



ARTIGO ORIGINAL

Assessment of hearing threshold in adults with hearing loss using an automated system of cortical auditory evoked potential detection[☆]



Alessandra Spada Durante^{*}, Margarita Bernal Wieselberg, Nayara Roque, Sheila Carvalho, Beatriz Pucci, Nicolly Gudayol e Kátia de Almeida

Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 23 de novembro de 2015; aceito em 16 de fevereiro de 2016

Disponível na Internet em 16 de fevereiro de 2017

KEYWORDS

Auditory evoked potentials;
Auditory perception;
Hearing aids;
Hearing loss;
Electrophysiology

Abstract

Introduction: The use of hearing aids by individuals with hearing loss brings a better quality of life. Access to and benefit from these devices may be compromised in patients who present difficulties or limitations in traditional behavioral audiological evaluation, such as newborns and small children, individuals with auditory neuropathy spectrum, autism, and intellectual deficits, and in adults and the elderly with dementia. These populations (or individuals) are unable to undergo a behavioral assessment, and generate a growing demand for objective methods to assess hearing. Cortical auditory evoked potentials have been used for decades to estimate hearing thresholds. Current technological advances have led to the development of equipment that allows their clinical use, with features that enable greater accuracy, sensitivity, and specificity, and the possibility of automated detection, analysis, and recording of cortical responses.

Objective: To determine and correlate behavioral auditory thresholds with cortical auditory thresholds obtained from an automated response analysis technique.

Methods: The study included 52 adults, divided into two groups: 21 adults with moderate to severe hearing loss (study group); and 31 adults with normal hearing (control group). An automated system of detection, analysis, and recording of cortical responses (HEARLab[®]) was used to record the behavioral and cortical thresholds. The subjects remained awake in an acoustically treated environment. Altogether, 150 tone bursts at 500, 1000, 2000, and 4000 Hz were presented through insert earphones in descending-ascending intensity. The lowest level at which the subject detected the sound stimulus was defined as the behavioral (hearing) threshold (BT). The lowest level at which a cortical response was observed was defined as the cortical electrophysiological threshold. These two responses were correlated using linear regression.

DOI se refere ao artigo: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2016.02.016>

[☆] Como citar este artigo: Durante AS, Wieselberg MB, Roque N, Carvalho S, Pucci B, Gudayol N, et al. Assessment of hearing threshold in adults with hearing loss using an automated system of cortical auditory evoked potential detection. Braz J Otorhinolaryngol. 2017;83:147–54.

^{*} Autor para correspondência.

E-mail: alessandra.durante@fcm.santacasasp.edu.br (A.S. Durante).

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

PALAVRAS-CHAVE

Potenciais evocados auditivos;
Percepção auditiva;
Auxiliares de audição;
Perda auditiva;
Eletrofisiologia

Results: The cortical electrophysiological threshold was, on average, 7.8 dB higher than the behavioral for the group with hearing loss and, on average, 14.5 dB higher for the group without hearing loss for all studied frequencies.

Conclusion: The cortical electrophysiological thresholds obtained with the use of an automated response detection system were highly correlated with behavioral thresholds in the group of individuals with hearing loss.

© 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/>).

Estimativa do limiar auditivo em adultos com perda auditiva por meio de um sistema automatizado de detecção do potencial evocado auditivo cortical
Resumo

Introdução: O uso da amplificação sonora por pessoas com perda auditiva oferece uma melhor qualidade de vida. O acesso a esse recurso e o seu benefício podem ficar comprometidos no caso de pacientes que apresentem dificuldades ou limitações na avaliação audiológica tradicional comportamental, tais como neonatos e crianças pequenas, presença do espectro da neuropatia auditiva e do autismo, déficit intelectual e presença de estados demenciais de adultos e idosos. Essas populações (ou indivíduos) incapazes de participar de uma avaliação comportamental geram uma crescente demanda por métodos objetivos de avaliação auditiva. Os potenciais evocados auditivos corticais são usados há décadas, com a finalidade de estimar os limiares auditivos. Avanços tecnológicos atuais permitiram o desenvolvimento de equipamentos que possibilitam seu uso clínico, dotados de recursos que permitem maior precisão, sensibilidade e especificidade, além da possibilidade de detecção, análise e registro automatizados das respostas corticais.

Objetivo: Determinar e correlacionar o limiar auditivo comportamental com o limiar auditivo cortical obtido em equipamento de análise automatizada das respostas.

Método: Participaram do estudo 52 adultos, distribuídos em dois grupos: 21 com perda de grau moderado a severo (grupo estudo) e 31 com audição normal (grupo controle). Para o registro dos limiares comportamentais e corticais foi usado um equipamento dotado de um sistema com detecção, análise e registro automatizados das respostas corticais (HEARLab®). Os participantes permaneceram despertos, em um ambiente acusticamente tratado. Foram apresentados 150 estímulos tipo *tone burst* nas frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz, por meio de fones de inserção em intensidades descendente-ascendente. O menor nível no qual o sujeito detectou a presença do estímulo sonoro foi definido como o limiar auditivo comportamental. O menor nível no qual uma resposta cortical estava presente foi definido como o limiar eletrofisiológico cortical. Essas duas respostas foram correlacionadas por meio da regressão linear.

