

CARLOS ALBERTO LEITE FILHO

**Validação do teste de mascaramento temporal sucessor e investigação do
processamento temporal de músicos com ouvido absoluto**

São Paulo

2024

CARLOS ALBERTO LEITE FILHO

**Validação do teste de mascaramento temporal sucessor e investigação do
processamento temporal de músicos com ouvido absoluto**

Versão Original

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em
Ciências.

Programa de Ciências da Reabilitação

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Schochat

São Paulo

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Leite Filho, Carlos Alberto

Validação do teste de mascaramento temporal sucessor e investigação do processamento temporal de músicos com ouvido absoluto / Carlos Alberto Leite Filho; Eliane Schochat, orientador. -- São Paulo, 2024.

Tese (Doutorado) -- Programa de Ciências da Reabilitação. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2024.

1. Avaliação de processamento auditivo central
2. Percepção musical 3. Percepção de tempo
4. Psicoacústica 5. Validade do teste I. Schochat, Eliane, orient. II. Título

USP/FM/DBD-077/24

Responsável: Daniela Amaral Barbosa, CRB-8 7533

A todas as pessoas
cujo neurodesenvolvimento desafia
as convenções pré-estabelecidas.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Eliane Schochat, que iluminou meu caminho com sabedoria, conhecimento, acolhimento e apoio: por exercer o ensino no sentido etimológico mais puro, deixando uma marca perene em minha história como pesquisador.

Ao meu marido, Frederico Cheregati, que é meu alicerce, meu suporte e meu porto-seguro desde o primeiro dia que entrou em minha vida: por vir pro que der e vier comigo, quando o sol saiu ou quando a chuva caiu. Você me mostrou que uma vida a dois poderia ser muito melhor do que qualquer coisa que já sonhei e é por isso que é tão bom te amar!

À minha mãe, Valdeleth da Silva, que esteve ao meu lado em absolutamente todos os momentos da minha vida comemorando minhas vitórias, trazendo consolo nas derrotas e dando força nas batalhas: por nunca me deixar esquecer o quanto sou amado e o quanto sou capaz de realizar meus sonhos.

Ao meu pai, Carlos Leite, que, pelo exemplo, me ensinou o comprometimento, o esforço, a dedicação e tantos outros valores que carrego comigo: por sempre me garantir todas as condições e me encorajar a alçar voos que estavam além da minha imaginação.

À minha irmã, Carla Leite, que me enche de orgulho e por quem nutro verdadeira admiração: por me inspirar a sempre ser uma versão melhor de mim e por compreender parte da minha vivência melhor que ninguém.

Aos meus filhos felinos, Hélio e Céline, que são meu raio de sol e meu brilho do luar e sempre me inundaram com seu amor incondicional, mesmo quando faltaram as horas para a brincadeira: por me mostrarem o quanto a responsabilidade de cuidar de outra vida poderia preencher a minha própria.

À Profa. Dra. Liliane Desgualdo Pereira, que despertou em mim a paixão e a sanha por compreender como o cérebro dá sentido ao mundo e aos estímulos que o cercam: por me ajudar a encontrar, na ciência, o caminho que, por mais desafiador que fosse, sempre faria meus olhos brilharem.

À Profa. Dra. Caroline Rocha-Muniz, cuja generosidade foi onipresente em nossas trocas e muito me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho desde os seus estágios iniciais: por não me deixar esquecer que o mundo acadêmico tem espaço para o afeto.

À Dra. Renata Filippini, ao Prof. Dr. Frank Musiek e à colega Gabriela Bonassa Barros, que, em conjunto com a Profa. Eliane Schochat, conduziram os primeiros estudos do teste de mascaramento sucessor: por me permitirem fazer parte desta história e dar a minha contribuição à clínica audiológica, rumo a uma prática mais alinhada às evidências científicas.

À Profa. Dra. Patrícia Vanzella, que trouxe sugestões valiosas para esta pesquisa e que me proporcionou diversas ocasiões em que pude versar sobre ela: por me inspirar a expandir meus horizontes e, assim, mudar os rumos da minha formação acadêmica.

Ao Dr. Raphael Leite, que generosamente disponibilizou seu teste de identificação de notas musicais e com quem tive as mais fascinantes discussões científicas: por compartilhar a empolgação e o maravilhamento pela luz que a neurociência é capaz de lançar sobre o ouvido absoluto.

Ao Felipe Toro Hernández, que habilidosamente aprimorou a análise de diversos dados e auxiliou para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados: por me salvar num momento crítico e me mostrar o quanto ainda preciso aprender sobre análise de dados.

Aos voluntários e voluntárias dos estudos incluídos neste trabalho, que cederam tempo e energia consideráveis para viabilizar a realização desta pesquisa: por desempenharem o papel mais importante na cadeia de produção do conhecimento científico.

À banca avaliadora desta tese, que a estudou com afinho e cuidado a fim de aprimorá-la: pelo zelo dispensado a esta que é, provavelmente, uma das produções mais importantes da minha vida, expressão máxima da minha trajetória acadêmica até aqui.

Às bibliotecárias Cinthia Vieira e Daniela Amaral Barbosa, que auxiliaram na catalogação e elaboração de ficha catalográfica deste trabalho.

Às Dras. Camila Rabelo e Ivone Neves-Lobo, que tanto me ensinaram e tanto compartilharam sobre a arte de ensinar as novas gerações: por acreditarem no meu potencial e por me tornarem um profissional melhor.

À Merllin de Souza, que foi minha maior parceira nas lutas do movimento estudantil e com quem tive a honra de modificar, de forma significativa, as estruturas do nosso programa de pós-graduação: por ser uma potência encarnada e por nunca me deixar esquecer que lutar por um mundo mais justo sempre valerá a pena.

Aos professores e professoras do Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo que compuseram a Comissão Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação no período em que atuei como representante discente nesta instância: pela disposição em acolher as demandas da classe discente e pelos ricos ensinamentos sobre o complexo sistema que sustenta a instituição universitária.

A todos os alunos e alunas da graduação em Fonoaudiologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo que passaram pelo Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo, que tive o prazer de supervisionar e dar minha singela contribuição à sua formação ao longo desses anos: pela oportunidade de aprender tanto e pela confiança depositada.

Às colegas pós-graduandas do Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo, com quem compartilhei experiências não encontradas em qualquer outro lugar: por não me deixarem caminhar sozinho no árduo trajeto que é a pós-graduação.

À Ana Dantas, Audrey Doiche e Ana Lucia Costa, que atuaram na secretaria do programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação durante o período em que este trabalho foi desenvolvido: por estarem sempre prontas a auxiliar os pós-graduandos na navegação pelos mares bravios da burocracia acadêmica.

A todos os pesquisadores e pesquisadoras que confiaram na minha contribuição para a análise de seus dados ao longo dos últimos anos: por permitirem que eu pudesse expandir minha participação na construção do conhecimento científico numa escala que jamais cogitei.

Ao Prof. Dr. Bruno Damásio e à sua equipe, que, por meio da Psicometria Online Academy, capacitam e aprimoram um sem-número de pesquisadores na arte da análise de dados: por contribuírem à minha formação como cientista.

À A. E.: por dedicar uma vida inteira à democratização do conhecimento científico.

À Arianna Bonvent, que abriu meus olhos para a minha neurodivergência: por dar início a um dos processos mais transformadores de toda a minha vida.

Aos Drs. Marcos Romano, Natalie Banaskiwitz e Fabrícia Signorelli, que, com muita empatia, me conduziram no tortuoso caminho da compreensão do meu próprio

neurodesenvolvimento: pelo acolhimento e por me proporcionarem um nível de autoconhecimento nunca antes imaginado.

Aos demais profissionais que cuidaram da minha saúde mental nesse período, com destaque para Flávio Quintella, Paula Franco e Camila Rossi: por não deixarem nunca faltar a perspectiva de o dia raiar, mesmo após uma noite sombria.

Ao Grupo de Trabalho de Diversidade da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, nominalmente à sua coordenadora, Glaucia Verena, que me chamou para somar nessa empreitada tão fundamental em nossa profissão: por me reconhecer como um companheiro na luta contra toda e qualquer hegemonia.

À minha querida Trindade, Tiago Chen e Nailê Oliveira, que, apesar dos percalços e demandas da vida, de uma forma ou de outra se fizeram presentes em tantos momentos importantes: por me permitirem viver todas as faces do complexo e maravilhoso prisma que é a amizade.

Ao Felipe Truglio, irmão que a arte me deu, com quem cantei, arranjei, festejei, ri e chorei: por estar sempre disposto a celebrar a vida comigo, seja no palco ou num café no final da tarde.

Ao Vitor Chiari, com quem posso compartilhar, com toda a espontaneidade caótica da neurodivergência, a empolgação por Sondheim e os desafios da vida adulta: por ser uma das amigadas mais especiais que o teatro musical me trouxe.

Ao Lucas Cainan Paulino, com quem sempre tive animadas conversas sobre ciência, análise de dados, arte, Fonoaudiologia e vida: por compartilhar comigo a inquietação profissional de não caber em uma definição.

Ao Andrei Surkov, que me acompanhou desde antes do início dessa jornada: por ser um irmão que a vida me deu.

Aos tantos amigos e amigas que o teatro musical e o canto coral me trouxeram ao longo desses anos, com quem compartilhei os momentos mais incríveis no meu lugar preferido, o palco: por comungarem comigo nos sublimes e arrebatadores momentos proporcionados pela arte.

A todos os meus amigos, amigas e colegas que fiz ao longo dos anos durante a graduação em Ciência & Tecnologia e em Neurociência na Universidade Federal do ABC, que me proporcionaram tantos momentos de felicidade e acolhimento: por me mostrarem que, independentemente do contexto, a experiência universitária pulsa vida, sonho e paixão.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP): pelo apoio financeiro a este trabalho por meio dos processos nº 2012/20086-4, 2014/25259-0, 2017/06954-7 e 2019/13817-1.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todas as pessoas e instituições que, de alguma forma, contribuíram nesta jornada e que, por uma compreensível falha de função executiva ou qualquer construto cognitivo que o valha, não tenham sido citadas nominalmente aqui.

Se, como disse Paulo Freire (2015, p. 138), "a afetividade não se acha excluída da cognoscibilidade", então todo o conhecimento que adquiri e construí nestes últimos anos só foi possível porque, de diferentes maneiras, vocês me ensinaram através do afeto ou manifestaram o afeto por mim através do ensino.

MUITO OBRIGADO!

Pois o fenômeno da música não é senão um fenômeno da especulação. [...]. Os elementos para os quais esta especulação necessariamente se volta são os do som e do tempo. A música é inconcebível se desconectada desses dois elementos. [...] A música é baseada na sucessão temporal e requer prontidão da memória. Consequentemente, a música é uma arte cronológica, tal qual a pintura é uma arte espacial. A música pressupõe, antes de tudo, uma certa organização no tempo – uma crononomia, se me permitem o neologismo.

(Stravinsky, 1947, p. 27–28, tradução nossa)

NORMATIZAÇÃO ADOTADA

Esta tese está em conformidade com as normas vigentes no momento de sua publicação, apresentadas a seguir:

Referências: adaptado do International Committee of Medical Journals Editors (Vancouver).

Pestana MC, Dziabas MCC, Garcia EM, Santos MF dos, Nascimento MM, Cardoso SC. Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: parte IV (Vancouver). 3a ed. São Paulo: Universidade de São Paulo. Sistema Integrado de Bibliotecas; 2016. doi: 10.11606/9788573140569.

Os títulos dos periódicos foram abreviados de acordo com a *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

RESUMO

Leite Filho CA. Validação do teste de mascaramento sucessor e investigação do processamento temporal de músicos com ouvido absoluto [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2024.

O ouvido absoluto, definido como a habilidade de nomear notas musicais sem referências externas, é um fenômeno que se mostra relevante como modelo para compreensão da interação entre fatores ambientais e inatos sobre o desenvolvimento de habilidades linguísticas, sensoriais e cognitivas. Evidências sugerem que o processamento temporal auditivo está implicado no subprocesso perceptual do ouvido absoluto, determinando a relevância do processamento sensorial na capacidade de nomeação de notas. Porém, o papel da resolução temporal e do mascaramento temporal sucessor, relacionados ao processamento temporal, no ouvido absoluto ainda é incerto e a sua investigação pode esclarecer os processos neurais que atuam nesta habilidade. Contudo, tal investigação esbarra na inexistência de um teste validado de mascaramento temporal sucessor. Assim, para que esta exploração possa ser conduzida, faz-se necessário desenvolver um instrumento que mensure de forma válida o mascaramento sucessor, o que pode ser benéfico tanto para a pesquisa em neurociência cognitiva quanto para a prática clínica dos transtornos da percepção auditiva. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo buscar evidências de validade do teste de mascaramento sucessor e investigar o processamento temporal de músicos com ouvido absoluto por meio de dois estudos, tendo sido o primeiro publicado no periódico *Journal of Clinical Medicine* em 2022 e o segundo no periódico *Frontiers in Neuroscience* em 2023. No primeiro estudo, adultos com e sem alteração de processamento temporal e idosos foram submetidos ao teste de mascaramento sucessor e a outros testes temporais. Além de correlações moderadas a fortes entre o instrumento avaliado e os demais procedimentos temporais, o teste replicou resultados clássicos de experimentos psicofísicos. Conforme esperado, houve diferença no desempenho entre os grupos, no entanto os pontos de corte apresentaram alta especificidade, porém baixa sensibilidade para detecção de alterações do processamento temporal, o que provavelmente foi influenciado pela ausência de um grupo “padrão-ouro” com lesões neurológicas. Dessa maneira, o teste de mascaramento sucessor apresentou evidências satisfatórias de validade de

construto, apontando para o mascaramento temporal sucessor como construto subjacente à ferramenta, mas evidências de validade de critério medianas, limitando a sua aplicabilidade clínica. No segundo estudo, músicos com e sem ouvido absoluto foram submetidos ao teste Gaps-in-Noise, que avalia a resolução temporal, e ao teste de mascaramento sucessor para investigação de associações entre o ouvido absoluto e o processamento temporal. Enquanto o grupo com ouvido absoluto apresentou resultados sugestivos de pior desempenho na tarefa de mascaramento sucessor, verificou-se influência significativa do desempenho no teste Gaps-in-Noise sobre o desempenho na tarefa de nomeação de tons musicais. Estes resultados evidenciaram que a resolução temporal está envolvida no subprocesso perceptual do ouvido absoluto e sugeriram que este subprocesso pode ser predominante em indivíduos com maior precisão nesta habilidade. Por outro lado, não houve evidências de que o mascaramento temporal sucessor esteja relacionado ao subprocesso perceptual e o pior desempenho neste aspecto em músicos com ouvido absoluto, possivelmente decorrente da carga cognitiva da tarefa, pode indicar interação entre fatores cognitivos e a habilidade de nomeação de notas musicais.

Palavras-chave: Avaliação de processamento auditivo central. Percepção musical. Percepção de tempo. Psicoacústica. Validade do teste.

ABSTRACT

Leite Filho CA. Validation of the backward masking test and investigation of temporal processing in musicians with absolute pitch [thesis]. "São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2024.

Absolute pitch, defined as the ability to name musical notes without external references, is a phenomenon which serves as a relevant model for understanding the interaction between environmental and innate factors on the development of linguistic, sensory and cognitive skills. Evidence suggests that auditory temporal processing is implicated in the perceptual subprocess of absolute pitch, determining the relevance of sensory processing in the ability to name notes. However, the role of temporal resolution and backward masking, which are related to temporal processing, in absolute pitch is still uncertain and its investigation may clarify the neural processes taking part in this ability. However, this investigation is hampered by the lack of a validated backward masking test. Therefore, for conducting this exploration, the development of a valid instrument for measuring backward masking is necessary and may be beneficial not only for research in cognitive neuroscience, but also for clinical practice on auditory perceptual disorders. As such, this work aimed to search for evidences of validity for the backward masking test and to investigate the temporal processing of musicians with absolute pitch with two studies, the first being published in the Journal of Clinical Medicine in 2022 and the second being published in Frontiers in Neuroscience in 2023. In the first study, adults with and without temporal processing disorder and older adults performed the backward masking test, as well as other temporal tests. In addition to moderate-to-strong correlations between the backward masking test and other temporal procedures, the test replicated classic results from psychophysical experiments. As expected, there was a group difference in performance, however the cutoff points showed high specificity, but low sensitivity for detecting temporal processing disorders, which was probably influenced by the absence of a "gold standard" group with neurological lesions. Therefore, the backward masking test presented satisfactory evidence of construct validity, pointing to backward masking as its underlying construct, but moderate evidence of criterion validity, which limits its clinical applicability. In the second study, musicians with and without absolute pitch performed the Gaps-in-Noise test, which measures temporal resolution, and the

backward masking test to investigate associations between absolute pitch and temporal processing. While the absolute pitch group presented results suggesting worse performance in the backward masking test, performance in the Gaps-in-Noise significantly influenced performance in the pitch identification test. These results showed that temporal resolution is involved in the perceptual subprocess of absolute pitch and suggested that this subprocess may be predominant in individuals with high-accuracy absolute pitch. On the other hand, there was no evidence that backward masking is related to the perceptual subprocess and the worse performance in this aspect for musicians with absolute pitch, possibly due to the cognitive load of the task, may indicate an interaction between cognitive factors and pitch naming ability.

Keywords: Central auditory processing assessment. Musical perception. Psychoacoustics. Test validity. Time perception.

LISTA DE FIGURAS

Artigo publicado 1

Figure 1 – Representation of the stimuli and intervals of the backward masking test.....	37
Figure 2 – Distribution of the average number of correct responses per interstimulus interval for both SNRs in both ears for the three groups.....	41
Figure 3 – Distribution of the ears according to the percentage of correct responses (BMTP) and detection thresholds (BMTT) obtained in the backward masking test (BMT) for each signal-to-noise ratio (SNR).....	42

Artigo publicado 2

Figure 4 – Mean values for the GIN parameters according to the group.....	65
Figure 5 – Dispersion plots with regression lines of the parameters for the pitch identification and GIN tests in the absolute pitch group.....	66
Figure 6 – Mean values for the BMT parameters according to the group.....	72
Figure 7 – Dispersion plots with regression lines of the parameters for the pitch identification test and the BMT.....	73

LISTA DE TABELAS

Artigo publicado 1

Table 1 –	Descriptive statistics for performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) in the NA group for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR) and ear assessed.....	41
Table 2 –	Descriptive statistics and comparison of performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) for the three groups for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR).....	43
Table 3 –	Indices (%) of specificity, sensitivity, efficiency, positive, and negative predictive values of the backward masking test (BMT) for each testing condition, method of calculation, and comparison group.....	45
Table 4 –	Correlation coefficients between backward masking test (BMT) measures and performance in clinical auditory temporal processing tests for the total sample.....	45

Artigo publicado 2

Table 5 –	Robust multiple linear regression models of the measures of GIN test performance as predictors of performance at the pitch identification test while controlling for the onset age of musical training.....	67
-----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Artigo publicado 1

AZ	Arizona
bit	Binary digit
Coeff.	Coefficient
dB	Decibel
e.g.	Exempli gratia (por exemplo)
Hz	Hertz
i.e.	Id est (isto é)
Inc.	Incorporated
log	Logarithm
min	Minute
ms	Millisecond
P	Percentil
re	Reference
s	Second
s.d.	Sem data
vs.	Versus
WAV	Waveform Audio File Format
WI	Wisconsin

Artigo publicado 2

dB	Decibel
Corp.	Corporation
i.e.	Id est (isto é)
kHz	Kilohertz
MN	Minnesota
ms	Millisecond
NY	New York
s	Second
SP	São Paulo

Demais seções do trabalho

s.d. Sem data

LISTA DE SIGLAS

Artigo publicado 1

AA	Abnormal Adults
APC	Article Processing Charge
ATP	Auditory Temporal Processing
BM	Backward Masking
BMT	Backward Masking Test
BMTP	Backward Masking Test - Percentage
BMTT	Backward Masking Test - Threshold
CANS	Central Auditory Nervous System
CAPD	Central Auditory Processing Disorder
DP	Duration Pattern
DPS	Duration Pattern Sequence
Fapesp	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Generalized Estimated Equation
GIN	Gaps-in-Noise
GP	Gaps-in-Noise - Percentage
GT	Gaps-in-Noise - Threshold
GzLM	Generalized Linear Model
HL	Hearing Level
ISI	Interstimulus Interval
$M \pm 2SD$	Mean plus/minus two standard deviations
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
MoCA	Montreal Cognitive Assessment
NA	Normal Adults
NPV	Negative Predictive Value
NT	No Tone
OA	Older adults
PP	Pitch Pattern
PPS	Pitch Pattern Sequence
PPV	Positive Predictive Value
SD	Standard Deviation

SL	Sensation Level
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SRT	Speech Recognition Threshold
USA	United States of America

Artigo publicado 2

AP	Absolute Pitch
BCa	Bias-Corrected and accelerated
BMT	Backward Masking Test
BMTP	Backward Masking Test - Percentage
BMTT	Backward Masking Test - Threshold
CANS	Central Auditory Nervous System
CI	Confidence Interval
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico
CRR	Correct Response Rate
ES	Effect Size
Fapesp	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GDP	Gap Detection Percentage
GDT	Gap Detection Threshold
GIN	Gaps-in-Noise
IBM	International Business Machines
ISI	Interstimulus Interval
MAD	Mean Absolute Deviation
PIT	Pitch Identification Test
SL	Sensation Level
SPSS	Statistical Product and Service Solutions

Demais seções do trabalho

OA	Ouvido Absoluto
MTS	Mascaramento Temporal Sucessor
GIN	Gaps-in-Noise

COSMIN COnsensus-Based Standards for the Selection of health status
Measurement INstruments

TMS Teste de Mascaramento Sucessor

S/R Relação Sinal-Ruído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	OBJETIVO	30
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
2.2	HIPÓTESES	30
3	MÉTODOS	32
4	ARTIGO PUBLICADO 1	33
4.1	ABSTRACT	34
4.2	INTRODUCTION	34
4.3	MATERIALS & METHODS	36
4.3.1	The BMT	36
4.3.2	Procedures	38
4.3.3	Sample characterization	39
4.3.4	Results analysis	39
4.4	RESULTS	40
4.4.1	Correlation with other ATP tests	44
4.5	DISCUSSION	46
4.6	CONCLUSIONS	49
4.7	SUPPLEMENTARY MATERIALS	49
4.8	FUNDING STATEMENT	49
4.9	AUTHOR CONTRIBUTIONS	50
4.10	INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT	50
4.11	INFORMED CONSENT STATEMENT	50
4.12	DATA AVAILABILITY STATEMENT	50
4.13	CONFLICTS OF INTEREST	50
4.14	FOOTNOTES	50
4.15	REFERENCES	51
5	ARTIGO PUBLICADO 2	57
5.1	ABSTRACT	58
5.2	INTRODUCTION	58
5.3	EXPERIMENT 1	62
5.3.1	Materials and methods	62
5.3.1.1	Subjects	62

5.3.1.2	Stimuli and procedures	63
5.3.1.3	Statistical analysis	64
5.3.2	Results	65
5.3.3	Discussion	68
5.4	EXPERIMENT 2	70
5.4.1	Materials and methods	70
5.4.1.1	Subjects	70
5.4.1.2	Stimuli and procedures	71
5.4.1.3	Statistical analysis	72
5.4.2	Results	72
5.4.3	Discussion	73
5.5	GENERAL DISCUSSION	75
5.6	CONCLUSION	76
5.7	DATA AVAILABILITY STATEMENT	76
5.8	ETHICS STATEMENT	76
5.9	AUTHOR CONTRIBUTIONS	77
5.10	FUNDING	77
5.11	CONFLICT OF INTEREST	77
5.12	PUBLISHER'S NOTE	77
5.13	ACKNOWLEDGEMENTS	78
5.14	SUPPLEMENTARY MATERIAL	78
5.15	REFERENCES	78
6	DISCUSSÃO	87
6.1	EVIDÊNCIAS DE VALIDADE DO TMS	87
6.1.1	Evidências de validade de construto	88
6.1.2	Evidências de validade de critério	90
6.1.3	Implicações práticas	92
6.1.4	Limitações e estudos futuros	93
6.2	PROCESSAMENTO TEMPORAL E OUVIDO ABSOLUTO	94
6.2.1	Resolução temporal e ouvido absoluto	94
6.2.2	Mascaramento temporal sucessor e ouvido absoluto	96
6.2.3	Implicações práticas	98
6.2.4	Limitações e estudos futuros	99
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

7	CONCLUSÃO	102
	REFERÊNCIAS	103
	ANEXOS	116

1 INTRODUÇÃO

Define-se como ouvido absoluto (OA) a habilidade de identificação ou produção de notas musicais sem o uso de tons externos como referência (Takeuchi; Hulse, 1993). Músicos com alta proficiência na habilidade de OA em geral são capazes de identificar notas musicais de forma automática e espontânea e de associá-las a um rótulo verbal (Germano; Cogo-Moreira; Bortz, 2016), num processo frequentemente equiparado na literatura ao de identificação de cores (Deutsch, 2013). Tal capacidade, frequentemente observada em compositores e instrumentistas celebrados, tem fascinado a sociedade pelo menos desde o século XVIII e, desde o século XIX, é objeto de estudo da neurociência cognitiva e áreas afins (Steblin, 1987; Deutsch, 2019).

O OA é influenciado por diversas características inerentes ao estímulo sonoro apresentado, de modo que a acurácia na nomeação de tons varia de acordo com o timbre, a oitava e a regularidade com a qual as notas musicais são apresentadas ao longo da experiência musical de cada indivíduo (Miyazaki, 1989; Vanzella; Schellenberg, 2010; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016; Gao; Oxenham, 2022). Para além do contexto musical, indivíduos com habilidade refinada de nomeação de tons musicais apresentam um conjunto de evidências de associação com características essencialmente não-musicais diversas, tais como: maior span de memória de trabalho, que pode explicar tal capacidade (Deutsch; Dooley, 2013); maior ocorrência de sinestesia e compartilhamento do substrato neuroanatômico, neurofuncional e genético entre as duas condições, sugerindo relação com diferenças no processamento sensorial em outras modalidades (Loui; Zamm; Schlaug, 2012; Gregersen et al., 2013); discriminação mais rápida e eficaz de estímulos verbais (Oechslin; Meyer; Jancke, 2010; Masataka, 2011) e maior proficiência em línguas tonais (Deutsch et al., 2006, 2009), no entanto com maior dificuldade para identificação de notas musicais na voz cantada (Vanzella; Schellenberg, 2010; Gao; Oxenham, 2022), implicando diferenças também nos processos cognitivos que determinam a percepção de estímulos vocais e verbais; e maior ocorrência de traços autistas, além de maior prevalência em pessoas autistas, evidenciando a relação do OA com uma trajetória diferenciada de neurodesenvolvimento e as implicações desse fenômeno sobre como a percepção, a cognição e a própria linguagem se manifestam

nesta população (Brown et al., 2003; Dohn et al., 2012; Stewart; Griffiths; Grube, 2018; Romani et al., 2021).

Para somar a este conjunto de características únicas, inúmeros fatores estão associados à gênese do OA e, como consequência, três hipóteses surgiram para explicar porque a habilidade de rotular tons se manifesta em diferentes níveis na população. A “hipótese da prática” estabelece que o OA pode ser desenvolvido em qualquer pessoa mediante treinamento em qualquer idade, enquanto que a “hipótese do período crítico” determina que esta afirmação só é real se o treinamento musical se der em um período específico do neurodesenvolvimento, no qual a neuroplasticidade se encontra no ponto ideal. Por fim, a “hipótese genética” propõe que a característica é herdada e que genes específicos estão diretamente ligados à sua manifestação. Dadas as evidências que corroboram as três hipóteses, é provável que o OA seja fruto de interações entre fatores inatos e ambientais e, assim, se mostra um modelo providencial para a investigação do efeito da interação entre esses fatores sobre desenvolvimento neural, habilidades cognitivas, processamento sensorial, percepção, desenvolvimento linguístico, entre outros fenômenos (Baharloo et al., 1998; Zatorre, 2003; Bermudez; Zatorre, 2009; Deutsch, 2013; Miyazaki et al., 2018).

No entanto, tão abundantes quanto as evidências que tornam o OA um relevante tema de estudo na neurociência são as discordâncias e os debates em seu entorno. A própria definição de OA representa uma controvérsia entre os estudiosos da área em relação a quantos, quais e em que condições os estímulos sonoros devem ser corretamente categorizados para que a percepção de notas musicais seja considerada como absoluta, bem como quanto à natureza dicotômica ou contínua da característica (Miyazaki, 2004; Veloso; Feitosa, 2013; Sergeant; Vraka, 2014; Germano; Cogo-Moreira; Bortz, 2016; Carden; Cline, 2019). Na perspectiva dicotômica, um claro exemplo destas disputas reside na discussão em torno da prevalência de OA em músicos, que, de acordo com as escolhas metodológicas de cada trabalho acerca dos estímulos, tarefa e forma de coleta e análise das respostas, pode variar entre 0% e 49% (Baharloo et al., 1998; Miyazaki, 2004; Deutsch et al., 2006; Athos et al., 2007; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016), determinando, além de alarmante heterogeneidade metodológica, um ponto de questionamento à sua suposta raridade (Carden; Cline, 2019).

Outro tópico em aberto refere-se aos processos neurais que subjazem o OA. O modelo perceptual (Siegel, 1974; Zatorre, 2003) estabelece que a habilidade de

identificação e nomeação de notas musicais decorre de uma percepção auditiva mais eficaz de características fundamentais do som, permitindo a sua associação a rótulos verbais. Este modelo, que coloca as habilidades auditivas básicas no centro da questão, é corroborado por algumas evidências de associação entre melhor desempenho em testes de OA e melhor desempenho em tarefas auditivas básicas, como escuta no ruído (Hsieh; Tseng; Liu, 2022) e resolução de frequência (Reis et al., 2021), no entanto sofre oposição de outros estudos que não observaram associações nesse sentido (Fujisaki; Kashino, 2002; McKetton; DeSimone; Schneider, 2019). Do ponto de vista neurobiológico, conforme proposto pela revisão de Kim e Knösche (2017), há um corpo robusto de pesquisas que encontraram relação entre o OA e diferenças estruturais e funcionais bilaterais em regiões cerebrais associadas à chamada via ventral, que se estende do córtex auditivo primário (giro temporal transversal, ou giro de Heschl) até o córtex pré-frontal ventrolateral, passando pelo plano polar e polo temporal (giro temporal superior) e que é caracterizada como a via responsável pela identificação do estímulo sonoro a partir do processamento de suas características básicas (Rauschecker; Tian, 2000; Rauschecker, 2015).

Diante desta perspectiva, a investigação do processamento auditivo central no OA se mostra como um caminho possível para a melhor compreensão deste fenômeno e, no presente estudo, optou-se pelo enfoque no processamento temporal, uma vez que a percepção do som e suas mudanças em relação ao tempo é considerada a etapa mais básica da percepção auditiva e fundamental a todas as demais (Shinn, 2003). Este tipo de processamento pode ser subdividido em diversos aspectos, dentre os quais destacam-se: resolução temporal, também denominada discriminação ou acuidade temporal e caracterizada como a habilidade de perceber mudanças extremamente rápidas no estímulo acústico; e mascamento temporal sucessor (MTS), ou a habilidade de perceber um som alvo na presença de um estímulo mascarador apresentado imediatamente depois, que também acaba por representar uma medida da agilidade do sistema nervoso auditivo central no processamento da informação acústica (Elliott, 1971; MacDonald, 2011; Musiek; Chermak, 2015).

Evidências demonstram um papel relevante da percepção temporal auditiva na percepção de alturas sonoras (Moore, 2008; Yost, 2009; Oxenham, 2012). De fato, estudos utilizando métodos comportamentais (Fujisaki; Kashino, 2005) e eletrofisiológicos (Burkhard; Elmer; Jäncke, 2019; Reis et al., 2021; Benner et al.,

2023; Ngan et al., 2023) observaram relação da maior eficácia e refinamento do processamento temporal e da atividade diferenciada em regiões associadas à percepção auditiva básica com maior acurácia do OA. Estes resultados, porém, são contestados por outras investigações que não obtiveram resultados similares (Fujisaki; Kashino, 2002; Elmer et al., 2013). Dessa maneira, explorar a relação das habilidades temporais de resolução e mascaramento sucessor com o OA pode contribuir na busca de um consenso diante deste cenário conflitante.

Para que os aspectos temporais supracitados possam ser investigados, são necessários testes validados e padronizados que avaliem estes fenômenos perceptuais, de modo a garantir o valor da informação mensurada por estas ferramentas. Em relação à resolução temporal, alguns instrumentos para a sua avaliação já foram desenvolvidos, dentre os quais destaca-se o teste Gaps-in-Noise (GIN) (Musiek et al., 2005), que, além de ser pouco influenciado por aspectos extra-auditivos (Gyldenkærne et al., 2014; Murphy et al., 2014; Tomlin et al., 2015), demonstra boa capacidade de mensurar a resolução temporal e discriminar não apenas populações clínicas (Filippini et al., 2020), mas também indivíduos saudáveis com diferentes experiências auditivas (Iliadou et al., 2014; Ribeiro; Scharlach; Pinheiro, 2015; Silva; Dias; Pereira, 2015; Donai; Jennings, 2016), tornando-o uma excelente opção para avaliação da acuidade temporal auditiva (Musiek, 2020). Por outro lado, o mesmo cenário não pode ser observado em relação ao MTS que, até o momento, carece de instrumentos validados para a sua mensuração (Martin; Billiet; Bellis, 2019; Frota; Pereira; Colella-Santos, 2022).

A validade é uma propriedade psicométrica que diz respeito à capacidade de um instrumento de medir aquilo que se propõe a mensurar (Kimberlin; Winterstein, 2008). A validade de um instrumento está ligada diretamente à sua qualidade e, no contexto clínico, à sua capacidade de classificar corretamente indivíduos com e indivíduos sem uma determinada condição clínica (Bogduk, 2022). Portanto, a ausência de evidências de validade ou evidências de validade insatisfatória reduzem a utilidade e o valor da informação fornecida por um teste (Sireci; Benítez, 2023). Apesar de haver significativa discordância na literatura sobre a definição e as relações entre os diferentes tipos de validade (Echevarría-Guanilo; Gonçalves; Romanoski, 2019), um consenso publicado pelo COnsensus-based Standards for the selection of health status Measurement INstruments (COSMIN) (Mokkink et al., 2010) estabelece as validades de conteúdo, de critério e de construto como as categorias fundamentais

desta medida psicométrica, responsáveis por avaliar o quanto o instrumento reflete, respectivamente, o construto a ser mensurado, os resultados de um critério “padrão-ouro” pré-estabelecido e os resultados esperados de testes de hipóteses baseados na teoria que sustenta o construto.

Diante de um número crescente estudos que observaram a interferência, em alguns testes do processamento auditivo central, de fatores extra-auditivos, como atenção, memória e quociente de inteligência não-verbal (Riccio et al., 2005; Ahmmed et al., 2014; Gyldenkærne et al., 2014; Tomlin et al., 2015; Back et al., 2022), o que pode sugerir a fragilidade de ferramentas que se propõem a mensurar a função auditiva central, é fundamental e urgente que sejam investigadas as evidências de validade de novos e antigos testes auditivos, de modo a aprimorar o repertório de recursos disponíveis para avaliação das diversas habilidades auditivas (American Academy of Audiology, 2010; Filippini et al., 2019; Conselho Federal de Fonoaudiologia, 2020). De forma similar, a pesquisa em Neurociência também necessita de procedimentos que avaliem construtos psicofísicos, como a percepção auditiva, de forma válida e confiável (Zuo; Xu; Milham, 2019).

Neste sentido, um estudo piloto propôs um teste para avaliação do MTS, denominado teste de mascaramento sucessor (TMS), que se mostrou factível, de fácil aplicação, confiável e compatível com os resultados de outras pesquisas de enfoque psicoacústico envolvendo esta habilidade auditiva (Filippini; Schochat, 2014). Buscar novas evidências de validade para o TMS, especialmente relacionadas à sua sensibilidade, especificidade e relação com outros testes temporais, pode contribuir não somente para a neurociência da audição, mas também para a prática clínica em processamento auditivo central e, no presente estudo, torna-se um passo prévio necessário antes da investigação deste fenômeno em indivíduos com OA.

Assim, o presente trabalho abordou as problemáticas expostas por meio do desenvolvimento de dois estudos. No primeiro, publicado em 2022, grupos provenientes de diferentes populações foram avaliados com o TMS e outros testes de processamento temporal já consagrados na literatura a fim de investigar evidências de validade de construto e de critério. No segundo estudo, abordagens comparativas e correlacionais foram utilizadas para investigar as habilidades auditivas temporais de discriminação e mascaramento sucessor em músicos com e músicos sem OA, de maneira a explorar a relação entre a percepção auditiva básica e a capacidade de nomeação de notas musicais.

2 OBJETIVO

Investigar evidências de validade do teste de mascaramento sucessor e avaliar o processamento temporal de músicos com ouvido absoluto.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscou-se responder aos seguintes objetivos específicos no presente trabalho, sendo que os quatro primeiros foram investigados no primeiro artigo deste trabalho (Seção 4), enquanto os dois últimos foram abordados no segundo estudo (Seção 5):

- I) Investigar a influência das condições de aplicação e dos parâmetros acústicos do TMS sobre o desempenho no teste;
- II) Comparar adultos sem alteração do processamento temporal com adultos com alteração do processamento temporal e idosos em relação ao desempenho no TMS;
- III) Obter pontos de corte e valores de especificidade e sensibilidade do TMS para detecção de alterações do processamento temporal;
- IV) Investigar a presença de correlação entre o TMS e outros testes de processamento temporal;
- V) Comparar músicos com OA e músicos sem OA em relação ao desempenho no TMS e no teste GIN;
- VI) Investigar a presença de correlação entre o desempenho no teste de OA e o desempenho no TMS e no teste GIN.

2.2 HIPÓTESES

Para os quatro primeiros objetivos específicos, que estão englobados no objetivo maior de investigação de evidências de validade do TMS, levantaram-se as seguintes hipóteses:

- H1) Serão observados piores desempenhos no TMS na condição de menor relação sinal-ruído (S/R), bem como haverá menor taxa de acertos tanto quanto menor for o intervalo entre o estímulo alvo e o ruído;

H2) Não serão observadas diferenças entre as orelhas em relação ao desempenho no TMS;

H3) Adultos com alteração do processamento temporal e idosos apresentarão pior desempenho no TMS em comparação a adultos sem alteração do processamento temporal, evidenciando boa validade de construto;

H4) O TMS apresentará valores satisfatórios de sensibilidade e especificidade, indicando boa validade de critério e evidenciando seu potencial para uso no diagnóstico de alterações do processamento auditivo central;

H5) Melhores desempenhos no TMS serão correlacionados a melhores desempenhos em outros testes de processamento temporal, evidenciando boa validade de construto por meio da validade convergente.

Para os dois últimos objetivos específicos, que estão englobados no objetivo maior de investigação do processamento temporal em músicos com OA, levantaram-se as seguintes hipóteses:

H6) Músicos com OA apresentarão melhor desempenho nos testes GIN e TMS em comparação a músicos sem OA;

H7) Melhores desempenhos nos testes GIN e TMS estarão correlacionados a melhores desempenhos no teste de OA, demonstrando relação entre o processamento temporal e a habilidade de OA.

3 MÉTODOS

Dado que os resultados já foram publicados em dois manuscritos distintos, o presente trabalho se caracteriza como uma compilação destes artigos científicos, que foram reproduzidos nas seções seguintes (Seções 4 e 5). É válido mencionar que, na reprodução das publicações nesta tese, foram realizados ajustes na numeração das subseções e nos padrões das citações e referências, de modo a adequar estes pontos às normas da Universidade de São Paulo e facilitar a leitura do trabalho. As versões originais destes trabalhos podem ser conferidas nos anexos J e K.

O primeiro artigo (Filippini et al., 2022), cuja primeira autoria foi compartilhada pelos autores Renata Filippini e Carlos Alberto Leite Filho, foi publicado na revista internacional *Journal of Clinical Medicine* (fator de impacto = 3,9) e investigou as evidências de validade do TMS por meio da comparação do desempenho de adultos sem alteração do processamento temporal, adultos com alteração do processamento temporal e idosos e por meio da correlação deste desempenho com o desempenho apresentado em outros testes auditivos temporais. Esta pesquisa também foi responsável por viabilizar o estudo seguinte ao garantir evidências de validade para um instrumento voltado para mensuração do MTS, que foi utilizado posteriormente.

O segundo artigo (Leite Filho et al., 2023) foi publicado no periódico internacional *Frontiers in Neuroscience* (fator de impacto = 4,3) e investigou relações entre o OA e o processamento temporal por meio da comparação de músicos com e sem OA em relação ao desempenho nos testes GIN e TMS, além da correlação desses com o desempenho em tarefas de nomeação de notas musicais.

4 ARTIGO PUBLICADO 1



Article

Evidence of Validity and Normative Values of a New Auditory Backward Masking Test

Renata Filippini ^{1,*}, Carlos Alberto Leite Filho ^{1,†}, Gabriela Melo Santos Bonassa Barros ¹, Frank E. Musiek ² and Eliane Schochat ¹

¹ Department of Physical Therapy, Speech-Language Pathology and Occupational Therapy, School of Medicine, University of São Paulo, São Paulo 05360-160, Brazil

² Department of Speech, Language, and Hearing Sciences, The University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0071, USA

* Correspondence: refileppini.rf@gmail.com

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: There are still no valid, clinically feasible instruments to assess backward masking (BM), an auditory temporal processing (ATP) phenomenon. The aim of this study was to develop, standardize and present evidence of validity for a behavioral test for BM assessment. Young adults were submitted to a BM test (BMT), where they were asked to identify a 1000 Hz pure tone followed by a narrowband noise with interstimulus intervals of 0 to 400 ms and signal-to-noise ratio (SNR) between −20 and −30 dB. The correct response rate and target sound detection threshold were calculated, and the results compared with those of young adults with abnormal ATP tests and older adults. Diagnostic accuracy analyses were carried out. Young adults with normal ATP obtained an average correct response rate of 89 and 87% for SNR −20 and −30 dB, respectively, with average thresholds between 10 and 15 ms and no difference between the left and right ears. Results were more consistent at SNR −20 dB, and the best diagnostic accuracy was obtained for SNR −20 dB, with good specificity, but low sensitivity. Normative values were obtained for the BMT, which proved to be clinically feasible, with preliminary evidence of validity.

Keywords: central auditory processing; auditory temporal processing; backward masking; auditory perception; central auditory processing disorder; hearing tests



Citation: Filippini, R.; Leite Filho, C.A.; Barros, G.M.S.B.; Musiek, F.E.; Schochat, E. Evidence of Validity and Normative Values of a New Auditory Backward Masking Test. *J. Clin. Med.* **2022**, *11*, 4933. <https://doi.org/10.3390/jcm11174933>

Academic Editor: Dong-Hee Lee

Received: 28 June 2022

Accepted: 17 August 2022

Published: 23 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Time is one of the most important variables that underlies the perception and understanding of auditory information. Music and speech, for example, are made up of linked sounds whose characteristics, such as order, pitch, duration and intensity, allow the sounds to be recognized. These characteristics vary over short time intervals, requiring excellent auditory temporal processing (ATP) in order to be understood [1].

ATP is defined as the perception of a sound or a change in sound within a limited or defined time frame [2,3] and can be divided into four categories: (1) temporal ordering; (2) temporal resolution; (3) temporal integration; and (4) temporal masking [4,5].

Theories have been developed that correlate ATP alterations with speech, language and writing disorders [6–9], largely involving temporal ordering [10–12] and masking [13–16]. However, there are discrepancies between different authors and studies regarding these relationships [17,18]. Authors who oppose these theories point to the considerable variability of the results obtained, different methodologies [19], and the influence of cognitive processes [20–22]. As such, there is a need to develop tools to assess ATP, with results that can be easily replicated in different clinical and research scenarios in order to standardize the data obtained and improve diagnostic reliability.

Although there are well-documented clinical measures available to evaluate temporal ordering and resolution, there are no feasible standardized clinical tests for temporal

4.1 ABSTRACT

There are still no valid, clinically feasible instruments to assess backward masking (BM), an auditory temporal processing (ATP) phenomenon. The aim of this study was to develop, standardize and present evidence of validity for a behavioral test for BM assessment. Young adults were submitted to a BM test (BMT), where they were asked to identify a 1000 Hz pure tone followed by a narrowband noise with interstimulus intervals of 0 to 400 ms and signal-to-noise ratio (SNR) between -20 and -30 dB. The correct response rate and target sound detection threshold were calculated, and the results compared with those of young adults with abnormal ATP tests and older adults. Diagnostic accuracy analyses were carried out. Young adults with normal ATP obtained an average correct response rate of 89 and 87% for SNR -20 and -30 dB, respectively, with average thresholds between 10 and 15 ms and no difference between the left and right ears. Results were more consistent at SNR -20 dB, and the best diagnostic accuracy was obtained for SNR -20 dB, with good specificity, but low sensitivity. Normative values were obtained for the BMT, which proved to be clinically feasible, with preliminary evidence of validity.

Keywords: central auditory processing, auditory temporal processing, backward masking, auditory perception, central auditory processing disorder, hearing tests.

4.2 INTRODUCTION

Time is one of the most important variables that underlies the perception and understanding of auditory information. Music and speech, for example, are made up of linked sounds whose characteristics, such as order, pitch, duration and intensity, allow the sounds to be recognized. These characteristics vary over short time intervals, requiring excellent auditory temporal processing (ATP) in order to be understood (Eggermont, 2015).

ATP is defined as the perception of a sound or a change in sound within a limited or defined time frame (Shinn, 2003; Musiek et al., 2005) and can be divided into four categories: (1) temporal ordering; (2) temporal resolution; (3) temporal integration; and (4) temporal masking (Shinn, 2014; Musiek; Chermak, 2015).

Theories have been developed that correlate ATP alterations with speech, language and writing disorders (Tallal, 2004; Hämäläinen; Salminen; Leppänen, 2013;

Tierney; Kraus, 2014; Cancer; Antonietti, 2022), largely involving temporal ordering (McArthur; Bishop, 2005; Fortunato-Tavares et al., 2009; Batista et al., 2014) and masking (Wright et al., 1997; Tierney; Kraus, 2013; Basu; Schlauch; Sasisekaran, 2018; Lotfi et al., 2020). However, there are discrepancies between different authors and studies regarding these relationships (Nittrouer; Shune; Lowenstein, 2011; Vandewalle et al., 2012). Authors who oppose these theories point to the considerable variability of the results obtained, different methodologies (Boets et al., 2011), and the influence of cognitive processes (Tomlin et al., 2015; Neijenhuis et al., 2019; Back et al., 2022). As such, there is a need to develop tools to assess ATP, with results that can be easily replicated in different clinical and research scenarios in order to standardize the data obtained and improve diagnostic reliability.

Although there are well-documented clinical measures available to evaluate temporal ordering and resolution, there are no feasible standardized clinical tests for temporal integration and masking (Musiek; Chermak, 2015). The present study aimed to develop a test to assess temporal masking. This category was chosen because, in addition to its previously mentioned relationship with language disorders, it has been investigated since the 1950s with no consensus on the mechanisms involved in this phenomenon (Samelli; Schochat, 2008).

Temporal masking is a phenomenon whereby the detection threshold of a sound stimulus is obscured by a masking sound (masker) presented before (forward masking) or after the stimulus (backward masking) (Shinn, 2003; Musiek; Chermak, 2015). Backward masking (BM) seems to be closely related to language disorders (Wright et al., 1997; Howell et al., 2000; Marler; Champlin; Gillam, 2002; Montgomery et al., 2005; Tierney; Kraus, 2013) because it would influence perception of the two stimuli presented in sequence, as in the case of coarticulation (Shinn, 2014). Additionally, evidence on the low involvement of peripheral processes (MacDonald, 2011), late maturation (Mattingly; Donell; Rosen, 2018; Porter et al., 2018) and age-related difficulties (Grose et al., 2016) indicates that BM is more involved in central auditory function than forward masking.

A pilot study (Filippini; Schochat, 2014) demonstrated the feasibility and applicability of a clinical BM test (BMT) that analyzes the variation in interstimulus intervals (ISIs) rather than intensity, which is the focus of traditional psychoacoustic studies. The silent gaps between stimuli have been shown to be highly influential in BM and are inversely proportional to masking efficiency (Shinn, 2014); however, high-

intensity maskers do not necessarily cause greater masking (Rishiq; Harkrider; Hedrick, 2012).

As such, this study presents a new version of the BMT aimed at assessing the effect of temporal masking. First, the test was applied to a population of adults with no auditory or cognitive disorders (normal adults—NA) in order to determine normative values. Next, the test was also applied to a population with abnormal auditory temporal processing tests (abnormal adults—AA) and older adults (OA) with no cognitive impairment, with a view to verifying the diagnostic accuracy of the proposed normative values. The AA group was chosen to test the cutoff points due to the shared behavioral, neurophysiological, and neuroanatomical correlates of the ATP tests (Shinn, 2003; Eggermont, 2015; Carcagno; Plack, 2022), while the OA group was expected to perform worse at the BMT test due to a decline in general perceptual processing (Strait; Kraus, 2014; Livingston et al., 2017).

