



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Mode of recording and modulation frequency effects of auditory steady state response thresholds[☆]



Bahram Jalaei^{a,b,*}, Moslem Shaabani^c e Mohd Normani Zakaria^a

^a Universiti Sains Malaysia, School of Health Sciences, Audiology Programme, Kelantan, Malásia

^b Iran University of Medical Sciences, Department of Audiology, Tehran, Irã

^c University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Department of Audiology, Tehran, Irã

Recebido em 17 de junho de 2015; aceito em 30 de dezembro de 2015

Disponível na Internet em 29 de dezembro de 2016

KEYWORDS

Auditory steady state response;
Hearing threshold;
Contralateral recording;
Ipsilateral recording

Abstract

Introduction: The performance of auditory steady state response (ASSR) in threshold testing when recorded ipsilaterally and contralaterally, as well as at low and high modulation frequencies (MFs), has not been systematically studied.

Objective: To verify the influences of mode of recording (ipsilateral vs. contralateral) and modulation frequency (40 Hz vs. 90 Hz) on ASSR thresholds.

Methods: Fifteen female and 14 male subjects (aged 18–30 years) with normal hearing bilaterally were studied. Narrow-band CE-chirp[®] stimuli (centered at 500, 1000, 2000, and 4000 Hz) modulated at 40 and 90 Hz MFs were presented to the participants' right ear. The ASSR thresholds were then recorded at each test frequency in both ipsilateral and contralateral channels.

Results: Due to pronounced interaction effects between mode of recording and MF ($p < 0.05$ by two-way repeated measures ANOVA), mean ASSR thresholds were then compared among four conditions (ipsi-40 Hz, ipsi-90 Hz, contra-40 Hz, and contra-90 Hz) using one-way repeated measures ANOVA. At the 500 and 1000 Hz test frequencies, contra-40 Hz condition produced the lowest mean ASSR thresholds. In contrast, at high frequencies (2000 and 4000 Hz), ipsi-90 Hz condition revealed the lowest mean ASSR thresholds. At most test frequencies, contra-90 Hz produced the highest mean ASSR thresholds.

Conclusions: Based on the findings, the present study recommends two different protocols for an optimum threshold testing with ASSR, at least when testing young adults. This includes the use of contra-40 Hz recording mode due to its promising performance in hearing threshold estimation.

© 2016 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI se refere ao artigo: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2015.12.005>

[☆] Como citar este artigo: Jalaei B, Shaabani M, Zakaria MN. Mode of recording and modulation frequency effects of auditory steady state response thresholds. Braz J Otorhinolaryngol. 2017;83:10–5.

* Autor para correspondência.

E-mail: mojtajal@gmail.com (B. Jalaei).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

2530-0539/© 2016 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PALAVRAS-CHAVE

Resposta auditiva
de estado estável;
Limiar auditivo;
Registro
contralateral;
Registro ipsilateral

Modo de registro e efeitos da modulação em frequências nos limiares de resposta auditiva de estado estável**Resumo**

Introdução: O desempenho da resposta auditiva de estado estável (RAEE) em testes de limiar com registros ipsilateral e contralateral e modulações em frequências (MFs) não tem sido sistematicamente estudado.

Objetivo: Verificar a influência do modo de registro (ipsilateral vs. contralateral) e da modulação em frequências (40 Hz vs. 90 Hz) nos limiares de RAEE.

Método: Foram estudados 15 mulheres e 14 homens (18-30 anos) com audição bilateral normal. Estímulos CE-chirp® de banda estreita (centrados em 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz) modulados em 40 e 90 Hz de MF foram apresentados à orelha direita dos participantes. Em seguida, os limiares de RAEE foram registrados em cada frequência de teste nos canais ipsilateral e contralateral.

Resultados: Devido aos pronunciados efeitos de interação entre o modo de registro e MF ($p < 0,05$ por variância com dois fatores para medidas repetidas – Anova duas vias), os limiares médios de RAEE foram então comparados entre quatro condições (Ipsi-40 Hz, Ipsi-90 Hz, Contra-40 Hz e Contra-90 Hz), com o uso de variância e com um fator para medidas repetidas (Anova uma via). Nas frequências de teste de 500 e 1.000 Hz, a condição Contra-40 Hz produziu os mais baixos limiares médios de RAEE. Em contraste, em altas frequências (2.000 e 4.000 Hz), a condição Ipsi-90 Hz revelou os mais baixos limiares médios de RAEE. Na maioria das frequências de teste, a condição Contra-90 Hz produziu os mais elevados limiares médios de RAEE.

