



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO DE REVISÃO

Study of the brainstem auditory evoked potential with speech stimulus in the pediatric population with and without oral language disorders: a systematic review[☆]



Jéssica Dayane da Silva ^{a,*}, Lilian Ferreira Muniz ^b,
Mariana de Carvalho Leal Gouveia ^c e Laís Cristine Delgado da Hora ^a

^a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Saúde da Comunicação Humana, Recife, PE, Brasil

^b Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Fonoaudiologia, Recife, PE, Brasil

^c Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Cirurgia, Recife, PE, Brasil

Recebido em 20 de fevereiro de 2020; aceito em 31 de maio de 2020

Disponível na Internet em 16 de outubro de 2020

KEYWORDS

Auditory evoked potentials;
Speech perception;
Child;
Adolescents;
Systematic review

Abstract

Introduction: The brainstem auditory evoked potential with speech stimulus, BAEP-speech, has been applied to observe how speech sounds are manifested in the brainstem. This tool can be used in children to assess central auditory processing, allowing preventive and early interventions.

Objective: To assess the results found in the brainstem auditory evoked potential with speech stimulus in the pediatric population with and without oral language disorders, through a systematic literature review.

Methods: The search was carried out in the scientific databases Portal BVS, Pubmed, Lilacs, Medline, Scielo and Web of Science, OpenGrey.eu, DissOnline, OpenDoar, OALster and The New York Academy of Medicine. A systematic literature review was performed using the descriptors: auditory evoked potentials, children and their synonyms, combined by the Boolean operators AND and OR. The search filter "age: child" was used. The studies were independently read by peers and, in case of disagreement regarding the inclusion of studies, a third researcher was consulted. Original case-control articles that performed BAEP-speech without competitive noise, carried out in the pediatric population without and with oral language disorders, were included.

Result: 14 articles published between 2008 and 2019 were included in this review. Methodological variability was observed in the exam, with the syllable / da / being the most frequently

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2020.05.025>

[☆] Como citar este artigo: Silva JD, Muniz LF, Gouveia MC, Hora LC. Study of the brainstem auditory evoked potential with speech stimulus in the pediatric population with and without oral language disorders: a systematic review. Braz J Otorhinolaryngol. 2020;86:793–811.

* Autor para correspondência.

E-mail: jessica_aa@live.com (J.D. Silva).

PALAVRAS-CHAVE

Potenciais evocados auditivos;
Percepção da fala;
Criança;
Adolescentes;
Revisão sistemática

used as the stimulus. When performing the average of the groups, it was observed that the population with specific language disorders showed greater latency delays in the sustained portion, lower amplitude values and VA complex slope. The group with phonological disorders had higher values in the transient portion of the responses.

Conclusion: Children with language disorders of different etiologies have different patterns of BAEP-speech responses when compared to children with typical development.

© 2020 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/>).

Estudo do potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral: uma revisão sistemática

Resumo

Introdução: O potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala (PEATE-fala) tem sido aplicado para observar como os sons da fala se manifestam no tronco encefálico. Essa ferramenta pode ser usada em crianças na avaliação do processamento auditivo central, permite intervenções preventivas e precoces.

Objetivo: Conhecer os resultados encontrados no potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral, por meio de revisão sistemática da literatura.

Método: As buscas foram feitas nas bases de dados científicos Portal BVS, Pubmed, Lilacs, Medline, Scielo e Web of Science, OpenGrey.eu, DissOnline, OpenDoar, OALster e *The New York Academy of Medicine*. Foi feita revisão sistemática da literatura, com os descritores *auditory evoked potentials*, *children* e seus sinônimos, combinados pelos operadores booleanos AND e OR. Foi usado o filtro de pesquisa "idade: criança". A leitura dos estudos foi feita por pares de forma independente e em caso de discordância na inclusão de estudos um terceiro pesquisador foi consultado. Foram incluídos artigos originais do tipo caso-controle que fizeram o PEATE-fala sem ruído competitivo na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral.

Resultado: Foram incluídos 14 artigos publicados entre 2008 e 2019 na presente revisão. Foi observada variabilidade metodológica na realização feita do exame, a sílaba /da/ foi a mais usada para estimulação. Ao se fazerem médias dos grupos, observou-se que a população com distúrbio específico de linguagem apresentou maiores atrasos de latência na porção sustentada, menores valores de amplitude e *slope* do complexo VA. O grupo com transtorno fonológico obteve maiores valores na porção transiente das respostas.

Conclusão: Crianças com alterações de linguagem de diferentes etiologias apresentam padrões de respostas do PEATE-fala distintos quando comparadas às crianças com desenvolvimento típico.

© 2020 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 integridade do sistema auditivo periférico e central é fundamental para o processo de aquisição da linguagem oral. A compreensão dos elementos acústicos e suas representações fonéticas como formantes da língua compõe um dos meios de desenvolvimento da fala. Déficits auditivos receptivos podem prejudicar a codificação de sinais acústicos de fala, repercutem na comunicação da criança. Portanto, a análise do funcionamento das vias auditivas deve ser feita em caso de dificuldades de aprendizagem¹ da linguagem falada.

O potencial evocado auditivo de tronco encefálico é amplamente usado na prática clínica para avaliar de forma objetiva a integridade das vias auditivas até o tronco encefálico, além de estimar o limiar eletrofisiológico da audição. Tal exame pode ser feito com estímulo clique, *tonepip*, *toneburst* ou fala.^{2,3} Contudo, sinais breves apresentam padrão acústico simples e diferente dos sons encontrados no ambiente, como são os sons verbais, os tornam limitados na avaliação do comportamento do tronco encefálico, principalmente ao considerar o processamento de sons da fala nessas estruturas.⁴

O potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala (PEATE-fala) pode ser indicado para compreender como a via auditiva processa sons verbais, uma vez que permite observar as propriedades acústicas dos formantes da fala que aparecem preservados nas respostas do tronco encefálico,⁵ diferentemente dos estímulos citados anteriormente.