4.3 MATERIALS & METHODS

4.3.1 The BMT

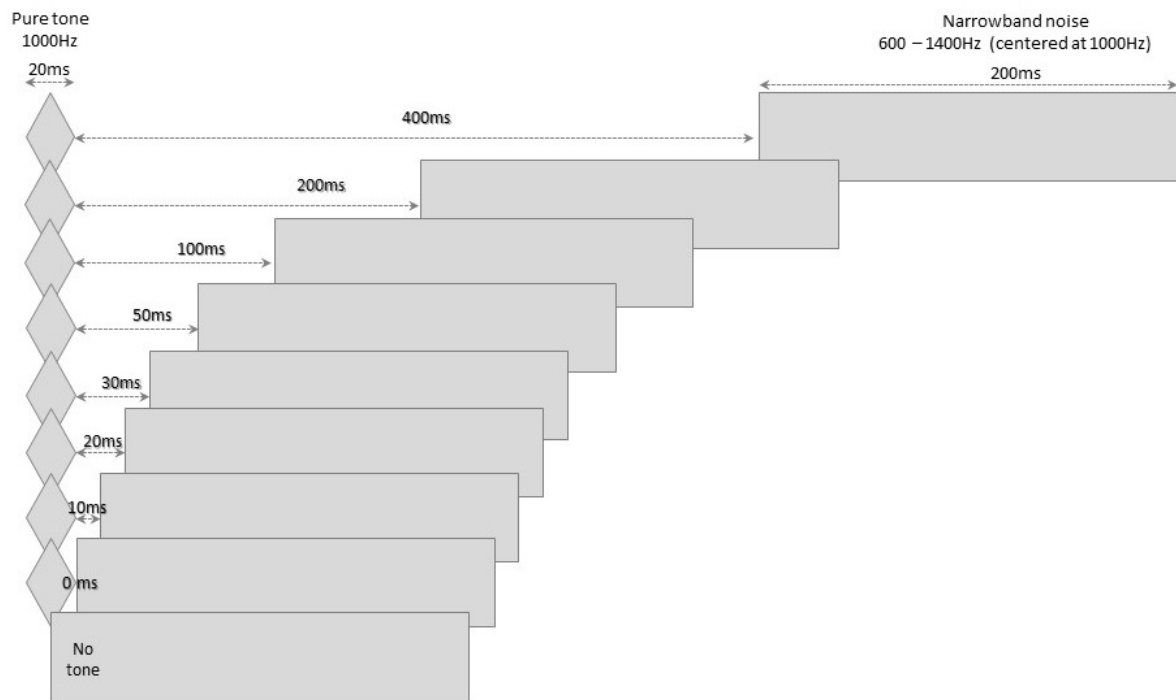
The BMT was developed based on established information regarding temporal masking (Elliott, 1962a, 1962b, 1967; Soderquist; Carstens; Frank, 1981; Rishiq; Harkrider; Hedrick, 2012; Shinn, 2014; Gelfand, 2018). The test involves presenting a 20 ms long (10 ms onset/offset) pure tone (1000 Hz) and a 200 ms long narrowband masking noise (600 Hz to 1400 Hz), separated by one of eight possible intervals: 400, 200, 100, 50, 30, 20, 10 and 0 ms.

The test was produced digitally (WAV* format) using Sound Forge Pro 10.0® software (Sony Creative Software Inc., Middleton, WI, USA), and the tracks were recorded at a rate of 44,100 Hz and 16-bit resolution. The two stimuli (target sound and masker) were recorded on different channels so that each stimulus could be presented at different intensities, or the test could be performed in a monotic (both stimuli applied to the same ear) or dichotic format (one in each ear).

Two test tracks and one training track were recorded. The training track consisted of 15 items (i.e., presentation of a pure tone followed by a masker), for which only 20 to 400 ms ISIs were used. In the test tracks, each of the eight ISIs was presented 6 times, totaling 48 items. The tracks also contained another 12 items in

which only the masker was presented (i.e., sham item), in order to control the reliability of the responses (Figure 1). The 60 items of the test tracks were randomly distributed, but in cycles that prioritized balanced distribution of the ISIs throughout the tracks. The items were preceded by narrations indicating the order of presentation/item number and presented at ~2.5-s intervals for an application time of around 5 min for each track.

Figure 1 – Representation of the stimuli and intervals of the backward masking test



Source: Filippini et al. (2022).

Test application involved monotic presentation (pure tone and masker in the same ear) in both ears. The masker was presented at a fixed intensity of 40 dBSL (re: 1000 Hz threshold for each individual) and the tone was presented at an SNR of -20 and -30 dB. These ratios were chosen because they exhibited the lowest variability and smallest ceiling effect in the pilot study (Filippini; Schochat, 2014).

Participants were asked to press a button whenever they heard the pure tone. Responses were marked on a specific answer sheet (Annex S1), and the percentages of total correct responses for each ISI were calculated at the end. The results of the BMT were the percentage of correct responses (BMTP) and the shortest ISI in which the participant heard the pure tone most of the time (4/6 correct responses), that is, the target sound detection threshold (BMTT). The obtained results established the ISI

in which the masker began to interfere in pure tone perception in normal adults, which was considered the normative threshold of the test.

4.3.2 Procedures

After providing written informed consent and answering a questionnaire on their health, hearing, and educational history, all of the volunteers were submitted to the following tests:

- a) cognitive screening using the Brazilian version of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) protocol, with a score greater than or equal to 25 established as an inclusion criterion (Nasreddine et al., 2005; Memória et al., 2013);
- b) basic hearing assessment (pure-tone audiometry, tympanometry and acoustic reflexes measurement), with a type A tympanogram, the presence of ipsi- and contralateral acoustic reflexes and hearing thresholds between 250 and 8000 Hz below 20 dBHL as inclusion criteria;
- c) behavioral assessment of ATP, using tests well established in clinical practice: the pitch pattern (PP; (Musiek, 1994)), duration pattern (DP; (Musiek, 1994)) and Gaps-in-Noise (GIN; (Musiek et al., 2005)) tests, which assess temporal ordering and resolution. The tests were applied at an intensity of 50 dBSL, that is, 50 dB above the speech recognition threshold (SRT) of each individual;
- d) the backward masking test (BMT) developed in the present study, as specified in the previous section.

The interview and MoCA (item a) were applied in a quiet room, whereas items b, c, and d were carried out with participants seated in a sound booth, using a Grason-Stadler GSI-61 audiometer and TDH-50 headset. The prerecorded tests (items c and d) were applied to both ears separately, using a digital file player (Tablet) coupled to the audiometer. It is important to note that the first ear tested was alternated for each new participant to ensure that any performance differences per ear were not due to familiarization with the test or tiredness.

4.3.3 Sample characterization

For the standardization phase of the test, 43 adults aged between 18 and 40 years with no hearing or neurological deficits agreed to participate in the study. These individuals were family members or acquaintances of the researchers and/or employees and students at the university. They were invited to take part via flyers posted on bulletin boards, word of mouth, and social media posts. Twelve of these volunteers showed abnormal performance in both ears on at least one of the temporal processing tests applied (per item c above), or in at least one ear in more than two tests. Thus, only the data of 31 individuals (22 women) with an average age of 25.5 ± 5.9 years were used in this initial stage (NA group).

The data used in the second stage of the study, in addition to that of the NA group, were those of 12 young adults with abnormal ATP test results (AA group) and average age of 29.8 ± 6.2 years, and 17 older adults aged between 60 and 79 years (mean = 63.8 ± 4.9 years) (OA group). Besides an ATP deficit, all subjects in the AA group reported having hearing difficulties in tasks such as hearing in noise, following verbal instructions, and localizing sounds.

4.3.4 Results analysis

The data were submitted to descriptive analysis by calculating measures of central tendency and dispersion. In order to investigate the presence of interactions between the effects of SNR, ear and ISI duration on performance in the BMT in the NA group, a generalized estimated equation (GEE) model considering a binomial negative distribution for the dependent variable (reverse-transformed number of hits), was built. To verify the effect of ear and SNRs on the BMTT and BMTP measures in the NA group, GEEs with inverse Gaussian distributions for the dependent variables (BMTT and reverse-transformed BMTP) were built. BMT measures were compared between the three study groups by generalized linear models (GzLM) considering a gamma distribution for BMTT and a normal distribution for BMTP, with post hoc analysis using t-tests with sequential Bonferroni correction for multiple comparisons. For the GEEs, independent covariance matrix structures were considered for the GEEs and log link functions were used for all generalized models. All analyses were conducted using

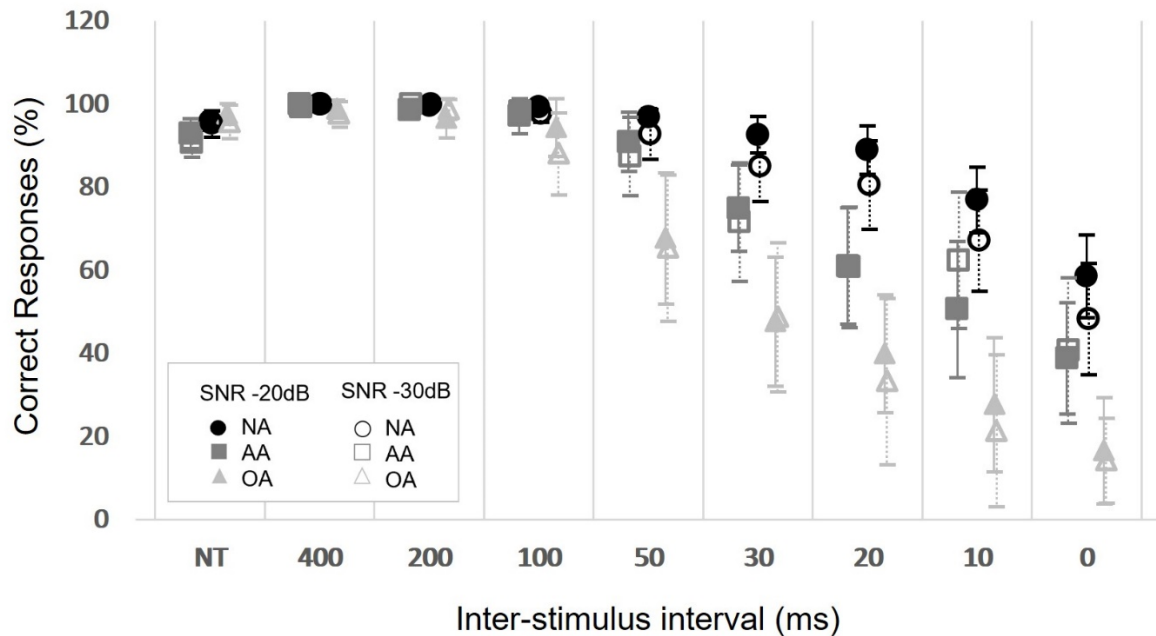
generalized models due to their flexibility in dealing with data with non-normal and/or heteroscedastic distribution (Nelder; Wedderburn, 1972; Ng; Cribbie, 2017).

Efficacy indices in the diagnosis of central hearing disorders using the BMT were calculated based on the “mean minus/plus 2 standard deviations” method, recommended by the main clinical guidelines in auditory processing disorder (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.; American Academy of Audiology, 2010; British Society of Audiology, 2011, 2018; Iliadou et al., 2017; Keith et al., 2019; Nickisch et al., 2019), and on the 10/90th percentile method, which can also be used for standardization of central auditory tests (Musiek, 1994; Neijenhuis et al., 2001; Demanez; Demanez, 2003). Both methods of calculation of cutoff points encountered in the literature were chosen so as to verify which of them yielded the best diagnostic indices for the BMT. Finally, correlations between the BMT and other ATP tests were investigated via Pearson’s correlation test. A 5% significance level was adopted for all of the inferential analyses. The effect sizes observed in the analyses were classified according to Cohen (1992).

4.4 RESULTS

Overall performance per ISI in the NA group remained constant at longer intervals (100–400 ms) and declined as the intervals shortened, from 50 ms onwards, in both ears and at both SNRs. In the AA group, performance started to decline at 100 ms, and, in the OA group, the decline in performance could be seen as early as 200 ms. The difference between groups’ performances per ISI became more pronounced as the ISIs shortened (Figure 2). For the NA group, there were no interactions between SNR, ear and ISI duration (SNR \times ear \times ISI: χ^2 (7) = 11.414, p = 0.122; ear \times ISI: χ^2 (7) = 5.869, p = 0.555; SNR \times ISI: χ^2 (7) = 9.238, p = 0.236; SNR \times ear: χ^2 (1) = 0.166, p = 0.684). However, differences were observed in the number of correct responses between ISIs, regardless of the SNR or ear assessed (χ^2 (7) = 212.532, p < 0.001), and between SNRs, regardless of the ISI or ear assessed (χ^2 (1) = 4.697, p = 0.030). In general, for the ISIs, there was a statistically significant difference (p < 0.05) between the longest (100–400) and shortest time intervals (20, 10 and 0 ms), with significantly worse performance in the latter. For the SNR, worse performance was observed at –30 dB in comparison to the –20 dB condition. No statistically significant effect was observed for the ear assessed (χ^2 (1) = 0.912, p = 0.340).

Figure 2 – Distribution of the average number of correct responses per interstimulus interval for both SNRs in both ears for the three groups



Source: Filippini et al. (2022).

Legend: SNR: signal-to-noise ratio; NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group; NT: no-tone. Error bar = 95% confidence interval.

Table 1 – Descriptive statistics for performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) in the NA group for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR) and ear assessed

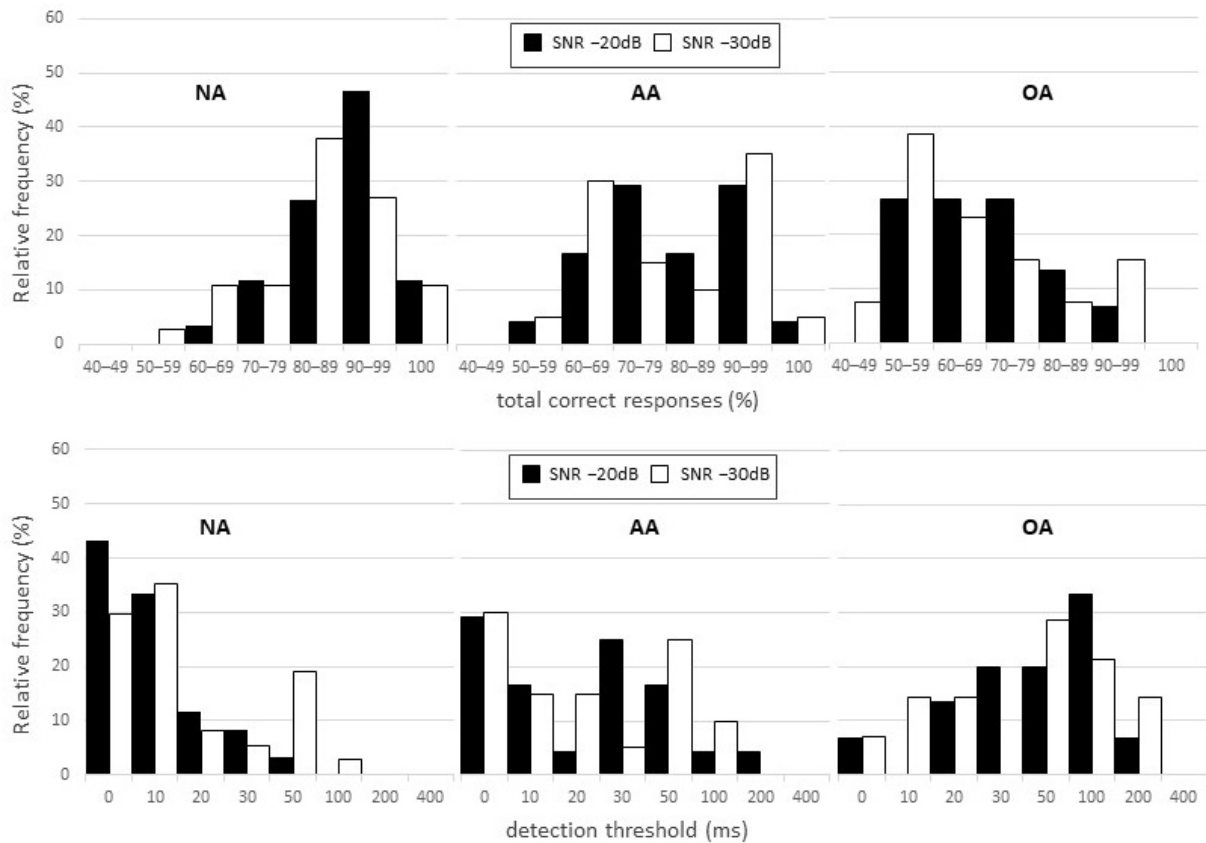
	SNR (dB)	Ear	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum
BMTP	-20	Right	88.70	9.40	63.00	90.00	100
		Left	89.66	9.04	65.00	93.33	100
	-30	Right	87.85	10.34	55.00	88.33	100
		Left	85.86	11.39	61.67	87.50	100
BMTT	-20	Right	10.65	13.89	0.00	10.00	50.00
		Left	8.97	9.76	0.00	10.00	30.00
	-30	Right	13.55	20.58	0.00	10.00	100.00
		Left	18.33	20.07	0.00	10.00	50.00

Source: Filippini et al. (2022).

Legend: BMTP: Percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SD: standard deviation; SNR: signal-to-noise ratio.

Regarding BMTP and BMTT in the NA group, no significant effect of ear was observed for both measures (BMTP: $\chi^2(1) = 0.005$, $p = 0.945$; BMTT: $\chi^2(1) = 0.001$, $p = 0.978$), and a significant effect of SNR was observed for BMTT ($\chi^2(1) = 4.055$, $p = 0.044$), but not for BMTP ($\chi^2(1) = 2.651$, $p = 0.104$) (Table 1). Considering the general absence of an ear effect in the analyses so far, both ears were grouped into a single sample for all of the study groups.

Figure 3 – Distribution of the ears according to the percentage of correct responses (BMTP) and detection thresholds (BMTT) obtained in the backward masking test (BMT) for each signal-to-noise ratio (SNR)



Source: Filippini et al. (2022).

Legend: NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group.

Based on the distribution of participants according to test performance percentage, there was a slight shift in the distribution of results towards worse performance at SNR -30 dB for both BMTP and BMTT. However, performance in correct responses for most of the individuals in the NA group was equal to or greater than 80% at both ratios (SNR -20 dB: 85% of ears; SNR -30 dB: 82% of ears). Thresholds lower than or equal to 20 ms were recorded in 88% of ears at SNR -20 dB

and 80% of ears at SNR -30 dB. Additionally, thresholds equal to or higher than 50 ms were obtained by only 3 and 14% of ears at SNRs of -20 and -30 dB, respectively. For the OA and AA groups, greater BMTP and BMTT variability was observed. In the AA group, 50% of ears had a BMTP of 80% or greater at both SNRs, while only 29 and 24% of ears in the OA group had a BMTP of 80% or greater at SNR -20 and -30 dB, respectively. Regarding BMTT, the AA group showed thresholds lower than or equal to 20 ms in 50% of ears at SNR -20 dB and in 60% of ears at SNR -30 dB, while thresholds equal to or higher than 50 ms were observed in 25 and 35% of ears in the respective conditions. For the OA group, these numbers were 29 and 35% of ears for thresholds lower than or equal to 20 ms and 53 and 65% of ears for thresholds equal to or higher than 50 ms (Figure 3).

Table 2 – Descriptive statistics and comparison of performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) for the three groups for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR)

	SNR (dB)	Ear	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum	p value	
								AA/OA vs. NA	OA vs. AA
BMTP	-20	NA	89.16	9.16	63.00	90.80	100	--	--
		AA	80.61	13.33	55.00	80.82	100	0.003*	0.006*
		OA	70.98	14.22	51.66	70.00	96.66	< 0.001*	
	-30	NA	87.12	10.66	55.00	88.33	100	--	--
		AA	80.23	14.81	56.66	81.66	100	0.040*	0.002*
		OA	66.47	16.01	45.00	61.66	93.33	< 0.001*	
BMTT	-20	NA	9.83	12.00	0.00	10.00	50.00	--	--
		AA	30.83	43.43	0.00	25.00	200.00	0.014*	0.138
		OA	58.24	52.11	0.00	50.00	200.00	0.013*	
	-30	NA	15.31	20.32	0.00	10.00	100.00	--	--
		AA	28.50	31.33	0.00	20.00	100.00	0.058	0.001*
		OA	65.88	61.14	0.00	50.00	200.00	< 0.001*	

Source: Filippini et al. (2022).

Legend: *: statistically significant difference ($p < 0.05$) BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SD: standard deviation; vs.: versus; SNR: signal-to-noise ratio; NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group.

Significant differences were observed between the groups regarding the mean values of the BMT measures (BMTP at SNR -20 dB: $\chi^2 (2) = 35.485$; BMTT at SNR -20 dB: $\chi^2 (2) = 34.466$; BMTP at SNR -30 dB: $\chi^2 (2) = 33.956$; BMTT at SNR -30 dB: $\chi^2 (2) = 33.573$, all p values < 0.001). In general, the average performance of the AA and OA groups was worse than that of the NA group. Additionally, the OA group performed worse than the AA group in the BMT test, except for BMTT at SNR -20 dB (Table 2).

Based on data of the NA group, the values two standard deviations below or above the mean and at the 10 or 90th percentile were calculated to determine the best cutoff points for the test.

Considering mean minus two standard deviations, the cutoff points for BMTP were 70.81% for the SNR -20 dB and 65.80% for the SNR -30 dB, which approximately correspond to 43/60 (71.67%) and 40/60 (66.67%) correct responses, respectively. Regarding BMTT, the cutoff points using the mean plus two standard deviations method were 33.83 ms for the SNR -20 dB and 55.95 ms for the SNR -30 dB, corresponding approximately to the possible BMTTs of 30 and 50 ms, respectively.

By the 10/90th percentile method, the cutoff points for BMTP were 75.00 and 68.33% (45 and 41/60 correct responses) for the SNR -20 and -30 dB, respectively. For BMTT, the cutoff points were 30 and 50 ms.

Based on the diagnostic indices for the suggested cutoff points, the BMT was more efficient at differentiating between the NA and OA than the NA and AA groups. Moreover, SNR -30 dB was less efficient than SNR -20 dB in both comparisons. Differences between the two measures and between the two methods were minimal, with a slightly better performance of BMTP over BMTT and of two standards below the mean over 10/90th percentile (Table 3).

4.4.1 Correlation with other ATP tests

Finally, a correlation analysis was performed with other ATP tests in a group containing all of the individuals assessed in this study (N = 60). There were low to moderate correlations between BMT and PPS and DPS test measures, as well as moderate to strong correlations between BMT and GIN test measures, indicating a significant degree of association between the performances of individuals in ATP tests (Table 4).

Table 3 – Indices (%) of specificity, sensitivity, efficiency, positive, and negative predictive values of the backward masking test (BMT) for each testing condition, method of calculation, and comparison group

	SNR (dB)	Method	Specificity (%)	Sensitivity (%)		PPV (%)		NPV (%)		Efficiency (%)	
				AA	OA	AA	OA	AA	OA	AA	OA
BMTP	-20	M - 2SD	95	29	59	85	92	57	70	62	77
		P	93	38	59	84	89	60	69	66	76
	-30	M - 2SD	94	30	59	83	91	57	70	62	76
		P	92	30	59	79	88	57	69	61	75
BMTT	-20	M + 2SD	97	25	53	88	94	56	67	61	75
		P	97	25	53	88	94	56	67	61	75
	-30	M + 2SD	98	10	35	83	95	52	60	54	67
		P	98	10	35	83	95	52	60	54	67

Source: Filippini et al. (2022).

Legend: PPV = Positive predictive value; NPV = Negative predictive value; BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SNR: signal-to-noise ratio; M - 2SD: mean minus two standard deviations; M + 2SD: mean plus two standard deviations; P: percentile; AA: abnormal adults group; OA: older adults group

Table 4 – Correlation coefficients between backward masking test (BMT) measures and performance in clinical auditory temporal processing tests for the total sample

		GP	GT	PP	DP
BMTP (SNR -20 dB)	Coeff.	0.572	-0.545	0.289	0.355
	p	< 0.001*	< 0.001*	0.008*	< 0.001*
BMTT (SNR -20 dB)	Coeff.	-0.549	0.486	-0.366	-0.211
	p	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	0.039*
BMTP (SNR -30 dB)	Coeff.	0.549	-0.510	0.421	0.419
	p	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
BMTT (SNR -30 dB)	Coeff.	-0.508	0.500	-0.403	-0.286
	p	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	0.009*

Source: Filippini et al. (2022).

Legend: Coeff.: coefficient; *: $p < 0.05$; BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SNR: signal-to-noise ratio; GP: Gaps-in-Noise test percentage; GT: Gaps-in-Noise test threshold; PP: pitch pattern test percentage; DP: duration pattern test percentage. Correlation analyses were carried out with both ears grouped into a single sample.

4.5 DISCUSSION

The BMT was developed to assess the ability of the central auditory nervous system (CANS) to mitigate the detrimental effect of BM on signal detection by changing the interval between the target sound and masker rather than altering intensity. This effect is clearly visible in Figure 2, where, from an ISI of 50 ms onwards, performance declines and higher variability is observed. This result is in accordance with the literature, which reports that BM has a greater effect for intervals up to approximately 25 ms, when it begins to decline until almost null at around 100 ms (Shinn, 2014). The lack of differences between longer and intermediate intervals and the significantly worse performance at shorter intervals, with increasingly larger differences between them, indicates that this characteristic of BM is present in the BMT. Moreover, the more detrimental effect of BM observed in the BMT in groups that can be considered as having a less efficient CANS, such as older adults and those with abnormal performance on well-established ATP tests, reinforces evidence that the test proposed in this study is a valid measure of BM. Correlations were observed with other ATP tests, demonstrating that the BMT does in fact assess an ATP phenomenon and further substantiating the construct validity of the test.

The BMT demonstrated worse diagnostic performance at the more difficult SNR, as observed in detection threshold analysis. There are reports in the literature that intensity has a far greater effect for forward masking than BM (Hartley et al., 2000; Moore, 2012). As such, the difference observed in the BMT can be explained by the fact that the procedure used to modify the SNR was to reduce tone intensity rather than increase noise intensity. Thus, at SNR -30 dB, the tone was presented at an intensity close to the hearing threshold of the individual for that tone, which may have resulted in greater uncertainty/indecision on the part of some participants, increasing the involvement of attention in executing the task. This hypothesis is supported by the greater variability observed in the groups at SNR -30 dB and participant distribution according to performance (Figure 3). Other studies (Ahmmed et al., 2014; Tomlin et al., 2015) have reported the influence of attention in other auditory processing tests, including ATP tests, and indicate the need for these instruments to be able to differentiate it from central auditory function in order to obtain more accurate audiological diagnoses.

There were no differences between ears for the BMT in the present study. Thus, in order to shorten the application time of a battery of tests to assess CAPD, it is suggested that only one ear be evaluated. The BMT is already a rapid test. With a track duration of around 5 min, application of two test tracks and a training track means total duration is approximately 15 min. By applying the test to only one ear, it can be completed in only 10 min.

Around 80% of the ears of the NA group showed a percent correct of 80% or higher and detection threshold of 20 ms or shorter, with a greater concentration of ears in the 80–90% and 0 to 10 ms ranges. Although the detection threshold seems to suffer a ceiling effect, with around 40% of ears with a detection threshold of 0 ms, this effect seems to be much less pronounced in the percent correct, with around 10% of ears with a correct percentage of 100%. The absence of a ceiling effect is a desirable feature in a diagnostic test (Uttl, 2005) and, regarding this point, the percent correct may be a less biased measure for the BMT.

The NA group performed significantly better and showed less variability than the AA and OA groups. Performance in the OA group was significantly worse at both SNRs, unlike AA participants, who did not exhibit a statistical difference in BMTT at SNR –30 dB. This raises two important points. First, a lower SNR should make it more difficult for the central nervous system to recover from the masking effect, especially in individuals characterized as having an auditory processing disorder. The similar performance among the young adults at SNR –30 dB may be an indication that factors other than ATP played an important role in performance. As previously mentioned, uncertainty and attention may have been more important at SNR –30 dB than SNR –20 dB. These observations, combined with the fact that the diagnostic analyses demonstrated worse performance for the test at SNR –30 dB, suggest that it should be applied at SNR –20 dB. Regarding the use of BMTT and BMTP, although BMTP had a better diagnostic accuracy, this difference was minimal, and future studies should investigate which measure best represents an individual's ATP skills.

A second point regarding performance among the groups is that the older adults exhibited a statistically significant difference in relation to both groups of young adults, as observed in other studies that assessed the detrimental effect of BM in this age range (Grose et al., 2016). Research has demonstrated that aging has a negative effect on information processing as a whole (Strait; Kraus, 2014; Livingston et al., 2017). The clear difference between young and older adults might be an indication of

this decline in general processing and not only in ATP. Specific standardization for older adults is suggested in order to evaluate the role of auditory processing in the performance of this population for BM.

The absence of a gold standard population for auditory processing disorders (neurological changes associated with the temporal cortex) is a limitation of the present study. The standardization proposed here considered the performance of young adults with abnormal ATP and older adults, individuals with high heterogeneity who do not constitute clinical populations per se. A second limitation refers to the choice to group both ears of each group. Although this procedure might have compromised the p-values calculated in the present study due to a possible violation of the assumption of independence of observations, it may be an interesting move in order to reduce the number of measures to be analyzed in clinical practice and to increase statistical power of the sample. It is also worth noting that grouping the ears together is a data analysis procedure used in other studies in the audiology field (e.g., Said (2012), Rabelo, Weihing and Schochat (2015), Leite Filho et al. (2017), Matas et al. (2020), de Carvalho, Amaral and Colella-Santos (2021)). Another limitation might be the predominance of female subjects in our sample, although previous research found no difference between genders regarding BMT performance (Filippini; Schochat, 2014).

The cutoff values with the best diagnostic indices for the SNR -20 dB were 75.00% correct responses and 30 milliseconds, both calculated through the 10/90th percentile method. At these values, 59 and 38% of ears among the older adults and those with abnormal ATP, respectively, showed abnormal performance for the total percentage of correct answers, while only 7% of normal individuals performed abnormally. In analysis based on the target sound detection threshold, abnormal performance was observed in 53 and 25% of ears among the group of older adults and those with ATP alterations, respectively, and only 3% in the NA group. Although sensitivity values (i.e., true-positive rate) are considerably low, probably due to the lack of a more adequate abnormal population (e.g., individuals with neurological disorders), specificity values (i.e., true-negative rate) are very good (Power; Fell; Wright, 2013). In other words, a “normal” individual has a high probability of performing within normal limits in the BMT, while an abnormal performance is a strong indicator of abnormal CANS function.

It is important to underscore that these diagnostic indices were obtained only for the BMT. Since auditory processing disorders are evaluated in a battery of tests,

diagnosis depends on the performance of the individual in different tests. Future studies should be performed to determine the diagnostic indices of a battery of tests that includes the BMT, preferably using individuals with neurological lesions. The correlations between the BMT and other ATP tests indicate that its association with other tests tends to enhance its diagnostic value (Musiek et al., 2011). Additionally, another relevant part of the validation process of a new clinical tool is the evaluation of test-retest reliability, which should be addressed in future studies using the BMT. Finally, new studies should investigate other populations' performance in the BMT, such as children, musicians, and individuals with language or speech disorders.

4.6 CONCLUSIONS

This study produced a test to assess the effect of BM, an essential part of the auditory processing of speech. The results of the test support the theory regarding BM. Moreover, the test is quick and easy to apply and can be used in only one ear with an SNR of -20 dB. The normative values suggested were 75.00% for performance based on percentage of correct responses and 30 milliseconds for the detection threshold. Based on the proposed cutoff values, the BMT was shown to have considerable potential in demonstrating adequate ATP in normal individuals, while an abnormal result is a strong indicator of ATP disorder.

4.7 SUPPLEMENTARY MATERIALS

The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/jcm11174933/s1>, Annex S1: Backward Masking Test answer sheet.

4.8 FUNDING STATEMENT

This work was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (2012/20086-4, 2014/25259-0, and 2019/13817-1). The APC was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (2019/13817-1).

4.9 AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, R.F., F.E.M., E.S.; methodology, R.F., F.E.M., E.S.; formal analysis, R.F., C.A.L.F.; investigation, R.F., G.M.S.B.B.; resources, E.S.; data curation, R.F., G.M.S.B.B., C.A.L.F.; writing—original draft preparation, R.F., C.A.L.F., G.M.S.B.B., E.S.; writing—review and editing R.F., C.A.L.F., F.E.M., E.S.; supervision, E.S.; funding acquisition, R.F., G.M.S.B.B., E.S., C.A.L.F. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

4.10 INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT

This work was approved by the Research Ethics Committee of the Hospital das Clínicas, Medical School, the University of São Paulo under protocol number 1.912.849.

4.11 INFORMED CONSENT STATEMENT

Before participation in the study, all participants signed a written consent form with detailed information about the aim and the protocols of the study. The informed consent form was also approved by the Research Ethics Committee.

4.12 DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to ethical issues.

4.13 CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

4.14 FOOTNOTES

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

4.15 REFERENCES

Ahmed AU, Ahmed AA, Bath JR, Ferguson MA, Plack CJ, Moore DR. Assessment of children with suspected auditory processing disorder. *Ear Hear.* 2014;35:295–305. doi: 10.1097/01.aud.0000441034.02052.0a.

American Academy of Audiology. Clinical practice guidelines: diagnosis, treatment and management of children and adults with central auditory processing disorder [Internet]. Reston: American Academy of Audiology; 2010 [citado em 25 mar. 2020]. Disponível em: https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/CAPD_Guidelines_8-2010.pdf_539952af956c79.73897613.pdf.

American Speech-Language-Hearing Association. Central auditory processing disorder [Internet]. [Rockville]: American Speech-Language-Hearing Association; [s.d.] [citado em 11 mar. 2021]. Disponível em: www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Central-Auditory-Processing-Disorder/.

Back NCF, Crippa AC de S, Riechi TIJ de S, Pereira LD. Central auditory processing and cognitive functions in children. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2022;26:e020–31. doi: 10.1055/s-0040-1722158.

Basu S, Schlauch RS, Sasisekaran J. Backward masking of tones and speech in people who do and do not stutter. *J Fluency Disord.* 2018;57:11–21. doi: 10.1016/j.jfludis.2018.07.001.

Batista PB, Lemos SMA, Rodrigues LOC, de Rezende NA. Auditory temporal processing deficits and language disorders in patients with neurofibromatosis type 1. *J Commun Disord.* 2014;48:18–26. doi: 10.1016/j.jcomdis.2013.12.002.

Boets B, Vandermosten M, Poelmans H, Luts H, Wouters J, Ghesquière P. Preschool impairments in auditory processing and speech perception uniquely predict future reading problems. *Res Dev Disabil.* 2011;32:560–70. doi: 10.1016/j.ridd.2010.12.020.

British Society of Audiology. Practice guidance - an overview of current management of auditory processing disorder (APD) [Internet]. [Seafield]: British Society of Audiology; 2011 [citado em 12 mar. 2021]. Disponível em: http://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2014/04/BSA_APD_Management_1Aug11_FINAL_amended17Oct11.pdf.

British Society of Audiology. Position statement and practice guidance - auditory processing disorder (APD) [Internet]. [Seafield]: British Society of Audiology. 2018

[citado em 12 mar. 2021]. Disponível em: <https://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2023/10/Position-Statement-and-Practice-Guidance-APD-2018.pdf>.

Cancer A, Antonietti A. Music-based and auditory-based interventions for reading difficulties: a literature review. *Heliyon*. 2022;8:e09293. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09293.

Carcagno S, Plack CJ. Relations between speech-reception, psychophysical temporal processing, and subcortical electrophysiological measures of auditory function in humans. *Hear Res*. 2022;417:108456. doi: 10.1016/j.heares.2022.108456.

de Carvalho NG, Amaral MIR do, Colella-Santos MF. AudBility: effectiveness of an online central auditory processing screening program. *PLoS One*. 2021;16:e0256593. doi: 10.1371/journal.pone.0256593.

Cohen J. A power primer. *Psychol Bull*. 1992;112:155–9. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155.

Demanez L, Demanez JP. Central auditory processing assessment. *Acta Otorhinolaryngol Belg*. 2003;57:243–52.

Eggermont JJ. Auditory temporal processing and its disorders. Oxford: Oxford University; 2015.

Elliott LL. Backward masking: monotic and dichotic conditions. *J Acoust Soc Am*. 1962a;34:1108–15. doi: 10.1121/1.1918253.

Elliott LL. Backward and forward masking of probe tones of different frequencies. *J Acoust Soc Am*. 1962b;34:1116–7. doi: 10.1121/1.1918254.

Elliott LL. Development of auditory narrow-band frequency contours. *J Acoust Soc Am*. 1967;42:143–53. doi: 10.1121/1.1910543.

Filippini R, Schochat E. A new paradigm for temporal masking assessment: pilot study. *Codas*. 2014;26:302–7. doi: 10.1590/2317-1782/201420130044.

Fortunato-Tavares T, Rocha CN, Andrade CRF de, Befi-Lopes DM, Schochat E, Hestvik A, Schwartz RG. Linguistic and auditory temporal processing in children with specific language impairment. *Pro Fono*. 2009;21:279–84. doi: 10.1590/S0104-56872009000400003.

Gelfand SA. Hearing: an introduction to psychological and physiological acoustics. 6th ed. Boca Raton: CRC; 2018.

Grose JH, Menezes DC, Porter HL, Griz S. Masking period patterns and forward masking for speech-shaped Noise. *Ear Hear.* 2016;37:48–54. doi: 10.1097/AUD.000000000000200.

Hämäläinen JA, Salminen HK, Leppänen PHT. Basic auditory processing deficits in dyslexia. *J Learn Disabil.* 2013;46:413–27. doi: 10.1177/0022219411436213.

Hartley DEH, Wright BA, Hogan SC, Moore DR. Age-related improvements in auditory backward and simultaneous masking in 6- to 10-year-old children. *J Speech Lang Hear Res.* 2000;43:1402–15. doi: 10.1044/jslhr.4306.1402.

Howell P, Rosen S, Hannigan G, Rustin L. Auditory backward-masking performance by children who stutter and its relation to dysfluency rate. *Percept Mot Skills.* 2000;90:355–63. doi: 10.2466/pms.2000.90.2.355.

Iliadou V (Vivian), Ptok M, Grech H, Pedersen ER, Brechmann A, Deggouj N, Kiese-Himmel C, Śliwińska-Kowalska M, Nickisch A, Demanez L, Veuillet E, Thai-Van H, Sirimanna T, Callimachou M, Santarelli R, Kuske S, Barajas J, Hedjever M, Konukseven O, Veraguth D, Mattsson TS, Martins JH, Bamiou D-E. A European perspective on auditory processing disorder-current knowledge and future research focus. *Front Neurol.* 2017;8:1–7. doi: 10.3389/fneur.2017.00622.

Keith WJ, Purdy SC, Baily MR, Kay FM. New Zealand guidelines on auditory processing disorder. [Auckland]: New Zealand Audiological Society; 2019 [citado 12 mar. 2021]. Disponível em: <https://www.audiology.org.nz/>.

Leite Filho CA, Silva FF da, Pradella-Hallinan M, Xavier SD, Miranda MC, Pereira LD. Auditory behavior and auditory temporal resolution in children with sleep-disordered breathing. *Sleep Med.* 2017;34:90–5. doi: 10.1016/j.sleep.2017.03.009.

Livingston G, Sommerlad A, Orgeta V, Costafreda SG, Huntley J, Ames D, Ballard C, Banerjee S, Burns A, Cohen-Mansfield J, Cooper C, Fox N, Gitlin LN, Howard R, Kales HC, Larson EB, Ritchie K, Rockwood K, Sampson EL, Samus Q, Schneider LS, Selbæk G, Teri L, Mukadam N. Dementia prevention, intervention, and care. *Lancet.* 2017;390:2673–734. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31363-6.

Lotfi Y, Dastgerdi ZH, Farazi M, Moossavi A, Bakhshi E. Auditory temporal processing assessment in children with developmental stuttering. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2020;132:109935. doi: 10.1016/j.ijporl.2020.109935.

MacDonald JA. Using the ideal observer to predict performance in perceptual tasks: an example from the auditory temporal masking domain. *Atten Percept Psychophys.* 2011;73:2639–48. doi: 10.3758/s13414-011-0213-8.

Marler JA, Champlin CA, Gillam RB. Auditory memory for backward masking signals in children with language impairment. *Psychophysiology*. 2002;39:767–80. doi: 10.1111/1469-8986.3960767.

Matas CG, Padilha FYO, Angrisani RM, Samelli AG. Oxidative stress as a risk factor for hearing changes in HIV-positive normal listeners. *Clinics*. 2020;75:e1845. doi: 10.6061/clinics/2020/e1845.

Mattingly MM, Donell BM, Rosen MJ. Late maturation of backward masking in auditory cortex. *J Neurophysiol*. 2018;120:1558–71. doi: 10.1152/jn.00114.2018.

McArthur GM, Bishop DVM. Speech and non-speech processing in people with specific language impairment: a behavioural and electrophysiological study. *Brain Lang*. 2005;94:260–73. doi: 10.1016/j.bandl.2005.01.002.

Memória CM, Yassuda MS, Nakano EY, Forlenza O V. Brief screening for mild cognitive impairment: validation of the Brazilian version of the Montreal Cognitive Assessment. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2013;28:34–40. doi: 10.1002/gps.3787.

Montgomery CR, Morris RD, Sevcik RA, Clarkson MG. Auditory backward masking deficits in children with reading disabilities. *Brain Lang*. 2005;95:450–6. doi: 10.1016/j.bandl.2005.03.006.

Moore DR. Listening difficulties in children: bottom-up and top-down contributions. *J Commun Disord*. 2012;45:411–8. doi: 10.1016/j.jcomdis.2012.06.006.

Musiek FE. Frequency (pitch) and duration pattern tests. *J Am Acad Audiol*. 1994;5:265–8.

Musiek FE, Chermak GD. Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handb Clin Neurol*. 2015;129:313–32. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4.

Musiek FE, Chermak GD, Weihing J, Zappulla M, Nagle S. Diagnostic accuracy of established central auditory processing test batteries in patients with documented brain lesions. *J Am Acad Audiol*. 2011;22:342–58. doi: 10.3766/jaaa.22.6.4.

Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamiou D-E, Baran JA, Zaida E. GIN (Gaps-in-Noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear*. 2005;26:608–18. doi: 10.1097/01.aud.0000188069.80699.41.

Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, Cummings JL, Chertkow H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief

screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53:695–9. doi: 10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x.

Neijenhuis KA, Stollman MH, Snik AF, Van der Broek P. Development of a central auditory test battery for adults. *Audiology.* 2001;40:69–77.

Neijenhuis K, Campbell NG, Cromb M, Luinge MR, Moore DR, Rosen S, de Wit E. An evidence-based perspective on “misconceptions” regarding pediatric auditory processing disorder. *Front Neurol.* 2019;10:1–4. doi: 10.3389/fneur.2019.00287.

Nelder JA, Wedderburn RWM. Generalized linear models. *J R Stat Soc Ser A.* 1972;135:370. doi: 10.2307/2344614.

Ng VKY, Cribbie RA. Using the gamma generalized linear model for modeling continuous, skewed and heteroscedastic outcomes in psychology. *Curr Psychol.* 2017;36:225–35. doi: 10.1007/s12144-015-9404-0.

Nickisch A, Kiese-Himmel C, Wiesner T, Schönweiler R. [Guideline: auditory processing and perception disorders: differential diagnosis: S1 guideline of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology]. *HNO.* 2019;67:576–83. doi: 10.1007/s00106-019-0645-3.

Nittrouer S, Shune S, Lowenstein JH. What is the deficit in phonological processing deficits: auditory sensitivity, masking, or category formation?. *J Exp Child Psychol.* 2011;108:762–85. doi: 10.1016/j.jecp.2010.10.012.

Porter HL, Spitzer ER, Buss E, Leibold LJ, Grose JH. Forward and backward masking of consonants in school-age children and adults. *J Speech Lang Hear Res.* 2018;61:1807–14. doi: 10.1044/2018_JSLHR-H-17-0403.

Power M, Fell G, Wright M. Principles for high-quality, high-value testing. *Evid Based Med.* 2013;18:5–10. doi: 10.1136/eb-2012-100645.

Rabelo CM, Weihing JA, Schochat E. Temporal resolution in individuals with neurological disorders. *Clinics.* 2015;70:606–11. doi: 10.6061/clinics/2015(09)02.

Rishiq DA, Harkrider AW, Hedrick MS. Acceptable noise level and psychophysical masking. *Am J Audiol.* 2012;21:199–205. doi: 10.1044/1059-0889(2012/11-0021).

Said EA. Electrophysiological differences in sensorineural hearing loss patients with and without problem-tinnitus. *Egypt J Otolaryngol.* 2012;28:22–34. doi: 10.7123/01.EJO.0000411078.05971.d1.

Samelli AG, Schochat E. Processamento auditivo, resolução temporal e teste de detecção de gap: revisão da literatura. *Rev CEFAC*. 2008;10:369–77. doi: 10.1590/S1516-18462008000300012.

Shinn JB. Temporal processing: the basics. *Hear J*. 2003;56:52. doi: 10.1097/01.HJ.0000292557.52409.67.

Shinn JB. Temporal processing tests. In: Musiek FE, Chermak GD, editors. *Handbook of central auditory processing disorder: auditory neuroscience and diagnosis*. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing; 2014. p. 405–34.

Soderquist DR, Carstens AA, Frank GJ. Backward, simultaneous, and forward masking as a function of signal delay and frequency. *J Aud Res*. 1981;21:227–45.

Strait DL, Kraus N. Biological impact of auditory expertise across the life span: musicians as a model of auditory learning. *Hear Res*. 2014;308:109–21. doi: 10.1016/j.heares.2013.08.004.

Tallal P. Improving language and literacy is a matter of time. *Nat Rev Neurosci*. 2004;5:721–8. doi: 10.1038/nrn1499.

Tierney A, Kraus N. Auditory-motor entrainment and phonological skills: precise auditory timing hypothesis (PATH). *Front Hum Neurosci*. 2014;8:1–9. doi: 10.3389/fnhum.2014.00949.

Tierney AT, Kraus N. The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain Lang*. 2013;124:225–31. doi: 10.1016/j.bandl.2012.12.014.

Tomlin D, Dillon H, Sharma M, Rance G. The impact of auditory processing and cognitive abilities in children. *Ear Hear*. 2015;36:527–42. doi: 10.1097/AUD.000000000000172.

Uttl B. Measurement of individual differences: lessons from memory assessment in research and clinical practice. *Psychol Sci*. 2005;16:460–7. doi: 10.1111/j.0956-7976.2005.01557.x.

Vandewalle E, Boets B, Ghesquière P, Zink I. Auditory processing and speech perception in children with specific language impairment: relations with oral language and literacy skills. *Res Dev Disabil*. 2012;33:635–44. doi: 10.1016/j.ridd.2011.11.005.

Wright BA, Lombardino LJ, King WM, Puranik CS, Leonard CM, Merzenich MM. Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature*. 1997;387:176–8. doi: 10.1038/387176a0.

5 ARTIGO PUBLICADO 2



OPEN ACCESS

EDITED BY
 Robert J. Zatorre,
 McGill University,
 Canada

REVIEWED BY
 Philippe Albouy,
 Laval University,
 Canada
 Seung-Goo Kim,
 Max Planck Society,
 Germany

*CORRESPONDENCE
 Carlos Alberto Leite Filho
 ✉ calfilho@usp.br

[†]These authors have contributed equally to this work and share last authorship

SPECIALTY SECTION

This article was submitted to Auditory Cognitive Neuroscience, a section of the journal Frontiers in Neuroscience

RECEIVED 26 January 2023
 ACCEPTED 27 March 2023
 PUBLISHED 17 April 2023

CITATION
 Leite Filho CA, Rocha-Muniz CN, Pereira LD and Schochat E (2023) Auditory temporal resolution and backward masking in musicians with absolute pitch. *Front. Neurosci.* 17:1151776. doi: 10.3389/fnins.2023.1151776

COPYRIGHT
 © 2023 Leite Filho, Rocha-Muniz, Pereira and Schochat. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Auditory temporal resolution and backward masking in musicians with absolute pitch

Carlos Alberto Leite Filho^{1*}, Caroline Nunes Rocha-Muniz², Liliâne Desgualdo Pereira^{3†} and Eliane Schochat^{1†}

¹Auditory Processing Lab, Department of Physical Therapy, Speech-Language Pathology and Occupational Therapy, School of Medicine, University of São Paulo, São Paulo, Brazil, ²Speech-Language Pathology Department, Santa Casa de São Paulo School of Medical Sciences, São Paulo, Brazil, ³Neuroaudiology Lab, Department of Speech Therapy, Paulista School of Medicine, Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Among the many questions regarding the ability to effortlessly name musical notes without a reference, also known as absolute pitch, the neural processes by which this phenomenon operates are still a matter of debate. Although a perceptual subprocess is currently accepted by the literature, the participation of some aspects of auditory processing still needs to be determined. We conducted two experiments to investigate the relationship between absolute pitch and two aspects of auditory temporal processing, namely temporal resolution and backward masking. In the first experiment, musicians were organized into two groups according to the presence of absolute pitch, as determined by a pitch identification test, and compared regarding their performance in the Gaps-in-Noise test, a gap detection task for assessing temporal resolution. Despite the lack of statistically significant difference between the groups, the Gaps-in-Noise test measures were significant predictors of the measures for pitch naming precision, even after controlling for possible confounding variables. In the second experiment, another two groups of musicians with and without absolute pitch were submitted to the backward masking test, with no difference between the groups and no correlation between backward masking and absolute pitch measures. The results from both experiments suggest that only part of temporal processing is involved in absolute pitch, indicating that not all aspects of auditory perception are related to the perceptual subprocess. Possible explanations for these findings include the notable overlap of brain areas involved in both temporal resolution and absolute pitch, which is not present in the case of backward masking, and the relevance of temporal resolution to analyze the temporal fine structure of sound in pitch perception.