Conclusões: Com base nos achados do presente estudo, os autores recomendam dois protocolos diferentes para um teste de limiares ideal com RAEE, pelo menos em adultos jovens. Isso inclui o uso do modo de registro Contra-40 Hz, devido ao seu desempenho promissor nas estimativas do limiar auditivo.

© 2016 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

A resposta auditiva de estado estável (RAEE) é um potencial elétrico evocado por estímulos de modulação da amplitude periódica e/ou da modulação das frequências. Diferentemente dos potenciais evocados auditivos convencionais, RAEE usa um método objetivo de detecção de limiar que proporciona aos profissionais da saúde e pesquisadores uma forma conveniente para a estimativa dos limiares para o comportamento auditivo.

Em vários estudos, foi demonstrado que os limiares de RAEE estão intimamente relacionados à audiometria tonal. Com efeito, RAEEs evocadas por estímulos entre modulações em frequências (MFs) de 90 e 40 Hz demonstram consistência com a resposta auditiva do tronco cerebral (RATC) e na atividade na região superior do sistema nervoso auditivo central (SNAC), respectivamente.¹⁻⁴ Ou seja, de maneira similar à RATC, a RAEE de 90 Hz é a opção para a estimativa da sensibilidade auditiva em frequências médias e altas. Por outro lado, a RAEE de 40 Hz “se comporta” como o potencial evocado auditivo cortical (PEAC), que é apropriado para a determinação da sensibilidade auditiva em baixas frequências.^{5,6}

Também foram investigados os efeitos do modo de registro (ipsilateral vs. contralateral) na RAEE. Van Maanen e Stapells⁷ fizeram um estudo em bebês de menos (≤ 6 meses) e mais (> 6 meses) idade, com audição bilateralmente normal. Esses autores registraram os limiares de RAEE a 500,

1.000, 2.000 e 4.000 Hz de frequências portadoras (FPs) com MFs entre 81 e 101 Hz. Tanto os registros ipsilaterais como contralaterais foram obtidos em cada FP. Em seguida, esses autores constataram que o registro ipsilateral resultava em melhores limiares de RAEE, comparativamente ao registro ipsilateral em todas as FPs. Em consequência desses achados, Van Maanen e Stapells recomendaram o uso exclusivo do registro ipsilateral na determinação dos limites de RAEE, pelo menos nos testes que envolvem bebês. Por outro lado, Kaf e Danesh⁸ fizeram um estudo comparativo de registros ipsilaterais e contralaterais de RAEE entre mulheres adultas saudáveis. Os RAEEs foram registrados em um nível de intensidade de 65 dB SPL a FPs de 500, 2.000 e 4.000 Hz e a MFs de 39 e 79 Hz. Em seguida, esses autores não observaram diferenças significativas nas amplitudes e latências de RAEE entre as condições ipsilateral e contralateral de ambas as MFs.

Tipicamente, o teste de RAEE é feito com o objetivo de estimar limiares auditivos comportamentais. Até onde vai o conhecimento dos autores, o desempenho de registros ipsilaterais e contralaterais da RAEE em níveis limiares em adultos não foi ainda sistematicamente estudado, particularmente em MFs baixos e altos. Com relação ao estudo de Kaf e Danesh,⁸ as RAEEs eram apenas determinadas em um nível supralimiar fixo. Não obstante, os resultados de RAEE nos níveis limiares não são claros e podem demonstrar algumas diferenças com relação aos achados supralimiais. Van der Werff e Brown⁹ concordaram com esses achados e

constatarem que os RAEs registrados em níveis supraliminares (o que fica demonstrado pelas funções de crescimento da amplitude) não foram vantajosos na estimativa de limiares comportamentais nos grupos testados. Assim, o presente estudo teve por objetivo a comparação entre limiares de RAE e os registros contralaterais e ipsilaterais a 40 e 90 Hz MFs em adultos jovens saudáveis.

Método

Participantes

Este estudo seguiu um modelo de medidas descritivas e repetidas. Participaram 15 mulheres e 14 homens de 18 a 28 anos (média de $23,4 \pm 2,65$ anos), destros, com audição bilateral normal (limiares ≤ 15 dB HL de 500 a 4.000 Hz) sem qualquer registro de lesão craniana e transtornos neurológicos ou qualquer doença auditiva ativa. Todos concordaram em participar voluntariamente, mediante assinatura de formulário de consentimento informado. Antes dos testes, foi obtida a aprovação ética da respectiva instituição, em concordância com a Declaração de Helsinque (USM/PPP/JEPeM[245.3(5)]).

