



Brazilian Journal of Otorhinolaryngology

ISSN: 1808-8694

ISSN: 1808-8686

Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia
Cérvico-Facial.

Oliveira, Lilian Sanches; Didoné, Dayane Domeneghini; Durante, Alessandra Spada
Automated cortical auditory evoked potentials threshold estimation in neonates#
Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, vol. 85, no. 2, 2019, March-April, pp. 206-212
Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.01.001>

Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=392459423012>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's webpage in redalyc.org

UABM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Scientific Information System Redalyc

Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and
Portugal

Project academic non-profit, developed under the open access initiative



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Automated cortical auditory evoked potentials threshold estimation in neonates[☆]



Lilian Sanches Oliveira^a, Dayane Domeneghini Didoné^b e Alessandra Spada Durante^{a,*}

^a Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, Escola de Fonoaudiologia e Audiologia, São Paulo, SP, Brasil

^b Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Saúde da Criança e do Adolescente, Rio Grande do Sul, RS, Brasil

Recebido em 4 de setembro de 2017; aceito em 2 de janeiro de 2018

Disponível na Internet em 18 de junho de 2018

KEYWORDS

Audiology;
Auditory evoked
potentials;
Infant, newborn;
Electrophysiology

Abstract

Introduction: The evaluation of cortical auditory evoked potential has been the focus of scientific studies in infants. Some authors have reported that automated response detection is effective in exploring these potentials in infants, but few have reported their efficacy in the search for thresholds.

Objective: To analyze the latency, amplitude and thresholds of cortical auditory evoked potential using an automatic response detection device in a neonatal population.

Methods: This is a cross-sectional, observational study. Cortical auditory evoked potentials were recorded in response to pure-tone stimuli of the frequencies 500, 1000, 2000 and 4000 Hz presented in an intensity range between 0 and 80 dB HL using a single channel recording. P1 was performed in an exclusively automated fashion, using Hotelling's T^2 statistical test. The latency and amplitude were obtained manually by three examiners. The study comprised 39 neonates up to 28 days old of both sexes with presence of otoacoustic emissions and no risk factors for hearing loss.

Results: With the protocol used, cortical auditory evoked potential responses were detected in all subjects at high intensity and thresholds. The mean thresholds were 24.8 ± 10.4 dB NA, 25 ± 9.0 dB NA, 28 ± 7.8 dB NA and 29.4 ± 6.6 dB HL for 500, 1000, 2000 and 4000 Hz, respectively.

Conclusion: Reliable responses were obtained in the assessment of cortical auditory potentials in the neonates assessed with a device for automatic response detection.

© 2018 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: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.01.001>

[☆] Como citar este artigo: Oliveira LS, Didoné DD, Durante AS. Automated cortical auditory evoked potentials threshold estimation in neonates. Braz J Otorhinolaryngol. 2019;85:206–12.

* Autor para correspondência.

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

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

2530-0539/© 2018 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

Audiologia;
Potenciais evocados
auditivos;
Lactente,
recém-nascido;
Eletroneurofisiologia

Estimativa do limiar de potenciais evocados auditivos corticais automatizados em recém-nascidos**Resumo**

Introdução: O potencial evocado auditivo cortical tem sido o foco de estudos científicos. Alguns autores observaram que a detecção automatizada de respostas é eficaz na exploração desses potenciais em lactentes, mas poucos relataram sua eficácia na busca de limiares.

Objetivo: Analisar a latência, a amplitude e os limiares do potencial evocado auditivo cortical em recém-nascidos, com o uso de um dispositivo de detecção automática de resposta.

Método: Estudo transversal, observacional. Os potenciais evocados auditivos corticais foram registrados em resposta a estímulos de tons puros nas frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz e apresentados em uma faixa de intensidade entre 0–80 dBNA, com o uso de gravação de canal único. O P1 foi feito de forma exclusivamente automática, com o uso do teste estatístico T^2 de Hotelling. A latência e a amplitude foram obtidas manualmente por três examinadores. O estudo incluiu 39 recém-nascidos com até 28 dias de ambos os sexos, com presença de emissões otoacústicas e sem fatores de risco para perda auditiva.

Resultados: Com o protocolo usado, as respostas dos PEAC foram detectadas em todos os indivíduos em alta intensidade e limiares. Os limiares médios foram $24,8 \pm 10,4$ dBNA, $25 \pm 9,0$ dBNA, $28 \pm 7,8$ dBNA e $29,4 \pm 6,6$ dBNA para 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, respectivamente.

Conclusão: Foram obtidas respostas confiáveis na avaliação dos potenciais auditivos corticais em recém-nascidos com um dispositivo para detecção de resposta automática.

