

# Middle ear resonance in infants: Age effects

## Ressonância da orelha média em lactentes: Efeito da idade

*Karina Delgado André<sup>1</sup>, Seisse Gabriela Gandolfi Sanches<sup>2</sup>, Renata Mota Mamede Carvalho<sup>3</sup>.*

1) Especialização em Fonoaudiologia pelo Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional FMUSP. Fonoaudióloga.

2) Doutora em Ciências da Reabilitação pela FMUSP PhD. Fonoaudióloga do Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da FMUSP.

3) Livre-Docente PhD. Professora Associada de departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da FMUSP.

Instituição: Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP).  
São Paulo / SP – Brasil.

Endereço para correspondência: Renata Mota Mamede Carvalho - Rua Cipotânea, 51 - Cidade Universitária - São Paulo / SP – Brasil - CEP: 05360-160. E-mail: renamaca@usp.br  
Artigo recebido em 19 de dezembro de 2011. Artigo aprovado em 5 de fevereiro de 2012.

### RESUMO

**Introdução:** A frequência de ressonância é a frequência de sonda na qual a susceptância é zero devido à neutralização das forças dos componentes massa e rigidez, que controlam a orelha média. Esta frequência pode ser investigada pela timpanometria de multifrequência, sendo que o valor de normalidade para população adulta varia entre 800 e 1200 Hz. Em crianças, estudos sobre esta investigação são escassos.

**Objetivo:** Verificar a variação da frequência de ressonância em lactentes entre os primeiros dias de nascimento e o terceiro mês de vida.

**Método:** Estudo prospectivo. Trinta neonatos foram avaliados em dois momentos diferentes, o primeiro na fase neonatal até 12 dias de vida e o segundo entre 72 e 84 dias de vida. Na 1ª avaliação foi realizado o exame de Emissões Otoacústicas e a verificação da frequência de ressonância e na 2ª novamente a verificação desta frequência.

**Resultados:** Na 1ª avaliação foi encontrado um valor de ressonância média bilateral de 250 Hz e na segunda avaliação de 385 Hz. Em ambas as avaliações não foram verificadas diferenças estatisticamente significantes entre as orelhas. Houve diferença significativa na comparação entre a primeira e a segunda avaliação.

**Conclusão:** A frequência de ressonância da orelha média é mais baixa em lactentes nos primeiros dias de vida devido à maior influência do componente massa. Neste estudo foi observado um aumento da frequência de ressonância, já nos primeiros meses de vida.

**Palavras-chave:** testes de impedância acústica, testes auditivos, recém-nascido.

### INTRODUÇÃO

A transmissão do som do canal auditivo para a cóclea é controlada pela massa dos ossículos, pela rigidez da membrana timpânica, ligamentos da orelha média, tendões, fechamento do ar e pelo atrito, gerando uma taxa de impedância na entrada do som que atinge a cóclea. Apesar de o componente atrito atuar uniformemente na transferência dessa energia, dependendo da frequência transmitida, observa-se maior ou menor influência da massa ou da rigidez. No entanto, existe uma frequência de ressonância da orelha média em que os efeitos de massa e de rigidez se anulam. Essa frequência pode ser determinada por meio da timpanometria em multifrequências, que é uma medida disponível em analisadores de orelha média. A curva timpanométrica encontrada na frequência de ressonância geralmente apresenta uma característica de duplo pico de admitância (1,2).

Dados experimentais têm mostrado que alterações da orelha média modificam as curvas timpanométricas obtidas com sondas em frequências mais altas, deslocando a frequência de ressonância do sistema de transmissão

da orelha média. Aumento na rigidez, por exemplo, devido à otosclerose pode deslocar a ressonância da orelha média para frequências mais altas do que o esperado para população normal, atingindo valores próximos a 1400 Hz (3,4,5). Por outro lado, um aumento do efeito de massa devido à descontinuidade de cadeia ossicular ou otite média com efusão pode mudar a ressonância da orelha média para frequências mais baixas (6,7,8,9,10,11). KONTROGIANNI et al. (12) encontraram valor médio da frequência de ressonância em crianças com otite média com efusão de 499 Hz.

