

The influence of speech stimuli contrast in cortical auditory evoked potentials

Influência dos contrastes de fala nos potenciais evocados auditivos corticais

Kátia de Freitas Alvarenga¹, Leticia Cristina Vicente², Raquel Caroline Ferreira Lopes², Rubem Abrão da Silva³, Marcos Roberto Banhara⁴, Andréa Cintra Lopes⁵, Lilian Cássia Bornia Jacob-Corteletti⁵

Keywords:

audiology;
auditory pathways;
electrophysiology;
event-related
potentials, P300;
evoked potentials,
auditory.

Palavras-chave:

audiologia;
eletrofisiologia;
potenciais evocados
auditivos;
potencial
evocado P300;
vias auditivas.

Abstract

Studies about cortical auditory evoked potentials using the speech stimuli in normal hearing individuals are important for understanding how the complexity of the stimulus influences the characteristics of the cortical potential generated. **Objective:** To characterize the cortical auditory evoked potential and the P₃ auditory cognitive potential with the vocalic and consonantal contrast stimuli in normally hearing individuals. **Method:** 31 individuals with no risk for hearing, neurologic and language alterations, in the age range between 7 and 30 years, participated in this study. The cortical auditory evoked potentials and the P₃ auditory cognitive one were recorded in the Fz and Cz active channels using consonantal (/ba-/da/) and vocalic (/i-/a/) speech contrasts. Design: A cross-sectional prospective cohort study. **Results:** We found a statistically significant difference between the speech contrast used and the latencies of the N₂ ($p = 0.00$) and P₃ ($p = 0.00$) components, as well as between the active channel considered (Fz/Cz) and the P₃ latency and amplitude values. These correlations did not occur for the exogenous components N₁ and P₂. **Conclusion:** The speech stimulus contrast, vocalic or consonantal, must be taken into account in the analysis of the cortical auditory evoked potential, N₂ component, and auditory cognitive P₃ potential.

Resumo

Estudos voltados aos potenciais evocados auditivos com estímulos de fala em indivíduos ouvintes são importantes para compreender como a complexidade do estímulo influencia nas características do potencial cognitivo auditivo gerado. **Objetivo:** Caracterizar o potencial evocado auditivo cortical e o potencial cognitivo auditivo P₃ com estímulos de contrastes vocálico e consonantal em indivíduos com audição normal. **Método:** Participaram deste estudo 31 indivíduos sem alterações auditivas, neurológicas e de linguagem na faixa etária de 7 a 30 anos. Os potenciais evocados auditivos corticais e cognitivo auditivo P₃ foram registrados nos canais ativos Fz e Cz utilizando-se os contrastes de fala consonantal (/ba-/da/) e vocálico (/i-/a/). Desenho: Estudo de coorte, transversal e prospectivo. **Resultados:** Houve diferença entre o contraste de fala utilizado e as latências dos componentes N₂ ($p = 0,00$) e P₃ ($p = 0,00$), assim como entre o canal ativo considerado (Fz/Cz) e os valores de latência e amplitude de P₃. Estas diferenças não ocorreram para os componentes exógenos N₁ e P₂. **Conclusão:** O contraste do estímulo de fala, vocálico ou consonantal, deve ser considerado na análise do potencial evocado cortical, componente N₂, e do potencial cognitivo auditivo P₃.

¹ Professora Doutora Associada da Universidade de São Paulo (Professora Associada do Departamento de Fonoaudiologia da Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, campos Bauru, Brasil).

² Fonoaudióloga (Mestranda em Ciências dos Processos e Distúrbios da Comunicação pela Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, campus Bauru, Brasil).

³ Fonoaudiólogo Especialista em Saúde da Família (Especialista em Saúde da Família e Comunidade pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil).

⁴ Professor Doutor (Fonoaudiólogo do Programa de Implante Coclear e de Fissura Lábio-palatina do Hospital Santo Antônio - Obras sociais Irmã Dulce, Salvador, Bahia, Brasil).

⁵ Professora Doutora Associada da Universidade de São Paulo (Professora Associada do Departamento de Fonoaudiologia da Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, campos Bauru, Brasil).

Endereço para correspondência: Kátia de Freitas Alvarenga. Al. Dr. Octávio Pinheiro Brisola, nº 9-75. Bauru - SP. Brasil. CEP: 17012-901.

