



Brazilian Journal of
OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org.br



ARTIGO ORIGINAL

Cortical inhibition effect in musicians and non-musicians using P300 with and without contralateral stimulation☆☆☆

Camila Maia Rabelo*, Ivone Ferreira Neves-Lobo, Caroline Nunes Rocha-Muniz, Thalita Ubiali, Eliane Schochat

Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (FMUSP), São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 25 de julho de 2013; aceito em 22 de julho de 2014

KEYWORDS

Electrophysiology;
Event-related potentials, P300;
Hearing;
Music

Abstract

Introduction: Musicians have more robust and efficient neural responses in the cortical and sub-cortical regions, demonstrating that musical experience benefits the processing of both non-linguistic and linguistic stimuli.

Objective: This study aimed to verify P300's latency and amplitude behavioral using contralateral stimulation in musicians and non-musicians.

Methods: This was a case-control study. Subjects were divided in two groups: musicians, comprising 30 professional musicians, and non-musicians, comprising 25 subjects without musical experience.

Results: The present study showed that the musicians had lower latencies and higher amplitudes than the non-musicians in the P300 without contralateral noise. For the P300 amplitude values, the difference between groups persisted, and the musicians presented significantly higher amplitude values compared with the non-musicians; additionally, the analysis of the noise effect on the P300 response showed that the latency values were significantly increased in the musicians.

Conclusion: The central auditory nervous system of musicians presents peculiar characteristics of electrophysiological responses probably due to the plasticity imposed by musical practice.

© 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.2014.11.003>

* Como citar este artigo: Rabelo CM, Neves-Lobo IF, Rocha-Muniz CN, Ubiali T, Schochat E. Cortical inhibition effect in musicians and non-musicians using P300 with and without contralateral stimulation. Braz J Otorhinolaryngol. Braz J Otorhinolaryngol. 2015;81:63-70.

** Instituição: Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (FM-USP), São Paulo, SP, Brasil.

* Autor para correspondência.

E-mail: cmrabelo@gmail.com (C.M. Rabelo).

PALAVRAS-CHAVE

Eletrofisiologia;
Potencial evocado
P300;
Audição;
Música

Efeito da inibição cortical utilizando o P300 em músicos e não músicos com e sem estimulação contralateral**Resumo**

Introdução: Os músicos possuem respostas neurais mais robustas e eficientes em regiões corticais, mostrando que a experiência musical beneficia o processamento de estímulos linguísticos e não linguísticos.

Objetivo: Verificar como a latência e a amplitude do P300 se comporta usando estimulação contralateral, em músicos e não músicos.

Método: Estudo de caso-controle. Os indivíduos foram divididos em dois grupos: GM (grupo de músicos) com 30 músicos profissionais e GNM (grupo de não músicos) com 25 indivíduos sem experiência musical.

Resultados: Os resultados mostraram que: GM teve latências menores e amplitudes maiores do que a GNM no P300 sem ruído contralateral. Para os valores de amplitude do P300, a diferença entre os grupos se manteve, e o GM apresentou valores de amplitude significativamente maiores em comparação com o GNM; e a análise do efeito do ruído sobre a resposta P300 mostrou que os valores de latência foram significativamente maiores no GM.

Conclusão: Concluímos que o sistema nervoso auditivo central de músicos apresenta características peculiares de respostas eletrofisiológicas provavelmente devido à plasticidade imposta pela prática musical.

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

Introdução

Os efeitos da experiência musical na representação de sons no córtex auditivo foram funcionalmente e anatomicamente observados em vários estudos. Diferenças anatômicas foram encontradas em várias estruturas do cérebro, tais como o giro de Heschl, o córtex auditivo secundário, o corpo caloso e o plano temporal de músicos.¹

Um estudo realizado por Ohnishi e colaboradores, em 2001, usando ressonância magnética funcional (RMf), mostra que ouvir música passivamente produz ativação significativa no giro temporal superior e no giro medial bilateral, em conjunto conhecidos como o córtex de associação auditiva, tanto nos músicos quanto nos não músicos. Músicos mostram ativação cortical temporal direita dominante, ao passo que os não músicos mostram ativação cortical temporal esquerda dominante.²

Em 2010, Chermak declara que, ao estimular diferentes áreas do cérebro, como as regiões frontal, temporal, parietal e subcortical, a música poderia ajudar a melhorar várias funções relacionadas com a atenção, incluindo a memória, a aprendizagem, a linguagem e até mesmo os aspectos emocionais.³

Vários autores também concordam que os músicos têm respostas neurais mais robustas e eficientes nas regiões corticais e subcortical, demonstrando que a experiência musical beneficia o processamento tanto dos estímulos não linguísticos quanto linguísticos. Assim, o treinamento musical tem sido um recurso frequente e eficaz na reabilitação de distúrbios de comunicação.³⁻⁵

Os potenciais evocados auditivos (PEA) são ferramentas importantes na investigação da função auditiva, pois, além de serem testes objetivos e não-invasivos, são sensíveis às mudanças plásticas na via auditiva como resultado de estimulação externa.⁶