Resultados: O limiar eletrofisiológico cortical foi, em média, 7,8 dB superior ao comportamental para o grupo com perda auditiva e 14,5 dB superior, em média, para o grupo sem perda auditiva para todas as frequências estudadas.

Conclusão: Os limiares eletrofisiológicos corticais obtidos por meio de um sistema de detecção automatizado de respostas estavam fortemente correlacionados com os limiares comportamentais no grupo de indivíduos com perda auditiva.

© 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

O uso da amplificação sonora por pessoas com perda auditiva oferece uma melhor qualidade de vida. O acesso a esse recurso e o seu benefício podem ficar comprometidos no caso de pacientes de difícil avaliação que apresentem dificuldades ou limitações na avaliação audiológica tradicional

comportamental, tais como neonatos e crianças pequenas, presença do espectro da neuropatia auditiva e do autismo, déficit intelectual e presença de estados demenciais de adultos e idosos. Essas populações (ou indivíduos) incapazes de participar de uma avaliação auditiva comportamental geram uma crescente demanda por métodos objetivos de avaliação auditiva.

Os potenciais evocados auditivos corticais (PEAC) têm sido foco de interesse e estudo desde as décadas de 1960 e 1970. No passado, a principal aplicação desse potencial era na estimativa objetiva do limiar auditivo em adultos difíceis de serem testados, mas também foram extensivamente investigados na população infantil.¹

A estimativa dos limiares auditivos por meio do PEAC apresenta inúmeras vantagens, na medida em que possibilita a avaliação de todo o sistema auditivo (desde o tronco encefálico até o córtex), e pode ser registrado em sujeitos acordados, por meio de uma variedade de estímulos acústicos apresentados tanto por meio de fones como em campo livre.²⁻⁵ Ainda que sejam detentores de inestimável valor clínico e científico, o uso rotineiro desses potenciais corticais ficou comprometido ao longo dos últimos anos por inúmeros fatores. Os componentes principais do PEAC sofrem mudanças substanciais no padrão de respostas, a depender do estágio do desenvolvimento do nascimento até a adolescência, assim como na avaliação feita durante estágios intermediários de sonolência. Observa-se também variabilidade na amplitude, latência e morfologia das respostas inter e intrassujeitos. Essas variabilidades implicam dificuldades no reconhecimento e interpretação das respostas e impõem, para seu uso, a necessidade de profissionais experientes e especializados. Além desses fatores, o alto custo do equipamento e a limitação técnica dos eletrodos, filtros e amplificadores na captação desses potenciais não permitiram o uso clínico dos PEAC até recentemente.^{3,6}

Com o propósito de superar essas barreiras e promover seu uso clínico, o *National Acoustic Laboratory* (NAL), instituição governamental da Austrália, desenvolveu, ao longo dos últimos anos, um equipamento para pesquisa de potenciais evocados auditivos corticais, chamado HEARLab® (Frye Electronics/USA). O diferencial desse sistema sobre os similares atuais existentes é que se trata de um equipamento acessível e potencialmente desenvolvido para uso clínico, que recebeu tecnologias avançadas e diferenciadas capazes de reduzir o registro de ruídos e interferências, por oferecer medidas de ruído residual e proporcionar maior sensibilidade dos eletrodos na captação das respostas, entre outros recursos. No entanto, seu principal diferencial é o de poder contar com um método exclusivo de detecção e análise automática das respostas que leva em consideração métodos e testes estatísticos, análogos ao *t-test* que, por meio de cálculos de níveis de confiança, determina a presença ou ausência da resposta cortical. Esse programa alivia o examinador da difícil tarefa de interpretar subjetivamente a presença ou ausência de resposta cortical com base exclusivamente em uma análise visual.^{1,3,5,7-14}

A hipótese deste estudo é que seja possível estimar os limiares auditivos comportamentais a partir dos limiares eletrofisiológicos corticais obtidos em equipamento de análise automática.

No Brasil, não existem estudos de limiares auditivos feitos com equipamento de análise automatizada da resposta cortical. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o uso dos PEAC na estimativa dos limiares auditivos por meio de um equipamento de análise automatizada de detecção da resposta PEAC.

Método

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição sob o número 361/11. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo e ao concordar com sua participação, assinaram termo de consentimento livre e esclarecido.