© 2018 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 audição é uma função fundamental de apoio ao processo de comunicação entre os indivíduos. É através da audição que uma criança pode vivenciar o mundo dos sons, promover o desenvolvimento da linguagem falada. A integridade anatômica e funcional do sistema auditivo periférico e central, juntamente com a exposição a experiências auditivas, são requisitos básicos para a aquisição e desenvolvimento normal da linguagem.¹ Assim, assegurar estimativas confiáveis dos limiares auditivos em lactentes é primordial. No entanto, investigar a audição nos primeiros meses de vida sempre representou um desafio para os audiologistas.

Nos primeiros meses de vida, não é possível determinar com precisão os limiares auditivos ao observar respostas comportamentais aos estímulos sonoros isoladamente. Portanto, as medidas objetivas da audição são ferramentas essenciais para verificar corretamente as observações subjetivas e integrar essa investigação cruzada. Uma medida objetiva importante é o Potencial Evocado Auditivo (PEA). O PEA é o resultado de atividades neurais nas vias auditivas em resposta a um estímulo sonoro e alguns tipos de PEA são úteis para estabelecer os limiares auditivos em lactentes.²

A atividade elétrica neural gerada por estímulos acústicos pode ser detectada em muitos níveis diferentes da via auditiva, de acordo com a latência de resposta em relação aos estímulos (milissegundos – ms). Essas respostas podem ser classificadas em três grupos: PEA de latência curta, isto é, aqueles que ocorrem dentro dos primeiros 10-12 ms; PEA de média latência, gerados no intervalo de 12-50 ms, e PEA de latência longa (ou cortical), que ocorre entre 50-600 ms.³

Os Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEAC) foram descobertos na década de 1930 e pesquisados intensivamente nas décadas de 1960 e 1970.

Em adultos, os PEAC são representados por complexos de ondas chamados P1, N1 e P2. Em recém-nascidos com audição normal, a resposta do PEAC ocorre em um pico positivo acentuado a aproximadamente 200-300 ms após o estímulo acústico,⁴ há alterações na forma e latência dos componentes ao longo dos 14-16 anos. As mudanças morfológicas e o amadurecimento do Sistema Nervoso Central (SNC) melhoram a eficácia sináptica e são responsáveis por essas mudanças durante os primeiros anos de vida.^{5,6}

A detecção do PEAC tem inúmeros benefícios, inclusive a capacidade de avaliar todo o sistema auditivo, ou seja, do tronco cerebral até o córtex auditivo. Outra vantagem é que o exame pode ser feito com o indivíduo acordado, ou seja, em crianças mais velhas, com o uso de fones de ouvido de inserção ou em campo livre, o que amplia sua aplicabilidade e o torna mais interessante.^{7,8} Por ser um potencial exógeno, o componente P1 está relacionado à detecção do estímulo acústico no córtex auditivo primário e, como é amplamente aceito que não é afetado pelo sono, pode ser usado em pacientes acordados ou dormindo.⁹

A necessidade de avaliações precisas e confiáveis, juntamente com os principais desenvolvimentos tecnológicos nas últimas décadas, abriu o caminho para o progresso dos estudos nessa área. Na Austrália, o *National Acoustic Laboratories* (NAL), a divisão de pesquisa da autoridade estatutária *Australian Hearing*, desenvolveu um dispositivo para registrar Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEACs) e um protocolo para analisar objetivamente as respostas, denominado *HEARLab System*, o qual tem alta

sensibilidade para detecção de respostas, redução de ruído e artefatos. Além disso, a detecção de respostas é feita de forma automatizada pelo dispositivo, reduz-se assim a subjetividade do examinador. Nas respostas de latência inicial, os potenciais evocados são relativamente estáveis, mas em potenciais evocados de latência tardia a detecção pode ser prejudicada pela instabilidade do potencial evocado verdadeiro, bem como pelo ruído residual.¹⁰ Os PEACs em crianças pequenas apresentam maior variabilidade do que em adultos devido ao aumento do ruído eletrofisiológico.¹¹ Como resultado, métodos comuns para a detecção de resposta, com observação visual de resposta, uma latência plausível para componentes de resposta-chave e rastreamento de resposta (ou seja, aumento da latência e diminuição da amplitude de resposta com níveis decrescentes de apresentação de estímulo), podem ser inadequados nessa população. Portanto, métodos que reduzem o ruído residual, como os presentes no *HEARLab System*, são necessários.¹⁰

Alguns autores têm demonstrado que a detecção automatizada de respostas pode contribuir de forma significativa para explorar esses potenciais na população infantil, mas poucos relataram sua eficácia na determinação de limiares.¹²⁻¹⁵

Este estudo é particularmente relevante no contexto atual da avaliação audiológica infantil, pois nenhum estudo que tenha usado analisadores automatizados de PEAC ou respostas padronizadas na população neonatal se encontra disponível.