O P300 é um potencial evocado auditivo de longa latência (PEALL) endógeno que depende da resposta consciente do indivíduo, e aparece como uma onda positiva entre 50 e 500 milissegundos (ms) após a apresentação do estímulo acústico, com uma amplitude que varia de 7 a 25 microvolts (μ V). Esse potencial é extraído em uma tarefa de discriminação auditiva chamada paradigma excêntrico, sendo também conhecido como um potencial cognitivo, pois é usado para investigar habilidades como a discriminação e a atenção. Os geradores do P300 ainda estão sendo investigados, mas sabe-se que o P3 pode ser originado por diferentes estruturas não apenas no córtex, mas também em regiões subcortical. Assim, pode-se dizer que o P300 inclui a resposta do córtex frontal e centro-parietal e hipocampo.⁷ Há evidências de que o subtálamo e o corpo geniculado medial contribuem para a geração do P300, com algumas atividades no giro orbital, tálamo rostral e comissura anterior.^{8,9} Além disso, o foco atual sobre potenciais tardios tem sido a investigação da relação entre suas características e o processamento de informações, tais como a codificação, a memória e a tomada de decisão.¹⁰

Estudos sobre PEA têm demonstrado que o córtex auditivo responde a sons de forma diferente em músicos e não músicos,^{11,12} e que a plasticidade do córtex auditivo em relação aos efeitos do treinamento musical é maior quando o treino começa na infância.^{2,13} Em 2003, Trainor e colegas observaram melhora nos PEALLs após o treinamento musical auditivo em crianças e adultos, mostrando que a música pode alterar a representação cortical auditiva.¹³ Outros autores sugerem que esse tipo de estimulação pode ser usado como uma ferramenta na reabilitação auditiva.³

Em 2006, Lopez e colegas observaram diferenças significativas nos valores de latência e amplitude dos potenciais de negatividade de incompatibilidade (MMN) e P300 entre um grupo de músicos amadores e um de não músicos, com o

grupo de músicos mostrando latências reduzidas e maiores amplitudes.¹¹

Musacchia e colegas, em 2007, avaliaram os PEAs do tronco encefálico em um grupo de músicos e observaram que estes apresentavam latências reduzidas e amplitudes maiores em comparação com um grupo de não músicos, tanto para o estímulo musical quanto para o da fala.⁵

Além das melhorias funcionais subcorticais e corticais, o treinamento musical pode moldar a função auditiva em estruturas tão periféricas quanto a cóclea, com músicos demonstrando um maior grau de controle eferente sobre a atividade das células ciliadas externas ao longo da membrana basilar do que os não músicos.^{14,15} Tais melhorias extensas perceptuais e neurais podem ser conduzidas, pelo menos em parte, pelo reforço do controle cognitivo sobre o processamento auditivo básico, quando engendrado pela atenção auditiva,¹⁶⁻¹⁸ duas habilidades cognitivas auditivas que se mostram aumentadas em músicos.

Krishnamurti, em 2001, observou a influência do ruído competitivo contralateral na latência e amplitude do P300. Segundo o autor, a introdução de ruído competitivo contralateral complica a situação, aumentando a dificuldade de discriminação do P300 e, conseqüentemente, tendo como resultado o aumento da latência e diminuição da amplitude desse potencial.¹⁹

Embora estudos comportamentais tenham encontrado efeitos semelhantes em músicos e não músicos,²⁰ os resultados com potenciais relacionados a eventos (PREs) são inconsistentes.²¹

Estudos anteriores demonstraram a redução da resposta coclear - diminuição de amplitude e aumento da latência - devido ao efeito inibitório induzido pela presença de ruído. Essas alterações nas respostas foram observadas ao longo da via auditiva, por meio de avaliações da cóclea até o córtex auditivo,²² demonstrando que o sistema auditivo de indivíduos saudáveis sofre os efeitos de inibição na presença de um estímulo competitivo.

Além disso, pouco se sabe sobre os mecanismos fisiológicos que estão na base do funcionamento da via eferente. Para investigar o efeito positivo da experiência musical sobre a via auditiva, este estudo teve como objetivo investigar e analisar as respostas potenciais cognitivas de latência e amplitude do P300 na presença e ausência de ruído contralateral em músicos e não músicos. Este estudo abordou as seguintes questões de pesquisa: Existem diferenças nas latências e amplitudes dos PREs auditivos do P300 - com e sem ruídos contralaterais - entre músicos e não músicos?; O ruído contralateral pode inibir a resposta do P300 nos dois grupos?

Método

O presente estudo foi realizado em nosso laboratório, nas dependências da Instituição, tendo sido aprovado pelo comitê de ética (Nº 0874/07).

Participantes

Esse foi um estudo de caso-controle que incluiu 30 músicos profissionais de ambos os sexos, entre 20 e 53 anos de idade,

que haviam estudado música formalmente desde a infância ou adolescência e que ainda tocavam algum tipo de instrumento musical, chamados aqui de grupo de músicos (GM). Do grupo controle participaram 25 indivíduos de ambos os sexos, sem qualquer experiência musical formal, entre 18 e 30 anos de idade, chamados de grupo dos não músicos (GNM). Todos os participantes assinaram e concordaram com os procedimentos descritos na Declaração de Consentimento Livre e Esclarecido.