A investigação com timpanometria em multifrequência é um método mais adequado para detecção das pequenas mudanças nas características de transmissão do sistema tímpano-ossicular do que a análise tradicional com uma única frequência.

A frequência de ressonância é a frequência de sonda onde a susceptância é zero devido à neutralização das forças dos componentes de massa e de rigidez. O valor normal para a frequência de ressonância foi estudado por vários autores, variando de 600 a 1340 Hz (8,13), com média em torno de 1000 Hz em adultos normais (14,15).

A maior parte dos estudos na área de frequência de ressonância de orelha média envolve indivíduos adultos. COLLETI (6) mostrou que a frequência de ressonância varia de 600 a 1340 Hz. SHANKS (13) relatou que os valores variam de 800 a 1200 Hz, FUNASAKA et al. (9) estabeleceram dados normativos de frequência de ressonância de 720 a 1880 Hz. VALVIK (14) encontrou valor médio da frequência de ressonância de 1049 Hz com desvio padrão de 261 Hz, enquanto CARVALLO (15) verificou valores entre 600 e 1350 Hz, com média em 959,57 Hz.

Os estudos em crianças ainda são escassos. Um estudo (16) estabeleceu a variação desse valor de 650 a 1400 Hz, com média em torno de 1000 Hz em crianças com idade entre 6 e 15 anos, mostrando ainda que não há uma relação entre frequência de ressonância e perda auditiva neurossensorial.

Os sistemas auditivos da orelha externa e média variam significativamente em suas propriedades de resposta acústicas nos primeiros dois anos após o nascimento (17). Ocorrem mudanças como aumento do tamanho do conduto auditivo, mudança da orientação da membrana timpânica, decréscimo da massa da orelha média, entre outros. HOLTE et al. (18) relataram que a parede do meato acústico externo e a mobilidade da orelha média, bem como as características timpanométricas, modificam-se durante os primeiros 4 meses de vida e, devido ao fato da orelha média de crianças ser dominado pelo componente massa, a frequência de ressonância tende a ser mais baixa quando comparada com adultos normais, nos quais o sistema passa a ser controlado pela rigidez.

A frequência de ressonância é uma medida que está sendo largamente relacionada com as Emissões Otoacústicas, uma vez que qualquer mudança na eficiência da transmissão da orelha média será levada em consideração nas emissões cocleares de baixa frequência (19). Acredita-se que as emissões otoacústicas evocadas são melhor detectadas (maior amplitude de resposta) na frequência de ressonância da orelha média (0,8 a 1,5 KHz), uma vez que a membrana timpânica vibra com maior deslocamento de amplitude transmitindo a energia sonora que vem do meato acústico externo para a cóclea (11,20,21).

Assim, apesar do conhecimento sobre o domínio da massa em crianças e dos fatores que podem causar alterações nos resultados dos exames, poucos estudos foram realizados com o objetivo de determinar a frequência de ressonância nesta população. Além disto, o estudo da frequência de ressonância em lactentes poderia esclarecer a ocorrência de duplo pico frequentemente observado na timpanometria realizado com tom de sonda 226 Hz nesta população. Estudos tem evidenciado presença de timpanogramas com duplo pico em cerca de 60% na fase

neonatal (22,23). Este estudo tem por objetivo verificar a variação da frequência de ressonância em lactentes entre os primeiros dias de nascimento e o terceiro mês de vida.

## MÉTODO

Realizou-se um estudo prospectivo, com dados sub-individuais (orelhas).

