frequências de 1000 a 4000Hz, com um decréscimo em 5000Hz.

Ainda em relação aos dados obtidos neste estudo, pode-se observar que a maior concentração das melhores frequências de EOAPD foi em 5042Hz. Segundo Keefe¹⁹,

a pressão média mínima audível (MAP) na membrana timpânica aumenta levemente em frequências acima de 5kHz enquanto que os limites do produto de distorção aumentam abruptamente de 4 a 8kHz. Acredita-se que os níveis de resposta de ambos são influenciados por um fator comum. A ressonância da cavidade da orelha média estaria provavelmente envolvida, sendo um componente necessário na produção da função de transmissão adiante e reversa. No entanto, com o equipamento utilizado neste estudo, a frequência de ressonância da orelha média só pode ser medida na faixa de 250 a 2000Hz, limitando a investigação da correlação em frequências mais altas.

Apesar de vários autores terem registrado a interferência das características da orelha média nas emissões otoacústicas, confirmando que apesar das emissões otoacústicas serem geradas dentro da cóclea, elas podem estar reduzidas quando o sistema de condução do som está comprometido, a maior parte dos experimentos observaram apenas a interferência causada por variações de pressão na membrana timpânica^{15,30} ou por distúrbios relacionadas a estruturas da orelha média^{16,18}. Medidas imitanciométricas tradicionais realizadas na presença de distúrbios (como otites, otosclerose, desarticulação dos ossículos) se mostram correlacionadas positivamente com as alterações das emissões. No entanto, muitas vezes as distúrbios de orelha média têm impacto desproporcional na expressão de emissões otoacústicas. A presença ou ausência de emissões nem sempre é dependente do tipo de timpanograma. Evidências de função anormal da orelha média obtidas usando uma timpanometria convencional parecem ser um pobre preditor do estado das emissões. A investigação das características dinâmicas da orelha média (frequência de ressonância) pode providenciar discernimento das condições patológicas em pacientes com distúrbio de orelha média e, portanto, influenciar o estado das emissões²⁶. Isso pode ser proporcionado com equipamentos como o desenvolvido por Wada et al.^{13,14} que desenvolveram um novo sistema para medir as características dinâmicas da orelha média sobre condições fisiológicas por meio de um impedanciômetro com varredura de frequências.

Além disso, de acordo com Wada et al.^{13,14}, a escassez de pesquisa sobre a variabilidade das condições de normalidade se deve principalmente à falta de equipamentos que possam dar mais informações sobre as condições da orelha média do que as obtidas com um analisador de orelha média convencional. Com um equipamento mais sofisticado é possível avaliar a influência da frequência de ressonância da orelha média no registro das emissões otoacústicas. Seus trabalhos^{13,14}, realizados com equipamentos desse tipo, mostraram que a energia sonora que vem para o meato acústico externo é transmitida mais eficientemente para a cóclea na frequência de ressonância da orelha média.

Wada et al.¹³ observaram que as emissões otoacústicas evocadas por tone burst são melhor detectadas (maior nível de resposta e melhor frequência de emissões otoacústicas) na frequência de ressonância da orelha média (0,8 a 1,5kHz). Nessa frequência, a membrana vibra com o maior deslocamento de amplitude, e a energia sonora que vem do meato acústico externo é transmitida eficientemente para dentro da cóclea. Os autores afirmam que a relação verificada pode ter sido influenciada pelas frequências pesquisadas, já que, nesse caso, as medidas das emissões foram feitas somente até 2kHz.

Wada et al.¹⁴ procuraram avaliar a interferência da frequência de ressonância da orelha média na captação das emissões otoacústicas evocadas por clique e emissões otoacústicas produto de distorção. Comprovaram que há relação entre a melhor frequência das emissões otoacústicas evocadas por clique ou produto de distorção com a frequência de ressonância da orelha média. Nas emissões evocadas por clique, essa correlação foi mais forte quando o estímulo utilizado foi linear, sendo que o estímulo não-linear pode eliminar o efeito da orelha média na resposta da estimulação por clique. Em relação às emissões otoacústicas produtos de distorção, observaram que o nível de resposta dessas emissões foi maior quando a frequência f2 esteve em torno de 1,2kHz, valor que coincide aproximadamente com a frequência de ressonância da orelha média. O mesmo ocorreu quando a frequência média geométrica (f1f2)/2 foi igual à frequência de ressonância da orelha média.