Portanto, nosso objetivo foi analisar o PEAC em termos de latências, amplitudes a 80 dB NA e limiares de PEAC nas frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, em recém-nascidos com presença de emissões otoacústicas e sem fatores de risco para perda auditiva, com o uso de um dispositivo de detecção automática de resposta.

Método

O estudo foi submetido ao e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Santa Casa de São Paulo (nº 951.829). Os pais ou responsáveis legais dos participantes foram informados sobre os objetivos do estudo e assinaram um formulário de consentimento livre e esclarecido.

Os indivíduos incluídos no estudo foram recém-nascidos recrutados na maternidade entre fevereiro e setembro de 2015. As famílias foram convidadas a participar do estudo durante a permanência no alojamento conjunto anexo à maternidade. Foram selecionados recém-nascidos com até 28 dias de vida aprovados na triagem auditiva neonatal, com idade gestacional de pelo menos 37 semanas e sem indicadores de risco para perda auditiva, de acordo com as diretrizes do Comitê Conjunto de Audição Infantil.¹⁶

Foram excluídos os recém-nascidos com síndromes ou anormalidades neurológicas, complicações pré e perinatais ou agitação extrema e excesso de movimento durante o exame que impedissem a conclusão da avaliação.

Inicialmente, foram selecionados 45 recém-nascidos, dos quais seis foram posteriormente excluídos por não atender aos critérios de inclusão do estudo. A amostra final do estudo foi de 39 recém-nascidos, 19 do sexo feminino e 20 do masculino.

Os PEACs foram registrados em resposta a estímulos de tom puro com frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz,

apresentadas em uma faixa de intensidade entre 0-80 dBNA com o uso de gravação de canal único, com fones de ouvido de inserção ER-3A, com polaridade alternada e um intervalo interestímulo de 1,125 ms.

Antes do início do estudo, o dispositivo foi calibrado em dBNA de acordo com os critérios técnicos estabelecidos pelo fabricante.

Um otoscópio foi usado para inspecionar o meato acústico externo dos indivíduos avaliados para excluir o excesso de cerúmen e garantir que não houvesse contra-indicações para o uso de fones de ouvido de inserção.

Eletrodos descartáveis foram afixados nas posições Fpz (terra), Cz (ativo) e M1 ou M2 (referência) e a impedância foi mantida em um nível abaixo de 5 Kohms.

Os exames foram feitos em uma sala à prova de som com os indivíduos posicionados no colo das respectivas mães ou em uma cadeira apropriada para a idade da criança. Durante a avaliação, os recém-nascidos permaneceram em sono leve. O estado comportamental dos recém-nascidos foi monitorado por dois examinadores audiologistas, que monitoraram os recém-nascidos ao longo da avaliação. Por ser um potencial exógeno, o componente P1 está relacionado à detecção do estímulo acústico no córtex auditivo primário e a maioria dos estudos concorda que o componente tem pouca relação com os estágios de sono ou vigília.⁹ Portanto, no presente estudo, os recém-nascidos permaneceram em sono leve.

A amplificação analógica diferencial foi de 1,210 vezes com o uso de um filtro passa-alta de 12 dB com oitavas de 4000 Hz e um filtro passa-baixa de 6 dB com oitavas abaixo de 3000 Hz. O estímulo *tone burst* foi de 40 ms, com polaridade alternada, envelope cossenoide, velocidade de estímulo de 0,5 Hz, alternância de 10 ms e um patamar de 30 ms. A rejeição de artefatos foi baseada na diferença de corrente dos eletrodos ativo-referência estabelecida pelo equipamento. As respostas apresentadas com um mínimo de 50 estímulos foram aceitas quando a estatística de detecção objetiva foi $p < 0,001$. Caso contrário, uma resposta do PEAC foi considerada presente quando $p < 0,05$ após atingir o número aceito de 150 *epochs*. O ruído residual foi controlado durante todas as avaliações e o mostrador do *HEARLab System* indicou a qualidade da resposta cortical registrada em relação ao nível de ruído do sinal. Um nível de ruído residual menor ou igual a $3,2 \mu V$ indica uma gravação de boa qualidade; um valor entre $3,2$ e $3,6 \mu V$ indica uma gravação ligeiramente comprometida e um valor superior a $3,6 \mu V$ indica uma gravação de baixa qualidade. Neste estudo, o valor máximo permitido para o ruído foi de $3,6 \mu V$ e, por essa razão, foram excluídos os participantes com agitação extrema e excesso de movimento. O nível de ruído ambiental não excedeu os 35 dB NPS.