Foram participantes do estudo 28 neonatos. Esses bebês foram avaliados em dois momentos diferentes: o primeiro ao nascimento até duas semanas de vida e o segundo entre 2 e 3 meses de vida. A primeira avaliação foi realizada nos 28 neonatos, entre 2 a 12 dias de vida, sendo 16 do gênero feminino e 12 do masculino. Para a segunda avaliação, destes retornaram 21 bebês, com idade entre 72 e 84 dias de vida, sendo 12 do gênero feminino e 9 do masculino. Os bebês participaram do estudo, após concordância da mãe e de assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética institucional (protocolo nº174/01). Para participação no estudo foram seguidos os seguintes critérios de inclusão:

- Ausência de indicadores de risco para perda auditiva, de acordo com o Joint Committe on Infant Hearing (24). Esses indicadores foram verificados por meio da análise do prontuário e questionamento aos pais quanto à história familiar de perda auditiva e consanguinidade.
- Emissões otoacústicas por transientes (EOAT) presentes.

Após determinada a inclusão no estudo, os bebês passaram para a avaliação da Frequência de Ressonância.

## Equipamentos

- “ILO 292 / Echoport Plus Otodynamics Analyser” – permite a captação das EOAT utilizando o modo “Quickscreen”, indicado para a triagem auditiva neonatal. Esta modalidade de captação das emissões otoacústicas consiste no estímulo clique não-linear padrão, formado por quatro pulsos, sendo três de igual amplitude e polaridade e o quarto com polaridade invertida e três vezes maior em amplitude. O tempo de análise da resposta foi de 12 ms. Os estímulos foram do tipo clique, com 80 µs de duração e intensidade entre 78 a 83 dB.
- Imitanciômetro Grason Stadler TympStar Middle Ear Analyser versão 2 – utilizando o método descrito por FUNASAKA e KUMAKAWA (24).

## Procedimento

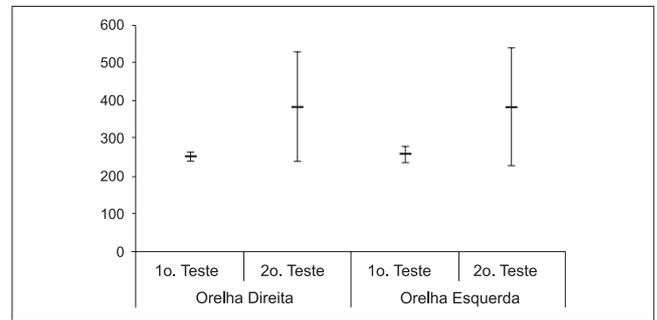
Os procedimentos foram realizados no alojamento conjunto da maternidade. Os neonatos foram levados para

uma sala silenciosa, no berço e mantidos preferencialmente em estado de sono. A triagem auditiva, a partir da captação das EOAT, foi realizada no modo “Quickscreen” com intensidade do estímulo entre 78 e 83 dB peak. A sonda, envolvida em uma oliva de borracha, foi adaptada ao meato acústico externo para a captação das emissões otoacústicas. Assim que eram alcançadas condições satisfatórias com estabilização do estímulo, o exame era iniciado. Foram consideradas EOAT presentes quando a reprodutibilidade geral foi maior ou igual a 50%; a reprodutibilidade por frequência maior ou igual a 70% e amplitude por frequência maior ou igual a 6 dB nas bandas de frequências de 2, 3 e 4 kHz.

Após a confirmação da presença das emissões otoacústicas foi realizado o teste de frequência de ressonância de acordo com o método de FUNASAKA e KUMAKAWA (25). Neste teste cada orelha foi submetida a seguinte sequência de passos: Teste 1: é feita a apresentação de uma varredura de estímulos que variam automaticamente entre 250 e 2000 Hz, em intervalos de 50 Hz, enquanto é simultaneamente introduzida uma pressão de +200 daPa no meato acústico externo. As medidas dos componentes da admitância e de fase são estocados na memória do equipamento. O primeiro timpanograma gravado é registrado na modalidade de admitância acústica, na frequência de 226 Hz. Os valores de volume equivalente de meato acústico externo, pressão de pico de admitância e amplitude timpanométrica (ou volume equivalente da orelha média) são então registrados. Uma segunda apresentação da varredura de tons de 250 a 2000 Hz é apresentada na pressão em que ocorreu o pico timpanométrico em 226 Hz. Novamente são estocadas as medidas dos componentes e das fases. As diferenças nos valores dos componentes da admitância e os valores de fase entre a primeira varredura de frequências e a segunda são calculadas e registradas na tela em função da variação de frequência (de 250 a 2000 Hz). Este é o 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 com tom de sonda na frequência de ressonância previamente estabelecida, para verificação do padrão de curva timpanométrica. É esperada uma curva timpanométrica em duplo pico quando o tom de sonda coincidir com a frequência de ressonância da orelha testada (1,2).

