



ARTIGO ORIGINAL

## Crianças com transtorno de desenvolvimento da linguagem: uma resposta de seguimento de frequência (FFR) no estudo com ruído<sup>☆</sup>

Trandil H. Elmahallawi<sup>a</sup>, Takwa A. Gabr<sup>b,\*</sup>, Mohamed E. Darwish<sup>c</sup> e Fatma M. Seleem<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Tanta University Hospitals, Otolaryngology Head and Neck Surgery Department, Audiovestibular Unit, Tanta, Egito

<sup>b</sup> Kafrelsheikh University Hospitals, Otolaryngology Head and Neck Surgery Department, Audiovestibular Unit, Kafrelsheikh, Egito

<sup>c</sup> Tanta University Hospitals, Otolaryngology Head and Neck Surgery Department, Phoniatrics Unit, Tanta, Egito

Recebido em 16 de novembro de 2020; aceito em 31 de janeiro de 2021

### PALAVRAS-CHAVE

Transtornos do desenvolvimento da linguagem;  
Potenciais evocados;  
Tronco cerebral;  
Percepção da fala;  
Ruído

### Resumo

**Introdução:** Tem sido relatado que crianças com transtorno do desenvolvimento da linguagem têm processamento auditivo temporal deficiente.

**Objetivos:** Examinar a resposta de seguimento de frequência e o processamento da fala no silêncio e no ruído.

**Método:** Dois grupos de crianças foram incluídos neste trabalho: o grupo controle (15 crianças com desenvolvimento normal de linguagem) e o grupo de estudo (25 crianças com diagnóstico de transtorno do desenvolvimento da linguagem). Todas as crianças foram submetidas à escala de inteligência, avaliação da linguagem, avaliação audiológica completa e resposta de seguimento de frequência em silêncio (Q) e no ruído (N): +5QNR e +10QNR.

**Resultados:** Os resultados não mostraram diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos no que diz respeito ao QI ou PTA. No grupo de estudo, a análise avançada da resposta de seguimento de frequência mostrou amplitudes reduzidas de F0 e F2. Os resultados também mostraram que o ruído tem um impacto nos componentes transitório e sustentado da resposta de seguimento de frequência no mesmo grupo.

**Conclusão:** Crianças com transtorno do desenvolvimento da linguagem apresentam dificuldade no processamento da fala principalmente na presença de ruído de fundo. A resposta de seguimento de frequência é um procedimento eficiente que pode ser usado para avaliar problemas de processamento de fala em crianças com transtorno do desenvolvimento da linguagem.

© 2021 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/>).

<sup>☆</sup> Como citar este artigo: Elmahallawi TH, Gabr TA, Darwish ME, Seleem FM. Children with developmental language disorder: a frequency following response in the noise study. Braz J Otorhinolaryngol. 2022;88:954-61.

\* Autor para correspondência.

E-mails: [takwagabr@gmail.com](mailto:takwagabr@gmail.com), [takwagabr@med.kfs.edu.eg](mailto:takwagabr@med.kfs.edu.eg) (T.A. Gabr).

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

## Introdução

O transtorno do desenvolvimento da linguagem (TDL) é o novo termo para substituir o termo anteriormente usado, distúrbio específico da linguagem (DEL). Crianças com TDL têm um transtorno de desenvolvimento na qual uma criança com inteligência e audição normais não consegue desenvolver a linguagem de maneira apropriada para a idade. Seu diagnóstico clínico é baseado na presença de QI não verbal normal, evidência de linguagem expressiva e/ou receptiva significativamente abaixo do esperado para a idade e inteligência, além da ausência de outras condições específicas, como autismo, deficiência intelectual global, distúrbios metabólicos ou genéticos ou privação ambiental grave.<sup>1</sup> Essa condição era comumente chamada de comprometimento “específico” de linguagem; entretanto, há controvérsias sobre quão específica a condição é e se a terminologia deveria ser alterada para um termo mais genérico, como atraso no desenvolvimento da linguagem (ADL). Ellis-Weismer et al.<sup>2</sup> A percepção deficiente da fala parece ser um dos principais déficits em crianças com TDL, o que pode explicar o desenvolvimento fonológico deficiente, a deficiência na produção e compreensão de palavras.<sup>3</sup> Fatores genéticos já foram implicados na ocorrência de TDL; entretanto, fatores ambientais desempenharam um papel importante.<sup>4</sup> Além disso, o processamento da linguagem requer boa capacidade de memória de trabalho e habilidades linguísticas.<sup>5</sup>

Os sons da fala são estruturas complexas, ricas em estruturas harmônicas, modulações de amplitude dinâmica e múltiplas frequências que mudam ao longo do tempo do sinal.<sup>6</sup> Anatomicamente, o tronco cerebral auditivo é organizado de forma especial para codificar rápidas mudanças de tempo em sinais auditivos com precisão requintada que diferencia entre décimos de milissegundos.<sup>7</sup>

