



Brazilian Journal of
OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org.br



ARTIGO ORIGINAL

Mismatch negativity in children with specific language impairment and auditory processing disorder[☆]

Caroline Nunes Rocha-Muniz*, Débora Maria Befi Lopes, Eliane Schochat

Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 14 de maio de 2014; aceito em 12 de agosto de 2014

KEYWORDS

Electrophysiology;
Auditory perception;
Auditory perceptual
disorders;
Evoked potentials,
auditory;
Language
development
disorders

Abstract

Introduction: Mismatch negativity (MMN), an electrophysiological measure, evaluates the brain's capacity to discriminate sounds, regardless of attentional and behavioral capacity. Thus, this auditory event-related potential is promising in the study of the neurophysiological basis underlying auditory processing.

Objective: To investigate complex acoustic signals (speech) encoded in the auditory nervous system of children with specific language impairment (SLI) and compare with children with auditory processing disorders (APD) and typical development (TD) through the MMN paradigm.

Methods: Prospective Study. 75 children (6-12 years) participated in this study: 25 children with SLI, 25 with APD, and 25 with TD. MMN was obtained by subtracting from the waves obtained by the stimuli /ga/ (frequent) and /da/ (rare). Measures of MMN latency and two amplitude measures were analyzed.

Results: It was possible to verify an absence of MMN in 16% children with SLI and 24% children with APD. In the comparative analysis, APD and SLI showed higher latencies values and lower amplitude values compared to TD.

Conclusion: These data demonstrate changes in the automatic discrimination of crucial acoustic components of speech sounds in children with SLI and APD. It could indicate problems in physiological processes responsible for ensuring the discrimination of acoustic contrasts in pre-attentional and pre-conscious levels, contributing to poor perception.

© 2015 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

DOI se refere ao artigo: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2014.08.022>

[☆] Como citar este artigo: Rocha-Muniz CN, Lopes DMB, Schochat E. Mismatch negativity in children with specific language impairment and auditory processing disorder. Braz J Otorhinolaryngol. 2015;81:408-15.

* Autor para correspondência.

E-mail: carolrocha@usp.br (C.N. Rocha-Muniz).

PALAVRAS-CHAVE

Eletrofisiologia;
Percepção auditiva;
Transtornos da percepção auditiva;
Potenciais evocados auditivos;
Transtornos do desenvolvimento da linguagem

Mismatch negativity em crianças com distúrbio específico de linguagem e transtorno do processamento auditivo**Resumo**

Introdução: *Mismatch Negativity* (MMN), uma medida eletrofisiológica, mede a habilidade do cérebro em discriminar sons, independente da capacidade atencional e comportamental. Assim, esse potencial mostra-se promissor no estudo das bases neurofisiológicas que subjaz o processamento auditivo.

Objetivo: Investigar a discriminação de sinais acústicos complexos (fala) no sistema auditivo por meio do MMN, com crianças com distúrbio específico de linguagem (DEL), comparando com transtorno do processamento auditivo (TPA) e desenvolvimento típico (DT).

Método: Estudo Prospectivo. 75 crianças (6-12 anos) participaram deste estudo: 25 crianças com DEL, 25 com TPA e 25 em DT. O MMN foi obtido por meio da subtração das ondas obtidas pelos estímulos /ga/ (frequente) e /da/ (raro). Foram analisadas as medidas de latência do MMN e duas medidas de amplitude.

Resultados: Foi possível verificar ausência do MMN em 16% no TPA e 24% DEL. Na análise comparativa, os grupos TPA e DEL apresentaram maiores valores latências e menores valores de amplitude em relação ao DT.

Conclusão: Estes dados demonstram uma alteração na discriminação automática de componentes acústicos cruciais dos sons de fala em crianças com TPA e DEL, o que poderia indicar alterações nos processos fisiológicos responsáveis pela discriminação precisa de contrastes acústicos em níveis pré-atencionais e pré-conscientes, contribuindo para uma percepção deficiente.

© 2015 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

Introdução

A alteração no processamento auditivo temporal tem sido uma das principais teorias utilizadas para tentar explicar a etiologia dos transtornos no desenvolvimento de linguagem. Essa teoria sugere que uma das causas para os transtornos no desenvolvimento de linguagem (entre eles o distúrbio específico de linguagem - DEL) está relacionada a alterações nas habilidades para processar sons e em anormalidades na codificação neural de informações auditivas,¹⁻³ contribuindo para alteração na percepção de pistas acústicas fundamentais contidas nos sinais de fala.

Apesar de aproximadamente um século de pesquisas, ainda não se chegou a um consenso sobre as bases fisiológicas da causalidade desse transtorno envolvendo o desenvolvimento de linguagem, uma vez que os resultados de outros estudos têm falhado em encontrar evidências de alterações no processamento auditivo em crianças com DEL.^{4,5} Dessa forma, as causas etiológicas envolvendo os transtornos no desenvolvimento de linguagem ainda permanecem controversas.