Casuística

Foram estabelecidos como critérios de inclusão na amostra:

- Grupo controle (GC): adultos (idade ≤ 65 anos), ambos os gêneros, com audição normal (média tritonal de 500, 1.000 e 2.000 Hz ≤ 20 dB NA), sem queixas auditivas ou história de problemas otológicos.
- Grupo estudo (GE): adultos (idade ≤ 65 anos), ambos os gêneros, com perda auditiva tipo sensorioneural, bilateral simétrica de grau moderado a severo (média tritonal de 500, 1.000 e 2.000 Hz 41 dB NA e 90 dB NA).¹⁵

Como critério de exclusão, foi estabelecida a presença de comprometimentos neurológicos, psiquiátricos e/ou de síndromes declaradas ou comprovadas.

Procedimentos

Todos os sujeitos da amostra passaram pelo mesmo protocolo de avaliação, especificado a seguir.

Para descartar a presença de problemas na orelha média que inviabilizassem a inclusão na amostra, foi feita inspeção visual e timpanometria, com o uso do analisador de orelha média da marca Interacoustics, modelo AZ 7R.

Para a pesquisa dos limiares tonais comportamentais foi usado o audiômetro da marca GN Otometrics, modelo Itera, por meio de fones supraural TDH 39 em cabinas acústicas. Foi feita avaliação audiométrica comportamental completa por meio de tons puros, nas frequências de 250 a 8.000 Hz por via aérea, e de 500 a 4.000 Hz por via óssea, por meio de técnica clássica descendente-ascendente de pesquisa do limiar tonal. Esses limiares foram aqui denominados limiares audiométricos (LA).

Para a estimativa dos limiares auditivos comportamentais para estímulo de frequência específica (*tone burst*) foi usado o sistema HEARLab®. O equipamento oferece estímulos auditivos nas frequências de 500, 1.000, 2.000, 3.000 e 4.000 Hz, em intensidades que variam de 0 a 110 dB NA, apresentados por meio de fones de inserção em sala acusticamente tratada. Usou-se técnica descendente-ascendente de pesquisa do limiar, foi denominado limiar comportamental a menor intensidade na qual o indivíduo foi capaz de detectar o estímulo frequência específica (*tone burst*) apresentada. Esses limiares foram denominados limiares comportamentais (LC).

Na preparação para a avaliação dos PEAC, a pele do paciente foi limpa e preparada adequadamente. Os eletrodos foram afixados segundo o seguinte posicionamento: eletrodo ativo no vértex (Cz), eletrodo referência na mastoide direita ou esquerda (M1 e M2), eletrodo terra na fronte (Fz), e foram garantidas as condições mínimas aceitáveis de impedância máxima e entre eletrodos (≤ 5 k Ω). Os participantes foram

Tabela 1 Dados demográficos dos sujeitos dos grupos estudo e controle

Grupo	N orelhas (participantes)	Idade (anos)	Limiar auditivo (dB NA)
Estudo	21 (21)	48,9 ($\pm 7,2$)	58 (± 12)
Controle	31 (31)	23,7 ($\pm 5,2$)	2,1 ($\pm 2,9$)

avaliados em estado de alerta, distraídos por imagens veiculadas em televisor sem som, em sala climatizada e tratada acusticamente.

A avaliação dos limiares comportamentais (LC) e eletrofisiológicos corticais (LEC) nas frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz foi feita em apenas uma das orelhas de cada sujeito, escolhida segundo a percepção do sujeito como sua “melhor orelha” ou, na ausência de referência, de forma randômica e aleatória.

Para detecção e registro do PEAC foi usado o sistema HEARLab[®], que tem um módulo que permite avaliar o limiar eletrofisiológico cortical (*Cortical Tone Evaluation*).

A pesquisa dos limiares corticais para frequência específica (*tone burst*) obedeceu o seguinte protocolo, a depender do grupo de avaliação: 1) para o grupo controle (GC), composto por adultos normo-ouvintes, foi usada a intensidade inicial de 70 dBNA, feito o registro da resposta e, em seguida, diminuída para 20 dBNA. Se houvesse também resposta cortical nessa intensidade, eram usadas intensidades descendentes em passos de 10 dB e ascendentes de 5 dB até o limiar mínimo de detecção automática de resposta (intensidade mínima); 2) Para o grupo estudo (GE), composto por adultos com deficiência auditiva, foi também usada a intensidade inicial de 70 dBNA. No caso de presença de resposta cortical nessa intensidade, eram usadas intensidades descendentes em passos de 10 dB e ascendentes de 5 dB, até o limiar mínimo de detecção de resposta, tal qual feito no GC. No entanto, no caso de não ser detectada resposta na intensidade inicial de 70 dBNA, a pesquisa foi feita com incrementos de intensidade em passos de 10 dB e descendentes de 5 dB, até o limiar mínimo de detecção de resposta cortical. Os limiares detectados foram denominados limiares eletrofisiológicos corticais (LEC).