As respostas do tronco cerebral requerem sincronização adequada junto a sua estrutura neural, que pode ser gravada em resposta a estímulos de início abrupto (por exemplo, clique) ou a estímulos de fala que são mais relevantes para os sons que encontramos na vida real.<sup>8</sup> A audiometria da resposta auditiva do tronco cerebral a estímulos de fala é chamada de resposta de seguimento de frequência (FFR, do inglês *frequency following response*) e está relacionada às habilidades de processamento de linguagem tonal.<sup>9</sup> As ondas FFR são compostas pelo transiente de início da resposta, representado pelo complexo VA, resposta do tronco cerebral em regime estacionário (C, D, E e F) e resposta compensada (O).<sup>6,10</sup> Foi demonstrado que a resposta transitória codifica a estrutura acústica no início das sílabas de parada consoante-vogal sonoras /ga/, /da/, /ba/.<sup>8</sup> A resposta do tronco cerebral em regime estacionário de FFR, por outro lado, é analisada no domínio da frequência e pode ser categorizada em resposta seguindo o envelope (EFR, do inglês *envelope-following response*) e a FFR de estrutura fina. Os componentes espectrais da EFR ocorrem como resultado das não linearidades que são introduzidas pelo processo de retificação do envelope da fala dentro da cóclea.<sup>11</sup> É comumente usado para extrair a resposta evocada que é bloqueada em fase para o envelope do estímulo da fala que é modulado na frequência fundamental F0. Por outro lado, o conteúdo espectral de FFR é gerado como resultado do

bloqueio da fase neural auditiva que segue a estrutura fina do estímulo da fala e é usado para extrair a resposta evocada na região do primeiro formante F1 e possivelmente do segundo formante F2 se for suficientemente baixo em frequência para permitir o bloqueio da fase neural.<sup>12</sup>

Sabe-se que crianças com TDL têm dificuldade de perceber a fala e a condição pode piorar na presença de ruído. O ruído degrada a entrada acústica e requer um conhecimento linguístico mais robusto, o qual já é deficiente nessas crianças, já que elas têm habilidades cognitivas deficientes e déficits de atenção. Na presença de ruído, as crianças com TDL precisam fazer a correspondência entre a entrada auditiva e as representações da memória linguística a partir de informações parciais.<sup>13</sup> Essa teoria será abordada neste trabalho com FFR e análise avançada do MATLAB no silêncio e no ruído.

## Método

O presente estudo incluiu 2 grupos de crianças: grupo controle (Grupo I), composto por 15 crianças com desenvolvimento normal da linguagem) e grupo de estudo (Grupo II), composto por 25 crianças com diagnóstico de transtorno do desenvolvimento de linguagem.

A faixa etária das crianças de ambos os grupos foi de 3 a 6 anos. Todas as crianças têm audição periférica bilateral normal (com a faixa de frequência de 250–8000 Hz) e função da orelha média normal bilateralmente, com QI > 85.

As crianças com TDL foram diagnosticadas por um fonoaudiólogo. Seus critérios diagnósticos incluem habilidades de linguagem abaixo da média esperada para a idade da criança, habilidades de linguagem que interferem na habilidade da criança de se comunicar efetivamente com outras pessoas, a linguagem expressiva é caracterizada por palavras não específicas e frases simples e curtas para expressar significados além da idade em que as crianças podem usar uma linguagem mais complexa, além da dificuldade de compreender a linguagem receptiva. Crianças com outras dificuldades, como Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), dislexia ou dificuldade de emitir os sons da fala foram excluídas do estudo. Crianças com QI abaixo da média ou crianças não cooperativas também foram excluídas do estudo. Este estudo foi feito na Unidade de Medicina Audiovestibular da Kafrelsheikh University.

A metodologia inclui:

- Avaliação audiológica básica [audiometria tonal, audiometria da fala (audiômetro GSI 61, EUA), imitanciometria (Interacoustic AT235 h, Dinamarca).
- Escala de inteligência: com a versão em árabe da 5ª edição de Stanford-Binet<sup>14</sup> padronizada por Faraj et al.<sup>15</sup>
- Avaliação da linguagem com a versão modificada do teste PLS-4.<sup>16</sup>
- Potencial evocado auditivo do tronco encefálico (PEATE) em resposta a estímulos de clique para verificar a função normal da via neural.
- Resposta de seguimento de frequência (FFR): em resposta a 40ms da sílaba narrada /da/ apresentada a 80 dBNPS, com taxa de repetição de 11,1 seg. O tempo de análise foi de 75 mseg, inclusive gravação pré-estímulo de 15 mseg. A FFR foi gravada em silêncio e, em seguida, na presença

de ruído branco ipsilateral a uma razão sinal-ruído (SNR, do inglês *signal-to-noise ratio*) de +5, +10 dB NPS (+5QNR and +10QNR).

O número total de varreduras foi 1.024, com polaridade alternada, a configuração do filtro passa-banda foi de 100–3000 Hz. Os estímulos foram apresentados de modo monoaural através de um fone blindado de inserção ER3A. Quatro eletrodos descartáveis foram colocados nas posições frontal alto Fz (eletrodo positivo) e frontal baixo Fpz (eletrodo terra). Os dois últimos eletrodos foram colocados nas mastoides esquerda e direita (como um eletrodo negativo ou eletrodo de referência), dependeu do lado da gravação. A impedância dos eletrodos foi mantida abaixo de 5 kOhm. A rejeição de artefato de  $\pm 31\text{-}\mu\text{V}$  foi aplicada para rejeitar épocas que continham artefatos miogênicos e o fator de ganho foi de 100.000. A gravação para FFR foi feita com SMART-EPs do *Intelligent Hearing System* (IHS), EUA. Durante a coleta de dados, a criança repousava confortavelmente na maca de exames, assistia a um filme de desenho animado mudo.