Uma vez que os estudos que utilizaram medidas comportamentais mostraram resultados inconsistentes, as avaliações eletrofisiológicas, por causa de sua natureza comportamental independente, mostram-se ideais para investigar as bases neurais da percepção de fala, sem a interferência da subjetividade da resposta comportamental, mostrando-se úteis no estabelecimento de relações anatomofuncionais no sistema auditivo humano.⁶

O *Mismatch Negativity* (MMN) é uma medida eletrofisiológica que reflete a habilidade do cérebro em discriminar sons, independentemente da capacidade atencional e comportamental do indivíduo. Descrito inicialmente por Näätänen et al.⁷ (1978), o MMN é um potencial cortical eliciado

quando uma mudança ocorre em meio a uma sequência de repetidos estímulos acústicos.^{8,9}

Caracterizado por uma deflexão negativa, a qual ocorre após a resposta P2, o MMN ocorre, geralmente, entre 150 a 250 milissegundos após a apresentação do estímulo, com latência e amplitude variando e dependendo do estímulo utilizado.¹⁰⁻¹²

A maioria dos estudos usa paradigmas simples, nos quais os estímulos frequentes e infrequentes (por exemplo, tons de 1.000 Hz e 1.100 Hz, respectivamente) são apresentados em paradigma *oddball*, similarmente àquele usado no P300, com o estímulo infrequente eliciando o MMN.^{7,10,12,13}

Contudo, o MMN pode, também, ser aflorado por mudanças em estímulos complexos como os sons de fala.¹⁴⁻¹⁸ O sinal de fala é composto por elementos harmonicamente ricos que mudam rapidamente quanto à frequência. Esta estrutura espectro-temporal complexa requer integridade neural para codificação precisa deste sinal.¹⁹ As propriedades acústicas dos sons da fala são codificadas em todos os níveis do sistema auditivo, e esses parâmetros acústicos são representados diferentemente ao longo da via auditiva. Além disso, há evidências de que, provavelmente, os mesmos sejam modificados em cada nível da via auditiva nervosa.²⁰ Dessa forma, para o processamento e entendimento da fala, é necessária a ativação simultânea e coordenada de amplas e diferentes populações de neurônios, desde a transdução do sinal do oitavo nervo até o córtex.¹⁹

A partir das relações previamente estabelecidas, este estudo tem como objetivo examinar a discriminação de sinais acústicos complexos (fala) no sistema auditivo por meio do MMN em indivíduos com distúrbio específico de linguagem (DEL), comparando com crianças com transtorno do processamento auditivo (TPA) e desenvolvimento típico (DT).

Método

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética, sob o Protocolo nº 1049/07. Os pais ou responsáveis pelas crianças receberam orientação sobre todos os procedimentos da pesquisa e assinaram do termo de consentimento livre e esclarecido.

Casuística

Foram avaliadas 75 crianças, na faixa etária entre seis e 12 anos, em um centro de docência e pesquisa de uma universidade, em São Paulo, Brasil. Todos os indivíduos avaliados apresentaram limiares dentro do limite de normalidade (≤ 15 dB NA) para as frequências avaliadas (500 Hz a 4.000 Hz), reconhecimento de fala com escore $\geq 88\%$, medidas timpanométricas normais e ausência de transtornos neurológicos, cognitivos e psiquiátricos. Os indivíduos foram distribuídos em três grupos:

- Desenvolvimento típico (Grupo DT): 25 crianças com desenvolvimento típico, de acordo com informações obtidas através de entrevista com os responsáveis pela criança e professores, ausência de queixas escolares, problemas de fala e linguagem. Além disso, essas crianças tiveram desempenho normal para a avaliação do processamento auditivo.
- Transtorno do processamento auditivo (Grupo TPA): 25 crianças diagnosticadas com TPA por um laboratório de investigação fonoaudiológica em processamento auditivo existente no mesmo local onde foi realizado o presente estudo. O diagnóstico de TPA foi realizado utilizando critérios estabelecidos pela American Speech-Language-Hearing Association (ASHA), ou seja, desempenho abaixo do normal esperado para a idade em ao menos dois testes da bateria de Avaliação do Processamento Auditivo. A bateria de avaliação mínima aplicada neste grupo e no grupo DT foi composta por testes de processamento temporal (Teste de Padrão de Frequência e/ou Duração), escuta monótica (Fala com ruído e/ou Figura com Ruído) e dicótica (teste dicótico de dígitos e/ou teste SSW - Straggered Spondaic Words).
- Distúrbio específico de linguagem (Grupo DEL): 25 crianças diagnosticadas com DEL utilizando os critérios de referência internacionais,¹ a saber: dificuldade persistente de fala e/ou linguagem na ausência de perda auditiva; alterações no desenvolvimento cognitivo; comprometimento no desenvolvimento motor da fala; distúrbios abrangentes do desenvolvimento; síndromes e alterações neurosensoriais; e lesões neurológicas adquiridas.^{21,22} Essas crianças foram diagnosticadas e passavam por terapia fonoaudiológica em laboratório específico no mesmo local onde se deu a pesquisa.