A detecção automática da presença e o respectivo limiar de resposta cortical frente à estimulação acústica levam em consideração o *p*-valor estatístico, em um programa exclusivo e oferecido pelo equipamento. Quanto menor o *p*-valor, maior a probabilidade de a onda registrada estar relacionada

com o estímulo sonoro. Um *p*-valor de 0,05 é o limiar considerado pelo equipamento e pelo examinador para a tomada de decisão quanto à presença ou ausência da resposta cortical ou, explicado de outra forma, esse limiar significa que existiriam somente 5% de chance de que o equipamento registrasse uma resposta como falsa positiva.

Análise estatística

Foram usadas medidas de tendência central, correlação de Pearson e regressão linear.

Em todos os testes foi usado o nível de significância de 0,05 (ou 5%) para rejeição da hipótese de nulidade.

Resultados

A amostra final deste estudo contou com a participação de 52 indivíduos adultos, distribuídos em dois grupos: 1) Grupo controle (GC), composto por normo-ouvintes; 2) Grupo estudo (GE), composto por indivíduos com perda auditiva. No GC, foram avaliados 31 adultos, 23 (74,2%) do gênero feminino e 8 (25,8%) do masculino; média de 23,7 anos (DP = 5,2 anos) e média do limiar audiométrico tritonal de 2,1 dBNA (DP = 2,9 dB NA). No GE participaram 21 adultos, 15 (71,4%) do gênero feminino, 6 (28,6%) do masculino, idade média de 48,9 anos (DP = 7,2 anos) e média tritonal de 500, 1.000 e 2.000 Hz de 58 dBNA (DP = 12 dBNA) (*tabela 1*).

As medidas descritivas do limiar audiométrico tonal (LA), o limiar comportamental (LC) e o limiar eletrofisiológico cortical (LEC) para as frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz podem ser visualizados na *tabela 2* para o grupo controle e na *tabela 3* para o grupo estudo.

Em todas as frequências, podemos observar que o LEC apresenta intensidade superior quando comparado com o LA. As diferenças entre esses limiares foram, em média, de 8,6; 9,6; 6,0 e 7,1 dB para as frequências de 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz e 4.000 Hz, respectivamente, no grupo

Tabela 2 Medidas descritivas dos limiares auditivos tonais (LA), eletrofisiológicos (LEC) e comportamentais (LC) obtidos para o grupo controle por frequência

	Grupo controle											
	500 Hz			1.000 Hz			2.000 Hz			4.000 Hz		
	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC
Média	3,39	18,23	9,35	1,45	15,9	5,65	1,45	15,97	3,71	2,58	17	3,55
Mediana	5	20	10	0	15	5	0	15	0	0	20	5
DP	3,2	6,2	5,4	2,6	6,8	4,7	2,9	7,1	5	4	6,4	3,6
IC	2,4	4,49	3,9	1,94	5,05	3,51	2,16	5,22	3,78	3,4	4,72	2,71

DP, desvio padrão; IC, intervalo de confiança; LA, limiar auditivo tonal; LC, limiar comportamental; LEC, limiar eletrofisiológico cortical.

Tabela 3 Medidas descritivas dos limiares auditivos tonais (LA), eletrofisiológicos (LEC) e comportamentais (LC) para o grupo estudo por frequência

	Grupo estudo											
	500 Hz			1.000 Hz			2.000 Hz			4.000 Hz		
	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC	LA	LEC	LC
Média	49,2	57,8	55,2	56,1	65,7	60	57,1	63,1	60	55	62,1	57,8
Mediana	50	60	60	60	65	60	60	60	60	55	65	60
DP	13,8	6,2	13,8	12,9	9,7	12,9	11,3	11,2	9,8	11	10,3	11,2
IC	12,57	4,59	12,59	11,78	8,91	11,78	10,34	10,23	8,98	10,1	9,39	5,24

DP, desvio padrão; IC, intervalo de confiança; LA, limiar auditivo tonal; LC, limiar comportamental; LEC, limiar eletrofisiológico cortical.

com perda auditiva (GE). Para o grupo sem perda (GC), as diferenças foram em média de 14,8; 14,5; 14,5 e 14,8 dB, respectivamente, para as mesmas frequências.

Estudos de regressão linear feitos entre os limiares audiométricos (LA) para tons puros (padrão ouro) e os limiares comportamentais (LC) para estímulos frequência específica (*tone burst*) demonstraram que esses limiares estão fortemente correlacionados para todas as frequências avaliadas ($r^2 \geq 0,7$), em ambos os grupos. Assim, optou-se por correlacionar os limiares comportamentais com os eletrofisiológicos.

No grupo de normo-ouvintes, a correlação entre os limiares cortical (LEC) e comportamental (LC) foi fraca. Já para o grupo com perda auditiva, a forte correlação entre as duas

medidas fica evidenciada por $r^2 = 0,71$; 0,72; 0,83 e 0,80 para as todas as frequências estudadas de 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz e 4.000 Hz, respectivamente. Na [figura 1](#) são destacados os gráficos de dispersão do grupo com perda auditiva para as quatro frequências audiométricas separadamente, com limiar eletrofisiológico cortical (LEC) no eixo vertical e limiar comportamental (LC) no eixo horizontal.