Este trabalho foi feito de acordo com os padrões éticos e aprovado pelo instituto para estudos que envolvem seres humanos ou animais. O código de aprovação é 30166/3/31.

A análise de dados de FFR inclui o seguinte:

- **Correlação cruzada:** a correlação de estímulo-resposta foi usada para avaliar o grau de similaridade entre ambos com o módulo de análise FFR desenvolvido pela Northwestern University. O início da resposta pode ser determinado objetivamente dessa maneira. Antes da correlação, o estímulo foi submetido a um filtro passa-baixa (100-1000 Hz) para remover o *burst* de consoante plosiva e permitir correlações mais altas, dada a natureza do filtro passa-baixa da resposta do tronco cerebral.<sup>17</sup> A resposta no intervalo de 20–40 ms foi correlacionada com a porção sustentada do estímulo no intervalo de 13–34 ms como uma função do deslocamento de tempo entre eles em um dado deslocamento de tempo. A forma de onda do estímulo foi deslocada no tempo para a forma de onda de resposta (estacionária) até que o coeficiente de correlação máximo ( $r$ ) fosse obtido. Se os dois sinais fossem idênticos,  $r = 1$ . Se os sinais fossem idênticos, mas 180 graus fora de fase,  $r = -1$  e se os sinais fossem completamente diferentes,  $r = 0$ .<sup>18,19</sup> Correlações máximas foram então convertidas para escores  $z$  de Fischer para fins estatísticos. Os dados coletados do grupo controle serviram como linha basal para comparação com o grupo de estudo. O desvio dos valores fora dos limites de confiança de 95% dos dados do grupo controle foi considerado anormal.
- **Correlação silêncio-ruído:** as respostas em silêncio e no ruído (+5 e +10 QNR) foram correlacionadas para quantificar objetivamente o quanto um indivíduo era afetado pelo ruído. Quando a correlação entre a condição de silêncio e de ruído é alta, próxima de 1, o ruído é interpretado como um impacto mínimo na resposta, enquanto correlações mais baixas indicam que o ruído tem um impacto maior na resposta.<sup>20</sup> A transformação de Fisher foi usada para converter os valores de correlação em escores  $z$  para cálculos estatísticos.
- **Análise de Fourier:** foi feita para medir os valores brutos de amplitude dos componentes de frequência F0, F1 e F2 da resposta. A codificação de frequência foi analisada com a análise de Fourier de duas janelas de tempo diferentes que incluíram os picos D, E e F da resposta.
- **Faseograma cruzado:** é usado para capturar a capacidade do cérebro de discriminar sons de fala dinâmicos espectro-temporalmente, como consoantes de parada. O objetivo era desenvolver uma técnica de análise para PEATE que aproveitasse a precisão temporal de submilissegundos da resposta sem depender da identificação subjetiva de picos de resposta individual.<sup>21</sup> Isso foi feito para correlacionar as condições de silêncio e ruído para as respostas sustentadas e transitórias. Assim, a análise é conduzida em janelas de 2 tempos: resposta transitória em 11-20 ms (para transição consoante-vogal) e resposta sustentada em 21-40 ms (para vogais em regime estacionário) com o objetivo de determinar se houve mudança induzida por ruído em fase ou não. Mudanças de fase na frequência do espectro de resposta (70–1000 Hz) foram calculadas a partir da resposta transitória e sustentada.<sup>21</sup>

## Análise estatística

A análise estatística incluiu o teste  $t$  de Student e o teste de Mann-Whitney para comparação de variáveis quantitativas entre dois grupos de dados com distribuição normal e anormal, respectivamente. O teste Anova foi usado para comparação de variáveis quantitativas entre mais de dois grupos de dados normalmente distribuídos com o teste de Tukey como teste *post-hoc*. O teste de Kruskal-Wallis foi usado para comparação de variáveis quantitativas entre mais de dois grupos de dados com distribuição não normal, com o teste de Tamhane como teste *post-hoc*. O teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) foi usado para estudar a associação entre as variáveis qualitativas. Sempre que qualquer uma das células esperadas fosse menor do que cinco, o teste Exato de Fischer com correção de Yates era usado. A correlação de Pearson foi usada para mostrar a correlação entre duas variáveis contínuas normalmente distribuídas, enquanto a correlação de Spearman foi usada para aquelas sem distribuição normal. O valor de  $p < 0,05$  é considerado estatisticamente significativo em todos os testes.