Procedimentos e análise dos dados

Após a seleção e a triagem auditiva, as crianças foram instruídas a escolher um filme (desenho animado) para assistir durante a avaliação, com intensidade de apresentação de aproximadamente 40 dB (A).^{15,23} Alguns estudos têm apontado que indivíduos são mais colaborativos quando estão assistindo a algum vídeo durante as sessões de avaliação.^{24,25}

O potencial evocado auditivo relacionado a eventos (MMN) foi usado para investigar mecanismos que permeiam a discriminação sensorial auditiva. O MMN foi obtido por meio da apresentação de estímulos acústicos de fala – consoantes plosivas /da/ e /ga/. Os estímulos de fala foram sintetizados²⁶ com 48 KHz, 16-bit, e comprimento de 100 ms. Os estímulos foram compostos por cinco formantes, sendo diferenciados nas frequências *onset*, na transição do segundo para o terceiro formante (fig. 1).

Os estímulos foram apresentados na intensidade de 75 dB nNA com tempo de análise de 500 ms, sensibilidade de 100 μ V, filtro de 1 a 30 Hz (com filtro *off-line* de 1 a 15 Hz). Foram utilizados aproximadamente 1.600 estímulos, sendo 1.400 (86%) frequentes (/ga/) e 200 (14%) raros (/da/), apresentados em oito blocos de aproximadamente 200 estímulos (175 frequentes e 25 raros), com um intervalo de 4 segundos entre os blocos. Os estímulos foram apresentados de forma aleatória (paradigma *oddball*) para desencadear o MMN, em velocidade de 1,5 estímulos por segundos. Os estímulos utilizados foram apresentados na orelha direita, através de fones de inserção. A razão para isso se deve às evidências sobre a vantagem da orelha direita para processamento de sons de fala.²⁴

Os traçados foram obtidos pelo eletroneuromiógrafo, modelo Navigator Pro (Biologic Systems Comporation, Natus Medical Inc., Mudelin, III USA).

Como o MMN, por definição, é eliciado somente por um estímulo desviante ou raro, o traçado foi obtido da seguinte forma: subtraindo-se a média dos traçados correspondentes ao estímulo /da/ apresentado em paradigma *oddball* (/da/-raro) da média dos traçados obtidos em resposta ao estímulo /ga/ (frequente).¹⁵ O MMN foi identificado como a onda

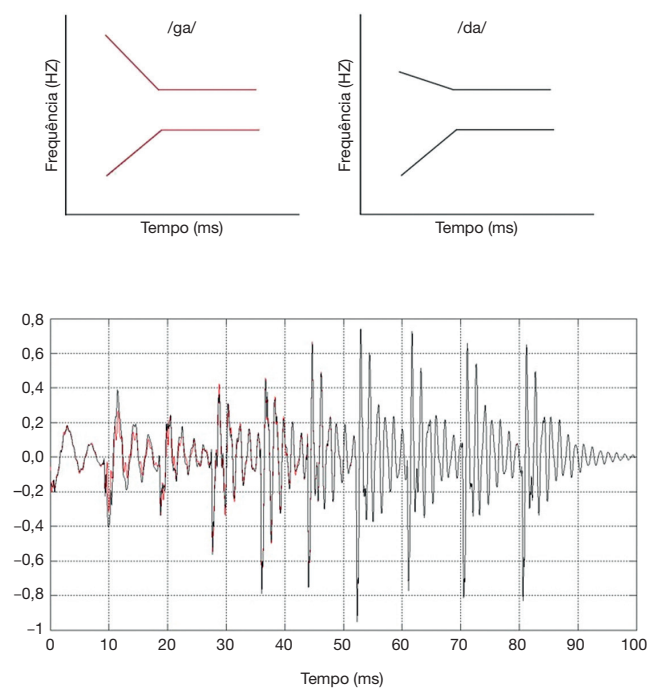


Figura 1 Esquema dos traçados dos estímulos /da/ (preto) e /ga/ (vermelho). Sobreposição dos traçados mostrando a diferenciação nos formantes *onset*.

com polaridade negativa e com latência aproximada entre 150–250 ms pós-estímulo (Näätänen et al., 2007) e foi captado através dos eletrodos nas posições Fz, M2 (mastoide direita) e o Fpz como terra.²⁷

As medidas de amplitude foram analisadas e calculadas colocando-se um dos cursores de referência no ponto de polaridade negativa (MMN) e o outro no ponto de positiva anterior ao MMN para marcação da amplitude on-MMN, e posterior ao MMN para marcação da amplitude off-MMN.