A avaliação fisiológica foi feita por meio do estudo de potenciais evocados auditivos corticais por estimulação acústica monoaural, com a orelha de teste escolhida aleatoriamente. Foram testadas 15 orelhas direitas e 25 esquerdas nas frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, com amplitudes, latências e limiares eletrofisiológicos registrados para cada frequência avaliada.

Os estímulos foram apresentados com pequenas modificações, de acordo com o protocolo de decisão de estímulos acústicos proposto por Van Dun et al.¹⁷ devido à maior facilidade de uso e velocidade nas respostas do PEAC. A intensidade máxima inicial foi estabelecida em

80 dBNA para avaliar a integridade da via auditiva ao nível central. Posteriormente, o estímulo foi testado com uma intensidade de 30 dBNA. Na ausência de resposta a essa intensidade, o estímulo foi aumentado em incrementos de 5 dB até o limiar ser detectado. No caso de uma resposta a 30 dBNA, o estímulo foi fornecido com uma intensidade de 15 dBNA, 5 dBNA e 0 dBNA. Na ausência de resposta a 5 dBNA, o estímulo foi aumentado em incrementos de 5 dBNA até atingir o limiar eletrofisiológico. Todos os indivíduos foram testados com o uso desse protocolo modificado. Os estímulos nas diferentes frequências foram apresentados aleatoriamente para evitar a habituação do sistema nervoso auditivo central.⁷

A presença de P1 foi testada objetivamente com o teste T2 de Hotelling, uma extensão multivariada do teste *t* comum de amostra única. O teste T2 de Hotelling usa dados vetoriais e testa uma hipótese nula de que o vetor médio verdadeiro é igual a um vetor especificado, nesse caso o vetor zero. Cada "ponto de dados" era uma *epoch* em função *binning* em nove dimensões e a hipótese nula a ser testada era que a resposta cortical média em cada *bin* era zero, o que considera respostas presentes quando $p < 0,05$. Esse método mostrou grande sensibilidade e especificidade na detecção de respostas corticais.⁸ Quando havia altos níveis de ruído ou dúvidas sobre as respostas P1, a avaliação foi feita mais de uma vez.

O registro da latência e da amplitude das respostas P1 com 80 dBNA de intensidade foi feito por três pesquisadores com experiência em eletrofisiologia, pois o equipamento não faz isso automaticamente. A amplitude P1 foi considerada no pico mais alto na latência de 100 a 500 ms.

A amplitude e a latência foram consideradas apenas a 80 dB NA, uma vez que o objetivo do presente estudo foi verificar a velocidade e o recrutamento de neurônios do córtex auditivo a forte intensidades. Além disso, em intensidades menores, a latência e a amplitude podem ser variáveis, o que pode comprometer a comparação entre os grupos.

A [figura 1](#) mostra um exemplo de estimativas de um limiar de potencial evocado auditivo cortical automatizado em um recém-nascido.

Os testes de Mann-Whitney, Wilcoxon e análise de variância (Anova) para medidas repetidas foram usados na análise estatística. Em todos os testes, foi adotado um nível de significância de 0,05 (ou 5%) para a rejeição da hipótese nula.

Resultados

A duração média de um exame foi de 73,3 minutos, o mais curto foi de 38 minutos e o mais longo de 111 minutos. Essa duração variou não apenas devido às respostas, mas também como resultado do movimento e da agitação dos indivíduos.

Os valores de latência e amplitude a 80 dBNA de intensidade para as frequências testadas são apresentados nas [tabelas 1 e 2](#), respectivamente, não mostraram diferença estatisticamente significativa entre as frequências.

O limiar médio obtido foi de $24,8 \pm 10,4$ dBNA, $25 \pm 9,0$ dBNA, $28,72 \pm 7,84$ dBNA e $29,4 \pm 6,6$ dBNA para 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, respectivamente. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre as frequências testadas ([tabela 3](#)).

A [figura 2](#) mostra a latência como função da intensidade, a latência do componente P1 foi inversamente proporcional à intensidade do estímulo acústico.