KEYWORDS

temporal resolution, backward masking, absolute pitch, auditory temporal processing, music, auditory perception, hearing tests

1. Introduction

Absolute pitch (AP) is commonly defined as the ability to identify the pitch of a musical note without external reference. Most humans identify musical pitches more relatively than absolutely. However, musicians with highly developed AP can do so in an absolute and effortless way, similar to the process of identifying colors (Takeuchi and Hulse, 1993; Deutsch, 2013).

5.1 ABSTRACT

Among the many questions regarding the ability to effortlessly name musical notes without a reference, also known as absolute pitch, the neural processes by which this phenomenon operates are still a matter of debate. Although a perceptual subprocess is currently accepted by the literature, the participation of some aspects of auditory processing still needs to be determined. We conducted two experiments to investigate the relationship between absolute pitch and two aspects of auditory temporal processing, namely temporal resolution and backward masking. In the first experiment, musicians were organized into two groups according to the presence of absolute pitch, as determined by a pitch identification test, and compared regarding their performance in the Gaps-in-Noise test, a gap detection task for assessing temporal resolution. Despite the lack of statistically significant difference between the groups, the Gaps-in-Noise test measures were significant predictors of the measures for pitch naming precision, even after controlling for possible confounding variables. In the second experiment, another two groups of musicians with and without absolute pitch were submitted to the backward masking test, with no difference between the groups and no correlation between backward masking and absolute pitch measures. The results from both experiments suggest that only part of temporal processing is involved in absolute pitch, indicating that not all aspects of auditory perception are related to the perceptual subprocess. Possible explanations for these findings include the notable overlap of brain areas involved in both temporal resolution and absolute pitch, which is not present in the case of backward masking, and the relevance of temporal resolution to analyze the temporal fine structure of sound in pitch perception.

Keywords: temporal resolution, backward masking, absolute pitch, auditory temporal processing, music, auditory perception, hearing tests

5.2 INTRODUCTION

Absolute pitch (AP) is commonly defined as the ability to identify the pitch of a musical note without external reference. Most humans identify musical pitches more relatively than absolutely. However, musicians with highly developed AP can do so in an absolute and effortless way, similar to the process of identifying colors (Takeuchi; Hulse, 1993; Deutsch, 2013).

AP presents a unique set of features that has intrigued scientists for over a century, like better pitch identification for piano tones over synthetic, violin, and voice tones (Miyazaki, 1989; Schlemmer et al., 2005; Vanzella; Schellenberg, 2010) and discrepancies of pitch identification between octaves (Miyazaki, 1989). Besides that, AP shows numerous associations with non-musical phenomena, including more autistic traits among individuals with better pitch identification ability (Dohn et al., 2012), larger auditory working memory span in musicians with AP (Deutsch; Dooley, 2013), shared neural substrates between AP and synesthesia (Loui; Zamm; Schlaug, 2012a), and higher occurrence of AP in speakers of tone languages (Deutsch et al., 2006, 2009).

The genesis of AP is still a matter of debate. The “critical period hypothesis” argues that AP emerges from early exposure to musical training during childhood. Evidence supporting this hypothesis shows that musicians with earlier onset of musical training also perform better at pitch identification tasks (Gregersen et al., 1999; Deutsch et al., 2006, 2009; Vanzella; Schellenberg, 2010; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016), and young children outperform adults in pitch identification tasks after only 3 weeks of training (Russo; Windell; Cuddy, 2003). The “genetic hypothesis” states that AP is a genetically determined trait, and studies have pointed to genes associated with AP (Theusch; Basu; Gitschier, 2009; Gregersen et al., 2013) and to a higher prevalence of high-performance AP among twins in comparison to non-twins (Theusch; Gitschier, 2011; Bairnsfather et al., 2022b). Finally, although initially disregarded, the “practice hypothesis” gained attention from the scientific community with recent studies showing that, with intensive training, some adults are capable of reaching an extraordinarily high and long-lasting precision at identifying pitches, comparable to musicians with “naturally” high AP ability (Van Hedger; Heald; Nusbaum, 2019; Wong et al., 2020a, 2020b). Considered alone, however, these hypotheses fail to fully explain the characteristics variance observed in AP, thus reinforcing the notion that this phenomenon most likely arises from the interaction between genetic and environmental factors (Zatorre, 2003; Bermudez; Zatorre, 2009a; Szyfter; Witt, 2020).

Whether AP is an all-or-none ability or a continuum is an unresolved issue. Researchers proposing that AP is an all-or-none ability have used different cut-off points in different parameters of pitch identification tasks, such as hit rate, reaction time, deviation from the original note, and the number of timbres tested. This results in

pronounced methodological heterogeneity and difficulty comparing studies (Sergeant; Vraga, 2014; Germano; Cogo-Moreira; Bortz, 2016; Bairnsfather et al., 2022a). Others reject that notion and place AP in the “continuum feature” category (Schellenberg; Trehub, 2003; Vitouch, 2003; Gußmack; Vitouch; Gula, 2006; Chavarria-Soley, 2016; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016; Jakubowski; Müllensiefen; Stewart, 2017).

The processes by which AP operates are also an open question. The cognitive model proposes that AP is based mainly on cognitive processes, namely long-term pitch memory and the association of these pitches to verbal labels (Levitin, 1994; Levitin; Rogers, 2005). On the other hand, the perceptual model presents AP as the product of a unique capability of mental categorization of musical notes. This phenomenon is a byproduct of improved auditory perception and its association with pitch labeling (Siegel, 1974; Zatorre, 2003).

The dual-stream model for auditory processing may be used to unify both mechanisms that seek to explain AP. In that sense, cognitive and perceptual processes, mediated by dorsal and ventral streams, respectively, act as complementary subprocesses on AP (Elmer et al., 2015; Leipold; Greber; Elmer, 2019).

The perceptual subprocess, or the role of auditory processing in AP, is very complex and needs further investigation. Many studies approach it through behavioral, electrophysiological, and neuroimaging techniques, sometimes with conflicting results (Kim; Knösche, 2017a).

From a behavioral perspective, evidence shows that pitch identification is more precise for iterated rippled noise, which provides temporal cues for pitch processing in the auditory pathway, than for narrow band noise, in which pitch information resides primarily on place cues (Fujisaki; Kashino, 2005). Another study showed that musicians with high precision AP were more efficient in identifying speech syllables in an automated, bottom-up task than musicians with low performance in a pitch identification task (Masataka, 2011). In a recent study, frequency resolution predicted performance at pitch labeling (Reis et al., 2021). However, other studies found no evidence of a correlation between AP and enhanced auditory skills, like temporal, spatial, and frequency resolutions (Fujisaki; Kashino, 2002; McKetton; DeSimone; Schneider, 2019). Thus, among the many aspects involved in auditory perception, the relationship between temporal processing and AP still needs to be clarified.

Temporal processing refers to the perception of sound and its changes in a defined time domain, and since sound is essentially a physical event distributed in time, one can assume that temporal processing plays a role in most auditory processing skills (Phillips, 1999; Shinn, 2003).

Temporal resolution, one of the mechanisms involved in temporal processing, can be defined as the shortest time needed to discriminate between two auditory signals (Shinn, 2003). Traditionally, temporal resolution has been assessed through gap detection tasks, in which subjects must indicate whenever they perceive a short silent interval during a continuous auditory stimulus (Phillips et al., 1997; Phillips, 1999; Musiek; Chermak, 2015). Since detecting temporal gaps depends on representing such events along the auditory pathway, lower gap detection thresholds indicate higher temporal precision in neural activity (Phillips, 1999).

Backward masking is another auditory phenomenon linked to the temporal perception of sound (Shinn, 2003). In backward masking, the hearing threshold of a stimulus, usually a tone, is modified by a subsequent stimulus, usually a noise (Musiek; Chermak, 2015). Individuals with a central auditory nervous system (CANS) with higher temporal precision are expected to present lower masking efficiency of the noise over the tone previously presented.

Both temporal resolution and backward masking are linked to the processing of sounds by the CANS, especially the primary auditory cortex (Hartley et al., 2000; Musiek et al., 2005; MacDonald, 2011; Moore et al., 2011; Arnal; Poeppel; Giraud, 2015; Eggermont, 2015), which is also closely associated with AP ability (Wengenroth et al., 2014; Kim; Knösche, 2016, 2017b; Brauchli; Leipold; Jäncke, 2019; Burkhard; Elmer; Jäncke, 2019; McKetton; DeSimone; Schneider, 2019). Additionally, temporal processing is well established as a crucial component for pitch perception (Moore, 2008; Oxenham, 2012), further strengthening the hypothesis that temporal resolution and backward masking may play a role in AP.

In the present study, we conducted two experiments to verify whether musicians with AP showed distinct temporal processing, specifically in temporal resolution and backward masking domains. In the first experiment, musicians with and without AP completed a gap detection test. In the second experiment, we investigated the performance of musicians with and without AP in a backward masking test. We hypothesized that if auditory temporal processing plays a role in the perceptual

subprocess of AP, then higher AP ability will be associated with enhanced performance in both experiments.

5.3 EXPERIMENT 1

In this experiment, we investigated the relationship between temporal resolution and AP by comparing musicians with and without AP (AP and Non-AP groups, respectively) regarding their performance at the Gaps-in-Noise (GIN) test, a clinical tool for assessing gap detection.

5.3.1 Materials and methods

5.3.1.1 Subjects

The sample comprised 19 Brazilian young adult musicians without outer ear abnormalities and tonal auditory thresholds within normal limits [0–20 dB; 0.25–8 kHz (Lloyd; Kaplan, 1978)] on both ears, as well as normal speech discrimination in silence (speech discrimination index $\geq 88\%$ (Thornton; Raffin, 1978)]. All participants had no signs or symptoms of neurological, psychiatric, motor, language, learning, or auditory disorders. In addition, they were native speakers of Brazilian Portuguese, and none had contact with tone languages.

All subjects completed a pitch identification test described with greater detail elsewhere (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011). The test consisted of 13 sine wave stimuli with fundamental frequencies matching those of the 13 pitches between F#3 and F#4 in the equal-tempered Western scale. Each stimulus was presented binaurally four times, totaling 52 stimuli with a 2 s intertone time interval, in a pseudo-randomized order so that a specific stimulus only was presented again if all 12 other stimuli had already been presented. Testing was conducted in a silent room, and stimuli were presented at 50 dB SL. Stimuli were delivered through TDH-39 headphones (Telephonics Corp., Farmingdale, NY, United States) by a smartphone coupled to a PAC 200 two-channel portable audiometer (Auditec, São Paulo, SP, Brazil). Participants were asked to name each tone out loud according to the pitch chroma of the stimulus immediately after its presentation. The correct response rate was calculated considering only responses without deviation from the stimulus. Mean

absolute deviation (MAD) (Bermudez; Zatorre, 2009b) was calculated to measure deviation from the target stimulus. Prior to the testing session, subjects underwent a training session consisting of one presentation of each stimulus. Musicians with a correct response rate of <50% at the training session did not undergo the testing session and were automatically assigned to the Non-AP group. Musicians were assigned to the AP group if they performed above the chance level (i.e., \geq ten correct answers or 19.2%) with MAD <1.00 semitone. The correct response rate criterion was based on a statistical model, described in greater detail elsewhere (Sergeant; Vraka, 2014; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016), in which a 99% confidence interval for the binomial mean was used as a cut-off point, while the MAD criterion was based on Loui, Zamm, and Schlaug (2012b).

After the pitch identification test, the total sample was organized into two groups. AP group comprised nine musicians (four women, mean age: 22.89 ± 2.47 years old) with high performance at the pitch identification test (mean correct response rate = $84.62 \pm 14.99\%$, range: 61.54–100%; MAD = 0.16 ± 0.15 semitones, range: 0.00–0.38 semitones). The Non-AP group comprised ten musicians (four women, mean age: 20.10 ± 3.00 years old). The mean age of onset of musical training was 8.22 ± 4.35 years-old and 10.60 ± 1.78 years old for AP and Non-AP groups, respectively. The mean duration of musical training was 14.33 ± 3.81 years and 6.90 ± 2.08 years for AP and Non-AP groups, respectively. All individuals from the AP group self-identified as AP possessors before testing, while none from the Non-AP group self-identified as such.

5.3.1.2 Stimuli and procedures

The GIN test (Musiek et al., 2005) was designed as a clinically feasible assessment of auditory temporal resolution through the paradigm of gap detection. As a hearing test with high sensitivity and specificity for CANS dysfunctions (Filippini et al., 2020), the GIN test is a powerful tool for assessing central auditory function (Musiek, 2020).

Test stimuli consisted of 6 s segments of white noise with a 5 s interstimulus interval. Each segment contained 0 to 3 silent gaps presented randomly with durations of 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, or 20 ms. A complete assessment of one ear contained

29 to 36 stimuli, depending on the test track used, and 60 gaps divided evenly among the ten possibilities of gap duration.

The GIN test was delivered with the same equipment and conditions as the pitch identification test. Each subject had to listen to the stimuli and tap a pen at a table whenever they heard a gap. Both ears were assessed monaurally with different tracks for each ear (First ear: track 1, containing 35 stimuli; second ear: track 3, containing 29 stimuli). Ear differences were prevented by alternating the first ear tested of each individual. As such, half the sample had their right ears tested first, while the other half began with the left ear. Performance in each ear was analyzed with two measures: gap detection percentage (GDP), which represents the percentage of identified gaps from the total of 60 gaps presented, and gap detection threshold (GDT), or the shortest gap detected 4 out of 6 times with equal or higher detection rate for longer gaps. Each subject's final performance was calculated by taking the average of the two ears' GDP and GDT.

5.3.1.3 Statistical analysis

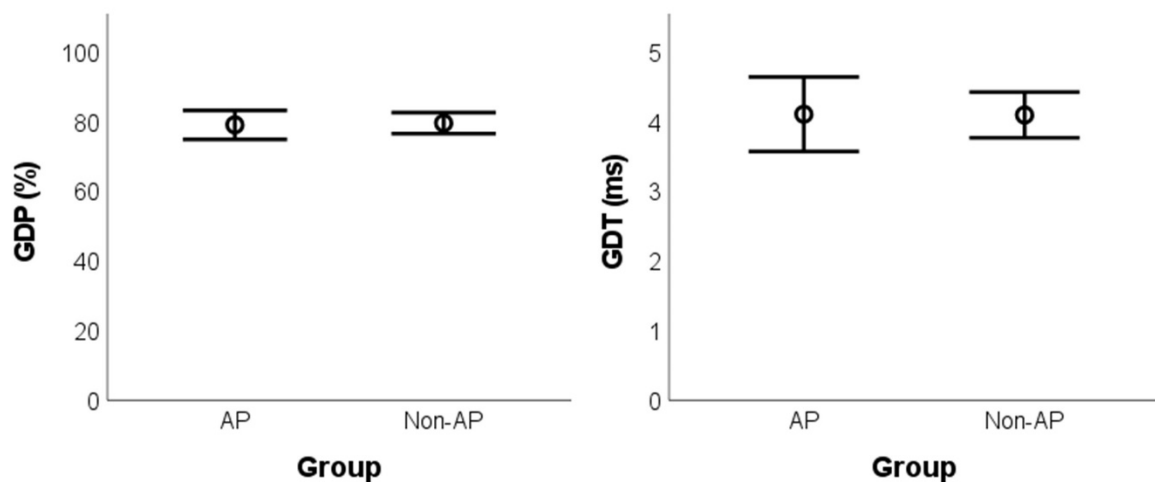
Statistical analysis was conducted using SPSS Statistics for Windows, version 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, United States), and R 4.2.2 (R Core Team, 2022) with the wBoot (Weiss, 2016) and robustbase (Maechler et al., 2022) packages. Student's independent-samples t-tests were used to compare groups against each other regarding GIN test measures. Correlation analyzes between the pitch identification and GIN tests were performed with Pearson's correlation test. Since the data presented skewed distributions and the sample size was small, for the aforementioned analyzes, p-values were calculated using bias-corrected and accelerated 95% confidence intervals (BCa 95% CI) with 2000 bootstrap samples (Field, 2017). Finally, robust multiple linear regression models were built with GIN parameters serving as predictors for the pitch identification task measures while controlling for the onset age of musical training. Effect sizes (ES) were calculated using g (Hedges, 1981) and f^2 (Cohen, 1992) coefficients. Statistical significance was set at 5% ($p \leq 0.05$). Whenever multiple hypotheses were tested, p-values were adjusted with the Benjamini-Hochberg method to control for a false discovery rate of 5% (Benjamini; Hochberg, 1995), thus denoted as p_{BH} . Due to the small sample size, which may reflect in non-significant p-values associated to low statistical power, the ESs were also taken into account for

interpreting the significance of the results, with large ESs (following the criteria for small, medium, and large ES suggested by Cohen (1992)) as indicators of significant results.

5.3.2 Results

For between-group comparisons, no statistically significant difference was found for GDP [$t(17) = -0.229$, $p_{BH} = 0.967$, $g = 0.099$, mean difference = -0.50% , BCa 95% CI = $(-4.68, 3.18)$] and GDT [$t(17) = 0.042$, $p_{BH} = 0.967$, $g = 0.018$, mean difference = 0.01 ms, BCa 95% CI = $(-0.49, 0.59)$] (Figure 4).

Figure 4 – Mean values for the GIN parameters according to the group

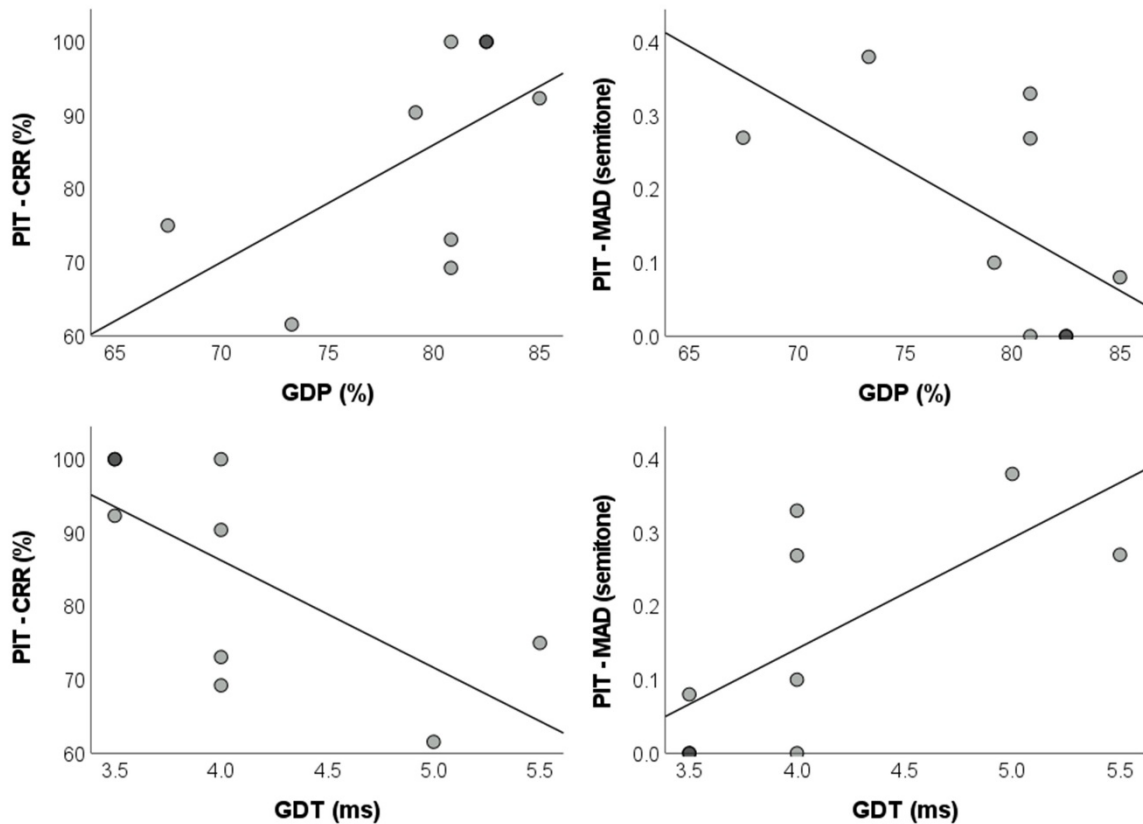


Source: Leite Filho et al. (2023).

Legend: GIN: Gaps-in-Noise; AP: absolute pitch; GDP: gap detection percentage; GDT: gap detection threshold.

Statistically significant correlations between the pitch identification and the GIN tests parameters were found in the AP group. GDP was positively correlated to the correct response rate of the pitch identification test [$r = 0.577$, $p_{BH} = 0.035$, BCa 95% CI = $(0.085, 0.842)$] and negatively correlated to MAD [$r = -0.587$, $p_{BH} = 0.035$, BCa 95% CI = $(-0.841, -0.081)$]. As for GDT, a negative correlation with the correct response rate of the pitch identification was found [$r = -0.679$, $p_{BH} = 0.028$, BCa 95% CI = $(-0.897, -0.253)$], while a positive correlation with MAD was observed [$r = 0.685$, $p_{BH} = 0.028$, BCa 95% CI = $(0.245, 0.897)$]. Dispersion plots illustrating these analyzes are presented in Figure 5.

Figure 5 – Dispersion plots with regression lines of the parameters for the pitch identification and GIN tests in the absolute pitch group



Source: Leite Filho et al. (2023).

Legend: GIN: Gaps-in-Noise; GDP: gap detection percentage; GDT: gap detection threshold; PIT-CRR: pitch identification test–correct response rate; MAD: mean absolute deviation.

Robust regression analyzes without controlling for the onset age of musical training identified large effect sizes for all GIN measures as predictors of performance in the pitch identification test in the AP group. While GDP accounted for 30.00% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.200$, $F(1,7) = 3.000$, $p_{BH} = 0.129$, $f^2 = 0.429$] and for 31.50% of the variance for the MAD [adjusted $R^2 = 0.217$, $F(1,7) = 3.219$, $p_{BH} = 0.129$, $f^2 = 0.460$], GDT was responsible for 42.80 and 44.20% of the variance observed in correct response rate (adjusted $R^2 = 0.346$, $F(1,7) = 5.238$, $p_{BH} = 0.112$, $f^2 = 0.748$) and MAD [adjusted $R^2 = 0.362$, $F(1,7) = 5.545$, $p_{BH} = 0.112$, $f^2 = 0.792$], respectively.

After controlling for the onset age of musical training, large effect sizes and significant or marginally significant p-values were observed for all GIN measures, with GDP accounting for 68.00% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.526$, $F(1,6) = 16.721$, $p_{BH} = 0.017$, $f^2 = 2.125$] and for

65.90% of the variance for MAD [adjusted $R^2 = 0.495$, $F(1,6) = 14.921$, $p_{BH} = 0.017$, $f^2 = 1.933$]. GDT explained 45.20% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.188$, $F(1,6) = 5.795$, $p_{BH} = 0.053$, $f^2 = 0.825$] and for 47.90% of the variance for MAD [adjusted $R^2 = 0.228$, $F(1,6) = 6.517$, $p_{BH} = 0.053$, $f^2 = 0.919$].

The complete robust multiple regression models are presented in Table 1. Significant regression coefficients were observed for all GIN test measures as predictors of the pitch identification test measures after controlling for the onset age of musical training. Notably, including the control variable did not lead to significant R^2 increases. Moreover, a lack of statistical significance of the regression coefficients for the confounding variable was observed in all models (Supplementary Table S1).

Table 5 – Robust multiple linear regression models of the measures of GIN test performance as predictors of performance at the pitch identification test while controlling for the onset age of musical training

Model	Predictor	b [95% CI]	β [95% CI]	p
1. GDP as a predictor of the correct response rate for the pitch identification test	Constant	-232.68 [-539.01, 73.65]	--	0.112
	GDP	4.15 [0.06, 8.23]	1.50 [0.02, 2.98]	0.047*
	Onset age of musical training	-2.09 [-6.72, 2.54]	-0.61 [-1.95, 0.74]	0.312
2. GDP as a predictor of MAD	Constant	3.28 [0.27, 6.30]	--	0.037*
	GDP	-0.04 [-0.08, 0.00]	-1.45 [-2.89, 0.00]	0.047*
	Onset age of musical training	0.02 [-0.02, 0.07]	0.58 [-0.58, 2.03]	0.298
3. GDT as a predictor of the correct response rate for the pitch identification test	Constant	158.66 [104.02, 213.29]	--	< 0.001*
	GDT	-15.58 [-30.83, -0.33]	-0.73 [-1.44, -0.02]	0.047*
	Onset age of musical training	-1.19 [-3.21, 0.83]	-0.35 [-0.93, 0.24]	0.198
4. GDT as a predictor of MAD	Constant	-0.62 [-1.12, -0.11]	--	0.024*
	GDT	0.16 [0.02, 0.30]	0.75 [0.09, 1.40]	0.029*
	Onset age of musical training	0.01 [-0.01, 0.03]	0.29 [-0.29, 0.87]	0.165

Source: Leite Filho et al. (2023).

Notes: Model 1: $R^2 = 0.756$, adjusted $R^2 = 0.674$, $F(2,6) = 9.295$, $p_{BH} = 0.037$; Model 2: $R^2 = 0.735$, adjusted $R^2 = 0.647$, $F(2,6) =$, $p_{BH} = 0.037$; Model 3: $R^2 = 0.532$, adjusted $R^2 = 0.376$, $F(2,6) = 3.410$, $p_{BH} = 0.103$; Model 4: $R^2 = 0.559$, adjusted $R^2 = 0.411$, $F(2,6) = 3.803$, $p_{BH} = 0.103$.

Legend: GIN: Gaps-in-Noise; GDP: gap detection percentage; GDT: gap detection threshold; 95% CI: 95% confidence interval; b: unstandardized coefficient; β : standardized coefficient; * and bold: statistically significant value at 5% level ($p \leq 0.05$).

5.3.3 Discussion

Considering AP as an all-or-none ability, no relationship between pitch identification and temporal resolution was found due to the lack of significant differences between AP and Non-AP groups regarding the GIN test measures. However, from a continuum point-of-view, significant linear relationships were found between the measures of AP and GIN tests. Furthermore, GDP and GDT were significant predictors of AP measures, indicating that temporal resolution may influence AP.

To our knowledge, only one other study investigated gap detection in musicians with different levels of AP and found no evidence of enhanced temporal resolution compared to Non-AP musicians or non-musicians (Fujisaki; Kashino, 2002). However, comparisons between that research and the present investigation are limited due to relevant methodological discrepancies, mainly the criteria for assigning individuals to AP or Non-AP groups and the acoustic characteristics of the pitch identification test used in each experiment. In addition to this, Fujisaki and Kashino's study lacks any correlational analysis between AP and gap detection scores.

One could argue that the lack of difference between groups in the present study and Fujisaki and Kashino's investigation is evidence that the basic hearing ability of temporal resolution is unrelated to pitch identification, thus speaking against the participation of temporal processing in the perceptual subprocess of AP. In line with this argumentation is a neuroimaging study of gap detection tasks (Vaden et al., 2020) that reported a lack of activation of brain regions belonging to the ventral stream, such as the planum polare (Kim; Knösche, 2017b). However, considering that gap detection was able to predict pitch identification in the regression analyzes and that the approach to AP as a continuum trait is more suitable for the scoring method used in this investigation (Germano et al., 2021; Bairnsfather et al., 2022a), these results are most likely due to the inability of the arbitrary criteria used for the group assignment to generate clearly distinct groups.

Aware of such limitation, we conducted correlation and regression analyzes between the measures of pitch identification and GIN tests, showing that gap detection explained a high amount of the variance (between 20 and 36%, considering the values of adjusted R² for the uncontrolled models) present in our sample's pitch identification ability. These results align with other studies demonstrating that musicians with high-

precision AP have improved basic hearing abilities, especially those related to temporal processing (Fujisaki; Kashino, 2005; Reis et al., 2021).

The influence of temporal resolution over AP precision corroborates the “perceptual subprocess hypothesis”, especially the component of absolute pitch categorization of this subprocess, in which unique hearing abilities lead to a specific categorization of musical notes, by indicating that auditory processing plays a role in defining the degree of precision of pitch naming ability (Siegel, 1974; Kim; Knösche, 2017a; Leipold; Greber; Elmer, 2019). Indeed, this relationship might reside in the crucial role of temporal processing in pitch perception due to the phase-locking attributes of neurons along the auditory pathway (Moore, 2008; Oxenham, 2012). A recent study verified that pitch naming is subserved by rapidly changing, transient processes at its initial stages (Ngan et al., 2023), further reinforcing that notion. Also, gap detection and pitch identification skills seem to share many neural substrates, as seen from neuroimaging and electrophysiological studies, such as bilateral Heschl gyri (Rupp et al., 2002, 2004; Heinrich; Alain; Schneider, 2004; Diedler et al., 2007; Wengenroth et al., 2014; Kim; Knösche, 2016, 2017b; Rufener et al., 2017; Brauchli; Leipold; Jäncke, 2019; Burkhard; Elmer; Jäncke, 2019; McKetton; DeSimone; Schneider, 2019; Vaden et al., 2020), bilateral superior temporal gyri (Heinrich; Alain; Schneider, 2004; Wilson et al., 2009; Oechslin; Meyer; Jancke, 2010; Loui; Zamm; Schlaug, 2012b, 2012a; Schulze; Mueller; Koelsch, 2013; Dohn et al., 2015; Vaden et al., 2020), bilateral inferior frontal gyri (Schulze; Gaab; Schlaug, 2009; Wengenroth et al., 2014; Dohn et al., 2015; Leipold et al., 2019; Vaden et al., 2020), right superior temporal sulcus (Schulze; Gaab; Schlaug, 2009; Vaden et al., 2020), and right supramarginal gyrus (Schulze; Mueller; Koelsch, 2013; Dohn et al., 2015; Vaden et al., 2020). It is worth noting that many of the cited structures are also part of the so-called “ventral stream,” which is heavily implicated in the perceptual subprocess of AP (Kim; Knösche, 2017a; Leipold; Greber; Elmer, 2019).

A possible limitation of this experiment is the use of a clinical test designed to identify CANS dysfunction to differentiate between two non-clinical groups. However, as previously seen in other studies, the GIN test can differentiate between groups with normal hearing and even identify differences between individuals with and without musical training (Ribeiro; Scharlach; Pinheiro, 2015; Donai; Jennings, 2016).

5.4 EXPERIMENT 2

The second experiment intended to investigate the relationship between backward masking and AP. For this purpose, musicians with and without AP were compared regarding their performance in a novel tool for assessing backward masking.

5.4.1 Materials and methods

5.4.1.1 Subjects

Fifteen young adults with similar audiological and medical characteristics to the volunteers of the first experiment comprised the sample of this experiment.

The pitch identification test used in this experiment was proposed by Leite et al. (2016). Test stimuli were 36 synthetic piano tones matching pitches between C3 and B5 in the equal-tempered Western scale. Each stimulus was presented twice in six blocks of 12 stimuli with 4.25 s of intertone time interval. In order to neutralize relative pitch-based responses, all tones presented tonal distance $>$ one octave from the subsequent tone. TDH-39 headphones were used to present stimuli recorded in a smartphone coupled to a GSI-61 Audiometer (Grason-Stadler, Eden Prairie, MN, United States). The test was performed in a sound-attenuating booth with an intensity of presentation of 50 dB SL. Immediately after each note presentation, participants should mark the note (only pitch chroma) they heard in an answer sheet containing a 12-key musical keyboard illustration ranging from C to B. Correct response rate and MAD were calculated in the same way as the first experiment and musicians were assigned to the AP group following the same criteria of the previous experiment [correct response rate \geq 20%, in accordance to the statistical approach (Sergeant; Vraka, 2014; Leite; Mota-Rolim; Queiroz, 2016), and MAD $<$ 1.00 semitone (Loui; Zamm; Schlaug, 2012b)].

All participants performed the pitch identification test, and two groups were formed according to their performances. AP group included eight musicians (three women, mean age: 25.88 ± 2.30 years old) with high performance at the pitch identification test (mean correct response = $88.54 \pm 15.84\%$, range: 56.94–100%; MAD = 0.24 ± 0.34 semitones, range: 0.00–0.86 semitones). The Non-AP group included seven musicians (three women, mean age: 24.86 ± 3.18 years old) with low

performance at the pitch identification test (mean correct response = $19.44 \pm 5.32\%$, range: 13.89–29.17%; MAD = 2.37 ± 0.59 semitones, range: 1.54–2.99 semitones). The mean age of onset of musical training and mean duration of musical training for the AP group were 8.25 ± 3.99 years-old and 16.50 ± 5.26 years, respectively. For the Non-AP group, these values were 10.29 ± 2.69 years-old and 13.29 ± 4.61 years, respectively.

5.4.1.2 Stimuli and procedures

For assessing backward masking, a backward masking test (BMT) designed for the clinical setting was used (Filippini et al., 2022). Unlike many other traditional psychoacoustic tests of backward masking, this test proposes a clinically feasible procedure that investigates the shortest inter-stimulus interval (ISI) needed for hearing a tone followed by a masking noise, and its results are comparable to those obtained with other tests reported in the literature (Filippini; Schochat, 2014; Filippini et al., 2022).

The BMT included two different stimuli: a 25 ms sine wave tone and a narrow-band 200 ms masking noise. The pure tone presentation level was set at 20 dB SL, and the signal-to-noise ratio was set at -20 dB. Each trial consisted of the monaural presentation of the sine wave tone followed by the presentation of the masking noise with an ISI of 400, 200, 100, 50, 30, 20, 10, or 0 ms between them. The complete evaluation of one ear consisted of six presentations of each ISI, totaling 48 trials plus 12 trials containing only the masking tone. Prior to the testing session, we conducted a training session with 12 trials with ISIs varying between 400 and 50 ms and three trials with masking noise only.

Participants were asked to listen carefully to the stimuli and press the response button whenever they heard the preceding tone. For each ear, the 60 trials were presented in different randomized orders. Half the sample tested their right ears first, while half had their left ears tested first to avoid ear differences due to the learning effect. Performance at the BMT was analyzed with two measures for each ear: percentage of correct responses (BMTP), which represents the percentage of correctly identified tones, and target sound detection threshold (BMTT), which is defined as the shortest ISI detected 4 out of 6 times with equal or higher detection rate for subsequent

ISIs. The final performance for a given individual was considered as the average of the two ears' BMTP and BMTT.

The equipment and conditions for the BMT were the same as those for the pitch identification test.

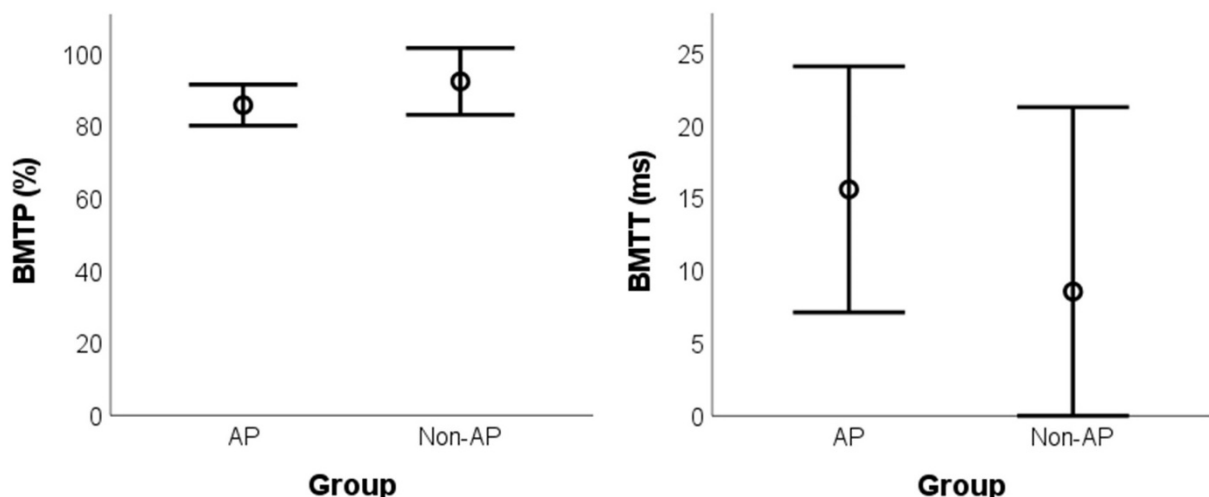
5.4.1.3 Statistical analysis

Statistical procedures for this experiment included the same software, tests, bootstrapping technique, and significance criterion as used in Experiment 1. Since Experiment 2 was also conducted with a small sample, ESs were also considered for interpreting the results in the same fashion as Experiment 1.

5.4.2 Results

The difference between groups was not significant for BMTP [$t(13) = -1.993$, $p_{BH} = 0.194$, $g = 0.732$, mean difference = -6.56% , BCa 95% CI = $(-13.83, 2.40)$] and for BMTT [$t(13) = 1.506$, $p_{BH} = 0.194$, $g = 0.555$, mean difference = 7.05 ms, BCa 95% CI = $(-5.50, 18.32)$] (Figure 6).

Figure 6 – Mean values for the BMT parameters according to the group



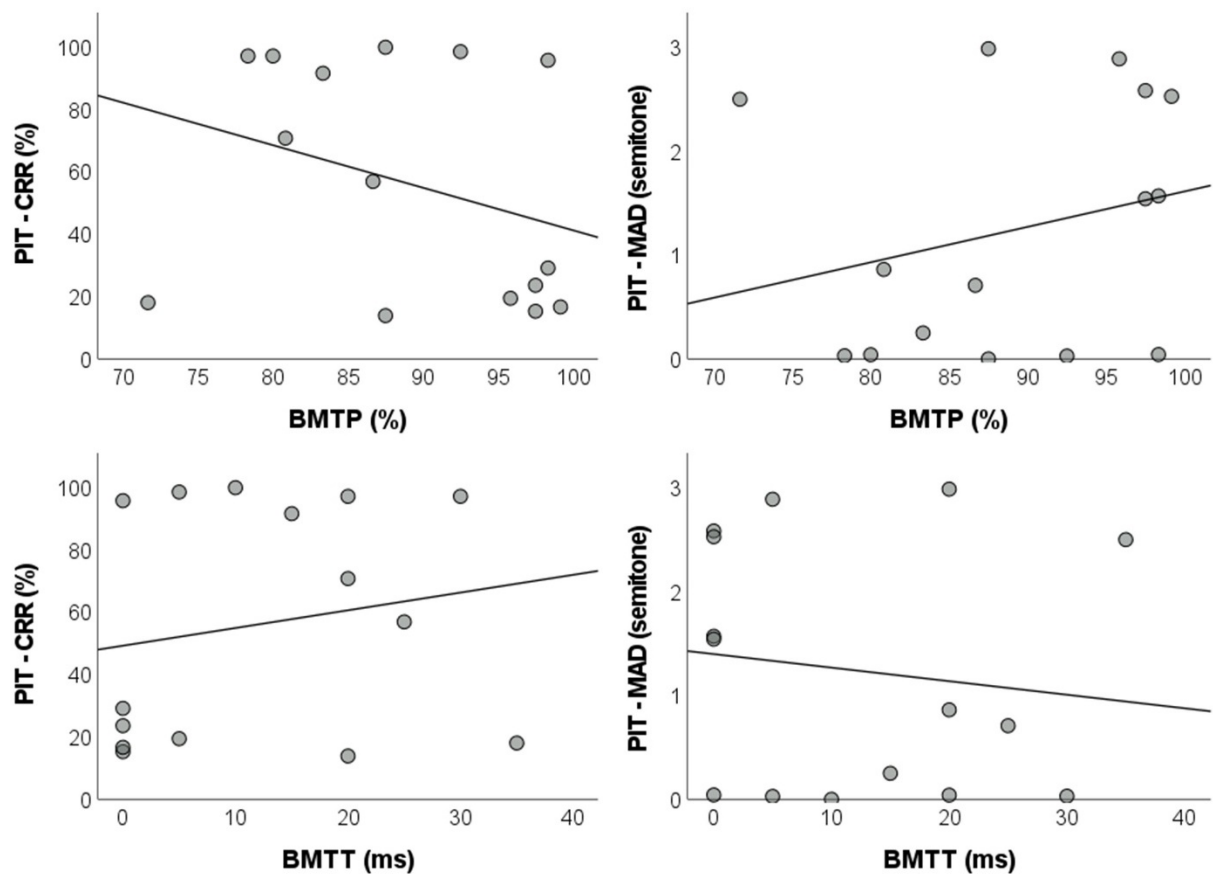
Source: Leite Filho et al. (2023).

Legend: BMT: Backward Masking Test; AP: absolute pitch; BMTP: BMT percentage of correct responses; BMTT: BMT target sound detection threshold.

Correlation analyzes comprising the total sample of the study (AP + Non-AP groups, $n = 15$) revealed a lack of statistically significant linear correlations between

BMTP and pitch identification test measures [correct response rate: $r = -0.320$, BCa 95% CI = $(-0.777, 0.344)$, $p_{BH} = 0.568$; MAD: $r = 0.253$, BCa 95% CI = $(-0.363, 0.708)$, $p_{BH} = 0.568$]. A similar scenario was observed between BMTT and the pitch identification test [correct response rate: $r = 0.183$, BCa 95% CI = $(-0.409, 0.650)$, $p_{BH} = 0.569$; MAD: $r = -0.132$, BCa 95% CI = $(-0.621, 0.568)$, $p_{BH} = 0.652$] (Figure 7). Due to the lack of significant correlations between the BMT and the pitch identification tests, no regression analyzes were carried out (Supplementary Table S2).

Figure 7 – Dispersion plots with regression lines of the parameters for the pitch identification test and the BMT



Source: Leite Filho et al. (2023).

Legend: BMT: backward masking test; BMTP: BMT percentage of correct responses; BMTT: BMT target sound detection threshold; PIT – CRR: pitch identification test – correct response rate; MAD: mean absolute deviation.

5.4.3 Discussion

The lack of statistical difference between groups and statistically significant correlations between the pitch identification test and the BMT suggests that backward

masking is not related to the ability to name musical notes, either considering AP an all-or-none ability or a continuum trait.

These results agree with other studies which found no difference in the auditory perception of musicians with AP (Fujisaki; Kashino, 2002; McKetton; DeSimone; Schneider, 2019). Although the data presented in Experiment 2 contradicts the “perceptual subprocess hypothesis” (Siegel, 1974; Fujisaki; Kashino, 2005; Kim; Knösche, 2017a; Reis et al., 2021) and even the results for Experiment 1, several reasons can be listed for this scenario.

First, the CANS is a highly complex set of structures; not all are involved in every aspect of auditory processing (Hackett, 2015; Pickles, 2015). In this sense, even though the neural basis of backward masking is still poorly understood (Mattingly; Donell; Rosen, 2018), some findings suggest that AP and backward masking may have substantially different neural substrates. For example, while backward masking is related to a significant activation of the cingulate gyrus (van Dijk; Backes, 2003), this structure is not significantly activated during pitch identification by musicians with AP (Schulze; Gaab; Schlaug, 2009). On the other hand, the activation of regions like the inferior frontal gyrus and the parietal lobule during AP-related tasks (Schulze; Gaab; Schlaug, 2009; Wengenroth et al., 2014; Dohn et al., 2015; Leipold et al., 2019) contrasts with the seemingly unremarkable activation of these areas during backward masking tasks (van Dijk; Backes, 2003). As such, even if the activity of structures like the temporal pole may suggest a neural overlap of backward masking and AP through the ventral stream (van Dijk; Backes, 2003), the cited dissociations may account for some of the results observed in Experiment 2.

Second, unlike the GIN test, and since it is a brand new auditory test, the potential of the BMT to differentiate between subgroups of individuals with normal auditory processing is yet to be investigated. Therefore, although the BMT can identify auditory processing disorders in a clinical context and presents a high correlation with other well-established temporal processing tests, including the GIN test (Filippini et al., 2022), the possibility that the tool cannot track subclinical, AP-related differences in temporal processing cannot be completely ruled out. However, it is worth noting that the absence of a significant ceiling effect in our sample speaks against this hypothesis.

Finally, a third possible explanation resides in the association between backward masking and cognitive abilities, such as short-term memory, attention, and executive function, as demonstrated by studies linking this auditory phenomenon to

event-related auditory potentials, brain areas, and behavioral tasks that are known to take part in cognitive processes (Winkler; Näätänen, 1992; Winkler; Reinikainen; Näätänen, 1993; Bazana; Stelmack, 2002; van Dijk; Backes, 2003; Strait et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2011). Since cognitive factors were not strictly controlled in this experiment, a cognition-driven bias cannot be excluded entirely.

5.5 GENERAL DISCUSSION

Taken together, the results of both experiments provide further insights into the perceptual subprocess of AP. Although data from Experiment 1 suggests that temporal processing does play a role in pitch naming ability, the results from Experiment 2 are against this claim. Such discrepancies may reflect the discrete neural processes by which aspects of temporal processing operate and relate to other hearing abilities. In this context, some studies show a higher correlation coefficient between frequency discrimination and temporal acuity measured by gap detection (Jones et al., 2009; Gyldenkerne et al., 2014) than between frequency discrimination and the phenomenon of backward masking (Filippini et al., 2022), which may be an explanation for the apparently contradictory conclusions between experiments 1 and 2. Therefore, the results of the present research suggest that temporal resolution is involved in the perceptual subprocess of AP, while backward masking is not, implying that only some of the auditory temporal processing features are relevant to the assumption of unique categorization of musical notes present in the perceptual subprocess hypothesis (Siegel, 1974).

The present study also shows that treating AP as an all-or-none ability or a continuum trait may directly affect interpreting the results. In this sense, combining group and correlation analyzes in AP research may be a viable way to fully assess the phenomenon and overcome some of the methodological heterogeneity in the field.

A limitation worth noting for both experiments is the small sample size, which can be justified by the rare occurrence of high-precision AP, even in the musically trained population. We attempted to overcome this issue by using bootstrapping and robust methods to guarantee the validity of all statistical analyzes. Besides that, ESs, less prone to small sample bias, were also considered for interpreting the results.

The experiments were conducted in different moments and institutions. Consequently, a different pitch identification test, judged as less susceptible to relative

pitch bias than the one used in Experiment 1, was used for Experiment 2. Even though this research topic lacks a definitive and valid test for determining the presence of absolute pitch, which implicates significant heterogeneity not only for our results but for other studies as well, we acknowledge that the differences between the pitch identification tests might impose limitations in comparing the results of both experiments. Another possible limitation in comparing the experiments is the absence of a precise measurement of the absolute pitch ability in Non-AP musicians in Experiment 1 since subjects were assigned to the Non-AP group after a simple screening procedure during the training session of the pitch identification test. However, the AP group of Experiment 1 still yielded significant variance, with correct response rates ranging from 62 to 100%. Thus, we believe that the results of the correlation analyses presented in this experiment are still noteworthy.

Although we demonstrated a link between temporal resolution and AP, further investigations must be made to elucidate the causal relationship between both, if any. In this sense, the impact of an auditory training program focused on temporal aspects on the pitch naming ability might be an interesting way to explore this question.

5.6 CONCLUSION

Better performance in the GIN test was a significant predictor of AP, indicating that temporal resolution influences pitch naming ability. On the other hand, no relationship was found between BMT and the pitch identification test, suggesting that temporal masking is not related to AP.

5.7 DATA AVAILABILITY STATEMENT

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

5.8 ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by Federal University of São Paulo Research Ethics Committee and University of São

Paulo School of Medicine Research Ethics Committee. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

5.9 AUTHOR CONTRIBUTIONS

CLF contributed to study design, data collection, data management, data analysis, and writing and reviewing of the manuscript. CR-M contributed to data collection, data analysis, and reviewing of the manuscript. LP and ES contributed to study design, reviewing of the manuscript, and supervision of the study. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

5.10 FUNDING

This research was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (grant 2019/13817–1) and National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

5.11 CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

5.12 PUBLISHER'S NOTE

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

5.13 ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the following colleagues: Patricia Vanzella for her valuable advice, which improved the study design; Psyche Loui and Raphael Bender Chagas Leite for making their pitch identification tests available for this study; Renata Filippini for providing the backward masking test and advising on its usage; Felipe Diego Toro Hernández for running the statistical analysis conducted with R; and the reviewers, whose commentaries and suggestions significantly improved the quality of the manuscript.