Dessa forma, fornece informações sobre como uma sílaba é codificada pelo sistema auditivo, configura um método de análise da capacidade neural de analisar mudanças nos componentes de tempo e frequência presentes no estímulo acústico.^{4,6,7}

Assim, o PEATE-fala tem se mostrado uma importante ferramenta que pode auxiliar na avaliação do processamento auditivo central, permite intervir de forma preventiva mesmo sem os resultados de uma avaliação comportamental, difícil de ser feita em algumas crianças.^{5,8}

Atualmente o grande desafio tem sido estabelecer padrões de normalidade para esse procedimento. Por isso, torna-se necessário estudar o uso do potencial evocado auditivo com estímulo de fala para observar o processamento auditivo central dos sons da fala na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral, devem-se observar padrões de respostas descritos na literatura que viabilizem e facilitem o uso do procedimento na prática clínica de forma mais segura.

O objetivo do presente estudo foi conhecer os resultados encontrados no potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral, por meio de revisão sistemática da literatura.

Método

A revisão da literatura foi aprovada na plataforma Prospero sob o número de registro CRD42019119322.

Para este trabalho foi usada a seguinte pergunta condutora: "Há diferença nos resultados encontrados no potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral?"

Estratégia de busca

O termo "população pediátrica" compreende indivíduos desde o nascimento até os 18 anos. Para sua formulação e delimitação de faixa etária foram tomados como base os descritores do *Medical Subject Headings* "pediatrics", "child" e "adolescente".

Foram consultadas as bases de dados Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (Lilacs), *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (Medline) via *PubMed* e *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), Web of Science e na Biblioteca Virtual de Saúde (Portal BVS), bem como as bases de literatura cinzenta OpenGrey.eu, DissOnline, OpenDoar, OALster e *The New York Academy of Medicine*. Não houve restrição de idioma ou data de publicação. Foi usada a seguinte chave de busca: *auditory evoked potential OR evoked potential, auditory OR potentials, auditory evoked OR auditory evoked response OR auditory evoked responses OR evoked response, auditory*

OR evoked responses, auditory OR auditory evoked potentials AND children OR child. Usou-se filtro de pesquisa "Idade: Criança".

A busca nas bases de dados foi feita em março e abril de 2020.

Crerios de elegibilidade

A revisão incluiu apenas artigos originais do tipo caso-controle que fizeram PEATE-fala sem ruído competitivo na população pediátrica com e sem transtornos de linguagem oral. Foram incluídos apenas artigos do tipo caso-controle tendo em vista a necessidade de comparação da população com patologias de linguagem oral àquelas com desenvolvimento típico, é indispensável avaliação de faixas etárias semelhantes e com os mesmos parâmetros do exame. Foram excluídas revisões da literatura, estudos sem grupo controle, artigos repetidos em diferentes bases de dados, estudos em seres não humanos, bem como indivíduos com perdas auditivas, síndromes neurológicas e alterações no tronco encefálico.

Seleção dos estudos

A pesquisa foi feita por dois revisores independentes, na ausência de concordância o estudo foi avaliado por um terceiro pesquisador para tomada de decisão final.

A primeira fase da seleção de artigos foi a leitura de títulos e resumos de todos os estudos identificados. Após a exclusão daqueles que não respondiam ao objetivo do atual estudo e que não corresponderam aos critérios de elegibilidade, foram feitas as exclusões de artigos duplicados e em seguida os que restaram foram lidos na íntegra, o que levou à exclusão de trabalhos que não atenderam à proposta da revisão.

Extração de dados e avaliação de qualidade

Os dados extraídos dos resultados dos estudos foram: nomes dos autores, ano de publicação, país, tamanho da amostra, faixa etária do grupo estudado, tipo de alteração da linguagem oral, parâmetros de estimulação do exame, além de médias dos valores de *slope*, amplitude, latências, áreas e principais conclusões apresentados pelos estudos.

Para avaliação da qualidade dos estudos foi usada a escala de Newcastle-Ottawa adaptada para estudos observacionais transversais. A qualidade dos estudos foi avaliada por dois pesquisadores de forma independente com base nos itens: 1) Representatividade da amostra; 2) Tamanho da amostra; 3) Gerenciamento de não respostas; 4) Cálculo da exposição (fator de risco); 5) Comparabilidade de sujeitos em diferentes grupos de resultados com base no desenho ou análise (controle de fatores de confusão); 6) Avaliação dos resultados; 7) Teste estatístico.

Resultados

Foram identificados 13.648 títulos na busca inicial. Com a leitura dos títulos e resumos restaram 131 estudos, dos quais foram removidas 58 duplicatas, foi feita a leitura na íntegra

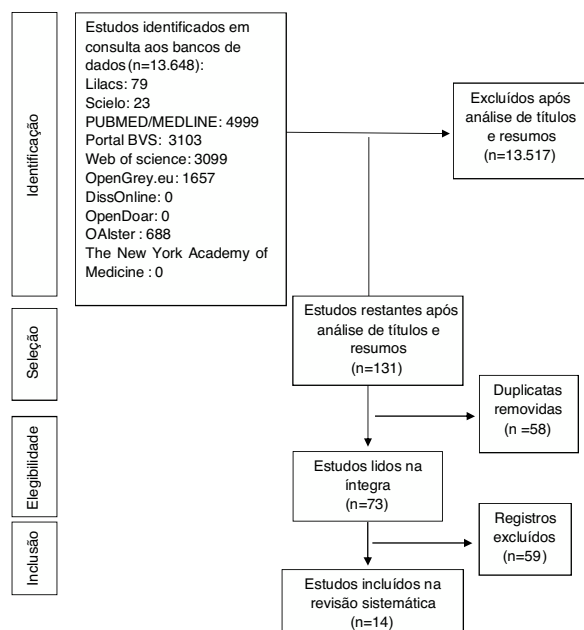


Figura 1 Diagrama de fluxo da seleção dos artigos.

de 73 deles. Após a leitura dos textos na íntegra, 59 estudos foram excluídos, pelas motivações: População adulta (15), trauma encefálico (1), lesão de tronco encefálico (1), estudos que não indicaram a faixa etária da população (2), feitura do PEATE-fala com ruído competitivo (4), materiais oriundos de eventos científicos (5), estudos sem grupo controle (10) e ausência de alteração de linguagem oral em ao menos um grupo estudado (21). Por fim, 14 estudos foram selecionados para a atual revisão (fig. 1).