Análise estatística

Conforme os objetivos já especificados, o método estatístico utilizado visou à comparação dos grupos na discriminação de sinais acústicos complexos (fala) no sistema auditivo, por meio da avaliação eletrofisiológica MMN. Para isso, foram realizadas análises descritivas dos valores obtidos nas variáveis resultantes do MMN - latência (descrito em milissegundos - ms) e amplitude (descrito em microvolts - μ V) - por meio da construção de tabelas com valores observados das estatísticas descritivas: média, desvio-padrão, mínimo, mediana e máximo. Para comparar as médias dos testes nos três grupos estudados, foram aplicadas as técnicas de análise de variância (ANOVA). O nível de significância adotado foi de 0,05, e foram marcados com asterisco (*). Quando necessário, foi adotado o método de comparações múltiplas de Tukey no prosseguimento da análise.

Para complementar a análise descritiva, utilizamos o intervalo de confiança (IC) para verificar o quanto a média variou na probabilidade de confiança de 95% e um nível de significância de 5%.

Resultados

Todos os indivíduos do grupo DT apresentaram resposta no MMN, enquanto que apenas 84% dos indivíduos do grupo TPA (21/25 indivíduos) e 76% do grupo DEL (19/25 indivíduos) apresentaram resposta para este potencial. Assim, para as análises a seguir, foram excluídos os indivíduos que não apresentaram resposta no MMN.

A figura 2 mostra os traçados obtidos pelo MMN em um indivíduo de cada grupo (DT, TPA e DEL).

Na tabela 1, observam-se estatísticas descritivas dos dados obtidos pelos três grupos. É possível observar que a média de latência do MMN no grupo DT foi menor que os valores de TPA e DEL. Por meio da mediana, foi observado que 50% do grupo TPA possuem valores de latência para o MMN maiores que 257,37 ms, ou seja, acima do valor de 250 ms proposto por Näätänen et al.¹² (2007).

Para a medida de amplitude *on*-MMN, o grupo DT apresentou maiores valores de amplitude, quando comparados com os dos grupos TPA e DEL. Contudo, na medida de amplitude *off*-MMN, os valores dos grupos DT e TPA foram bastante semelhantes.

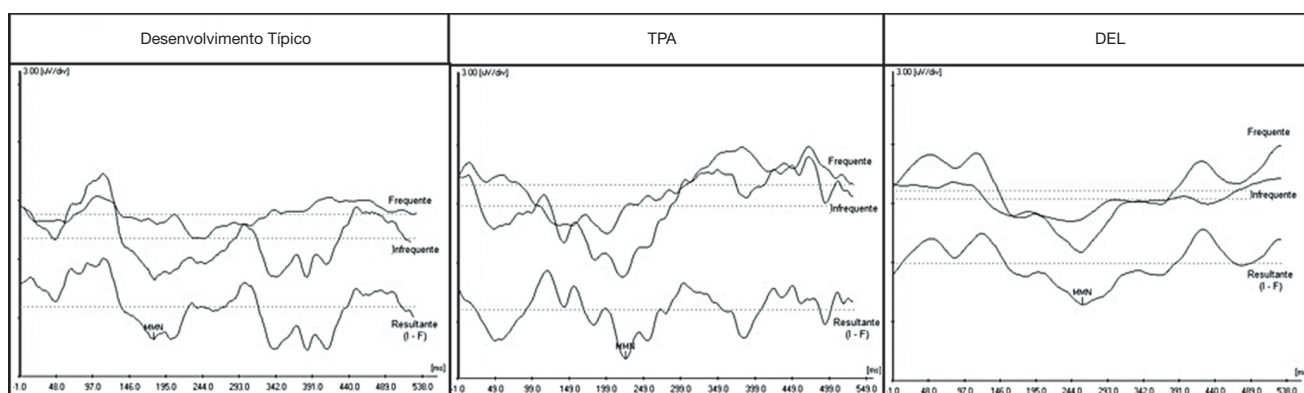


Figura 2 Traçados obtidos no MMN para os contrastes dos estímulos /ga/ (frequente) e /da/ (infrequente) e a resultante (infrequente-frequente) de um indivíduo em desenvolvimento típico, um indivíduo com TPA e outro com DEL. TPA, Transtorno do Processamento Auditivo; DEL, Distúrbio Específico de Linguagem.

Tabela 1 Estatística descritiva para os valores de resposta MMN, considerando as medidas de latência e amplitude nos três grupos avaliados

	Latência MMN			Amplitude <i>on</i> -MMN			Amplitude <i>off</i> -MMN		
	DT	TPA	DEL	DT	TPA	DEL	DT	TPA	DEL
Média	205,33	239,67	241,54	2,44	2,28	1,65	2,44	2,44	1,28
DP	39,44	57,60	43,41	2,15	1,23	1,11	1,79	1,62	0,69
Mínimo	140,78	152,23	164,72	0,39	0,67	0,20	0,24	0,20	0,35
Mediana	198,03	257,37	237,59	2,15	1,97	1,43	1,97	1,91	1,16
Máximo	276,11	308,38	313,59	11,10	4,69	4,30	7,87	5,54	2,64

A figura 3 mostra o diagrama de barras com intervalo de confiança (95%) das médias e o nível de significância na comparação entre as médias dos três grupos para as medidas de latência e amplitude.