Como critérios de inclusão, foi estabelecido que todos os participantes deveriam ter limiares auditivos dentro dos limites normais, nas frequências de 250 a 8000 Hz,²³ o que foi verificado por meio de audiometria tonal, e uma ausência de queixas auditivas e/ou distúrbios neurológicos. A diferença entre os grupos foi determinada com base em anos de experiência musical. Todos os participantes do GM tinham estudado música formalmente e ainda tocavam algum tipo de instrumento musical.

Os procedimentos realizados nos GNM e GM incluíram P300 com e sem ruído contralateral. O P300 foi obtido com o equipamento Bio-Logic Traveler Express Evoked Potential Machine (ANSI, 1996), usando fones TDH 39. Para avaliar o P300, o eletrodo ativo foi posicionado em Cz, os eletrodos de referência nos mastoídes à direita (A2) e esquerda (A1) (um eletrodo mastoide ligado, independentemente da orelha de apresentação), e o eletrodo terra foi posicionado em Fz.²⁴ Um tom intermitente a 1500 Hz foi utilizado como desviador (estímulo raro), apresentado de forma aleatória, com 20% de probabilidade, misturado com o estímulo de um tom intermitente na frequência de 1000 Hz e apresentado com 80% de probabilidade, utilizando o paradigma excêntrico, com 70 dB HL de intensidade e uma taxa de um estímulo por segundo (1/s). Os indivíduos foram convidados a contar verbalmente os estímulos raros. O P300 foi identificado como o desvio positivo de 250-500 ms após o estímulo.

Para verificar o efeito de supressão, o teste foi repetido com o uso de ruído branco (RB) na orelha contralateral com a mesma intensidade que o tom intermitente (70 dB NA). O RB foi gerado pelo Sistema Bio-Logic. Os valores de supressão para ambos os parâmetros da latência e amplitude foram calculados subtraindo-se o valor obtido com o ruído do valor obtido sem ruído (ou seja: valor de latência sem ruído - valor de latência com ruído). O efeito de supressão de resposta da latência é inversamente proporcional à amplitude; assim, enquanto é esperado que os valores da latência aumentem na presença de ruído contralateral, os valores de amplitude devem diminuir.

No presente estudo, o examinador que aplicou o teste foi também responsável pela análise de seus resultados; portanto, este não foi um estudo cego. Embora seja possível argumentar que tal análise pode ser influenciada por seus aspectos subjetivos, não acreditamos que essa influência enfraqueça os resultados obtidos. Quando foi observada a interferência durante a varredura, um novo procedimento foi realizado.

As análises intra e intergrupo basearam-se na verificação dos valores numéricos da latência, em milissegundos (ms), e das amplitudes, em microvolts (mV), do P300, na avaliação com e sem ruído contralateral e na comparação dos valores obtidos em cada situação. Esses dados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov, com distribuição normal para todos os conjuntos de dados.

Posteriormente, em uma comparação entre a latência média e a amplitude em ambos os grupos e orelhas, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) para determinar se havia diferenças significantes nas latências (ms) e amplitude (mV) do P300 entre o GNM e o GM. Utilizou-se o teste *t* para amostras dependentes, para comparar as médias obtidas nas orelhas direita e esquerda em cada grupo. Para a análise intragrupo para o efeito do ruído contralateral sobre as latências e amplitudes do P300, dentro de cada grupo foi utilizada ANOVA com medidas repetidas. Adotou-se um nível de significância igual a 0,05 (5%). Os valores estatisticamente significativos foram marcados com um asterisco (*) quando os valores foram inferiores ou iguais a 0,05. A análise estatística foi realizada com o uso do software SPSS.

Resultados

A tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados obtidos na comparação dos valores de latência do P300 (ms) sem ruído entre o GNM e o GM para as orelhas esquerda e direita.

Observamos que a latência média do P300 sem ruído contralateral no GNM foi maior do que a observada no GM. No entanto, essa diferença foi estatisticamente significativa apenas para a orelha direita [$F_{1,53} = 4,67$; $p = 0,035$].

Utilizando o teste *t* para amostras dependentes, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes nos grupos na comparação entre as orelhas esquerda e direita para os valores de latência do P300 sem ruído contralateral [GNM; $t(24) = 1,052$; $p = 0,30$ e GM; $t(29) = -0,831$; $p = 0,41$].

A tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos dados obtidos na comparação entre os valores de latência do P300 com ruído contralateral que foram obtidos nos GNM e GM para as orelhas esquerda e direita.

Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada na comparação entre os valores de latência do P300 com ruído contralateral entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre as orelhas em ambos os grupos para os valores de latência do P300 com ruído contralateral [GNM; $t(24) = 1,100$; $p = 0,28$; e GM; $t(29) = 0,425$; $p = 0,67$].

A tabela 3 mostra a estatística descritiva dos dados obtidos na comparação dos valores de amplitude do P300 (μV) sem ruído competitivo entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda.

Diferenças estatisticamente significantes foram encontradas quando comparados os valores de amplitude do P300 entre o GNM e GM, tanto para a orelha direita [$F_{1,53} = 20,06$; $p < 0,001$] quanto para a orelha esquerda [$F_{1,53} = 28,25$; $p < 0,001$].

Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada em ambos os grupos na comparação dos valores de amplitude do P300 entre as orelhas, sem ruído contralateral [GNM; $t(24) = 1,485$; $p = 0,15$; e GM; $t(29) = 1,847$; $p = 0,07$].