Na segunda avaliação, com 2 a 3 meses de vida, os neonatos passaram novamente pela bateria de testes para obtenção da frequência de ressonância, com a finalidade de determinar da sua variação de acordo com a idade.

Os dados foram analisados estatisticamente, sendo utilizado o teste de Análise de Variância (ANOVA). Foi adotado nível de significância de 0,05 (5%).



**Gráfico 1.** Comparação da média (+DP) da frequência de ressonância (Hz), entre as avaliações.

**Tabela 1.** Comparação da frequência de ressonância, em Hz, de ambas as orelhas nas duas avaliações.

	2-12 dias de vida		72-84 dias de vida	
	Orelha Direita	Orelha Esquerda	Orelha Direita	Orelha Esquerda
Média	253,57	262,50	385,71	385,71
Mediana	250	250	350	350
Desvio Padrão	13,11	22,05	145,90	156,64
Mínimo	250	250	250	250
Máximo	300	300	750	800
N	28	28	21	21
p-valor	0,071		1,000	

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a comparação da frequência de ressonância em Hz, entre as orelhas em cada avaliação.

Em ambas as avaliações não foram verificadas diferenças estatisticamente significantes entre as orelhas, porém essa diferença ocorreu quando comparadas a época das avaliações para cada orelha (Gráfico 1).

Na análise comparativa entre as duas avaliações foi verificada uma diferença altamente significativa, tanto na orelha direita quanto na orelha esquerda; sendo que a média para a segunda avaliação foi sempre maior que a média para a primeira avaliação (Gráfico 1).

A verificação do intervalo de confiança foi realizada tanto em relação às orelhas para cada uma das avaliações como para as avaliações. O intervalo de confiança considera a média e mais ou menos o erro padrão, que inclui desvio padrão, tamanho da amostra e probabilidade estatística.

---

## DISCUSSÃO

---

A avaliação do valor da frequência de ressonância, como os outros métodos timpanométricos, mostrou ser uma forma objetiva, rápida, não-invasiva e de fácil aplicação para a verificação das condições da orelha média, auxiliando o diagnóstico audiológico. Esse valor auxilia no diagnóstico mais preciso das alterações de orelha média, indicando ainda o motivo desta alteração, seja por diminuição ou aumento, no componente massa ou rigidez.

Neste estudo, apesar da rápida realização do teste e da explicação sobre sua importância foi verificada que alguns pais não quiseram permitir a participação dos neonatos na pesquisa e avaliar a audição do bebê, além de outros que, apesar da participação inicial, não retornaram para a 2ª avaliação. A desistência não foi relacionada com a dificuldade do retorno, pois todos os bebês nascidos no hospital em que foram realizados os exames são residentes em regiões próximas à este.

Na 1ª avaliação foi encontrado um valor de frequência de ressonância em torno de 250 Hz tanto para a orelha direita quanto para a esquerda. Quando o timpanograma é traçado na frequência de ressonância da orelha média verificou-se uma curva timpanométrica em duplo pico, como descrito em literatura (1,2).

Uma vez que em neonatos o valor e o duplo pico mostram-se por volta de 250 Hz, é importante relacionar esse achado com os dados da literatura que relatam que em bebês, em frequência de sonda de 226 Hz, o timpanograma encontrado é com configuração em duplo pico (22,23,26). Sendo assim, quando realizada timpanometria, na prática clínica, com esta sonda, a curva duplo pico encontrada pode ocorrer devido ao fato de ser uma sonda com frequência muito próxima a frequência de ressonância da orelha média deste bebê.

