

Estimando o audiograma com o uso dos Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável para múltiplos estímulos tonais breves*

Gabriela R. I. Rodrigues**

Mabel G. Almeida***

Doris R. Lewis****

Resumo

Objetivo: analisar as respostas dos PEAE para estímulos tonais breves para estimar o audiograma de adultos ouvintes e compará-las com os resultados relatados na literatura para PEAE obtidos com diferentes estímulos. **Método:** 20 sujeitos na faixa etária de 20 a 30 anos, com limiares auditivos entre -10 e 20 dB NA na audiometria tonal, de 250 a 8000 Hz. O equipamento utilizado foi o modelo SmartEp ASSR (IHS). Cada estímulo utilizado consistiu da combinação múltipla e simultânea de 4 tonepipes nas frequências portadoras de 0.5, 1, 2 e 4 kHz, com modulação de aproximadamente 77, 85, 93 e 101 Hz na orelha esquerda e de 79, 87, 95 e 103 Hz na orelha direita. **Resultados:** Nas frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz a média e desvio padrão encontrado para os resultados dos PEAE foram respectivamente 27 ± 9 , 19 ± 7 , 19 ± 8 e 21 ± 6 ; e a diferença média e desvio padrão encontrado entre os resultados dos PEAE e da audiometria foram respectivamente 13 ± 8 , 12 ± 7 , 10 ± 7 e 12 ± 6 . **Conclusão:** PEAE a múltiplos estímulos tonais breves apresentaram resultados semelhantes aos obtidos utilizando outros estímulos já relatados na literatura.

Palavras-chave: potenciais evocados auditivos, audiometria, adulto.

Abstract

Objective: To study the responses of ASSR for multiple brief tonal stimuli to estimate the audiogram of hearing adults and compare them with the results reported in the literature for ASSR obtained with different stimuli. **Method:** 20 subjects aged 20 to 30 years, with hearing thresholds between -10 and 20 dB HL in the pure tone audiometry, 250 to 8000 Hz. The equipment used was the SmartEp ASSR (IHS). Each stimulus used consisted of the combination of multiple and simultaneous tonepipes, carrier frequencies of 0.5, 1, 2 and 4 kHz, with modulation of approximately 77, 85, 93 and 101 Hz in the left ear and 79, 87, 95 and 103 Hz in the right ear. **Results:** For the frequencies of 0.5, 1, 2 and 4 kHz, the mean and standard deviation found on ASSR were respectively 27 ± 9 , 19 ± 7 , 19 ± 8 and 21 ± 6 , and the average difference and standard deviation found between the results on ASSR and pure

* Trabalho desenvolvido no Centro "Audição na Criança" da Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (CeAC/DERDIC/PUC-SP). ** Fonoaudióloga; Mestre em Fonoaudiologia pela PUC-SP. *** Fonoaudióloga; Mestre em Fonoaudiologia pela PUC-SP. **** Fonoaudióloga; Doutora em Saúde Pública pela USP; Professora Titular do Programa de Pós – Graduação em Fonoaudiologia e Faculdade de Fonoaudiologia da PUC-SP; Fonoaudióloga do Centro de Referência em Saúde Auditiva – Centro "Audição na Criança" – CeAC/DERDIC/PUC-SP.

tone audiometry were respectively 13 ± 8 , 12 ± 7 , $10 \pm 12 \pm 6$ and 7. Conclusion: ASSR to multiple brief tonal stimuli presented similar results to those obtained using other stimuli already reported in the literature.

Keywords: auditory evoked potentials, audiometry, adult.

Resumen

Objetivo: Examinar las respuestas dos PEAAE a breve estímulos tonales para estimar la audici3n audiol3gica de adultos y compararlos con los resultados reportados en la literatura para PEAAE obtenidos con diferentes estímulos. *Método:* 20 sujetos con edades comprendidas entre 20 a 30 años, con umbrales de audici3n entre -10 y 20 dB HL en la audiometría de tonos puros, 250 a 8000 Hz. El equipo utilizado fue el modelo SmartEp ASSR (IHS). Cada estímulo utilizado consistió en la combinaci3n de múltiples y simultáneos tonopipes el 4 frecuencias portadoras de 0.5, 1, 2 y 4 kHz, con la modulaci3n de aproximadamente 77, 85, 93 y 101 Hz en la oreja izquierda y el 79, 87, 95 y 103 Hz en la oreja derecha. *Resultados:* Las frecuencias de 0,5, 1, 2 y 4 kHz la media y desviaci3n estándar de los resultados encontrados para PEAAE fueron respectivamente de 27 ± 9 , 19 ± 7 , 19 ± 8 y 21 ± 6 , y la diferencia media y desviaci3n estándar entre los resultados de la audiometría y PEAAE fueron respectivamente de 13 ± 8 , 12 ± 7 , $10 \pm 12 \pm 6$ y 7. *Conclusi3n:* PEAAE a múltiples estímulos tonales breve presentará resultados similares a los obtenidos utilizando otros estímulos que ya se ha informado en la literatura.