Discussão

A necessidade de aumentar o conhecimento sobre a audição nos primeiros meses de vida levou os pesquisadores a dedicar atenção significativa a essa área em busca de novos procedimentos. Os métodos objetivos de avaliação da audição tem demonstrado ser eficazes para esse fim, particularmente em recém-nascidos e crianças pequenas. Com os avanços

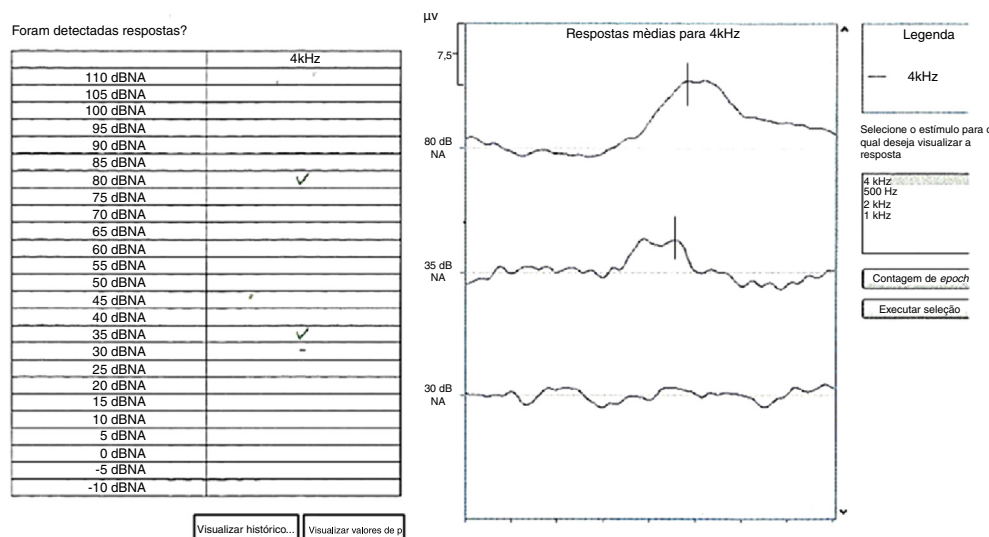


Figura 1 Um exemplo de estimativa de limiar de potencial evocado auditivo cortical automático para 4000Hz. No exemplo, o equipamento considerou respostas presentes em 80 e 35 dBNA. A linha contínua negra indica a latência de P1 considerada pelos três examinadores.

Tabela 1 Valores de latência P1 (ms) a 80 dBNA para as frequências testadas

Latência P1	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Valor de <i>p</i>
Média	242,79	225,54	232,74	244,51	0,411
Mediana	243	226	231	241	
Desvio-padrão	51,30	36,31	39,84	46,26	
Mínimo	137	125	160	157	
Máximo	419	307	353	370	
IC	33,27	23,54	25,83	30	
N	39	39	39	39	

IC, intervalo de confiança; N, número de indivíduos.

Tabela 2 Valores de amplitude P1 (μ V) a 80 dBNA para as frequências testadas

Amplitude P1	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Valor de <i>p</i>
Média	6,41	7,36	6,31	5,88	0,550
Mediana	6,07	7,15	5,43	5,78	
Desvio-padrão	3,39	4,10	3,31	2,83	
Mínimo	1,30	2,48	2,13	1,94	
Máximo	18,78	21,83	14,49	15,95	
IC	2,2	2,66	2,14	1,84	
N	39	39	39	39	

IC, intervalo de confiança; N, número de indivíduos.

técnicos das últimas décadas, o PEAC feito por dispositivos automatizados ganhou importância nesse campo. No entanto, a escassez de estudos que usaram esse método e a ausência de parâmetros na população infantil encorajaram o presente estudo.

A eficácia da detecção estatística automatizada em comparação com examinadores experientes na detecção da presença de PEAC infantil já foi estudada em outras pesquisas, que evidenciaram sua confiabilidade.¹⁰ O protocolo elaborado neste estudo para avaliar a audição em recém-nascidos, com o uso de um dispositivo para detecção de resposta automática de PEAC, de acordo com as modificações aplicadas ao modelo de Van Dun,¹⁷ mostrou-se efetivo e viável na detecção de respostas corticais em 100% dos indivíduos testados. O estudo inicial a 80 dBNA permitiu a determinação da latência e da amplitude de P1 no

grupo avaliado, possibilitou a análise do processamento de estímulos sonoros no nível central.