A [tabela 1](#) apresenta os dados obtidos a partir da leitura dos artigos, conforme o que foi preestabelecido para extração dos dados. Dos estudos incluídos cinco tiveram como alvo de investigação indivíduos inseridos no espectro autista (TEA), cinco estudaram participantes com distúrbios específicos de linguagem (DEL), dois observaram crianças com distúrbios fonológicos (PD), um deles estudou gagueira desenvolvimental persistente e outro com indivíduos com transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH). No quadro, o Grupo 1 sempre representará o grupo controle, enquanto o Grupo 2 corresponderá ao grupo estudo.

Os estudos incluídos foram produzidos entre 2008 e 2019, cinco deles foram produzidos no Brasil, quatro nos Estados Unidos, três no Irã, um no Egito e um na China. Doze desses estudos apresentaram a sílabas /da/ para feitura do exame, um usou a sílaba da língua inglesa /of/, outro usou /ya/ e apenas um deles estimulou com duas sílabas /ba/ e /de/; pode ser observada a predominância do estímulo /da/.

Nos artigos incluídos podem ser observados os valores de latência⁹⁻¹⁸ amplitude,^{12,16,17} *slope* do complexo VA^{10,12,16,17} e área.^{10,12} Quatro dos estudos¹⁹⁻²² não apresentaram análise numérica dos resultados.

Com base nas análises numéricas apresentadas nos estudos avaliados, fez-se análise estatística para observação de valores de média, mínimo, máximo e desvio-padrão por patologia de linguagem e um grupo para o desenvolvimento típico, conforme apresentado na [tabela 2](#). Por não serem achados os valores numéricos para latência, amplitude e

slope das ondas do PEATE-fala em todos os estudos, foram usados apenas os que continham tais informações.

Não foram obtidos dados suficientes para extração dos resultados concernentes à área do componente VA. Os artigos que avaliaram o PEATE-fala em indivíduos com gagueira desenvolvimental persistente e com TDAH não foram incluídos, tendo em vista a presença de apenas um estudo de cada uma dessas patologias, os dados eram insuficientes para análise.

Quanto à latência, é possível observar que os resultados apresentados em todas as patologias de linguagem oral têm valores maiores quando comparados ao grupo com desenvolvimento típico.

A população com PD apresentou os maiores valores de latência nas ondas V e A, quando comparada aos outros grupos, salientou-se maior dificuldade na porção transiente dos estímulos, com prejuízo na percepção e codificação das consoantes durante a fala. O grupo com DEL apresentou maiores atrasos nas latências das ondas da porção sustentada dos estímulos, em relação às demais populações, foi indicativo de maior comprometimento da codificação das vogais mediante o estímulo de fala. Indivíduos com DEL e TEA apresentam onda O com atraso em relação às crianças com desenvolvimento típico, demonstraram dificuldade em perceber o final do estímulo.

Quanto à amplitude, foi possível observar apenas os valores para o complexo VA da população com DEL, que se apresentou menor quando em comparação aos indivíduos com desenvolvimento típico. Essa população apresentou ainda o menor valor para o *slope* do mesmo componente, indicou maior dificuldade temporal e menor descarga neural em respostas ao estímulo de fala.

Além disso, salienta-se que o grupo de estudos que apresentou o DEL mostrou os maiores desvios-padrão nos valores de latências em relação aos demais grupos, apontou grande variabilidade nas análises numéricas dos artigos incluídos e dificuldade de consenso quanto aos achados nessa população.

A [tabela 3](#) descreve os resultados encontrados como alterados, separados por patologia, da população com transtorno de linguagem oral quando comparados às crianças com desenvolvimento típico. Nota-se o aumento de latências das ondas em diferentes patologias. O artigo que avaliou indivíduos com gagueira desenvolvimental persistente não fez análises quanto a esse parâmetro, no entanto foi o único que fez estudo de representações gráficas do PEATE-fala.

Além disso, reduções da amplitude das ondas e do *slope* do complexo VA são achados comuns na população com transtornos da linguagem oral. Tendo em vista que apenas um artigo registrou o rastreamento da codificação de frequências na fala, em indivíduos com TEA, a codificação deficiente do *pitch* é apontada uma única vez.

A qualidade dos estudos foi avaliada de acordo com a Newcastle-Ottawa Scale adaptada para estudos transversais, seis^{9-12,15,20,22} estudos foram classificados como muito bons e sete^{13,14,16-19,21} foram avaliados como bons.

Discussão

O PEATE-fala tem se mostrado um exame promissor, bem como um instrumento confiável na avaliação e no moni-

Tabela 1 Características dos estudos, parâmetros de estimulação e médias dos valores de slope, amplitude, latência e área do PEATE-fala