Discussão

Na presente pesquisa, foram estimados e comparados os limiares auditivos comportamentais obtidos por meio de tons puros (padrão ouro - LA) e de frequência específica (*tone*

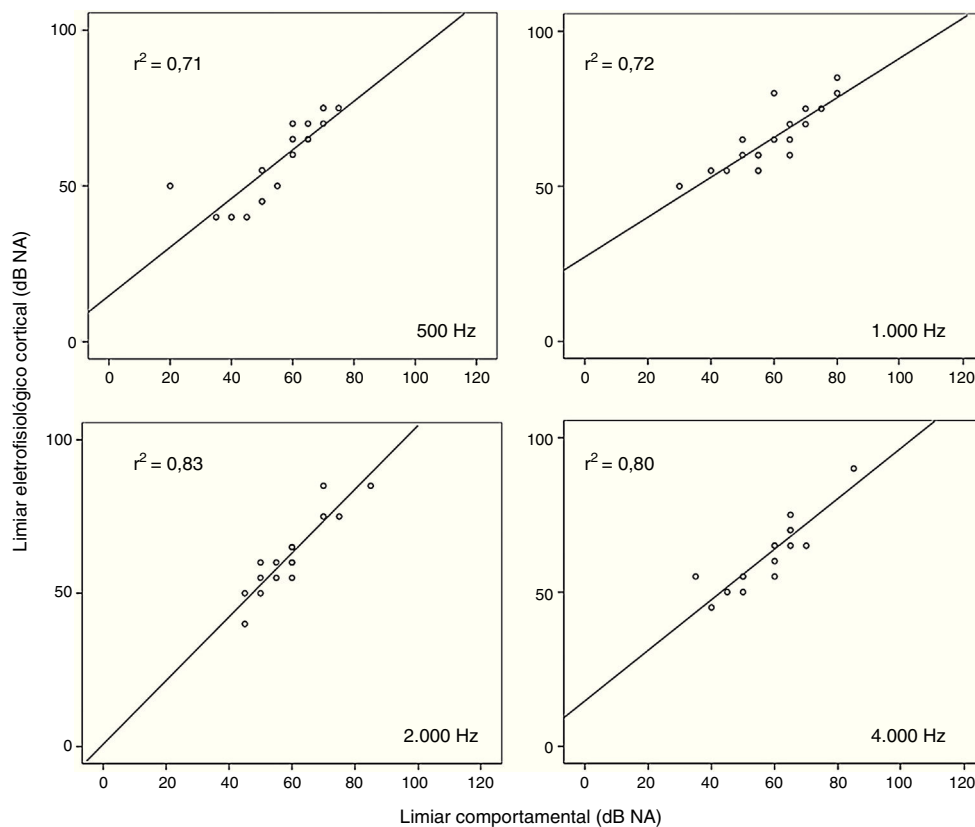


Figura 1 Gráficos de dispersão linear do grupo perda auditiva. Limiar comportamental (LC) × limiar eletrofisiológico cortical (LEC) para *tone burst* nas frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

burst – LC) de todos os indivíduos da amostra, tanto do grupo com perda auditiva como do grupo de normo-ouvintes. Devido à forte correlação apontada entre os dois limiares para todas as frequências ($r^2 \geq 0,7$), independentemente do grupo, optou-se, neste estudo, por correlacionar os limiares eletrofisiológico corticais (LEC) com os limiares comportamentais frequência específica (LC).

Levando-se em consideração que o critério de inclusão na amostra de ambos os grupos pressupunha a presença de limiares tonais simétricos bilateralmente e com vistas à redução da duração do exame, optou-se pela avaliação dos limiares comportamentais (LC) e eletrofisiológicos (LEC) nas frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz de apenas uma das orelhas de cada sujeito, escolhidas segundo a sua percepção como sua “melhor orelha” ou, na ausência de referência, de forma randômica e aleatória. No estudo de Frizzo et al.¹⁶ não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os hemisférios cerebrais que pudessem comprometer a pesquisa do PEAC em uma ou outra orelha. Dessa forma, o protocolo de avaliação e a pesquisa dos limiares comportamental e eletrofisiológico tiveram a duração aproximada de 60 minutos por sujeito.

O protocolo técnico usado foi o sugerido pelo fabricante do equipamento HEARLab System[®] (Frye Electronics, USA). A impedância dos eletrodos manteve-se equilibrada e não ultrapassou 5 kOhm. O estímulo sonoro apresentado por fones de inserção foi o de frequência específica (*tone burst*), com 150 μ s de duração, ainda que Lightfoot,¹⁷ em seu estudo, afirmasse que o uso de estímulos de 10 a 20 μ s de duração já seria suficiente para a captação da resposta, exceto quando se está perto do limiar cortical do sujeito.