Alguns audiologistas têm dificuldades de detectar e interpretar respostas eletrofisiológicas baseadas exclusivamente na análise visual das respostas, com métodos que dependem da subjetividade e da experiência clínica do examinador, particularmente em níveis baixos ou limiares-limite.^{8,15} O dispositivo automático para detecção de resposta do PEAC e o método estatístico adotado pelo dispositivo mostraram-se sensíveis e confiáveis para detectar respostas corticais, corroboraram os resultados de estudos anteriores.^{7,8,10}

Estudos de limiares corticais revelaram uma correlação entre limiares eletrofisiológicos e métodos comportamentais para avaliar a audição tanto em pessoas com audição normal quanto em deficientes auditivos.^{13,17,18}

No presente estudo, os recém-nascidos com audição normal foram avaliados em frequências específicas. Foram encontrados limiares de 24,8, 25, 28,7 e 29,4 dBNA para as frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, respectivamente. Não foram observadas diferenças significantes entre as frequências testadas, o que tornou esse procedimento mais atrativo em comparação com outros métodos usados para estabelecer limiares eletrofisiológicos, para os quais outros estudos relataram limiares mais altos em frequências menores do que 500 Hz.¹⁹ Em uma metanálise, Stapells²⁰ relata que os limiares para o Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico em crianças com audição normal são: 19,5 ($\pm 0,5$) dBNA a 500 Hz, 17,4 ($\pm 0,7$) dBNA a 1000 Hz, 13,6 ($\pm 0,9$) dBNA a 2000 Hz e 15,5 ($\pm 0,7$) dBNA a 4000 Hz. Os limiares do PEAC obtidos neste estudo foram superiores aos descritos por Stapells para Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico.²⁰ Estudos adicionais são necessários para confirmar esses achados, mas o rápido amadurecimento do tronco encefálico em comparação com o sistema nervoso central pode influenciar os limiares obtidos. Um estudo⁷ relatou que as correções e os desvios-padrão entre os limiares corticais auditivos e os limiares comportamentais em adultos foram $17,2 \pm 7,4$ para 500 Hz, $15,5 \pm 6,0$ para 1000 Hz, $16,8 \pm 7,8$ para 2000 Hz e $16,0 \pm 8,4$ para 4000 Hz. Esses valores podem ser subtraídos dos limiares encontrados para um PEAC totalmente automático para estimar limiares comportamentais.

Embora os limiares médios do PEAC tenham sido inferiores a 30 dBNA, a variação dos limiares foi de 0 a 50 dBNA. Esse fato evidencia e corrobora a literatura científica, a qual mostra que em alguns casos de audição normal os limiares corticais podem ser superiores aos limiares comportamentais.¹⁰ Cone e Whitaker²¹ evidenciaram o potencial auditivo cortical P1 em 30 dBNA em 77% dos lactentes, demonstraram que as respostas são mais difíceis de visualizar nos limiares, devido à imaturidade das áreas centrais. Alguns pesquisadores sugerem que 33% das respostas do PEAC podem estar ausentes, mesmo quando os estímulos são audíveis,¹⁴ e que em recém-nascidos e crianças pequenas a resposta imatura pode ser registrada para estímulos bem acima do limiar.²²

A análise atual das latências para as frequências testadas produziu valores de 242,79 para 500 Hz; 225,54 para 1000 Hz; 232,74 para 2000 Hz e 244,51 para 4000 Hz a 80 dBNA. Esses achados refletem aqueles relatados por Sharma,⁴ que encontrou um pico positivo acentuado, P1, em

Tabela 3 Descrição dos limiares corticais para as frequências testadas (dBNA)

Limiares	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Valor de <i>p</i>
Média	24,87	25	28,72	29,49	0,085
Mediana	25	30	30	30	
Desvio-padrão	10,41	9,03	7,84	6,66	
Mínimo	0	0	0	15	
Máximo	40	35	40	50	
IC	6,76	5,86	5,08	4,32	
N	39	39	39	39	

IC, intervalo de confiança; N, número de indivíduos.

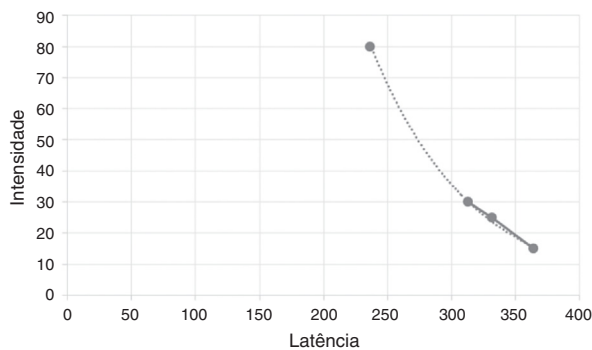


Figura 2 Representação da função de latência do potencial cortical P1 por intensidade.