Palabras claves: potenciales evocados auditivos, audiometría, adulto.

Introduç3o

Desde a revelaç3o de que potenciais evocados de estado estável poderiam ter aplicaç3o clínica para estimar a audiç3o (Galambos et al., 1981) e ser facilmente analisados no domínio da freqüência (Stapells et al., 1984); vários estudos vêm sendo realizados com o intuito de prever os limiares auditivos por meio dos Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável (PEAAE). Em geral, duas abordagens têm sido estudadas: a estimulaç3o simples unilateral, com o método de detecç3o das respostas baseado na coerência da fase (Cohen et al., 1991; Rickards et al., 1994; Rance et al., 1995; Aoyagi et al., 1999; Rance e Briggs, 2002); e a estimulaç3o múltipla bilateral, com o método de detecç3o das respostas baseado no teste F (Lins e Picton, 1995; Herdman e Stapells, 2001; Dimitrijevic et al., 2002; Luts e Wonders, 2004; Han et al., 2006).

Além destas duas abordagens, uma grande variabilidade de métodos para obter PEAAE com amplitudes maiores, dentre eles a utilizaç3o de diferentes estímulos também tem sido empregada. Embora tons de amplitude modulada constituam os estímulos utilizados em grande parte das pesquisas (Lins et al. 1996; Perez-Abalo et al. 2001; Herdman

e Stapells 2001; Martinez-Beneito 2002; Ferraz et al. 2002), estudos têm mostrado PEAAE com amplitudes maiores utilizando tons modulados simultaneamente em amplitude e freqüência – modulaç3o mista (John et al., 2001; Dimitrijevic et al., 2002).

A utilizaç3o de estímulos em envelopes exponenciais (John et al., 2002) e estímulos transientes de banda larga (Sturzebecher, Cebulla e Neumann, 2003) também resultaram em PEAAE com grandes amplitudes, sugerindo que, como acontece com os Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico, estímulos transientes de curta duraç3o podem ser bons estímulos para obter PEAAE.

O sistema “SmartEP ASSR” da *Intelligent Hearing Systems (IHS)*, introduzido no mercado há poucos anos, utiliza *tonopipes*, estímulos tonais breves com duraç3o de 4 a 8 ms, para evocar PEAAE; no entanto poucas pesquisas clínicas visando estabelecer limiares auditivos foram realizadas com esses estímulos (Han et al., 2006; Tlumak, Durrant, e Collet, 2007).

O objetivo deste estudo foi analisar as respostas dos PEAAE a estímulos tonais breves para estimar o audiograma de adultos ouvintes e compará-las com os resultados relatados na literatura para PEAAE obtidos com diferentes estímulos.

Método

Este estudo foi desenvolvido no Centro “Audição na Criança” (CeAC) da Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação (DERDIC), ambos da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), tendo recebido aprovação da instituição e do Comitê de Ética da PUC-SP (processo nº 269/2008). Todos os sujeitos envolvidos assinaram o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, consentindo, desta forma, com a realização e divulgação desta pesquisa.

Foram avaliados 20 adultos com idade entre 20 e 30 anos (média de 25 anos) que apresentaram curva timpanométrica tipo “A” (Jerger, 1970) e limiares audiométricos ≤ 20 dB NA nas frequências de 250 a 8000 Hz bilateralmente.

Procedimentos

1 – Audiometria Tonal

Foi utilizado um audiômetro modelo AC-33, marca *Interacoustics* e fones de inserção modelo ER-3A. A audiometria tonal foi realizada numa cabina acusticamente tratada. Pesquisou-se o limiar audiométrico em passos de 5 dB com estímulo de tom puro pulsátil nas frequências de 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6 e 8 kHz em ambas as orelhas. Para afastar a possibilidade de problemas condutivos foi realizada a timpanometria.