Um cuidado que foi garantido no presente estudo está relacionado ao controle e à manutenção do estado de alerta do sujeito durante a avaliação. Näätänen¹⁸ alertou sobre a influência dos efeitos da sonolência na variabilidade de respostas corticais. Diferentemente das respostas eletrofisiológicas de curta latência que exigem controle e qualidade de relaxamento muscular, durante a captação do PEAC, o indivíduo precisa simplesmente permanecer acordado e em estado consciente de alerta. Isso pode ser alcançado ao lhe solicitar que se mantenha na posição sentada, entretido, por exemplo, com as imagens de um vídeo sem som. O diferencial desse sistema sobre os similares atuais existentes é que se trata de um equipamento que recebeu tecnologias avançadas e diferenciadas, capazes de oferecer medidas de controle de ruído residual e de uma maior sensibilidade dos eletrodos na captação das respostas, além de reduzir o registro de ruídos e interferências.³

O equipamento de detecção automática de respostas do PEAC se propõe a facilitar a tarefa do examinador em interpretar subjetivamente as ondas eletrofisiológicas com base exclusivamente em uma análise visual quanto à presença ou ausência de resposta cortical frente ao estímulo acústico. Em estudos anteriores, o método estatístico adotado no equipamento mostrou ser capaz de detectar as respostas corticais com sensibilidade e especificidade combinadas de maneira tão ou mais eficaz do que aquela alcançada por examinadores experientes,^{3,9} resultados esses corroborados no presente estudo.

No grupo com perda auditiva, as diferenças médias observadas entre o limiar eletrofisiológico cortical (LEC) e o

limiar comportamental (LC) foram, em média, de 7,8 dB. Os valores encontrados no presente estudo são ligeiramente superiores àqueles relatados em um estudo preliminar de Van Dun et al.,¹¹ cujas diferenças para as mesmas frequências variaram de 3,4 a 5,9 dB. Na publicação do estudo desse mesmo autor,¹⁴ no qual fez a investigação dos limiares de PEAC em 34 adultos deficientes auditivos, os limiares eletrofisiológicos corticais foram, em média, 10 dB superiores (DP = 10 dB) em relação aos limiares comportamentais, resultados similares aos do presente estudo.

Na [tabela 4](#), destaca-se uma visão geral de publicações de estudos com sujeitos adultos com perda auditiva na estimativa do limiar auditivo, as diferenças entre os limiares eletrofisiológicos corticais e os comportamentais nos diversos estudos estão na faixa de 9 a 14 dB, com desvio padrão entre 5 e 14 dB.

Na análise do grupo sem perda auditiva (GC), as diferenças entre os limiares foram, em média, 14,5 dB superiores para as mesmas frequências estudadas. A diferença média entre os limiares do presente estudo foi semelhante àquela encontrada no estudo de Lighfoot e Kennedy.¹⁹ Os autores avaliaram 24 indivíduos adultos, também normo-ouvintes, e concluíram que 94% dos limiares da amostra foram estimados com uma diferença ≤ 15 dB e em 80% puderam ter o seu limiar estimado com uma diferença ≤ 10 dB. Os autores ressaltaram que, ainda que em grande parte da amostra a diferença média entre os limiares tenha se situado entre 5 e 10 dB, constatou-se que, em um pequeno grupo (7%), puderam ser observados sujeitos com diferenças entre limiares de até 20 dB superiores, referentes ao LC. Van Dun et al.,¹⁴ ao estudar indivíduos com perda auditiva, também relataram a presença de 4% do que denominaram diferenças “fora da curva”, referentes aos sujeitos que apresentavam diferenças entre limiares de até 30 dB, o limiar cortical foi sempre mais elevado do que o comportamental. No presente estudo, esse pequeno grupo também se mostrou presente em 4% dos registros, com diferenças de até 30 dB. Paradoxalmente, também foram observadas, em 2,4% dos registros, respostas de limiares corticais comparativamente inferiores às registradas nos limiares comportamentais em até 10 dB.

Quando comparados os limiares médios de detecção e de resposta do PEAC entre os grupos de sujeitos normo-ouvintes e os com perda auditiva, observa-se que a diferença entre o LC e LEC é maior nos sujeitos do grupo sem perda auditiva. Essa diferença entre grupos também foi relatada no estudo de Golding et al.³ A possível justificativa para que os sujeitos do grupo com perda auditiva registrem limiares eletrofisiológicos corticais mais próximos ao limiar comportamental ou com um menor nível de sensação (NS) parece estar baseada no potencial impacto do fenômeno de recrutamento naqueles sujeitos com perda auditiva sensorioneural, o que aumentaria a amplitude de resposta do PEAC em NS inferiores ou mais fracos.^{9,10}

Diante dos achados deste estudo, o PEAC, obtido por meio de equipamento de análise automática de resposta, mostrou ser um exame viável na estimativa do limiar auditivo de sujeitos adultos com perda auditiva.