Na comparação entre os valores médios de latência do MMN, foi possível observar diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($F[2,62] = 4,88$; $p = 0,01^*$). Por meio do *post-hoc* de Tukey, verificou-se que esta significância encontra-se nas comparações entre DT e TPA ($p = 0,03^*$) e DT e DEL ($p = 0,02^*$).

Em relação à medida de amplitude, apesar do grupo DT mostrar maiores amplitudes, tanto para a amplitude *on*-MMN quanto *off*-MMN, o diagrama de barras de erro indica que houve diferença estatisticamente significativa na comparação entre os grupos somente para a amplitude *off*-MMN ($F[2,62] = 3,45$; $p = 0,03$). Por meio do *post-hoc* de Tukey, verificou-se que esta significância encontra-se somente na comparação entre DT e DEL ($p = 0,03^*$).

Discussão

Baseado nos resultados apresentados por este estudo, o MMN eliciado por pequenas diferenças acústicas nos estímulos de fala (/da/ e /ga/) esteve claramente presente em todas as crianças do grupo DT. Isto é consistente com os estudos anteriores, que mostram um robusto MMN em grupos normais.²⁸ Em outras palavras, crianças do grupo DT são capazes de discriminar os estímulos, em paradigma *oddball*, independentemente de atividades atencionais.

Contudo, nos grupos TPA e DEL, o MMN não foi eliciado em todos os indivíduos. Além disso, foram observados maiores valores de latência e menores amplitudes para os grupos TPA e DEL, quando comparados ao grupo DT (tabela 1 e

fig. 2). Isto pode significar que, tanto o grupo TPA, quanto o grupo DEL apresentaram algum impedimento em nível neural para discriminar com precisão os contrastes dos estímulos.

Assim sendo, esse potencial também indica que déficits fonológicos podem coexistir com dificuldades no processamento das diferenças acústicas entre estímulos.

A redução e a ausência da resposta MMN apenas na população com alteração, mostradas no presente estudo, poderiam contribuir para o comprometimento da percepção e representação acústica em níveis pré-atencionais e pré-conscientes desta população.

Segundo Uwer et al.²⁹ (2002), crianças com DEL mostram déficits específicos na discriminação automática entre sílabas, consoante e vogal que diferem entre pontos articulatórios. Davids et al.³⁰ (2011) acrescentaram que crianças com DEL apresentam dificuldades no processamento de estímulos não verbais, e que isso pode coincidir com déficits fonológicos.

Estes estudos, juntamente com outras pesquisas em crianças com alterações de linguagem,^{16-17,29,31-33} têm encontrado diminuição na codificação de contrastes espectrais, manifestada pela alteração do MMN nesta população, corroborando os achados do presente estudo.

Em contrapartida, alguns estudos não têm encontrado os mesmos resultados do MMN para crianças com DEL.^{34,35} Esses estudos não encontraram respostas anormais para o MMN em crianças com DEL, quando comparadas com crianças apresentando desenvolvimento típico, tanto para estímulos de fala quanto para estímulos não verbais (*tone burst*). Além desses autores supracitados, Roggia e Colares³⁶ (2008) estudaram o MMN com estímulo não verbal em crianças com TPA. As autoras também falharam em encontrar diferenças entre o grupo TPA e crianças normais.