Equipamento e estímulos

Para nos certificarmos de um quadro auditivo normal, foram feitas as seguintes avaliações audiológicas: otoscopia, imitancimetria (Modelo AZ26, Interacoustic) e audiometria tonal (audiômetro de dois canais, Modelo AC 40) em todos os participantes, em uma sala com tratamento acústico, na Clínica de Audiologia do Hospital Universitário.

Em seguida, foram registrados limiares de RAE com um sistema Eclipse de dois canais (Interacoustic Corporation, Dinamarca), foram usados como estímulos para o teste sinais CE-chirp[®] de banda estreita centrados em 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz. Os estímulos chirp foram planejados para compensar o retardo coclear e para gerar uma resposta maior.¹⁰ As profundidades de amplitude e de variação das modulações em frequências foram de 100 e 20% ($\pm 10\%$), respectivamente. Para cada estímulo de teste, as frequências de modulação foram 40 e 90 Hz. O nível de estímulo foi calibrado em dB nHL. A relação de rejeição em modo comum (RMC) do pré-amplificador era superior a 115 dB em qualquer frequência. O número de épocas e a análise temporal foram de 16 e 1 segundo, respectivamente. As respostas registradas foram amplificadas em 100.000 vezes e filtradas com o uso de um filtro passa-banda de 0,1 a 100 Hz (12 dB por oitava).

Foram aplicados quatro eletrodos de escalpo na cabeça de cada participante: não invertido na testa, invertido em cada mastoide e terra na bochecha. Para os registros ipsilateral e contralateral, o fone de ouvido foi aplicado apenas na orelha direita (i.e., as RAEs registradas nos canais direito e esquerdo representavam as condições ipsilateral e contralateral, respectivamente). A impedância dos eletrodos foi mantida em $< 3k\Omega$ durante todas as determinações.

Procedimento RAE

Depois de os participantes serem devidamente instruídos, foram iniciados os testes RAE. Os participantes ficaram

confortavelmente deitados em uma cama de teste; os estímulos foram apresentados à orelha direita do participante com o uso da técnica de resposta auditiva de estado estável múltipla (RAEEM), por meio de fone de ouvido. Essa técnica é uma forma efetiva, em termos de tempo, para apresentação do estímulo, pois quatro frequências podem ser simultaneamente testadas. A medição teve início com 40 Hz MF, seguida por registros de 90 Hz MF, pois, caracteristicamente, os participantes estavam despertos no início dos testes. Não obstante, durante as medidas de 40 Hz RAE, o estado dos participantes foi cuidadosamente monitorado, como garantia de um estado de vigília adequado.

Para detecção da resposta de maneira rápida e acurada, o sistema Eclipse para RAE empregou o método *Full Spectrum Detection Engine*. Com esse método, os componentes da amplitude e da coerência de fase foram combinados e as respostas de harmônicos mais altos também foram incluídas no algoritmo de detecção. Em comparação com o uso de informações provenientes apenas do primeiro harmônico, foram observadas taxas de detecção de resposta significativamente mais altas e tempos de detecção menores, ao serem usadas todas as respostas disponíveis (amplitude e fase) do primeiro harmônico e de harmônicos mais elevados.¹¹

Com o uso do dispositivo Eclipse para RAE, em determinado nível de intensidade considera-se que ocorreu resposta se ela alcançar um nível de amplitude que se situe dentro de uma confiança de 95%, no tempo padrão de seis minutos. No presente estudo, a mensuração da RAE teve início na intensidade de 60 dB nHL. Se a resposta fosse nitidamente detectada (ou seja, alcançava 95% de confiança) antes do tempo padrão, o teste era interrompido e a intensidade do estímulo diminuída em 10 dB. Se a confiança da resposta fosse inferior a 50% durante os primeiros três minutos, o teste era interrompido, com repetição do teste em nível similar. Se ainda assim fosse observada uma resposta pouco clara ($< 50\%$ de confiança), o teste era interrompido e a intensidade do estímulo aumentada em 5 dB. As determinações tiveram continuidade até que fosse obtido o limiar RAE. Limiar de RAE foi definido como o nível de intensidade mais baixo capaz de promover uma resposta com 95% de confiança em seis minutos. Ao nível do limiar, as medidas foram feitas em dobro para confirmação da reprodutibilidade do teste. O limiar RAE foi obtido a cada frequência de teste em diferentes MFs e para as duas condições de registro. Para evitar o cansaço durante o registro, os participantes usufruíam de uma interrupção entre cada teste.