Os limiares audiométricos obtidos em dB NA foram convertidos para dB NPS de acordo com a norma ISO 389-1: “*The calibration standard for insert phones*”, para que pudesse ser realizada uma comparação equivalente com os resultados dos PEAAE, já que esses são obtidos em dB NPS.

2 – Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável

O equipamento utilizado para a obtenção do nível mínimo de resposta por meio dos PEAAE foi o modelo *SmartEP ASSR* da marca *Intelligent Hearing Systems*.

Preparação dos sujeitos:

Os sujeitos foram acomodados em uma maca e o exame realizado em sono natural ou estado de total relaxamento.

A pele foi limpa com álcool visando tirar a oleosidade para a colocação dos eletrodos de superfície. Os eletrodos de referência foram dispostos nas mastóides: direita (A2) e esquerda (A1) e os eletrodos ativo (Fz) e terra (Fpz) na frente.

Estímulo:

Cada estímulo utilizado consistiu da combinação múltipla simultânea de 4 *tonepipes* portadores das frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz nas frequências da modulação de aproximadamente 77, 85, 93 e 101 Hz na orelha esquerda e de 79, 87, 95 e 103 Hz na orelha direita respectivamente.

Registro:

Foi pesquisado o nível mínimo de resposta encontrado nas frequências de 0,5, 1, 2 e 4 kHz simultaneamente em ambas as orelhas. A intensidade inicial foi de 20 dB NPS e os níveis mínimos de resposta pesquisados a passos de 5 dB. Conforme as respostas foram observadas em determinada frequência, mantendo-se presentes após duas varreduras consecutivas com o ruído nos dois canais menor que 0.05 μ V, o exame foi interrompido, essas frequências retiradas e a pesquisa nas demais frequências reiniciada, na mesma intensidade. A coleta foi interrompida na presença de alta taxa de rejeição de estímulos.

Cada estímulo múltiplo simultâneo foi apresentado bilateralmente através de fones de inserção ER-3A. O número máximo de estímulos foi ajustado para 400 *sweeps* com duração de 1.024 s cada, divididos em 20 varreduras de 20 *sweeps* cada uma. As amostras do EEG colhidas após 20 *sweeps*, ou seja, uma varredura, foram filtradas com um filtro de 30-3000 Hz, amplificadas com um ganho de 100000 e, em seguida processadas utilizando uma taxa de conversão A/D de 20 kHz. Após cada varredura a Transformação Rápida de Fourier (FFT) foi realizada automaticamente pelo software, mostrando o resultado obtido em um lote polar e em um espectro de frequências. O teste F calculou a probabilidade da amplitude da resposta ser significativamente diferente da amplitude média do ruído de fundo na frequência de modulação assim como da amplitude média do ruído de fundo nas *sidebins*. Se a relação sinal-ruído foi maior que 6.13 dB ($p = 0.05$) nas duas condições, o sinal foi considerado uma resposta, caso contrário foi considerado ruído (Han et al., 2006; Mo e Stapells, 2008).

Resultados

Todos os sujeitos avaliados apresentaram respostas aos PEAAE nas frequências pesquisadas. A média com seu desvio padrão e os valores mínimo, mediano e máximo encontrados para os resultados

dos PEAAE com e sem considerar a separação por orelha são descritos na Tabela 1.

A diferença média e desvio padrão entre os resultados dos PEAAE e da Audiometria, com e sem considerar a separação por orelha, em cada frequência, são descritos na Tabela 2.

Tabela 1 – Valores observados de estatísticas descritivas para os resultados (dB NPS) dos PEAAE nas frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz

| Frequência | Orelha | N | Média | Desvio padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------------|----------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 0.5 kHz | Direita | 20 | 27,5 | 9,4 | 15 | 25 | 50 |
| | Esquerda | 20 | 25,8 | 8,8 | 10 | 25 | 45 |
| | Total | 40 | 26,6 | 9,0 | 10 | 25 | 50 |
| 1 kHz | Direita | 20 | 19,5 | 7,2 | 10 | 20 | 35 |
| | Esquerda | 20 | 19,0 | 6,4 | 5 | 20 | 30 |
| | Total | 40 | 19,3 | 6,8 | 5 | 20 | 35 |
| 2 kHz | Direita | 20 | 18,8 | 7,9 | 5 | 20 | 35 |
| | Esquerda | 20 | 18,5 | 7,5 | 5 | 20 | 35 |
| | Total | 40 | 18,6 | 7,6 | 5 | 20 | 35 |
| 4 kHz | Direita | 20 | 21,3 | 4,8 | 10 | 20 | 30 |
| | Esquerda | 20 | 21,5 | 7,5 | 10 | 20 | 45 |
| | Total | 40 | 21,4 | 6,2 | 10 | 20 | 45 |