Contudo, algumas diferenças são observadas entre o trabalho atual e os descritos por esses autores. Em relação à análise da ressonância da orelha média, esta foi realizada com um equipamento diferente do utilizado neste estudo e apesar de os dois equipamentos terem utilizado como estímulo uma varredura de frequência entre 0,1 e 2kHz, a unidade do equipamento utilizada por esses pesquisadores foi expressa em dBNPS e não nas unidades de compliância ou impedância. Da mesma forma, em relação às emissões, esses autores registraram mais frequências e com intervalos menores entre uma frequência e outra. Além disso, no primeiro trabalho, as emissões evocadas por tone burst foram registradas apenas entre 0,5 a 2kHz. No segundo trabalho, as EOAT foram pesquisadas com estímulo linear e não-linear, diferente da presente pesquisa que usou apenas o estímulo não-linear. Outra diferença deve-se a ter sido utilizado um sistema diferente do ILO para pesquisa das emissões otoacústicas produto de distorção.

Em relação à frequência de ressonância da orelha externa oclusa, cuja concentração foi na faixa de 3000 a 4000Hz, não pode ser observada nenhuma coincidência com as melhores frequências das emissões. Nenhuma referência há na literatura sobre a concentração da frequência de maior nível de resposta das emissões e a frequência de ressonância da orelha externa, apesar da consideração

apontada que volumes menores de meato apresentariam frequências de ressonâncias mais altas e resultariam em estímulos mais intensos²³.

Coube³¹ relatou que valores negativos das EOAPD (-3,6 dBNPS) para 3kHz poderiam ser considerado de audição normal, enquanto apenas valores positivos foram observados em 1, 2, 4 e 6kHz. Ela acredita que outras pesquisas são necessárias para interpretar esses achados. As autoras do presente artigo acreditam que a influência da ressonância da orelha externa possa estar envolvida nesse achado.

Relações estatisticamente significantes entre as melhores frequências das emissões otoacústicas e a frequência de ressonância da orelha externa oclusa e da orelha média não foram observadas. Contudo, há uma concentração de mais altos níveis de EOAT em frequências médias e de EOAPD em altas frequências, assim como das ressonâncias da orelha média em frequências médias e das ressonâncias da orelha externa oclusa em altas frequências. No caso da melhor frequência da EOAT há uma concentração similar à ressonância da orelha média: 1000Hz.

Algumas condições do estudo podem ter limitado a verificação da relação entre as variáveis. A principal dificuldade deve-se à resolução das medidas. Ao se analisar as respostas das emissões por faixas, não se dá possibilidade para valores intermediários, apesar de as variáveis estudadas serem de natureza contínua. Além disso, a presença de artefatos causada pelas ondas estacionárias provoca imprecisão na especificação da pressão não-linear.

Os dados sugerem que os níveis de resposta das emissões otoacústicas não são influenciados primordialmente pela ressonância primária. É importante salientar que são vários os modos de ressonância, além da anti-ressonância que pode coincidir com as depressões em relação ao nível de resposta das emissões otoacústicas. Além disso, as ressonâncias são apenas um elemento da complexidade de fatores envolvidos na transmissão simultânea nos dois sentidos (adiante e reverso) do estímulo e da resposta. Diferenças na orelha externa e na orelha média modificam a função de transferência da orelha média e influenciam as medidas fisiológicas como a das emissões otoacústicas.

Segundo Keefe e Levi³², o nível de admitância é influenciado pela área e comprimento do meato, pelas ressonâncias da parede do meato, pela interfunção dos efeitos de compliância e inércia controlados na orelha média e pela presença de perdas. A resposta de pressão varia com as características acústicas dentro do sistema no qual a sonda é inserida. As características da orelha influenciam a transferência de força do campo livre para a orelha média.