A tabela 4 mostra as comparações do GNM e GM em relação aos resultados encontrados para os valores de amplitude do P300 (μV) com ruído contralateral para as orelhas direita e esquerda.

Diferenças estatisticamente significantes foram encontradas na comparação entre os valores de amplitude do P300

Tabela 1 Comparação dos valores de latência (ms) do P300 sem ruído contralateral entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Latência do P300 sem ruído (ms)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	324,48	305,2	313,64	309,13
Mediana	325	303	324	307,5
DP	35,98	35,63	46,61	41,25
Mínimo	257	254	221	232
Máximo	377	372	385	404
Tamanho	25	30	25	30
Valor-p	0,035		0,705	

GNM, grupo de não músicos; GM, grupo de músicos.

Tabela 2 Comparação dos valores de latência (ms) do P300 com ruído contralateral entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Latência do P300 com ruído (ms)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	320,68	333,00	312,64	330,63
Mediana	321,00	328,00	312,00	324,50
DP	41,73	35,63	44,27	47,00
Mínimo	247,00	272,00	237,00	242,00
Máximo	413,00	408,00	395,00	430,00
Tamanho	25	30	25	30
Valor-p	0,243		0,153	

GNM, grupo de não músicos; GM, grupo de músicos.

Tabela 3 Comparação entre a amplitude do P300 (μV) sem ruído contralateral entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Amplitude do P300 sem ruído (μV)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	10,81	19,93	9,55	18,21
Mediana	9,46	20,85	9,71	18,10
DP	5,13	9,02	3,55	7,45
Mínimo	4,11	4,51	3,67	4,59
Máximo	25,21	39,12	15,11	30,4
Tamanho	25	30	25	30
p-valor	< 0,001*		< 0,001*	

GNM, grupo de não músicos; GM, grupo de músicos.

Tabela 4 Comparação das amplitudes do P300 (μV) com ruído contralateral entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Amplitude do P300 com ruído (μV)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	9,79	19,62	8,58	16,85
Mediana	8,04	18,43	6,29	16,48
DP	5,73	7,86	5,60	7,71
Mínimo	2,80	7,5	2,81	4,59
Máximo	23,60	39,8	21,22	38,89
Tamanho	25	30	25	30
p-valor	< 0,001		< 0,001	

GNM, grupo de não músicos; GM, grupo de músicos.

Tabela 5 Comparação da supressão da latência do P300 (ms) entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Supressão da latência (ms)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	3,80	-27,80	1,00	-21,50
Mediana	4,00	-24,50	-5,00	-20,50
DP	34,82	29,31	30,67	37,50
Mínimo	-72,00	-102,00	-73,00	-125,00
Máximo	84,00	21,00	54,00	44,00
Tamanho	25	30	25	30
p-valor	< 0,001		0,020	

GNM = grupo de não músicos; GM = grupo de músicos.

Tabela 6 Comparação da supressão da amplitude do P300 (mV) entre o GNM e o GM para as orelhas direita e esquerda

Supressão da amplitude (μV)	Orelha direita		Orelha esquerda	
	GNM	GM	GNM	GM
Média	1,02	0,31	0,96	1,35
Mediana	0,72	0,41	1,92	2,21
DP	4,25	5,82	3,99	5,81
Mínimo	-11,76	-11,09	-8,94	-12,42
Máximo	9,40	18,04	6,55	12,64
Tamanho	25	30	25	30
p-valor	0,615		0,779	

GNM = grupo de não músicos; GM = grupo de músicos.

com ruído contralateral entre o GNM e o GM, tanto para a orelha direita [$F_{1,53} = 27,03$; $p < 0,001$] quanto para o esquerdo [$F_{1,53} = 19,902$; $p < 0,001$].

Na comparação entre as orelhas para o GNM, foram observadas diferenças estatisticamente significantes nos valores de amplitude P300 com ruído contralateral [GNM; $t(24) = 1,300$; $p = 0,290$]. Para o GM foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa entre as orelhas direita e esquerda para os valores de amplitude P300 com ruído contralateral [$t(29) = 3,357$; $p = 0,002$].

A tabela 5 mostra as estatísticas descritivas para as comparações entre o GNM e o GM em relação aos resultados observados para os valores de supressão de latência do P300 (ms).

Diferenças estatisticamente significantes foram encontradas na comparação da supressão de latência do P300 entre o GNM e o GM, tanto para a orelha direita [$F_{1,53} = 13,35$; $p = 0,001$] quanto para a esquerda [$F_{1,53} = 5,77$; $p = 0,020$].

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes nos valores de supressão de latência do P300 em ambos os grupos na comparação entre as orelhas [GNM; $t(24) = 0,308$; $p = 0,76$; e GM; $t(29) = 0,950$; $p = 0,35$].

A tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas para as comparações entre o GNM e o GM em relação aos resultados observados para os valores de supressão de amplitude do P300 (mV).

Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada na comparação dos valores de supressão da amplitude do P300 entre o GNM e o GM para a orelha direita [$F_{1,53} = 0,257$; $p = 0,615$] e a orelha esquerda [$F_{1,53} = 0,08$; $p = 0,779$].