torno de 200-300ms, após um estímulo sonoro em recém-nascidos com audição normal. No presente estudo, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre as frequências, o que corroborou os resultados de Golding,⁵ que, apesar de ter usado estímulos de fala, também não encontrou diferenças entre os estímulos. No entanto, alguns autores sugerem que os sons são decodificados de forma distinta no córtex auditivo,^{23,24} um achado não observado no presente estudo, possivelmente explicado pelo fato de que apenas a capacidade de detectar estímulos no córtex auditivo foi demonstrada. Algumas pesquisas descrevem latências mais longas para o estímulo *tone burst* quando comparadas com sons da fala.²¹ Embora os estímulos da fala representem melhor o processamento do estímulo no nível central, não foi possível comparar estímulos da fala com o *tone burst* no presente estudo, já que o módulo usado no equipamento não tem som de fala. Em relação às amplitudes, os valores foram 6,41, 7,36, 6,31 e 5,88 μ V para as frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, respectivamente. Não foram encontrados estudos semelhantes na literatura para comparação com esses resultados, o que os tornou valores de referência para o protocolo usado.

Neste estudo houve aumento da latência à medida que a intensidade diminuía. Esse fato corrobora outro estudo, que mostrou que, como os outros potenciais evocados auditivos, a latência é influenciada pela intensidade acústica devido à menor estimulação neuronal.²²

Além disso, o estudo do PEAC pode contribuir objetivamente para aumentar o conhecimento sobre o processo de amadurecimento da via auditiva.^{5,6,25} O desenvolvimento do sistema auditivo começa durante a gestação e continua até a adolescência, desde as estruturas periféricas até as centrais.^{24,26} Estudos recentes sobre o PEA com o uso de sons de fala²⁷ mostraram um padrão de mudança de respostas do PEATE em diferentes fases da vida, estabeleceram que a plasticidade do desenvolvimento do tronco encefálico continua além dos dois primeiros anos de vida. Futuras investigações do PEATE podem ajudar a elucidar o processo de plasticidade e estabilidade das vias auditivas.

A duração da avaliação na população pediátrica também é um fator-chave para o diagnóstico bem-sucedido. Este estudo mostrou tempos mais curtos do que outros procedimentos clínicos similares, com um tempo de teste médio de uma hora e 13 minutos, menor do que a avaliação eletrofisiológica por outros métodos.¹⁹ A duração média do exame foi de 73,3 minutos. Outras pesquisas¹⁰ descreveram uma

duração média da sessão de gravação cortical de 43 minutos, enquanto outros pesquisadores⁷ relataram um tempo de 40 minutos no teste do limiar cortical de indivíduos com deficiência auditiva. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que os pesquisadores usaram transdutores diferentes para evocar as respostas.

Os resultados deste estudo demonstraram a eficácia do uso de detecção de resposta automática ao estimar limiares corticais em uma população de lactentes. Apesar dos resultados positivos deste estudo, são necessários mais estudos para avaliar a concordância dos resultados da mensuração automática dos limiares corticais em comparação com avaliações comportamentais, tanto em crianças com audição normal quanto naquelas com perda auditiva. Alguns estudos¹⁰ relataram que os limiares corticais são mais facilmente visualizados em crianças com perda auditiva devido à presença de recrutamento, o que aumenta a amplitude das respostas. No entanto, os mesmos pesquisadores afirmam que o teste T2 de Hotelling, parte do *HEARLab System*, pode detectar limiares auditivos normais em crianças.

Embora alguns procedimentos estabelecidos sejam amplamente usados para avaliar os limiares eletrofisiológicos, como o Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico e o mais recente Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, nenhum método deve ser analisado isoladamente. Embora sejam necessárias técnicas objetivas nessa faixa etária, o monitoramento da audição deve incluir primariamente a avaliação audiológica comportamental. Neste estudo, a correlação entre avaliação cortical e comportamental não foi feita por causa das limitações da avaliação comportamental em crianças menores de seis meses.

O PEAC permite a determinação, tanto na faixa etária avaliada como também em indivíduos que não podem ser avaliados pela abordagem comportamental, da forma como o estímulo sonoro atinge o córtex auditivo, dessa forma enriquece o protocolo objetivo de avaliação auditiva. Respostas confiáveis foram obtidas na avaliação dos potenciais corticais nos recém-nascidos avaliados com um dispositivo para detecção de resposta automática.

Conclusão

O método criado foi eficaz na análise da resposta automatizada de estimativa de limiares auditivos de recém-nascidos com audição normal, com o uso de estímulos de frequência específicos, com valores médios de 24,8 dBNA para 500 Hz; 25 dBNA para 1000 Hz; 28,7 dBNA para 2000 Hz e 29,4 dBNA para 4000 Hz.

Os valores de latência e amplitude a 80 dBNA de intensidade não mostraram diferença estatisticamente significativa entre as frequências testadas. A latência do componente P1 é inversamente proporcional à intensidade do estímulo acústico.