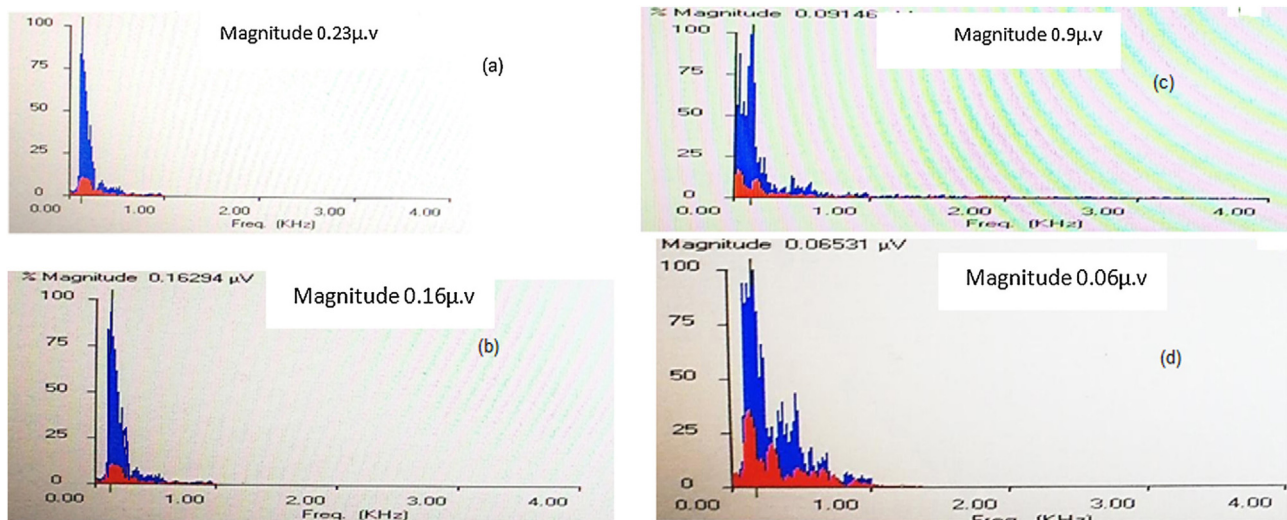
## Resultados

Este estudo incluiu dois grupos de crianças: o grupo controle (GI): composto por 15 crianças (4 meninos e 11 meninas). A média de idade foi  $5,04 \pm 0,79$  anos. Todas as crianças desse grupo apresentaram desenvolvimento típico de linguagem. Em relação à lateralidade, 13 (de 15, 86,7%) eram destros. O grupo de estudo (GII) foi composto por 25 crianças (19 meninos e 6 meninas). A média de idade foi  $4,77 \pm 0,85$  anos e tinham diagnóstico de distúrbio específico da linguagem. Não houve diferença significativa entre os grupos quanto à idade ( $p > 0,05$ ).

A resposta de seguimento de frequência (FFR) foi obtida em 3 condições de teste: em silêncio, QNR de +5 e +10. A análise avançada de FFR incluiu o seguinte:

**Tabela 1** Comparação entre as orelhas direita e esquerda dos grupos controle e de estudo e comparação entre os dois grupos para as correlações do estímulo-resposta (S-R)

	Orelha	GI	GII	Teste de Mann-Whitney	p-valor
<b>Coefficiente de Correlação (r)</b>	Direita	0,097 ± 0,042	0,092 ± 0,028	0,18	0,85
	Esquerda	0,096 ± 0,026	0,073 ± 0,052	1,45	0,14
<b>+10QNR</b>	Direita	0,30 ± 0,16	0,41 ± 0,15	2,25	0,02
	Esquerda	0,27 ± 0,15	0,35 ± 0,15	2,22	0,02
<b>+5QNR</b>	Direita	0,40 ± 0,13	0,65 ± 0,10	4,30	< 0,001
	Esquerda	0,36 ± 0,14	0,60 ± 0,11	4,30	< 0,001
		t = 0,08 p = 0,93	u = 1,88 p = 0,40	t = 0,58 u = 1,88	p = 0,56 p = 0,06
		u = 0,99 p = 0,31	t = 1,39		p = 0,17

\* significância com  $p < 0,05$ .**Figura 1** Transformada Rápida de Fourier (FFT) que revelou a magnitude da amplitude de F0 e F1 em silêncio em criança com desenvolvimento normal de linguagem (a) e em uma criança com TDL (b) (TDL) e +5QNR em criança com desenvolvimento normal de linguagem (c) e em uma criança com TDL (d).

### Correlações estímulo-resposta (E-R)

Em situação de silêncio (correlação do silêncio): Ambos os grupos apresentaram correlação positiva semelhante entre estímulo e resposta em ambas as orelhas, o que foi significativo (tabela 1).

Em situação de ruído (correlação Q-N): As respostas no ruído em +5 e +10 QNR foram correlacionadas para quantificação objetiva do efeito do ruído em um indivíduo. Houve uma baixa correlação entre estímulo e resposta nas orelhas direita e esquerda em ambos os grupos, sugeriu um efeito prejudicial semelhante do ruído. Em cada grupo, o efeito do ruído foi o mesmo nas orelhas direita e esquerda, porém foi mais drástico no grupo de estudo do que no grupo controle nas duas orelhas nas duas proporções (tabela 1).

Análise rápida de Fourier: as amplitudes das frequências dos formantes F0 e F1 foram calculadas e comparadas entre as orelhas direita e esquerda nas condições de silêncio e +5QNR. Em geral, as amplitudes F0 foram mais robustas do que as amplitudes F1 em condições de silêncio e ruído em ambos os grupos. Na condição de silêncio, o grupo

controle não apresentou diferenças entre as duas orelhas; entretanto, o grupo estudo apresentou amplitudes F0 e F1 significativamente maiores na orelha direita quando comparada à esquerda. Em +5QNR, o grupo de estudo apresentou amplitudes F0 e F1 significativamente maiores na orelha direita em comparação com a esquerda. A comparação entre os dois grupos mostrou amplitudes significativamente maiores de F0 e F1 no grupo controle apenas na condição de silêncio ( $t = 2,2$  e  $p = 0,02$ ). Em cada grupo, foi feita uma comparação entre as condições de silêncio e ruído e isso mostrou uma redução significativa das amplitudes F0 e F1 na condição de registro +5QNR quando comparada com a condição de silêncio em ambos os grupos (fig. 1; tabelas 2 e 3).