Análise estatística

Para análise dos dados, foram empregadas tanto a estatística descritiva como a inferencial. Média e desvio padrão (DP) foram expressos nos casos aplicáveis. Foi observado que todos os dados numéricos tinham distribuição normal, conforme o demonstrado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$). Para cada frequência de teste, calculamos a variância com dois fatores para medidas repetidas (Anova duas vias) (fatores: modo de registro e MF), para comparar os limiares médios de RAE entre registros ipsilaterais e contralaterais, bem como entre MFs de 40 Hz e 90 Hz. Na análise dos efeitos principais simples (nas condições em que foram observados efeitos de interação significativos

Tabela 1 Análises estatísticas descritivas e inferenciais dos limiares de RAEE (em dB nHL) para diferentes modos de registro modulações em frequências, em frequências de teste específicas

Frequência do teste	Limiar RAEE (média ± DP) (dB nHL)				Valor de p		
	Ipsilateral		Contralateral				
	40 Hz MF	90 Hz MF	40 Hz MF	90 Hz MF	Modo	MF	Modo × MF
500 Hz	22,6 ± 11,2	27,6 ± 12,4	18,4 ± 7,6	35,9 ± 12,3	0,359	< 0,05 ^a	< 0,05 ^a
1.000 Hz	15,9 ± 6,4	18,3 ± 8,9	14,5 ± 5,7	26,6 ± 12,9	0,048 ^a	< 0,05 ^a	< 0,05 ^a
2.000 Hz	19,7 ± 7,7	16,2 ± 7,4	16,4 ± 6,3	21,2 ± 11,7	0,651	0,562	< 0,05 ^a
4.000 Hz	20,3 ± 5,8	16,0 ± 7,8	18,1 ± 6,0	19,7 ± 11,6	0,708	0,216	0,010 ^a

MF, modulação em frequência.

^a Significante em $p < 0,05$.

entre fatores na análise por Anova duas vias), calculamos a variância com um fator para medidas repetidas (Anova uma via), para comparar os limiares médios de RAEE entre as seguintes condições: Ipsi-40 Hz, Contra-40 Hz, Ipsi-90 Hz e Contra-90 Hz. Anteriormente a esses cálculos, aplicamos o teste de Mauchly para testar a suposição de esfericidade. Para as comparações pareadas, empregamos a correção de Bonferroni. O nível de significância estatística ficou estabelecido em $p < 0,05$. Todas as análises de dados foram feitas com o uso do *software* SPSS versão 20 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Resultados

A [tabela 1](#) lista a média e o desvio padrão dos limiares de RAEE para ambos os modos de registro em diferentes MFs nas frequências de teste específicas. Descritivamente, exceto na frequência de teste de 4.000 Hz, a condição Contra-90 Hz revelou o mais elevado limiar RAEE médio em todas as frequências de teste. Na frequência de teste de 4.000 Hz, o mais elevado limiar RAEE médio foi observado na condição Ipsi-40 Hz. Nas frequências de teste de 500 e 1.000 Hz, os mais baixos limiares médios de RAEE foram observados na condição Contra-40 Hz, vindo, em seguida, a condição Ipsi-40 Hz, que demonstrou limiares médios de RAEE ligeiramente mais altos vs. condição Contra-40 Hz (4,2 e 1,4 dB mais altos em 500 e 1.000 Hz, respectivamente). Por outro lado, nas frequências de teste de 2.000 e 4.000 Hz, a condição Ipsi-90 Hz gerou os mais baixos limiares médios de RAEE; e os segundo mais baixos limiares médios de RAEE foram aqueles encontrados na condição Contra-40 Hz (0,2 e 2,1 dB mais altos do que a condição Ipsi-90 Hz a 2.000 e 4.000 Hz, respectivamente).