5.14 SUPPLEMENTARY MATERIAL

The Supplementary material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2023.1151776/full#supplementary-material>

5.15 REFERENCES

- Arnal LH, Poeppel D, Giraud A. Temporal coding in the auditory cortex. *Handb Clin Neurol.* 2015;129:85–98. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00005-6.
- Bairnsfather JE, Osborne MS, Martin C, Mosing MA, Wilson SJ. Use of explicit priming to phenotype absolute pitch ability. *PLoS One.* 2022a;17:e0273828. doi: 10.1371/journal.pone.0273828.
- Bairnsfather JE, Ullén F, Osborne MS, Wilson SJ, Mosing MA. Investigating the relationship between childhood music practice and pitch-naming ability in professional musicians and a population-based twin sample. *Twin Res Hum Genet.* 2022b;25:140–8. doi: 10.1017/thg.2022.29.
- Bazana PG, Stelmack RM. Intelligence and information processing during an auditory discrimination task with backward masking: an event-related potential analysis. *J Pers Soc Psychol.* 2002;83:998–1008. doi: 10.1037/0022-3514.83.4.998.
- Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J R Stat Soc, Ser B, Methodol.* 1995;57:289–300. doi: 10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x.
- Bermudez P, Zatorre RJ. The absolute pitch mind continues to reveal itself. *J Biol.* 2009a;8:8–11. doi: 10.1186/jbiol171.

- Bermudez P, Zatorre RJ. A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing. *Music Percept.* 2009b;27:89–101. doi: 10.1525/mp.2009.27.2.89.
- Brauchli C, Leipold S, Jäncke L. Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *Neuroimage.* 2019;189:241–7. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.01.021.
- Burkhard A, Elmer S, Jäncke L. Early tone categorization in absolute pitch musicians is subserved by the right-sided perisylvian brain. *Sci Rep.* 2019;9:1419. doi: 10.1038/s41598-018-38273-0.
- Chavarria-Soley G. Absolute pitch in Costa Rica: distribution of pitch identification ability and implications for its genetic basis. *J Acoust Soc Am.* 2016;140:891–7. doi: 10.1121/1.4960569.
- Cohen J. A power primer. *Psychol Bull.* 1992;112:155–9. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155.
- Deutsch D, editor. *The psychology of music.* 3rd ed. Waltham: Academic Press; 2013. Absolute pitch, p. 141–82.
- Deutsch D, Dooley K. Absolute pitch is associated with a large auditory digit span: a clue to its genesis. *J Acoust Soc Am.* 2013;133:1859–61. doi: 10.1121/1.4792217.
- Deutsch D, Dooley K, Henthorn T, Head B. Absolute pitch among students in an American music conservatory: association with tone language fluency. *J Acoust Soc Am.* 2009;125:2398–403. doi: 10.1121/1.3081389.
- Deutsch D, Henthorn T, Marvin E, Xu H. Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *J Acoust Soc Am.* 2006;119:719. doi: 10.1121/1.2151799.
- Diedler J, Pietz J, Bast T, Rupp A. Auditory temporal resolution in children assessed by magnetoencephalography. *Neuroreport.* 2007;18:1691–5. doi: 10.1097/WNR.0b013e3282f0b6e2.
- van Dijk P, Backes WH. Brain activity during auditory backward and simultaneous masking tasks. *Hear Res.* 2003;181:8–14. doi: 10.1016/S0378-5955(03)00130-8.
- Dohn A, Garza-Villarreal EA, Chakravarty MM, Hansen M, Lerch JP, Vuust P. Gray- and white-matter anatomy of absolute pitch possessors. *Cereb Cortex.* 2015;25:1379–88. doi: 10.1093/cercor/bht334.
- Dohn A, Garza-Villarreal EA, Heaton P, Vuust P. Do musicians with perfect pitch have more autism traits than musicians without perfect pitch? An empirical study. *PLoS One.* 2012;7:e37961. doi: 10.1371/journal.pone.0037961.

Donai JJ, Jennings MB. Gaps-in-Noise detection and gender identification from noise-vocoded vowel segments: comparing performance of active musicians to non-musicians. *J Acoust Soc Am*. 2016;139:EL128–34. doi: 10.1121/1.4947070.

Eggermont JJ. Auditory temporal processing and its disorders. 1st ed. Oxford: Oxford University; 2015.

Elmer S, Rogenmoser L, Kuhn J, Jancke L. Bridging the gap between perceptual and cognitive perspectives on absolute pitch. *J. Neurosci*. 2015;35:366–71. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3009-14.2015.

Field A. Discovering statistics using IBM SPSS statistics. 5th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications; 2017.

Filippini R, Leite Filho CA, Barros GMSB, Musiek FE, Schochat E. Evidence of validity and normative values of a new auditory backward masking test. *J Clin Med*. 2022;11:4933. doi: 10.3390/jcm11174933.

Filippini R, Schochat E. A new paradigm for temporal masking assessment: pilot study. *Codas*. 2014;26:302–7. doi: 10.1590/2317-1782/201420130044.

Filippini R, Wong B, Schochat E, Musiek F. GIN test: A meta-analysis on its neurodiagnostic value. *J Am Acad Audiol*. 2020;31:147–57.

Fujisaki W, Kashino M. The basic hearing abilities of absolute pitch possessors. *Acoust Sci Technol*. 2002;23:77–83. doi: 10.1250/ast.23.77.

Fujisaki W, Kashino M. Contributions of temporal and place cues in pitch perception in absolute pitch possessors. *Percept Psychophys*. 2005;67:315–23. doi: 10.3758/BF03206494.

Germano N di G, Cogo-Moreira H, Bortz G. Absolute pitch: in search of testable model. Proceedings of the 14th International Conference on Music Perception and Cognition; 2016 July 5-9; San Francisco, US. San Francisco: Society for Music Perception and Cognition; 2016, p. 710–3.

Germano NDG, Cogo-Moreira H, Coutinho-Lourenço F, Bortz G. A new approach to measuring absolute pitch on a psychometric theory of isolated pitch perception: Is it disentangling specific groups or capturing a continuous ability?. *PLoS One*. 2021;16:e0247473. doi: 10.1371/journal.pone.0247473.

Gregersen PK, Kowalsky E, Kohn N, Marvin EW. Absolute pitch: prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *Am J Hum Genet*. 1999;65:911–3. doi: 10.1086/302541.

Gregersen PK, Kowalsky E, Lee A, Baron-Cohen S, Fisher SE, Asher JE, Ballard D, Freudenberg J, Li W. Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Hum Mol Genet*. 2013;22:2097–104. doi: 10.1093/hmg/ddt059.

- Gußmack M, Vitouch O, Gula B. Latent absolute pitch: An ordinary ability?. Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception & Cognition; 2006 August 22-26; Bologna, Italy. Bologna: Bononia University Press; 2006, p. 1408–12.
- Gyldenkærne P, Dillon H, Sharma M, Purdy SC. Attend to this: the relationship between auditory processing disorders and attention deficits. *J Am Acad Audiol.* 2014;25:676–87. doi: 10.3766/jaaa.25.7.6.
- Hackett TA. Anatomic organization of the auditory cortex. *Handb Clin Neurol.* 2015;129:27–53. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00002-0.
- Hartley DEH, Wright BA, Hogan SC, Moore DR. Age-related improvements in auditory backward and simultaneous masking in 6- to 10-year-old children. *J Speech Lang Hear Res.* 2000;43:1402–15. doi: 10.1044/jslhr.4306.1402.
- Van Hedger SC, Heald SLM, Nusbaum HC. Absolute pitch can be learned by some adults. *PLoS One.* 2019;14:e0223047. doi: 10.1371/journal.pone.0223047.
- Hedges LV. Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *J Educ Stat.* 1981;6:107. doi: 10.2307/1164588.
- Heinrich A, Alain C, Schneider BA. Within- and between-channel gap detection in the human auditory cortex. *Neuroreport.* 2004;15:2051–6. doi: 10.1097/00001756-200409150-00011.
- Jakubowski K, Müllensiefen D, Stewart L. A developmental study of latent absolute pitch memory. *Q J Exp Psychol.* 2017;70:434–43. doi: 10.1080/17470218.2015.1131726.
- Jones JL, Zalewski C, Brewer C, Lucker J, Drayna D. Widespread auditory deficits in tune deafness. *Ear Hear.* 2009;30:63–72. doi: 10.1097/AUD.0b013e31818ff95e.
- Keenan JP, Thangaraj V, Halpern AR, Schlaug G. Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage.* 2001;14:1402–8. doi: 10.1006/nimg.2001.0925.
- Kim S, Knösche TR. Intracortical myelination in musicians with absolute pitch: quantitative morphometry using 7-T MRI. *Hum Brain Mapp.* 2016;37:3486–501. doi: 10.1002/hbm.23254.
- Kim S-G, Knösche TR. On the perceptual subprocess of absolute pitch. *Front Neurosci.* 2017a;11:1–6. doi: 10.3389/fnins.2017.00557.
- Kim S-G, Knösche TR. Resting state functional connectivity of the ventral auditory pathway in musicians with absolute pitch. *Hum Brain Mapp.* 2017b;38:3899–916. doi: 10.1002/hbm.23637.
- Leipold S, Brauchli C, Greber M, Jäncke L. Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain Struct Funct.* 2019;224:1723–38. doi: 10.1007/s00429-019-01872-2.

Leipold S, Greber M, Elmer S. Perception and cognition in absolute pitch: distinct yet inseparable. *J Neurosci*. 2019;39:5839–41. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019.

Leite RBC, Mota-Rolim SA, Queiroz CMT. Music proficiency and quantification of absolute pitch: a large-scale study among Brazilian musicians. *Front Neurosci*. 2016;10. doi: 10.3389/fnins.2016.00447.

Levitin DJ. Absolute memory for musical pitch: evidence from the production of learned melodies. *Percept Psychophys*. 1994;56:414–23. doi: 10.3758/BF03206733.

Levitin DJ, Rogers SE. Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends Cogn Sci*. 2005;9:26–33. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.007.

Loui P, Li HCC, Hohmann A, Schlaug G. Enhanced cortical connectivity in absolute pitch musicians. *J Cogn Neurosci*. 2011;23:1015–26. doi: 10.1162/jocn.2010.21500.Enhanced.

Loui P, Zamm A, Schlaug G. Absolute pitch and synesthesia: two sides of the same coin? shared and distinct neural substrates of music listening. *ICMPC*. 2012a;3979:618–23.

Loui P, Zamm A, Schlaug G. Enhanced functional networks in absolute pitch. *Neuroimage*. 2012b;63:632–40. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.07.030.

Loyd LL, Kaplan H. *Audiometric interpretation: a manual of basic audiometry*. 1st ed. Baltimore: University Park Press; 1978.

MacDonald JA. Using the ideal observer to predict performance in perceptual tasks: an example from the auditory temporal masking domain. *Atten Percept Psychophys*. 2011;73:2639–48. doi: 10.3758/s13414-011-0213-8.

Maechler M, Rousseeuw P, Croux C, Todorov V, Ruckstuhl A, Salibian-Barrera M, Verbeke T, Koller M, Conceição ELT, di Palma MA. *Robustbase: basic robust statistics* [Internet]. 2022 [citado em 25 jan. 2023]. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=robustbase>.

Masataka N. Enhancement of speech-relevant auditory acuity in absolute pitch possessors. *Front Psychol*. 2011;2:1–4. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00101.

Mattingly MM, Donell BM, Rosen MJ. Late maturation of backward masking in auditory cortex. *J Neurophysiol*. 2018;120:1558–71. doi: 10.1152/jn.00114.2018.

McKetton L, DeSimone K, Schneider KA. Larger auditory cortical area and broader frequency tuning underlie absolute pitch. *J Neurosci*. 2019;39:2930–7. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019.

Miyazaki K. Absolute pitch identification: effects of timbre and pitch region. *Music Percept*. 1989;7:1–14. doi: 10.2307/40285445.

Moore BCJ. 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. doi: 10.1007/s10162-008-0143-x.

Moore DR, Cowan JA, Riley A, Edmondson-Jones AM, Ferguson MA. Development of auditory processing in 6- to 11-yr-old children. *Ear Hear*. 2011;32:269–85. doi: 10.1097/AUD.0b013e318201c468.

Musiek F. Updates in Gaps in Noise test. *Hear J*. 2020;73:34. doi: 10.1097/01.HJ.0000669884.68540.eb.

Musiek FE, Chermak GD. Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handb Clin Neurol*. 2015;129:313–32. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4.

Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamiou D-E, Baran JA, Zaida E. GIN (Gaps-in-Noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear*. 2005;26:608–18. doi: 10.1097/01.aud.0000188069.80699.41.

Ngan VSH, Cheung LYT, Ng HTY, Yip KHM, Wong YK, Wong AC -N. An early perceptual locus of absolute pitch. *Psychophysiology*. 2023;60:1–19. doi: 10.1111/psyp.14170.

Oechslin MS, Meyer M, Jancke L. Absolute pitch--functional evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cereb Cortex*. 2010;20:447–55. doi: 10.1093/cercor/bhp113.

Oxenham AJ. Pitch perception. *J Neurosci*. 2012;32:13335–8. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3815-12.2012.

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. doi: 10.1371/journal.pone.0018082.

Phillips DP, Taylor TL, Hall SE, Carr MM, Mossop JE. Detection of silent intervals between noises activating different perceptual channels: some properties of “central” auditory gap detection. *J Acoust Soc Am*. 1997;101:3694–705. doi: 10.1121/1.419376.

Phillips DP. Auditory gap detection, perceptual channels, and temporal resolution in speech perception. *J Am Acad Audiol*. 1999;10:343–54.

Pickles JO. Auditory pathways. *Handb Clin Neurol*. 2015;129:3–25. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00001-9.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. 2022 [citado em 25 jan. 2023]. Disponível em: <https://cran.r-project.org>.

Reis KS, Heald SLM, Veillette JP, Van Hedger SC, Nusbaum HC. Individual differences in human frequency-following response predict pitch labeling ability. *Sci Rep*. 2021;11:14290. doi: 10.1038/s41598-021-93312-7.

Ribeiro ACM, Scharlach RC, Pinheiro MMC. Assessment of temporal aspects in popular singers. *Codas*. 2015;27:520–5. doi: 10.1590/2317-1782/20152014234.

Rufener KS, Ruhnau P, Heinze H-J, Zaehle T. Transcranial random noise stimulation (tRNS) shapes the processing of rapidly changing auditory information. *Front Cell Neurosci*. 2017;11:1–11. doi: 10.3389/fncel.2017.00162.

Rupp A, Gutschalk A, Hack S, Scherg M. Temporal resolution of the human primary auditory cortex in gap detection. *Neuroreport*. 2002;13:2203–7. doi: 10.1097/00001756-200212030-00008.

Rupp A, Gutschalk A, Uppenkamp S, Scherg M. Middle latency auditory-evoked fields reflect psychoacoustic gap detection thresholds in human listeners. *J Neurophysiol*. 2004;92:2239–47. doi: 10.1152/jn.00163.2004.

Russo FA, Windell DL, Cuddy LL. Learning the “special note”: evidence for a critical period for absolute pitch acquisition. *Music Percept*. 2003;21:119–27. doi: 10.1525/mp.2003.21.1.119.

Schellenberg EG, Trehub SE. Good pitch memory is widespread. *Psychol Sci*. 2003;14:262–6. doi: 10.1111/1467-9280.03432.

Schlemmer KB, Kulke F, Kuchinke L, Van Der Meer E. Absolute pitch and pupillary response: effects of timbre and key color. *Psychophysiology*. 2005;42:465–72. doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00306.x.

Schulze K, Gaab N, Schlaug G. Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC Neurosci*. 2009;10:106. doi: 10.1186/1471-2202-10-106.

Schulze K, Mueller K, Koelsch S. Auditory stroop and absolute pitch: an fMRI study. *Hum Brain Mapp*. 2013;34:1579–90. doi: 10.1002/hbm.22010.

Sergeant D, Vraka M. Pitch perception and absolute pitch in advanced performers. In: Papageorgi I, Welch G, editors. *Advanced musical performance: investigations in higher education learning*. 1st ed. Burlington: Ashgate; 2014, p. 201–29.

Shinn JB. Temporal processing: the basics. *Hear J*. 2003;56:52. doi: 10.1097/01.HJ.0000292557.52409.67.

Siegel JA. Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *J Exp Psychol*. 1974;103:37–44. doi: 10.1037/h0036844.

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. doi: 10.1016/j.heares.2009.12.021.

Szyfter K, Witt MP. How far musicality and perfect pitch are derived from genetic factors?. *J Appl Genet*. 2020;61:407–14. doi: 10.1007/s13353-020-00563-7.

Takeuchi AH, Hulse SH. Absolute pitch. *Psychol Bull.* 1993;113:345–61. doi: 10.1037/0033-2909.113.2.345.

Theusch E, Basu A, Gitschier J. Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *Am J Hum Genet.* 2009;85:112–9. doi: 10.1016/j.ajhg.2009.06.010.

Theusch E, Gitschier J. Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin Res Hum Genet.* 2011;14:173–8. doi: 10.1375/twin.14.2.173.

Thornton AR, Raffin MJM. Speech-discrimination scores modeled as a binomial variable. *J Speech Hear Res.* 1978;21:507–18. doi: 10.1044/jshr.2103.507.

Vaden KI, Eckert MA, Dubno JR, Harris KC. Cingulo-opercular adaptive control for younger and older adults during a challenging gap detection task. *J Neurosci Res.* 2020;98:680–91. doi: 10.1002/jnr.24506.

Vanzella P, Schellenberg EG. Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PLoS One.* 2010;5:e15449. doi: 10.1371/journal.pone.0015449.

Vitouch O. Absolutist models of absolute pitch are absolutely misleading. *Music Percept.* 2003;21:111–7. doi: 10.1525/mp.2003.21.1.111.

Weiss NA. wBoot: bootstrap methods [Internet]. 2016 [citado em 25 jan. 2023]. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=wBoot>.

Wengenroth M, Blatow M, Heinecke A, Reinhardt J, Stippich C, Hofmann E, Schneider P. Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cereb. Cortex.* 2014;24:1127–37. doi: 10.1093/cercor/bhs391.

Wilson SJ, Lusher D, Wan CY, Dudgeon P, Reutens DC. The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cereb Cortex.* 2009;19:724–32. doi: 10.1093/cercor/bhn121.

Winkler I, Näätänen R. Event-related potentials in auditory backward recognition masking: a new way to study the neurophysiological basis of sensory memory in humans. *Neurosci Lett.* 1992;140:239–42. doi: 10.1016/0304-3940(92)90111-J.

Winkler I, Reinikainen K, Näätänen R. Event-related brain potentials reflect traces of echoic memory in humans. *Percept Psychophys.* 1993;53:443–9. doi: 10.3758/BF03206788.

Wong YK, Lui KFH, Yip KHM, Wong ACN. Is it impossible to acquire absolute pitch in adulthood?. *Atten Percept Psychophys.* 2020a;82:1407–30. doi: 10.3758/s13414-019-01869-3.

Wong YK, Ngan VS, Cheung LY, Wong AC-N. Absolute pitch learning in adults speaking non-tonal languages. *Q J Exp Psychol.* 2020b;73:1908–20. doi: 10.1177/1747021820935776.

Zatorre RJ. Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nat Neurosci.* 2003;6:692–5. doi: 10.1038/nn1085.

6 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve dois objetivos centrais: 1) buscar evidências de validade do TMS, um novo teste desenvolvido para possibilitar a avaliação do MTS na ausência de equipamentos de um laboratório de psicoacústica, como no contexto clínico; 2) investigar relações entre o processamento temporal e o OA por meio da avaliação das habilidades auditivas temporais de resolução e mascaramento sucessor. Estes dois objetivos foram explorados, respectivamente, no primeiro e no segundo estudo apresentados anteriormente.

Considerando as hipóteses estabelecidas na Seção 2.3, cabe uma síntese dos resultados anteriormente à sua discussão mais minuciosa, que buscará expandir as discussões já apresentadas nos manuscritos originais.

No primeiro estudo, as hipóteses H1 e H2 foram confirmadas na medida em que se verificou, independentemente da orelha testada, melhor desempenho da amostra de adultos sem alteração dos aspectos auditivos temporais quanto maiores foram os intervalos entre estímulo alvo e ruído mascarador, bem como na condição S/R -20 dB em comparação à S/R -30 dB. De maneira geral, a H3 também foi corroborada pelas evidências de pior desempenho para os grupos de idosos e adultos com prejuízo da percepção temporal auditiva, à exceção do limiar de detecção do estímulo alvo na condição S/R -30 dB para o último grupo. A H4 foi apenas parcialmente confirmada, uma vez que foram observados excelentes valores de especificidade, no entanto valores de sensibilidade variando entre ruins ou medianos, a depender do grupo e da condição do teste. A H5 foi corroborada pela observação de correlações moderadas ou fortes entre o TMS e outros testes temporais. No segundo estudo, a ausência de evidência de diferença entre músicos com e sem OA nos testes temporais se contrapôs à H6, no entanto a H7 foi parcialmente confirmada pela verificação da influência do teste GIN, mas não do TMS, sobre a acurácia na tarefa de nomeação de notas.

6.1 EVIDÊNCIAS DE VALIDADE DO TMS

A primeira versão do TMS (Filippini; Schochat, 2014), estudada em uma amostra de 20 estudantes universitários, incluía intervalos entre estímulo e ruído apenas até 100 ms, além das condições de S/R de -10 até -40 dB. Apesar de seus

resultados estarem em consonância com a literatura sobre MTS, alguns pontos de melhoria foram identificados e o instrumento sofreu diversas modificações, tais como: exclusão das condições de -10 e -40 dB, por apresentarem fortes indícios, respectivamente, de efeito teto e efeito chão, portanto sendo pouco sensíveis às nuances do fenômeno; inclusão de intervalos até 400 ms, de modo a tornar o teste realizável por populações com maior dificuldade de percepção temporal na modalidade auditiva; e inclusão de um sinal de aviso antes de cada item do teste, de modo a reduzir o viés atencional na sua execução. Assim, a versão atual do MTS, apresentada neste trabalho, é decorrente destas modificações e, devido a elas, foi essencial realizar um novo estudo para reavaliar e expandir a caracterização de suas propriedades psicométricas.

6.1.1 Evidências de validade de construto

Em relação ao desempenho dos adultos jovens sem queixas auditivas ou evidência de alterações da percepção temporal, controladas as demais variáveis, os resultados foram similares aos de outros estudos (Elliott, 1962a, 1962b, 1967; Rishiq; Harkrider; Hedrick, 2012), bem como da versão anterior do teste (Filippini; Schochat, 2014), demonstrando significativo arrefecimento do efeito mascarador do ruído a partir de 20 a 25 ms do estímulo alvo. A esperada ausência de diferença entre as orelhas concordou com a primeira versão do instrumento (Filippini; Schochat, 2014) e seguiu o comportamento de outros testes temporais (Musiek, 1994; Schochat; Rabelo; Sanfins, 2000; Musiek et al., 2005; Samelli; Schochat, 2008; Amaral; Colella-Santos, 2010; Perez; Pereira, 2010; Delecrode et al., 2014), corroborando a perspectiva de os processos temporais estarem mais relacionados à porção cortical do sistema nervoso auditivo central e estimularem as vias auditivas ipsilaterais e contralaterais simultaneamente, dada a sua apresentação monótica (Baran; Musiek, 1999; Musiek; Chermak, 2015). Em conjunto, estes resultados sugeriram que o TMS apresenta algumas características esperadas para uma ferramenta de avaliação do processamento temporal, o que fortaleceu a hipótese de o teste de fato estar mensurando esse aspecto e, portanto, falou a favor da sua validade de construto.

Também conforme o esperado, adultos com baixo desempenho em testes temporais consolidados na prática clínica apresentaram pior desempenho no TMS. A concordância entre os resultados de testes de percepção auditiva temporal já foi

descrita em diversos estudos (Schochat; Rabelo; Sanfins, 2000; Bamiau et al., 2006; Turgeon et al., 2011; Majak et al., 2015; Jafari et al., 2016; Lavasani et al., 2016) e deu suporte à noção de um construto subjacente a essas medidas, o que por sua vez reforçou a ideia de uma categoria específica de prejuízo da função auditiva central relacionada aos aspectos temporais (Eggermont, 2015). A única exceção referiu-se ao limiar de detecção do estímulo alvo na condição S/R -30 dB, que, considerando a variabilidade observada, pode ter sido influenciado por fatores extra-auditivos (Hartley et al., 2000) e, portanto, configurou uma medida menos específica do TMS.

O pior desempenho de idosos no TMS foi outro resultado previsto, dado que pesquisas anteriores já verificaram resultados inferiores nesta população em outros testes temporais (Parra et al., 2004; Liporaci; Frota, 2010a, 2010b; John; Hall; Kreisman, 2012; Grose et al., 2016). Duas hipóteses foram levantadas para explicar tal resultado, sendo que a primeira reforçaria a validade de construto do instrumento, enquanto a segunda exporia uma fragilidade em relação à sua validade discriminante. Se por um lado este resultado pode ter refletido o declínio da função auditiva central em decorrência de processos degenerativos do envelhecimento, como morte neuronal e desmielinização das fibras axônicas (Atcherson et al., 2015; Ouda; Profant; Syka, 2015; Roth, 2015), por outro lado ele pode ter sido decorrente do declínio cognitivo nesta faixa etária, que parece influenciar especialmente habilidades do processamento temporal (Lessa; Costa, 2016; Murphy et al., 2016, 2018; Rocha-Muniz et al., 2023). As diferenças encontradas entre o grupo de adultos com déficits temporais e o grupo de idosos para as medidas do TMS podem ser interpretadas como favoráveis à segunda interpretação e, neste sentido, a medida de limiar de detecção do estímulo alvo na condição S/R -20 dB, sendo a única sem diferença entre os dois grupos, representaria uma medida com menor influência dos aspectos cognitivos. De fato, para o teste GIN, que possui estrutura muito similar ao TMS, foram relatadas propriedades psicométricas mais favoráveis à medida de limiar do que à medida de porcentagem de acertos (Musiek et al., 2005; Weihing; Musiek; Shinn, 2007).

Quanto às análises de correlação entre desempenhos dos diferentes testes temporais presentes nos procedimentos do estudo, além de darem suporte à validade de construto do TMS por meio da validade convergente (Mokkink et al., 2010), conforme previamente discutido, essas também permitem inferências em relação à validade discriminante do instrumento. De forma geral, foram observadas correlações fortes entre o GIN e o TMS, enquanto as correlações do TMS com os testes de padrão

de duração e frequência variaram entre fracas e moderadas. Tal cenário pode indicar que o TMS se caracteriza como uma medida mais puramente auditiva, à semelhança do GIN, e menos contaminada por aspectos como memória, atenção e demais fatores cognitivos do que outros testes temporais, como os que envolvem a identificação de padrões (Tomlin et al., 2015; Lanzetta-Valdo et al., 2016; Back et al., 2022).

6.1.2 Evidências de validade de critério

As análises de acurácia diagnóstica para o TMS trouxeram um conjunto de informações relevantes acerca da utilidade e aplicabilidade prática do teste. Em primeiro lugar, os índices diagnósticos calculados pelo método “média -2 desvios padrão” e pelo método “Percentil 10/90” foram muito similares, o que pode sugerir equivalência entre as duas propostas do ponto de vista clínico. Em segundo lugar, de forma geral, a condição S/R -30 dB apresentou piores índices em comparação à condição S/R -20 dB, reforçando a noção de que esta última pode garantir medidas mais válidas do MTS. Em terceiro lugar, com exceção da medida de limiar de detecção do estímulo alvo na condição S/R -30 dB, as medidas de limiar e de porcentagem de acertos foram essencialmente equivalentes em relação à eficiência diagnóstica. Por fim, verificou-se diferença dos valores de sensibilidade de acordo com o grupo estudado, de modo que, para o grupo de adultos com alteração nos testes temporais, foi constatada sensibilidade entre 10 e 38%, enquanto que valores entre 35 e 59% foram obtidos para o grupo de idosos.

Segundo Power, Fell e Wright (2013), um teste com utilidade clínica deve apresentar valor da soma dos índices de sensibilidade e especificidade maior ou igual a 150%, o que corresponde a um valor de eficiência de 75%. Considerando este critério, houve um desempenho diagnóstico insatisfatório de todas as medidas do TMS para o grupo de adultos com prejuízo do processamento temporal e um desempenho limítrofe para o grupo de idosos, com desempenho geral também não alcançando valores aceitáveis de eficiência (67–72%), o que sugeriu limitação quanto à validade de critério desta ferramenta. Analisando separadamente as métricas de sensibilidade e especificidade, tornou-se evidente o fato de que o baixo desempenho do instrumento se deveu especialmente aos baixos valores de sensibilidade, dado que a especificidade apresentou valores muito próximos a 100%. Diante desse cenário, algumas justificativas podem ser levantadas.

O transtorno do processamento auditivo central caracteriza um grupo heterogêneo de pessoas, com notável variabilidade de queixas e desempenhos nos testes comportamentais das habilidades auditivas (Ahmmed et al., 2014; Vermiglio, 2014; de Wit et al., 2016; Wilson, 2018). Assim, apesar de diversos testes terem sido utilizados para avaliação da percepção temporal auditiva, não foram aplicados testes para avaliação de outras habilidades auditivas, o que limitou a compreensão acerca do funcionamento auditivo da amostra deste estudo e pode ter levado à distribuição de indivíduos com melhor desempenho do processamento auditivo central no grupo de adultos com alteração do processamento temporal. De forma similar, a ausência de uma avaliação mais abrangente das habilidades auditivas pode ter acarretado na alocação de indivíduos que cumpriam os critérios para transtorno do processamento auditivo central no grupo de adultos sem prejuízos das funções auditivas centrais, apesar de o alto índice de especificidade observado em todas as medidas do TMS se opor a esta hipótese. Em relação aos idosos, ainda que esta população apresente maior chance de alterações relativas ao funcionamento do sistema nervoso auditivo central, é preciso considerar que o processo de envelhecimento é marcadamente heterogêneo, de modo que a amostra de idosos deste estudo pode ter incluído indivíduos com o processamento auditivo central essencialmente preservado (Ouda; Profant; Syka, 2015; Roth, 2015; Livingston et al., 2017).

Porém, para sua aplicação em contextos reais, é fundamental que uma ferramenta tenha suas propriedades diagnósticas avaliadas para além da sensibilidade e especificidade e que se considere em qual contexto se dará o seu uso (Bartol, 2015). Nesse sentido, os valores preditivos positivos e negativos, que indicam a probabilidade de resultados normais e alterados de fato representarem indivíduos pertencentes aos grupos normais e alterados, respectivamente, fornecendo medidas mais relevantes no contexto clínico (Altman; Bland, 1994; van Stralen et al., 2009; Trevethan, 2017), apresentaram uma perspectiva mais otimista do potencial diagnóstico do TMS.

Foram verificados valores preditivos positivos variando de 84 a 92% e valores preditivos negativos variando de 57 a 65% considerando idosos e adultos com alterações temporais, respectivamente. Os altos valores preditivos positivos podem trazer como benefícios o risco reduzido da realização desnecessária de novas testagens e intervenções terapêuticas, mitigando gastos financeiros e estresse psicológico dispensáveis. Por outro lado, valores preditivos negativos moderados

podem ser considerados aceitáveis em situações onde outros testes são utilizados em conjunto para se chegar a uma conclusão clínica (Trevethan, 2017), como é o caso da bateria comportamental de avaliação do processamento auditivo central (American Academy of Audiology, 2010; Conselho Federal de Fonoaudiologia, 2020). Além disso, numa extrapolação cautelosa do critério “150%” (Power; Fell; Wright, 2013) para os valores preditivos positivos e negativos, seria viável afirmar que as medidas do TMS apresentaram acurácia diagnóstica satisfatória na condição S/R -20 dB.

Em suma, os resultados variáveis demonstraram que a validade de critério do TMS ainda é um tópico em aberto e necessita ser melhor explorado para caracterizar a viabilidade da utilização deste instrumento no contexto clínico.

6.1.3 Implicações práticas

A principal implicação prática do primeiro estudo apresentado neste trabalho foi a apresentação da versão atualizada de um teste com potencial para se tornar o primeiro instrumento para avaliação do MTS padronizado e validado para uso em contexto clínico. Apesar da relevância deste fenômeno para a percepção auditiva e para a comunicação como um todo, a prática clínica em processamento auditivo central e a neurociência da audição ainda carecem de um teste padronizado para tal avaliação e este estudo representou um passo na direção de preencher esta lacuna, ainda que as características psicométricas do TMS precisem ser melhor estudadas antes da sua ampla utilização.

Além disso, os esforços para o desenvolvimento e padronização de um instrumento de mensuração do MTS válido, de fácil distribuição e com baixa exigência quanto aos equipamentos para a sua realização pode facilitar a condução de outros estudos que visem explorar este aspecto da percepção temporal auditiva.

O estudo também proporcionou melhor entendimento em relação aos efeitos do processo de envelhecimento do sistema nervoso auditivo central sobre as funções auditivas centrais, em especial aquelas relacionadas aos aspectos temporais, e pode trazer novas perspectivas quanto ao manejo das dificuldades auditivas observadas em indivíduos idosos.

Finalmente, apesar de a validade de testes comportamentais do processamento auditivo central ser comumente pensada em termos de acurácia diagnóstica (American Academy of Audiology, 2010; Weihing; Atcherson, 2014) e a

abordagem de múltiplos tipos de validade ser utilizada quase sempre no contexto de instrumentos de autorrelato (Mokkink et al., 2010), este estudo demonstrou que a referida abordagem pode trazer um entendimento mais amplo das capacidades e limitações psicométricas dos testes auditivos. De fato, essa abordagem tem ganhado cada vez mais espaço para além dos estudos envolvendo questionários no contexto clínico (Fiedler, 2011; Zuo; Xu; Milham, 2019).

6.1.4 Limitações e estudos futuros

A principal limitação deste estudo residiu na ausência de um grupo com lesão neurológica confirmada, considerado "padrão-ouro" para presença de prejuízo das habilidades auditivas (American Academy of Audiology, 2010). Este fator pode ter limitado significativamente a acurácia diagnóstica observada no TMS, em especial a sua sensibilidade, e, portanto, novas pesquisas que investiguem o desempenho desta população poderão trazer melhor compreensão quanto à aplicabilidade clínica desta ferramenta.

Apesar de terem sido utilizadas técnicas para pontos de corte consagradas na literatura e recomendadas pelas principais diretrizes clínicas (American Academy of Audiology, 2010; Iliadou et al., 2017; Keith et al., 2019), deve-se considerar que outras formas de análise dos dados seriam possíveis. Em especial, cabe mencionar a curva de característica de operação do receptor, que permite diversas técnicas para estabelecimento de pontos de corte e apresenta vantagens no uso em amostras reduzidas e distribuição não-normal (Unal, 2017). Ainda no tema de tamanho amostral, é relevante pontuar que o estudo contou com uma amostra reduzida e, considerando as recomendações da literatura quanto ao tamanho amostral para estudos de acurácia diagnóstica (Bujang, 2016) e a prevalência estimada de transtorno do processamento auditivo central (Hind et al., 2011), é provável que o número amostral mínimo para garantir uma estimativa confiável tenha sido alcançado para a especificidade, mas não para a sensibilidade.

Ainda que haja evidências de o MTS se caracterizar como um fenômeno primariamente auditivo (Ahmmed et al., 2014), outras apontam para a influência de funções cognitivas superiores, especialmente aqueles relacionados à atenção, neste tipo de tarefa (Helzer; Champlin; Gillam, 1996; Hartley et al., 2000). No presente estudo, buscou-se controlar este viés por meio do uso de uma triagem cognitiva com

alta precisão diagnóstica (Nasreddine et al., 2005; Memória et al., 2013). No entanto, uma avaliação mais completa das funções cognitivas por meio de testes neuropsicológicos poderia quantificar com maior precisão a extensão dessa influência. Assim, futuros estudos que investiguem a relação entre o desempenho em testes neuropsicológicos e o TMS poderão trazer uma maior compreensão acerca das propriedades psicométricas deste último. Na mesma linha e seguindo a tendência de outras pesquisas na área (Farah et al., 2014; Alvand et al., 2022), técnicas de neuroimagem estrutural e funcional poderiam ser combinadas com a mensuração comportamental do MTS por meio do TMS para esclarecer a atividade neurobiológica subjacente ao procedimento e, assim, permitir melhor compreensão das funções perceptuais e cognitivas que atuam para a realização da tarefa.

6.2 PROCESSAMENTO TEMPORAL E OUVIDO ABSOLUTO

Após a investigação de evidências de validade para o TMS, foi possível dar seguimento ao segundo estudo deste trabalho, que explorou a relação das habilidades auditivas temporais de discriminação e mascaramento sucessor com a capacidade de nomeação de notas musicais. Esta busca se inseriu no contexto da discussão sobre o papel dos subprocessos perceptual (Siegel, 1974; Zatorre, 2003) e cognitivo (Levitin, 1994; Levitin; Rogers, 2005), bem como da interação entre estes subprocessos (Leipold; Greber; Elmer, 2019), como mecanismos subjacentes ao OA. Neste sentido, o desempenho no TMS e no teste GIN demonstrado por músicos com diferentes níveis de acurácia na tarefa de nomeação de tons musicais pode proporcionar algumas reflexões quanto à influência da percepção temporal auditiva no OA.

6.2.1 Resolução temporal e ouvido absoluto

O primeiro experimento deste trabalho revelou um conjunto de resultados interessante e até certo ponto inesperado, uma vez que não houve diferença entre os grupos denominados com e sem OA em relação às medidas do GIN. No entanto, observou-se correlação estatisticamente significativa entre estas e a taxa de acertos no teste de OA, indicando que, quanto maior o nível de acuidade temporal auditiva, maior a precisão na nomeação de notas musicais.

A larga variabilidade da acurácia em testes de identificação de notas musicais na população de músicos é um fenômeno amplamente descrito na literatura (Takeuchi; Hulse, 1993; Miyazaki, 2004; Athos et al., 2007; Deutsch, 2013; Sergeant; Vraga, 2014). Diante deste cenário, alguns pesquisadores propuseram as categorias OA “verdadeiro” e “quasi-OA” (Bachem, 1937; Takeuchi; Hulse, 1993) para descrever grupos de indivíduos com altas taxas e taxas moderadas de acertos, respectivamente, nos testes de avaliação do OA. O grupo de músicos classificados como possuidores de OA no presente estudo incluiu tanto indivíduos que poderiam ser enquadrados como tendo OA “verdadeiro” quanto indivíduos que poderiam ser classificados como tendo “quasi-OA”. As evidências a respeito dos prováveis processos perceptuais e neurocognitivos que subjazem cada uma destas classificações podem auxiliar na compreensão dos resultados aparentemente contraditórios envolvendo o teste GIN.

A resolução diz respeito à agilidade com a qual o sistema nervoso auditivo central detecta mudanças no estímulo acústico (Shinn, 2003) e está diretamente relacionada à percepção da altura dos sons (Yost, 2009; Oxenham, 2012). Assim, a associação observada entre a acuidade temporal e a acurácia do OA é subsidiada pelas teorias que explicam a percepção de altura dos sons e por outros estudos que, por meio de métodos comportamentais e eletrofisiológicos, demonstraram maior rapidez no processamento sensorial realizado pelo sistema nervoso auditivo central de músicos com alta proficiência do OA (Itoh et al., 2005; Masataka, 2011; Schulze; Mueller; Koelsch, 2013; Burkhard; Elmer; Jäncke, 2019; Matsuda; Igarashi; Itoh, 2019; Benner et al., 2023; Ngan et al., 2023). Tal agilidade promoveria maior acurácia e eficiência na análise perceptual de notas musicais, facilitando o uso desta informação por processos cognitivos posteriores e, portanto, reduzindo a demanda cognitiva (Klein; Coles; Donchin, 1984; Rogenmoser; Elmer; Jäncke, 2015; Ngan et al., 2023). Este processamento automático, espontâneo e quase instantâneo seria condizente com a definição do OA “verdadeiro” (Takeuchi; Hulse, 1993). Assim, estas evidências podem indicar o subprocesso perceptual como uma resposta para a pergunta levantada por Kim e Knösche (2017) quanto ao fator subjacente ao desempenho diferenciado desta subcategoria de OA.

Por outro lado, evidências na literatura demonstraram que músicos denominados “quasi-OA” fazem maior uso de recursos cognitivos na tarefa de identificação de notas musicais (Wilson et al., 2009; Hou et al., 2017). Consonante a estes dados e com base no modelo de duas vias auditivas (Rauschecker; Tian, 2000;

Rauschecker, 2015), sugeriu-se que esta população dependeria em maior grau do subprocesso cognitivo (via dorsal) e em menor grau do subprocesso perceptual (via ventral) (Kim; Knösche, 2017).

Diante do exposto, algumas proposições podem ser levantadas para uma explicação unificada e coerente dos resultados. O grupo denominado OA foi, na verdade, composto dos dois subgrupos mencionados anteriormente, conforme nível de acurácia de nomeação de tons musicais. Isto pode ter acarretado em um grupo heterogêneo quanto aos subprocessos envolvidos na identificação de notas, especificamente no nível do uso dos recursos concernentes ao subprocesso perceptual. Em termos de valores médios do grupo, isto se refletiu em uma anulação da acuidade temporal aumentada do OA “verdadeiro” pelo agrupamento com indivíduos classificados como “quasi-OA”, justificando a ausência de diferença significativa com músicos classificados como “sem OA”. Por outro lado, este viés foi contornado nas análises correlacionais, que evidenciaram associação de diferentes níveis de precisão do OA com diferentes níveis de precisão da discriminação temporal auditiva. Neste sentido, seria razoável supor que tal associação sugeriu que quanto maior o uso do subprocesso perceptual, maior a precisão na capacidade de identificar notas musicais.

6.2.2 Mascaramento temporal sucessor e ouvido absoluto

No experimento 2, levando em consideração apenas o resultado dos testes de hipótese, não foram observadas quaisquer associações entre a habilidade auditiva temporal de mascaramento sucessor e a capacidade de nomeação de notas, sugerindo que não há relação entre estes fenômenos e que o MTS não participa do subprocesso perceptual presente no OA. Possíveis justificativas para estes resultados foram exploradas na seção 5.4.3 deste trabalho.

No entanto, dado o baixo número amostral e o elevado risco de baixo poder estatístico, é necessário que estes resultados sejam interpretados principalmente do ponto de vista do tamanho do efeito para evitar a retenção inadequada da hipótese nula do estudo (Ferguson, 2009; Rosnow; Rosenthal, 2009). Diante desse cenário, um panorama curioso de resultados se apresentou: na comparação entre grupos, observou-se tamanho do efeito grande para todas as medidas, indicando pior desempenho no TMS para o grupo com alta proficiência de OA em comparação ao

grupo considerado sem OA; nas análises de correlação, foram verificados coeficientes de correlação variando entre fracos e moderados e sugerindo que, quanto mais preciso o OA, pior a eficácia do sistema nervoso auditivo central em relação ao MTS. Apesar de aparentemente contraintuitivos e opostos à hipótese previamente levantada neste trabalho, estes resultados podem ser explicados a partir de algumas considerações.

O estímulo alvo utilizado no TMS consiste de um tom puro de 1000 Hz, que equivale a, aproximadamente, um quinto de semitom acima de B5 (987,8 Hz, notação musical americana) e, portanto, não corresponde a nenhuma das 12 notas do sistema de temperamento igual, podendo ser considerado “desafinado”. Evidências de maior atividade eletrofisiológica relacionada a processos cognitivos em tarefas de percepção de tons desafinados em músicos com maior acurácia de OA sugeriram que, nesta população, a percepção destes estímulos pode acarretar em maior demanda cognitiva do que em músicos considerados sem OA (Rogenmoser; Elmer; Jäncke, 2015; Rogenmoser et al., 2021), o que poderia justificar o pior desempenho e velocidade reduzida em tarefas de percepção musical com estímulos acústicos desafinados (Miyazaki, 1992, 1993). Esta hipótese é corroborada por experimentos que demonstraram que tons desafinados são mais desagradáveis para músicos com OA (Levitin; Rogers, 2005; Rogenmoser et al., 2021), sendo que a literatura relata que estímulos acústicos desagradáveis estão associados à maior demanda cognitiva para o seu processamento sensorial (Reber; Schwarz; Winkielman, 2004; Sarasso et al., 2020). Na perspectiva neurofisiológica, um estudo (Leung; Alain, 2011) corroborou a noção da interferência de demandas cognitivas competitivas sobre o OA ao demonstrar que uma tarefa de memória de trabalho pode modular a ativação das vias ventral e dorsal (Rauschecker; Tian, 2000; Rauschecker, 2015), que estariam associadas, respectivamente, aos subprocessos perceptual e cognitivo do OA (Elmer et al., 2015; Kim; Knösche, 2017; Leopold; Greber; Elmer, 2019).

Algumas evidências sugeriram que, por si só, tarefas envolvendo MTS apresentam, para além da percepção auditiva básica, uma demanda cognitiva significativa (Helzer; Champlin; Gillam, 1996; Hartley et al., 2000). Considerando o exposto no parágrafo anterior, esta tarefa se apresentaria ainda mais cognitivamente demandante para indivíduos com OA, especialmente aqueles classificados como “verdadeiros”, dado o caráter automático da habilidade neste grupo (Takeuchi; Hulse, 1993), e justificaria o pior desempenho no TMS. Por outro lado, dado o emprego mais

intenso do subprocesso cognitivo e o caráter menos instantâneo da habilidade, o grupo “quasi-OA” teria maior controle no direcionamento dos recursos cognitivos para a realização da tarefa do TMS, o que justificaria um menor prejuízo do mascaramento temporal sucessor neste subgrupo de OA.

6.2.3 Implicações práticas

O presente estudo buscou contribuir para a crescente discussão na literatura sobre os papéis dos aspectos perceptuais e cognitivos nas diferentes maneiras como o OA se manifesta (Kim; Knösche, 2017; Leipold; Greber; Elmer, 2019). Assim, esta pesquisa trouxe luz a características não-musicais relacionadas ao OA que, futuramente, podem ajudar na busca de marcadores perceptuais, cognitivos ou biológicos que auxiliem na identificação da presença deste fenômeno único em suas diferentes formas e níveis de manifestação.

Além disso, a neurociência da cognição musical tem ganhado cada vez mais destaque como uma área de grande interesse científico e que pode auxiliar na compreensão de uma miríade de tópicos dentro da neurociência, tais como linguagem, memória, atenção, emoção, sensação e percepção, controle motor, entre outros (Zatorre, 2005; Levitin; Tirovolas, 2009; Kraus; Zatorre; Strait, 2014; Vuust et al., 2022). Neste sentido, os resultados aqui relatados alertaram para a necessidade de que o OA seja levado em consideração em qualquer estudo envolvendo a população com educação musical, de modo a permitir a diferenciação de quais eventos estão ligados à identificação absoluta de notas musicais e quais estão relacionados à educação musical de maneira geral, garantindo maior robustez nas conclusões de estudos desenvolvidos nessa área.

Os resultados também ressaltaram a relevância do OA como um possível modelo para melhor compreensão das habilidades associadas ao processamento auditivo central. Por meio da compreensão dos aspectos inatos e ambientais associados ao OA (Zatorre, 2003; Bermudez; Zatorre, 2009), pode ser possível futuramente entender também a influência destes fatores sobre a percepção auditiva de forma mais ampla, o que tem potencial para aprofundar a compreensão acerca dos mecanismos fisiológicos que embasam as habilidades auditivas, bem como proporcionar métodos mais eficazes de intervenção precoce e reabilitação em casos de prejuízo das funções auditivas centrais. Ainda nesta linha, no contexto da clínica

de processamento auditivo central, desdobramentos desta pesquisa podem auxiliar no atendimento de pacientes com experiência musical e queixas auditivas, delineando a importância da investigação, na anamnese, do nível de proficiência na tarefa de identificação de notas e a necessidade de estabelecimento de valores de referência específicos para esta população.

Por fim, cabem mencionar as contribuições à discussão referente à natureza categórica ou contínua do OA (Sergeant; Vraka, 2014; Germano; Cogo-Moreira; Bortz, 2016; Bairnsfather et al., 2022), uma vez que os dados apresentados trouxeram melhor entendimento acerca das potencialidades e limitações de cada abordagem, auxiliando estudos futuros a identificar quando cada uma delas se mostra mais adequada levando em consideração as perguntas de pesquisa e os métodos empregados.

6.2.4 Limitações e estudos futuros

Para além das limitações já mencionadas no artigo referente ao estudo, outros pontos são dignos de nota. Conforme ficou evidente, os diferentes processos que permeiam a capacidade de nomear notas em indivíduos com “quasi-OA” e OA “verdadeiro” podem ter influenciado os resultados. Apesar da tentativa de contornar esta limitação por meio das análises considerando a habilidade de OA como um contínuo, esta questão pode ser melhor abordada por estudos com maior número amostral e que permitam a organização de grupos representativos destas e de outras possíveis subclassificações referentes ao OA.

De acordo com alguns pontos levantados anteriormente, a mensuração do MTS no OA pode ter sofrido vieses de ordem cognitiva, o que limitou a compreensão da contribuição desta habilidade auditiva sobre a capacidade de identificação e nomeação de notas musicais. Futuros estudos utilizando um paradigma similar de avaliação do MTS, no entanto com sons correspondentes às 12 notas utilizadas convencionalmente na música ocidental, poderão promover maior controle deste viés e garantir resultados mais robustos. Na mesma linha e considerando os resultados do primeiro artigo (Seção 4), a hipótese da interferência cognitiva sobre o MTS de músicos com OA poderia ser testada a partir da comparação do desempenho desta população em diferentes condições de S/R.