Correlações de Faseograma cruzado: foi feita a comparação da mudança de fase média da transição e regiões sustentadas de FFR na presença de ruído em relação à condição de silêncio nas orelhas direita e esquerda. O grupo controle não apresentou efeito significativo do ruído em ambas as orelhas, enquanto o grupo de estudo mostrou uma maior mudança de fase estatisticamente significativa

**Tabela 2** Comparação das amplitudes das frequências dos formantes de F0 e F1 entre as condições em silêncio e +5QNR nas duas orelhas de ambos os grupos

		GI			GII		
		Orelha direita	Orelha esquerda		Orelha direita	Orelha esquerda	
F0 Hz	Silêncio	0,023 ± 0,005	0,029 ± 0,03	u = 1,48	0,019 ± 0,004	0,016 ± 0,004	t = 2,33 p = 0,02
	+5QNR	0,010 ± 0,002	0,008 ± 0,002	p = 0,13 t = 3,08	0,011 ± 0,002	0,008 ± 0,002	t = 4,40 p < 0,001
F1 Hz	Silêncio	0,014 ± 0,002	0,013 ± 0,003	t = 1,05 p = 0,29	0,012 ± 0,002	0,009 ± 0,001	t = 4,52 p < 0,001
	+5QNR	0,006 ± 0,001	0,005 ± 0,001	t = 1,81 p = 0,08	0,006 ± 0,001	0,004 ± 0,001	t = 3,91 p < 0,001
		t = 8,61 p < 0,001	u = 4,68 p < 0,001		t = 8,72 p < 0,001	t = 8,57 p < 0,001	
		t = 9,94 p < 0,001	t = 7,39 p < 0,001		t = 10,99 p < 0,001	t = 11,39 p < 0,001	

\* significância com  $p < 0,05$ .**Tabela 3** Comparação das amplitudes de resposta transitória e sustentada em ambos os QNRs entre as orelhas direita e esquerda em ambos os grupos

		GI		GII	
		Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
+10QNR	Transitória	0,19 ± 0,08 t = 1,31 p = 0,18	0,27 ± 0,15 u = 2 p = 0,04	0,30 ± 0,17	0,20 ± 0,11
	Sustentada	0,19 ± 0,09 t = 0,97 p = 0,32	0,23 ± 0,10 u = 3,45 p = 0,001	0,22 ± 0,07	0,16 ± 0,05
+5QNR	Transitória	0,26 ± 0,13 t = 0,87 p = 0,38	0,23 ± 0,10 u = 3,2 p = 0,002	0,64 ± 0,09	0,56 ± 0,08
	Sustentada	0,25 ± 0,11 t = 0,33 p = 0,73	0,28 ± 0,24 u = 1,3 p = 0,19	0,55 ± 0,10	0,50 ± 0,15

\* significância com  $p < 0,05$ .**Tabela 4** Comparação das amplitudes de resposta transitória e sustentada em ambos os QNRs entre as orelhas direita e esquerda entre os dois grupos

	Orelha	GI	GII	Teste de Mann-Whitney	p-valor	
+10QNR	Transitória	Direita	0,19 ± 0,08	0,30 ± 0,17	1,79	0,07
		Esquerda	0,27 ± 0,15	0,20 ± 0,11	1,20	0,23
	Sustentada	Direita	0,19 ± 0,09	0,22 ± 0,07	1,40	0,16
		Esquerda	0,16 ± 0,10	0,23 ± 0,05	2,00	0,04
+5QNR	Transitória	Direita	0,26 ± 0,13	0,64 ± 0,09	5,24	< 0,001
		Esquerda	0,23 ± 0,10	0,56 ± 0,08	5,24	< 0,001
	Sustentada	Direita	0,25 ± 0,11	0,55 ± 0,10	5,11	< 0,001
		Esquerda	0,28 ± 0,24	0,50 ± 0,15	3,90	< 0,001

\* significância com  $p < 0,05$ .



na orelha direita nas duas condições de teste (+ 5QNR e +10QNR) nas respostas transitória e sustentada; no entanto, não atingiu um nível significativo em +5QNR na resposta sustentada. A comparação entre os grupos controle e de estudo mostrou: em +10QNR, a resposta transitória não apresentou diferença significativa entre os dois grupos nas orelhas direita e esquerda, enquanto a resposta sustentada apresentou um deslocamento maior na orelha esquerda. Em +5QNR, as respostas transitória e sustentada apresentaram um deslocamento de fase significativamente maior no grupo de estudo em ambas as orelhas (tabela 4).

## Discussão

A resposta do tronco cerebral às sílabas faladas (FFR) pode ser usada como um índice neural de assincronia em crianças com TDL. O objetivo principal deste estudo foi estudar a FFR em crianças com TDL e como a FFR poderia contribuir para a compreensão do processamento dos sons da fala ao nível do tronco encefálico em crianças com audição normal e aquelas com TDL.