Além disso, nenhuma diferença estatisticamente relevante foi observada na comparação entre as orelhas direita e esquerda para os valores de supressão de amplitude do P300 [GNM; $t(24) = 0,05$; $p = 0,95$; e GM; $t(29) = -0,814$; $p = 0,42$].

Na comparação intragrupo, a latência do P300 obtida na ausência e na presença de ruído contralateral não foi expressivamente afetada pelo efeito do ruído contralateral no GNM, tanto para a orelha direita [$F(1,24) = 1,446$; $p = 0,241$] quanto para o esquerdo [$F(1,24) = 1,476$; $p = 0,236$]. No entanto, no GM, o efeito do ruído contralateral afetou significativamente o valor de latência do P300, causando um considerável aumento dessa medida em ambas as orelhas [RE: $F(1,29) = 26,97$; $p < 0,001$; LE: $F(1,29) = 9,861$; $p = 0,004$]. No entanto, o valor da amplitude do P300 não foi muito afetado pelo efeito do ruído contralateral nos dois grupos.

Discussão

Esse estudo forneceu evidências de que: (1) o GM apresentou menores valores médios de latência e amplitudes médias mais elevadas em comparação com o GNM em P300 sem ruído contralateral. Essa diferença foi estatisticamente significativa para os valores de amplitude em ambas as orelhas, mas para os valores de latência foi expressiva apenas na orelha direita. (2) Em relação ao P300 com ruído contralateral, o GM também apresentou valores de amplitude maiores em comparação com o GNM, embora não houvesse diferença estatisticamente significativa entre os grupos para os valores de latência, mas (3) nenhum efeito de lateralidade foi observado (diferença entre as orelhas direita e esquerda)

em qualquer um dos grupos; e (4) a análise do efeito do ruído sobre a resposta do P300 (análise intragrupo) mostrou que os valores de latência estavam consideravelmente aumentados no GM. No entanto, essa resposta não foi observada no GNM. Além disso, para os valores de amplitude, a presença de ruído não afetou significativamente a resposta para ambos os grupos.

Diferenças entre músicos e não músicos sem estimulação contralateral

O desempenho superior relatado no GM - evidenciado pelas latências menores e amplitude maiores - corrobora os resultados de outros estudos que observaram menor latência para PEAs em músicos em comparação com não músicos.^{5,11}

Embora estudos anteriores tenham verificado diferenças entre músicos e não músicos em ambas as orelhas,²⁵⁻²⁷ no presente estudo não foram verificadas diferenças estatisticamente significantes entre os valores de latência na orelha esquerda. Atribuímos esse fato à pequena amostra e à ampla faixa etária dos participantes.

A latência do P300 pode ser utilizada como uma medida da velocidade de processamento da informação em um paradigma excêntrico. Assim, sugerimos que a latência reduzida, observada em músicos, pode estar relacionada com a transmissão mais rápida e a categorização dos estímulos, bem como a uma maior eficácia na discriminação do estímulo-alvo, que pode ser justificado, nesse caso, pela estimulação musical.⁵

Em relação aos valores de amplitude do P300, foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre o GNM e o GM para ambas as orelhas, direita e esquerda (tabela 3). Esse achado também está de acordo com a literatura, pois os valores de amplitude maiores em músicos refletem mais conexões neurais da via auditiva e sugerem que o treinamento musical possui um efeito.³⁻⁵

Podemos afirmar que os músicos têm habilidades auditivas aumentadas em comparação com os não músicos. Vários autores têm associado a maior capacidade de atenção auditiva (maior concentração no estímulo alvo), a memória auditiva e a percepção auditiva excepcional com menores valores de latência e amplitude de resposta mais altas,²⁸⁻³⁰ já que esses indivíduos apresentam processamento da informação mais precisa e uma discriminação de campo auditivo mais eficaz. Outra possível causa dos valores de latência mais baixos encontrados no grupo de músicos pode ser a presença de geradores neurais aumentados no córtex, cuja capacidade de avaliar estímulos acústicos é melhor e mais rápida do que em não músicos. Portanto, o tempo de análise da estimulação é mais curto nesse grupo, o que resulta em menores latências.³¹

A melhora no processamento auditivo em indivíduos treinados musicalmente provavelmente modifica a organização cortical, e essas mudanças podem ser estendidas às estruturas sensoriais subcorticais. Essas mudanças têm sido observadas ao longo da via auditiva, desde o tronco cerebral até o córtex.⁵ Alguns autores também relatam que as respostas do tronco cerebral dos músicos são mais robustas, refletindo-se ao longo de todo o percurso. Essa maior robustez poderia estar relacionada com respostas neurais que são mais sincronizadas ao aparecimento do som, o que é característico de um sistema auditivo periférico altamente funcional.

O fato de os músicos executarem tarefas que premiam habilidades auditivas motiva o aparecimento de hipóteses sobre o impacto do treinamento musical nos mecanismos cerebrais subjacentes à atenção auditiva e memória de trabalho. Durante essas tarefas (por exemplo, quando os indivíduos são instruídos a ouvir certos sons-alvo ou timbres), os músicos demonstram mais alto recrutamento de áreas corticais associadas à atenção auditiva sustentada e memória de trabalho,¹⁷ como o córtex parietal superior, bem como a ativação mais consistente de regiões de controle pré-frontal.³² Indicações de que o treinamento musical aumenta as contribuições dos córtices parietal e pré-frontal superiores para ativar o processamento auditivo e seus papéis na manutenção da atenção auditiva e memória de trabalho podem apoiar a hipótese de que a formação musical sintoniza redes cognitivas auditivas do cérebro para processamento cruzado dos domínios auditivos.