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de slope (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
PD	Ferreira, L. et. al., 2019	Brasil	60	5–8,11 anos	Sílabas /of/, 40ms, orelha direita (OD), intensidade de 80 dB nHL, impedância de até 3k Ω , taxa de apresentação de 10,9s, janela de 80–100ms, filtro passa-banda 100–2000 Hz, duas varreduras de 3000 estímulos.	Grupo I: 0,55 Grupo II: 0,38	x	Grupo 1: V: 6,79 A: 7,84 C: 17,43 D: 23,07 E: 32,07 F: 39,96 O: 47,97 Grupo 2: V: 7,18 A: 8,66 C: 18,32 D: 23,23 E: 32,47 F: 41,73 O: 49,06	Grupo I: 0,56 Grupo II: 0,77	Crianças com PD apresentam desorganização na codificação neural de sons complexos, devido às alterações nas respostas do PEATE-fala. O que poderia comprometer o desenvolvimento de habilidades linguísticas, que podem refletir na comunicação.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Gonçalves, I. C., et. al., 2011	Brasil	36	7–11 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, intensidade de 80dBA, impedância de até 5kΩ, taxa de apresentação 11,1 estímulos/s, filtro passa-banda 100–2000 Hz, 2000 estímulos.	Complexo VA: Grupo 1: 0,36 Grupo 2: 0,43	Grupo 1: V: 0,32 A: -0,31 C: -0,34 F: 0,33 Complexo VA: 0,69 Grupo 2: V: 0,30 A: -0,35 C: -0,35 F: 0,37 Complexo VA: 0,67	Grupo 1: V: 7,41 A: 9,39 C: 19,42 F: 40,10 Complexo VA: 1,97 Grupo 2: V: 8,58 A: 10,32 C: 18,76 F: 40,00 Complexo VA: 1,74	x	Indicam que os estágios iniciais do processamento de um estímulo acústico na via auditiva não são semelhantes em crianças com desenvolvimento típico e com PD. Sugerem que a codificação anormal dos sons da fala pode ser um marcador biológico para PD.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
TEA	Chen, J. et al., 2019	China	35	3–6 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, impedância de até 5kΩ, taxa de apresentação de 10,9 estímulos/s, três varreduras de 3000 estímulos.	x	Médias na primeira e segunda avaliação, respectivamente: Grupo 1: V: 0,10/ 0,11; A: - 0,20/-0,23 C: -0,14/ -0,11 D: -0,14/ -0,18 E: -0,22/ -0,23 F: -0,27/ -0,19 O: -0,21/ -0,18 Grupo 2: V: 0,09/ 0,11 A: - 0,18/-0,22 C: -0,04/ -0,07 D: -0,19/ -0,21 E: -0,16/ -0,18 F: -0,18/ -0,18 O: -0,09/ -0,14	Médias na primeira e segunda avaliação, respectivamente: Grupo 1: V: 6,66/6,54 A: 7,58/7,51 C: 18,37/ 18,20 D: 22,58/ 22,39 E: 31,30/ 31,32 F: 39,60/ 39,32 O: 48,04/48,07 Grupo 2: V: 6,90/6,73 A: 7,83/7,86 C: 18,47/18,43 D: 22,55/ 22,99 E: 31,13/ 31,08 F: 39,74/39,58 O: 48,29/48,17	x	Crianças com TEA apresentam processamento subcortical ainda imaturo quando comparados àquelas com TD.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Ramezani, M., et. al., 2018	Irã	56	Médias de idades 14,36–14,99	Sílaba [da], 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, impedância de até 5k Ω , polaridade intermitente, taxa de apresentação de 10,9 estímulos/s, filtro passa-banda 100– 2000 Hz, duas varreduras de 3000 estímulos.	x	x	Grupo 1: V: 6,32 A: 7,18 C: 18,03 D: 22,10 E: 30,74 F: 39,12 O: 47,68 Grupo 2: V: 6,89 A: 7,82 C: 20,01 D: 24,60 E: 33,35 F: 41,12 O: 49,58	x	Há prejuízos na sincronização da atividade neural em indivíduos com TEA, indicativo de uma disfunção no processamento do estímulo de fala no tronco encefálico.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de slope (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Otto-Meyer, S., et. al., 2018	Estados Unidos	24	7–13 anos	Estímulo /d/, 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, impedância de até 5kΩ, polaridade alternada, taxa de apresentação de 10,9ms, janela de 75ms, filtro passa alto de 100 Hz e passa baixo de 2000 Hz, duas varreduras de 2000 estímulos. Sílabas [ya] subindo e [ya] descendo, 230ms, O.D., intensidade de 60 dB SPL, polaridade alternada, filtro passa-banda 80–1000 Hz, 4800 estímulos.	x	x	x	x	Crianças com TEA de alto desempenho possuem PEATE-fala menos estáveis do que crianças com desenvolvimento típico, persistindo através de múltiplos estímulos. Os efeitos podem ir além do sistema auditivo, dada a natureza integrada dos geradores do PEATE-fala.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de slope (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Russo, N., et. al., 2009	Estados Unidos	39	7–13 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, polaridade alternada, impedância de até 5k Ω , taxa de apresentação de 10,9 estímulos/s, janela de 75ms, filtro passa-banda 100–2000HZ três varreduras de 2000 estímulos.	x	x	Grupo 1: V: 6,54 A: 7,48 D: 22,38 F: 39,25 Grupo 2: V: 6,73 A: 7,85 D: 22,77 F: 39,54	x	Há redução da sincronia neural e bloqueio de fase na estimulação de fala.
	Russo, N. M., et. al., 2008	Estados Unidos	42	7–13 anos	Sílaba [ya], 230ms, O.D., intensidade de 60 dB SPL, impedância de até 5k Ω , janela de 50ms, polaridade alternada, filtro passa-banda 80–1000 Hz, duas varreduras de 1200 estímulos por polaridade.	x	x	X	x	Algumas crianças com TEA demonstram deficiências acentuadas no rastreamento de <i>pitch</i> . Além disso, apontam redução do bloqueio de fase.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
Gagueira	Mozaffarileghdrā M.; Adeli, H., 2018.		29	15–33 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, polaridade alternada, janela de 85,33ms, 6000 estímulos.	x	x	X	x	Promissora capacidade da complexidade do índice gráfico (GIC) para avaliação da ativação anormal do nível do tronco cerebral no grupo de estudo. Associam a visibilidade dos gráficos dos PEATE com mecanismos associados à memória de longo prazo da dinâmica do sistema auditivo ao nível do tronco encefálico.
DEL	Gabr, T. A.; Darwish, M. E., 2015	Egito	40	3–7 anos	Sílaba [da], 206ms, ambas as orelhas, intensidade de 70 dB nHL, polaridade alternada, taxa de apresentação de 11,1 estímulos/s, janela de 75ms, filtro passa-banda 50–1000HZ, três varreduras de 1024 estímulos.	Complexo VA: Grupo 1: 0,426 Grupo 2: 0,195	Grupo 1: V: 0,468 A: 0,319 C: 0,446 D: 0,513 E: 0,818 F: 0,95 O: 0,765 Complexo VA: 0,787 Grupo 2: V: 0,13 A: 0,86 C: 0,159 D: 0,111 E: 0,199 F: 0,188 O: 0,31 Complexo VA: 0,334	Grupo 1: V: 6,60 A: 8,73 C: 14,04 D: 21,0 E: 29,1 F: 37,9 O: 47,00 Grupo 2: V: 7,95 A: 12,1 C: 21,0 D: 29,7 E: 38,6 F: 47,3 O: 55,8	Grupo 1: 1,65 Grupo 2: 2,05	Crianças com DEL têm codificação anormal para características acústicas específicas, redução de sincronia neural para alterações transitórias na fala e codificação neural prejudicada da duração do estímulo. Manifestando-se como PEATE-fala anormal.