Para a confirmação dessas observações descritivas, calculamos a variância com dois fatores para medidas repetidas (Anova duas vias). A [tabela 1](#) lista os resultados estatísticos. Foram observados efeitos de interação significativos (entre modo de registro e MF) em todas as frequências de teste ($p < 0,05$). Consequentemente, a interpretação dos efeitos principais (os efeitos do modo de registro e da MF nos limiares de RAEE) pode levar a erro. Para resolver esse problema, calculamos a variância com um fator para medidas repetidas (Anova uma via), foram determinados os principais efeitos simples. Em todas as frequências, o teste de Mauchly para esfericidade revelou que não ocorreu violação ($p > 0,05$); portanto, não houve necessidade de correção dos graus de liberdade. A [tabela 2](#) revela os resultados estatísticos dessa análise. Assim, constatamos que os limiares médios de RAEE entre as condições (Ipsi-40 Hz, Contra-40 Hz, Ipsi-90 Hz e Contra-90 Hz) eram estatisticamente diferentes entre si em todas as frequências de teste ($p < 0,05$).

Em seguida, fizemos as comparações pareadas com o uso da correção de Bonferroni em cada frequência de teste e os resultados estão listados na [tabela 2](#). Na frequência de teste de 500 Hz, resultados estatisticamente significativos foram obtidos nas condições "Ipsi-90 Hz vs. Contra-90 Hz", "Contra-40 Hz vs. Contra-90 Hz", "Contra-40 Hz vs. Ipsi-90 Hz" e "Contra-90 Hz vs. Ipsi-40 Hz" ($p < 0,05$). Na frequência de teste de 1.000 Hz, três condições ("Ipsi-90 Hz vs. Contra-90 Hz", "Contra-40 Hz vs. Contra-90 Hz" e "Contra-90 Hz vs. Ipsi-40 Hz") geraram resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Tanto na frequência de teste de 500 como na de 1.000 Hz, os limiares médios de RAEE foram estatisticamente diferentes entre as condições Contra-40 Hz e Contra-90 Hz. Esse achado corrobora observação precedente, em que a condição Contra-40 Hz

Tabela 2 Valores de *p* para variância com dois fatores para medidas repetidas (Anova uma via) e comparações pareadas a cada frequência de teste

Teste estatístico	Frequência de teste (Hz)			
	500	1.000	2.000	4.000
One-way Anova	0,001 ^a	0,001 ^a	0,007 ^a	0,036 ^a
Comparação pareada				
Ipsi-40 Hz vs. Contra-40 Hz	0,171	0,966	0,027 ^a	0,209
Ipsi-90 Hz vs. Contra-90 Hz	0,014 ^a	0,001 ^a	0,014 ^a	0,240
Ipsi-40 Hz vs. Ipsi-90 Hz	0,674	1,000	0,114	0,007 ^a
Contra-40 Hz vs. Contra-90 Hz	0,001 ^a	0,001 ^a	0,106	1,000
Contra-40 Hz vs. Ipsi-90 Hz	0,003 ^a	0,382	1,000	0,892
Contra-90 Hz vs. Ipsi-40 Hz	0,001 ^a	0,001 ^a	1,000	1,000

^a Significante em $p < 0,05$.

gerava o mais baixo limiar RAEE médio, enquanto a condição Contra-90 Hz revelava o mais alto limiar RAEE médio.

Na frequência de teste de 2.000 Hz, apenas uma condição ("Ipsi-40 Hz vs. Contra-40 Hz") revelou um resultado significativo ($p = 0,027$). Dentro dessa mesma linha, na frequência de teste de 4.000 Hz, apenas uma condição ("Ipsi-40 Hz vs. Ipsi-90 Hz") produziu um resultado estatisticamente significativo ($p = 0,007$).

Discussão

Comparação entre modulações em frequências baixas e altas

Deve-se ter em mente que o presente estudo teve por objetivo comparar os limiares de RAEE registrados em altas e baixas modulações em frequências altas e baixas, bem como entre registros ipsilaterais e contralaterais em adultos saudáveis. Nas frequências de teste de 500 e 1.000 Hz, não foram observadas diferenças significativas no limiar RAEE entre as condições Ipsi-40 Hz e Ipsi-90 Hz. Por outro lado, a condição Contra-90 Hz gerou limiares de RAEE significativamente mais altos vs. condição Contra-40 Hz. A baixa eficiência de RAEE em baixas frequências e em MFs elevadas, observada no presente estudo, concorda com estudos prévios.¹²⁻¹⁴ A possível razão é que a RAEE em uma MF alta é gerada predominantemente pelo tronco cerebral auditivo. Consequentemente, demonstra um desempenho praticamente similar com RATC nos testes de limiar.^{15,16} Limiares RATC elevados em baixas frequências já foram devidamente documentados e estão relacionados a um sincronismo neural pior.^{17,18}