E-mail: katialv@fob.usp.br

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob processo individual: 110767/2005-5.

Este artigo foi submetido no SGP (Sistema de Gestão de Publicações) do BJORL em 5 de outubro de 2012. cod. 10506.

Artigo aceito em 19 de janeiro de 2013.

INTRODUÇÃO

A pesquisa do potencial evocado auditivo cognitivo P_3 permite avaliar a atividade neurofisiológica de processos que ocorrem no córtex cerebral relacionados com a cognição, como a memória e a atenção auditiva¹. Por se tratar de um método objetivo, a sua aplicabilidade clínica tem sido demonstrada em diferentes quadros neurológicos e mentais, alterações auditivas, de linguagem e aprendizagem, entre outros²⁻⁶.

No paradigma *oddball*, são utilizados dois estímulos auditivos, um raro e outro frequente, que apresentam um contraste entre si, construído a partir da dimensão de frequência, intensidade, significado ou categoria. Com a utilização de dois canais de registro, é possível observar para o estímulo frequente, os potenciais corticais N_1 , P_2 e N_2 e, para o estímulo raro, o componente P_3 . O número utilizado para denominar estes componentes refere-se à ordem de ocorrência em que os potenciais são registrados, e as letras para caracterizar picos positivos (P) e negativos (N). Importante ressaltar que o P_3 é considerado um potencial cognitivo, diferente dos demais, pois corresponde à atividade elétrica que ocorre no sistema auditivo quando há a discriminação do estímulo raro entre os frequentes.

Estudos caracterizaram o componente P_3 quanto à latência e amplitude ao ser evocado por tons puros, em indivíduos ouvintes. No entanto, o processamento do sinal acústico ocorre de forma diferenciada entre sons verbais e não verbais⁷⁻¹⁰, sendo difícil generalizar a informação do processamento auditivo de um estímulo simples para um estímulo mais complexo, como a fala¹¹.

O potencial evocado auditivo cognitivo P_3 gerado por estímulo de fala tem sido utilizado para fornecer informações do processamento do sinal de fala em situações em que a avaliação comportamental não é um método preciso, além de auxiliar na identificação de alterações na detecção ou discriminação, informação esta que pode direcionar a reabilitação terapêutica de um indivíduo¹².

Assim, estudos voltados aos potenciais evocados auditivos com estímulos de fala são importantes para compreender como a complexidade do estímulo influencia nas características do potencial gerado, como a latência e amplitude. A Tabela 1 apresenta os valores de latência dos componentes dos potenciais evocados auditivos corticais e cognitivo auditivo P_3 , assim como valores de amplitude deste, evocados por estímulo de fala (sílabas) em adultos com audição normal.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os potenciais evocados auditivos corticais e o cognitivo auditivo P_3 com estímulo de fala com contrastes vocálico e consonantal em indivíduos com audição normal.

MÉTODO

Trata-se de um estudo de coorte transversal e prospectivo realizado com aprovação do Comitê de Ética, processo nº 069/2003. Todos os indivíduos avaliados ou seus responsáveis assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido anteriormente à realização do exame.

Foram avaliados 31 indivíduos com audição normal e sem histórico de risco para alterações auditivas, neurológicas e de linguagem na faixa etária de 7 a 30 anos, sendo 13 do gênero feminino e 18 do masculino.

A ausência da perda auditiva foi evidenciada pelo limiar auditivo ≤ 25 dBNA na audiometria tonal liminar, escores 92% para vocábulos monossílabos na pesquisa do índice de reconhecimento de fala (IRF), curva timpanométrica tipo A e presença de reflexos acústicos entre 70 e 90 dBNS. Foram utilizados o audiômetro *Madsen*[®], modelo *Midmate 622* com fones TDH-39, calibrado no padrão ANSI-69, e o imitanciómetro *Interacoustic*[®], modelo AZ7.

Durante o exame, os indivíduos permaneceram deitados em uma maca em posição dorsal e foram orientados a manter o olhar o mais fixo possível para redução do artefato causado pela movimentação ocular. Ao discriminar o estímulo raro entre os frequentes, os indivíduos foram instruídos a realizar um ato motor simples (levantar a mão).