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Rocha-Muniz, C. N., Befi-Lopes, D. M., & Schochat, E., 2014	Brasil	75	6–12 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, impedância de até 5kΩ, polaridade alternada, janela de 74,67ms, filtro passa-banda 100–2000 Hz, três varreduras de 1000 estímulos.	x	x	Grupo 1: V: 6,32 A: 7,87 C: 17,57 D: 22,83 E: 30,64 F: 39,37 O: 48,01 Grupo 2: V: 6,78 A: 8,61 C: 18,76 D: 23,72 E: 31,79 F: 41,14 O: 49,27	x	PEATE-fala pode ser usado para o diagnóstico de comprometimentos da linguagem, considerados outros fatores e presença de riscos. Sugestão de utilização do procedimento brasileiro em falantes da língua inglesa, uma vez que os resultados obtidos para a sílaba [da] são semelhantes nos falantes de ambas a línguas. O grupo com DEL demonstrou-se alterado para medidas temporais e medidas de codificação de frequência. PEATE anormal deve se manifestar como dificuldades na percepção da fala. O grupo com DEL apresentou-se com respostas piores que os demais.
	Rocha-Muniz, N. C.; Befi-Lopes, M. D.; Schochat, E., 2012	Brasil	57	6–12 anos	Sílaba [da], 40ms, O.D., impedância de até 5kΩ, polaridade alternada, janela de 74,67ms, filtro passa-banda 100–2000 Hz, três varreduras de 1000 estímulos.	x	x	Grupo 1: V: 6,31 A: 7,35 C: 17,54 D: 22,83 E: 30,79 F: 39,17 O: 48,13 Grupo 2: V: 6,78 A: 8,75 C: 18,89 D: 23,80 E: 32,01 F: 41,48 O: 49,39	x	

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Filippini, R.; Befi-Lopes, M. D.; Schochat E., 2012	Brasil	30. Três grupos: 1: TD 2: DEL (treinamento auditivo formal e fonoterapia) 3: DEL (apenas fonoterapia)	7–13 anos	Sílaba [da], 40ms, OD, 80 dB nHL, polaridade alternada, taxa de apresentação de 10,9 estímulos/s, janela de 74,67ms, filtro passa-banda de 100–2000 Hz, três varreduras de 1000 estímulos.	Complexo VA, antes e após treinamento auditivo, respectivamente: Grupo 1: 0,45/0,37 Grupo 2: 0,33/0,32 Grupo 3: 0,35/0,38	Complexo VA, antes e após treinamento auditivo, respectivamente: Grupo 1: 0,41/0,34 Grupo 2: 0,29/0,29 Grupo 3: 0,35/0,35	Médias antes e após treinamento auditivo, respectivamente. Grupo 1: V: 6,53/6,63 A: 7,45/7,60 C: 18,43/18,21 D: 22,22/22,45 E: 31,04/31,16 F: 39,41/39,33 O:48,10/47,94 Complexo VA: 0,92/0,92 Grupo 2: V: 6,64/6,67 A: 7,51/7,58 C: 18,74/18,56 D: 22,51/22,22 E: 31,45/30,72 F: 39,59/39,23 O: 47,88/47,93 Complexo VA: 0,88/0,91 Grupo 3: V: 6,59/6,59 A: 7,63/7,48 C: 18,89/18,58 D: 22,39/22,14 E: 30,80/31,02 F: 39,27/39,37 O: 48,13/47,95 Complexo VA: 1,02/0,90	Déficits no processamento auditivo em avaliações comportamentais e eletrofisiológicas nos grupos DEL, semelhantes aos observados em participantes com transtorno de processamento auditivo. Além disso, verificou benefício do treinamento auditivo formal e treinamento auditivo formal associado à fonoterapia em respostas comportamentais e eletrofisiológicas.	

Tabela 1 (Continued)

Alteração de linguagem	Autor/ Ano	País	Tamanho da amostra (participantes)	Idade	Parâmetros de estimulação	Valores de <i>slope</i> (mv/ms)	Valores de amplitude (mv)	Valores de latência (ms)	Valores de Área (mv×ms)	Principais conclusões
	Basu, M.; Krishnan, A.; Weber-Fox, C., 2009	Estados Unidos	20 participantes. Dois grupos: I: DEL II: TD	4–11 anos	Sílabas [ba] e [de], 150ms, OD, intensidade de 50 dB nHL, impedância de até 3kΩ, filtro passa-banda 100–3000 Hz.	x	x	X	x	Crianças com DEL apresentam déficit temporal no nível do tronco encefálico, os sons com rápidas apresentações ou mudanças não são adequadamente codificados. A população estudada apresentou pronunciada interrupção no bloqueio de fase neural.
TDAH	Jafari, Z.; Malayeri, S.; Rostami, R., 2015	Irã	84	8–12 anos	Sílabas [da], 40ms, OD, intensidade de 80 dB SPL, impedância de até 5kΩ, taxa de apresentação de 10,9 estímulos/s, filtro passa-banda 100–2000HZ duas varreduras de 2000 estímulos.	x	x	Grupo 1: V: 5,920 A: 6,749 C: 17,366 D: 21,178 E: 30,047 F: 38,690 O: 46,788 Grupo 2: V: 5,935 A: 7,065 C: 17,565 D: 21,716 E: 30,466 F: 39,04 O: 47,08	x	PEATE-fala indicando atraso de codificação temporal em crianças do grupo de estudo. Crianças com TDAH possuem disfunção no processamento de estímulos de fala e não fala ao nível do tronco encefálico.