Tabela 2 – Valores observados de estatísticas descritivas para a diferença entre as respostas (dB NPS) dos PEAAE e da Audiometria nas frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz

| Frequência | Orelha | N | Média | Desvio padrão |
|------------|----------|----|-------|---------------|
| 0.5 kHz | Direita | 20 | 13,5 | 8,3 |
| | Esquerda | 20 | 13,0 | 8,4 |
| | Total | 40 | 13,3 | 8,2 |
| 1 kHz | Direita | 20 | 12,5 | 7,1 |
| | Esquerda | 20 | 12,4 | 7,3 |
| | Total | 40 | 12,5 | 7,2 |
| 2 kHz | Direita | 20 | 9,8 | 7,9 |
| | Esquerda | 20 | 10,0 | 6,2 |
| | Total | 40 | 9,9 | 7,0 |
| 4 kHz | Direita | 20 | 11,8 | 6,2 |
| | Esquerda | 20 | 11,5 | 7,0 |
| | Total | 40 | 11,6 | 6,5 |

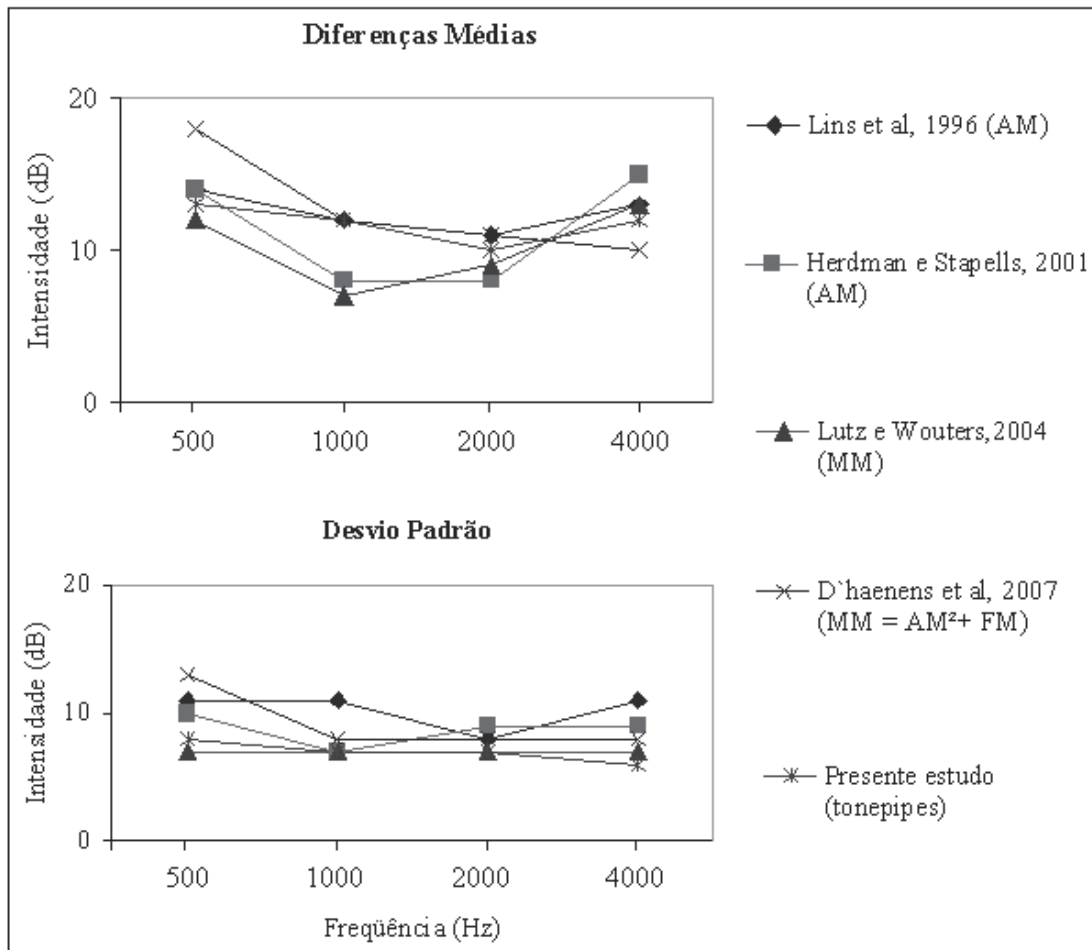
A Tabela 3 e a Figura 1 apresentam a diferença média e desvio padrão entre os resultados dos PEAAE e da audiometria em alguns estudos que utilizaram diferentes estímulos para estimar o audiograma por meio dos PEAAE. Estes estudos têm em comum o fato de estimar o audiograma