Neste estudo, a FFR foi registrada com morfologia normal em crianças com TDL; entretanto, com o tempo de pico atrasado que apoiava o conceito anterior de Banai et al.<sup>22</sup> Vários parâmetros de FFR foram estudados, começaram com as correlações de estímulo-resposta (E-R) em condições de silêncio e ruído. Na condição de silêncio, houve uma boa correlação positiva entre estímulo e resposta. No entanto, no ruído, houve uma correlação ruim entre o estímulo e a resposta nas orelhas direita ou esquerda de ambos os grupos. Esses achados sugerem um efeito prejudicial semelhante do ruído, que foi mais pronunciado em crianças com TDL. Robertson et al.<sup>23</sup> e Basu et al.<sup>24</sup> explicaram a percepção ruim da fala no ruído em crianças com TDL como o resultado da falha das habilidades fonológicas subjacentes à linguagem ou falha nos processos de base cognitiva, como atenção e memória, que desempenham um papel substancial na percepção da fala no ruído.<sup>3,25</sup> Fatores adicionais importantes, como idade e maturação, foram relatados por Wilson et al.<sup>26</sup> e Myhrum et al.<sup>27</sup> Os autores enfatizaram o amadurecimento gradual do processamento binaural e o amadurecimento de outras habilidades cognitivas que podem estar envolvidas na percepção da fala no ruído, como atenção e velocidade de processamento, além do desenvolvimento da linguagem que ocorre nesse período.

Outro parâmetro da FFR foi o cálculo das amplitudes das frequências dos formantes F0 e F1 com a análise rápida de Fourier. Houve amplitudes significativamente maiores de F0 e F1 na orelha direita quando comparada com a esquerda, tanto no silêncio quanto no ruído no grupo de estudo. Esses achados sugeriram a presença de uma vantagem da orelha direita em crianças com TDL que é aparente ao nível do tronco cerebral. Isso pode ser explicado pelo tempo de condução central mais rápido como resultado de um acesso mais direto da orelha direita ao hemisfério esquerdo pela via contralateral, que é a principal via auditiva.<sup>28</sup> Ambos os grupos de crianças apresentaram amplitudes de F0 e F1 significativamente maiores no silêncio do que em condições de ruído, enfatizaram o efeito drástico do ruído na codificação da fala em ambos os grupos de crianças. Durante seu processamento, os sons da fala são filtrados em bandas de

ondas de banda estreita, que são posteriormente decompostas em estruturas temporais finas (ETFs) de flutuação rápida e envelopes de variação lenta (ENVs).<sup>29</sup> O comprometimento observado em crianças com TDL pode sugerir uma dificuldade na detecção de ambos os componentes<sup>30,31</sup> que pode começar ao nível do tronco cerebral auditivo e indicou que a representação da frequência fundamental (F0) difere entre crianças com TDL e crianças normais.<sup>24</sup> Assim, a perda dessa precisão temporal na codificação subcortical dos sons acarreta a dificuldade na percepção da fala, principalmente na presença de ruído.

A codificação do *pitch* é outro fator que contribui para a percepção da fala. É dependente de F0 e de seus harmônicos e reflete processos neurobiológicos nos níveis cortical<sup>32</sup> e subcortical.<sup>33</sup> F0 e os harmônicos inferiores fornecem pistas acústicas essenciais e pistas de *pitch*, junto com pistas espaciais, temporais e harmônicas ajudam na identificação do som, particularmente na presença de ruído.<sup>34</sup> Andreson et al.<sup>35</sup> relataram que a força da codificação subcortical do *pitch* (determinada pelos harmônicos baixos) é um fator importante para o sucesso da audição no ruído. O mecanismo neural responsável por tal observação funcionou exclusivamente em resposta ao período de transição do formante de variáveis no tempo, uma região particularmente importante para a identificação da sílaba e a mais vulnerável ao mascaramento por ruído de fundo.<sup>24</sup> Portanto, a deficiência de percepção do *pitch* pode ser um fator nos déficits de percepção da fala no ruído experimentado por crianças com TDL. Os processos cognitivos como atenção, memória e formação de objetos provavelmente também afetam a codificação subcortical do som. Quando um ouvinte julga um sinal como importante, a atenção auditiva trabalha para extrair informações relevantes do ruído de fundo concorrente e as armazena na memória de trabalho.<sup>36</sup> O córtex então usa essa informação para fazer previsões das características mais relevantes do estímulo com o subsequente aumento corticofugal em estruturas subcorticais inferiores que fornecem qualidade de sinal melhorada para o córtex auditivo. Assim, crianças com deficiência de percepção da fala no ruído provavelmente têm uma codificação de som deficiente, devido a uma falha de processos de base cognitiva (atenção, memória), além do efeito do ruído na função sensorial subcortical.<sup>31,37</sup> Crianças normais podem excluir o sinal do ruído de fundo devido à maturação total da linguagem, que leva a um fluxo de fala efetivo e função cognitiva normal de cima para baixo.

A FFR fornece representação do tronco cerebral das amplitudes espectrais relacionadas ao *pitch* em um contexto de estímulo repetitivo. Quanto maior essa representação, melhor a percepção da fala no ruído. A capacidade de modular a representação do *pitch* com base nas regularidades do estímulo é importante para "marcar" características relevantes da fala, um componente-chave da identificação do objeto e da percepção da fala no ruído. Crianças com F0 diminuída e representação de harmônicos mais baixos têm dificuldades com a percepção do *pitch* e subsequente agrupamento auditivo e são propensas a ter uma capacidade reduzida de travar no *pitch* do sinal alvo, o que contribui para uma pior percepção da fala no ruído.<sup>35</sup> Este estudo também mostrou que a F0 foi mais robusta do que a F1 em condições de silêncio ou ruído em ambos os grupos, o que apoia o trabalho anterior sobre a susceptibilidade

diferencial ao ruído dos componentes F0 e F1 da FFR. Isso é consistente com Laroche et al.<sup>38</sup> Eles relataram que, no processamento da fala, o *pitch* de harmônicos resolvidos e o de harmônicos não resolvidos são processados em vias diferentes, mas interativas, que convergem no tronco cerebral superior.<sup>39</sup>