Efeito do ruído contralateral nas respostas dos músicos e não músicos

Esse estudo mostrou que o P300 apresentou comportamentos diferentes na presença e na ausência de ruído contralateral, especialmente nos músicos. A latência média do músico para P300 na presença de ruído contralateral foi significativamente mais tardia do que sem esse ruído. Essa diferença na latência do P300 com e sem ruído contralateral não foi observada no GNM. Além disso, para os valores de amplitude, a presença de ruído não afetou significativamente a resposta para ambos os grupos.

Estudos do P300 com ruído mascarado também demonstraram um aumento da latência com amplitudes não afetadas.^{33,34} No entanto, em um estudo recente, Schochat et al.²² não verificaram diferenças em relação à latência do P300 com e sem ruído contralateral em adultos normais.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os grupos para os valores de latência do P300 com ruído contralateral. Ainda assim, é possível notar que as latências do GM foram mais afetadas pelo ruído contralateral em comparação com o GNM, uma vez que as latências do GM foram mais tardias que as do GNM.

No entanto, para os valores de amplitude do P300, a diferença entre os grupos se manteve, e o GM apresentou valores de amplitude mais altos em comparação com o GNM.

Além disso, quando foram comparados os valores de supressão entre os grupos, os músicos apresentaram valores mais elevados de supressão.

Esses resultados, em conjunto, podem ser explicados pelo efeito inibidor do ruído contralateral sobre as respostas do P300, mais especificamente sobre as medidas de latência, o que mostra maior vulnerabilidade a esse efeito inibitório. A medida de latência tem sido relacionada com o processamento da informação auditiva e discriminação auditiva,³⁵ e essa é considerada a medida mais confiável no estudo P300.

Schochat et al.²² observaram a presença do efeito inibitório com a utilização de um ruído contralateral, tanto em emissões otoacústicas quanto no potencial 300 auditivo tardio. Estudos utilizando EOAT descreveram esse efeito inibitório, como a diminuição da resposta coclear através da ativação do sistema MOC (olivococlear medial) na presença de ruído contralateral. Esse mecanismo pode proporcionar um efeito antimascaramento que aumenta a discriminação

de variação do sinal. Além disso, ele fornece um sistema de controle de ganho de *feedback* para os níveis de sons moderados que mediam a atenção seletiva e focam a atenção durante o aprendizado.^{36,37}

Embora as técnicas utilizadas no presente estudo sejam diferentes das mencionadas acima, em geral, nossos achados corroboram as ações dos efeitos inibidores, provavelmente por ativação do sistema eferente, usando o P300.

A função do sistema eferente medial é complexa e ainda não está clara, pois envolve mecanismos variados de ação, mediados pelos tratos olivar medial e lateral.

No entanto, evidências apresentadas por vários estudos têm mostrado que o MOCB (feixe olivococlear medial) desempenha um papel importante na capacidade de inteligibilidade da fala no ruído. Estudos recentes utilizando modelagem computacional coclear e reconhecimento de voz mostraram que a ativação do efeito do MOCB melhorou o reconhecimento de voz no ruído.³⁸ Assim, a atividade do MOCB em seres humanos deve ser de grande importância, tanto para o funcionamento do sistema auditivo periférico quanto para a melhoria do processamento do sinal auditivo, especialmente para a audição no ruído.³⁹

O sistema eferente também contribui para a otimização da discriminação das diferenças intra-aurais em sinais de alta frequência, aumentando a diferença entre as informações que chegam a ambos os núcleos do complexo olivar superior. Esse importante papel da via eferente tem repercussões sobre a capacidade de localizar sons de estímulos de alta frequência. Sinais de fala são estímulos de alta frequência especialmente consoantes e, portanto, a integridade do sistema auditivo como um todo é necessária para que a informação verbal seja devidamente processada.⁴⁰

Também atribuímos os resultados à ação do sistema eferente. Tomchik e Lu,⁴¹ em um estudo do sistema auditivo de animais, sugerem que “os neurônios aferentes primários se adaptam ao ruído, reduzindo suas taxas de emissão evocadas em resposta a um estímulo adicional, o que pode aumentar a latência das respostas”. Eles também sugerem que o ruído de banda larga interfira na fase de captura de aferentes primários para um estímulo adicional.

Essa linha de raciocínio nos leva a crer que o efeito da estimulação musical pode constituir evidência neurofisiológica da melhoria do desempenho do MOCB, maximizando o funcionamento das vias aferentes e eferentes, evidenciado pelo expressivo efeito inibitório encontrado em músicos. Além disso, podemos deduzir que os músicos apresentam maiores vantagens de percepção auditiva e melhor processamento da fala, bem como vantagens de discriminação de frequências e de processamento temporal.