O registro simultâneo dos complexos N_1/P_2 e N_2/P_3 nos canais Fz e Cz foi considerado como critério para definir a presença dos potenciais evocados auditivos corticais e do cognitivo auditivo P_3 . O equipamento *Biologic's Evoked Potential System*[®] (EP) foi utilizado com os parâmetros descritos na Tabela 2.

A amostra de fala foi desenvolvida em uma sala acusticamente tratada de um laboratório. As emissões foram gravadas por meio de microfone unidirecional, diretamente na placa de computador, pelo programa livre *Praat*[®] (www.praat.org), com amostragem de 22 kHz. Solicitou-se que o locutor (homem, 22 anos de idade com qualidade vocal fluida) realizasse as emissões naturalmente. Inicialmente, trabalhou-se no contraste por meio do ponto de articulação /ba-/da/. Pela definição espectral e disposição temporal, o /ba/ configurou-se como o estímulo frequente e o /da/ como o raro. As sílabas [ba] e [da] foram extraídas da emissão das palavras [ba'ba] e [da'da], respectivamente, sendo correspondentes à segunda sílaba. A partir da sílaba isolada, verificaram-se os valores de F_1 , F_2 e F_3 em sua porção inicial e estável. Com os valores das larguras de banda da região estável das frequências formantes, compilou-se um script no *Praat*[®] (versão 4.2.31) e uma ressíntese de cada sílaba foi realizada. O tempo de duração das sílabas [ba] e [da] é de 180 ms. O contraste vocálico /i-/a/ foi determinado pelas frequências dos formantes F_1 e F_2 e por uma extensão menor de F_3 . As vogais [a] e [i] foram extraídas da emissão isolada das sílabas [pa] e [pi], respectivamente. Em cada sílaba da região da vogal,

Tabela 1. Média dos valores de latência (milissegundos) dos componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 e dos valores de amplitude (μV) do componente P_3 em adultos.

Estudo	N_1	P_2	N_2	P_3	P_3 amp.
Sharma et al. ¹³	117,0 (\pm 4)	-	-	-	-
Tampas et al. ¹⁴	-	-	-	398,9	0,025
Gilley et al. ¹⁵	108,0 (\pm 16)	176,0 (\pm 14)	-	-	-
Garinis & Cone-Wesson ¹⁶	40 dBNS: 110 ms	40 dBNS: 200 ms	-	40 dBNS /sa/: 355 /da/: 345	5,67 (\pm 4,71)
Massa et al. ¹⁷	-	-	-	348,95 (\pm 29,69)	6,61 (2,76)
Bennett et al. ¹⁸	-	-	-	363 (\pm 7,7)	4,7 (\pm 0,6)

amp.: amplitude.

Tabela 2. Parâmetros utilizados para a pesquisa dos potenciais evocados corticais e do potencial cognitivo auditivo P_3 .

Parâmetros de avaliação	
Tipo de estímulo	Estímulo de fala (80% frequente e 20% raro)
Frequência do estímulo	Contraste vogal: /i/ (frequente); /a/ (raro) Contraste consoante: /ba/ (frequente); /da/ (raro)
Taxa de apresentação do estímulo	1 estímulo por segundo
Posicionamento dos eletrodos	Fz e Cz (ativos); A1/A2 (referência)
Pré-amplificador	Canais 1 e 2: input 1 - eletrodos ativos; input 2 - eletrodos referência (jumper)
Impedância	\leq 5 k Ω (individual); \leq 2 k Ω (entre eletrodos)
Filtro passa banda	1-25 Hz
Janela	520 ms
Ganho	75000
Intensidade	70 dBNA, estimulação binaural
Transdutor	Fone de inserção 3ª

coletaram-se dois ciclos glotais com estabilidade espectral e, em *Matlab*[®] (versão 6.0.0.88), replicou-se estes ciclos de forma a corresponderem a uma emissão vocálica de 150 ms. As vogais foram sintetizadas no *Praat* com script semelhante ao descrito anteriormente para as sílabas. Os estímulos linguísticos produzidos, previamente manipulados e gravados em CD pelo laboratório, foram digitalizados e inseridos na unidade C: do computador conectado ao *software* do *Biologic's Evoked Potential System*[®] (EP). A ordem e o nível de apresentação do estímulo foram manipulados randomicamente pelo referido *software*.