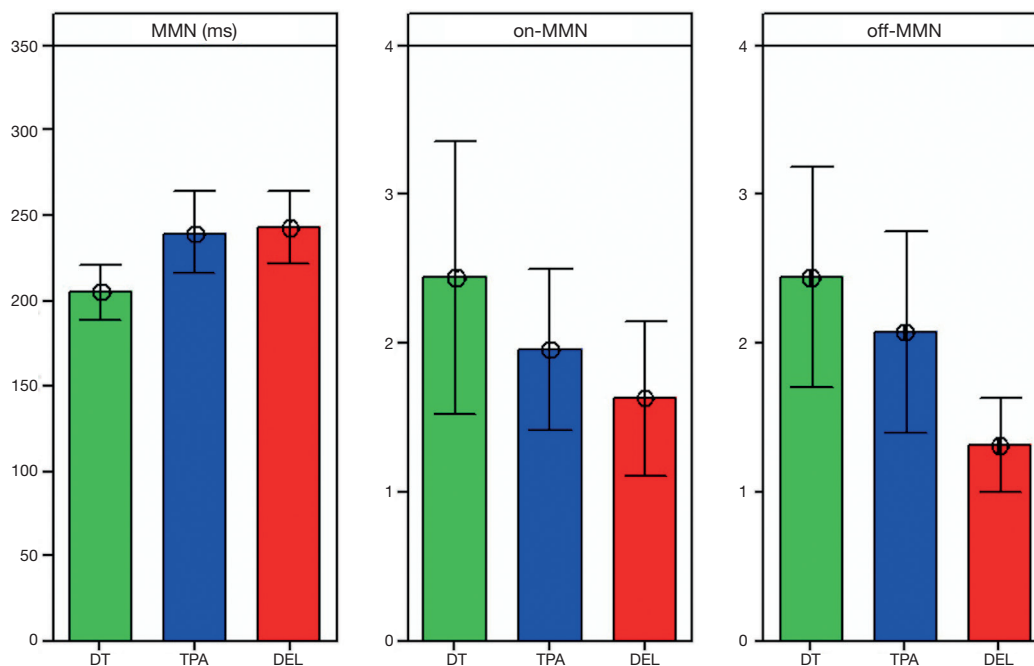


Figura 3 Comparação entre as médias dos três grupos para latência e amplitudes MMN. DT, Desenvolvimento Típico; TPA, Transtorno do Processamento Auditivo; DEL, Distúrbio Específico de Linguagem.

Mesmo sendo o MMN descrito na literatura como uma importante ferramenta na investigação de alterações no processamento auditivo de estímulos acústicos, há poucos estudos utilizando este potencial em crianças com TPA. Também não foi encontrado na literatura um estudo que verificasse concomitantemente o desempenho de crianças com TPA e DEL para este potencial. Esse fato pode ser explicado devido às dificuldades em se encontrar crianças que apresentem TPA isoladamente, sem associações com problemas de leitura e linguagem e, ainda, à grande discussão sobre o próprio diagnóstico do TPA.³⁷

Através dos resultados obtidos neste estudo, verificamos que os grupos TPA e DEL, além de apresentarem maiores latências e menores amplitudes, bem como maior porcentagem de MMN ausente em comparação ao grupo DT, apresentaram desempenhos semelhantes com relação ao MMN, uma vez que não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os dois grupos.

Alguns estudos mostram que alterações nas discriminações de pequenas diferenças acústicas são características comuns aos indivíduos diagnosticados com TPA e DEL. A amplitude do MMN tem sido relacionada a medidas perceptuais auditivas, e a ausência do MMN indica inabilidade em perceber qualquer diferença entre os sons.³⁸ Outro aspecto importante que pode influenciar o MMN são as alterações na memória de curto prazo,¹² podendo, também, ser afetado por alterações na memória de longo prazo.⁸ Por isso, as alterações encontradas no MMN neste estudo fazem sentido, uma vez que os fatores supracitados encontram-se, frequentemente, alterados tanto para as crianças com TPA, quanto para as crianças com DEL.

As respostas MMN alteradas têm sido tipicamente atribuídas a alterações no córtex auditivo. Contudo, não é possível afirmar, com nossos resultados, que as alterações no MMN levam aos déficits comportamentais observados nos grupos TPA e DEL, uma vez que há evidências de interações entre características físicas do estímulo e operações cognitivas. Além disso, não é possível determinar, com este estudo, se as alterações encontradas no MMN, tanto no grupo com TPA quanto no grupo com DEL, possuem a mesma origem.

Há evidências de que a codificação de mudanças de estímulos seja diferentemente representada no cérebro. Kraus et al.³⁹ (1994) encontraram MMN mais robustos em respostas aos estímulos /ba/-/wa/ (em que a diferença se dá na duração entre os formantes), quando comparados aos estímulos /ga/-/da/ (em que a diferença encontra-se na transição entre a frequência do segundo para o terceiro formante). Os autores defenderam a hipótese de que as regiões que contribuem para a formação do MMN variam de acordo com as diferenças entre os estímulos usados.⁴⁰

Dessa forma, outros estudos, utilizando o MMN com diferentes estímulos, devem ser empregados no estudo de crianças com TPA e DEL, a fim de se investigar semelhanças e possíveis diferenças entre essas alterações, além de se estudar o motivo por que nem todas as crianças que possuem alteração no processamento auditivo desenvolvem alterações de linguagem.

Outra hipótese que não pode ser descartada é a possibilidade de as crianças com TPA e DEL apresentarem um atraso maturacional no desenvolvimento geral do sistema nervoso central. Essa hipótese afirma que as diferenças eletrofisiológicas nas respostas auditivas entre crianças com TPA e DEL e crianças normais seriam indicativos de imaturidade neurológica.^{41,42} É conhecido que o processo de mielinização continua através da infância,⁴³ e que essas alterações no processamento auditivo seriam reflexo de um atraso maturacional do desenvolvimento cortical. Apesar da coerência, alguns autores criticam essa hipótese com base nos estudos das alterações em crianças com problemas de linguagem e aprendizado que persistem mesmo depois da adolescência até a fase adulta.⁴⁴ Assim sendo, mais investigações com estudos longitudinais, particularmente para sons de fala, são necessários para determinar se esta hipótese é plausível.