em uma amostra de adultos com audição normal por meio da estimulação múltipla e determinar de forma objetiva a presença das respostas dos PEAAE por meio do teste F. Todos os estudos expressaram seus resultados em dB NPS.

Tabela 3 – Comparação entre a diferença dos resultados dos PEAAE e da audiometria no presente estudo e em estudos similares

| Estudos | Estímulos | Diferença PEAAE x Audiometria | | | |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
| Lins et al, 1996 | (AM) | 14 ± 11 | 12 ± 11 | 11 ± 8 | 13 ± 11 |
| Herdman e Stapells, 2001 | (AM) | 14 ± 10 | 8 ± 7 | 8 ± 9 | 15 ± 9 |
| Lutz e Wouters, 2004 | (MM) | 12 ± 7 | 7 ± 7 | 9 ± 7 | 13 ± 7 |
| D'haenens et al, 2007 | (MM = AM ² + FM) | 18 ± 13 | 12 ± 8 | 11 ± 8 | 10 ± 8 |
| Presente estudo | tonepipes | 13 ± 8 | 12 ± 7 | 10 ± 7 | 12 ± 6 |

Figura 1 – Comparação entre a diferença e desvio padrão dos resultados dos PEAAE e da audiometria no presente estudo e em estudos similares



Legenda: AM – modulação em amplitude; MM – modulação mista; AM² – modulação exponencial da amplitude; FM – modulação em frequência; dB – decibel; Hz – hertz.

Discussão

Os resultados do presente estudo mostraram-se semelhantes aos resultados de outros estudos que registraram PEAAE em adultos com audição normal (Lins et al. 1996; Perez-Abalo, 2001; Dimitrijevic et al. 2002; Herdman e Stapells, 2001, 2003; Luts e Wouters 2004; D'haenens et al 2007).

Em média, foram observadas respostas mais elevadas para a frequência de 500 Hz quando comparadas às demais frequências analisadas. Esta discrepância em 500 Hz tem sido amplamente relatada em estudos anteriores e vários fatores contribuem para este fenômeno. A contaminação por ruído eletrofisiológico nas frequências baixas (Picton et al., 2003), assim como por ruído ambiental nos estudos cujos dados foram coletados em ambientes não tratados acusticamente (Lins et al., 1996; Rance e Tomlin, 2006) são alguns dos fatores que vem sendo considerados. Todavia, o principal fator apontado é a ativação neural diferenciada quanto à frequência de 500 Hz. Existe uma maior dispersão na fase dos neurônios respondendo a essa frequência, que é provocada pela mudança lenta da onda sonora na membrana basilar, atingindo uma região mais ampla na cóclea. O resultado é uma diminuição da amplitude no registro do sinal, que também tem sido relatada para os potenciais evocados auditivos de tronco encefálico por frequência específica em 0.5 kHz (Lins et al., 1996; Stapells et al., 1995; Dimitrijevic et al., 2002).

Foi possível observar também, respostas não mais elevadas que para a frequência de 500 Hz, para a frequência 4000 Hz, em comparação com as frequências de 1000 e 2000 Hz. Esses achados também foram relatados por John et al, (2004) e Luts e Wouters (2004).

Embora alguns estudos apontem repostas aos PEAAE menos elevadas para as frequências de 1000 e 2000 Hz (Herdman e Stapells, 2001, Lutz e Wouters, 2004), os desvios padrões observados foram muito semelhantes para todas as frequências, como já relatados por Lins et al, (1996), Herdman e Stapells, (2001), Lutz e Wouters, (2004).