As correlações de faseogramas cruzados foram feitas para comparar a média do deslocamento da fase da transição e as regiões sustentadas de FFR no ruído em relação ao silêncio. Não houve deslocamento de fase entre as orelhas direita e esquerda em crianças normais; entretanto, crianças com TDL mostraram um deslocamento de fase significativo nas duas condições de ruído (+5QNR e +10QNR), exceto na resposta sustentada em +5QNR. A comparação entre os dois grupos mostrou que, em +10QNR, a resposta transitória não apresentou diferença significativa entre os dois grupos nas orelhas direita e esquerda. No entanto, a resposta sustentada mostrou um deslocamento maior na orelha esquerda. Em +5QNR, as respostas transitória e sustentada mostraram um deslocamento de fase significativamente maior em ambos os grupos e em ambas as orelhas. A comparação entre os grupos controle e de estudo mostrou maior deslocamento da resposta sustentada na orelha esquerda apenas em +10QNR. No entanto, em +5QNR, ambas as respostas transitória e sustentada mostraram deslocamento de fase significativamente maior em crianças com TDL em ambas as orelhas. Esses achados indicaram que quanto maior o nível de ruído, maior o impacto no processamento da fala em crianças com TDL. A discriminação da fala no ruído está correlacionada com o tempo de resposta transitória e codificação dos harmônicos da fala apresentados no ruído de fundo<sup>40</sup> e foi observado que a degradação da resposta cortical no ruído é maior para crianças com atraso das respostas no tronco cerebral.<sup>41</sup> Isso sugeriu que os déficits de codificação subcortical observados em crianças com TDL se estendem para afetar ambos os elementos temporais rápidos (transitórios) e os espectro-temporais dinâmicos do sinal, que são cruciais para distinguir os sons da fala.<sup>24</sup>

## Conclusão

O presente estudo fornece mais evidências de que crianças com TDL têm déficits na percepção da fala, especialmente na presença de ruído de fundo. A FFR pode ser usada de forma eficiente para a avaliação do processamento dos sons da fala ao nível do tronco cerebral e nessas crianças e mostrou sua capacidade reduzida de travar no *pitch* do sinal alvo. Além disso, suas funções cognitivas deficientes, como atenção e memória, pioraram a situação, que pode melhorar com a maturação e o desenvolvimento da linguagem. A FFR pode ser adicionada à bateria de testes comportamentais usada para avaliação da percepção da fala em crianças com TDL, especialmente nas faixas etárias jovens. Ela também pode ajudar na elaboração de programas de reabilitação que devem ser adaptados para cada criança.

## Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## Referências

1. Trauner DA, Nass RD. Developmental Language Disorders. In Swaiman's Pediatric Neurology (Sixth Edition). 2017:431–6.
2. Ellis-Weismer S, Evans J, Hesketh LJ. An examination of verbal working memory capacity in children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res.* 1999;42:1249–60.
3. Ziegler JC, Pech-George C, George F, Lorenzi C. Noise on, voicing off: Speech perception deficits in children with specific language impairment. *J Exp Child Psychol.* 2011;110:362–72.
4. Bishop DVM. What Causes Specific Language Impairment in Children? *Curr Dir Psychol Sci.* 2006;15:217–21.
5. Füllgrabe C, Rosen S. On The (un)importance of working memory in speech-in-noise processing for listeners with normal hearing thresholds front. *Psychol.* 2016;7:1268.
6. King C, Warrier CM, Hayes E, Kraus N. Deficits in auditory brainstem pathway encoding of speech sounds in children with learning problems. *Neurosci Lett.* 2002;319:111–5.
7. Gabr TA, Darwish ME. Speech auditory brainstem response audiometry in children with specific language impairment. *Hear Balance Communication.* 2016;14:50–8.
8. Johnson L, Nicol T, Zecker G, Bradlow AR, Skoe E, Kraus N. Brainstem encoding of voiced consonant-vowel stop syllables. *Clin Neurophysiol.* 2008;119:2623–35.
9. Song JH, Skoe E, Wong P, Kraus N. Plasticity in the adult human auditory brainstem following short-term linguistic training. *J Cogn Neurosci.* 2008;20:1892–902.
10. Ghannoum MT, Shalaby AA, Dabbous AO, Abd-El-Raouf ER, Abd-El-Hady HS. Speech evoked auditory brainstem response in learning disabled children. *Hearing Balance Commun.* 2014;12:126–42.
11. Aiken J, Picton TW. Cortical responses to the speech envelope. *Ear Hear.* 2008;29:139–57.
12. Prévost F, Laroche M, Marcoux AM, Dajani HR. Objective measurement of physiological signal-to-noise gain in the brainstem response to a synthetic vowel. *Clin Neurophysiol.* 2013;124:52–60.
13. Torkildsen KJ, Hitchins A, Myhrum M, Bø Wie O. Speech-in-noise perception in children with cochlear implants, hearing aids, developmental language disorder and typical development: the effects of linguistic and cognitive abilities. *Front Psychol.* 2019;10:2530.
14. Roid H. Stanford Binet intelligence scales (5th ed.). Itasca, IL: Riverside Publishing.; 2003.
15. Faraj S. Arabic translation of the Stanford-Binet Intelligence scales (SB5), Fifth edition, 2010. The Angelo Egyptian Bookshop. Cairo. 2010.
16. Abu-Hasseba A, El-Sady S, El Shobary A. Standardization, translation, and modification of preschool language scale. Unpublished MD Thesis, Ain Shams University, Egypt. 2011.
17. Liu M, Tsao F, Kuhl K. Lexical tone exaggeration in Mandarin infant-directed speech. *Developmental Science.* Blackwell Publishing Ltd. 2006:110–20.
18. Russo N, Nicol T, Musacchia G, Kraus N. Brainstem responses to speech syllables. *Clin Neurophysiol.* 2004;115:2021–30.
19. Akhoun S, Gallégo S, Moulin A, Ménard M, Veuillet E, Berger-Vachon C, et al. The temporal relationship between speech auditory brainstem responses and the acoustic pattern of the phoneme /ba/in normal-hearing adults. *Clin Neurophysiol.* 2008;119:922–33.
20. Parbery-Clark A, Skoe E, Lam C, Kraus N. Musician enhancement for Speech-in-noise. *Ear Hear.* 2009;30(6):653–61.
21. Skeo E, Nicol T, Kraus N. Cross-phase gram objective neural index of speech sound differentiation. *J Neurosci Methods.* 2011;196:308–17.