Uma vez que o MMN, em nosso estudo, pareceu refletir a resposta neural para mudanças de estímulos, sendo usado em outros estudos para investigar a atividade cortical auditiva associada à extração de informações fonéticas de estímulos acústicos, essenciais para o reconhecimento de palavras, este se mostra uma ferramenta apropriada para a avaliação da percepção de fala, a qual requer, especificamente, a habilidade de codificar mudanças dinâmicas nos sinais acústicos. Outra vantagem estaria relacionada ao fato de que esse nível de processamento do MMN parece preceder processamentos linguísticos e cognitivos.⁴⁰

É difícil concluir, mediante diversas hipóteses, quais fatores subjazem as alterações encontradas no MMN, e ainda, se esses fatores manifestam-se da mesma forma para o grupo DEL e TPA. Entretanto, o presente estudo mostrou que, por meio do potencial relacionado a eventos MMN, foi possível estudar o processamento auditivo para a discriminação de eventos acústicos independentemente de qualquer resposta comportamental, uma vez que algumas crianças possuem problemas atencionais⁴⁵ ou problemas na expressão e/ou recepção de linguagem, os quais podem influenciar no desempenho dos testes comportamentais comumente utilizados para avaliação do processamento auditivo.

É difícil concluir, mediante diversas hipóteses, quais fatores subjazem as alterações encontradas no MMN, e ainda, se esses fatores manifestam-se da mesma forma para o grupo DEL e TPA. Entretanto, o presente estudo mostrou que, por meio do potencial relacionado a eventos MMN, foi possível estudar o processamento auditivo para a discriminação de eventos acústicos independentemente de qualquer resposta comportamental, uma vez que algumas crianças possuem problemas atencionais⁴⁵ ou problemas na expressão e/ou recepção de linguagem, os quais podem influenciar no desempenho dos testes comportamentais comumente utilizados para avaliação do processamento auditivo.

Conclusão

Por meio do MMN, foi possível estudar a discriminação de sinais acústicos em crianças com desempenho típico, com alterações de linguagem e com transtorno do processamento auditivo. Além disso, nossos achados mostraram evidências de alterações na discriminação pré-atencional de contrastes acústicos, tanto em crianças com TPA como em crianças com DEL. Esses resultados sugerem que essa alteração nos processos de detecção de mudança automáticos corticais são semelhantes em crianças com TPA e DEL.