Nas frequências de teste de 500 e 1.000 Hz, foram observados limiares médios de RAEE mais baixos à MF de 40 Hz vs. a 90 Hz MF. Nessa situação, a RAEE a 40 Hz parece ser superior à RAEE a 90 Hz, uma vez que produziu limiares mais baixos (talvez mais próximos dos limiares aditivos comportamentais). A superioridade da RAEE em baixa MF é coerente com relatos precedentes.^{6,14} Van der Reijden et al.¹⁴ fizeram um estudo comparativo entre RATC em *tone burst* (t-RATC) e RAEE (a MFs de 40 e 90 Hz) a FPs de 500 e 2.000 Hz. Esses autores observaram que a RAEE a 40 Hz produzia os limiares mais baixos, particularmente à FP de 500 Hz. RAEE em baixas MFs é gerada pelo mesencéfalo auditivo, tálamo e córtex auditivo primário.¹⁹ Se comparados com as RAEEs em altas MFs (predominantemente geradas pelo tronco cerebral auditivo), os limiares de RAEE mais baixos à MF de 40 Hz possivelmente se devem ao maior número de conexões nervosas e atividades binaurais no interior dessas regiões superiores do SNAC.⁴ Por outro lado, considerando que mulheres também foram incluídas no presente estudo, a superioridade da RAEE à MF de 40 Hz também poderia ser influenciada pelo fator hormonal. Sabe-se que o estrogênio, o principal hormônio esteroide para as mulheres, afeta a transmissão GABAérgica que modula as amplitudes da RAEE (ver Zakaria et al.²⁰ e Griskova-Bulanova et al.,²¹ para uma discussão mais detalhada).

Nas frequências de teste de 2.000 e 4.000 Hz, em termos descritivos, os limiares médios de RAEE observados no presente estudo foram mais baixos na condição Ipsi-90 Hz vs. condição Ipsi-40 Hz. Constatamos que essa diferença era estatisticamente significativa apenas na frequência de teste de 4.000 Hz (tabela 2). Ambas as condições ("Ipsi-40 Hz vs.

Ipsi-90 Hz" e "Contra-40 Hz vs. Contra-90 Hz") revelaram resultados estatisticamente não significativos na frequência de teste de 2.000 Hz. Esses achados não reproduzem os resultados dos estudos precedentes, que observaram limiares de RAEE menores com estímulos de MF baixos.^{6,14} A razão para essa dessemelhança ainda não foi esclarecida e, possivelmente, se deve à diferença metodológica. O presente estudo empregou estímulos CE-chirp® de banda estreita para a determinação dos limiares de RAEE, enquanto os estudos precedentes usaram tons puros. Tendo em vista que os estímulos empregados são diferentes, seriam de se esperar algumas diferenças nos resultados do nosso estudo.

Comparação entre registros ipsilaterais e contralaterais

No campo da RAEE, é limitada a literatura relacionada à influência de registros ipsilaterais e contralaterais. No presente estudo, com a aplicação da maioria das frequências de teste (500, 1.000 e 4.000 Hz) não observamos diferenças significativas no limiar RAEE entre condições Ipsi-40 Hz e Contra-40 Hz. Esse achado sugere que o modo de registro tem uma influência sutil nos limites RAEE evocados por baixos estímulos MF e concorda com o estudo de Kaf e Danesh,⁸ que constataram não haver diferenças significativas nas amplitudes e latências da RAEE entre registros ipsilaterais e contralaterais em FPs a 500, 2.000 e 4.000 Hz com uma MF de 39 Hz.

Por outro lado, para estímulos MF de 90 Hz, a condição Ipsi-90 Hz produziu limiares de RAEE estatisticamente mais baixos vs. limiares de RAEE para a condição Contra-90 Hz nas frequências de teste a 500, 1.000 e 2.000 Hz. Com efeito, nessas frequências de teste, a condição Contra-90 Hz revelou os mais elevados limiares médios de RAEE. Em nosso estudo, observamos um efeito significativo de modo de registro nos limiares RAEE para altos estímulos de MF. Esse resultado contradiz os achados de altas MFs no estudo de Kaf e Danesh.⁸ Ou seja, esses autores verificaram que não havia diferença estatisticamente significativa para as amplitudes e latências entre os registros ipsilaterais e contralaterais entre si em todas FPs testadas com uma MF de 79 Hz. Essa divergência possivelmente se deve à diferença metodológica. Enquanto o presente estudo usou a determinação dos limiares de RAEE, Kaf e Danesh⁸ registraram RAEEs em um nível supralimiar (65 dB SPL). Conforme dito anteriormente, as RAEEs registradas em níveis limiares e supralimiares podem resultar em desfechos diferentes.⁹