Algumas tendências podem ser observadas comparando as diferenças médias e desvios padrão dos estudos. Observando a Figura 1, é possível observar que a diferença média entre as respostas dos PEAAE e da audiometria nos estudos selecionados encontra-se entre 10 e 20 dB acima dos limiares tonais nas frequências de 500 a 4000 Hz. Apenas

em um estudo (Luts e Wouters, 2004) a diferença média registrada foi inferior a 10 dB. Em particular, uma maior variabilidade pode ser observada para os estímulos de baixas frequências. No entanto, os desvios padrão encontram-se de 7 a 15 dB caindo, em média, cerca de 10 dB em todas frequências.

Em geral, estudos que buscaram um padrão de normalidade para as respostas em 500, 1000, 2000 e 4000 Hz dos PEAAE em adultos ouvintes descrevem grande variabilidade entre os limiares tonais e as respostas dos PEAAE (Lins et al. 1996, Perez-Abalo. 2001, Dimitrijevic et al. 2002; Herdman e Stapells. 2003; Luts e Wouters 2004), variabilidade esta também observada no presente estudo.

Curiosamente, diferente da variabilidade observada em sujeitos ouvintes, estudos têm mostrado pequenas diferenças entre as respostas dos PEAAE e os limiares auditivos em adultos com perda auditiva (Perez-Abalo et al., 2001; Dimitrijevic et al., 2001; Herdman e Stapells, 2001; Picton et al., 2003; Martinez-Beneito et al., 2002; Dimitrijevic et al., 2002; Lutz e Wouters, 2004; Kaf et al., 2006; Attias et al., 2006; Okada – Yamashita, 2007, Duarte et al., 2008). Alguns estudos relatam ainda que, quanto maior o grau da perda auditiva, menor a diferença entre os limiares auditivos e as respostas dos PEAAE (Lins et al., 1996; Rance et al. 1995; Swanepoel et al. 2004; Vander Werff et al, 2005).

Esta variabilidade entre as diferenças das respostas dos PEAAE e os limiares tonais em ouvintes e sujeitos com perda auditiva tem sido explicada pelo recrutamento associado às perdas auditivas cocleares (Picton et al., 2005; Lins et al., 1996). Como nas perdas auditivas cocleares existe uma redução de células ciliadas, a percepção de volume para intensidades crescentes é muito rápida, já que as fibras nervosas são “recrutadas” para um determinado estímulo. Assim, a presença do recrutamento reflete um aumento anormal na amplitude da resposta em intensidades acima do limiar, resultando em uma resposta mais facilmente detectada do que a resultante das fibras nervosas intactas em uma orelha com audição normal (Rance et al., 1995; 1998; Lins et al, 1996; Aoyagi et al., 1999; Johnson; Brown, 2005).

Picton et al. (2005) relataram que, em função do recrutamento, nas orelhas com perda auditiva, as amplitudes das respostas dos PEAAE são relativamente maiores quando comparadas às obtidas em orelhas com audição normal e, portanto, de

mais rápida detecção. A detecção dos PEAAE em sujeitos ouvintes requer maiores amostras de EEG, prolongando, conseqüentemente, a duração do exame.

Diante da variabilidade observada entre as respostas dos PEAAE e dos limiars tonais no presente estudo, e dos relatos da literatura sobre a diferença de ambos em sujeitos ouvintes e com perda auditiva (Perez-Abalo et al., 2001; Dimitrijevic et al., 2001; Herdman e Stapells, 2001; Picton et al., 2001; Martinez-Beneito et al., 2002; Dimitrijevic et al., 2002; Lutz e Wouters, 2004; Kaf et al., 2006; Attias et al., 2006; Okada-Yamashita, 2007, Duarte et al., 2008), consideramos ser necessária cautela na utilização dos PEAAE na avaliação de sujeitos ouvintes.

Quando os resultados dos PEAAE a múltiplos estímulos tonais breves obtidos no presente estudo foram comparados aos de outros estudos que fizeram uso de diferentes estímulos (Lins et al, 1996, Herdman e Stapells, 2001, Lutz e Wouters, 2004, D'haenens et al 2007) não foi observada nenhuma diferença significativa na predição dos limiars tonais, de modo que os resultados do presente estudo e dos estudos selecionados apresentaram-se entre 10 e 20 dB acima dos limiars tonais nas frequências avaliadas.