Para a avaliação dos resultados, considerou-se a latência absoluta dos potenciais evocados auditivos corticais, componentes N_1 , P_2 e N_2 , e cognitivo auditivo P_3 , assim como a amplitude do componente P_3 , obtidas nos canais Fz e Cz.

O estudo da comparação das médias entre os fatores tipo de canal e estímulo e as variáveis (amplitude e latência) foi realizado utilizando-se um modelo de análise de variância com medidas repetidas com dois fatores, ANOVA.

RESULTADOS

A Figura 1 exemplifica o registro obtido na pesquisa do potencial evocado auditivo cortical e do potencial cognitivo auditivo P_3 nos canais Fz e Cz.

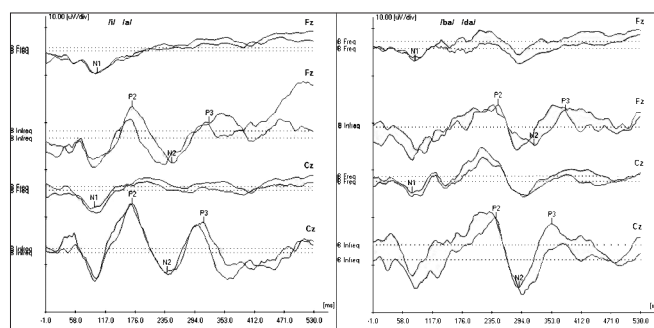


Figura 1. Registro obtido na pesquisa do potencial evocado auditivo cortical e o potencial cognitivo auditivo P_3 obtidos em um indivíduo do gênero feminino, na idade de 29 anos.

Ao analisar a ocorrência dos registros dos componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 considerando a divisão da casuística nas faixas etárias: 7-10 anos; 11-20 anos; 21-30 anos, pode-se observar a influência da faixa etária no registro dos componentes N_1 e P_2 (Tabela 3).

Tabela 3. Ocorrência do registro (%) dos componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 considerando as faixas etárias 7-10 anos; 11-20 anos e 21-30 anos.

Faixa etária (anos)	N_1	P_2	N_2	P_3
7-10 (n = 9)	22,22%	66,66%	100%	77,77%
11-20 (n = 10)	90%	80%	100%	100%
21-30 (n = 12)	100%	100%	83,33%	100%

A análise descritiva (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) da latência dos componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 e amplitude do componente P_3 , registrados nos canais Fz e Cz, para todos os indivíduos, está descrita na Tabela 4.

A análise da associação entre as latências dos componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 e amplitude do componente P_3

Tabela 4. Análise descritiva (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) dos valores de latência em milissegundos dos componentes N₁, P₂, N₂ e P₃ e amplitude (μV) do componente P₃, registrados nos canais Fz e Cz.

		Fz				Cz			
		X	DP	Mínimo	Máximo	X	DP	Mínimo	Máximo
N ₁	C	104	40	66	197	105	42	45	197
	V	106	17	75	139	103	33	50	170
P ₂	C	191	49	126	255	189	48	124	262
	V	186	35	117	240	179	36	99	230
N ₂	C	274	40	195	361	278	41	205	379
	V	236	38	153	289	239	27	182	278
P ₃	C	388	60	243	493	403	54	307	493
	V	322	39	226	376	339	44	249	447
P ₃ amp.	C	9	3	4	15	7	4	1	18
	V	10	5	2	23	7	3	2	14

X: Média; DP: Desvio padrão; amp.: amplitude; C: Consoante; V: Vogal.

com o tipo de canal e o estímulo utilizado não apresentou diferença para os valores de latência dos componentes N₁ e P₂. Por outro lado, o estímulo utilizado influenciou nos valores de latência de N₂ e P₃. Também houve diferença entre os canais ativos (Fz e Cz) considerados no registro do componente P₃ (Tabela 5).

As comparações *Post-Hoc* de Tukey considerando o tipo de estímulo (consoante-vogal) para a latência dos componentes N₂ e P₃ e considerando o tipo de canal (Fz-Cz) para a amplitude e latência do componente P₃ estão descritos na Tabela 6.

DISCUSSÃO

No presente estudo, foi possível obter os registros dos potenciais evocados auditivos corticais e cognitivo

auditivo P₃ com estímulo de fala com boa reprodutibilidade e morfologia, demonstrando ser um procedimento viável para ser aplicado na prática clínica (Figura 1).