Apesar de não haver consenso na literatura quanto à forma de mensuração do OA, é válido recordar que o procedimento aplicado no primeiro estudo incluiu apenas tons puros e o procedimento aplicado no segundo estudo incluiu apenas tons de piano, revelando uma caracterização apenas parcial da habilidade de OA nas duas situações. Novos estudos poderão se beneficiar da investigação da influência de aspectos do processamento temporal e de outras habilidades auditivas básicas sobre a diferença de desempenho em tarefas de identificação de tons musicais utilizando diferentes timbres (Vanzella; Schellenberg, 2010; Gao; Oxenham, 2022).

Finalmente, estudos que investiguem a relação entre medidas comportamentais do processamento temporal e medidas eletrofisiológicas ou de neuroimagem estrutural e funcional em músicos com diferentes níveis de OA poderão ser úteis na elucidação dos mecanismos neurais envolvidos no subprocesso perceptual do OA. Em especial, salienta-se o potencial da técnica eletrofisiológica de Frequency-Following Response, que permite o registro da codificação neural das características espectrais e temporais do estímulo acústico e que, por meio da elucidação dos mecanismos neurobiológicos atuantes na percepção de alturas de sons, pode auxiliar na melhor compreensão dos processos envolvidos no OA (Krizman; Kraus, 2019; Reis et al., 2021).

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho ambicionou, por meio de uma abordagem interdisciplinar, trazer contribuições à área da audiologia tanto pelo enfoque clínico do processamento auditivo central quanto pela sua interseção com a neurociência da cognição musical.

Em um momento em que a prática clínica em processamento auditivo central e a própria noção de um transtorno decorrente de uma disfunção auditiva central são questionados nos debates na literatura científica (Vermiglio, 2014; DeBonis, 2015; de Wit et al., 2016, 2018; Moore, 2018; Neijenhuis et al., 2019), fica cada vez mais evidente a necessidade de procedimentos válidos e confiáveis que quantifiquem e categorizem as habilidades auditivas. De fato, a relevância deste tema se comprova pelos esforços mundiais que intencionam fortalecer o estudo e a prática da neuroaudiologia, ilustrados pelos diversos consensos publicados em diferentes regiões do globo (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.; American Academy of Audiology, 2010; Canadian Interorganization Steering Group for Speech-

Language Pathology and Audiology, 2012; Iliadou et al., 2017; British Society of Audiology, 2018; Keith et al., 2019; Nickisch et al., 2019; Ptok; Kiese-Himmel; Nickisch, 2019; Conselho Federal de Fonoaudiologia, 2020; Schönweiler et al., 2020).

Neste sentido, esta pesquisa buscou trazer uma contribuição a este tópico ao apresentar um novo teste de avaliação de uma habilidade auditiva temporal até então não explorada para além dos laboratórios de psicofísica, mas de suma relevância para o desenvolvimento da fala e da linguagem. Apesar de, diante das evidências atuais, tal ferramenta ainda não ser considerada pronta para uso clínico, foram encontrados indícios do seu potencial como um instrumento válido para avaliação do processamento temporal.

No entanto, para além do contexto clínico, este trabalho demonstrou que este tipo de instrumento psicoacústico pode representar uma abordagem prática, acessível, de baixo custo e fácil aplicação em investigações em áreas correlatas, como a neurociência da cognição musical, ilustrando como a Fonoaudiologia pode contribuir para os estudos acerca das relações entre audição, música e sistema nervoso central.

Esta pesquisa intencionou investigar como a percepção auditiva básica influencia o OA, um fenômeno há muito estudado e ainda pouco compreendido. No entanto, a investigação também trouxe importantes noções de como a percepção auditiva pode se manifestar diferentemente em músicos. Este cenário pode proporcionar novas perspectivas de como a prática musical pode atuar como ferramenta de intervenção em indivíduos que apresentam prejuízo das habilidades auditivas. Assim, num caminho inverso, o estudo também propiciou reflexões acerca da aplicabilidade da neurociência da cognição musical no estudo da comunicação humana e seus transtornos.

7 CONCLUSÃO

Na investigação de evidências de validade do TMS, verificou-se melhor desempenho nos itens com intervalos mais longos entre estímulo alvo e ruído mascarador e na condição com maior S/R, no entanto não foi observada diferença entre as orelhas. Estes resultados corroboram as hipóteses levantadas a partir da teoria que embasa o fenômeno auditivo do MTS, demonstrando evidências de validade de construto para o TMS. A validade de construto do instrumento também foi corroborada pelo pior desempenho demonstrado por idosos e adultos com alteração da percepção auditiva temporal e pelas correlações moderadas e fortes com outros testes temporais.

Em relação à validade de critério, foram obtidos resultados mistos, com excelente especificidade, porém sensibilidade e eficiência diagnóstica geral variando entre baixa e moderada. Assim, a utilidade clínica do TMS precisa ser melhor explorada por estudos envolvendo indivíduos com lesões no sistema nervoso auditivo central.

Considerando as evidências de validade de construto e de critério levantadas pelo presente trabalho, de maneira geral, as medidas obtidas no TMS na condição de S/R -20 dB representaram uma mensuração mais válida do MTS, com destaque para o limiar de detecção do estímulo alvo.

Na investigação de possíveis relações entre o processamento temporal e o OA, verificou-se que o maior refinamento da resolução temporal influenciou significativamente a maior acurácia na tarefa de nomeação de notas sem referência externa, evidenciando a participação deste aspecto da percepção temporal auditiva no subprocesso perceptual do OA. Por outro lado, resultados sugestivos da relação entre pior desempenho do MTS e presença do OA podem indicar interferência dos processos cognitivos envolvidos nesta habilidade musical sobre a percepção auditiva mais básica.

REFERÊNCIAS

Ahmed AU, Ahmed AA, Bath JR, Ferguson MA, Plack CJ, Moore DR. Assessment of children with suspected auditory processing disorder. *Ear Hear*. 2014;35:295–305. doi: 10.1097/01.aud.0000441034.02052.0a.

Altman DG, Bland JM. Statistics notes: diagnostic tests 2: predictive values. *BMJ*. 1994;309:102–102. doi: 10.1136/bmj.309.6947.102.

Alvand A, Kuruvilla-Mathew A, Kirk IJ, Roberts RP, Pedersen M, Purdy SC. Altered brain network topology in children with auditory processing disorder: a resting-state multi-echo fMRI study. *Neuroimage Clin*. 2022;35:103139. doi: 10.1016/j.nicl.2022.103139.

Amaral MIR do, Colella-Santos MF. Resolução temporal: desempenho de escolares no teste GIN - Gaps-in-Noise. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2010;76:745–52. doi: 10.1590/S1808-86942010000600013.

American Academy of Audiology. Clinical practice guidelines: diagnosis, treatment and management of children and adults with central auditory processing disorder [Internet]. Reston: American Academy of Audiology; 2010 [citado em 25 mar. 2020]. Disponível em: https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/CAPD_Guidelines_8-2010.pdf_539952af956c79.73897613.pdf.

American Speech-Language-Hearing Association. Central auditory processing disorder [Internet]. [Rockville]: American Speech-Language-Hearing Association; [s.d.] [citado em 11 mar. 2021]. Disponível em: www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Central-Auditory-Processing-Disorder/.

Atcherson S, Nagaraj N, Kennett S, Levisse M. Overview of central auditory processing deficits in older adults. *Semin Hear*. 2015;36:150–61. doi: 10.1055/s-0035-1555118.

Athos EA, Levinson B, Kistler A, Zemansky J, Bostrom A, Freimer N, Gitschier J. Dichotomy and perceptual distortions in absolute pitch ability. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2007;104:14795–800. doi: 10.1073/pnas.0703868104.

Bachem A. Various types of absolute pitch. *J Acoust Soc Am*. 1937;9:146–51. doi: 10.1121/1.1915919.

Back NCF, Crippa AC de S, Riechi TIJ de S, Pereira LD. Central auditory processing and cognitive functions in children. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2022;26:e020–31. doi: 10.1055/s-0040-1722158.

Baharloo S, Johnston PA, Service SK, Gitschier J, Freimer NB. Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *Am J Hum Genet*. 1998;62:224–31. doi: 10.1086/301704.

Bairnsfather JE, Osborne MS, Martin C, Mosing MA, Wilson SJ. Use of explicit priming to phenotype absolute pitch ability. *PLoS One*. 2022;17:e0273828. doi: 10.1371/journal.pone.0273828.

Bamiou D-E, Musiek FE, Stow I, Stevens J, Cipolotti L, Brown MM, Luxon LM. Auditory temporal processing deficits in patients with insular stroke. *Neurology*. 2006;67:614–9. doi: 10.1212/01.wnl.0000230197.40410.db.

Baran J, Musiek FE. Behavioral assessment of central auditory system. In: Musiek FE, Rintelmann W, editors. *Contemporary perspectives on hearing assessment*, Boston: Allyn & Bacon; 1999.

Bartol T. Thoughtful use of diagnostic testing. *Nurse Pract*. 2015;40:10–2. doi: 10.1097/01.NPR.0000470366.64804.35.

Benner J, Reinhardt J, Christiner M, Wengenroth M, Stippich C, Schneider P, Blatow M. Temporal hierarchy of cortical responses reflects core-belt-parabelt organization of auditory cortex in musicians. *Cereb Cortex*. 2023;33:7044–60. doi: 10.1093/cercor/bhad020.

Bermudez P, Zatorre RJ. The absolute pitch mind continues to reveal itself. *J Biol*. 2009;8:8–11. doi: 10.1186/jbiol171.

Bogduk N. On understanding the validity of diagnostic tests. *Interv Pain Med*. 2022;1:100127. doi: 10.1016/j.inpm.2022.100127.

British Society of Audiology. Position statement and practice guidance - auditory processing disorder (APD) [Internet]. [Seafield]: British Society of Audiology. 2018 [citado em 12 mar. 2021]. Disponível em: <https://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2023/10/Position-Statement-and-Practice-Guidance-APD-2018.pdf>.

Brown WA, Cammuso K, Sachs H, Winklosky B, Mullane J, Bernier R, Svenson S, Arin D, Rosen-Sheidley B, Folstein SE. Autism-related language, personality, and cognition in people with absolute pitch: results of a preliminary study. *J Autism Dev Disord*. 2003;33:163–7; discussion 169. doi: 10.1023/a:1022987309913.

Bujang MA. Requirements for minimum sample size for sensitivity and specificity analysis. *J Clin Diagn Res*. 2016;10:YE01–6. doi: 10.7860/JCDR/2016/18129.8744.

Burkhard A, Elmer S, Jäncke L. Early tone categorization in absolute pitch musicians is subserved by the right-sided perisylvian brain. *Sci Rep*. 2019;9:1419. doi: 10.1038/s41598-018-38273-0.

Canadian Interorganization Steering Group for Speech-Language Pathology and Audiology. *Canadian Guidelines on Auditory Processing Disorder in Children and Adults: Assessment and Intervention* [Internet]. s.l.: Canadian Interorganization Steering Group for Speech-Language Pathology and Audiology. 2012 [citado em 13 fev. 2024]. Disponível em: <https://canadianaudiology.ca/wp->

content/uploads/2016/11/Canadian-Guidelines-on-Auditory-Processing-Disorder-in-Children-and-Adults-English-2012.pdf.

Carden J, Cline T. Absolute pitch: Myths, evidence and relevance to music education and performance. *Psychol Music*. 2019;47:890–901. doi: 10.1177/0305735619856098.

Conselho Federal de Fonoaudiologia. Avaliação e Intervenção no Processamento Auditivo Central [Internet]. [Brasília]: Conselho Federal de Fonoaudiologia. 2020 [citado em 28 fev. 2021]. Disponível em: https://www.fonoaudiologia.org.br/wp-content/uploads/2020/10/CFFa_Guia_Orientacao_Avaliacao_Intervencao_PAC.pdf.

DeBonis DA. It is time to rethink central auditory processing disorder protocols for school-aged children. *Am J Audiol*. 2015;24:124–36. doi: 10.1044/2015_AJA-14-0037.

Delecrode CR, Cardoso ACV, Frizzo ACF, Guida HL. Testes tonais de padrão de frequência e duração no Brasil: revisão de literatura. *Rev CEFAC*. 2014;16:283–93. doi: 10.1590/1982-021620143912.

Deutsch D, editor. *The psychology of music*. 3rd ed. Waltham: Academic Press; 2013. Absolute pitch, p. 141–82.

Deutsch D. *Musical illusions and phantom words: how music and speech unlock the mysteries of the brain*. 1st ed. New York: Oxford University Press; 2019. The mystery of absolute pitch: a rare ability that involves both nature and nurture, p. 82–102.

Deutsch D, Dooley K. Absolute pitch is associated with a large auditory digit span: a clue to its genesis. *J Acoust Soc Am*. 2013;133:1859–61. doi: 10.1121/1.4792217.

Deutsch D, Dooley K, Henthorn T, Head B. Absolute pitch among students in an American music conservatory: association with tone language fluency. *J Acoust Soc Am*. 2009;125:2398–403. doi: 10.1121/1.3081389.

Deutsch D, Henthorn T, Marvin E, Xu H. Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *J Acoust Soc Am*. 2006;119:719. doi: 10.1121/1.2151799.

Dohn A, Garza-Villarreal EA, Heaton P, Vuust P. Do musicians with perfect pitch have more autism traits than musicians without perfect pitch? An empirical study. *PLoS One*. 2012;7:e37961. doi: 10.1371/journal.pone.0037961.

Donai JJ, Jennings MB. Gaps-in-Noise detection and gender identification from noise-vocoded vowel segments: comparing performance of active musicians to non-musicians. *J Acoust Soc Am*. 2016;139:EL128–34. doi: 10.1121/1.4947070.

Echevarría-Guanilo ME, Gonçalves N, Romanoski PJ. Psychometric properties of measurement instruments: conceptual basis and evaluation methods - part II. *Texto Contexto Enferm*. 2019;28. doi: 10.1590/1980-265x-tce-2017-0311.

Eggermont JJ. Auditory temporal processing and its disorders. Oxford: Oxford University; 2015.

Elliott LL. Backward and forward masking. *Int J Audiol*. 1971;10:65–76. doi: 10.3109/00206097109072544.

Elliott LL. Backward and forward masking of probe tones of different frequencies. *J Acoust Soc Am*. 1962a;34:1116–7. doi: 10.1121/1.1918254.

Elliott LL. Backward masking: monotic and dichotic conditions. *J Acoust Soc Am*. 1962b;34:1108–15. doi: 10.1121/1.1918253.

Elliott LL. Development of auditory narrow-band frequency contours. *J Acoust Soc Am*. 1967;42:143–53. doi: 10.1121/1.1910543.

Elmer S, Rogenmoser L, Kuhn J, Jancke L. Bridging the gap between perceptual and cognitive perspectives on absolute pitch. *J Neurosci*. 2015;35:366–71. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3009-14.2015.

Elmer S, Sollberger S, Meyer M, Jäncke L. An empirical reevaluation of absolute pitch: behavioral and electrophysiological measurements. *J Cogn Neurosci*. 2013;25:1736–53. doi: 10.1162/jocn_a_00410.

Farah R, Schmithorst VJ, Keith RW, Holland SK. Altered white matter microstructure underlies listening difficulties in children suspected of auditory processing disorders: a DTI study. *Brain Behav*. 2014;4:531–43. doi: 10.1002/brb3.237.

Ferguson CJ. An effect size primer: a guide for clinicians and researchers. *Prof Psychol Res Pr*. 2009;40:532–8. doi: 10.1037/a0015808.

Fiedler K. Voodoo correlations are everywhere—not only in neuroscience. *Perspect Psychol Sci*. 2011;6:163–71. doi: 10.1177/1745691611400237.

Filippini R, Leite Filho CA, Barros GMSB, Musiek FE, Schochat E. Evidence of validity and normative values of a new auditory backward masking test. *J Clin Med*. 2022;11:4933. doi: 10.3390/jcm11174933.

Filippini R, Schochat E. A new paradigm for temporal masking assessment: pilot study. *Codas*. 2014;26:302–7. doi: 10.1590/2317-1782/201420130044.

Filippini R, Wehling J, Chermak GD, Musiek FE. Current issues in the diagnosis and treatment of CAPD in children. In: Geffner D, Ross-Swain D, editors. *Auditory processing disorder: assessment, management, and treatment*. 3rd ed. San Diego: Plural Publishing; 2019, p. 3–36.

Filippini R, Wong B, Schochat E, Musiek F. GIN test: A meta-analysis on its neurodiagnostic value. *J Am Acad Audiol*. 2020;31:147–57. doi: 10.3766/jaaa.18079.

Frota S, Pereira LD, Colella-Santos MF. Avaliação do processamento auditivo central: testes comportamentais. In: Schochat E, Samelli AG, do Couto CM, Teixeira AR,

Durante AS, Zanchetta S, editors. *Tratado de Audiologia*. 3a ed. Santana de Parnaíba: Manole; 2022, p. 280–96.

Freire P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 51a ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra; 2015.

Fujisaki W, Kashino M. The basic hearing abilities of absolute pitch possessors. *Acoust Sci Technol*. 2002;23:77–83. doi: 10.1250/ast.23.77.

Fujisaki W, Kashino M. Contributions of temporal and place cues in pitch perception in absolute pitch possessors. *Percept Psychophys*. 2005;67:315–23. doi: 10.3758/BF03206494.

Gao Z, Oxenham AJ. Voice disadvantage effects in absolute and relative pitch judgments. *J Acoust Soc Am*. 2022;151:2414–28. doi: 10.1121/10.0010123.

Germano N di G, Cogo-Moreira H, Bortz G. Absolute pitch: in search of testable model. *Proceedings of the 14th International Conference on Music Perception and Cognition*; 2016 July 5-9; San Francisco, US. San Francisco: Society for Music Perception and Cognition; 2016, p. 710–3.

Gregersen PK, Kowalsky E, Lee A, Baron-Cohen S, Fisher SE, Asher JE, Ballard D, Freudenberg J, Li W. Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Hum Mol Genet*. 2013;22:2097–104. doi: 10.1093/hmg/ddt059.

Grose JH, Menezes DC, Porter HL, Griz S. Masking period patterns and forward masking for speech-shaped noise. *Ear Hear*. 2016;37:48–54. doi: 10.1097/AUD.000000000000200.

Gyldenkærne P, Dillon H, Sharma M, Purdy SC. Attend to this: the relationship between auditory processing disorders and attention deficits. *J Am Acad Audiol*. 2014;25:676–87. doi: 10.3766/jaaa.25.7.6.

Hartley DEH, Wright BA, Hogan SC, Moore DR. Age-related improvements in auditory backward and simultaneous masking in 6- to 10-year-old children. *J Speech Lang Hear Res*. 2000;43:1402–15. doi: 10.1044/jslhr.4306.1402.

Helzer JR, Champlin CA, Gillam RB. Auditory temporal resolution in specifically language-impaired and age-matched children. *Percept Mot Skills*. 1996;83:1171–81. doi: 10.2466/pms.1996.83.3f.1171.

Hind SE, Haines-Bazrafshan R, Benton CL, Brassington W, Towle B, Moore DR. Prevalence of clinical referrals having hearing thresholds within normal limits. *Int J Audiol*. 2011;50:708–16. doi: 10.3109/14992027.2011.582049.

Hou J, Chen AC, Song B, Sun C, Beauchaine TP. Neural correlates of absolute pitch: a review. *Music Sci*. 2017;21:287–302. doi: 10.1177/1029864916662903.

Hsieh I-H, Tseng H-C, Liu J-W. Domain-specific hearing-in-noise performance is associated with absolute pitch proficiency. *Sci Rep.* 2022;12:16344. doi: 10.1038/s41598-022-20869-2.

Iliadou V (Vivian), Bamiou D-E, Chermak GD, Nimatoudis I. Comparison of two tests of auditory temporal resolution in children with central auditory processing disorder, adults with psychosis, and adult professional musicians. *Int J Audiol.* 2014;53:507–13. doi: 10.3109/14992027.2014.900576.

Iliadou V (Vivian), Ptok M, Grech H, Pedersen ER, Brechmann A, Deggouj N, Kiese-Himmel C, Śliwińska-Kowalska M, Nickisch A, Demanez L, Veuillet E, Thai-Van H, Sirimanna T, Callimachou M, Santarelli R, Kuske S, Barajas J, Hedjever M, Konukseven O, Veraguth D, Mattsson TS, Martins JH, Bamiou D-E. A European perspective on auditory processing disorder-current knowledge and future research focus. *Front Neurol.* 2017;8:1–7. doi: 10.3389/fneur.2017.00622.

Itoh K, Suwazono S, Arao H, Miyazaki K, Nakada T. Electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cereb. Cortex.* 2005;15:760–9. doi: 10.1093/cercor/bhh177.

Jafari Z, Esmaili M, Delbari A, Mehrpour M, Mohajerani MH. Auditory temporal processing deficits in chronic stroke: a comparison of brain damage lateralization effect. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2016;25:1403–10. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.02.030.

John AB, Hall JW, Kreisman BM. Effects of advancing age and hearing loss on Gaps-in-Noise test performance. *Am J Audiol.* 2012;21:242–50. doi: 10.1044/1059-0889(2012/11-0023).

Keith WJ, Purdy SC, Baily MR, Kay FM. New Zealand guidelines on auditory processing disorder. [Auckland]: New Zealand Audiological Society; 2019 [citado 12 mar. 2021]. Disponível em: <https://www.audiology.org.nz/>.

Kim S-G, Knösche TR. On the perceptual subprocess of absolute pitch. *Front Neurosci.* 2017;11:1–6. doi: 10.3389/fnins.2017.00557.

Kimberlin CL, Winterstein AG. Validity and reliability of measurement instruments used in research. *Am J Health-Syst Pharm.* 2008;65:2276–84. doi: 10.2146/ajhp070364.

Klein M, Coles MGH, Donchin E. People with absolute pitch process tones without producing a P300. *Science* (1979). 1984;223:1306–9. doi: 10.1126/science.223.4642.1306.

Kraus N, Zatorre RJ, Strait DL. Editors' introduction to Hearing Research special issue: music: a window into the hearing brain. *Hear Res.* 2014;308:1. doi: 10.1016/j.heares.2013.09.013.

Krizman J, Kraus N. Analyzing the FFR: a tutorial for decoding the richness of auditory function. *Hear Res.* 2019;382:107779. doi: 10.1016/j.heares.2019.107779.

Lanzetta-Valdo B, Oliveira G, Ferreira J, Palacios E. Auditory processing assessment in children with attention deficit hyperactivity disorder: an open study examining methylphenidate effects. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2016;21:72–8. doi: 10.1055/s-0036-1572526.

Lavasani AN, Mohammadkhani G, Motamedi M, Karimi LJ, Jalaei S, Shojaei FS, Danesh A, Azimi H. Auditory temporal processing in patients with temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav.* 2016;60:81–5. doi: 10.1016/j.yebeh.2016.04.017.

Leipold S, Greber M, Elmer S. Perception and cognition in absolute pitch: distinct yet inseparable. *J Neurosci.* 2019;39:5839–41. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019.

Leite Filho CA, Rocha-Muniz CN, Pereira LD, Schochat E. Auditory temporal resolution and backward masking in musicians with absolute pitch. *Front Neurosci.* 2023;17:1–11. doi: 10.3389/fnins.2023.1151776.

Leite RBC, Mota-Rolim SA, Queiroz CMT. Music proficiency and quantification of absolute pitch: a large-scale study among Brazilian musicians. *Front Neurosci.* 2016;10. doi: 10.3389/fnins.2016.00447.

Lessa AH, Costa MJ. Influência da cognição em habilidades auditivas de idosos pré e pós-adaptação de próteses auditivas. *Audiol Commun Res.* 2016;21:1686–7. doi: 10.1590/2317-6431-2016-1686.

Leung AWS, Alain C. Working memory load modulates the auditory “what” and “where” neural networks. *Neuroimage.* 2011;55:1260–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.12.055.

Levitin DJ. Absolute memory for musical pitch: evidence from the production of learned melodies. *Percept Psychophys.* 1994;56:414–23. doi: 10.3758/BF03206733.

Levitin DJ, Rogers SE. Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends Cogn Sci.* 2005;9:26–33. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.007.

Levitin DJ, Tirovolas AK. Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1156:211–31. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04417.x.

Liporaci FD, Frota SMMC. Resolução temporal auditiva em idosos. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2010a;15:533–9. doi: 10.1590/S1516-80342010000400010.

Liporaci FD, Frota SMMC. Envelhecimento e ordenação temporal auditiva. *Rev CEFAC.* 2010b;12:741–8. doi: 10.1590/S1516-18462010005000078.

Livingston G, Sommerlad A, Orgeta V, Costafreda SG, Huntley J, Ames D, Ballard C, Banerjee S, Burns A, Cohen-Mansfield J, Cooper C, Fox N, Gitlin LN, Howard R, Kales HC, Larson EB, Ritchie K, Rockwood K, Sampson EL, Samus Q, Schneider LS, Selbæk G, Teri L, Mukadam N. Dementia prevention, intervention, and care. *Lancet.* 2017;390:2673–734. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31363-6.

Loui P, Zamm A, Schlaug G. Absolute pitch and synesthesia: two sides of the same coin? Shared and distinct neural substrates of music listening. *ICMPC*. 2012;3979:618–23.

MacDonald JA. Using the ideal observer to predict performance in perceptual tasks: an example from the auditory temporal masking domain. *Atten Percept Psychophys*. 2011;73:2639–48. doi: 10.3758/s13414-011-0213-8.

Majak J, Zamysłowska-Szmytke E, Rajkowska E, Śliwińska-Kowalska M. Auditory temporal processing tests – normative data for Polish-speaking adults. *Med Pr*. 2015;66:145–52. doi: 10.13075/mp.5893.00041.

Martin MJ, Billiet CR, Bellis TJ. Audiologic assessment of CAPD. In: Geffner D, Ross-Swain D, editors. *Auditory processing disorders: assessment, management, and treatment*. 3rd ed. San Diego, CA: Plural Publishing; 2019, p. 69–93.

Masataka N. Enhancement of speech-relevant auditory acuity in absolute pitch possessors. *Front Psychol*. 2011;2:1–4. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00101.

Matsuda M, Igarashi H, Itoh K. Auditory T-complex reveals reduced neural activities in the right auditory cortex in musicians with absolute pitch. *Front Neurosci*. 2019;13:1–9. doi: 10.3389/fnins.2019.00809.

McKetton L, DeSimone K, Schneider KA. Larger auditory cortical area and broader frequency tuning underlie absolute pitch. *J Neurosci*. 2019;39:2930–7. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019.

Memória CM, Yassuda MS, Nakano EY, Forlenza O V. Brief screening for mild cognitive impairment: validation of the Brazilian version of the Montreal Cognitive Assessment. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2013;28:34–40. doi: 10.1002/gps.3787.

Miyazaki K. Absolute pitch identification: effects of timbre and pitch region. *Music Percept*. 1989;7:1–14. doi: 10.2307/40285445.

Miyazaki K. Perception of musical intervals by absolute pitch possessors. *Music Percept*. 1992;9:413–26. doi: 10.2307/40285562.

Miyazaki K. Absolute pitch as an inability: identification of musical intervals in a tonal context. *Music Percept*. 1993;11:55–71. doi: 10.2307/40285599.

Miyazaki K, Rakowski A, Makomaska S, Jiang C, Tsuzaki M, Oxenham AJ, Ellis G, Lipscomb SD. Absolute pitch and relative pitch in music students in the East and the West. *Music Percept*. 2018;36:135–55. doi: 10.1525/mp.2018.36.2.135.

Miyazaki K. How well do we understand absolute pitch?. *Acoust Sci Technol*. 2004;25:426–32. doi: 10.1250/ast.25.426.

Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, Alonso J, Stratford PW, Knol DL, Bouter LM, de Vet HC. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy,

terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *J Clin Epidemiol.* 2010;63:737–45. doi: 10.1016/j.jclinepi.2010.02.006.

Moore BCJ. 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. doi: 10.1007/s10162-008-0143-x.

Moore DR. Guest editorial: auditory processing disorder. *Ear Hear.* 2018;39:617–20. doi: 10.1097/AUD.0000000000000582.

Murphy CFB, Rabelo CM, Silagi ML, Mansur LL, Bamiou DE, Schochat E. Auditory processing performance of the middle-aged and elderly: auditory or cognitive decline?. *J Am Acad Audiol.* 2018;29:005–14. doi: 10.3766/jaaa.15098.

Murphy CFB, Rabelo CM, Silagi ML, Mansur LL, Schochat E. Impact of educational level on performance on auditory processing tests. *Front Neurosci.* 2016;10. doi: 10.3389/fnins.2016.00097.

Murphy CFB, Zachi EC, Roque DT, Ventura DSF, Schochat E. Influence of memory, attention, IQ and age on auditory temporal processing tests: preliminary study. *Codas.* 2014;26:105–11. doi: 10.1590/2317-1782/2014494IN.

Musiek FE. Frequency (pitch) and duration pattern tests. *J Am Acad Audiol.* 1994;5:265–8.

Musiek F. Updates in Gaps in Noise test. *Hear J.* 2020;73:34. doi: 10.1097/01.HJ.0000669884.68540.eb.

Musiek FE, Chermak GD. Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handb Clin Neurol.* 2015;129:313–32. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4.

Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamiou D-E, Baran JA, Zaida E. GIN (Gaps-in-Noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear.* 2005;26:608–18. doi: 10.1097/01.aud.0000188069.80699.41.

Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, Cummings JL, Chertkow H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53:695–9. doi: 10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x.

Neijenhuis K, Campbell NG, Cromb M, Luinge MR, Moore DR, Rosen S, de Wit E. An evidence-based perspective on “misconceptions” regarding pediatric auditory processing disorder. *Front Neurol.* 2019;10:1–4. doi: 10.3389/fneur.2019.00287.

Ngan VSH, Cheung LYT, Ng HTY, Yip KHM, Wong YK, Wong AC-N. An early perceptual locus of absolute pitch. *Psychophysiology.* 2023;60:1–19. doi: 10.1111/psyp.14170.

Nickisch A, Kiese-Himmel C, Wiesner T, Schönweiler R. [Guideline: auditory processing and perception disorders: differential diagnosis: S1 guideline of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology]. *HNO*. 2019;67:576–83. doi: 10.1007/s00106-019-0645-3.

Oechslin MS, Meyer M, Jancke L. Absolute pitch--functional evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cereb Cortex*. 2010;20:447–55. doi: 10.1093/cercor/bhp113.

Ouda L, Profant O, Syka J. Age-related changes in the central auditory system. *Cell Tissue Res*. 2015;361:337–58. doi: 10.1007/s00441-014-2107-2.

Oxenham AJ. Pitch perception. *J Neurosci*. 2012;32:13335–8. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3815-12.2012.

Parra VM, Lório MCM, Mizahi MM, Baraldi G dos S. Testes de padrão de frequência e de duração em idosos com sensibilidade auditiva normal. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2004;70:517–23. doi: 10.1590/S0034-72992004000400013.

Perez AP, Pereira LD. The Gap in Noise test in 11 and 12-year-old children. *Pro Fono*. 2010;22:7–12.

Power M, Fell G, Wright M. Principles for high-quality, high-value testing. *Evid Based Med*. 2013;18:5–10. doi: 10.1136/eb-2012-100645.

Ptok M, Kiese-Himmel C, Nickisch A. [Guideline: auditive processing and perception disorders: definition: guideline of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology]. *HNO*. 2019;67:8–14. doi: 10.1007/s00106-018-0598-y.

Rauschecker JP. Auditory and visual cortex of primates: a comparison of two sensory systems. *Eur J Neurosci*. 2015;41:579–85. doi: 10.1111/ejn.12844.

Rauschecker JP, Tian B. Mechanisms and streams for processing of “what” and “where” in auditory cortex. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2000;97:11800–6. doi: 10.1073/pnas.97.22.11800.

Reber R, Schwarz N, Winkielman P. Processing fluency and aesthetic pleasure: is beauty in the perceiver’s processing experience? *Pers Soc Psychol Rev*. 2004;8:364–82. doi: 10.1207/s15327957pspr0804_3.

Reis KS, Heald SLM, Veillette JP, Van Hedger SC, Nusbaum HC. Individual differences in human frequency-following response predict pitch labeling ability. *Sci Rep*. 2021;11:14290. doi: 10.1038/s41598-021-93312-7.

Ribeiro ACM, Scharlach RC, Pinheiro MMC. Assessment of temporal aspects in popular singers. *Codas*. 2015;27:520–5. doi: 10.1590/2317-1782/20152014234.

Riccio CA, Cohen MJ, Garrison T, Smith B. Auditory processing measures: correlation with neuropsychological measures of attention, memory, and behavior. *Child Neuropsychol*. 2005;11:363–72. doi: 10.1080/09297040490916956.

Rishiq DA, Harkrider AW, Hedrick MS. Acceptable noise level and psychophysical masking. *Am J Audiol*. 2012;21:199–205. doi: 10.1044/1059-0889(2012/11-0021).

Rocha-Muniz CN, Zalcmán TE, Alonso R, Rabelo CM, Neves-Lobo IF, Filippini R, Schochat E. Avaliação das funções cognitivas em idosos com e sem alterações no processamento auditivo central. *Codas*. 2023;35:e20220185. doi: 10.1590/2317-1782/20232022185pt.

Rogenmoser L, Elmer S, Jäncke L. Absolute pitch: evidence for early cognitive facilitation during passive listening as revealed by reduced P3a amplitudes. *J Cogn Neurosci*. 2015;27:623–37. doi: 10.1162/jocn_a_00708.

Rogenmoser L, Li HC, Jäncke L, Schlaug G. Auditory aversion in absolute pitch possessors. *Cortex*. 2021;135:285–97. doi: 10.1016/j.cortex.2020.11.020.

Romani M, Martucci M, Castellano Visaggi M, Prono F, Valente D, Sogos C. What if sharing music as a language is the key to meeting halfway? Absolute pitch, pitch discrimination and autism spectrum disorder. *Clin Ter*. 2021;172:577–90. doi: 10.7417/CT.2021.2381.

Rosnow RL, Rosenthal R. Effect sizes: why, when, and how to use them. *Z für Psychol / J Psychol*. 2009;217:6–14. doi: 10.1027/0044-3409.217.1.6.

Roth TN. Aging of the auditory system. *Handb Clin Neurol*. 2015;129:357–73. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00020-2.

Samelli AG, Schochat E. The Gaps-in-Noise test: gap detection thresholds in normal-hearing young adults. *Int J Audiol*. 2008;47:238–45. doi: 10.1080/14992020801908244.

Sarasso P, Ronga I, Kobau P, Bosso T, Artusio I, Ricci R, Neppi-Modona M. Beauty in mind: aesthetic appreciation correlates with perceptual facilitation and attentional amplification. *Neuropsychologia*. 2020;136:107282. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.107282.

Schochat E, Rabelo CM, Sanfins MD. Processamento auditivo central: testes tonais de padrão de frequência e de duração em indivíduos normais de 7 a 16 anos de idade. *Pro Fono*. 2000;12:1–7.

Schönweiler R, Kiese-Himmel C, Plotz K, Nickisch A, am Zehnhoff-Dinnesen A. [Guideline: auditory processing and perception disorders: proposal for treatment and management of APD: S1 guideline of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology]. *HNO*. 2020;68:598–612. doi: 10.1007/s00106-020-00825-0.

Schulze K, Mueller K, Koelsch S. Auditory stroop and absolute pitch: an fMRI study. *Hum Brain Mapp*. 2013;34:1579–90. doi: 10.1002/hbm.22010.

Sergeant D, Vraka M. Pitch perception and absolute pitch in advanced performers. In: Papageorgi I, Welch G, editors. *Advanced musical performance: investigations in higher education learning*. 1st ed. Burlington: Ashgate; 2014, p. 201–29.

Shinn JB. Temporal processing: the basics. *Hear J*. 2003;56:52. doi: 10.1097/01.HJ.0000292557.52409.67.

Siegel JA. Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *J Exp Psychol*. 1974;103:37–44. doi: 10.1037/h0036844.

Silva MR da, Dias KZ, Pereira LD. Estudo das habilidades auditivas de resolução temporal e figura-fundo em dançarinos. *Rev CEFAC*. 2015;17:1033–41. doi: 10.1590/1982-0216201517413514.

Sireci S, Benítez I. Evidence for test validation: a guide for practitioners. *Psicothema*. 2023;35:217–26. doi: 10.7334/psicothema2022.477.

Steblin R. Towards a history of absolute pitch cognition. *Coll Music Symp*. 1987;27:141–53.

Stewart ME, Griffiths TD, Grube M. Autistic traits and enhanced perceptual representation of pitch and time. *J Autism Dev Disord*. 2018;48:1350–8. doi: 10.1007/s10803-015-2517-3.

van Stralen KJ, Stel VS, Reitsma JB, Dekker FW, Zoccali C, Jager KJ. Diagnostic methods I: sensitivity, specificity, and other measures of accuracy. *Kidney Int*. 2009;75:1257–63. doi: 10.1038/ki.2009.92.

Stravinsky I. *Poetics of music in the form of six lessons*. Cambridge: Harvard University Press; 1947.

Takeuchi AH, Hulse SH. Absolute pitch. *Psychol Bull*. 1993;113:345–61. doi: 10.1037/0033-2909.113.2.345.

Tomlin D, Dillon H, Sharma M, Rance G. The impact of auditory processing and cognitive abilities in children. *Ear Hear*. 2015;36:527–42. doi: 10.1097/AUD.000000000000172.

Trevethan R. Sensitivity, specificity, and predictive values: foundations, pliabilitys, and pitfalls in research and practice. *Front Public Health*. 2017;5. doi: 10.3389/fpubh.2017.00307.

Turgeon C, Champoux F, Lepore F, Leclerc S, Ellemberg D. Auditory processing after sport-related concussions. *Ear Hear*. 2011;32:667–70. doi: 10.1097/AUD.0b013e31821209d6.

Unal I. Defining an optimal cut-point value in ROC analysis: an alternative approach. *Comput Math Methods Med*. 2017;2017:1–14. doi: 10.1155/2017/3762651.

Vanzella P, Schellenberg EG. Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PLoS One*. 2010;5:e15449. doi: 10.1371/journal.pone.0015449.

Veloso F, Feitosa MÂG. O ouvido absoluto: bases neurocognitivas e perspectivas. *Psico-USF*. 2013;18:357–62. doi: 10.1590/S1413-82712013000300002.

Vermiglio AJ. On the clinical entity in audiology: (central) auditory processing and speech recognition in noise disorders. *J Am Acad Audiol*. 2014;25:904–17. doi: 10.3766/jaaa.25.9.11.

Vuust P, Heggli OA, Friston KJ, Kringelbach ML. Music in the brain. *Nat Rev Neurosci*. 2022;23:287–305. doi: 10.1038/s41583-022-00578-5.

Weihing JA, Musiek FE, Shinn JB. The effect of presentation level on the Gaps-in-Noise (GIN©) test. *J Am Acad Audiol*. 2007;18:141–50. doi: 10.3766/jaaa.18.2.6.

Weihing J, Atcherson SR. Primer on clinical decision analysis. In: Musiek FE, Chermak GD, editors. *Handbook of central auditory processing disorder: auditory neuroscience and diagnosis*. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing; 2014, p. 325–45.

Wilson SJ, Lusher D, Wan CY, Dudgeon P, Reutens DC. The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cereb. Cortex*. 2009;19:724–32. doi: 10.1093/cercor/bhn121.

Wilson WJ. Evolving the concept of APD. *Int J Audiol*. 2018;57:240–8. doi: 10.1080/14992027.2017.1409438.

de Wit E, van Dijk P, Hanekamp S, Visser-Bochane MI, Steenbergen B, van der Schans CP, Luinge MR. Same or different: the overlap between children with auditory processing disorders and children with other developmental disorders: a systematic review. *Ear Hear*. 2018;39:1–19. doi: 10.1097/AUD.0000000000000479.

de Wit E, Visser-Bochane MI, Steenbergen B, van Dijk P, van der Schans CP, Luinge MR. Characteristics of auditory processing disorders: a systematic review. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 2016;59:384–413. doi: 10.1044/2015_JSLHR-H-15-0118.

Yost WA. Pitch perception. *Atten Percept Psychophys*. 2009;71:1701–15. doi: 10.3758/APP.71.8.1701.

Zatorre R. Music, the food of neuroscience?. *Nature*. 2005;434:312–5. doi: 10.1038/434312a.

Zatorre RJ. Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nat Neurosci*. 2003;6:692–5. doi: 10.1038/nn1085.

Zuo XN, Xu T, Milham MP. Harnessing reliability for neuroscience research. *Nat Hum Behav*. 2019;3:768–71. doi: 10.1038/s41562-019-0655-x.

ANEXOS

ANEXO A – Artigo publicado 1: Annex S1: Backward Masking Test answer sheet (utilizado também no Experimento 2 do artigo publicado 2)

AUDITORY TEMPORAL MASKING TEST (FILIPPINI, R)											
PRACTICE LIST			LIST 1			LIST 2					
FIRST	SECOND		EAR: _____			EAR: _____					
1	400	400	1	400	31	100	1	400	31	20	
2	400	200	2	100	32	20	2	100	32	--	
3	--	--	3	30	33	--	3	200	33	100	
4	400	100	4	50	34	10	4	--	34	50	
5	400	--	5	--	35	50	5	30	35	--	
6	--	400	6	0	36	30	6	50	36	0	
7	400	50	7	20	37	100	7	10	37	400	
8	400	100	8	--	38	30	8	100	38	30	
9	--	200	9	200	39	--	9	20	39	200	
10	400	--	10	10	40	0	10	--	40	10	
11	400	50	11	--	41	200	11	0	41	200	
12	--	100	12	30	42	--	12	400	42	20	
13	400	30	13	50	43	10	13	--	43	400	
14	400	200	14	0	44	20	14	30	44	--	
15	--	400	15	--	45	100	15	10	45	50	
			16	20	46	200	16	200	46	100	
			17	100	47	50	17	10	47	30	
			18	400	48	400	18	0	48	--	
			19	0	49	--	19	--	49	30	
			20	10	50	10	20	30	50	--	
			21	100	51	0	21	200	51	0	
			22	200	52	400	22	50	52	--	
			23	10	53	--	23	--	53	400	
			24	--	54	30	24	50	54	0	
			25	400	55	50	25	400	55	10	
			26	20	56	400	26	20	56	50	
			27	50	57	20	27	0	57	20	
			28	--	58	0	28	20	58	100	
			29	30	59	--	29	100	59	200	
			30	200	60	200	30	--	60	10	

NAME/ID		
DATE OF BIRTH	DATE OF ASSESSMENT	
OBS.:		

RESULTS					
LIST 1	400 - _____	/6	LIST 2	400 - _____	/6
TONE THRESHOLD:	_____	/6	TONE THRESHOLD:	_____	/6
TONE INTENSITY:	_____	/6	TONE INTENSITY:	_____	/6
MASK INTENSITY:	_____	/6	MASK INTENSITY:	_____	/6
	30 - _____	/6		30 - _____	/6
INTERVAL THRESHOLD		20 - _____	INTERVAL THRESHOLD		20 - _____
		/6			/6
		/6			/6
		/6			/6
		/6			/6

ANEXO B – Artigo publicado 2: Supplementary material: Table 1 / Table 2.

Table 1

ID	Round	Age	Gender	Group	GIN_GDP_GIN_GDP_	GIN_GDT_GIN_GDT_	GIN_GDP_GIN_GDT_	PIT_CRR	PIT_MAD	Years_Mus	OnsetAge_	GIN_GDP_	GIN_GDT_Mean			
21	1	19	1	2	86,66	81,67	3	4	84,17	3,50	7,00	12,00	84,17	3,50		
22	1	22	1	2	83,33	78,33	4	4	80,83	4,00	6,00	7,00	80,83	4,00		
24	1	19	0	2	78,33	76,67	4	4	77,50	4,00	7,00	12,00	77,50	4,00		
25	2	19	1	2	76,67	85,00	5	4	80,84	4,50	7,00	12,00	80,84	4,50		
26	2	19	1	2	75,00	80,00	5	4	77,50	4,50	10,00	10,00	77,50	4,50		
27	2	18	1	2	75,00	81,67	4	4	78,34	4,00	4,00	11,00	78,34	4,00		
28	2	19	0	2	65,00	78,33	6	4	71,67	5,00	10,00	9,00	71,67	5,00		
29	2	18	1	2	78,33	78,33	4	4	78,33	4,00	4,00	9,00	78,33	4,00		
30	2	20	0	2	78,33	81,67	4	4	80,00	4,00	8,00	12,00	80,00	4,00		
32	1	22	0	1	71,67	63,33	5	6	67,50	5,50	75,00	0,27	12,00	8,00	67,50	5,50
33	1	20	0	1	76,67	70,00	4	6	73,34	5,00	61,54	0,38	19,00	3,00	73,34	5,00
34	1	21	1	1	85,00	80,00	3	4	82,50	3,50	100,00	0,00	18,00	3,00	82,50	3,50
35	1	28	0	2	90,00	85,00	3	4	87,50	3,50		6,00	12,00	87,50	3,50	
36	2	23	0	1	80,00	85,00	4	3	82,50	3,50	100,00	0,00	17,00	6,00	82,50	3,50
38	2	22	1	1	83,33	86,67	4	3	85,00	3,50	92,31	0,08	10,00	12,00	85,00	3,50
40	2	24	1	1	78,33	80,00	4	4	79,17	4,00	90,38	0,10	8,00	13,00	79,17	4,00
41	2	21	0	1	80,00	81,67	4	4	80,84	4,00	100,00	0,00	17,00	4,00	80,84	4,00
42	2	28	1	1	78,33	83,33	4	4	80,83	4,00	69,23	0,33	15,00	13,00	80,83	4,00
44	1	25	1	1	80,00	81,67	4	4	80,84	4,00	73,08	0,27	13,00	12,00	80,84	4,00

Table 2

ID	Round	Gender	Age	OnsetAge_	Years_Mus	PIT_CRR	PIT_MAD	Group	BMTP_RE	BMTP_LE	BMTP_RE	BMTP_LE	BMTP_Avg	BMTP_Avg
11-01	1	0	25	5	20,00	97,22	0,04	1	78,33	81,67	20	20	80,00	20,00
12-02	2	0	24	4	20,00	97,22	0,03	1	73,33	83,33	30	30	78,33	30,00
11-03	1	1	26	13	9,00	95,83	0,04	1	98,33	98,33	0	0	98,33	0,00
12-04	2	1	24	13	11,00	100,00	0,00	1	88,33	86,67	10	10	87,50	10,00
11-05	1	0	27	6	21,00	98,61	0,03	1	90,00	95,00	10	0	92,50	5,00
12-06	2	1	23	6	12,00	91,67	0,25	1	81,67	85,00	20	10	83,33	15,00
22-02	2	1	29	13	16,00	70,83	0,86	1	81,67	80,00	20	20	80,83	20,00
21-09	1	1	29	6	23,00	56,94	0,71	1	83,33	90,00	30	20	86,67	25,00
21-03	1	0	25	10	15,00	29,17	1,57	2	100,00	96,67	0	0	98,33	0,00
22-04	2	1	24	9	10,00	18,06	2,50	2	65,00	78,33	50	20	71,67	35,00
21-05	1	1	22	14	8,00	15,28	2,58	2	98,33	96,67	0	0	97,50	0,00
22-06	2	0	21	9	12,00	19,44	2,89	2	93,33	98,33	10	0	95,83	5,00
21-07	1	0	24	14	10,00	23,61	1,54	2	100,00	95,00	0	0	97,50	0,00
22-10	2	1	30	9	17,00	13,89	2,99	2	81,67	93,33	30	10	87,50	20,00
21-11	1	1	28	7	21,00	16,67	2,53	2	100,00	98,33	0	0	99,17	0,00

Round 1 - Right Ear (RE) First
2 - Left Ear (LE) First

Gender 0 - Female
1 - Male

Group 1 - AP
2 - Non-AP

ANEXO C – Artigo publicado 1: aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa

FACULDADE DE MEDICINA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO - FMUSP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de teste para avaliação do Mascaramento Temporal Auditivo

Pesquisador: Eliane Schochat

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 09806912.2.0000.0065

Instituição Proponente: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.734.390

Apresentação do Projeto:

Trata-se de projeto de pós-doutorado de Renata Filipini, a ser desenvolvido no Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, em parceria com o Hospital Universitário da USP e com o Laboratório de Neuroaudiologia da Universidade de Connecticut. Os pesquisadores propõem a criação de teste para avaliação de mascaramento temporal auditivo e justificam a relevância clínica. O processamento temporal é considerado chave para a percepção dos sons da fala e pode estar relacionado ao desenvolvimento da linguagem, da fala e da leitura, porém não existem testes clínicos normatizados para avaliá-lo.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo primário: desenvolver teste para avaliação do mascaramento auditivo temporal, com bons índices de sensibilidade e especificidade. Objetivo secundário: normatizar o teste em adultos sem queixa auditiva.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os pesquisadores indicaram riscos mínimos, como cansaço pela duração da avaliação e benefícios como avaliação abrangente da audição. Os autores comprometeram-se ainda a estender os resultados aos potenciais beneficiários.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O estudo foi planejado em fases e é exequível, pois conta com recursos humanos e materiais do

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

FACULDADE DE MEDICINA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO - FMUSP



Continuação do Parecer: 1.734.390

Laboratório em que será desenvolvido. A primeira fase do estudo prevê o desenvolvimento e aplicação do teste em indivíduos sadios, para obtenção de notas de corte. Na segunda fase, serão estudados indivíduos com alterações neurológicas, para obtenção de índices de sensibilidade e especificidade.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os pesquisadores apresentaram os termos obrigatórios. O TCLE será o mesmo utilizado em projeto de 2012. Vale ressaltar que constam no mesmo as cláusulas obrigatórias indicadas na resolução 466/12.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto cumpre requisitos para aprovação.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_769615 E1.pdf	26/08/2016 10:44:16		Aceito
Outros	Anuencia_CPesq_Schochat.pdf	26/08/2016 10:42:03	Eliane Schochat	Aceito
Cronograma	Cronograma_Schochat.pdf	26/08/2016 10:40:54	Eliane Schochat	Aceito
Outros	cadastrover2016_schochat.pdf	26/08/2016 10:30:41	Eliane Schochat	Aceito
Orçamento	Orcamento_Schochat.pdf	26/08/2016 10:29:33	Eliane Schochat	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Decl_Benef_Schochat.pdf	26/08/2016 10:23:49	Eliane Schochat	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Decl_Comp_Schochat.pdf	26/08/2016 10:20:57	Eliane Schochat	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Decl_Infra_Schochat.pdf	26/08/2016 10:18:24	Eliane Schochat	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto cappesq.pdf	18/03/2013 16:19:23		Aceito
Outros	Anexo II assinado.pdf	08/11/2012 16:41:28		Aceito

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

FACULDADE DE MEDICINA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO - FMUSP



Continuação do Parecer: 1.734.390

Folha de Rosto	folha de rosto plataforma brasil.pdf	31/10/2012 13:50:43		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	termodeconsent.doc	25/10/2012 08:56:32		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 19 de Setembro de 2016

Assinado por:

Maria Aparecida Azevedo Koike Folgueira
(Coordenador)

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de teste para avaliação do Mascaramento Temporal Auditivo

Pesquisador: Eliane Schochat

Área Temática:

Versão: 5

CAAE: 09806912.2.0000.0065

Instituição Proponente: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.912.849

Apresentação do Projeto:

Esse projeto foi analisado e aprovado pelo CEP-FMUSP em 14/09/2016 (parecer n.1.724.572). Trata-se de projeto com finalidade acadêmica - pós-doutorado.