A admitância da fonte para as emissões é a admitância de entrada da orelha média. A resposta de pressão medida pela sonda é relatada pela função de transmissão

do meato acústico e da membrana timpânica para a sonda e esta função de transformação depende da área da secção transversal e comprimento do meato e da impedância da fonte da sonda. Segundo Pruria³³, as medidas de ganho de pressão no sentido adiante e reverso da orelha média indicam que o mecanismo gerador das emissões - por clique e produto de distorção - é dependente da frequência.

Ao mesmo tempo, ainda é muito recente o conhecimento sobre as emissões otoacústicas. Após serem geradas na cóclea, as emissões otoacústicas sofrem interferências no caminho até a sonda e podem indicar pequenas alterações de impedância no sistema de condução. Refletem, pois, a condição do sistema auditivo cuja finalidade é captar, conduzir e amplificar as vibrações sonoras, com a constante manutenção das melhores condições transdutoras garantindo um alto índice de rendimento para transferir as informações contidas na energia sonora até as células sensoriais especializadas, nas quais as vibrações são convertidas em impulsos elétricos e transmitidas até o córtex auditivo.

Um sistema tão rico e eficaz deve necessariamente conter ainda inúmeras funções parcialmente desconhecidas. Provavelmente esta pesquisa venha a contribuir com outras que tratam experimentalmente desses outros elementos e possam conjuntamente dar importantes informações sobre a integração do sistema auditivo.

CONCLUSÕES

Foi verificada uma concentração dos maiores níveis de resposta das EOAT em frequências médias e das EOAPD nas altas frequências, assim como uma concentração das frequências de ressonância da orelha média em frequências médias e das frequências de ressonância da orelha externa oclusa em frequências altas. No caso da EOAT observou-se uma coincidência de concentração entre a melhor frequência de resposta e a frequência da ressonância da orelha média próximas a 1000Hz.

Apesar dos resultados, essa pesquisa não pode revelar uma forte influência de determinadas frequências de ressonância da orelha externa oclusa e da orelha média sobre o nível de resposta em frequências específicas das EOAT e das EOAPD.

AGRADECIMENTOS FINAIS

Agradecimentos ao professor associado do Instituto de Física da USP, Dr. Walter Maigon Pontuschka, pela valiosa orientação na área de Acústica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Menegotto IH, Couto CM. Tópicos de acústica e psicoacústica relevantes em audiologia. Em: Frota S, editor. Fundamentos em Fonoaudiologia: audiologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003. p. 19-39.

2. Menezes PL, Motta MA. Bases Físicas da Audição. Em: Menezes PL, Neto SC, Motta MA, editores. Biofísica da Audição. São Paulo: Lovise; 2005. p. 125-31.

3. Menezes PL, Cabral A, Morais LS, Rocha LP, Passos V. Ressonância: um estudo da orelha externa. Pró-Fono R Atual Cient 2004;16(3):333-40.

4. Stinson MR. The spatial distribution of sound pressure within scaled replicas of the human ear canal. J Acoust Soc Am 1985;78(5):1596-602.

5. Couto CM. Distribuição da pressão sonora no meato acústico externo [dissertação]. São Paulo (SP): Universidade Estadual de São Paulo; 2000.

6. Stinson MR, Daigle GA. Comparison of an analytic horn equation approach and a boundary element method for the calculation of sound fields in the human ear canal. J Acoust Soc Am 2005;118(4):2405-11.

7. Step CE, Voss SE. Acoustics of the human middle-ear air space J Acoust Soc Am 2005;118:861-71.

8. Carvallo RMM. Ressonância da orelha média através da timpanometria em multifrequência. Rev Bras Med Otorrinolaringol 1997;4:123-7.

9. Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoust. Soc Am 1978;64:1386-91.

10. Durante AS, Carvallo RM. Mudanças das emissões otoacústicas por transientes na supressão contralateral em lactentes. Pró-Fono 2006;18(1):49-56.

11. Durante AS, Carvallo RMM, Costa FS, Soares JC. Características das emissões otoacústicas por transientes em programa de triagem auditiva neonatal. Pró-Fono 2005;17(2):133-40.