Seria de grande contribuição clínica a inclusão de novos estudos complementares que usassem o equipamento de análise automática de resposta do limiar cortical, de forma a estabelecer fatores de correção para a estimativa dos

Tabela 4 Visão geral de estudos feitos em adultos com perda auditiva na estimativa do limiar auditivo comportamental com o PEAC

Estudo	Orelhas (participantes)	Idade média (faixa) anos	Perda auditiva Db NA	Dur (mseg)	TX (seg)	N° estímulos	Diferença eletrofisiológica-comportamental (dB)				
							500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	Média
Beagley e Kellogg (1969) ²⁰	36 (36)	32 (18-52)	s/ref	25	1,25	60	3 ± 6	1 ± 6	4 ± 7		3 ± 5
Coles e Mason (1984) ²¹	129 (129) ML	s/ref	s/ref	200	1,5	64	0 ± 10	-1 ± 6	-1 ± 11	-2 ± 7	
Hoth (1993) ²²	21 (21)	18-78	10-100	500	2,5	50	Detecção visual Detecção objetiva	5 ± 12			
Prasher et al. (1993) ²³	62 (62) PAIR	55 ± 10 (34-78)	28 ± 17 ^a	200	1.0	s/ref			-2 ± 11		1 ± 10
			53 ± 22 ^b						0 ± 11		
			49 ± 23 ^a						2 ± 8		
			58 ± 15 ^b								
Richards et al. (1996) ²⁴	982 (500) ML	55 ± 8	5-100	100	2,0	s/ ref	1 ± 5	1 ± 4	2 ± 5	0 ± 5	1 ± 5
Tsui et al. (2002) ²⁵	408 (204) ML	36-74	10-120	200	0,8	64		2 ± 11	1 ± 9		
Tomlin et al. (2006) ²⁶	30 (30)	67 (36-91)	> 20	100	1,4	60	9 ± 7			14 ± 14	
Yeung e Wong (2007) ²⁷	44 (34)	23-69	30-55				7 ± 8	8 ± 5	5 ± 10	3 ± 14	
			60-85 90+				6 ± 7 -2 ± 5	9 ± 8 2 ± 5	8 ± 9 6 ± 7	3 ± 19 9 ± 10	
Van Dun, Dillon e Seeto (2015) ¹⁴	66 (34)	71 ± 9 (43-89)	50-18	40	1,175	120	11 ± 8	11 ± 9	10 ± 12	9 ± 11	10 ± 10
Presente estudo	21 (21)	48,9 ± 7,2	58 ± 12	40	1,175	50-120	8 ± 9	9 ± 7	6 ± 7	7 ± 8	8 ± 8

Dur, duração; ML, médico legal; PAIR, perda auditiva induzida por ruído; s/ref., sem referência; TX, taxa de apresentação.

^a 1.000 Hz.

^b 2.000 Hz.

Nota: Estudos que envolvem populações diversas (participantes com audição normal e com perda auditiva) que não puderam ser separados não foram incluídos. Todos os PEAC foram avaliados por meio de inspeção visual das respostas, com exceção de Hoth,²² Van Dun, Dillon e Seeto¹⁴ e o presente estudo. A estrutura dessa tabela é similar à da tabela 11.1 de Picton.²⁸ Todos os estudos, exceto Beagley & Kellogg,²⁰ Coles & Mason²¹ e Rickards et al.,²⁴ definiram limiar como o nível de menor intensidade no qual uma resposta podia ser identificada. Limiares em Beagley & Kellogg²⁰ foram adicionalmente reduzidos em 2,5 dB. Coles & Mason²¹ consideraram 5 dB a melhor estimativa do limiar. Rickards et al.²⁴ consideraram a menor intensidade de detecção do PEAC ou com redução de 5 dB, depende do critério adotado.

Nota de rodapé: Tradução da nota da tabela original (Van Dun, Dillon e Seeto)¹⁴ autorizada pelos autores.

limiares auditivos, assim como na avaliação de diferentes populações.

Conclusão

Os resultados deste estudo mostraram forte correlação entre os limiares comportamentais e os limiares eletrofisiológicos corticais para as frequências de 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz em adultos com perda auditiva.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo incentivo e financiamento desta pesquisa (processo nº 2011 – 19556-3). Aos professores Van Dun B, Dillon H e Seeto M, que permitiram a adaptação da [tabela 4](#) apresentada neste estudo.