O coordenador solicita a inserção de informação sobre parceria com o Ambulatório de atendimento a pacientes epiléticos (Prof. Dr. Luiz Henrique Martins de Castro e Dr Lecio Figueira Pinto). A versão anterior indicava a parceria com o Hospital Universitário da USP.

Os pesquisadores propõem a criação de teste para avaliação de mascaramento temporal auditivo e justificam a relevância clínica.

Objetivo da Pesquisa:

Foram mantidos os objetivos do estudo anteriormente aprovado: desenvolver ferramenta clínica para a avaliação do mascaramento temporal auditivo, aplicável em serviços clínicos de audiologia e em pesquisa. Validar e normatizar a ferramenta em adultos sem queixas auditivas.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos mínimos, como cansaço, em razão da duração da avaliação (cerca de 1 hora e meia).

Benefícios: Os sujeitos terão a audição avaliada em seus aspectos periféricos e centrais.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se do projeto já aprovado, no qual foi inserida a casuística de pacientes portadores de

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP



Continuação do Parecer: 1.912.849

epilepsia do lobo temporal, em acompanhamento no Hospital das Clínicas da FMUSP.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos obrigatórios já haviam sido aprovados.

Foi anexada a aprovação do Departamento de Neurologia da FMUSP.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há obstáculos à aprovação da emenda.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_844499_E2.pdf	19/12/2016 12:09:14		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	19/12/2016 12:00:38	Eliane Schochat	Aceito
Outros	elianeschochataprovacaodepto0001.pdf	19/12/2016 11:52:49	Eliane Schochat	Aceito
Outros	Anexo II assinado.pdf	08/11/2012 16:41:28		Aceito
Folha de Rosto	folha de rosto plataforma brasil.pdf	31/10/2012 13:50:43		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	termodeconsent.doc	25/10/2012 08:56:32		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep_fm@usp.br

USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP



Continuação do Parecer: 1.912.849

SAO PAULO, 07 de Fevereiro de 2017

Assinado por:
Maria Aparecida Azevedo Koike Folgueira
(Coordenador)

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

ANEXO D – Artigo publicado 2: aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (Experimento 1)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SÃO PAULO - UNIFESP/
HOSPITAL SÃO PAULO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Teste Gaps-In-Noise: eficiência da aplicação reduzida em ouvintes com e sem educação musical

Pesquisador: LILIANE DESGUALDO PEREIRA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 32197914.6.0000.5505

Instituição Proponente: Universidade Federal de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 733.116

Data da Relatoria: 30/07/2014

Apresentação do Projeto:

Conforme parecer do CEP. 691.486 de 18/6/2014

Objetivo da Pesquisa:

Conforme parecer do CEP. 691.486 de 18/6/2014

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme parecer do CEP. 691.486 de 18/6/2014

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Conforme parecer do CEP. 691.486 de 18/6/2014

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Trata-se de resposta de pendencia apontada no parecer inicial

Recomendações:

não existem recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Pendências apontadas no parecer inicial:

1 -Em relação ao TCLE:

Endereço: Rua Botucatu, 572 1º Andar Conj. 14

Bairro: VILA CLEMENTINO

CEP: 04.023-061

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)5539-7162

Fax: (11)5571-1062

E-mail: cepunifesp@unifesp.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SÃO PAULO - UNIFESP/
HOSPITAL SÃO PAULO



Continuação do Parecer: 733.116

a) o TCLE não deve ser considerado como sendo um anexo. Será necessário retirar essa palavra (parte inicial do TCLE).

b) o TCLE deve ser escrito de forma bastante clara, com termos de fácil entendimento para leigos. Embora esteja simples, não foi explicado o que é “resolução temporal”

c) o correto é que no TCLE esteja informado que o mesmo está sendo elaborado em duas vias de igual importância, ambas assinadas. E não em uma via e uma cópia. Dessa forma, deve ser incluída uma frase indicando que está sendo feita em duas vias e que uma das vias ficará com o pesquisador e a outra, com o participante. E a frase final (antes das assinaturas) “...Declaro ter recebido uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, deve ter a palavra “cópia” alterada para “via”.

resposta: os questionários foram apresentados e nova versão do TCLE reformulado conforme orientação deste comitê anexada na PB. - PENDENCIAS ATENDIDAS.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O CEP informa que a partir desta data de aprovação, é necessário o envio de relatórios parciais (anualmente), e o relatório final, quando do término do estudo.

SAO PAULO, 30 de Julho de 2014

Assinado por:
Leonor do Espírito Santo de Almeida Pinto
(Coordenador)

Endereço: Rua Botucatu, 572 1º Andar Conj. 14

Bairro: VILA CLEMENTINO

CEP: 04.023-061

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)5539-7162

Fax: (11)5571-1062

E-mail: cepunifesp@unifesp.br

ANEXO E – Artigo publicado 2: aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (Experimento 2)

USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

Pesquisador: Eliane Schochat

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 89992918.0.0000.0065

Instituição Proponente: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.807.397

Apresentação do Projeto:

Este projeto baseia-se em que o ouvido absoluto, isto é, a capacidade de nomear notas musicais sem uso de referência externa, ainda seja um fenômeno pouco compreendido pela comunidade científica. No entanto, diversas pesquisas demonstram que o ouvido absoluto está relacionado ao processamento temporal e espectral no sistema nervoso auditivo central, que podem ser avaliados tanto do ponto de vista comportamental

quanto do ponto de vista eletrofisiológico. Sendo assim, a hipótese deste estudo é de que músicos com ouvido absoluto apresentarão diferenças significativas nos processamentos temporal e espectral mensuradas por métodos comportamentais e eletrofisiológicos.

Objetivo da Pesquisa:

Investigar os correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral em músicos com ouvido absoluto. I) Comparar músicos com ouvido absoluto, músicos sem ouvido absoluto e não músicos em relação ao desempenho no teste de mascaramento temporal sucessor; II) Comparar músicos com ouvido absoluto, músicos sem ouvido absoluto e não músicos em relação aos parâmetros obtidos no registro do Frequency-Following Response; III) Verificar a existência de correlação entre o desempenho no teste de ouvido absoluto e no teste de mascaramento temporal sucessor; IV) Verificar a existência de correlação entre o desempenho no teste de ouvido absoluto e os parâmetros obtidos no registro do Frequency-Following Response.

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

**USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP**



Continuação do Parecer: 2.807.397

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

A avaliação oferece risco mínimo à saúde do indivíduo avaliado. Alguns dos testes aplicados podem trazer algum desconforto: a imitancimetria provocará a sensação de ouvido tapado, além de usar um tom de alta intensidade na pesquisa dos reflexos acústicos. À avaliação eletrofisiológica, algum desconforto poderá ser sentido na colocação dos eletrodos. O tempo despendido na avaliação também pode ser listado como possível desconforto.

Não há benefícios diretos aos participantes desta pesquisa. No entanto, o ouvido absoluto é uma habilidade ainda pouco compreendida no meio musical, apesar de ser vista como vantajosa para a prática musical profissional e amadora. Com a melhor compreensão do ouvido absoluto, espera-se que, no futuro, as informações obtidas neste estudo auxiliem na identificação de fatores responsáveis pelas causas do ouvido absoluto e de processos neurobiológicos responsáveis por este fenômeno, auxiliando indivíduos portadores desta habilidade a compreenderem melhor seu próprio sistema auditivo e auxiliando professores e estudantes de música na utilização vantajosa desta habilidade para a sua prática.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Estudo pode trazer benefícios futuros na compreensão da fisiologia do ouvido absoluto inclusive para aplicação no ensino de música.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Adequados

Recomendações:

Recomendo retirar do texto do TCLE o frase com destaque amarelo que diz: Itens que devem constar no TCLE segundo a Resolução 466/2012, com exemplos.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto de relevância e com documentação adequada.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1137657.pdf	21/05/2018 08:19:45		Aceito
Outros	cep_fmusp.pdf	21/05/2018 08:19:09	Eliane Schochat	Aceito

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

USP - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - FMUSP



Continuação do Parecer: 2.807.397

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.docx	18/05/2018 02:00:37	Eliane Schochat	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	cep_125_modelo_tcle_2017a.docx	18/05/2018 02:00:12	Eliane Schochat	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	18/05/2018 01:59:51	Eliane Schochat	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 08 de Agosto de 2018

Assinado por:

Maria Aparecida Azevedo Koike Folgueira
(Coordenador)

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36

Bairro: PACAEMBU

CEP: 01.246-903

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3893-4401

E-mail: cep.fm@usp.br

ANEXO F – Artigo publicado 1: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO****DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA**

1. NOME :

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M () F () Ž

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONES:

2. RESPONSÁVEL LEGAL:

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador, etc.):

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M () F () Ž

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONES:

DADOS SOBRE A PESQUISATÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: *Desenvolvimento de teste para avaliação do Mascaramento temporal auditivo.*PESQUISADOR : *Eliane Schochat*Cargo/Função: **Professor Associado Doutor** Inscrição Conselho Regional Nº 2937 (CRFa/SP)Unidade do HCFMUSP: **Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da FMUSP**

AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:	RISCO MÍNIMO	(x)	RISCO MÉDIO	()
	RISCO BAIXO	()	RISCO MAIOR	()

DURAÇÃO DA PESQUISA : **24 meses**

As informações abaixo serão fornecidas para esclarecer sua participação voluntária neste estudo, que busca desenvolver um teste para avaliação do mascaramento auditivo, que acontece quando um som abafa (ou seja, mascara) o som anterior ou o seguinte, dificultando o entendimento de todos os sons apresentados. De forma geral, nosso sistema auditivo é capaz de resolver as dificuldades causadas por este abafamento, mas algumas pessoas tem alterações que as impedem de entender a informação auditiva como um todo, pois não conseguem ouvir aqueles sons que foram abafados, tendo dificuldades para se comunicar e, na infância, para desenvolver a fala e a linguagem. O teste desenvolvido neste estudo terá o objetivo de identificar se a pessoa testada consegue perceber os sons que foram mascarados como uma pessoa sem dificuldades conseguiria.

Todos os indivíduos participantes do estudo passarão por avaliação auditiva composta de **audiometria** (a pessoa deve avisar sempre que escutar um apito nos fones de ouvido, para medirmos quais os sons mais baixos que ela ouve), **imitanciométrie** (um equipamento colocado na orelha mede o funcionamento da audição sem que a pessoa testada precise responder), e **avaliação do processamento auditivo** (verifica se existem alterações na forma como a pessoa entende aquilo que ouve). Além destes, os indivíduos passarão pela aplicação do **teste para avaliação do mascaramento temporal auditivo** (explicado acima), que será realizado dentro de cabine acústica com fones de ouvido. O indivíduo deverá responder se ouviu um ou dois sons.

A realização de todos estes exames deverá demorar em média uma hora e meia, e serão aplicados em apenas um dia, no Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo do Curso de Fonoaudiologia da FMUSP na Cidade Universitária, onde estaremos a disposição para tirar dúvidas com relação ao estudo e aos procedimentos, e mantê-lo atualizado sobre os resultados parciais das pesquisas ou de resultados que sejam do conhecimento dos pesquisadores.

Desconfortos mínimos como calor e cansaço podem ser esperados, por conta do tempo passado dentro da cabine acústica, porém, como benefício pessoal, os indivíduos participantes terão sua audição avaliada de forma completa.

Comprometemo-nos a usar os dados coletados somente para este estudo e garantimos que serão analisados em conjunto com outros pacientes, não sendo divulgada a identificação de nenhum participante. Fica garantido também o direito de se retirar da pesquisa a qualquer momento, sem que isto atrapalhe algum acompanhamento fonoaudiológico anterior ou futuro em nosso serviço. No caso de desistência, os dados já coletados serão guardados no prontuário do indivíduo e não disponibilizados para o estudo.

Não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa. Caso seja necessário, disponibilizamos assistência fonoaudiológica no Centro de Docência e Pesquisa em Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da FMUSP.

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) – Rua Ovídio Pires de Campos, 225 – 5º andar – tel: 3069-6442 ramais 16, 17, 18 ou 20, FAX: 3069-6442 ramal 26 – E-mail: cappesq@hcnet.usp.br

Pesquisadora responsável: Profa. Dra. Eliane Schochat – Rua Cipotânia, 51 – Cidade universitária – Tel: 3091-7453
Pesquisadora executane: Fga. Renata Filippini – Rua Diana, 183/apto 21 – Perdizes – Tel: 99168-4306

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo "Desenvolvimento de teste para avaliação do Mascaramento temporal auditivo".

Eu discuti com a Profa. Dra. Eliane Schochat sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar quando necessário.

Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

Data ____ / ____ / ____

Assinatura do sujeito

Data ____ / ____ / ____

Assinatura da testemunha

(para casos de pacientes menores de 18 anos, analfabetos, semi-analfabetos ou portadores de deficiência auditiva ou visual.)

(Somente para o responsável do projeto)

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

Data ____ / ____ / ____

Assinatura da testemunha

ANEXO G – Artigo publicado 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Experimento 1)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: “Teste *Gaps-In-Noise*: eficiência da aplicação reduzida em ouvintes com e sem educação musical”

Você está sendo convidado (a) a participar deste projeto, que tem como objetivo verificar a eficiência da aplicação reduzida do teste *Gaps-In-Noise*, que avalia a habilidade auditiva de discriminação de silêncio no meio de um ruído, denominada resolução temporal, e o desempenho de músicos com e sem ouvido absoluto em tarefas de resolução temporal em comparação com não músicos.

Não há quaisquer riscos para os indivíduos que se voluntariarem a participar da amostra da pesquisa, considerando que todos os procedimentos aos quais serão submetidos não são invasivos nem lhes apresentam risco de dano à saúde. O desconforto desta avaliação é mínimo.

Você deverá responder a questionários referentes à sua história de vida quanto a experiência com a música e ao comportamento auditivo cotidiano principalmente na comunicação.

Será realizada uma meatoscopia, isto é, uma inspeção das condições das suas orelhas através de um equipamento chamado otoscópio, que será introduzido em seu canal auditivo para verificar se há possibilidade de realizar os testes auditivos.

Serão realizados testes auditivos para verificar o quão baixinho você escuta os sons, isto é, seu limiar de audibilidade; e também o quanto você reconhece sons da fala, isto é, seu índice de reconhecimento de fala. Para detectar o limiar de audibilidade você deverá levantar sua mão toda vez que ouvir um estímulo sonoro. Para verificar o índice de reconhecimento de fala você deverá repetir as palavras que ouvir. Você realizará outro teste em que ouvirá sons gravados e deverá identificar qual a nota musical, isto é, falar se ouviu a nota [dó], [ré], [mi], [fá], [sol], [lá] ou [si].

Por fim, você realizará testes para avaliação das habilidades auditivas. Num deles, você ouvirá estímulos sonoros do tipo fala e instrumentos musicais, e deverá realizar tarefas como: repetir os sons verbais na ordem ouvida, repetir os sons não verbais na ordem ouvida e localizar a fonte ou origem espacial de um estímulo sonoro. Na avaliação da habilidade de fechamento auditivo, você ouvirá estímulos de fala distorcidos e deverá adivinhar o que ouviu repetindo a palavra. Na avaliação da resolução temporal, isto é, discriminação de silêncio no meio de um ruído, teste

denominado *Gaps-In-Noise*, você ouvirá um chiado e quando este som parar você deve levantar a mão.

Apesar de esta pesquisa não lhe trazer benefícios diretos, você estará indiretamente contribuindo para elucidação de questões referentes à prática musical, ao ouvido absoluto e ao processamento auditivo e, dessa forma, contribuindo para o aumento de conhecimento na área.

A participação neste estudo é voluntária e você tem total liberdade para decidir não participar ou desistir de continuar em qualquer etapa do trabalho. Esta decisão não trará quaisquer consequências para eventuais tratamentos que você venha a realizar neste serviço de saúde.

Na publicação dos resultados desta pesquisa, serão retiradas quaisquer informações que possam identificá-lo(a). Dessa forma, sua identidade permanecerá em total sigilo em todas as etapas do estudo.

Este termo de consentimento livre e esclarecido esta sendo elaborado em duas vias de igual importância. Ambas devem ser assinadas pelo participante e pelo pesquisador.

Em qualquer etapa do projeto, você terá acesso aos responsáveis pela pesquisa e poderá esclarecer eventuais dúvidas. Estas poderão ser esclarecidas pelo aluno Carlos Alberto Leite Filho no telefone (11)98293-3501 ou por sua orientadora, Prof.^a Livre-Docente Liliâne Desgualdo Pereira. Quaisquer considerações ou dúvidas referentes à ética do projeto podem ser esclarecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNIFESP que pode ser contatado pelo endereço Rua Botucatu, 572 – 1º Andar – cj. 14; tel. 5571-1062; Fax: 5539-7162; e-mail: cepunifesp@unifesp.br.

Acredito ter sido suficientemente informado(a) a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim referentes a estudo que tem como objetivo “avaliar a eficiência da aplicação reduzida do teste *Gaps-In-Noise* em ouvintes com e sem educação musical”. Estou ciente dos propósitos do estudo, dos procedimentos a serem realizados e dos possíveis desconfortos e riscos. Entendo que minha participação é isenta de despesas e voluntária.

Concordo em participar desse estudo ciente de que poderei retirar meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades ou prejuízos ou perda de

qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste serviço. Autorizo a utilização dos resultados para fins científicos com garantia de sigilo. Declaro ter recebido uma via assinada deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que a outra via assinada ficará com o pesquisador.

_____ / / _____
Assinatura do(a) participante Data

_____ / / _____
Assinatura da testemunha Data

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o consentimento Livre e Esclarecido deste paciente para a participação neste estudo.

_____ / / _____
Assinatura do aluno Data

_____ / / _____
Assinatura da Docente orientadora Data

ANEXO H – Artigo publicado 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Experimento 2)

Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

(TCLE versão 1/ 16 de maio de 2018)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME:
- DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO: .M F
- DATA NASCIMENTO:/...../.....
- ENDEREÇO Nº APTO:
- BAIRRO: CIDADE
- CEP:..... TELEFONE: DDD (.....)
2. RESPONSÁVEL LEGAL
- NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)
- DOCUMENTO DE IDENTIDADE :SEXO: M F
- DATA NASCIMENTO:/...../.....
- ENDEREÇO: Nº APTO:
- BAIRRO: CIDADE:
- CEP: TELEFONE: DDD (.....)

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

PESQUISADOR : Carlos Alberto Leite Filho

CARGO/FUNÇÃO: fonoaudiólogo INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº: CRFa 2 - 20079

UNIDADE DO HCFMUSP: “Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo” / Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional

2. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

RISCO MÍNIMO	x	RISCO MÉDIO	<input type="checkbox"/>
RISCO BAIXO	<input type="checkbox"/>	RISCO MAIOR	<input type="checkbox"/>

3. DURAÇÃO DA PESQUISA : 12 meses

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

4 – Apresentação:

Convidamos o(a) senhor(a) a participar de uma pesquisa científica. Pesquisa é um conjunto de procedimentos que procura criar ou aumentar o conhecimento sobre um assunto. Estas descobertas embora frequentemente não tragam benefícios diretos ao participante da pesquisa, podem no futuro ser úteis para muitas pessoas.

Para decidir se aceita ou não participar desta pesquisa, o(a) senhor(a) precisa entender o suficiente sobre os riscos e benefícios, para que possa fazer um julgamento consciente. Inicialmente explicaremos as razões da pesquisa. A seguir, forneceremos um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), documento que contém informações sobre a pesquisa, para que leia e discuta com familiares e ou outras pessoas de sua confiança. Uma vez compreendido o objetivo da pesquisa e havendo seu interesse em participar, será solicitada a sua rubrica em todas as páginas do TCLE e sua assinatura na última página. Uma via assinada deste termo deverá ser retida pelo senhor(a) ou por seu representante legal e uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável.

5A) Justificativa, objetivos e procedimentos:

Ainda hoje não se sabe exatamente como e por quê um pequeno grupo de pessoas que estuda música é capaz de ouvir uma nota musical e dizer seu nome em seguida, habilidade chamada de ouvido absoluto. É possível que o ouvido absoluto esteja relacionado à forma como o cérebro processa o som, ou seja, como a orelha conversa com o cérebro. Esse estudo tem como objetivo investigar se há relação entre o processamento auditivo e o ouvido absoluto.

Se aceitar participar desta pesquisa, o(a) senhor(a) será submetido(a) aos seguintes procedimentos:

- Anamnese audiológica: muitas informações referentes ao seu desenvolvimento e à sua história médica podem influenciar o processamento auditivo. Faremos perguntas para conhecermos melhor essas informações e poderemos entender os resultados dos seus exames
- Avaliação audiológica básica: Só farão parte desta pesquisa pessoas com audição periférica normal. Por isso, todas as pessoas que se voluntariarem a participar passarão por testes iniciais para que tenhamos certeza de que elas não apresentam nenhum problema auditivo. Esses testes são: meatoscopia (exame da orelha com uma lanterna para sabermos se há cera), imitanciometria (colocação de um pequeno tubo na orelha do participante para examinar o tímpano e emissão de um som para pesquisar o reflexo

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

(TCLE versão 1/ 16 de maio de 2018)

acústico), audiometria tonal liminar e logaudiometria (o participante entrará em uma cabina, colocará um fone de ouvido e responderá se ouve ou não o som que sai dos fones).

- Avaliação musical: para sabermos se o(a) senhor(a) possui ouvido absoluto, precisaremos perguntar algumas informações referentes à sua experiência com música. Se o(a) senhor(a) já tiver estudado música e tiver familiaridade com os nomes das notas musicais, será feito um teste no qual o(a) senhor(a) ouvirá sons de piano e deverá indicar qual foi a nota ouvida.
- Testes de processamento auditivo: para avaliarmos o seu processamento auditivo, o(a) senhor(a) deverá realizar três testes auditivos numa cabina com fone de ouvido: Teste de Fala Comprimida – o(a) senhor(a) escutará uma voz que fala rápido e deverá repetir as palavras escutadas da forma como entendê-las; etapa de integração binaural do Teste Dicótico de Dígitos – o(a) senhor(a) escutará quatro números e deverá repetir todos os números que lembrar; Teste de mascaramento temporal sucessor – o(a) senhor(a) escutará um apito seguido de um chiado e deverá apertar um botão toda vez que perceber a presença do apito.
- Testes eletrofisiológicos da audição: estes testes medem o funcionamento do cérebro em relação ao processamento auditivo. Para fazer estes testes, serão colocados três eletrodos (um na testa e um em cada orelha) e as regiões nas quais os eletrodos são colocados serão limpas com pasta abrasiva. Durante a realização destes testes, o(a) senhor(a) ficará sentado(a) em uma poltrona confortável e não precisará falar ou fazer nada, pois o aparelho mede a resposta das orelhas sozinho. No primeiro teste, chamado potencial evocado auditivo de tronco encefálico (PEATE), o(a) senhor(a) ouvirá um som parecido com o apito várias vezes. No segundo teste, chamado *Frequency-Following Response* (FFR), o(a) senhor(a) ouvirá a sílaba “da” repetida várias vezes.

5B) Desconfortos, riscos e benefícios

A avaliação proposta não oferece nenhum risco à sua saúde. Contudo, alguns dos testes aplicados podem trazer algum desconforto: o(a) senhor(a) terá sensação de ouvido tapado e ouvirá um som muito alto durante a imitanciométrica, poderá sentir algum desconforto na colocação dos eletrodos para realização dos testes eletrofisiológicos e no tempo gasto para essa avaliação.

Não há benefício direto para o(a) senhor(a). Estudos científicos baseiam-se na análise de grande número de amostras, sendo impossível estimar o benefício individual de cada pessoa incluído no estudo. Pode ser que os resultados deste estudo tragam um benefício para uma parcela de pessoas no futuro. Estes resultados podem levar muitos anos para serem

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

(TCLE versão 1/ 16 de maio de 2018)

alcançados, por isso qualquer benefício proveniente desse estudo, caso haja, será apenas em longo prazo.

5C) Forma de acompanhamento e assistência

EX:

O(A) senhor(a) será acompanhado pela equipe médica do hospital durante o estudo e após o término do mesmo.

Em qualquer etapa do estudo, o(a) senhor(a) terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa. A investigadora principal é **Eliane Schochat**, que pode ser encontrada na **Rua Cipotânea, 51 – Cidade Universitária – São Paulo, SP**, Telefone (11) **3091-8410**, horário de atendimento das **8h às 17h**. O investigador executante é **Carlos Alberto Leite Filho** que pode ser encontrado na **Rua Cipotânea, 51 – Cidade Universitária – São Paulo, SP**, Telefone (11) **3091-8410**, horário de atendimento das **8h às 17h**. Outra investigadora envolvida é **Caroline Nunes Rocha-Muniz**, que pode ser encontrada na **Rua Cipotânea, 51 – Cidade Universitária – São Paulo, SP**, Telefone (11) **3091-8410**, horário de atendimento das **8h às 17h**.

Se apresentar qualquer evento adverso, entre em contato com os investigadores ou ligue para **Telefone 24 horas: (11) 98073-8826**.

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (**CEP-FMUSP**): Av. Dr. Arnaldo, 251 - Cerqueira César - São Paulo - SP -21º andar – sala 36- CEP: 01246-000, horário de atendimento: 8:00-17:00h; Tel: (11) 3893-4401/4407 E-mail: cep.fm@usp.br

5D) Liberdade de recusar-se e retirar-se do estudo

A escolha de entrar ou não nesse estudo é inteiramente sua. Caso o(a) senhor(a) se recuse a participar deste estudo, o(a) senhor(a) receberá o tratamento habitual, sem qualquer tipo de prejuízo ou represália. O(A) senhor(a) também tem o direito de retirar-se deste estudo a qualquer momento e, se isso acontecer, seu médico continuará a tratá-lo(a) sem qualquer prejuízo ao tratamento ou represália.

5E) Manutenção do sigilo e privacidade

Os seus dados serão analisados em conjunto com outros pacientes, não sendo divulgado a identificação de nenhum paciente sob qualquer circunstância.

Solicitamos sua autorização para que os dados obtidos nesta pesquisa sejam utilizados em uma publicação científica, meio como os resultados de uma pesquisa são divulgados e compartilhados com a comunidade científica.

5F) O (A) senhor(a) receberá uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

(TCLE versão 1/ 16 de maio de 2018)

5G) Garantia de Ressarcimento

O(A) senhor(a) não terá qualquer custo, pois o custo desta pesquisa será de responsabilidade do orçamento da pesquisa. O (A) senhor(a) tem direito a ressarcimento em caso de despesas decorrentes da sua participação na pesquisa.

5H) Garantia de indenização

O (A) senhor(a) tem direito à indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto

(TCLE versão 1/ 16 de maio de 2018)

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo **Correlatos comportamentais e eletrofisiológicos dos processamentos temporal e espectral no ouvido absoluto**.

Eu discuti com o **Carlos Alberto Leite Filho** sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar, quando necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

Assinatura do paciente/representante legal Data ___ / ___ / ___

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

Assinatura do responsável pelo estudo Data ___ / ___ / ___

Rubrica do participante
Da pesquisa

Rubrica do pesquisador

ANEXO I – Projeto de pesquisa original

Carlos Alberto Leite Filho

**VALIDAÇÃO DO TESTE DE MASCARAMENTO SUCESSOR E
INVESTIGAÇÃO DO PROCESSAMENTO TEMPORAL DE
MÚSICOS COM OUVIDO ABSOLUTO**

Projeto de Doutorado Direto apresentado à
Faculdade de Medicina da Universidade de São
Paulo.

Área de concentração: Comunicação Humana
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliane Schochat

São Paulo
2023

RESUMO

Introdução: O processamento temporal é fundamental nos mais variados processos de percepção auditiva, dentre os quais se destaca o ouvido absoluto, considerado de grande interesse por se caracterizar como uma habilidade rara na qual músicos são capazes de nomear notas musicais de maneira automática, sem esforço e sem a necessidade de referências externas. Entre os diversos aspectos do processamento temporal, a participação das habilidades auditivas de resolução temporal e mascaramento temporal sucessor no ouvido absoluto ainda não foi bem compreendida e precisa ser melhor estudada. Esse estudo, no entanto, encontra obstáculo na ausência de um teste clínico válido para avaliação do mascaramento sucessor. Dessa maneira, faz-se necessária a validação de um teste que avalie esta habilidade para posteriormente investigar a relação dela e da resolução temporal com o ouvido absoluto. **Objetivo:** Investigar evidências de validade do teste de mascaramento sucessor e avaliar o processamento temporal de músicos com ouvido absoluto. **Método:** na primeira etapa, será desenvolvido um estudo observacional analítico retrospectivo de corte transversal no qual 31 adultos sem alterações de processamento temporal, 12 adultos com alteração de processamento temporal e 17 idosos serão submetidos ao teste de mascaramento sucessor e aos testes *Gaps-in-Noise*, padrão de frequência e padrão de duração, considerados procedimentos já consagrados de avaliação do processamento temporal. Os grupos serão comparados e a validade de critério será investigada por meio do cálculo dos pontos de corte com maior equilíbrio entre sensibilidade e especificidade para o teste. Além disso, a validade convergente será avaliada por meio da investigação da correlação entre o teste de mascaramento sucessor e os demais testes de processamento temporal. Em seguida, será conduzida a segunda etapa do estudo, na qual músicos adultos serão submetidos a testes de ouvido absoluto e, a partir do desempenho na tarefa de nomeação de notas, serão organizados em grupos com e sem ouvido absoluto. Esses grupos serão submetidos ao teste *Gaps-in-Noise*, que avalia a resolução temporal, e ao teste de mascaramento sucessor. A investigação da relação entre essas habilidades auditivas e o ouvido absoluto será feita por meio da comparação dos grupos com e sem ouvido absoluto em relação ao desempenho nos testes auditivos e por meio de análises de correlação entre as medidas dos testes auditivos e do teste de ouvido absoluto.

1. INTRODUÇÃO

O processamento auditivo é definido de forma geral como a eficácia e efetividade com as quais o sistema nervoso auditivo faz uso da informação auditiva (ASHA, 2005). A importância fundamental do bom funcionamento do processamento auditivo para o desenvolvimento das habilidades linguísticas, acadêmicas, sociais e cognitivas já foi comprovada por uma série de estudos e atualmente é um consenso na literatura (ASHA, 2005; AAA, 2010).

Dentre os diversos fenômenos que tem como base o processamento da informação auditiva, um dos mais intrigantes é o ouvido absoluto (OA), presente na população de músicos. A maioria dos músicos comuns é capaz de identificar notas por meio de suas relações harmônicas com outras notas referenciais, habilidade conhecida como ouvido relativo. No entanto, músicos com OA são capazes de identificar uma nota musical sem referências externas sem qualquer esforço e instantaneamente, muitas vezes comparando este processo ao de identificação de cores (Takeuchi, Hulse, 1993). Com prevalência estimada de 0,01% na população em geral (Bachem, 1955; Profita, Bidder, 1988) e de 7 a 15% dentre os músicos não-asiáticos (Baharloo et al., 1998; Gregersen et al., 1999), o OA é considerado uma habilidade extremamente rara e vantajosa para os músicos em geral.

Os processos neurobiológicos e perceptuais que subjazem a capacidade de nomear notas musicais sem uma referência externa ainda não foram totalmente esclarecidos, apesar do significativo número de pesquisas que buscaram elucidar estas questões. No entanto, o OA parece estar intimamente correlacionado à linguagem e ao processamento temporal (PT) da informação auditiva, tanto neurobiologicamente quanto perceptualmente (Fujisaki, Kashino, 2005; Vanzella, Schellenberg, 2010; Masataka, 2011; Deutsch, 2013; Weiss et al., 2015; Dohn et al., 2015; Kim et al., 2016).

O PT, um dos aspectos do processamento auditivo, é fundamental para todos os demais aspectos e é definido como a percepção de um som ou da alteração de um som em um período de tempo definido (Shinn, 2003). O PT pode ser estudado pela avaliação comportamental de seus subcomponentes, isto é, as habilidades auditivas de ordenação temporal, resolução ou discriminação

temporal, integração ou somação temporal, e mascaramento temporal (Shinn, 2003; Musiek, Chermak, 2015).

A resolução temporal (RT) se refere à habilidade de perceber mudanças extremamente rápidas no estímulo sonoro e é fundamental para o desenvolvimento adequado da linguagem oral e escrita e das habilidades escolares (Shinn, 2003; Tallal, 2004; Musiek, Chermak, 2015; Jung, Lee, 2020). Dentre os procedimentos clínicos utilizados para avaliação da RT, o teste *Gaps-in-Noise* (GIN) (Musiek et al., 2005) é um dos mais utilizados devido à sua rapidez e baixa influência de fatores extra-auditivos, como cognição e linguagem (Tomlin et al., 2015). Além disso, a validade clínica do GIN foi confirmada por estudos que observaram altas taxas de sensibilidade e especificidade (Musiek et al., 2005; Rabelo et al., 2015; Filippini et al., 2020).

O mascaramento temporal sucessor (MTS) trata-se da mudança do limiar de audibilidade de um som devido a outro som que o sucedeu (Shinn, 2003; Musiek, Chermak, 2015). Estudos comprovam a importância do MTS para o bom desenvolvimento da comunicação, pois ele está prejudicado em indivíduos com alterações de fala e linguagem (Griffiths et al., 2003; Howell et al., 2006). Apesar disso, até o momento, não há instrumentos clínicos validados para avaliação do MTS, demonstrando um desfalque na prática clínica de avaliação e reabilitação do transtorno do processamento auditivo e a necessidade de desenvolvimento, validação e normatização de um teste de MTS. Neste sentido, um estudo piloto propôs um teste para avaliação do MTS (TMS) que se mostrou factível, de fácil aplicação, confiável e compatível com os resultados de outras pesquisas de enfoque psicoacústico envolvendo esta habilidade auditiva (Filippini, Schochat, 2014). Esse instrumento, porém, ainda carece de dados específicos quanto à sua sensibilidade e especificidade.

Apesar das evidências indicando a participação do processamento auditivo temporal nos processos que subjazem o OA, os mecanismos específicos pelos quais essa participação se dá ainda são um ponto de debate. Enquanto alguns estudos sugerem que a RT influencia a precisão na habilidade de nomear notas (Fujisaki, Kashino, 2005; Ngan et al., 2023), outras evidências apontam pra não participação dessa habilidade auditiva no OA (Fujisaki, Kashino, 2002). Em relação ao MTS, até o momento não foram encontrados estudos que investigassem a sua relação com o OA, demonstrando uma clara defasagem na

área e a necessidade de preencher essa lacuna. Essa necessidade, porém, tem como pré-requisito o estabelecimento de um teste clínico válido e confiável para garantir a mensuração fidedigna do MTS. Uma das maneiras mais difundidas de validação de testes de percepção auditiva envolve a comparação e verificação da capacidade de um instrumento de discriminar populações com e sem alterações confirmadas de processamento auditivo (AAA, 2010).

Assim, considerando a importância do PT para a percepção de estímulos sonoros; considerando o OA como um modelo único para estudo e compreensão dos mecanismos envolvidos na percepção auditiva; considerando a relevância do PT para os processos subjacentes ao OA; considerando as questões em aberto envolvendo a relação da RT e do MTS com o OA; e considerando a necessidade de testes validados para a avaliação do MTS, optou-se pela realização deste estudo, que, inicialmente, investigará evidências de validade e valores normativos do TMS e, em seguida, avaliará as habilidades auditivas de RT e MTS em músicos com ouvido absoluto. Em relação ao TMS, espera-se obter valores de referência de uma população adulta jovem, bem como pontos de corte que evidenciem níveis satisfatórios de sensibilidade e especificidade para detecção de alterações de processamento auditivo. Em seguida, espera-se observar relação entre melhor desempenho na tarefa de nomeação de notas musicais e melhor desempenho nos testes GIN e TMS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar evidências de validade do teste de mascaramento sucessor e avaliar o processamento temporal de músicos com ouvido absoluto.

2.2 Objetivos específicos

- I) Investigar a influência das condições de aplicação e dos parâmetros acústicos do TMS sobre o desempenho no teste;
- II) Comparar adultos sem alteração do PT com adultos com alteração do PT e idosos em relação ao desempenho no TMS;

III) Obter pontos de corte e valores de especificidade e sensibilidade do TMS para detecção de alterações do PT;

IV) Investigar a presença de correlação entre o TMS e outros testes de PT;

V) Comparar músicos com OA e músicos sem OA em relação ao desempenho nos testes GIN e TMS;

VI) Investigar a presença de correlação entre o desempenho no teste de OA e o desempenho nos testes GIN e MTS.

3. PLANO DE TRABALHO

Atividade	2019	2020*	2021*	2022*	2023
	Ago. a Dez.	Jan. a Dez.	Jan a Dez.	Jan a Dez.	Jan a Jun.
Revisão da literatura	X	X	X		
Coleta de dados	X				
Análise de dados		X	X	X	X
Redação				X	X

Nota: os períodos marcados com um asterisco (*) foram significativamente prejudicados pela pandemia de COVID-19.

4. MÉTODO

4.1 Cuidados éticos

As etapas de validação do TMS e avaliação do MTS de músicos com ouvido absoluto foram aprovadas pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (CAPPesq – HCFMUSP) sob os pareceres nº 1.912.849 e 2.807.397, respectivamente. A etapa de avaliação da RT em músicos com ouvido absoluto foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo sob o parecer nº 733.116. Serão tomados os cuidados éticos cabíveis para cumprimento da lei nacional. Todos os indivíduos que se voluntariarem a participar deste estudo deverão assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

4.2 Instituição

O estudo será realizado no Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, no Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo e no serviço de Audiologia do HCFMUSP.

4.3 Caracterização do estudo

Trata-se de um estudo observacional analítico de corte transversal, possuindo uma etapa retrospectiva e uma etapa prospectiva.

4.4 Validação do TMS

A etapa de validação do TMS utilizará dados prévios coletados e armazenados no Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo, que serão submetidos a novas análises para o cumprimento adequado dos objetivos dessa etapa da pesquisa.

4.4.1 Amostra

A amostra contará com 60 indivíduos de ambos os gêneros, sendo 31 adultos sem alteração do PT (NA), 12 com alteração do PT (AA) e 17 idosos (ID), que serão organizados conforme critérios apresentados nas seções 4.4.1.1 a 4.4.1.3.

4.4.1.1 Critérios de inclusão

Serão incluídos nesta pesquisa todos os indivíduos adultos (entre 18 e 40 anos) ou idosos (entre 60 e 79 anos) avaliados no Laboratório de Investigação Fonoaudiológica em Processamento Auditivo que foram submetidos ao TMS e aos demais testes de processamento temporal, a saber: GIN, Teste de Padrão de Frequência (TPF) (Musiek, 1994) e Teste de Padrão de Duração (TPD) (Musiek, 1994).

4.4.1.2 Critérios de exclusão

Para todos os grupos, serão excluídos do estudo os indivíduos que apresentaram pelo menos uma das seguintes condições:

- Histórico positivo para síndromes genéticas, déficit de atenção e hiperatividade, alterações neurológicas, psiquiátricas, do desenvolvimento motor, do desenvolvimento de linguagem ou de aprendizagem e para outros riscos de alteração auditiva periférica ou central identificados por meio da anamnese;
- Alteração em qualquer um dos três exames que compõem a avaliação audiológica básica (audiometria tonal liminar, logaudiometria ou imitanciometria);
- Alteração na triagem cognitiva *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) (Nasreddine et al., 2005; Memória et al., 2013);

4.4.1.3 Organização dos grupos

Os dados dos voluntários que irão compor a amostra dessa etapa do estudo serão organizados de acordo com os seguintes critérios:

- NA: adultos sem queixas auditivas e com desempenho normal nos testes de PT já estabelecidos clinicamente, conforme critérios propostos pela AAA (2010);
- AA: adultos com queixas auditivas e desempenho alterado (alteração em ambas as orelhas em um teste ou mais ou alteração em uma orelha em dois testes ou mais) nos testes de PT já estabelecidos clinicamente, conforme critérios propostos pela AAA (2010);
- ID: idosos com ou sem queixas auditivas e com desempenho normal ou alterado nos testes de PT já estabelecidos clinicamente.

4.4.2 Procedimentos do estudo

Para a etapa de validação do TMS, serão levantados os dados de anamnese, avaliação audiológica básica, triagem cognitiva MoCA, testes de PT e TMS.

4.4.2.1 Anamnese

A investigação da história clínica do indivíduo avaliado é essencial na detecção de fatores de risco para perdas auditivas periféricas e alterações de processamento auditivo. Serão coletados os dados da anamnese de cada indivíduo, que investigou a sua história nos aspectos audiológico, linguístico/comunicativo, otológico, cognitivo, escolar e médico em geral, avaliando intensidade, duração e demais características relevantes das possíveis queixas apresentadas.

4.4.2.2 Avaliação audiológica básica

Consiste nos exames de meatoscopia, audiometria tonal liminar (ATL), logaudiometria e imitanciometria. A meatoscopia, realizada com otoscópio, é o procedimento responsável por verificar a presença de cerume impactado ou corpo estranho no meato acústico externo que impeça a realização dos procedimentos deste estudo. Na ATL, são pesquisados os limiares auditivos para cada orelha nas frequências de 250 a 8000 Hz e limiares auditivos < 25 dBNA são considerados dentro dos padrões de normalidade (Lloyd, Kaplan, 1978). A logaudiometria, realizada a viva voz, é composta pela pesquisa do limiar de reconhecimento de fala (LRF) e do índice percentual do reconhecimento de fala (IPRF), com listas de palavras propostas por Russo e Santos (1993) e critérios de normalidade estabelecidos por Jerger et al. (1968). A imitanciometria é composta da timpanometria e pesquisa dos limiares do reflexo acústico contralateral nas frequências de 500 a 4000 Hz e verifica a integridade da orelha média de acordo com os critérios de normalidade propostos por Jerger (1970) e Jerger et al. (1972). Os instrumentos para realização da ATL e da logaudiometria incluem cabina acústica, audiômetro e fones supra-aurais, enquanto a imitanciometria é realizada por meio do uso do imitanciômetro, fones supra-aurais e sonda de 226 Hz.

4.4.2.3 Triagem cognitiva *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA)

A triagem cognitiva MoCA foi proposta originalmente por Nasreddine et al. (2005) e validada para a população brasileira por Memória et al. (2013) e consiste em um teste rápido envolvendo tarefas de desenho, nomeação, resolução de problemas, memorização de palavras, span de dígitos (direto e invertido), cálculo matemático mental, lógica, resposta motora a estímulo verbal e orientação. Estas atividades objetivam avaliar aspectos como cognição, linguagem, atenção, memória de curto prazo, memória de trabalho, memória de longo prazo, orientação e organização visuoespacial, habilidades matemáticas, entre outras. Os estudos de validação deste instrumento sugerem que ele possui alta sensibilidade e especificidade para detecção de alterações cognitivas.

Assim, para controlar possíveis vieses extra-auditivos em relação à amostra do estudo, serão considerados os dados da triagem MoCA, que é aplicada em uma única sessão numa sala silenciosa, e excluídos da amostra os indivíduos com pontuação inferior a 25 pontos (Memória et al., 2013).

4.4.2.4 Testes de Processamento Temporal (PT)

A bateria de testes comportamentais já clinicamente estabelecidos cujos dados serão utilizados para avaliação do processamento temporal será composta pelos instrumentos GIN, TPF e TPD. Os procedimentos foram realizados em cabina acústica com o uso de fones supra-aurais, com apresentação dos arquivos de áudio via *smartphone* acoplado ao audiômetro. Para todos os testes, os estímulos foram apresentados a 50 dBNS e realizou-se a avaliação apenas da orelha direita em decorrência da ausência de diferença entre as orelhas relatada em estudos anteriores (Musiek, 1994; Musiek et al., 2005).

Os testes TPF e TPD (Musiek, 1994) avaliam a habilidade auditiva de ordenação temporal e consistem na apresentação de uma lista de 30 itens. Cada item é composto por uma sequência de três estímulos do tipo tom puro, sendo que um dos três estímulos se diferencia dos demais apenas quanto à frequência (880 Hz e 1122 Hz, no caso do TPF) ou apenas quanto à duração (500 ms e 250 ms, no caso do TPD). Tanto para o TPF quanto para o TPD, solicita-se ao

indivíduo avaliado que repita a ordem na qual os estímulos foram apresentados imediatamente após a apresentação de cada item utilizando os termos “fino” e “grosso” (TPF) ou “curto” e “longo” (TPD). A mensuração do desempenho nos dois testes é igual e consiste no cálculo da porcentagem de acertos.

O teste GIN (Musiek et al., 2005) avalia a habilidade auditiva de resolução temporal e consiste na apresentação de uma lista de 35 itens. Cada item é composto por ruído branco entrecortado por *gaps* de silêncio distribuídos aleatoriamente com duração de 2 a 20 milissegundos, cada um apresentado seis vezes, totalizando 60 *gaps*. O indivíduo avaliado deve indicar toda vez que perceber a ocorrência de um *gap* e, a partir das respostas, são calculados o limiar de detecção de *gap* (LDG), isto é, o menor *gap* para o qual o indivíduo responde pelo menos quatro das seis apresentações para aquele *gap* e para os *gaps* subsequentes, e a porcentagem de detecção de *gap* (PDG), isto é, a porcentagem de *gaps* detectados em relação ao total de *gaps* apresentados.

4.4.2.5 Teste de Mascaramento Sucessor (TMS)

Para validar o TMS, serão utilizados os dados coletados referentes a aplicação de uma versão modificada do procedimento inicialmente proposto por Filippini e Schochat (2014). O instrumento conta com dois estímulos: um tom puro (1000 Hz) com duração de 25 ms apresentado a 20 dBNS; e um ruído mascarador de banda estreita (950 a 1050 Hz), com duração de 200 ms apresentado a 40 dBNS na mesma orelha. Os estímulos foram apresentados em arquivo de áudio via *smartphone* acoplado ao audiômetro e o procedimento foi realizado em cabina acústica. A ordem das orelhas testadas foi alternada, de modo a eliminar o viés de diferença entre orelhas causado por aprendizagem da tarefa ou fadiga.

No treino, foram apresentados aleatoriamente 12 itens compostos pelo tom puro seguido do ruído mascarador com intervalo inter-estímulo (IIE) variando entre 400 e 50 ms, além de 3 itens compostos apenas pelo ruído mascarador.

Após o treino, foi realizada a etapa de teste, composta pela apresentação aleatória de 48 itens semelhantes aos utilizados no treino com IIEs de 400, 200, 100, 50, 30, 20, 10 ou 0 ms (6 itens para cada), além de 12 itens compostos apenas pelo ruído mascarador.