Tabela 2 Análise numérica dos dados extraídos dos estudos inseridos na revisão

	Latências							Amplitude	Slope
	V	A	C	D	E	F	O	Complexo VA	Complexo VA
<i>Transtorno fonológico</i> ^{9,16}									
Média	7,88	9,49	18,54	x	x	40,86	x	x	0,37
Mínimo	7,18	8,66	18,32	x	x	40	x	x	0,36
Máximo	8,58	10,32	18,76	x	x	41,73	x	x	0,38
Desvio padrão	0,989	1,173	0,311	x	x	1,223		x	0,014
<i>DEL</i> ^{11,13,14}									
Média	7,02	9,27	19,38	24,9	33,3	42,29	50,64	0,342	0,322
Mínimo	6,59	7,63	18,76	22,39	30,8	39,27	48,13	0,334	0,195
Máximo	7,95	12,1	21	29,7	38,6	47,3	55,8	0,35	0,45
Desvio padrão	0,623	1,949	1,078	3,263	3,572	3,473	3,481	0,011	0,18
<i>TEA</i> ^{9,10,17}									
Média	6,78	7,85	19,22	23,45	32,21	40,08	48,87	x	X
Mínimo	6,73	7,82	18,43	22,77	31,08	39,54	48,17	x	X
Máximo	6,89	7,88	20,01	24,6	33,35	41,12	49,58	x	X
Desvio padrão	0,092	0,03	1,117	0,999	1,605	0,900	0,997	x	X
<i>Desenvolvimento típico</i> ^{9,13-19}									
Média	6,52	7,75	17,55	22,17	30,71	39,28	46,13	0,59	0,43
Mínimo	5,92	6,74	14,04	21	29,1	37,9	40,68	0,41	0,35
Máximo	7,41	9,39	19,42	23,07	32,07	40,1	48,1	0,78	0,55
Desvio padrão	0,388	0,773	1,470	0,683	0,876	0,622	3,00	0,266	0,082

Tabela 3 Principais alterações no PEATE-fala de crianças com transtornos de linguagem oral, quando comparadas à população com desenvolvimento típico

	Distúrbio específico de linguagem	Transtorno do espectro autista	Transtorno fonológico	Gagueira desenvolvimental persistente	Transtorno de déficit de atenção e hiperatividade
Alterações no PEATE-fala	Aumento da latência das ondas; Redução da amplitude; Redução de bloqueio de fase de codificação de frequências; Alterações na morfologia das ondas	Aumento de latência das ondas; Redução do <i>slope</i> do complexo VA; Codificação deficiente do <i>pitch</i> da fala; Redução do bloqueio de fase; Menor representação de início de fala;	Aumento de latências das ondas; Redução do <i>slope</i> do complexo VA;	Maior complexidade do índice gráfico;	Aumento de latência das ondas; Maior duração do complexo VA; Redução de amplitude e <i>slope</i> do complexo VA; Prolongamento de fase inicial da resposta; Menor relação sinal-ruído;

toramento da audição de crianças, especialmente com transtornos de linguagem.

Devido à presença de diferentes patologias de linguagem identificadas após a avaliação, eles serão divididos em seções para que haja melhor entendimento dos resultados que os compõem. Permite-se, assim, que haja maior compreensão dos diferentes achados nas patologias e que sejam feitas as contraposições entre os autores.

Distúrbio específico de linguagem

Os estudos que avaliaram crianças com DEL apresentaram comparação com diferentes grupos. Filippini et al.¹⁶ fez o PEATE-fala antes e após treinamento auditivo acusticamente controlado, enquanto outros dois^{14,15} fizeram comparação com grupos com desenvolvimento típico e transtorno do processamento auditivo central. Os demais tiveram apenas integrantes com DEL e grupo controle. Tais diferenças propiciaram variabilidade nos achados e nas discussões, são aqui descritos apenas os resultados concernentes à comparação de crianças com DEL àquelas com desenvolvimento típico.

As pesquisas apontam aumento de latência das ondas do PEATE-fala nos grupos que apresentam a alteração da linguagem,^{12,14,15} Filippini et al.¹⁶ apresentam atraso apenas na onda E, enquanto Basu et al.²¹ não fez observação quanto a esse aspecto na avaliação com estímulo de fala. Os artigos indicam que há redução nas amplitudes de todas as ondas,^{12,15,21} verificaram que o aumento da taxa de apresentação implica diminuição de amplitude das respostas.²¹ Um dos estudos,¹⁶ no entanto, aponta que não há alterações nesse parâmetro no grupo com DEL. Não foram encontradas alterações quanto à área do complexo VA. O estudo de Filippini et al.,¹⁶ não verificou modificações nos valores de latências das ondas do PEATE-fala sem ruído competitivo no grupo com DEL antes e após o treinamento auditivo acusticamente controlado.

Observa-se que não há consenso na literatura quanto aos resultados relacionados à latência e amplitude das ondas do PEATE-fala, tendo em vista que um dos estudos aponta a diminuição da amplitude mediante o aumento da taxa de apresentação, verifica-se a importância do uso dos mesmos parâmetros de estimulação para feitura do exame, reduz-se, assim, a variabilidade dos achados.

Há concordância na literatura quanto à redução de bloqueio de fase de codificação de frequências, principalmente nas mais altas, o que dificulta a percepção de modificações de frequência,^{14,15,21} a resposta é deteriorada também pelo aumento da taxa de apresentação dos estímulos,²¹ indica déficits na percepção da transição rápida de elementos espectro-temporais da fala nas crianças com DEL.