O desvio padrão encontrado na 1ª avaliação tanto na orelha direita quanto na esquerda (Tabela 1) não foram considerados significantes, uma vez que a variação de frequência durante as varreduras acontecem em intervalos de 50 Hz. Comparando-se as duas orelhas nesta avaliação encontrou-se uma tendência a significância.

Nos lactentes que retornaram para a 2ª avaliação foi encontrado um valor de frequência de ressonância mais elevado, próximo aos valores encontrados em literatura (16). Nessas crianças os valores foram ainda muito variáveis, com desvio padrão elevado, mostrando que por volta dos 3 meses de idade esse valor ainda está em transição (18), porém com média mais baixa do que encontrados em literatura para adultos (6,9,13,14,15).

Comparando-se as avaliações, neste estudo, foi encontrada uma diferença altamente significativa demonstrando uma maturação de orelha média em relação a fase neonatal, com aumento da frequência de ressonância devido a uma diminuição do componente massa e do tamanho do conduto (17). A constatação desta diferença na frequência de ressonância da orelha média entre população neonatal e o lactente com 3 meses reforça a importância do uso de tom de sonda de frequência mais alta para a realização de timpanometria na população neonatal, conforme vem sendo sugerido pela literatura especializada (22,24). Estudos conduzidos por CALANDRUCCIO et al. (27) e SILVA et al. (22) apontam a timpanometria com tom de sonda de 1000 Hz como mais sensível para registrar mudanças na orelha média em neonatos. O presente resultado aponta que mesmo a população de lactentes em torno de 3 meses de idade ainda não apresenta função de orelha média no padrão adulto, sugerindo que a timpanometria em frequência de 1000 Hz deva ser a frequência de escolha para esta faixa etária. Este resultado corrobora as recomendações de uso de timpanometria com tom de sonda de 226 Hz em lactentes a partir de 6 meses de idade (24).

Estudo (28) abordando reflectância acústica em população neonatal mostram que esta medida em recém-nascidos mostra um maior valor de reflectância observada para sons de frequências abaixo de 2000 Hz. Diferenças estruturais no meato acústico externo tais como tamanho, presença de vértex, etc podem contribuir tanto para as diferenças encontradas na reflectância desta população como na captação da frequência de ressonância da orelha média.

São necessários mais estudos nesta área, principalmente na fase neonatal, padronizando-se este valor, uma vez que pode facilitar o diagnóstico e auxiliar na triagem auditiva, devido ao fato de que pesquisadores já relacionaram a frequência de ressonância em adultos com as emissões otoacústicas (29).

---

## CONCLUSÃO

---

Na população neonatal verificou-se que a frequência de ressonância é mais baixa que a encontrada em adultos possivelmente devido a maior influência do componente massa. O registro da frequência de ressonância oferece potencial valor clínico para o diagnóstico audiológico, contribuindo para identificação de alterações de orelha média, sendo um teste fácil e rápido de ser analisado.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. Margolis RH, Goycoolea HG. Multifrequency Tympanometry in Normal Adults. *Ear&Hear*, 1993; 14(6):408-13.