O indivíduo avaliado foi instruído a sinalizar toda vez que percebe a presença do tom puro. Cada indivíduo terá seu desempenho avaliado por meio de dois parâmetros: porcentagem de acertos (TMSP) e limiar de detecção do tom alvo (TMSL), sendo este último considerado como o menor IIE para o qual o indivíduo é capaz de detectar quatro das seis ocorrências do tom alvo e manter taxa de acertos maior ou igual a esta nos IIEs subsequentes.

4.4.3 Análise estatística

A análise estatística seguirá o referencial teórico proposto por Field (2017)

Na análise descritiva, serão calculadas medidas de tendência central e de dispersão para as variáveis quantitativas do estudo, bem como frequências absoluta e relativa para as variáveis qualitativas.

Em relação à análise inferencial, a influência das condições de testagem e dos parâmetros acústicos sobre o desempenho no TMS será avaliada por meio da análise de variância univariada (ANOVA) de medidas repetidas. Para comparar os três grupos do estudo em relação ao desempenho no TMS, será utilizada a ANOVA de um fator independente. Para investigar a validade convergente do TMS, serão realizadas análises de correlação de Pearson entre as medidas do TMS e as medidas dos demais testes de PT. O uso adequado dos procedimentos estatísticos anteriormente descritos será garantido por meio do uso de técnicas como *bootstrap*, análises robustas, transformação de variáveis e substituição por modelos lineares generalizados, quando necessário. Por fim, para identificar o melhor ponto de corte para o TMS, serão utilizados os métodos de soma/subtração de dois desvios-padrão (ASHA, 2005; AAA, 2010) e de percentil 10/90 (Musiek, 1994). O cálculo do ponto de corte será realizado para as duas medidas do TMS e, para cada uma delas, será definido como ponto de corte ideal o valor no qual forem identificados os maiores índices de sensibilidade e especificidade.

4.5 Investigação da RT e do MTS de músicos com OA

A etapa de investigação da RT utilizará dados prévios coletados pelo aluno e armazenados no Laboratório de Neuroaudiologia do Departamento de

Fonoaudiologia da Universidade Federal de São Paulo, que serão submetidos a novas análises para o cumprimento adequado dos objetivos dessa etapa da pesquisa. Já a etapa de investigação do MTS será realizada por meio da coleta de novos dados.

4.5.1 Amostra

Para a investigação da RT, a amostra contará com 19 músicos, sendo nove músicos com OA (GOA1) e dez músicos sem OA (GnOA1). Para a investigação do MTS, estima-se a coleta de 20 músicos, sendo dez músicos com OA (GOA2) e dez músicos sem OA (GnOA2).

Serão tomadas providências para garantir que os grupos sejam equilibrados quanto ao gênero, idade, idade de início do treinamento musical e tempo de treinamento musical. A organização dos grupos para as duas investigações será apresentada de forma pormenorizada nas seções 4.5.1.1 a 4.5.1.3.

4.5.1.1 Critérios de inclusão

Serão incluídos nesta etapa da pesquisa todos os indivíduos adultos (entre 18 e 40 anos) com pelo menos três anos de experiência musical e prática atual e frequente (no mínimo semanal) de música, com preferência por indivíduos que atuem profissionalmente na música.

4.5.1.2 Critérios de exclusão

Serão considerados os mesmos critérios de exclusão apresentados na seção 4.4.1.2, exceto pela triagem cognitiva MoCA, que não será utilizada nesta etapa do estudo.

4.5.1.3 Organização dos grupos

Em relação à investigação da RT, os dados dos voluntários que irão compor a amostra dessa etapa do estudo serão organizados de acordo com os seguintes critérios:

- GOA1: músicos com taxa de acertos acima da chance no teste de OA (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011) e média do desvio absoluto (MDA) menor que um semitom;
- GnOA1: músicos com taxa de acertos abaixo de 50% durante a etapa de treino do teste de OA (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011).

Em relação à investigação do MTS, os voluntários serão organizados de acordo com os seguintes critérios:

- GOA2: músicos com taxa de acertos acima da chance no teste de OA (Leite et al., 2016) e MDA menor que um semitom;
- GnOA2: músicos com taxa de acerto igual ou menor que a chance no teste de OA (Leite et al., 2016) ou com MDA maior que um semitom.

A definição e método de cálculo de acerto acima ou abaixo da chance, bem como do MDA, serão apresentados nas seções 4.5.2.1 e 4.5.2.2.

4.5.2 Procedimentos do estudo

Para a etapa de investigação da RT em músicos com OA, serão levantados os dados previamente coletados de anamnese, avaliação audiológica básica, teste de OA (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011) e teste GIN. Para a investigação do MTS em músicos com AO, serão realizados os procedimentos de anamnese, avaliação audiológica básica, teste de OA (Leite et al., 2016) e TMS.

Os procedimentos de anamnese, avaliação audiológica básica, teste GIN e TMS serão coletados e analisados da mesma maneira descrita nas seções 4.4.2.1, 4.4.2.2, 4.4.2.4 e 4.4.2.5. Sendo assim, nas seções seguinte serão descritos apenas aspectos relacionados à coleta e análise dos testes de OA.

4.5.2.1 Teste de OA (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011)

O teste de OA proposto por Loui et al. (2011) a partir da proposta original de Keenan et al. (2001) será utilizado para quantificar o OA na etapa referente à investigação da relação dessa habilidade com a RT.

O teste é composto por 13 tons puros cuja frequência fundamental corresponde às 13 notas de F#3 a F#4 na escala ocidental diatônica. Cada estímulo é apresentado a 50 dBNS binauralmente quatro vezes, totalizando 52 estímulos com intervalo inter-estímulos de dois segundos. As apresentações se dão em ordem pseudo-aleatória, garantindo que uma nota específica só é apresentada novamente se todas as outras 12 notas já foram apresentadas. Anteriormente ao teste em si, uma sessão de treinamento consistindo em uma única apresentação de cada um dos 13 estímulos é realizada.

A apresentação do teste foi feita com fones supra-aurais em ambiente silencioso por meio de *smartphone* acoplado a um audiômetro. Solicitou-se ao indivíduo avaliado que verbalizasse o nome da nota ouvida tão rápido quanto possível. Apenas respostas precisas (desvio absoluto do estímulo-alvo = 0) foram consideradas para o cálculo da porcentagem de acertos. Além disso, foi calculada a média do desvio absoluto (MDA) (Bermudez, Zatorre, 2009) a partir da distância tonal, em semitons, entre a resposta dada pelo indivíduo e o tom apresentado, que pode variar entre 0 e 6 por indivíduo.

Para identificar as porcentagens de acerto acima ou abaixo da chance, utilizou-se a abordagem estatística proposta por Sergeant e Vranka (2014). Assim, a porcentagem de acertos no teste de OA foi modelada como uma variável com distribuição binomial e, a partir da média de acertos esperada e do cálculo do erro padrão dessa média, considerou-se como resposta acima da chance qualquer valor que excedesse o limite superior do intervalo de confiança de 99% da média. Assim, obteve-se porcentagem de acertos acima da chance como sendo igual ou maior que 19,2%.

4.5.2.2 Teste de OA (Leite et al., 2016)

Para verificação da presença de OA e quantificação da habilidade de nomeação de notas musicais na amostra que será coletada para investigar a relação dessa habilidade com o MTS, será utilizado o teste de OA proposto por Leite et al. (2016).

Neste teste, serão utilizados 36 estímulos sonoros de piano sintetizado (GarageBand, Apple Inc.) com duração de um segundo. Os estímulos corresponderão às notas musicais contidas na escala ocidental diatônica entre C3 e B5 (notação musical americana).

Cada um dos 36 estímulos será apresentado duas vezes, totalizando 72 estímulos, em ordem aleatória. Para inibir o uso do ouvido relativo como estratégia de resposta, todos os estímulos apresentarão intervalo inter-estímulo fixado em 4,25 segundos e distância tonal maior que uma oitava e diferente de um semitom (desconsiderando a oitava) em relação aos estímulos apresentados imediatamente antes ou depois. A apresentação dos estímulos se dará em blocos de 12, com intervalo de 30 segundos entre os blocos, a fim de minimizar a fadiga.

Os estímulos serão apresentados via *smartphone* acoplado ao audiômetro binauralmente na intensidade de 50 dBNS, calculada a partir da média liminar tritonal. Antes da realização do teste, será realizado um bloco de treino composto por quatro estímulos. Durante o teste, o indivíduo avaliado será apresentado a uma folha de resposta com um teclado de piano impresso para cada estímulo e contendo as 12 notas da escala musical ocidental, bem como suas letras correspondentes. O participante será instruído a circular a tecla correspondente à nota musical logo após ouvi-la o mais rápido que conseguir, sendo que notas não nomeadas durante intervalo inter-estímulo serão contabilizadas como erro.

Para este teste, serão usados os mesmos critérios apresentados na seção anterior para o cálculo da porcentagem de acertos e MDA. A partir dos cálculos apresentados na seção anterior, estabeleceu-se como ponto de corte para acertos acima da chance uma porcentagem de acertos igual ou maior que 20%.

4.5.3 Análise estatística

A análise estatística seguirá o referencial teórico proposto por Field (2017)

Na análise descritiva, serão calculadas medidas de tendência central e de dispersão para as variáveis quantitativas do estudo, bem como frequências absoluta e relativa para as variáveis qualitativas.

Em relação à análise inferencial, a comparação entre os grupos com e sem OA em relação ao desempenho nos testes GIN e TMS será realizada por meio do teste t de Student para amostras independentes. Além disso, serão realizadas

análises de correlação de Pearson entre as medidas dos testes de OA e as medidas dos testes GIN e TMS. O uso adequado dos procedimentos estatísticos anteriormente descritos será garantido por meio do uso de técnicas como *bootstrap*, análises robustas, transformação de variáveis e substituição por modelos lineares generalizados, quando necessário.

5. REFERÊNCIAS

American Academy of Audiology (AAA). Clinical practice guidelines: diagnosis, treatment and management of children and adults with central auditory processing disorder. 2010. Disponível em: <http://www.audiology.org/publications-resources/document-library/central-auditory-processing-disorder>.

American Speech-Language-Hearing Association (ASHA). (Central) Auditory processing disorders [Technical Report]. 2005. Disponível em: <http://www.asha.org/policy/TR2005-00043/#r4>.

Bachem A. Absolute pitch. *J Acoust Soc Am*. 1955;27:1180-5.

Baharloo S, Johnston PA, Service SK, Gitschier J, Freimer NB. Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *Am J Hum Genet*. 1998;62(2):224-31.

Bermudez P, Zatorre RJ. A distribution of absolute pitch as revealed by computerized testing. *Music Percept*. 2009;27(2):89-101.

Deutsch D. Absolute pitch. In: Deutsch D. (Ed.) *The psychology of music*. 3rd ed. Waltham: Academic Press;2013. p. 141-82.

Dohn A, Garza-Villarreal EA, Chakravarty MM, Hansen M, Lerch JP, Vuust P. Gray- and white-matter anatomy of absolute pitch possessors. *Cereb Cortex*. 2015 May;25(5):1379-88.

Field A. *Discovering Statistics Using SPSS*. 5th ed. 2017; California: SAGE Publications.

Filippini R, Schochat E. A new paradigm for temporal masking assessment: pilot study. *CoDAS*. 2014 Jul-Aug;26(4):302-7.

Filippini R, Wong B, Schochat E, Musiek F. GIN Test: A Meta-Analysis on Its Neurodiagnostic Value. *J Am Acad Audiol*. 2020 Feb;31(2):147-157.

Fujisaki W, Kashino M. The basic hearing abilities of absolute pitch possessors. *Acoust Sci & Tech*. 2002;23(2):77-83.

Fujisaki W, Kashino M. Contributions of temporal and place cues in pitch perception in absolute pitch possessors. *Percept Psychophys*. 2005 Feb;67(2):315-23.

Gregersen PK, Kowalsky E, Kohn N, Marvin EW. Absolute pitch: prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *Am J Hum Genet*. 1999;65(3):911-3.

Griffiths YM, Hill NI, Bailey PJ, Snowling MJ. Auditory temporal order discrimination and backward recognition masking in adults with dyslexia. *J Speech Lang Hear Res*. 2003 Dec;46(6):1352-66.

Howell P, Davis S, Williams SM. Auditory abilities of speakers who persisted, or recovered, from stuttering. *J Fluency Disord*. 2006;31(4):257-70.

Jerger J. Clinical experience with impedance audiometry. *Arch Otolaryngol*. 1970 Oct;92(4):311-24.

Jerger J, Jerger S, Mauldin L. Studies in impedance audiometry. I. Normal and sensorineural ears. *Arch Otolaryngol*. 1972 Dec;96(6):513-23.

Jerger J, Speaks C, Trammel JL. A new approach to speech audiometry. *J Speech Hear Disord.* 1968;33(4):318–28.

Jung YK, Lee JH. Gaps-In-Noise Test Performance in Children with Speech Sound Disorder and Cognitive Difficulty. *J Audiol Otol.* 2020 Jul;24(3):133-139.

Kim SG, Knösche TR. Intracortical myelination in musicians with absolute pitch: quantitative morphometry using 7-T MRI. *Hum Brain Mapp.* 2016 Oct;37(10):3486-501.

Leite RB, Mota-Rolim SA, Queiroz CM. Music Proficiency and quantification of absolute pitch: a large-scale study among Brazilian musicians. *Front Neurosci.* 2016 Oct 13;10:447.

Lloyd LL, Kaplan H. *Audiometric interpretation: a manual of basic audiometry.* Baltimore: University Park Press; 1978. p 16-7, 94.

Masataka N. Enhancement of speech-relevant auditory acuity in absolute pitch possessors. *Front Psychol.* 2011;2:101.

Memória CM, Yassuda MS, Nakano EY, Forlenza OV. Brief screening for mild cognitive impairment: validation of the Brazilian version of the Montreal cognitive assessment. *Int J Geriatr Psychiatry.* 2013 Jan;28(1):34-40.

Musiek FE, Chermak GD. Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handb Clin Neurol.* 2015;129:313-32.

Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamiou DE, Baran JA, Zaidan E. GIN (Gaps In-Noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear.* 2005 Dec;26(6):608-18.

Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, Cummings JL, Chertkow H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief

screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005 Apr;53(4):695-9.

Profita J, Bidder TG. Perfect pitch. *Am J Med Genet.* 1988;29(4):763-71.

Rabelo CM, Weihing JA, Schochat E. Temporal resolution in individuals with neurological disorders. *Clinics.* 2015;70(9):606-11.

Russo ICP, Santos TMM. *A prática da audiologia clínica.* 4a ed ver e aum. São Paulo (SP): Cortez; 1993. 253 p.

Shinn JB. Temporal processing: the basics. *Hear J.* 2003;56(7):52-52.

Tallal P. Improving language and literacy is a matter of time. *Nat Rev Neurosci.* 2004 Sep;5(9):721-8.

Takeuchi AH, Hulse SH. Absolute pitch. *Psychol Bull.* 1993;113(2):345-61.

Tomlin D, Dillon H, Sharma M, Rance G. The Impact of Auditory Processing and Cognitive Abilities in Children. *Ear Hear.* 2015 Sep-Oct;36(5):527-42.

Vanzella P, Schellenberg EG. Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PLoS One.* 2010;5(11):e15449.

Weiss MW, Vanzella P, Schellenberg EG, Trehub SE. Pianists exhibit enhanced memory for vocal melodies but not piano melodies. *Q J Exp Psychol (Hove).* 2015;68(5):866-77.

Article

Evidence of Validity and Normative Values of a New Auditory Backward Masking Test

Renata Filippini ^{1,*}, Carlos Alberto Leite Filho ^{1,†}, Gabriela Melo Santos Bonassa Barros ¹, Frank E. Musiek ² and Eliane Schochat ¹

¹ Department of Physical Therapy, Speech-Language Pathology and Occupational Therapy, School of Medicine, University of São Paulo, São Paulo 05360-160, Brazil

² Department of Speech, Language, and Hearing Sciences, The University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0071, USA

* Correspondence: refileppini.rf@gmail.com

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: There are still no valid, clinically feasible instruments to assess backward masking (BM), an auditory temporal processing (ATP) phenomenon. The aim of this study was to develop, standardize and present evidence of validity for a behavioral test for BM assessment. Young adults were submitted to a BM test (BMT), where they were asked to identify a 1000 Hz pure tone followed by a narrowband noise with interstimulus intervals of 0 to 400 ms and signal-to-noise ratio (SNR) between –20 and –30 dB. The correct response rate and target sound detection threshold were calculated, and the results compared with those of young adults with abnormal ATP tests and older adults. Diagnostic accuracy analyses were carried out. Young adults with normal ATP obtained an average correct response rate of 89 and 87% for SNR –20 and –30 dB, respectively, with average thresholds between 10 and 15 ms and no difference between the left and right ears. Results were more consistent at SNR –20 dB, and the best diagnostic accuracy was obtained for SNR –20 dB, with good specificity, but low sensitivity. Normative values were obtained for the BMT, which proved to be clinically feasible, with preliminary evidence of validity.

Keywords: central auditory processing; auditory temporal processing; backward masking; auditory perception; central auditory processing disorder; hearing tests



Citation: Filippini, R.; Leite Filho, C.A.; Barros, G.M.S.B.; Musiek, F.E.; Schochat, E. Evidence of Validity and Normative Values of a New Auditory Backward Masking Test. *J. Clin. Med.* **2022**, *11*, 4933. <https://doi.org/10.3390/jcm11174933>

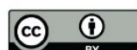
Academic Editor: Dong-Hee Lee

Received: 28 June 2022

Accepted: 17 August 2022

Published: 23 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Time is one of the most important variables that underlies the perception and understanding of auditory information. Music and speech, for example, are made up of linked sounds whose characteristics, such as order, pitch, duration and intensity, allow the sounds to be recognized. These characteristics vary over short time intervals, requiring excellent auditory temporal processing (ATP) in order to be understood [1].

ATP is defined as the perception of a sound or a change in sound within a limited or defined time frame [2,3] and can be divided into four categories: (1) temporal ordering; (2) temporal resolution; (3) temporal integration; and (4) temporal masking [4,5].

Theories have been developed that correlate ATP alterations with speech, language and writing disorders [6–9], largely involving temporal ordering [10–12] and masking [13–16]. However, there are discrepancies between different authors and studies regarding these relationships [17,18]. Authors who oppose these theories point to the considerable variability of the results obtained, different methodologies [19], and the influence of cognitive processes [20–22]. As such, there is a need to develop tools to assess ATP, with results that can be easily replicated in different clinical and research scenarios in order to standardize the data obtained and improve diagnostic reliability.

Although there are well-documented clinical measures available to evaluate temporal ordering and resolution, there are no feasible standardized clinical tests for temporal

integration and masking [5]. The present study aimed to develop a test to assess temporal masking. This category was chosen because, in addition to its previously mentioned relationship with language disorders, it has been investigated since the 1950s with no consensus on the mechanisms involved in this phenomenon [23].

Temporal masking is a phenomenon whereby the detection threshold of a sound stimulus is obscured by a masking sound (masker) presented before (forward masking) or after the stimulus (backward masking) [2,5]. Backward masking (BM) seems to be closely related to language disorders [13,14,24–26] because it would influence perception of the two stimuli presented in sequence, as in the case of coarticulation [4]. Additionally, evidence on the low involvement of peripheral processes [27], late maturation [28,29] and age-related difficulties [30] indicates that BM is more involved in central auditory function than forward masking.

A pilot study [31] demonstrated the feasibility and applicability of a clinical BM test (BMT) that analyzes the variation in interstimulus intervals (ISIs) rather than intensity, which is the focus of traditional psychoacoustic studies. The silent gaps between stimuli have been shown to be highly influential in BM and are inversely proportional to masking efficiency [4]; however, high-intensity maskers do not necessarily cause greater masking [32].

As such, this study presents a new version of the BMT aimed at assessing the effect of temporal masking. First, the test was applied to a population of adults with no auditory or cognitive disorders (normal adults—NA) in order to determine normative values. Next, the test was also applied to a population with abnormal auditory temporal processing tests (abnormal adults—AA) and older adults (OA) with no cognitive impairment, with a view to verifying the diagnostic accuracy of the proposed normative values. The AA group was chosen to test the cutoff points due to the shared behavioral, neurophysiological, and neuroanatomical correlates of the ATP tests [1,2,33], while the OA group was expected to perform worse at the BMT test due to a decline in general perceptual processing [34,35].

2. Materials & Methods

2.1. The BMT

The BMT was developed based on established information regarding temporal masking [4,32,36–40]. The test involves presenting a 20 ms long (10 ms onset/offset) pure tone (1000 Hz) and a 200 ms long narrowband masking noise (600 Hz to 1400 Hz), separated by one of eight possible intervals: 400, 200, 100, 50, 30, 20, 10 and 0 ms.

The test was produced digitally (WAV* format) using Sound Forge Pro 10.0[®] software (Sony Creative Software Inc., Middleton, WI, USA), and the tracks were recorded at a rate of 44,100 Hz and 16-bit resolution. The two stimuli (target sound and masker) were recorded on different channels so that each stimulus could be presented at different intensities, or the test could be performed in a monotic (both stimuli applied to the same ear) or dichotic format (one in each ear).

Two test tracks and one training track were recorded. The training track consisted of 15 items (i.e., presentation of a pure tone followed by a masker), for which only 20 to 400 ms ISIs were used. In the test tracks, each of the eight ISIs was presented 6 times, totaling 48 items. The tracks also contained another 12 items in which only the masker was presented (i.e., sham item), in order to control the reliability of the responses (Figure 1). The 60 items of the test tracks were randomly distributed, but in cycles that prioritized balanced distribution of the ISIs throughout the tracks. The items were preceded by narrations indicating the order of presentation/item number and presented at ~2.5-s intervals for an application time of around 5 min for each track.

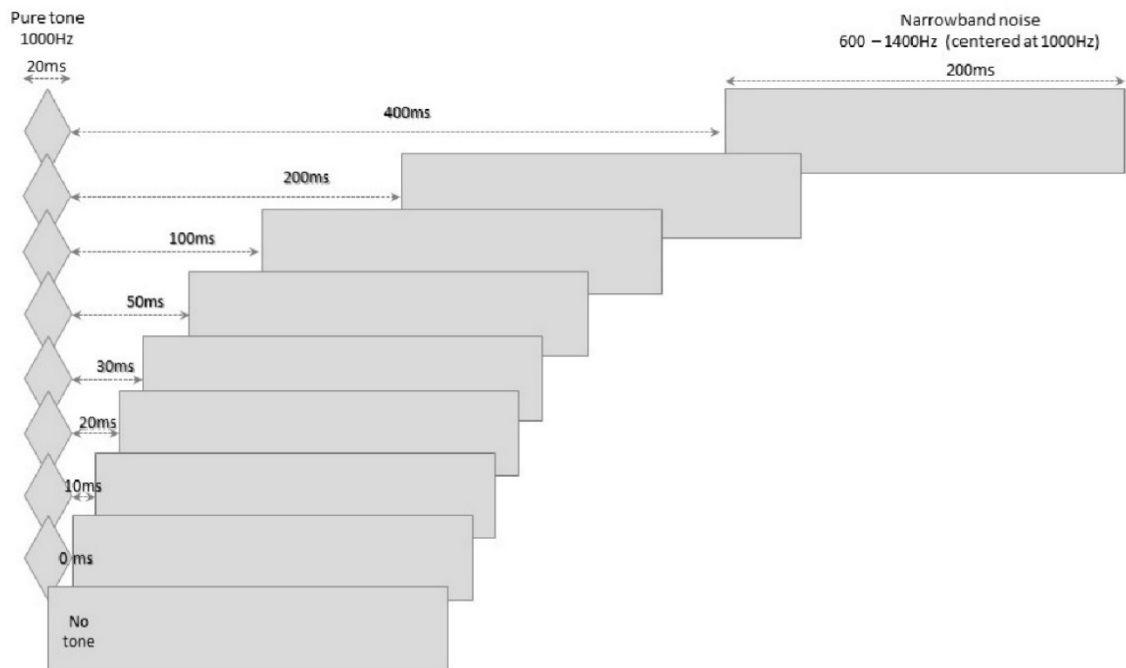


Figure 1. Representation of the stimuli and intervals of the backward masking test.

Test application involved monotic presentation (pure tone and masker in the same ear) in both ears. The masker was presented at a fixed intensity of 40 dB_{SL} (re: 1000 Hz threshold for each individual) and the tone was presented at an SNR of -20 and -30 dB. These ratios were chosen because they exhibited the lowest variability and smallest ceiling effect in the pilot study [31].

Participants were asked to press a button whenever they heard the pure tone. Responses were marked on a specific answer sheet (Annex S1), and the percentages of total correct responses for each ISI were calculated at the end. The results of the BMT were the percentage of correct responses (BMTP) and the shortest ISI in which the participant heard the pure tone most of the time (4/6 correct responses), that is, the target sound detection threshold (BMTT). The obtained results established the ISI in which the masker began to interfere in pure tone perception in normal adults, which was considered the normative threshold of the test.

2.2. Procedures

After providing written informed consent and answering a questionnaire on their health, hearing, and educational history, all of the volunteers were submitted to the following tests:

- (a) cognitive screening using the Brazilian version of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) protocol, with a score greater than or equal to 25 established as an inclusion criterion [41,42];
- (b) basic hearing assessment (pure-tone audiometry, tympanometry and acoustic reflexes measurement), with a type A tympanogram, the presence of ipsi- and contralateral acoustic reflexes and hearing thresholds between 250 and 8000 Hz below 20 dBHL as inclusion criteria;
- (c) behavioral assessment of ATP, using tests well established in clinical practice: the pitch pattern (PP; [43]), duration pattern (DP; [43]) and Gaps-in-Noise (GIN; [3]) tests, which assess temporal ordering and resolution. The tests were applied at an

- intensity of 50 dBSL, that is, 50 dB above the speech recognition threshold (SRT) of each individual;
- (d) the backward masking test (BMT) developed in the present study, as specified in the previous section.

The interview and MoCA (item a) were applied in a quiet room, whereas items b, c, and d were carried out with participants seated in a sound booth, using a Grason-Stadler GSI-61 audiometer and TDH-50 headset. The prerecorded tests (items c and d) were applied to both ears separately, using a digital file player (Tablet) coupled to the audiometer. It is important to note that the first ear tested was alternated for each new participant to ensure that any performance differences per ear were not due to familiarization with the test or tiredness.

2.3. Sample Characterization

For the standardization phase of the test, 43 adults aged between 18 and 40 years with no hearing or neurological deficits agreed to participate in the study. These individuals were family members or acquaintances of the researchers and/or employees and students at the university. They were invited to take part via flyers posted on bulletin boards, word of mouth, and social media posts. Twelve of these volunteers showed abnormal performance in both ears on at least one of the temporal processing tests applied (per item c above), or in at least one ear in more than two tests. Thus, only the data of 31 individuals (22 women) with an average age of 25.5 ± 5.9 years were used in this initial stage (NA group).

The data used in the second stage of the study, in addition to that of the NA group, were those of 12 young adults with abnormal ATP test results (AA group) and average age of 29.8 ± 6.2 years, and 17 older adults aged between 60 and 79 years (mean = 63.8 ± 4.9 years) (OA group). Besides an ATP deficit, all subjects in the AA group reported having hearing difficulties in tasks such as hearing in noise, following verbal instructions, and localizing sounds.

2.4. Results Analysis

The data were submitted to descriptive analysis by calculating measures of central tendency and dispersion. In order to investigate the presence of interactions between the effects of SNR, ear and ISI duration on performance in the BMT in the NA group, a generalized estimated equation (GEE) model considering a binomial negative distribution for the dependent variable (reverse-transformed number of hits), was built. To verify the effect of ear and SNRs on the BMTT and BMTP measures in the NA group, GEEs with inverse Gaussian distributions for the dependent variables (BMTT and reverse-transformed BMTP) were built. BMT measures were compared between the three study groups by generalized linear models (GzLM) considering a gamma distribution for BMTT and a normal distribution for BMTP, with post hoc analysis using *t*-tests with sequential Bonferroni correction for multiple comparisons. For the GEEs, independent covariance matrix structures were considered for the GEEs and log link functions were used for all generalized models. All analyses were conducted using generalized models due to their flexibility in dealing with data with non-normal and/or heteroscedastic distribution [44,45].

Efficacy indices in the diagnosis of central hearing disorders using the BMT were calculated based on the “mean minus/plus 2 standard deviations” method, recommended by the main clinical guidelines in auditory processing disorder [46–52], and on the 10/90th percentile method, which can also be used for standardization of central auditory tests [43,53,54]. Both methods of calculation of cutoff points encountered in the literature were chosen so as to verify which of them yielded the best diagnostic indices for the BMT. Finally, correlations between the BMT and other ATP tests were investigated via Pearson’s correlation test. A 5% significance level was adopted for all of the inferential analyses. The effect sizes observed in the analyses were classified according to Cohen [55].

3. Results

Overall performance per ISI in the NA group remained constant at longer intervals (100–400 ms) and declined as the intervals shortened, from 50 ms onwards, in both ears and at both SNRs. In the AA group, performance started to decline at 100 ms, and, in the OA group, the decline in performance could be seen as early as 200 ms. The difference between groups' performances per ISI became more pronounced as the ISIs shortened (Figure 2). For the NA group, there were no interactions between SNR, ear and ISI duration (SNR \times ear \times ISI: $\chi^2(7) = 11.414, p = 0.122$; ear \times ISI: $\chi^2(7) = 5.869, p = 0.555$; SNR \times ISI: $\chi^2(7) = 9.238, p = 0.236$; SNR \times ear: $\chi^2(1) = 0.166, p = 0.684$). However, differences were observed in the number of correct responses between ISIs, regardless of the SNR or ear assessed ($\chi^2(7) = 212.532, p < 0.001$), and between SNRs, regardless of the ISI or ear assessed ($\chi^2(1) = 4.697, p = 0.030$). In general, for the ISIs, there was a statistically significant difference ($p < 0.05$) between the longest (100–400) and shortest time intervals (20, 10 and 0 ms), with significantly worse performance in the latter. For the SNR, worse performance was observed at -30 dB in comparison to the -20 dB condition. No statistically significant effect was observed for the ear assessed ($\chi^2(1) = 0.912, p = 0.340$).

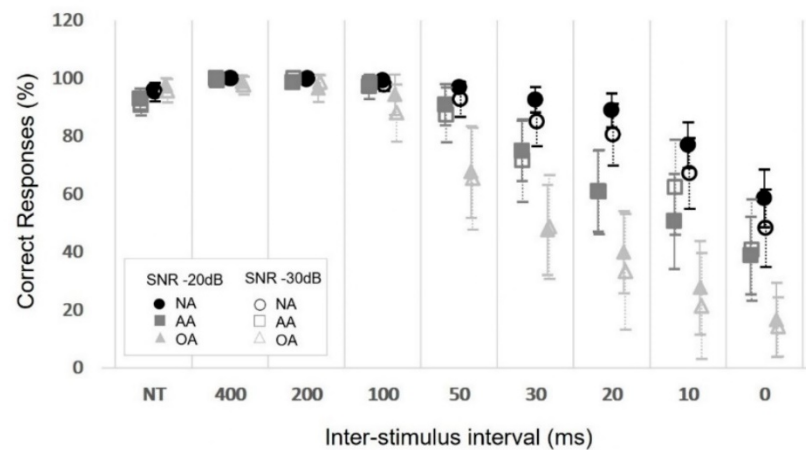


Figure 2. Distribution of the average number of correct responses per interstimulus interval for both SNRs in both ears for the three groups. SNR: signal-to-noise ratio; NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group; NT: no-tone. Error bar = 95% confidence interval.

Regarding BMTP and BMTT in the NA group, no significant effect of ear was observed for both measures (BMTP: $\chi^2(1) = 0.005, p = 0.945$; BMTT: $\chi^2(1) = 0.001, p = 0.978$), and a significant effect of SNR was observed for BMTT ($\chi^2(1) = 4.055, p = 0.044$), but not for BMTP ($\chi^2(1) = 2.651, p = 0.104$) (Table 1). Considering the general absence of an ear effect in the analyses so far, both ears were grouped into a single sample for all of the study groups.

Table 1. Descriptive statistics for performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) in the NA group for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR) and ear assessed.

	SNR (dB)	Ear	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum
BMTP	-20	Right	88.70	9.40	63.00	90.00	100
		Left	89.66	9.04	65.00	93.33	100
	-30	Right	87.85	10.34	55.00	88.33	100
		Left	85.86	11.39	61.67	87.50	100

Table 1. Cont.

	SNR (dB)	Ear	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum
BMTT	−20	Right	10.65	13.89	0	10	50
		Left	8.97	9.76	0	10	30
	−30	Right	13.55	20.58	0	10	100
		Left	18.33	20.07	0	10	50

BMTT: Percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SD: standard deviation.

Based on the distribution of participants according to test performance percentage, there was a slight shift in the distribution of results towards worse performance at SNR −30 dB for both BMTT and BMTT. However, performance in correct responses for most of the individuals in the NA group was equal to or greater than 80% at both ratios (SNR −20 dB: 85% of ears; SNR −30 dB: 82% of ears). Thresholds lower than or equal to 20 ms were recorded in 88% of ears at SNR −20 dB and 80% of ears at SNR −30 dB. Additionally, thresholds equal to or higher than 50 ms were obtained by only 3 and 14% of ears at SNRs of −20 and −30 dB, respectively. For the OA and AA groups, greater BMTT and BMTT variability was observed. In the AA group, 50% of ears had a BMTT of 80% or greater at both SNRs, while only 29 and 24% of ears in the OA group had a BMTT of 80% or greater at SNR −20 and −30 dB, respectively. Regarding BMTT, the AA group showed thresholds lower than or equal to 20 ms in 50% of ears at SNR −20 dB and in 60% of ears at SNR −30 dB, while thresholds equal to or higher than 50 ms were observed in 25 and 35% of ears in the respective conditions. For the OA group, these numbers were 29 and 35% of ears for thresholds lower than or equal to 20 ms and 53 and 65% of ears for thresholds equal to or higher than 50 ms (Figure 3).

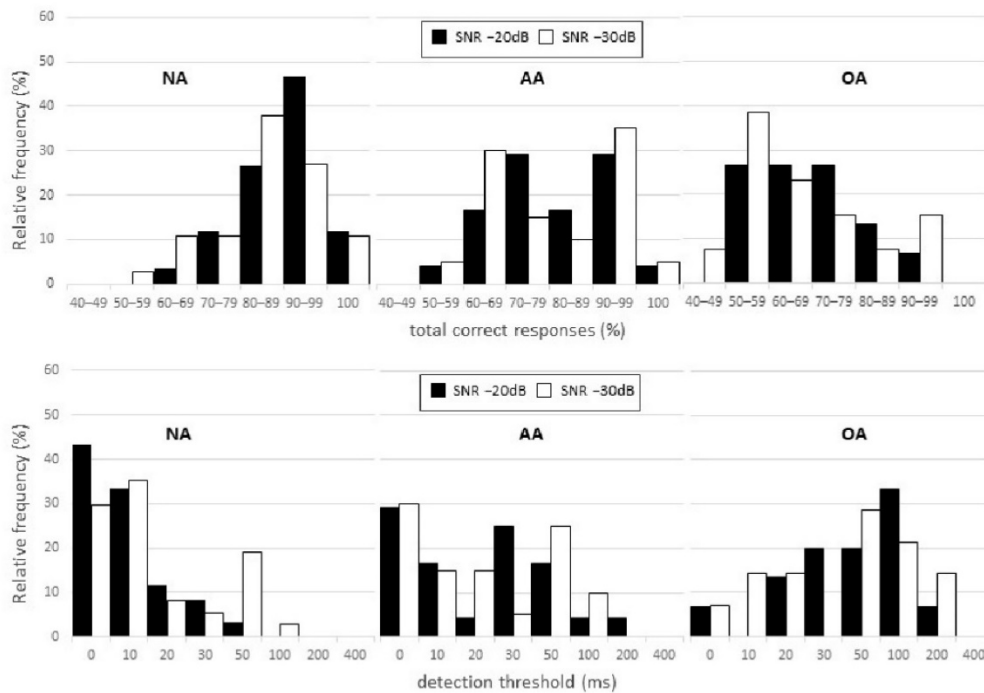


Figure 3. Distribution of the ears according to the percentage of correct responses (BMTT) and detection thresholds (BMTT) obtained in the backward masking test (BMT) for each signal-to-noise ratio (SNR). NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group.

Significant differences were observed between the groups regarding the mean values of the BMT measures (BMTP at SNR -20 dB: $\chi^2(2) = 35.485$; BMTT at SNR -20 dB: $\chi^2(2) = 34.466$; BMTP at SNR -30 dB: $\chi^2(2) = 33.956$; BMTT at SNR -30 dB: $\chi^2(2) = 33.573$, all p values < 0.001). In general, the average performance of the AA and OA groups was worse than that of the NA group. Additionally, the OA group performed worse than the AA group in the BMT test, except for BMTT at SNR -20 dB (Table 2).

Table 2. Descriptive statistics and comparison of performance in percentage of correct responses (BMTP) and target sound detection threshold (BMTT) for the three groups for the backward masking test (BMT), according to the signal-to-noise ratio (SNR).

SNR (dB)			Mean	SD	Minimum	Median	Maximum	p Value	
								AA/OA vs. NA	OA vs. AA
BMTP	-20	NA	89.16	9.16	63.00	90.80	100	–	–
		AA	80.61	13.33	55.00	80.82	100	0.003 *	–
		OA	70.98	14.22	51.66	70.00	96.66	<0.001 *	0.006 *
	-30	NA	87.12	10.66	55.00	88.33	100	–	–
		AA	80.23	14.81	56.66	81.66	100	0.040 *	–
		OA	66.47	16.01	45.00	61.66	93.33	<0.001 *	0.002 *
BMTT	-20	NA	9.83	12.00	0	10	50	–	–
		AA	30.83	43.43	0	25	200	0.014 *	–
		OA	58.24	52.11	0	50	200	0.013 *	0.138
	-30	NA	15.31	20.32	0	10	100	–	–
		AA	28.50	31.33	0	20	100	0.058	–
		OA	65.88	61.14	0	50	200	<0.001 *	0.001 *

*: statistically significant difference ($p < 0.05$) BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SD: standard deviation; vs.: versus; SNR: signal-to-noise ratio; NA: normal adults group; AA: abnormal adults group; OA: older adults group.

Based on data of the NA group, the values two standard deviations below or above the mean and at the 10 or 90th percentile were calculated to determine the best cutoff points for the test.

Considering mean minus two standard deviations, the cutoff points for BMTP were 70.81% for the SNR -20 dB and 65.80% for the SNR -30 dB, which approximately correspond to 43/60 (71.67%) and 40/60 (66.67%) correct responses, respectively. Regarding BMTT, the cutoff points using the mean plus two standard deviations method were 33.83 ms for the SNR -20 dB and 55.95 ms for the SNR -30 dB, corresponding approximately to the possible BMTTs of 30 and 50 ms, respectively.

By the 10/90th percentile method, the cutoff points for BMTP were 75.00 and 68.33% (45 and 41/60 correct responses) for the SNR -20 and -30 dB, respectively. For BMTT, the cutoff points were 30 and 50 ms.

Based on the diagnostic indices for the suggested cutoff points, the BMT was more efficient at differentiating between the NA and OA than the NA and AA groups. Moreover, SNR -30 dB was less efficient than SNR -20 dB in both comparisons. Differences between the two measures and between the two methods were minimal, with a slightly better performance of BMTP over BMTT and of two standards below the mean over 10/90th percentile (Table 3).

Table 3. Indices (%) of specificity, sensitivity, efficiency, positive, and negative predictive values of the backward masking test (BMT) for each testing condition, method of calculation, and comparison group.

	SNR (dB)	Method	Specificity (%)	Sensitivity (%)		PPV (%)		NPV (%)		Efficiency (%)	
				AA	OA	AA	OA	AA	OA	AA	OA
BMTP	−20	M − 2SD P	95	29	59	85	92	57	70	62	77
			93	38	59	84	89	60	69	66	76
	−30	M − 2SD P	94	30	59	83	91	57	70	62	76
			92	30	59	79	88	57	69	61	75
BMTT	−20	M + 2SD P	97	25	53	88	94	56	67	61	75
			97	25	53	88	94	56	67	61	75
	−30	M + 2SD P	98	10	35	83	95	52	60	54	67
			98	10	35	83	95	52	60	54	67

PPV = Positive predictive value; NPV = Negative predictive value; BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SNR: signal-to-noise ratio; M − 2SD: mean minus two standard deviations; M + 2SD: mean plus two standard deviations; P: percentile; AA: abnormal adults group; OA: older adults group.

Correlation with Other ATP Tests

Finally, a correlation analysis was performed with other ATP tests in a group containing all of the individuals assessed in this study (N = 60). There were low to moderate correlations between BMT and PPS and DPS test measures, as well as moderate to strong correlations between BMT and GIN test measures, indicating a significant degree of association between the performances of individuals in ATP tests (Table 4).

Table 4. Correlation coefficients between backward masking test (BMT) measures and performance in clinical auditory temporal processing tests for the total sample.

		GP	GT	PP	DP
BMTP (SNR −20 dB)	Coeff.	0.572	−0.545	0.289	0.355
	<i>p</i>	<0.001 *	<0.001 *	0.008 *	<0.001 *
BMTT (SNR −20 dB)	Coeff.	−0.549	0.486	−0.366	−0.211
	<i>p</i>	<0.001 *	<0.001 *	<0.001 *	0.039 *
BMTP (SNR −30 dB)	Coeff.	0.549	−0.510	0.421	0.419
	<i>p</i>	<0.001 *	<0.001 *	<0.001 *	<0.001 *
BMTT (SNR −30 dB)	Coeff.	−0.508	0.500	−0.403	−0.286
	<i>p</i>	<0.001 *	<0.001 *	<0.001 *	0.009 *

Coeff.: coefficient; *: $p < 0.05$; BMTP: percentage of correct responses in the BMT; BMTT: detection threshold in the BMT; SNR: signal-to-noise ratio; GP: Gaps-in-Noise test percentage; GT: Gaps-in-Noise test threshold; PP: pitch pattern test percentage; DP: duration pattern test percentage. Correlation analyses were carried out with both ears grouped into a single sample.

4. Discussion

The BMT was developed to assess the ability of the central auditory nervous system (CANS) to mitigate the detrimental effect of BM on signal detection by changing the interval between the target sound and masker rather than altering intensity. This effect is clearly visible in Figure 2, where, from an ISI of 50 ms onwards, performance declines and higher variability is observed. This result is in accordance with the literature, which reports that BM has a greater effect for intervals up to approximately 25 ms, when it begins to decline until almost null at around 100 ms [4]. The lack of differences between longer and intermediate intervals and the significantly worse performance at shorter intervals, with increasingly larger differences between them, indicates that this characteristic of BM is present in the BMT. Moreover, the more detrimental effect of BM observed in the BMT in groups that can be considered as having a less efficient CANS, such as older adults and

those with abnormal performance on well-established ATP tests, reinforces evidence that the test proposed in this study is a valid measure of BM. Correlations were observed with other ATP tests, demonstrating that the BMT does in fact assess an ATP phenomenon and further substantiating the construct validity of the test.

The BMT demonstrated worse diagnostic performance at the more difficult SNR, as observed in detection threshold analysis. There are reports in the literature that intensity has a far greater effect for forward masking than BM [56,57]. As such, the difference observed in the BMT can be explained by the fact that the procedure used to modify the SNR was to reduce tone intensity rather than increase noise intensity. Thus, at SNR -30 dB, the tone was presented at an intensity close to the hearing threshold of the individual for that tone, which may have resulted in greater uncertainty/indecision on the part of some participants, increasing the involvement of attention in executing the task. This hypothesis is supported by the greater variability observed in the groups at SNR -30 dB and participant distribution according to performance (Figure 3). Other studies [20,58] have reported the influence of attention in other auditory processing tests, including ATP tests, and indicate the need for these instruments to be able to differentiate it from central auditory function in order to obtain more accurate audiological diagnoses.

There were no differences between ears for the BMT in the present study. Thus, in order to shorten the application time of a battery of tests to assess CAPD, it is suggested that only one ear be evaluated. The BMT is already a rapid test. With a track duration of around 5 min, application of two test tracks and a training track means total duration is approximately 15 min. By applying the test to only one ear, it can be completed in only 10 min.

Around 80% of the ears of the NA group showed a percent correct of 80% or higher and detection threshold of 20 ms or shorter, with a greater concentration of ears in the 80–90% and 0 to 10 ms ranges. Although the detection threshold seems to suffer a ceiling effect, with around 40% of ears with a detection threshold of 0 ms, this effect seems to be much less pronounced in the percent correct, with around 10% of ears with a correct percentage of 100%. The absence of a ceiling effect is a desirable feature in a diagnostic test [59] and, regarding this point, the percent correct may be a less biased measure for the BMT.

The NA group performed significantly better and showed less variability than the AA and OA groups. Performance in the OA group was significantly worse at both SNRs, unlike AA participants, who did not exhibit a statistical difference in BMTT at SNR -30 dB. This raises two important points. First, a lower SNR should make it more difficult for the central nervous system to recover from the masking effect, especially in individuals characterized as having an auditory processing disorder. The similar performance among the young adults at SNR -30 dB may be an indication that factors other than ATP played an important role in performance. As previously mentioned, uncertainty and attention may have been more important at SNR -30 dB than SNR -20 dB. These observations, combined with the fact that the diagnostic analyses demonstrated worse performance for the test at SNR -30 dB, suggest that it should be applied at SNR -20 dB. Regarding the use of BMTT and BMTP, although BMTP had a better diagnostic accuracy, this difference was minimal, and future studies should investigate which measure best represents an individual's ATP skills.

A second point regarding performance among the groups is that the older adults exhibited a statistically significant difference in relation to both groups of young adults, as observed in other studies that assessed the detrimental effect of BM in this age range [30]. Research has demonstrated that aging has a negative effect on information processing as a whole [34,35]. The clear difference between young and older adults might be an indication of this decline in general processing and not only in ATP. Specific standardization for older adults is suggested in order to evaluate the role of auditory processing in the performance of this population for BM.

The absence of a gold standard population for auditory processing disorders (neurological changes associated with the temporal cortex) is a limitation of the present study. The

standardization proposed here considered the performance of young adults with abnormal ATP and older adults, individuals with high heterogeneity who do not constitute clinical populations per se. A second limitation refers to the choice to group both ears of each group. Although this procedure might have compromised the p-values calculated in the present study due to a possible violation of the assumption of independence of observations, it may be an interesting move in order to reduce the number of measures to be analyzed in clinical practice and to increase statistical power of the sample. It is also worth noting that grouping the ears together is a data analysis procedure used in other studies in the audiology field (e.g., [60–64]). Another limitation might be the predominance of female subjects in our sample, although previous research found no difference between genders regarding BMT performance [31].

The cutoff values with the best diagnostic indices for the SNR -20 dB were 75.00% correct responses and 30 milliseconds, both calculated through the 10/90th percentile method. At these values, 59 and 38% of ears among the older adults and those with abnormal ATP, respectively, showed abnormal performance for the total percentage of correct answers, while only 7% of normal individuals performed abnormally. In analysis based on the target sound detection threshold, abnormal performance was observed in 53 and 25% of ears among the group of older adults and those with ATP alterations, respectively, and only 3% in the NA group. Although sensitivity values (i.e., true-positive rate) are considerably low, probably due to the lack of a more adequate abnormal population (e.g., individuals with neurological disorders), specificity values (i.e., true-negative rate) are very good [65]. In other words, a “normal” individual has a high probability of performing within normal limits in the BMT, while an abnormal performance is a strong indicator of abnormal CANS function.

It is important to underscore that these diagnostic indices were obtained only for the BMT. Since auditory processing disorders are evaluated in a battery of tests, diagnosis depends on the performance of the individual in different tests. Future studies should be performed to determine the diagnostic indices of a battery of tests that includes the BMT, preferably using individuals with neurological lesions. The correlations between the BMT and other ATP tests indicate that its association with other tests tends to enhance its diagnostic value [66]. Additionally, another relevant part of the validation process of a new clinical tool is the evaluation of test-retest reliability, which should be addressed in future studies using the BMT. Finally, new studies should investigate other populations’ performance in the BMT, such as children, musicians, and individuals with language or speech disorders.

5. Conclusions

This study produced a test to assess the effect of BM, an essential part of the auditory processing of speech. The results of the test support the theory regarding BM. Moreover, the test is quick and easy to apply and can be used in only one ear with an SNR of -20 dB. The normative values suggested were 75.00% for performance based on percentage of correct responses and 30 milliseconds for the detection threshold. Based on the proposed cutoff values, the BMT was shown to have considerable potential in demonstrating adequate ATP in normal individuals, while an abnormal result is a strong indicator of ATP disorder.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/jcm11174933/s1>, Annex S1: Backward Masking Test answer sheet.

Author Contributions: Conceptualization, R.F., F.E.M., E.S.; methodology, R.F., F.E.M., E.S.; formal analysis, R.F., C.A.L.F.; investigation, R.F., G.M.S.B.B.; resources, E.S.; data curation, R.F., G.M.S.B.B., C.A.L.F.; writing—original draft preparation, R.F., C.A.L.F., G.M.S.B.B., E.S.; writing—review and editing R.F., C.A.L.F., F.E.M., E.S.; supervision, E.S.; funding acquisition, R.F., G.M.S.B.B., E.S., C.A.L.F. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (2012/20086-4, 2014/25259-0, and 2019/13817-1). The APC was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (2019/13817-1).