Quanto aos dados espectrais, um dos estudos²¹ aponta que os picos aparecem sem alterações apenas quando há menores taxas de apresentação, houve redução na amplitude quando tal característica do estímulo acústico é aumentada, enquanto outros dois artigos^{14,15} não observaram diferenças nesse aspecto entre os grupos com e sem DEL. Os estudos concordam que há instabilidade neural e redução da sincronia das respostas à fala nessa população. Assim, é possível verificar que as crianças com DEL apresentaram dificuldades na codificação subcortical e cortical dos

sons da fala, o que prejudica o desenvolvimento da linguagem.

Transtorno do espectro autista

Dos estudos que investigaram indivíduos com TEA, apenas três^{9,11,18} apresentaram análises numéricas dos resultados do PEATE-fala. Ramezani et al.¹¹ apontaram que há maiores latências em todas as ondas analisadas, mas não ocorrem diferenças de amplitude entre os grupos de estudo e controle, enquanto Russo et al.¹⁸ identificaram apenas atrasos nos componentes V, A, D e F e redução da amplitude de onda F. Em relação ao complexo VA, o primeiro estudo observou aumento de latência, com duração e *slope* reduzidos. Em contrapartida, a segunda pesquisa identificou prolongada duração desse componente. O pequeno número de estudos que apresentam análises das características das ondas do PEATE-fala não favorece a possibilidade de consenso quanto aos achados da patologia mediante feitura do exame.

Um dos estudos⁹ fez avaliação com PEATE-fala em dois momentos (T1 e T2) para observar o desenvolvimento das respostas à fala na população com TEA. As crianças do grupo de estudo apresentaram menor latência da onda V e maiores amplitudes das ondas A e C em T2 em relação à T1. Quando comparada aos indivíduos com desenvolvimento típico, a população com TEA apresentou em T1 prolongamento de latências das ondas V e A, além de redução da amplitude da onda E e da latência do pico F em T2; indicou desenvolvimento do processamento auditivo no nível subcortical imaturo em pré-escolares com TEA.

O estudo feito por Russo et al.,²² diferentemente dos demais, observou a codificação do *pitch* nas crianças com TEA. Em seus resultados identificou que há codificação deficiente para o *pitch* da fala e rastreamento de tom menos preciso, salientou maior erro na diferenciação de frequência da fala nos indivíduos com TEA. Otto-Meyer et al.²⁰ observaram a estabilidade das respostas dessa população, evidenciaram variabilidade da estabilidade das respostas mesmo em autistas de alto desempenho. Os autores concordam que no mesmo grupo de estudo há participantes que apresentam dificuldade no processamento auditivo dos sons complexos, enquanto outros têm respostas semelhantes ao grupo de crianças com desenvolvimento típico.

Dois estudos^{11,18} apontaram que há menor representação do início da fala, apresentado com duração inicial prolongada da resposta. Outras pesquisas^{18,22} indicam a presença de redução do bloqueio de fase, são apresentados com menor precisão. Todos os estudos apresentados neste tópico concordam que há deficitária estabilidade neural, foi apontada^{20,22} possibilidade de esses indivíduos apresentarem déficits prosódicos receptivos e temporais da fala. Tais aspectos podem estar relacionados à dificuldade no uso social da comunicação, tendo em vista que a percepção de elementos prosódicos da fala e a capacidade de usá-los na expressão da linguagem é um importante aspecto para efetividade comunicacional.

Transtorno fonológico

Os dois artigos que investigaram o processamento auditivo para sons da fala na população com PD divergiram quanto

aos achados da avaliação. Em relação à latência, Ferreira et al.¹⁰ identificaram aumento nos valores de todas as ondas, no entanto com significância apenas para as ondas V, A, C, F e O, enquanto Gonçalves et al.¹⁷ apontaram atraso apenas nos componentes V e A. Ambos indicam maior perda de pistas acústicas na porção transiente do estímulo. Apenas o último estudo citado analisou as amplitudes das ondas, contudo não observou diferenças nos valores entre os grupos de estudo e controle.

Em relação às características do complexo VA, um dos estudos¹⁷ indicou que não foram observadas diferenças entre os grupos. Em contrapartida, a segunda pesquisa¹⁰ identificou redução do *slope* das ondas e aumento dos valores de área, uma vez que são medidas inversamente proporcionais, pode ser indicativo de uma implícita redução da atividade neural durante o aparecimento do potencial analisado.

Ambos os estudos apontam que há déficits na percepção das propriedades temporais dos sons da fala, são relacionados a mudanças na sincronidade dos geradores neurais que podem prejudicar o processamento cortical das informações acústicas. Um dos estudos¹⁰ indica que a base do PD está no processamento dos sons da fala pelo sistema auditivo. Assim, os indivíduos com essa alteração apresentam comprometimento na codificação neural de sons complexos. As pesquisas concordam que tais dificuldades podem comprometer as habilidades para o desenvolvimento da linguagem e interferirem na comunicação social dos indivíduos.

Gagueira desenvolvimental persistente

A aplicação do PEATE-fala na população com gagueira desenvolvimental persistente foi identificada apenas no estudo de Mozaffarilegha et al.,¹⁹ o qual usou a visibilidade de gráfico e a fratalidade para observar a complexidade das respostas ao exame em indivíduos com a patologia de linguagem oral e com desenvolvimento típico.

O grupo estudo apresentou maior complexidade do índice do gráfico, em relação ao grupo sem alterações. Observou-se que a visibilidade de gráfico do PEATE-fala mostra associação entre a topologia e fratalidade à memória de longo prazo do sistema auditivo no tronco encefálico nas crianças com gagueira desenvolvimental persistente.

Transtorno do déficit de atenção e hiperatividade

Na busca literária foi encontrado apenas um artigo que estudou a aplicação do PEATE-fala em crianças com TDAH. Jafari et al.¹³ apontam a dificuldade de observar a presença das ondas C e O nos grupos estudo e controle, com fácil verificação das demais ondas.