Financiamento

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. No. Processo: 2011/23131-8.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Tallal P, Piercy M. Defects of non-verbal auditory perception in children with development dysphasia. *Nature*. 1973;241:468-9.
2. 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.
3. 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.
4. Bishop DV, Carlyon RP, Deeks JM, Bishop SJ. Auditory temporal processing impairment: neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *J Speech Lang Hear Res*. 1999;42:1295-310.
5. Tomblin B, Abbas PJ, Records NL, Brennen LM. Auditory evoked response to frequency-modulated tones in children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res*. 1995;38:387-92.
6. Skoe E, Kraus N. Auditory brain stem response to complex sounds: a tutorial. *Ear Hear*. 2010;31:302-24.
7. Näätänen R, Gaillard A, Mäntysalo S. Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychol*. 1978;42:313-29.
8. Pakarinen S, Teinonen T, Shestakova A, Kwon MS, Kujala T, Hämäläinen H, et al. Fast parametric evaluation of central speech-sound processing with mismatch negativity (MMN). *Int J Psychophysiol*. 2013;87:103-10.
9. Picton TW, Alain C, Otten L, Ritter W, Achim A. Mismatch negativity: different water in the same river. *Audiol Neurootol*. 2000;5:111-39.
10. Sams M, Hämäläinen M, Antervo A, Kaukoranta E, Reinikainen K, Hari R. Cerebral neuromagnetic responses evoked by short auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1985;61:254-66.
11. He C, Hotson L, Trainor LJ. Development of infant mismatch responses to auditory pattern changes between 2 and 4 months old. *Eur J Neurosci*. 2009;29:861-7.
12. Näätänen R, Paavilainen P, Rinne T, Alho K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clin Neurophysiol*. 2007;118:2544-90.
13. Jin Y, Diaz B, Colomer M, Sebastián-Gallés N. Oscillation encoding of individual differences in speech perception. *Plos One*, 2014. 9(7):e100901.
14. Molfese DL, Molfese VL. Cortical responses of preterm infants to phonetic and nonphonetic speech stimuli. *Dev Neuropsychol*. 1980;16:574-81.
15. Kraus N, McGee T, Carrell T, Sharma A, Nicol T. Speech-evoked cortical evoked potentials. *J Am Acad Audiol*. 1993;4:238-48.
16. Kraus N, McGee TJ, Carrell T, Zecker SG, Nicol TG, Koch DB. Auditory neurophysiologic responses and discrimination deficits in children with learning problems. *Science*. 1996;273:971-3.
17. Datta H, Shafer VL, Morr ML, Kurtzberg D, Schwartz RG. Electrophysiological indices of discrimination of long-duration, phonetically similar vowels in children with typical and atypical language development. *J Speech Lang Hear Res*. 2010;53:757-77.
18. Banai K, Nicol T, Zecker SG, Kraus N. Brainstem timing: implications for cortical processing and literacy. *J Neurosci*. 2005;25:9850-7.
19. Nicol T, Kraus N. Speech-sound encoding: physiological manifestations and behavioral ramifications. *Suppl Clin Neurophysiol*. 2004;57:628-34.
20. Warren, R. Auditory perception: a new analysis and synthesis. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1999.
21. Leonard LB. Children with specific language impairment. Cambridge, MA: MIT Press; 1998.
22. Befi-Lopes DM. Avaliação, diagnóstico e aspectos terapêuticos nos distúrbios específicos de linguagem. In: Ferreira LP, Befi-Lopes DM, Limongi, SCO. Tratado de fonoaudiologia. São Paulo: Roca; 2004. p.547-52.
23. Dhar S, Abel R, Hornickel J, Nicol T, Skoe E, Zhao W, et al. Exploring the relationship between physiological measures of cochlear and brainstem function. *Clin Neurophysiol*. 2009;120:959-66.
24. Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Zecker S, Kraus N. Subcortical differentiation of voiced stop consonants: relationships to reading and speech in noise perception. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2009;106:13022-7.
25. Krizman J, Skoe E, Kraus N. Stimulus rate and subcortical auditory processing of speech. *Audiol Neurootol* 2010;15:332-42.
26. Klatt DH. Software for a cascade/parallel formant synthesizer. *J Acoust Soc Am*. 1980;67:971-95.
27. Jarper HA. The ten-twenty system of the International Federation. *Electroenceph. Clin Neurophysiol*. 1958;10:371-5.
28. Baldeweg T, Hirsch SR. Mismatch negativity indexes illness-specific impairments of cortical plasticity in schizophrenia: a comparison with bipolar disorder and Alzheimer's disease. *Int J Psychophysiol*. 2014;26:77-4.
29. Uwer R, Albrecht R, von Suchodoletz W. Automatic processing of tones and speech stimuli in children with specific language impairment. *Dev Med Child Neurol*. 2002;44:527-32.
30. Davids N, Segers E, van den Brink D, Mitterer H, van Balkom H, Hagoort P, et al. The nature of auditory discrimination problems in children with specific language impairment: an MMN study. *Neuropsychologia*. 2011;49:19-28.
31. Holopainen IE, Korpilahti P, Juottonen K, Lang H, Sillanpaa M. Attenuated auditory event-related potential (mismatch negativity) in children with developmental dysphasia. *Neuropediatrics*. 1997;28:253-6.
32. Korpilahti, P. Auditory discrimination and memory functions in SLI children: A comprehensive study with neurophysiological and behavioral methods. *Scand J Log Phon*. 1995;20:131-9.
33. Ceponiene R, Cummings A, Wulfeck B, Ballantyne A, Townsend J. Spectral vs. temporal auditory processing in specific language impairment: a developmental ERP study. *Brain Lang*. 2009;110:107-20.
34. Bishop DV. Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: where are we, and where should we be going?. *Psychol Bull*. 2007;133:651-72.
35. Bishop DV, Hardiman MJ, Barry JG. Lower-frequency event-related desynchronization: a signature of late mismatch responses to sounds, which is reduced or absent in children with specific language impairment. *J Neurosci*. 2010;30:15578-84.
36. Roggia SM, Colares NT. O mismatch negativity em pacientes com distúrbios do processamento auditivo (central). *Braz J Otorrinolaringol*. 2008;74:705-11.
37. Ferguson MA, Hall RL, Riley A, Moore DR. Communication, listening, cognitive and speech perception skills in children with auditory processing disorder (APD) or specific language impairment (SLI). *J Speech Lang Hear Res*. 2011;54:211-27.
38. Garrido MI, Kilner JM, Stephan KE, Friston KJ. The mismatch negativity: a review of underlying mechanisms. *Clin Neurophysiol*. 2009;120:453-63.
39. Kraus N, McGee T. Mismatch negativity in the assessment of central auditory function. Short course. *Am J Audiol*. 1994;39-51.
40. Kraus N, McGee T, Carrell TD, Sharma A. Neurophysiologic bases of speech discrimination. *Ear Hear*. 1995;16:19-37.

41. Wright BA, Zecker SG. Learning problems, delayed development, and puberty. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2004;101: 9942-6.
42. Hautus MJ, Setchell GJ, Waldie KE, Kirk IJ. Age-related improvements in auditory temporal resolution in reading-impaired children. *Dyslexia*. 2003;9:37-45.
43. Giedd JN, Snell JW, Lange N, Rajapakse JC, Casey BJ, Kozuch PL, et al. Quantitative magnetic resonance imaging of human brain development: ages 4-18. *Cereb Cortex*. 1996;6:551-60.
44. McArthur GM, Bishop DV. Auditory perceptual processing in people with reading and oral language impairments: current issues and recommendations. *Dyslexia*. 2001; 7:150-70.
45. Bishop DVM, Hardiman MJ, Barry JG. Auditory deficit as a consequence rather than endophenotype of specific language impairment: electrophysiological evidence. *Plos One* 2012; 7: e35851.