Estudos têm mostrado PEAAE com amplitudes maiores utilizando tons modulados simultaneamente em amplitude e frequência – modulação mista (MM) (John et al., 2001; Dimitrijevic et al., 2002). No entanto, Tlumack, Rubinstein e Durrant (2007) em metanálise de literatura demonstraram que os resultados globais não suportaram a hipótese de que as respostas dos PEAAE são mais próximas dos limiars auditivos quando registrados por meio da MM do que com os tons modulados em amplitude.

Vale ressaltar que embora os estudos selecionados para comparação tenham em comum o fato de estimar o audiograma em uma amostra de adultos com audição normal por meio da estimulação múltipla e determinar de forma objetiva a presença das respostas dos PEAAE por meio do teste F, pequenas diferenças metodológicas podem influenciar a precisão da estimativa do limiar. Desta forma, uma investigação intra-sujeito com PEAAE registrados com diferentes estímulos seria interessante para esclarecer se algum estímulo é realmente mais eficaz na predição do audiograma.

Frente as diferentes tecnologias de PEAAE disponíveis no mercado, é importante que cada profissional ou pesquisador saiba qual é o estímulo que está utilizando e conheça a tecnologia para detecção das respostas disponível em seu sistema.

Conclusão

Os resultados mostraram que PEAAE a múltiplos estímulos tonais breves apresentaram resultados semelhantes aos demais estímulos até então empregados para obter esses potenciais. PEAAE em resposta a múltiplos estímulos tonais breves poderão ser usados clinicamente, no entanto, mais estudos devem ser realizados em adultos e crianças com diferentes tipos, configurações e graus de perda auditiva.

Referências

- Aoyagi M, Suzuki Y, Yokota M, Furuse H, Watanabe T, Ito T. Reliability of 80-Hz amplitude-modulation following response detected by phase coherence. *Audiol Neurootol* 1999;4:28-37.
- Attias J, Buller N, Rubel Y, Raveh E. Multiple auditory steady-state responses in children and adults with normal hearing, sensorineural hearing loss, or auditory neuropathy. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2006;115(4):268-76.
- Cohen LT, Rickards FW, Clark GM. A comparison of steady-state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans. *J Acoust Soc Am* 1991;90:2467-79.
- D'haenens W, Dhooge I, De Vel E, Maes L, Bockstael A, Vinck BM. Auditory steady-state responses to MM and exponential envelope AM(2)/FM stimuli in normal-hearing adults. *Int J Audiol* 2007;46(8):399-406.
- Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P, Purcell DW, Adamonis J, Ostroff J, et al. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 2002;13(4):205-24.
- Duarte JL, Alvarenga KF, Garcia TM, Costa Filho OA, Lins OG. Auditory steady-state response in the auditory evaluation: clinical application. *Pro Fono* 2008;20(2):105-10.
- Ferraz OB, Freitas SV, Marchiori LLM. Análise das respostas obtidas por potenciais evocados auditivos de estado estável em indivíduos normais. *Rev Bras Otorrinolaringol* 2003;68(4):480-6.
- Galambos R, Makeig S, Talmachoff P. A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proc Natl Acad Sci USA* 1981;78(4):2643-7.
- Han D, Mo L, Liu H, Chen J, Huang L. Threshold estimation in children using auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2006;68(2):64-8.
- Herdman AT, Stapells DR. Auditory steady-state response thresholds of adults with sensorineural hearing impairments. *Int J Audiol* 2003;42(5):237-48.
- Herdman AT, Stapells DR. Thresholds determined using the monotic and dichotic multiple auditory steady-state response technique in normal hearing subjects. *Scand Audiol* 2001;30:41-9.
- Jerger I. Clinical experience with impedance audiometry. *Arch Otolaryngol* 1970;92:311.