2. Carvallo RMM. Fonoaudiologia – Informação para formação. Procedimentos em Audiologia. 2003. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, p. 1-22.
3. Colletti V, Fiorino FG, Sittoni V, Policante Z. Mechanics of the middle ear in otosclerosis and stapedoplasty. *Acta Otolaryngol*, 1993; 113(5):637-641.
4. Frade C, Lechuga R, Castro C, Labella T. Análisis of the resonant frequency of the middle ear in otosclerosis. *Acta Otorrinolaryngol Esp*, 2000; 51(4):309-313.
5. Miani C, Bergamin AM, Barotti A, Isola M. Multifrequency multicomponent tympanometry in normal and otosclerotic ears. *Scand Audiol*, 2000; 29(4):225-237.
6. Colletti V. Methodologic observations on tympanometry with regard to the probe-tone frequency. *Acta Otolaryngol*, 1975; 80:54-60.
7. Colletti V. Tympanometry from 200 to 2000 Hz probe tone. *Audiology*, 1976; 15:106-119.
8. Colletti V. Multifrequency tympanometry. *Audiology*, 1977; 16:278-287.
9. Funasaka S, Funai H, Kumakwa K. Sweep frequency tympanometry: Its development and diagnostic value. *Audiology*, 1984; 23:366-379.
10. Levina Lu V, Ivanets IV. Diagnostic implications of examination of middle ear resonance frequency. *Vestn. Otorrinolaryngol*, 2002; 2:11-13.
11. Zhao F, Wada H, Koiki T, Stephens D. The influence of middle ear disorders on otoacoustic emissions. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences.*, Feb 2002; 25(1):3-8.
12. Kontrogianni A, Feredidis E, Ntouniadakis E, Psarommatas I, Apostolopoulos N, Adamopoulos G. Multiple-frequency tympanometry in children with otitis media with effusion. *ORL*, 1996; 58:78-81.
13. Shanks JE. Tympanometry. *Ear and Hearing*, 1984; 5:268-280.
14. Valvik B, Johnsen M, Laukli E. Multifrequency tympanometry. *Audiology*, 1994; 33:245-253.
15. Carvallo RMM. Ressonância de orelha média através da timpanometria em multifrequência. *Rev. Bras. Med. Otorrinolaryngol*, jul 1997; 4(4):132-137.
16. Hanks WD, Rose KJ. Middle ear resonance and acoustic immittance measures in children. *J Speech Hear Res*, 1993; 36:218-222.
17. Keefe DH, Levi E. Maturation of the middle ear external ears: acoustic power-based responses and reflectance tympanometry. *Ear and Hearing*, 1996; 17:361-373.
18. Holte LA, Margolis RH, Cavanaugh RM. Development changes in multifrequency tympanograms. *Audiology*, 1991; 30:1-24.
19. Zluzak AI, Kileny PR. Parameters that affect the measurement of otoacoustic emissions. *Head Neck Surg*, 2001; 9:279-283.
20. Wada H, Ohyma K, Kobayashi T, Sunaga N, Koike T. Relationship between evoked acoustic emissions and middle ear dynamic characteristics. *Audiology*, 1993; 32:282-292.
21. Wada H, Ohyma K, Kobayashi T, Koiki T, Noguchi S. Effect of middle ear on otoacoustic emissions. *Audiology*, 1995; 34:61-176.
22. Silva KAL, Novaes BACC, Lewis DR, Carvallo RMM. Achados timpanométricos em neonatos com emissões otoacústicas presentes: medidas e interpretações. *Rev. Bras. Otorrinolaryngol*, 2007; 73(5):633-639.
23. Soares JC, Carvallo RMM. Redução do limiar de reflexo acústico em neonatos sem risco auditivo. *Rev. Bras. Otorrinolaryngol*, 2006; 72(1):49-54.
24. American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing. Year 2007 Position Statement: principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. *Pediatrics*, 2007; 120(4):898-921.
25. Funasaka S, Kumakawa K. Tympanometry Using a Sweep-Frequency Probe Tone and Its Clinical Evaluation. *Audiol*, 1988; 27:99-108.
26. Margolis RH, Hunter LL. Timpanometria: princípios básicos e aplicações clínicas. In: Musiek FE, Rintelmann WF. *Perspectivas atuais em Avaliação Auditiva*. 2001, 1ª edição. Barueri. Manole: p. 85-126.
27. Calandruccio L, Fitzgerald TS, Prieve BA. Normative multifrequency tympanometry in infants and toddlers. *J Am Acad Audiol*, 2006; 17(7):470-80.
28. Sanford CA, Feeney MP. Effects of maturation on tympanometric wideband acoustic transfer functions in human infants. *J Acoust Soc Am*, 2008; 124(4):2106-22.
29. Couto CM, Carvallo RMM. O efeito da ressonância das orelhas externa e média na captação das emissões otoacústicas. *Rev. Bras. Otorrinolaryngol*, 2009; 75(1):15-23.