22. Banai K, Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Zecker S, Kraus N. Reading and subcortical auditory function. *Cereb Cortex*. 2009;19:2699–707.
23. Robertson EK, Joanisse MF, Desroches AS, Ng S. Categorical speech perception deficits distinguish language and reading impairments in children. *Dev Sci*. 2009;12:753–67.
24. Basu M, Krishnan A, Weber-Fox C. Brainstem correlates of temporal auditory processing in children with specific language impairment. *Dev Sci*. 2010;1(13):77–91.
25. Ziegler JC, Pech-Georgel C, George F, Alario FX, Lorenzi C. Deficits in speech perception predict language learning impairment. *Proc Natl Aca. Sc. U.S.A.* 2005;102:14110–5.
26. Wilson RH, Farmer NM, Gandhi A, Shelburne E, Weaver J. Normative data for the words-in-noise test for 6-to 12-year-old children. *J Speech Lang Hear Res*. 2010;53:1111–21.
27. Myhrum M, Tvete OE, Heldahl MG, Moen I, Soli SD. The Norwegian hearing in noise test for children. *Ear Hear*. 2016;37:80–92.
28. Hellige JB. *Hemispheric Asymmetry: What's right and what's left*. Massachusetts: Harvard University Press; 1993.
29. Moore BC. The role of temporal fine structure processing in pitch perception, masking and speech perception for normal-hearing and hearing-impaired people. *J. Assoc. Res. Otolaryngol*. 2008;9:399–406.
30. Füllgrabe C. Age-dependent changes in temporal-fine-structure processing in the absence of peripheral hearing loss. *Am J Audiol*. 2013;22:313–5.
31. Monteiro R, Tomé D, Neves P, Silva D, Rodrigues MA. The interactive effect of occupational noise on attention and short-term memory: a pilot study. *Noise Health*. 2018;20:190–8.
32. Alain C, Reinke K, He Y, Wang C, Lobaugh N. Hearing two things at once: Neurophysiological indices of speech segregation and identification. *J Cog Neurosci*. 2005;17:811–8.
33. Song JH, Skoe E, Banai K, Kraus N. Perception of speech in noise: neural correlates. *J Cog Neurosci*. 2011;23:2268–79.
34. Oxenham AJ. Pitch perception and auditory stream segregation: Implications for hearing loss and cochlear implants. *Trends Amplif*. 2008;12:316–31.
35. Anderson S, Skoe E, Chandrasekaran B, Zecker S, Kraus N. Brainstem correlates of speech-in-noise perception in children. *Hear Res*. 2010;270:151–7.
36. Johnson JA, Zatorre RJ. Attention to simultaneous unrelated auditory and visual events: Behavioral and neural correlates. *Cereb Cort*. 2005;15:1609–20.
37. Thompson EC, Woodruff Carr K, White-Schwoch T, Otto-Meyer S, Kraus N. Individual differences in speech-in-noise perception parallel neural speech processing and attention in preschoolers. *Hear Res*. 2017;344:148–57.
38. Laroche M, Dajani HR, Prévost F, Marcoux AM. Brainstem auditory responses to resolved and unresolved harmonics of a synthetic vowel in quiet and noise. *Ear Hear*. 2013;34:63–74.
39. Anderson S, Parbery-Clark A, White-Schwoch T, Drehobl S, Kraus N. Effects of hearing loss on the subcortical representation of speech cues. *J Acoust Soc Am*. 2013;133:3030–8.
40. Cunningham J, Nicol T, Zecker SG, Bradlow A, Kraus N. Neurobiologic responses to speech in noise in children with learning problems: Deficits and strategies for improvement. *Clin Neurophysiol*. 2001;112:758–67.
41. Wible B, Nicol T, Kraus N. Correlation between brainstem and cortical auditory processes in normal and language-impaired children. *Brain*. 2005;128:417–23.