- John MS, Brown DK, Muir PJ, Picton TW. Recording auditory steady-state responses in young infants. *Ear Hear* 2004;25(6):539-53.
- Picton TW, John MS, Dimitrijevic A, Purcell D. Human auditory steady-state responses: respuestas auditivas de estado estable en humanos. *Int J Audiol* 2003;42(4):177-219.
- John MS, Dimitrijevic A, Van Roon P, Picton TW. Multiple auditory steady-state responses to AM and FM stimuli. *Audiol Neurootol* 2001;6(1):12-27.
- Johnson TA, Brown CJ. Threshold prediction using the auditory steady-state response and the tone burst auditory brainstem response: a within-subject comparison. *Ear Hear* 2005;26:559-76.
- Kaf WA, Durrant JD, Sabo DL, Robert Boston J, Taubman LB, Kovacyk K. Validity and accuracy of electric response audiometry using the auditory steady-state response: evaluation in an empirical design. *Int J Audiol* 2000;45(4):211-23.
- Lins OG, Picton TW, Boucher BL, Durieux-Smith A, Champagne SC, Moram LM, et al. Frequency-specific audiometry using steady-state responses. *Ear Hear* 1996;17(2):81-96.
- Lins OG, Picton TW. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;96(5):420-32.
- Luts H, Wouters J. Hearing assessment by recording multiple auditory steady-state response: the influence of test duration. *Int J Audiol* 2004;43(8):471-8.
- Martínez-Beneito P, Morant Ventura A, Pitarch Ribas MI, García Callejo FJ, Marco Algarra J. Steady state multi-frequency auditory evoked potentials as a technique to determine hearing threshold. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2002;53(10):707-17.
- Mo L, Stapells DR. The effect of brief-tone stimulus duration on the brain stem auditory steady-state response. *Ear Hear* 2008;29:121-33.
- Okada-Yamashita MMCP. Potenciais evocados auditivos de estado estável: aplicação para estimativa do audiograma [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2007.
- Perez-Abalo MC, Savio G, Torres A, Rodríguez E, Galan L. Steady-state responses to multiple amplitude-modulated tones: an optimized method to test frequency-specific thresholds in hearing-impaired children and normal-hearing subjects. *Ear Hear* 2001;22:200-11.
- Picton TW, Dimitrijevic A, Perez-Abalo MC, Van Roon P. Estimating audiometric thresholds using auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 2005;16(3):140-56.
- Rance G, Briggs RJS. Assessment of hearing in infants with moderate to profound impairment: the Melbourne experience with auditory steady-state evoked potential testing. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2002;189:22-8.
- Rance G, Tomlin D. Maturation of auditory steady-state responses in normal babies. *Ear Hear* 2006;27:20-9.
- Rance G, Rickards FW, Cohen LT, De Vidi S, Clark GM. The automated prediction of hearing thresholds in sleeping subjects using auditory steady-state evoked potentials. *Ear Hear* 1995;16:499-507.
- Rickards FW, Tan LE, Cohen LT, Wilson OJ, Drew JH, Clark GM. Auditory steady-state in newborns. *Br J Audiol* 1994;28(6):327-37.
- Stapells DR, Linden D, Suffield JB, Hamel G, Picton TW. Human auditory steady state potentials. *Ear Hear* 1984;5(2):105-13.
- Stapells DR, Gravel JS, Martin BA. Thresholds for auditory brainstem responses to tones in notched noise from infants and young children with normal hearing or sensorineural hearing loss. *Ear Hear* 1995;16:361-71.
- Stürzebecher E, Cebulla M, Neumann K. Click-evoked ABR at high stimulus repetition rates for neonatal hearing screening. *Int J Audiol* 2003;42(2):59-70.
- Swanepoel D, Hugo R, Roode R. Auditory steady-state response for children with severe to profound hearing loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;130:531-5.
- Tlumak AI, Durrant JD, Collet L. 80Hz auditory steady-state responses (ASSR) at 250Hz and 12.000Hz. *Int J Audiol* 2007;46:26-30.
- Tlumak AI, Rubinstein E, Durrant JD. Meta-analysis of variables that affect accuracy of threshold estimation via measurement of the auditory steady-state response (ASSR). *Int J Audiol* 2007;46(11):692-710.
- Vander Werff KR, Brown CJ, Gienapp BA, Schmidt Clay KM. Comparison of auditory steady-state response and auditory brainstem response thresholds in children. *J Am Acad Audiol* 2002;13:227-35.

Recebido em agosto/08; **aprovado em** dezembro/08.

Endereço para correspondência

Gabriela Ribeiro Ivo Rodrigues
Rua Pedroso 486, apto 42. Bairro: Bela Vista
São Paulo –SP Capital
CEP

E-mail: gabrielaivo@hotmail.com