A superioridade de RAEEs apontadas em altas MFs no registro dos limiares de RAEE ipsilaterais, observada no presente estudo, também não condiz com os resultados do estudo de Small e Stapells.²² Esses autores observaram que os limiares de RAEE registrados em altas MFs entre registros ipsilaterais e contralaterais, em adultos, não foram estatisticamente diferentes em FPs de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz. A razão para tal discrepância talvez se deva à diferença no tamanho das amostras. Enquanto a amostra de Small e Stapells²² para o registro dos limiares de RAEE foi composta por 11 adultos, o nosso estudo recrutou um número maior de participantes ($n = 29$). Sabe-se que uma amostra maior aumentaria o poder estatístico e a probabilidade de rejeição da hipótese nula.²³ Em outras palavras, os resultados significativos para a RAEE ipsilateral obtidos

para altas MFs, no presente estudo, parecem ser válidos, devido à maior amostra. Não obstante, os achados de nosso estudo são consistentes com estudos prévios em bebês.^{7,22} Van Maanen e Stapells⁷ determinaram limiares e amplitudes de RAEE em duas faixas etárias de bebês (> 6 meses e ≤ 6 meses) em FPs de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz moduladas entre 81 e 101 Hz. Assim, esses autores constataram que em relação às respostas ipsilaterais as RAEEs contralaterais demonstraram amplitudes menores e frequentemente estavam ausentes. Concordando com essa posição, Small e Stapells²² verificaram que, no caso de bebês (média de idade de 21 semanas), os limiares de RAEE ipsilateral foram significativamente mais baixos vs. limiares de RAEE contralateral em todas as FPs testadas para estimulações da condução aérea e óssea.

O presente estudo não está isento de limitações. Em primeiro lugar, devido aos significativos efeitos de interação, não foi determinada aplicação específica da frequência de teste nos limiares de RAEE. Aqui, antecipamos a ocorrência de efeitos de interação mais complexos se a frequência for incluída como um desses fatores. Em segundo lugar, o presente estudo testou apenas a orelha direita dos participantes. Tendo em vista que a RAEE demonstra um pronunciado efeito de lateralidade,²⁴ os resultados do presente estudo podem não se aplicar à orelha esquerda. Com relação a esse aspecto, justificam-se futuros estudos que comparem os limiares de RAEE entre orelhas, além de reforçar a relevância do modo de registro e a modulação em frequências nos registros da RAEE.

Conclusões

Neste estudo, tivemos a intenção de determinar as influências do modo de registro e da modulação em frequências nos limiares de RAEE em adultos jovens. Em baixas frequências (500 e 1.000 Hz), 40 Hz MF gerou limiares de RAEE mais baixos do que 90 Hz MF. Em altas frequências (2.000 e 4.000 Hz), Ipsi-90 Hz produziu os mais baixos limiares de RAEE. Com base nos resultados do presente estudo, sugerimos dois protocolos diferentes para uma determinação ideal dos limiares com RAEE em adultos jovens. No primeiro protocolo, sugerimos o uso de baixos estímulos de MF para o registro dos limiares de RAEE em baixas frequências. Em altas frequências, recomendamos estímulos de MF altos. Para todas as condições, o modo de registro é ipsilateral. No segundo protocolo, recomendamos o uso de baixos estímulos de MF para a determinação dos limiares de RAEE em todas as frequências de teste com registro contralateral.

Financiamento

Bolsa de Pesquisa Universitária (PU) (1001/PPSK/812114), University Sains Malaysia.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

O presente estudo fez parte de um projeto de pesquisa financiado pela Bolsa de Pesquisa Universitária

(PU) (1001/PPSK/812114), University Sains Malaysia (USM). Alguns dos achados do estudo já foram publicados (Zakaria et al.).²⁰