O estudo aponta que há presença de maiores latências das ondas A, D, E, F e O, assim como aumento da duração do complexo VA nas crianças com TDAH. Observou ainda um prolongamento nas fases de início e de deslocamento dos estímulos, correspondidas pelas ondas A e O, identificaram, assim, que há menor sincronização das respostas neurais ao início e ao fim do evento acústico da fala nas crianças do grupo estudo. Apresentaram também atrasos nas ondas D, E e F, indicaram maior dificuldade de compreender os elementos sustentados da fala. Quanto ao complexo VA, a pesquisa apontou, além do prolongamento de duração,

menores amplitude e *slope* do componente, indicou redução da sincronia neural nas crianças com TDAH.

Verificou ainda menor relação sinal-ruído, dividiu a amplitude média pré-resposta pela medida após estimulação, pode o alto ruído fisiológico ter influenciado no processamento dos estímulos e dos resultados apresentados. Por fim, sugerem que há interferência das vias neurais aferentes (*bottom-up*) e eferentes (*top-down*) no processamento de estímulos de fala e não fala na população com TDAH.

Conclusão

Crianças com alterações de linguagem apresentaram diferentes respostas mediante a aplicação do PEATE-fala quando comparadas a crianças sem alteração de linguagem. Entre os principais achados estão atraso das latências, redução da amplitude, redução do bloqueio de fase e alterações da morfologia das ondas em diferentes patologias. Devido à variação metodológica, dos parâmetros usados na estimulação e das patologias avaliadas, não é possível generalizar os achados dos estudos.

Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Regaçone SF, Gução ACB, Giacheti CM, Romero ACL, Frizzo ACF. Long latency auditory evoked potentials in students with specific learning disorders. *Audiol Commun Res.* 2014;19:13-8.
2. Johnson KL, Nicol TG, Kraus N. Brain stem response to speech: a biological marker of auditory processing. *Ear Hear.* 2005;26:424-34.
3. Rocha CN, Filippini R, Moreira RR, Neves IF, Schochat E. Potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala. *Pró-Fono R Atual Cient.* 2010;22:479-84.
4. Skoe E, Kraus N. Auditory brainstem response to complex sounds: a tutorial. *Ear Hear.* 2010;31:302-24.
5. Rocha-Muniz CN, Filippini R, Neves-Lobo IF, Rabelo CM, Moraes AA, Murphy CFB, et al. O Potencial Evocado Auditivo com estímulo de fala pode ser uma ferramenta útil na prática clínica? *CoDAS.* 2016;28:77-80.
6. Russo N, Nicol T, Musacchia G, Kraus N. Brainstem responses to speech syllables. *Clin Neurophysiol.* 2004;115:2021-30.
7. Kraus N, Anderson S, White-Schwoch T, Fay RR, Popper AN. *The frequency-following response.* Springer International Publishing. 2017.
8. Sanfins MD, Borges LR, Ubiali T, Colella-Santos MF. Potencial auditivo de tronco encefálico com estímulo de fala (PEATE-fala) no diagnóstico diferencial de dificuldades escolares. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2017;83:112-6.
9. Chen J, Liang C, Wei Z, Cui Z, Kong X, Dong C, et al. Atypical longitudinal development of speech-evoked auditory brainstem response in preschool children with autism spectrum disorders. *Autism Research.* 2019;12:1022-31.

10. Ferreira L, Gubiani MB, Keske-Soares M, Skarzynski PH, Sanfins MD, Biaggio EPV. Analysis of the components of Frequency-Following Response in phonological disorders. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2019;122:47–51.
11. Ramezani M, Lotfi Y, Moossavi A, Bakhshi E. Auditory brainstem response to speech in children with high functional autism spectrum disorder. *Neurol Sci.* 2018;40:121–5.
12. Gabr TA, Darwish TE. Speech auditory brainstem response audiometry in children with specific language impairment. *Hearing Balance Commun.* 2015;14:50–8.
13. Jafari Z, Malayeri S, Rostami R. Subcortical encoding of speech cues in children with attention deficit hyperactivity disorder. *ClinNeurophysiol.* 2015;126:325–32.
14. Rocha-Muniz CN, Befi-Lopes DM, Schochat E. Sensitivity, specificity and efficiency of speech-evoked ABR. *Hear Res.* 2014;317:15–22.
15. Rocha-Muniz CN, Befi-Lopes DM, Schochat E. Investigation of auditory processing disorder and language impairment using the speech-evoked auditory brainstem response. *Hear Res.* 2012;294:143–52.
16. Filippini R, Befi-Lopes DM, Schochat E. Efficacy of auditory training using the auditory brainstem response to complex sounds: auditory processing disorder and specific language impairment. *Folia Phoniatr Logop.* 2012;64:217–26.
17. Goncalves IC, Wertzner HF, Samelli AG, Matas CG. Speech and non-speech processing in children with phonological disorders: an electrophysiological study. *Clinics.* 2011;66:293–8.
18. Russo N, Nicol T, Trommer B, Zecker S, Kraus N. Brainstem transcription of speech is disrupted in children with autism spectrum disorders. *Dev Sci.* 2009;12:557–67.
19. Mozaffarilegha M, Adeli H. Visibility graph analysis of speech evoked auditory brainstem response in persistent developmental stuttering. *Neurosci Lett.* 2018;696:28–32.
20. Otto-Meyer S, Krizman J, White-Schwoch T, Kraus N. Children with autism spectrum disorder have unstable neural responses to sound. *Exp Brain Res.* 2018;236:733–43.
21. Basu M, Krishnan A, Weber-Fox C. Brainstem correlates of temporal auditory processing in children with specific language impairment. *Dev Sci.* 2009;13:77–91.
22. Russo NM, Skoe E, Trommer B, Nicol T, Zecker S, Bradlow A, et al. Deficient brainstem encoding of pitch in children with Autism Spectrum Disorders. *Clin Neurophysiol.* 2008;119:1720–31.