Outra possível explicação para os nossos achados está relacionada com a teoria da modulação corticofugal em seres humanos. Estudos demonstraram que a estimulação elétrica do córtex auditivo pode resultar em redução da amplitude dos valores de emissões otoacústicas (EOA) na orelha contralateral. Outros estudos também têm sugerido um controle de cima para baixo das vias auditivas descendentes do corticofugal no sistema eferente olivococlear medial.^{42,43} Outros pesquisadores, que não conseguiram demonstrar correlações entre o efeito de supressão e a amplitude das emissões otoacústicas (EOA), também reforçam a hipótese de que existem outros aspectos que influenciam o MOC, como a modulação cortical.^{26,27}

Além das melhorias funcionais subcortical e cortical, a formação musical pode moldar a função auditiva em estruturas tão periféricas quanto a cóclea, com músicos demonstrando um maior grau de controle eferente sobre a atividade das células ciliadas externas ao longo da membrana basilar que os não músicos.¹⁵ Essas extensas melhorias perceptuais e neurais podem ser conduzidas, pelo menos em parte, pelo controle cognitivo fortalecido sobre o processamento auditivo básico, como produzido pela atenção auditiva,^{32,44} e memória de trabalho,^{17,18} duas habilidades cognitivas auditivas que se mostram aumentadas em músicos.

Assim, podemos afirmar que o treinamento musical pode ser uma ferramenta importante para o treinamento auditivo, para prevenção, habilitação e reabilitação de uma ampla gama de distúrbios do processamento auditivo.

No que diz respeito à ausência de efeito da lateralidade em ambos os grupos e condições avaliadas, acreditamos que esses resultados podem ser explicados pelo fato de que os dois hemisférios participam dessa tarefa de processamento cognitivo. Isso apoia a ideia de que o P300 reflete uma integração da função de várias áreas do cérebro.

Algumas limitações do presente estudo podem ter influenciado os resultados: ausência de um cálculo do tamanho amostral; faixa etária ampla; faixa de anos de prática musical formal extensa; ausência de dominância manual como critério de inclusão; e a longa duração do teste. No entanto, acreditamos que o estudo mostrou resultados promissores em relação ao uso de novas ferramentas para verificar a atividade do sistema eferente olivococlear medial, bem como novas informações sobre essa atividade através de um Potencial Evocado Auditivo de Longa Latência em músicos. Propomos que um estudo futuro leve essas deficiências em consideração.

Conclusão

No presente estudo encontramos evidências sobre o efeito da inibição cortical utilizando um potencial relacionado a evento (P300) na presença e ausência de ruído contralateral em ambos os grupos. Além disso, o grupo de músicos mostrou um maior efeito de inibição em comparação com os não músicos, evidenciando que o sistema nervoso auditivo central de músicos apresenta particularidades características devido à prática musical à qual estão constantemente expostos.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