Financiamento

O *HEARLab System* foi adquirido com fundos de pesquisa (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [Fapesp] 2011/19556-3).

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

À Prof. Erika Fukunaga, do Centro de Estatística da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, pela análise estatística.

Referências

1. Moon C. The role of early auditory development in attachment and communication. *Clin Perinatol*. 2011;38:657–69.
2. Paulraj MP, Subramaniam K, Yaccob SB, Adom AH, Hema CR. Auditory evoked potential response and hearing loss: a review. *Open Biomed Eng J*. 2015;9:17–24.
3. Hall JW. *New handbook of auditory evoked responses*. Boston: Pearson, Allyn and Bacon; 2007.
4. Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear implants: implications for age of implantation. *Ear Hear*. 2002;23:532–9.
5. Golding M, Purdy S, Sharma M, Dillon H. The effect of stimulus duration and interstimulus interval on cortical responses in infants. *Aust N Z J Audiol*. 2006;28:122–36.
6. Rotteveel JJ, de Graaf R, Stegeman DF, Colon EJ, Visco YM. The maturation of the central auditory conduction in preterm infants until three months post term V. The auditory cortical response (ACR). *Hear Res*. 1987;27:95–110.
7. Bardy F, Van Dun B, Dillon H, Seeto M, Qin H, Loi T, et al. The cortical automatic threshold estimation in adults. *Hear J*. 2016;69:32–7.
8. 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.
9. Nir Y, Vyazovskiy VV, Cirelli C, Banks MI, Tononi G. Auditory responses and stimulus-specific adaptation in rat auditory cortex are preserved across NREM and REM sleep. *Cereb Cortex*. 2015;25:1362–78.
10. 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.
11. Hyde M. The slow vertex potential: properties and clinical application. In: Jacobson JT, editor. *Principles and applications in auditory evoked potentials*. Needham Heights: Allyn and Bacon; 1994. p. 179–218.
12. Cardon G, Campbell J, Sharma A. Plasticity in the developing auditory cortex: evidence from children with sensorineural hearing loss and auditory neuropathy spectrum disorder. *J Am Acad Audiol*. 2012;23:396–411.
13. 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.
14. Van Dun B, Carter L, Dillon H. Sensitivity of cortical auditory evoked potential detection for hearing-impaired infants in response to short speech sounds. *Audiol Res*. 2012;2:e13.
15. Purdy SC, Sharma M, Munro KJ, Morgan CL. Stimulus level effects on speech-evoked obligatory cortical auditory evoked potentials in infants with normal hearing. *Clin Neurophysiol*. 2013;124:474–80.
16. American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing. Year 2007 position statement: Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. *Pediatrics*. 2007;120:898–921.
17. 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.
18. Durante AS, Wieselberg MB, Carvalho S, Costa N, Pucci B, Gudayol N, et al. Cortical auditory evoked potential: evaluation of speech detection in adult hearing aid users. *Codas*. 2014;26:367–73.
19. Ribeiro FM, Carvalho RM, Marcoux AM. Auditory steady-state evoked responses for preterm and term neonates. *Audiol Neurotol*. 2010;15:97–110.
20. Stapells DR. Threshold estimation by the tone-evoked auditory brainstem response: a literature meta-analysis. *J Speech Lang Pathol Audiol*. 2004;24:74–83.
21. Cone W, Whitaker R. Dynamics of infant cortical auditory evoked potentials (CAEPs) for tone and speech tokens. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2013;77:1162–73.
22. British Society of Audiology. Recommended procedure – cortical auditory evoked potential (CAEP) testing; 2016. <https://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2016/05/Cortical-ERA.pdf>
23. Agung K, Purdy SC, McMahon CM, Newall P. The use of cortical auditory evoked potentials to evaluate neural encoding of speech sounds in adults. *J Am Acad Audiol*. 2006;17:559–72.
24. Lahav A, Skoe E. An acoustic gap between the NICU and womb: a potential risk for compromised neuroplasticity of the auditory system in preterm infants. *Front Neurosci*. 2014;8:381.
25. Cardon G, Sharma A. Central auditory maturation and behavioral outcome in children with auditory neuropathy spectrum disorder who use cochlear implants. *Int J Audiol*. 2013;52:577–86.
26. Eggermont JJ, Moore JK. Morphological and functional development of the auditory nervous system. In: Werner LA, Fay RR, Popper NA, editors. *Human auditory development*. London: Springer New York Dordrecht Heidelberg; 2012. p. 61–105.
27. Skoel E, Krizman J, Anderson S, Kraus N. Stability and plasticity of auditory brainstem function across the lifespan. *Cereb Cortex*. 2015;25:1415–26.