12. Kemp DT, Bray P, Alexander L, Brown AM. Acoustic emission cochleography-practical aspects. Scand Audiol Suppl 1986;25:71-95.

13. Wada H, Ohyama K, Kobayashi T, Sunaga N, Koike T. Relationship between evoked otoacoustic emissions and middle ear dynamic characteristics. Audiology 1993;32:282-92.

14. Wada H, Ohyama K, Kobayashi T, Koike T, Noguchi S. Effect of middle ear on otoacoustic emissions. Audiology 1995;34:161-76.

15. Konradsson KS, Severson O, Carlborg B, Grenner J. Tympanic pressure gradients and otoacoustic emissions. Ear Hear 1999;20:403-9.

16. Zhao F, Wada H, Koike T, Stephens D. The influence of middle ear disorders on otoacoustic emissions. Clin Otolaryngol 2000;25:3-8.

17. Carvallo RMM, Ravagnani MP, Sanches SGG. Influência dos padrões timpanométricos nas emissões otoacústicas. Acta AWHO 2000;19:18-25.

18. Tlumak AI, Kileny PR. Parameters that affect the measurement of otoacoustic emissions. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2001;9:279-83.

19. Keefe DH. Spectral shapes of forward and reverse transfer functions between ear canal and cochlea estimated using DPOAE input/output functions. J Acoust Soc Am 2002;111:249-60.

20. Coube CZV, Costa Filho OA. Princípios básicos das emissões otoacústicas Em: Frota S, editor. Fundamentos em fonoaudiologia: audiologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003. p. 95-108.

21. Elisson JC, Keefe DH. Audiometric Predictions Using Stimulus-Frequency Otoacoustic Emissions and Middle Ear Measurements. Ear Hear 2005;26(5):487-503.

22. Yeo S W, Park, S-N, Park, YS, Suh, B D. Effect of middle-ear effusion on otoacoustic emissions. J Laryngol Otol 2002;116:794-99.

23. Margolis, RH, Trine, MB. Influence of Middle - Ear Disease on Otoacoustic Emissions. Em: Robinette M S, Glatte T J, editores. Otoacoustic emissions: clinical applications. New York: Thime; 1997. p. 130-49.

24. Tas A, Yagiz R, Uzun C, Adali MK, Kotten MT, Tas M et al. Effect of middle-ear effusion on distortion product otoacoustic emissions. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2004;68:437-40.

25. Akdagan O, Ozkan, S. Otoacoustic emissions in children with otitis media with effusion. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2006;70:1941-4.

26. Zhao F, Wada H, Koike T, Ohyama K, Kawase T, Stephens D. Transient evoked otoacoustic emissions in patients with middle ear disorders. Int J Audiol 2003;42:117-31.

-
27. Keefe DH, Gorga MP, Neely ST, Zhao F, Vohr BR. Ear-canal acoustic admittance and reflectance measurements in human neonates. II. Predictions of middle ear in dysfunction and sensorineural hearing loss. *J Acoust Soc Am* 2003;113:407-22.
 28. Kemp DT. Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function, and use. *British Medical Bulletin* 2002;63:223-41.
 29. Mor R, Azevedo, MF. Emissões otoacústicas e sistema olivo coclear medial: pacientes com zumbido sem perda auditiva. *Pró-Fono R Atual Cient* 2005;17(3):283-92.
 30. Avan P, Büki B, Maat B, Dordain M, Wit HP. Middle ear influence on otoacoustic emissions. I: Noninvasive investigation of the human transmission apparatus and comparison with model results. *Hear Res* 2000;140:189-201.
 31. Coube, CZV. Emissões otoacústicas evocadas - produto de distorção: estudo em indivíduos com perda coclear [tese]. Bauru (SP): Universidade Estadual de São Paulo; 2000.
 32. Keefe DH, Levi E. Maturation of the middle and external ears: acoustic power-based responses and reflectance tympanometry. *Ear Hear* 1996;17:361-73.
 33. Pruria S. Measurements of human middle ear forward and reverse acoustics: Implications for otoacoustic emissions *J Acoust Soc Am* 2003;113 (5):2773-89.