Referências

1. Kuwada S, Anderson J, Batra R. Sources of the scalp-recorded amplitude-modulation following response. *J Am Acad Audiol.* 2002;13:188–204.
2. Batra R, Kuwada S, Stanford TR. Temporal coding of envelopes and their interaural delays in the inferior colliculus of the unanaesthetized rabbit. *J Neurophysiol.* 1989;61:257–68.
3. Creutzfeldt OD, Hellweg FC, Schreiner C. Thalamocortical transformation of responses to complex auditory stimuli. *Exp Brain Res.* 1980;39:87–104.
4. Herdman AT, Lins O, Van Room P. Intracerebral sources of human auditory steady-state responses. *Brain Topogr.* 2002;15:69–86.
5. Tomlin D, Rance G, Graydon K. A comparison of 40 Hz auditory steady-state response (ASSR) and cortical auditory evoked potential (CAEP) thresholds in awake adult subjects. *Int J Audiol.* 2006;45:580–8.
6. Van Maanen A, Stapells DR. Comparison of multiple auditory steady-state responses (80 vs 40 Hz) and slow cortical potentials for threshold estimation in hearing-impaired adults. *Int J Audiol.* 2005;44:613–24.
7. Van Maanen A, Stapells DR. Normal multiple auditory steady-state response thresholds to air-conducted stimuli in infants. *J Am Acad Audiol.* 2009;20:196–207.
8. Kaf WA, Danesh AA. Air-conduction auditory steady-state response: comparison of interchannel recording using two modulation frequencies. *J Am Acad Audiol.* 2008;19:696–707.
9. Vander Werff KR, Brown CJ. Effect of audiometric configuration on threshold and suprathreshold auditory steady-state responses. *Ear Hear.* 2005;26:310–26.
10. Dau T, Wagner O, Mellert V, Kollmeier B. Auditory brainstem responses with optimized chirp signals compensating basilar membrane dispersion. *J Acoust Soc Am.* 2000;107:1530–40.
11. Cebulla M, Stürzebecher E, Elberling C. Objective detection of auditory steady-state responses: comparison of one-sample and q-sample test. *J Am Acad Audiol.* 2006;17:93–103.
12. Swanepoel DW, Hugo R, Roode R. Auditory steady-state responses for children with severe to profound hearing loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004;130:531–5.
13. Kaf WA, Sabo DL, Durrant JD. Reliability of electric response audiometry using 80 Hz auditory steady-state responses. *Int J Audiol.* 2006;45:477–86.
14. van der Reijden CS, Mens LM, Snik FM. Frequency-specific objective audiometry: tone-evoked brainstem responses and steady-state responses to 40 Hz and 90 Hz amplitude modulated stimuli. *Int J Audiol.* 2006;45:40–5.
15. Cone-Wesson B, Dowell RC, Tomlin D, Rance G, Ming WJ. The auditory steady-state response: comparisons with the auditory brainstem response. *J Am Acad Audiol.* 2002;13:173–87.
16. Johnson TA, Brown CJ. Threshold prediction using the auditory steady-state response and the tone burst auditory brain stem response: a within-subject comparison. *Ear Hear.* 2005;26:559–76.
17. McGee T, Kraus N, Killion M, Rosenberg R, King C. Improving the reliability of the auditory middle latency response by monitoring EEG delta activity. *Ear Hear.* 1993;14:76–84.
18. Sininger YS, Abdala C. Hearing threshold as measured by auditory brain stem response in human neonates. *Ear Hear.* 1994;17:395–401.
19. Kraus N, McGee T, Stein L. The auditory middle latency response. In: Jacobsen JT, editor. *Principles and applications in auditory evoked potentials.* Boston: Allyn & Bacon; 1994. p. 123–54.
20. Zakaria MN, Jalaei B, Abdul Wahab NA. Gender and modulation frequency effects on auditory steady state response (ASSR) thresholds. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2015;273:349–54.
21. Griskova-Bulanova I, Griksiene R, Korostenskaja M, Ruksenas O. 40 Hz auditory steady-state response in females: when is it better to entrain? *Acta Neurobiol Exp (Wars).* 2014;74:91–7.
22. Small SA, Stapells DR. Normal ipsilateral/contralateral asymmetries in infant multiple auditory steady-state responses to air- and bone-conduction stimuli. *Ear Hear.* 2008;29:185–98.
23. Taylor DJ, Muller KE. Computing confidence bounds for power and sample size of the general linear univariate model. *Am Stat.* 1995;49:43–7.
24. Picton TW, van Roon P, John MS. Multiple auditory steady state responses (80–101 Hz): effects of ear, gender, handedness, intensity and modulation rate. *Ear Hear.* 2009;30:100–9.