Referências

- Purdy SC, Katsch R, Dillon H, Storey L, Sharma M, Agung K. Aided cortical auditory evoked potentials for hearing instrument evaluation in infants. In: Seewald RC, Bamford JM, editors. A sound foundation through early amplification. Proceedings of the Third international conference. Basel, Switzerland: Phonak AG; 2005. p. 115–27.
- Hall JW. New handbook of auditory evoked responses. Boston, MA: Pearson, Allyn and Bacon; 2007.
- Golding M, Dillon H, Seymour J, Carter L. The detection of adult cortical auditory evoked potentials (CAEPs) using an automated statistic and visual detection. *Int J Audiol.* 2009;48:833–42.
- Alvarenga KF, Vicente LC, Lopes RCF, Silva RA, Banhara MR, Lopes AC, et al. Influência dos contrastes de fala nos potenciais evocados auditivos corticais. *Braz J Otorrinolaryngol.* 2013;79:336–41.
- Durante AS, Wieselberg MB, Carvalho S, Costa N, Pucci B, Gudayol N, et al. Potencial Evocado Auditivo Cortical: avaliação da detecção de fala em adultos usuários de prótese auditiva. *CoDAS.* 2014;26:367–73.
- Campbell K, Colrain I. Event-related potential measures of the inhibition of information processing: II. The sleep onset period. *Int J Psychophysiol.* 2002;46:197–214.
- Ching TYC, Dillon H. Prescribing amplification for children: adult-equivalent hearing loss, real-ear aided gain, and NAL-NL1. *Trends Amplif.* 2003;7:1–9.
- Dillon H. So, baby, how does it sound? Cortical assessment of infants with hearing aids. *Hear J.* 2005;58:10–7.
- Carter L, Golding M, Dillon H, Seymour J. The detection of infant cortical auditory evoked potentials (CAEPs) using statistical and visual detection techniques. *J Am Acad Audiol.* 2010;21:347–56.
- Munro KJ, Purdy SC, Ahmed S, Begum R, Dillon H. Obligatory cortical auditory evoked potential waveform detection and differentiation using a commercially available clinical system: HEARLab™. *Ear Hear.* 2011;32:782–6.
- Van Dun B, Carter L, Dillon H. Sensitivity of cortical auditory evoked potential (CAEP) detection for hearing-impaired infants in response to short speech sounds. *Audiol Res.* 2012;2: 65–76.
- Carter L, Dillon H, Seymour J, Seeto M, Van Dun B. Cortical auditory-evoked potentials (CAEPs) in adults in response to filtered speech stimuli. *J Am Acad Audiol.* 2013;24: 807–22.
- Chang HW, Dillon H, Carter L, van Dun B, Young ST. The relationship between cortical auditory evoked potential (CAEP) detection and estimated audibility in infants with sensorineural hearing loss. *Int J Audiol.* 2012;51:663–70.
- Van Dun B, Dillon H, Seeto M. Estimating hearing thresholds in hearing-impaired adults through objective detection of cortical auditory evoked potentials. *J Am Acad Audiol.* 2015;26:370–83.
- Lloyd LL, Kaplan H. *Audiometric interpretation: a manual of basic audiometry*, 94. Baltimore, MD: University Park Press; 1978. p. 16–7.
- Frizzo ACF, Alves RPC, Colafêmia JF. Potenciais evocados auditivos de longa latência: um estudo comparativo entre os hemisférios cerebrais. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2001;67:618–25.
- Lightfoot GR. The N1-P2 cortical auditory evoked potential in threshold estimation. *Audiology on line*; 2010. Available from: <http://www.audiologyonline.com/articles/n1-p2-cortical-auditory-evoked-851> (accessed 10.10.15).
- Näätänen R, Picton T. The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology.* 1987;24:375–425.
- Lightfoot GR, Kennedy VL. Cortical electric response audiometry hearing threshold estimation: accuracy, speed and the effects of stimulus presentation features. *Ear Hear.* 2006;27:443–56.
- Beagley HA, Kellogg SE. A comparison of evoked response and subjective auditory thresholds. *Int J Audiol.* 1969;8:345–53.
- Coles RR, Mason SM. The results of cortical electric response audiometry in medico-legal investigations. *Br J Audiol.* 1984;18:71–8.
- Hoth S. Computer-aided hearing threshold determination from cortical auditory evoked potentials. *Scand Audiol.* 1993;22:165–77.
- Prasher D, Mula M, Luxon L. Cortical evoked potential criteria in the objective assessment of auditory threshold: a comparison of noise induced hearing loss with Ménière's disease. *J Laryngol Otol.* 1993;107:780–6.
- Rickards FW, De Vidi S, McMahon DS. Cortical evoked response audiometry in noise induced hearing loss claims. *Aust J Otolaryngol.* 1996;2:237–41.
- Tsu B, Wong LL, Wong EC. Accuracy of cortical evoked response audiometry in the identification of non-organic hearing loss. *Int J Audiol.* 2002;41:330–3.
- Tomlin D, Rance G, Graydon K, Tsialios I. 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.
- Yeung KNK, Wong LLN. Prediction of hearing thresholds: comparison of cortical evoked response audiometry and auditory steady state response audiometry techniques. *Int J Audiol.* 2007;46:17–25.
- Picton TW. *Human auditory evoked potentials*. San Diego, CA: Plural Publishing Inc; 2011.