Analisando a ocorrência de registro dos componentes exógenos N₁ e P₂, foi possível constatar que a presença dos mesmos aumentou de acordo com a faixa etária. O componente N₁ praticamente não foi registrado na faixa etária entre 7-10 anos, corroborando com a literatura em que, dependendo das características de apresentação do estímulo, seu registro pode ser observado somente aos 16 anos de idade, aproximadamente¹⁹. Considerando que o componente P₂ também é influenciado pela faixa etária²⁰, estes dados demonstraram o processo maturacional das estruturas envolvidas no aparecimento do potencial evocado auditivo cortical.

Tabela 5. Estudo da associação entre os fatores tipo de canal e estímulo e as variáveis latências dos componentes N₁, P₂, N₂ e P₃ e amplitude do componente P₃.

Fonte de variação	N ₁		P ₂		N ₂		P ₃		P ₃ amp.	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Estímulo	0,11	0,74	1,10	0,30	16,26	< 0,01*	82,58	< 0,01*	0,01	0,90
Canal	0,04	0,82	0,99	0,33	0,47	0,49	10,95	< 0,01*	6,87	0,01*
Estímulo canal*	0,23	0,63	1,00	0,32	0,13	0,72	0,09	0,75	1,67	0,20

* Valores significantes (p ≤ 0.05) - ANOVA.

Tabela 6. Relação dos valores de latência dos componentes N₂ e P₃ considerando o tipo de estímulo (consoante-vogal) e dos valores de amplitude e latência do componente P₃ com o canal (Fz-Cz).

	Diferença média		Erro padrão	t	p	Intervalo de confiança (95%)	
	Estímulo	Canal				Limite inferior	Limite superior
Amplitude P ₃	-	2,20	0,84	2,62	0,01*	0,47	3,94
Latência P ₃	-	-19,52	5,89	-3,31	0,01*	-31,63	-73,68
Latência N ₂	36,36	-	9,01	4,03	< 0,01*	17,61	55,11
Latência P ₃	66,86	-	7,35	9,08	< 0,01*	51,71	82,01

* Valores significantes (p ≤ 0.05) - Comparação *Post-Hoc* de Tukey.

No entanto, a faixa etária não influenciou na ocorrência dos registros dos componentes N_2 e P_3 , os quais são identificados com mais frequência do que os componentes N_1 e P_2 em crianças²¹. A variável gênero não foi analisada, porque em estudo anterior por nós realizado demonstrou-se que não há diferença significativa entre o sexo feminino e masculino, quando analisado o potencial cognitivo auditivo P_3 ²².

Na pesquisa dos potenciais evocados auditivos corticais, constatou-se que as latências dos componentes exógenos N_1 e P_2 não apresentaram diferença significativa quando considerado o canal Fz/Cz e o tipo de estímulo utilizado (/a/-/i/; /ba/-/da/). Contudo, para o potencial cognitivo auditivo P_3 , o canal foi um fator que influenciou em sua latência e amplitude, conforme constatado por outros estudos^{22,23}. Da mesma forma, o tipo de estímulo utilizado foi uma variável importante na obtenção dos componentes N_2 e P_3 .

O registro do componente N_2 parece estar relacionado com o processamento de identificação e atenção ao estímulo raro, com correlação positiva entre o valor de sua latência e o nível de dificuldade da tarefa de discriminação²⁴. No presente estudo, houve influência do estímulo de fala no componente N_2 , com valores de latência maiores para o contraste consonantal, sugerindo que o grau de dificuldade na discriminação deste contraste é maior do que no contraste vocálico. Semelhante achado foi observado para a latência do componente P_3 . Este efeito também foi descrito previamente ao comparar estímulos verbais com não verbais e em situações de difícil discriminação^{14,17,18,25}, reforçando a hipótese desta tarefa apresentar maior grau de dificuldade²⁶.

No entanto, este achado também pode ser explicado pelas evidências de que consoantes e vogais são processadas de forma distinta pelo sistema auditivo central. Um estudo recente realizado em ratos²⁷ comparando respostas comportamentais de discriminação de consoantes e vogais com o registro neural no colículo inferior e córtex auditivo primário sugeriu que consoantes e vogais têm diferentes representações no cérebro. Em humanos, estudos também relataram diferenças na ativação de estruturas do sistema auditivo central durante a discriminação de consoantes e de vogais^{28,29}. Portanto, o tipo de contraste de fala utilizado pode refletir de forma diferenciada na latência dos componentes N_2 e P_3 .