Esse trabalho recebeu apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

Referências

1. Gaser C, Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci.* 2003;23:9240-5.

2. Ohnish T, Matuda H, Asada T, Aruga M, Hitakata M, Nishikawa M, et al. Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cereb Cortex*. 2001;11:754-60.
3. Chermak GD. Music and auditory training. *Hear J*. 2010;63:4.
4. Eisenkraft T, Miranda MF, Schochat E. Comparação dos potenciais de latência média com ou sem estímulo musical. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2006;72:465-9.
5. Musacchia G, Sams M, Skoe E, Kraus N. Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007;104:15894-8.
6. Musiek FE, Shinn J, Hare C. Plasticity, auditory training, and auditory processing disorders. *Semin Hear*. 2002;23:263-75.
7. McPherson DL. Late potentials of the auditory system. San Diego: Singular Publishing Group; 1996.
8. Musiek FE, Lee WW. Potenciais auditivos de média e longa latência. Em: Musiek FE, Rintelmann WF, editores. *Perspectivas atuais em avaliação auditiva*. Trad. Gil D. São Paulo: Manole; 2001. p. 239-67.
9. Schochat E. Resposta da latência média em crianças e adolescentes normo-ouvintes. *Pró-Fono R Atual Cient*. 2003;1:65-74.
10. Kraus N, McGee T. Mismatch negativity in the assessment of central auditory function. Short course. *Am J Audiol*. 1994:39-51.
11. Lopez L, Jürgens R, Volker D, Wolfgang B, Ried S, Grözinger B, et al. Musicians versus nonmusicians - a neurophysiological approach. *Ann N Y Acad Sci*. 2006;999:124-30.
12. Tervaniemi M, Castaneda A, Knoll M, Uther M. Sound processing in amateur musicians and nonmusicians: event-related potential and behavioral indices. *Neuroreport*. 2006;17:1225-8.
13. Trainor LJ, Shahin A, Roberts LE. Effects of musical training in the auditory cortex in children. *Ann N Y Acad Sci*. 2003;999:506-13.
14. Smith DW, Turner DA, Hensen MM. Psychophysical correlates of contralateral efferent suppression. I. The role of the medial olivocochlear system in 'central masking' in nonhumans primates. *J Acoust Soc Am*. 2000;107:933-41.
15. Brashears SM, Morlet TG, Berlin C, Hood LJ. Olivo cochlear efferent suppression in classical musicians. *J Am Acad Audiol*. 2003;14:314-24.
16. Strait DL, Kraus N, Parbery-Clark A, Ashley R. Musical experience shapes top-down auditory mechanisms: evidence from masking and auditory attention performance. *Hear Res*. 2010;261:22-9.
17. Pallesen KJ, Brattico E, Bailey CJ, Korvenoja A, Koivisto J. Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE*. 2010;5:e11120.
18. Parbery-Clark A, Strait DL, Anderson S, Hittner E, Kraus N. Musical experience and the aging auditory system: implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PLoS ONE*. 2011;6:e18082.
19. Krishnamurti S. P300 auditory event-related potentials in binaural and competing noise conditions in adults with central auditory processing disorders. *Contemp Issues Commun Sci Disord*. 2001;28:40-7.
20. Bigand E, Poulin-Charronnat B. Are we 'experienced listeners'? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. *Cognition*. 2006;100:100-30.
21. Koelsch S, Jentschke S, Sammler D, Mietchenj D. Untangling syntactic and sensory processing: an ERP study of music perception. *Psychophysiology*. 2007;44:476-90.
22. Schochat E, Matas CG, Samelli AG, Mamede Carvalho RM. From otoacoustic emission to late auditory potentials P300: the inhibitory effect. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*. 2012;72:296-308.
23. Davis H. Audiometry: pure tone and simple speech tests. Em: Davis H, Silverman SR, editores. *Hearing and deafness*. New York: Holt, Rinehart and Winston; 1970. p. 179-200.
24. Jasper HA. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1958;10:371-5.
25. Micheyl C, Morlet T, Giraud AL, Collet L, Morgon A. Contralateral suppression of evoked otoacoustic emissions and detection of a multi-tone complex in noise. *Acta Otolaryngol*. 1995;14:6992-7007.
26. Perrot X, Micheyl C, Khalifa S, Collet L. Stronger bilateral efferent influences on cochlear biomechanical activity in musicians than in non-musicians. *Neurosci Lett*. 1999;262:167-70.
27. Brashears SM, Morlet TG, Berlin CI, Hood LJ. Olivocochlear efferent suppression in classical musicians. *J Am Acad Audiol*. 2003;14:314-24.
28. Weber-Fox C, Leonard LB, Wray AH, Tomblin JB. Electrophysiological correlates of rapid auditory and linguistic processing in adolescents with specific language impairment. *Brain Lang*. 2010;115:162-81.
29. Evans JL, Selinger C, Pollak SD. P300 as a measure of processing capacity in auditory visual domains in specific language impairment. *Brain Res*. 2011;1389:93-102.
30. Perrot X, Collet L. Function and plasticity of the medial olivocochlear system in musicians: a review. *Hear Res*. 2014;308:27-40.
31. Hoeksma MR, Kemmer C, Kenemans JL, van Engeland H. Abnormal selective attention normalizes P3 amplitudes in PDD. *J Autism Dev Disord*. 2006;36:643-54.
32. Strait D, Kraus N. Playing music for a smarter ear: cognitive, perceptual and neurobiological evidence. *Music Percept*. 2011;29:133-46.
33. Polish J, Howard L, Starr A. Aging effects on the P300 component of the event-related potential from auditory stimuli: peak definition, variation and measurement. *J Gerontol*. 1985;40:721-6.
34. Salisbury DF, Shenton ME, Griggs CB, Bonner-Jackson A, McCarley RW. Mismatch negativity in chronic schizophrenia and first-episode schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry*. 2002;59:686-94.
35. Picton TW, Hillyard SA. Endogenous event-related potentials. Em: Picton TW, editor. *EEG handbook*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1988. p. 361-416.
36. Galambos R. Suppression of auditory nerve activity by stimulation of efferent fibers to the cochlea. *J Neurophysiol*. 1956;19:424-37.
37. Lilaonitkul W, Guinan JJ Jr. Human medial olivocochlear reflex: effects as functions of contralateral, ipsilateral, and bilateral elicitor bandwidths. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2009;10:459-70.
38. Brown GJ, Ferry RT, Meddis R. A computer model of auditory efferent suppression: implications for the recognition of speech in noise. *J Acoust Soc Am*. 2010;127:943-54.
39. Giraud AL, Garnier S, Micheyl C, Lina G, Chays A, Chéry-Croze S. Auditory efferents involved in speech-in-noise intelligibility. *Neuroreport*. 1997;8:1779-83.
40. Durante AS, Carvallo RMM. Contralateral suppression of otoacoustic emissions in neonates. *Int J Audiol*. 2002;41:211-5.
41. Tomchik SM, Lu Z. Modulation of auditory signal-to-noise ratios by efferent stimulation. *J Neurophysiol*. 2006;95:3562-70.
42. Bajo VM, Nodal FR, Moore DR, King AJ. The descending cortico-collicular pathway mediates learning-induced auditory plasticity. *Nat Neurosci*. 2010;13:253-60.
43. Harkrider AW, Bower CD. Evidence for a cortically mediated release from inhibition in the human cochlea. *J Am Acad Audiol*. 2009;20:208-15.
44. Tervaniemi M, Kruck S, Baene WD, Schröger E, Alter K, Friederici AD. Top-down modulation of auditory processing: effects of sound context, musical expertise and attentional focus. *Eur J Neurosci*. 2009;30:1636-42.