Alguns estudos descreveram a diminuição da amplitude do componente P_3 com o aumento do nível de dificuldade da tarefa de discriminação^{14,17,18,25,26}. No entanto, essa correlação não foi significativa no presente estudo.

Na casuística estudada, os valores de latência normais para os componentes N_1 , P_2 , N_2 e P_3 para o contraste vocálico e consonantal estão descritos na Tabela 4. A discussão comparativa entre os valores obtidos com

resultados de estudos prévios é imprecisa porque a metodologia difere, e como demonstrado acima, parâmetros de avaliação, como tipo de estímulo utilizado, influenciam significativamente nos valores de latência dos potenciais evocados auditivos.

Considerando que diferentes estruturas neurais são ativadas durante a percepção de sons verbais e não verbais, ressalta-se a importância do uso de estímulos de fala para pesquisas futuras com os potenciais evocados auditivos corticais e auditivo cognitivo P_3 .

CONCLUSÃO

O contraste do estímulo de fala, vocálico ou consonantal, deve ser considerado na análise do componente N_2 dos potenciais evocados auditivos corticais e cognitivo auditivo P_3 . O mesmo não foi observado para os componentes N_1 e P_2 .

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio concedido para a realização dessa pesquisa, sob processo número 110767/2005-5.

REFERÊNCIAS

1. Sousa LCA, Piza MRT, Alvarenga KF, Cóser PL. Potenciais Auditivos Evocados Corticais Relacionados a Eventos (P300). Em: Sousa LCA, Piza MRT, Alvarenga KF, Cóser PL. Eletrofisiologia da audição e emissões otoacústicas. 2ª ed. Ribeirão Preto: Novo Conceito; 2010. p.95-107.
2. Ethridge LE, Hamm JP, Shapiro JR, Summerfelt AT, Keedy SK, Stevens MC, et al. Neural activations during auditory oddball processing discriminating schizophrenia and psychotic bipolar disorder. *Biol Psychiatry*. 2012;72(9):766-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.03.034> PMID:22572033
3. Gao Y, Raine A, Schug RA. P3 event-related potentials and childhood maltreatment in successful and unsuccessful psychopaths. *Brain Cogn*. 2011;77(2):176-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2011.06.010> PMID:21820788
4. Reis AC, Iório MC. P300 in subjects with hearing loss. *Pró-Fono*. 2007;19(1):113-22. PMID:17461354
5. Weber-Fox C, Leonard LB, Wray AH, Tomblin JB. Electrophysiological correlates of rapid auditory and linguistic processing in adolescents with specific language impairment. *Brain Lang*. 2010;115(3):162-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2010.09.001> PMID:20889197
6. Wiemes GR, Kozłowski L, Mocellin M, Hamerschmidt R, Schuch LH. Cognitive evoked potentials and central auditory processing in children with reading and writing disorders. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2012;78(3):91-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-86942012000300016> PMID:22714853
7. Uppenkamp S, Johnsrude IS, Norris D, Marslen-Wilson W, Patterson RD. Locating the initial stages of speech-sound processing in human temporal cortex. *Neuroimage*. 2006;31(3):1284-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.004> PMID:16504540
8. Lieberthal E, Binder JR, Spitzer SM, Possing ET, Medler DA. Neural substrates of phonemic perception. *Cereb Cortex*. 2005;15(10):1621-31. <http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bhi040> PMID:15703256

9. Husain FT, Fromm SJ, Pursley RH, Hosey LA, Braun AR, Horwitz B. Neural bases of categorization of simple speech and nonspeech sounds. *Hum Brain Mapp.* 2006;27(8):636-51. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.20207> PMID:16281285
10. Samson F, Zeffiro TA, Toussaint A, Belin P. Stimulus complexity and categorical effects in human auditory cortex: an activation likelihood estimation meta-analysis. *Front Psychol.* 2010;1:241. PMID:21833294
11. Henkin Y, Kileny PR, Hildesheimer M, Kishon-Rabin L. Phonetic processing in children with cochlear implants: an auditory event-related potentials study. *Ear Hear.* 2008;29(2):239-49. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181645304> PMID:18595188
12. Martin BA, Tremblay KL, Korczak P. Speech evoked potentials: from the laboratory to the clinic. *Ear Hear.* 2008;29(3):285-313. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181662c0e> PMID:18453883
13. Sharma A, Kraus N, McGee TJ, Nicol TG. Developmental changes in P1 and N1 central auditory responses elicited by consonant-vowel syllables. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1997;104(6):540-5. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-5597\(97\)00050-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-5597(97)00050-6)
14. Tampas JW, Harkrider AW, Hedrick MS. Neurophysiological indices of speech and nonspeech stimulus processing. *J Speech Lang Hear Res.* 2005;48(5):1147-64. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2005\)081](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2005)081)
15. Gilley PM, Sharma A, Dorman M, Martin K. Developmental changes in refractoriness of the cortical auditory evoked potential. *Clin Neurophysiol.* 2005;116(3):648-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2004.09.009> PMID:15721079
16. Garinis AC, Cone-Wesson BK. Effects of stimulus level on cortical auditory event-related potentials evoked by speech. *J Am Acad Audiol.* 2007;18(2):107-16. <http://dx.doi.org/10.3766/jaaa.18.2.3> PMID:17402297
17. Massa CG, Rabelo CM, Matas CG, Schochat E, Samelli AG. P300 with verbal and nonverbal stimuli in normal hearing adults. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2011;77(6):686-90. PMID:22183272
18. Bennett KO, Billings CJ, Molis MR, Leek MR. Neural encoding and perception of speech signals in informational masking. *Ear Hear.* 2012;33(2):231-8. <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e31823173fd> PMID:22367094
19. Sussman E, Steinschneider M, Gumenyuk V, Grushko J, Lawson K. The maturation of human evoked brain potentials to sounds presented at different stimulus rates. *Hear Res.* 2008;236(1-2):61-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2007.12.001> PMID:18207681
20. Wunderlich JL, Cone-Wesson BK, Shepherd R. Maturation of the cortical auditory evoked potential in infants and young children. *Hear Res.* 2006;212(1-2):185-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2005.11.010> PMID:16459037
21. Martin L, Barajas JJ, Fernandez R, Torres E. Auditory event-related potentials in well-characterized groups of children. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1988;71(5):375-81. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-5597\(88\)90040-8](http://dx.doi.org/10.1016/0168-5597(88)90040-8)
22. Duarte JL, Alvarenga Kde F, Banhara MR, Melo AD, Sás RM, Costa Filho OA. P300-long-latency auditory evoked potential in normal hearing subjects: simultaneous recording value in Fz and Cz. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2009;75(2):231-6. PMID:19575109
23. Franco GM. The cognitive potential in normal adults. *Arq Neuropsiquiatr.* 2001;59(2-A):198-200. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-282X2001000200008> PMID:11400024
24. Novak GP, Ritter W, Vaughan HG Jr, Wiznitzer ML. Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1990;75(4):255-75. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90105-S](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694(90)90105-S)
25. Geal-Dor M, Kamenir Y, Babkoff H. Event related potentials (ERPs) and behavioral responses: comparison of tonal stimuli to speech stimuli in phonological and semantic tasks. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 2005;16(2-3):139-55. <http://dx.doi.org/10.1515/JBCPP.2005.16.2-3.139> PMID:16285466
26. Beynon AJ, Snik AF, Stegeman DF, van den Broek P. Discrimination of speech sound contrasts determined with behavioral tests and event-related potentials in cochlear implant recipients. *J Am Acad Audiol.* 2005;16(1):42-53. <http://dx.doi.org/10.3766/jaaa.16.1.5> PMID:15715067
27. Perez CA, Engineer CT, Jakkamsetti V, Carraway RS, Perry MS, Kilgard MP. Different timescales for the neural coding of consonant and vowel sounds. *Cereb Cortex.* 2013;23(3):670-83. <http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bhs045> PMID:22426334
28. Jäncke L, Wüstenberg T, Scheich H, Heinze HJ. Phonetic perception and the temporal cortex. *Neuroimage.* 2002;15(4):733-46. <http://dx.doi.org/10.1006/nimg.2001.1027> PMID:11906217
29. Joanisse MF, Gati JS. Overlapping neural regions for processing rapid temporal cues in speech and nonspeech signals. *Neuroimage.* 2003;19(1):64-79. [http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00046-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00046-6)