Institutional Review Board Statement: This work was approved by the Research Ethics Committee of the Hospital das Clínicas, Medical School, the University of São Paulo under protocol number 1.912.849.

Informed Consent Statement: Before participation in the study, all participants signed a written consent form with detailed information about the aim and the protocols of the study. The informed consent form was also approved by the Research Ethics Committee.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to ethical issues.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Eggermont, J.J. *Auditory Temporal Processing and Its Disorders*, 1st ed.; Oxford University: Oxford, UK, 2015.
2. Shinn, J.B. Temporal Processing: The Basics. *Hear. J.* **2003**, *56*, 52. [[CrossRef](#)]
3. Musiek, F.E.; Shinn, J.B.; Jirsa, R.; Bamiou, D.-E.; Baran, J.A.; Zaida, E. GIN (Gaps-In-Noise) Test Performance in Subjects with Confirmed Central Auditory Nervous System Involvement. *Ear Hear.* **2005**, *26*, 608–618. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Shinn, J.B. Temporal Processing Tests. In *Handbook of Central Auditory Processing Disorder: Auditory Neuroscience and Diagnosis*; Musiek, F.E., Chermak, G.D., Eds.; Plural Publishing: San Diego, CA, USA, 2014; pp. 405–434.
5. Musiek, F.E.; Chermak, G.D. Psychophysical and Behavioral Peripheral and Central Auditory Tests. *Handb Clin. Neurol.* **2015**, *129*, 313–332. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Tallal, P. Improving Language and Literacy Is a Matter of Time. *Nat. Rev. Neurosci.* **2004**, *5*, 721–728. [[CrossRef](#)]
7. Hämäläinen, J.A.; Salminen, H.K.; Leppänen, P.H.T. Basic Auditory Processing Deficits in Dyslexia. *J. Learn. Disabil.* **2013**, *46*, 413–427. [[CrossRef](#)]
8. Tierney, A.; Kraus, N. Auditory-Motor Entrainment and Phonological Skills: Precise Auditory Timing Hypothesis (PATH). *Front. Hum. Neurosci.* **2014**, *8*, 949. [[CrossRef](#)]
9. Cancer, A.; Antonietti, A. Music-Based and Auditory-Based Interventions for Reading Difficulties: A Literature Review. *Heliyon* **2022**, *8*, e09293. [[CrossRef](#)]
10. McArthur, G.M.; Bishop, D.V.M. Speech and Non-Speech Processing in People with Specific Language Impairment: A Behavioural and Electrophysiological Study. *Brain Lang.* **2005**, *94*, 260–273. [[CrossRef](#)]
11. Fortunato-Tavares, T.; Rocha, C.N.; de Andrade, C.R.F.; Befi-Lopes, D.M.; Schochat, E.; Hestvik, A.; Schwartz, R.G. Linguistic and Auditory Temporal Processing in Children with Specific Language Impairment. *Pró-Fono Rev. Atualização Científica* **2009**, *21*, 279–284. [[CrossRef](#)]
12. Batista, P.B.; Lemos, S.M.A.; Rodrigues, L.O.C.; de Rezende, N.A. Auditory Temporal Processing Deficits and Language Disorders in Patients with Neurofibromatosis Type 1. *J. Commun. Disord.* **2014**, *48*, 18–26. [[CrossRef](#)]
13. Wright, B.A.; Lombardino, L.J.; King, W.M.; Puranik, C.S.; Leonard, C.M.; Merzenich, M.M. Deficits in Auditory Temporal and Spectral Resolution in Language-Impaired Children. *Nature* **1997**, *387*, 176–178. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Tierney, A.T.; Kraus, N. The Ability to Tap to a Beat Relates to Cognitive, Linguistic, and Perceptual Skills. *Brain Lang.* **2013**, *124*, 225–231. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Basu, S.; Schlauch, R.S.; Sasisekaran, J. Backward Masking of Tones and Speech in People Who Do and Do Not Stutter. *J. Fluency Disord.* **2018**, *57*, 11–21. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Lotfi, Y.; Dastgerdi, Z.H.; Farazi, M.; Moossavi, A.; Bakhshi, E. Auditory Temporal Processing Assessment in Children with Developmental Stuttering. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **2020**, *132*, 109935. [[CrossRef](#)]
17. Nittroer, S.; Shune, S.; Lowenstein, J.H. What Is the Deficit in Phonological Processing Deficits: Auditory Sensitivity, Masking, or Category Formation? *J. Exp. Child Psychol.* **2011**, *108*, 762–785. [[CrossRef](#)]
18. Vandewalle, E.; Boets, B.; Ghesquière, P.; Zink, I. Auditory Processing and Speech Perception in Children with Specific Language Impairment: Relations with Oral Language and Literacy Skills. *Res. Dev. Disabil.* **2012**, *33*, 635–644. [[CrossRef](#)]
19. Boets, B.; Vandermosten, M.; Poelmans, H.; Luts, H.; Wouters, J.; Ghesquière, P. Preschool Impairments in Auditory Processing and Speech Perception Uniquely Predict Future Reading Problems. *Res. Dev. Disabil.* **2011**, *32*, 560–570. [[CrossRef](#)]
20. Tomlin, D.; Dillon, H.; Sharma, M.; Rance, G. The Impact of Auditory Processing and Cognitive Abilities in Children. *Ear Hear.* **2015**, *36*, 527–542. [[CrossRef](#)]
21. Neijenhuis, K.; Campbell, N.G.; Cromb, M.; Luinge, M.R.; Moore, D.R.; Rosen, S.; de Wit, E. An Evidence-Based Perspective on “Misconceptions” Regarding Pediatric Auditory Processing Disorder. *Front. Neurol.* **2019**, *10*, 287. [[CrossRef](#)]
22. Back, N.C.F.; Crippa, A.C.D.S.; Riechi, T.I.J.D.S.; Pereira, L.D. Central Auditory Processing and Cognitive Functions in Children. *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* **2022**, *26*, e020–e031. [[CrossRef](#)]
23. Samelli, A.G.; Schochat, E. Processamento Auditivo, Resolução Temporal e Teste de Detecção de Gap: Revisão da Literatura. *Rev. CEFAC* **2008**, *10*, 369–377. [[CrossRef](#)]
24. Marler, J.A.; Champlin, C.A.; Gillam, R.B. Auditory Memory for Backward Masking Signals in Children with Language Impairment. *Psychophysiology* **2002**, *39*, 767–780. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

25. Montgomery, C.R.; Morris, R.D.; Sevcik, R.A.; Clarkson, M.G. Auditory Backward Masking Deficits in Children with Reading Disabilities. *Brain Lang.* **2005**, *95*, 450–456. [CrossRef] [PubMed]
26. Howell, P.; Rosen, S.; Hannigan, G.; Rustin, L. Auditory Backward-Masking Performance by Children Who Stutter and Its Relation to Dysfluency Rate. *Percept. Mot. Skills* **2000**, *90*, 355–363. [CrossRef]
27. MacDonald, J.A. Using the Ideal Observer to Predict Performance in Perceptual Tasks: An Example from the Auditory Temporal Masking Domain. *Atten. Percept. Psychophys.* **2011**, *73*, 2639–2648. [CrossRef] [PubMed]
28. Mattingly, M.M.; Donell, B.M.; Rosen, M.J. Late Maturation of Backward Masking in Auditory Cortex. *J. Neurophysiol.* **2018**, *120*, 1558–1571. [CrossRef] [PubMed]
29. Porter, H.L.; Spitzer, E.R.; Buss, E.; Leibold, L.J.; Grose, J.H. Forward and Backward Masking of Consonants in School-Age Children and Adults. *J. Speech Lang. Hear. Res.* **2018**, *61*, 1807–1814. [CrossRef] [PubMed]
30. Grose, J.H.; Menezes, D.C.; Porter, H.L.; Griz, S. Masking Period Patterns and Forward Masking for Speech-Shaped Noise. *Ear Hear.* **2016**, *37*, 48–54. [CrossRef]
31. Filippini, R.; Schochat, E. A New Paradigm for Temporal Masking Assessment: Pilot Study. *CoDAS* **2014**, *26*, 302–307. [CrossRef]
32. Rishiq, D.A.; Harkrider, A.W.; Hedrick, M.S. Acceptable Noise Level and Psychophysical Masking. *Am. J. Audiol.* **2012**, *21*, 199–205. [CrossRef]
33. Carcagno, S.; Plack, C.J. Relations between Speech-reception, Psychophysical Temporal Processing, and Subcortical Electrophysiological Measures of Auditory Function in Humans. *Hear. Res.* **2022**, *417*, 108456. [CrossRef] [PubMed]
34. Strait, D.L.; Kraus, N. Biological Impact of Auditory Expertise across the Life Span: Musicians as a Model of Auditory Learning. *Hear. Res.* **2014**, *308*, 109–121. [CrossRef]
35. Livingston, G.; Sommerlad, A.; Orgeta, V.; Costafreda, S.G.; Huntley, J.; Ames, D.; Ballard, C.; Banerjee, S.; Burns, A.; Cohen-Mansfield, J.; et al. Dementia Prevention, Intervention, and Care. *Lancet* **2017**, *390*, 2673–2734. [CrossRef]
36. Elliott, L.L. Development of Auditory Narrow-Band Frequency Contours. *J. Acoust. Soc. Am.* **1967**, *42*, 143–153. [CrossRef] [PubMed]
37. Elliott, L.L. Backward and Forward Masking of Probe Tones of Different Frequencies. *J. Acoust. Soc. Am.* **1962**, *34*, 1116–1117. [CrossRef]
38. Elliott, L.L. Backward Masking: Monotic and Dichotic Conditions. *J. Acoust. Soc. Am.* **1962**, *34*, 1108–1115. [CrossRef]
39. Soderquist, D.R.; Carstens, A.A.; Frank, G.J. Backward, Simultaneous, and Forward Masking as a Function of Signal Delay and Frequency. *J. Audit. Res.* **1981**, *21*, 227–245.
40. Gelfand, S.A. *Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics*, 6th ed.; CRC: Boca Raton, FL, USA, 2018.
41. Nasreddine, Z.S.; Phillips, N.A.; Bédirian, V.; Charbonneau, S.; Whitehead, V.; Collin, I.; Cummings, J.L.; Chertkow, H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2005**, *53*, 695–699. [CrossRef]
42. Memória, C.M.; Yassuda, M.S.; Nakano, E.Y.; Forlenza, O.V. Brief Screening for Mild Cognitive Impairment: Validation of the Brazilian Version of the Montreal Cognitive Assessment. *Int. J. Geriatr. Psychiatry* **2013**, *28*, 34–40. [CrossRef]
43. Musiek, F.E. Frequency (Pitch) and Duration Pattern Tests. *J. Am. Acad. Audiol.* **1994**, *5*, 265–268.
44. Nelder, J.A.; Wedderburn, R.W.M. Generalized Linear Models. *J. R. Stat. Soc. Ser. A* **1972**, *135*, 370. [CrossRef]
45. Ng, V.K.Y.; Cribbie, R.A. Using the Gamma Generalized Linear Model for Modeling Continuous, Skewed and Heteroscedastic Outcomes in Psychology. *Curr. Psychol.* **2017**, *36*, 225–235. [CrossRef]
46. AAA (American Academy of Audiology). Clinical Practice Guidelines: Diagnosis, Treatment and Management of Children and Adults with Central Auditory Processing Disorder. Available online: https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/CAPDGuidelines8-2010.pdf_539952af956c79.73897613.pdf (accessed on 26 March 2020).
47. ASHA (American Speech-Language-Hearing Association). Central Auditory Processing Disorder (Practice Portal). Available online: www.asha.org/Practice-Portal/Clinical-Topics/Central-Auditory-Processing-Disorder/ (accessed on 12 March 2021).
48. BSA (British Society of Audiology). Practice Guidance—An Overview of Current Management of Auditory Processing Disorder (APD). Available online: http://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2014/04/BSA_APD_Management_1Aug11_FINAL_amended17Oct11.pdf (accessed on 12 March 2021).
49. BSA (British Society of Audiology). Position Statement and Practice Guidance—Auditory Processing Disorder (APD). Available online: www.thebsa.org (accessed on 12 March 2021).
50. Nickisch, A.; Kiese-Himmel, C.; Wiesner, T.; Schönweiler, R. Guideline: Auditory Processing and Perception Disorders: Differential Diagnosis: S1 Guideline of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology. *HNO* **2019**, *67*, 576–583. [CrossRef]
51. Iliadou, V. (Vivian); Ptok, M.; Grech, H.; Pedersen, E.R.; Brechmann, A.; Deggouj, N.; Kiese-Himmel, C.; Śliwińska-Kowalska, M.; Nickisch, A.; Demanez, L.; et al. A European Perspective on Auditory Processing Disorder—Current Knowledge and Future Research Focus. *Front. Neurol.* **2017**, *8*, 622. [CrossRef]
52. Keith, W.J.; Purdy, S.C.; Baily, M.R.; Kay, F.M. New Zealand Guidelines on Auditory Processing Disorder. Available online: <https://www.audiology.org.nz/> (accessed on 12 March 2021).
53. Neijenhuis, K.A.; Stollman, M.H.; Snik, A.F.; Van der Broek, P. Development of a Central Auditory Test Battery for Adults. *Audiology* **2001**, *40*, 69–77. [CrossRef]
54. Demanez, L.; Demanez, J.P. Central Auditory Processing Assessment. *Acta Otorhinolaryngol. Belg.* **2003**, *57*, 243–252.
55. Cohen, J. A Power Primer. *Psychol. Bull.* **1992**, *112*, 155–159. [CrossRef]

56. Hartley, D.E.H.; Moore, D.R. Auditory Processing Efficiency Deficits in Children with Developmental Language Impairments. *J. Acoust. Soc. Am.* **2002**, *112*, 2962–2966. [[CrossRef](#)]
57. Moore, D.R. Listening Difficulties in Children: Bottom-up and Top-down Contributions. *J. Commun. Disord.* **2012**, *45*, 411–418. [[CrossRef](#)]
58. Ahmmed, A.U.; Ahmmed, A.A.; Bath, J.R.; Ferguson, M.A.; Plack, C.J.; Moore, D.R. Assessment of Children with Suspected Auditory Processing Disorder. *Ear Hear.* **2014**, *35*, 295–305. [[CrossRef](#)]
59. Uttl, B. Measurement of Individual Differences: Lessons from Memory Assessment in Research and Clinical Practice. *Psychol. Sci.* **2005**, *16*, 460–467. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
60. Leite Filho, C.A.; da Silva, F.F.; Pradella-Hallinan, M.; Xavier, S.D.; Miranda, M.C.; Pereira, L.D. Auditory Behavior and Auditory Temporal Resolution in Children with Sleep-Disordered Breathing. *Sleep Med.* **2017**, *34*, 90–95. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
61. Rabelo, C.M.; Weihing, J.A.; Schochat, E. Temporal Resolution in Individuals with Neurological Disorders. *Clinics* **2015**, *70*, 606–611. [[CrossRef](#)]
62. Matas, C.G.; Padilha, F.Y.O.; Angrisani, R.M.; Samelli, A.G. Oxidative Stress as a Risk Factor for Hearing Changes in HIV-Positive Normal Listeners. *Clinics* **2020**, *75*, e1845. [[CrossRef](#)]
63. Said, E.A. Electrophysiological Differences in Sensorineural Hearing Loss Patients with and without Problem-Tinnitus. *Egypt. J. Otolaryngol.* **2012**, *28*, 22–34. [[CrossRef](#)]
64. De Carvalho, N.G.; do Amaral, M.I.R.; Colella-Santos, M.F. AudBility: Effectiveness of an Online Central Auditory Processing Screening Program. *PLoS ONE* **2021**, *16*, e0256593. [[CrossRef](#)]
65. Power, M.; Fell, G.; Wright, M. Principles for High-Quality, High-Value Testing. *Evid. Based. Med.* **2013**, *18*, 5–10. [[CrossRef](#)]
66. Musiek, F.E.; Chermak, G.D.; Weihing, J.; Zappulla, M.; Nagle, S. Diagnostic Accuracy of Established Central Auditory Processing Test Batteries in Patients with Documented Brain Lesions. *J. Am. Acad. Audiol.* **2011**, *22*, 342–358. [[CrossRef](#)]

ANEXO K – Artigo publicado 2: versão original



OPEN ACCESS

EDITED BY
Robert J. Zatorre,
McGill University,
Canada

REVIEWED BY
Philippe Albouy,
Laval University,
Canada
Seung-Goo Kim,
Max Planck Society,
Germany

*CORRESPONDENCE
Carlos Alberto Leite Filho
✉ calfilho@usp.br

†These authors have contributed equally to this work and share last authorship

SPECIALTY SECTION
This article was submitted to
Auditory Cognitive Neuroscience,
a section of the journal
Frontiers in Neuroscience

RECEIVED 26 January 2023
ACCEPTED 27 March 2023
PUBLISHED 17 April 2023

CITATION
Leite Filho CA, Rocha-Muniz CN,
Pereira LD and Schochat E (2023) Auditory
temporal resolution and backward masking in
musicians with absolute pitch.
Front. Neurosci. 17:1151776.
doi: 10.3389/fnins.2023.1151776

COPYRIGHT
© 2023 Leite Filho, Rocha-Muniz, Pereira and
Schochat. This is an open-access article
distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The
use, distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the original
author(s) and the copyright owner(s) are
credited and that the original publication in this
journal is cited, in accordance with accepted
academic practice. No use, distribution or
reproduction is permitted which does not
comply with these terms.

Auditory temporal resolution and backward masking in musicians with absolute pitch

Carlos Alberto Leite Filho^{1*}, Caroline Nunes Rocha-Muniz²,
Liliane Desgualdo Pereira^{3†} and Eliane Schochat^{1†}

¹Auditory Processing Lab, Department of Physical Therapy, Speech-Language Pathology and Occupational Therapy, School of Medicine, University of São Paulo, São Paulo, Brazil, ²Speech-Language Pathology Department, Santa Casa de São Paulo School of Medical Sciences, São Paulo, Brazil, ³Neuroaudiology Lab, Department of Speech Therapy, Paulista School of Medicine, Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Among the many questions regarding the ability to effortlessly name musical notes without a reference, also known as absolute pitch, the neural processes by which this phenomenon operates are still a matter of debate. Although a perceptual subprocess is currently accepted by the literature, the participation of some aspects of auditory processing still needs to be determined. We conducted two experiments to investigate the relationship between absolute pitch and two aspects of auditory temporal processing, namely temporal resolution and backward masking. In the first experiment, musicians were organized into two groups according to the presence of absolute pitch, as determined by a pitch identification test, and compared regarding their performance in the Gaps-in-Noise test, a gap detection task for assessing temporal resolution. Despite the lack of statistically significant difference between the groups, the Gaps-in-Noise test measures were significant predictors of the measures for pitch naming precision, even after controlling for possible confounding variables. In the second experiment, another two groups of musicians with and without absolute pitch were submitted to the backward masking test, with no difference between the groups and no correlation between backward masking and absolute pitch measures. The results from both experiments suggest that only part of temporal processing is involved in absolute pitch, indicating that not all aspects of auditory perception are related to the perceptual subprocess. Possible explanations for these findings include the notable overlap of brain areas involved in both temporal resolution and absolute pitch, which is not present in the case of backward masking, and the relevance of temporal resolution to analyze the temporal fine structure of sound in pitch perception.

KEYWORDS

temporal resolution, backward masking, absolute pitch, auditory temporal processing, music, auditory perception, hearing tests

1. Introduction

Absolute pitch (AP) is commonly defined as the ability to identify the pitch of a musical note without external reference. Most humans identify musical pitches more relatively than absolutely. However, musicians with highly developed AP can do so in an absolute and effortless way, similar to the process of identifying colors (Takeuchi and Hulse, 1993; Deutsch, 2013).

AP presents a unique set of features that has intrigued scientists for over a century, like better pitch identification for piano tones over synthetic, violin, and voice tones (Miyazaki, 1989; Marvin and Brinkman, 2000; Schlemmer et al., 2005; Vanzella and Schellenberg, 2010) and discrepancies of pitch identification between octaves (Miyazaki, 1989). Besides that, AP shows numerous associations with non-musical phenomena, including more autistic traits among individuals with better pitch identification ability (Dohn et al., 2012), larger auditory working memory span in musicians with AP (Deutsch and Dooley, 2013), shared neural substrates between AP and synesthesia (Loui et al., 2012a), and higher occurrence of AP in speakers of tone languages (Deutsch et al., 2006, 2009).

The genesis of AP is still a matter of debate. The “critical period hypothesis” argues that AP emerges from early exposure to musical training during childhood. Evidence supporting this hypothesis shows that musicians with earlier onset of musical training also perform better at pitch identification tasks (Gregersen et al., 1999; Deutsch et al., 2006, 2009; Vanzella and Schellenberg, 2010; Leite et al., 2016), and young children outperform adults in pitch identification tasks after only 3 weeks of training (Russo et al., 2003). The “genetic hypothesis” states that AP is a genetically determined trait, and studies have pointed to genes associated with AP (Theusch et al., 2009; Gregersen et al., 2013) and to a higher prevalence of high-performance AP among twins in comparison to non-twins (Theusch and Gitschier, 2011; Bairnsfather et al., 2022a). Finally, although initially disregarded, the “practice hypothesis” gained attention from the scientific community with recent studies showing that, with intensive training, some adults are capable of reaching an extraordinarily high and long-lasting precision at identifying pitches, comparable to musicians with “naturally” high AP ability (Van Hedger et al., 2019; Wong et al., 2020a, 2020b). Considered alone, however, these hypotheses fail to fully explain the characteristic variance observed in AP, thus reinforcing the notion that this phenomenon most likely arises from the interaction between genetic and environmental factors (Zatorre, 2003; Bermudez and Zatorre, 2009a; Szyfter and Witt, 2020).

Whether AP is an all-or-none ability or a continuum is an unresolved issue. Researchers proposing that AP is an all-or-none ability have used different cut-off points in different parameters of pitch identification tasks, such as hit rate, reaction time, deviation from the original note, and the number of timbres tested. This results in pronounced methodological heterogeneity and difficulty comparing studies (Sergeant and Vranka, 2014; Germano et al., 2016; Bairnsfather et al., 2022b). Others reject that notion and place AP in the “continuum feature” category (Schellenberg and Trehub, 2003; Vitouch, 2003; Gußmack et al., 2006; Chavarria-Soley, 2016; Leite et al., 2016; Jakubowski et al., 2017).

The processes by which AP operates are also an open question. The cognitive model proposes that AP is based mainly on cognitive processes, namely long-term pitch memory and the association of these pitches to verbal labels (Levitin, 1994; Levitin and Rogers, 2005). On the other hand, the perceptual model presents AP as the product of a unique capability of mental categorization of musical notes. This phenomenon is a byproduct of improved auditory perception and its association with pitch labeling (Siegel, 1974; Zatorre, 2003).

The dual-stream model for auditory processing may be used to unify both mechanisms that seek to explain AP. In that sense, cognitive and perceptual processes, mediated by dorsal and ventral streams,

respectively, act as complementary subprocesses on AP (Elmer et al., 2015; Leopold et al., 2019a).

The perceptual subprocess, or the role of auditory processing in AP, is very complex and needs further investigation. Many studies approach it through behavioral, electrophysiological, and neuroimaging techniques, sometimes with conflicting results (Kim and Knösche, 2017a).

From a behavioral perspective, evidence shows that pitch identification is more precise for iterated rippled noise, which provides temporal cues for pitch processing in the auditory pathway, than for narrow band noise, in which pitch information resides primarily on place cues (Fujisaki and Kashino, 2005). Another study showed that musicians with high precision AP were more efficient in identifying speech syllables in an automated, bottom-up task than musicians with low performance in a pitch identification task (Masataka, 2011). In a recent study, frequency resolution predicted performance at pitch labeling (Reis et al., 2021). However, other studies found no evidence of a correlation between AP and enhanced auditory skills, like temporal, spatial, and frequency resolutions (Fujisaki and Kashino, 2002; McKetton et al., 2019). Thus, among the many aspects involved in auditory perception, the relationship between temporal processing and AP still needs to be clarified.

Temporal processing refers to the perception of sound and its changes in a defined time domain, and since sound is essentially a physical event distributed in time, one can assume that temporal processing plays a role in most auditory processing skills (Phillips, 1999; Shinn, 2003).

Temporal resolution, one of the mechanisms involved in temporal processing, can be defined as the shortest time needed to discriminate between two auditory signals (Shinn, 2003). Traditionally, temporal resolution has been assessed through gap detection tasks, in which subjects must indicate whenever they perceive a short silent interval during a continuous auditory stimulus (Phillips et al., 1997; Phillips, 1999; Musiek and Chermak, 2015). Since detecting temporal gaps depends on representing such events along the auditory pathway, lower gap detection thresholds indicate higher temporal precision in neural activity (Phillips, 1999).

Backward masking is another auditory phenomenon linked to the temporal perception of sound (Shinn, 2003). In backward masking, the hearing threshold of a stimulus, usually a tone, is modified by a subsequent stimulus, usually a noise (Musiek and Chermak, 2015). Individuals with a central auditory nervous system (CANS) with higher temporal precision are expected to present lower masking efficiency of the noise over the tone previously presented.

Both temporal resolution and backward masking are linked to the processing of sounds by the CANS, especially the primary auditory cortex (Hartley et al., 2000; Musiek et al., 2005; MacDonald, 2011; Moore et al., 2011; Arnal et al., 2015; Eggermont, 2015), which is also closely associated with AP ability (Wengenroth et al., 2014; Kim and Knösche, 2016, 2017b; Brauchli et al., 2019; Burkhard et al., 2019; McKetton et al., 2019). Additionally, temporal processing is well established as a crucial component for pitch perception (Moore, 2008; Oxenham, 2012), further strengthening the hypothesis that temporal resolution and backward masking may play a role in AP.

In the present study, we conducted two experiments to verify whether musicians with AP showed distinct temporal processing, specifically in temporal resolution and backward masking domains. In the first experiment, musicians with and without AP completed a

gap detection test. In the second experiment, we investigated the performance of musicians with and without AP in a backward masking test. We hypothesized that if auditory temporal processing plays a role in the perceptual subprocess of AP, then higher AP ability will be associated with enhanced performance in both experiments.

2. Experiment 1

In this experiment, we investigated the relationship between temporal resolution and AP by comparing musicians with and without AP (AP and Non-AP groups, respectively) regarding their performance at the Gaps-in-Noise (GIN) test, a clinical tool for assessing gap detection.

2.1. Materials and methods

2.1.1. Subjects

The sample comprised 19 Brazilian young adult musicians without outer ear abnormalities and tonal auditory thresholds within normal limits [0–20 dB; 0.25–8 kHz (Loyd and Kaplan, 1978)] on both ears, as well as normal speech discrimination in silence (speech discrimination index $\geq 88\%$ [Thornton and Raffin, 1978]). All participants had no signs or symptoms of neurological, psychiatric, motor, language, learning, or auditory disorders. In addition, they were native speakers of Brazilian Portuguese, and none had contact with tone languages.

All subjects completed a pitch identification test described with greater detail elsewhere (Keenan et al., 2001; Loui et al., 2011). The test consisted of 13 sine wave stimuli with fundamental frequencies matching those of the 13 pitches between F#3 and F#4 in the equal-tempered Western scale. Each stimulus was presented binaurally four times, totaling 52 stimuli with a 2 s intertone time interval, in a pseudo-randomized order so that a specific stimulus only was presented again if all 12 other stimuli had already been presented. Testing was conducted in a silent room, and stimuli were presented at 50 dB SL. Stimuli were delivered through TDH-39 headphones (Telephonics Corp., Farmingdale, NY, United States) by a smartphone coupled to a PAC 200 two-channel portable audiometer (Auditec, São Paulo, SP, Brazil). Participants were asked to name each tone out loud according to the pitch chroma of the stimulus immediately after its presentation. The correct response rate was calculated considering only responses without deviation from the stimulus. Mean absolute deviation (MAD) (Bermudez and Zatorre, 2009b) was calculated to measure deviation from the target stimulus. Prior to the testing session, subjects underwent a training session consisting of one presentation of each stimulus. Musicians with a correct response rate of $< 50\%$ at the training session did not undergo the testing session and were automatically assigned to the Non-AP group. Musicians were assigned to the AP group if they performed above the chance level (i.e., \geq ten correct answers or 19.2%) with MAD < 1.00 semitone. The correct response rate criterion was based on a statistical model, described in greater detail elsewhere (Sergeant and Vraga, 2014; Leite et al., 2016), in which a 99% confidence interval for the binomial mean was used as a cut-off point, while the MAD criterion was based on Loui et al. (2012b).

After the pitch identification test, the total sample was organized into two groups. AP group comprised nine musicians (four women,

mean age: 22.89 ± 2.47 years old) with high performance at the pitch identification test (mean correct response rate = $84.62 \pm 14.99\%$, range: 61.54–100%; MAD = 0.16 ± 0.15 semitones, range: 0.00–0.38 semitones). The Non-AP group comprised ten musicians (four women, mean age: 20.10 ± 3.00 years old). The mean age of onset of musical training was 8.22 ± 4.35 years-old and 10.60 ± 1.78 years old for AP and Non-AP groups, respectively. The mean duration of musical training was 14.33 ± 3.81 years and 6.90 ± 2.08 years for AP and Non-AP groups, respectively. All individuals from the AP group self-identified as AP possessors before testing, while none from the Non-AP group self-identified as such.

2.1.2. Stimuli and procedures

The GIN test (Musiek et al., 2005) was designed as a clinically feasible assessment of auditory temporal resolution through the paradigm of gap detection. As a hearing test with high sensitivity and specificity for CANS dysfunctions (Filippini et al., 2020), the GIN test is a powerful tool for assessing central auditory function (Musiek, 2020).

Test stimuli consisted of 6 s segments of white noise with a 5 s interstimulus interval. Each segment contained 0 to 3 silent gaps presented randomly with durations of 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, or 20 ms. A complete assessment of one ear contained 29 to 36 stimuli, depending on the test track used, and 60 gaps divided evenly among the ten possibilities of gap duration.

The GIN test was delivered with the same equipment and conditions as the pitch identification test. Each subject had to listen to the stimuli and tap a pen at a table whenever they heard a gap. Both ears were assessed monaurally with different tracks for each ear (First ear: track 1, containing 35 stimuli; second ear: track 3, containing 29 stimuli). Ear differences were prevented by alternating the first ear tested of each individual. As such, half the sample had their right ears tested first, while the other half began with the left ear. Performance in each ear was analyzed with two measures: gap detection percentage (GDP), which represents the percentage of identified gaps from the total of 60 gaps presented, and gap detection threshold (GDT), or the shortest gap detected 4 out of 6 times with equal or higher detection rate for longer gaps. Each subject's final performance was calculated by taking the average of the two ears' GDP and GDT.

2.1.3. Statistical analysis

Statistical analysis was conducted using SPSS Statistics for Windows, version 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, United States), and R 4.2.2 (R Core Team, 2022) with the *wBoot* (Weiss, 2016) and *robustbase* (Maechler et al., 2022) packages. Student's independent-samples t-tests were used to compare groups against each other regarding GIN test measures. Correlation analyzes between the pitch identification and GIN tests were performed with Pearson's correlation test. Since the data presented skewed distributions and the sample size was small, for the aforementioned analyzes, *p*-values were calculated using bias-corrected and accelerated 95% confidence intervals (BCa 95% CI) with 2000 bootstrap samples (Field, 2017). Finally, robust multiple linear regression models were built with GIN parameters serving as predictors for the pitch identification task measures while controlling for the onset age of musical training. Effect sizes (ES) were calculated using *g* (Hedges, 1981) and *f*² (Cohen, 1992) coefficients. Statistical significance was set at 5% ($p \leq 0.05$). Whenever multiple hypotheses were tested, *p*-values were adjusted with the

Benjamini-Hochberg method to control for a false discovery rate of 5% (Benjamini and Hochberg, 1995), thus denoted as p_{BH} . Due to the small sample size, which may reflect in non-significant p -values associated to low statistical power, the ESs were also taken into account for interpreting the significance of the results, with large ESs (following the criteria for small, medium, and large ES suggested by Cohen (1992)) as indicators of significant results.

2.2. Results

For between-group comparisons, no statistically significant difference was found for GDP [$t(17) = -0.229$, $p_{BH} = 0.967$, $g = 0.099$, mean difference = -0.50% , BCa 95% CI = $(-4.68, 3.18)$] and GDT [$t(17) = 0.042$, $p_{BH} = 0.967$, $g = 0.018$, mean difference = 0.01 ms, BCa 95% CI = $(-0.49, 0.59)$] (Figure 1).

Statistically significant correlations between the pitch identification and the GIN tests parameters were found in the AP group. GDP was positively correlated to the correct response rate of the pitch identification test [$r = 0.577$, $p_{BH} = 0.035$, BCa 95% CI = $(0.085, 0.842)$] and negatively correlated to MAD [$r = -0.587$, $p_{BH} = 0.035$, BCa 95% CI = $(-0.841, -0.081)$]. As for GDT, a negative correlation with the correct response rate of the pitch identification was found [$r = -0.679$, $p_{BH} = 0.028$, BCa 95% CI = $(-0.897, -0.253)$], while a positive correlation with MAD was observed [$r = 0.685$, $p_{BH} = 0.028$, BCa 95% CI = $(0.245, 0.897)$]. Dispersion plots illustrating these analyzes are presented in Figure 2.

Robust regression analyzes without controlling for the onset age of musical training identified large effect sizes for all GIN measures as predictors of performance in the pitch identification test in the AP group. While GDP accounted for 30.00% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.200$, $F(1,7) = 3.000$, $p_{BH} = 0.129$, $f^2 = 0.429$] and for 31.50% of the variance for the MAD [adjusted $R^2 = 0.217$, $F(1,7) = 3.219$, $p_{BH} = 0.129$, $f^2 = 0.460$], GDT was responsible for 42.80 and 44.20% of the variance observed in correct response rate (adjusted $R^2 = 0.346$, $F(1,7) = 5.238$, $p_{BH} = 0.112$, $f^2 = 0.748$) and MAD [adjusted $R^2 = 0.362$, $F(1,7) = 5.545$, $p_{BH} = 0.112$, $f^2 = 0.792$], respectively.

After controlling for the onset age of musical training, large effect sizes and significant or marginally significant p -values were observed

for all GIN measures, with GDP accounting for 68.00% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.526$, $F(1,6) = 16.721$, $p_{BH} = 0.017$, $f^2 = 2.125$] and for 65.90% of the variance for MAD [adjusted $R^2 = 0.495$, $F(1,6) = 14.921$, $p_{BH} = 0.017$, $f^2 = 1.933$]. GDT explained 45.20% of the variance for the correct response rate of the pitch identification test [adjusted $R^2 = 0.188$, $F(1,6) = 5.795$, $p_{BH} = 0.053$, $f^2 = 0.825$] and for 47.90% of the variance for MAD [adjusted $R^2 = 0.228$, $F(1,6) = 6.517$, $p_{BH} = 0.053$, $f^2 = 0.919$].

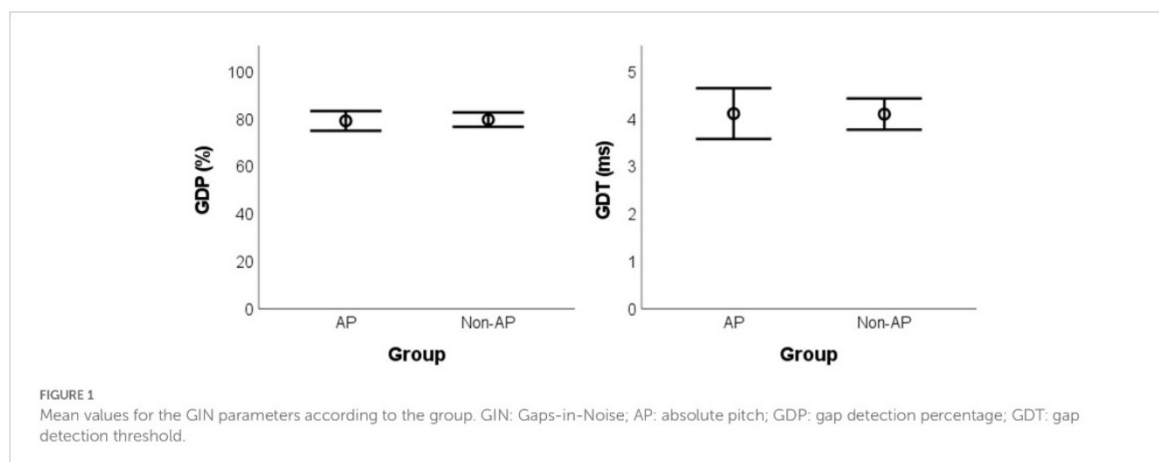
The complete robust multiple regression models are presented in Table 1. Significant regression coefficients were observed for all GIN test measures as predictors of the pitch identification test measures after controlling for the onset age of musical training. Notably, including the control variable did not lead to significant R^2 increases. Moreover, a lack of statistical significance of the regression coefficients for the confounding variable was observed in all models (Supplementary Table S1).

2.3. Discussion

Considering AP as an all-or-none ability, no relationship between pitch identification and temporal resolution was found due to the lack of significant differences between AP and Non-AP groups regarding the GIN test measures. However, from a continuum point-of-view, significant linear relationships were found between the measures of AP and GIN tests. Furthermore, GDP and GDT were significant predictors of AP measures, indicating that temporal resolution may influence AP.

To our knowledge, only one other study investigated gap detection in musicians with different levels of AP and found no evidence of enhanced temporal resolution compared to Non-AP musicians or non-musicians (Fujisaki and Kashino, 2002). However, comparisons between that research and the present investigation are limited due to relevant methodological discrepancies, mainly the criteria for assigning individuals to AP or Non-AP groups and the acoustic characteristics of the pitch identification test used in each experiment. In addition to this, Fujisaki and Kashino's study lacks any correlational analysis between AP and gap detection scores.

One could argue that the lack of difference between groups in the present study and Fujisaki and Kashino's investigation is evidence



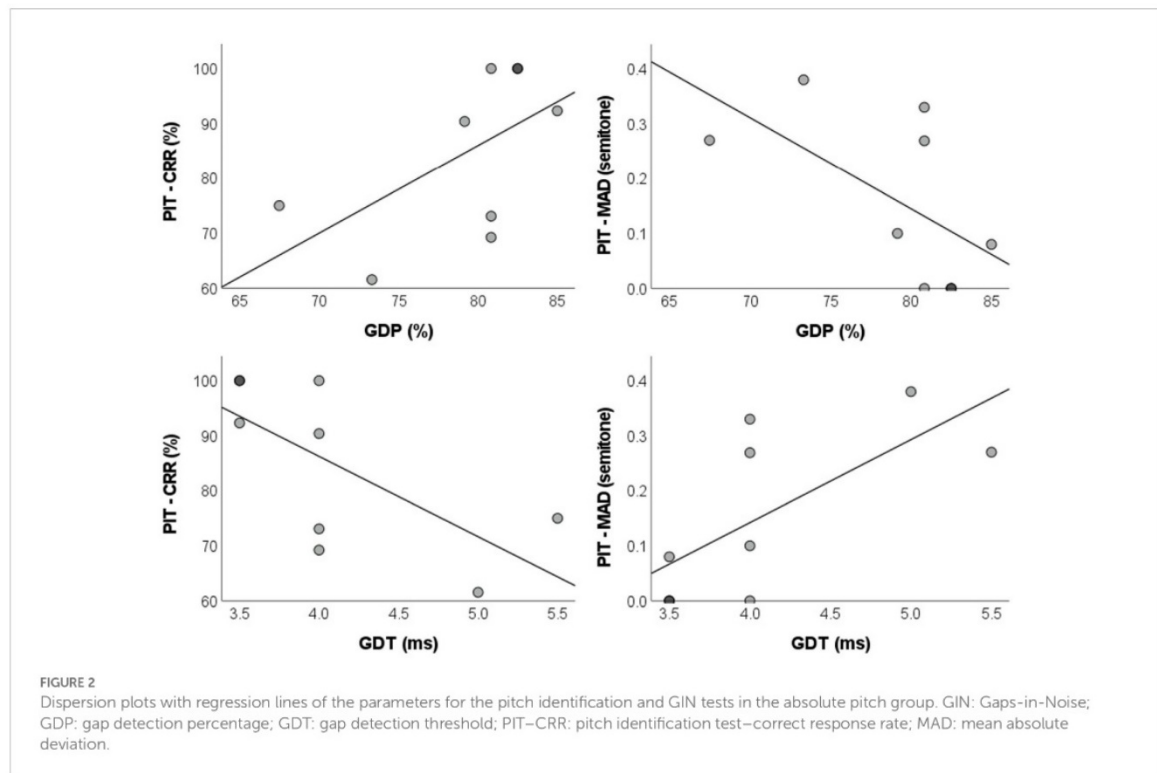


TABLE 1 Robust multiple linear regression models of the measures of GIN test performance as predictors of performance at the pitch identification test while controlling for the onset age of musical training.

Model	Predictor	b [95% CI]	β [95% CI]	p
1. GDP as a predictor of the correct response rate for the pitch identification test	Constant	-232.68 [-539.01, 73.65]	--	0.112
	GDP	4.15 [0.06, 8.23]	1.50 [0.02, 2.98]	0.047*
	Onset age of musical training	-2.09 [-6.72, 2.54]	-0.61 [-1.95, 0.74]	0.312
2. GDP as a predictor of MAD	Constant	3.28 [0.27, 6.30]	--	0.037*
	GDP	-0.04 [-0.08, 0.00]	-1.45 [-2.89, 0.00]	0.047*
	Onset age of musical training	0.02 [-0.02, 0.07]	0.58 [-0.58, 2.03]	0.298
3. GDT as a predictor of the correct response rate for the pitch identification test	Constant	158.66 [104.02, 213.29]	--	< 0.001*
	GDT	-15.58 [-30.83, -0.33]	-0.73 [-1.44, -0.02]	0.047*
	Onset age of musical training	-1.19 [-3.21, 0.83]	-0.35 [-0.93, 0.24]	0.198
4. GDT as a predictor of MAD	Constant	-0.62 [-1.12, -0.11]	--	0.024*
	GDT	0.16 [0.02, 0.30]	0.75 [0.09, 1.40]	0.029*
	Onset age of musical training	0.01 [-0.01, 0.03]	0.29 [-0.29, 0.87]	0.165

Model 1: $R^2 = 0.756$, adjusted $R^2 = 0.674$, $F(2,6) = 9.295$, $p_{BH} = 0.037$; Model 2: $R^2 = 0.735$, adjusted $R^2 = 0.647$, $F(2,6) = 8.23$, $p_{BH} = 0.037$; Model 3: $R^2 = 0.532$, adjusted $R^2 = 0.376$, $F(2,6) = 3.410$, $p_{BH} = 0.103$; Model 4: $R^2 = 0.559$, adjusted $R^2 = 0.411$, $F(2,6) = 3.803$, $p_{BH} = 0.103$.

GIN: Gaps-in-Noise; GDP: gap detection percentage; GDT: gap detection threshold; 95% CI: 95% confidence interval; b: unstandardized coefficient; β : standardized coefficient;

* and bold: statistically significant value at 5% level ($p \leq 0.05$).

that the basic hearing ability of temporal resolution is unrelated to pitch identification, thus speaking against the participation of temporal processing in the perceptual subprocess of AP. In line with this argumentation is a neuroimaging study of gap detection tasks

(Vaden et al., 2020) that reported a lack of activation of brain regions belonging to the ventral stream, such as the planum polare (Kim and Knösche, 2017b). However, considering that gap detection was able to predict pitch identification in the regression analyzes and that the

approach to AP as a continuum trait is more suitable for the scoring method used in this investigation (Germano et al., 2021; Bairnsfather et al., 2022b), these results are most likely due to the inability of the arbitrary criteria used for the group assignment to generate clearly distinct groups.

Aware of such limitation, we conducted correlation and regression analyzes between the measures of pitch identification and GIN tests, showing that gap detection explained a high amount of the variance (between 20 and 36%, considering the values of adjusted R^2 for the uncontrolled models) present in our sample's pitch identification ability. These results align with other studies demonstrating that musicians with high-precision AP have improved basic hearing abilities, especially those related to temporal processing (Fujisaki and Kashino, 2005; Reis et al., 2021).

The influence of temporal resolution over AP precision corroborates the "perceptual subprocess hypothesis," especially the component of absolute pitch categorization of this subprocess, in which unique hearing abilities lead to a specific categorization of musical notes, by indicating that auditory processing plays a role in defining the degree of precision of pitch naming ability (Siegel, 1974; Kim and Knösche, 2017a; Leopold et al., 2019a). Indeed, this relationship might reside in the crucial role of temporal processing in pitch perception due to the phase-locking attributes of neurons along the auditory pathway (Moore, 2008; Oxenham, 2012). A recent study verified that pitch naming is subserved by rapidly changing, transient processes at its initial stages (Ngan et al., 2023), further reinforcing that notion. Also, gap detection and pitch identification skills seem to share many neural substrates, as seen from neuroimaging and electrophysiological studies, such as bilateral Heschl gyri (Rupp et al., 2002, 2004; Heinrich et al., 2004; Diedler et al., 2007; Wengenroth et al., 2014; Kim and Knösche, 2016, 2017b; Rufener et al., 2017; Brauchli et al., 2019; Burkhard et al., 2019; McKetton et al., 2019; Vaden et al., 2020), bilateral superior temporal gyri (Heinrich et al., 2004; Wilson et al., 2009; Oechslin et al., 2010; Loui et al., 2012a,b; Schulze et al., 2013; Dohn et al., 2015; Vaden et al., 2020), bilateral inferior frontal gyri (Schulze et al., 2009; Wengenroth et al., 2014; Dohn et al., 2015; Leopold et al., 2019b; Vaden et al., 2020), right superior temporal sulcus (Schulze et al., 2009; Vaden et al., 2020), and right supramarginal gyrus (Schulze et al., 2013; Dohn et al., 2015; Vaden et al., 2020). It is worth noting that many of the cited structures are also part of the so-called "ventral stream," which is heavily implicated in the perceptual subprocess of AP (Kim and Knösche, 2017a; Leopold et al., 2019a).

A possible limitation of this experiment is the use of a clinical test designed to identify CANS dysfunction to differentiate between two non-clinical groups. However, as previously seen in other studies, the GIN test can differentiate between groups with normal hearing and even identify differences between individuals with and without musical training (Ribeiro et al., 2015; Donai and Jennings, 2016).

3. Experiment 2

The second experiment intended to investigate the relationship between backward masking and AP. For this purpose, musicians with and without AP were compared regarding their performance in a novel tool for assessing backward masking.

3.1. Materials and methods

3.1.1. Subjects

Fifteen young adults with similar audiological and medical characteristics to the volunteers of the first experiment comprised the sample of this experiment.

The pitch identification test used in this experiment was proposed by Leite et al. (2016). Test stimuli were 36 synthetic piano tones matching pitches between C3 and B5 in the equal-tempered Western scale. Each stimulus was presented twice in six blocks of 12 stimuli with 4.25 s of intertone time interval. In order to neutralize relative pitch-based responses, all tones presented tonal distance > one octave from the subsequent tone. TDH-39 headphones were used to present stimuli recorded in a smartphone coupled to a GSI-61 Audiometer (Grason-Stadler, Eden Prairie, MN, United States). The test was performed in a sound-attenuating booth with an intensity of presentation of 50 dB SL. Immediately after each note presentation, participants should mark the note (only pitch chroma) they heard in an answer sheet containing a 12-key musical keyboard illustration ranging from C to B. Correct response rate and MAD were calculated in the same way as the first experiment and musicians were assigned to the AP group following the same criteria of the previous experiment [correct response rate $\geq 20\%$, in accordance to the statistical approach (Sergeant and Vraka, 2014; Leite et al., 2016), and MAD <1.00 semitone (Loui et al., 2012b)].

All participants performed the pitch identification test, and two groups were formed according to their performances. AP group included eight musicians (three women, mean age: 25.88 ± 2.30 years old) with high performance at the pitch identification test (mean correct response = $88.54 \pm 15.84\%$, range: 56.94–100%; MAD = 0.24 ± 0.34 semitones, range: 0.00–0.86 semitones). The Non-AP group included seven musicians (three women, mean age: 24.86 ± 3.18 years old) with low performance at the pitch identification test (mean correct response = $19.44 \pm 5.32\%$, range: 13.89–29.17%; MAD = 2.37 ± 0.59 semitones, range: 1.54–2.99 semitones). The mean age of onset of musical training and mean duration of musical training for the AP group were 8.25 ± 3.99 years-old and 16.50 ± 5.26 years, respectively. For the Non-AP group, these values were 10.29 ± 2.69 years-old and 13.29 ± 4.61 years, respectively.

3.1.2. Stimuli and procedures

For assessing backward masking, a backward masking test (BMT) designed for the clinical setting was used (Filippini et al., 2022). Unlike many other traditional psychoacoustic tests of backward masking, this test proposes a clinically feasible procedure that investigates the shortest inter-stimulus interval (ISI) needed for hearing a tone followed by a masking noise, and its results are comparable to those obtained with other tests reported in the literature (Filippini and Schochat, 2014; Filippini et al., 2022).

The BMT included two different stimuli: a 25 ms sine wave tone and a narrow-band 200 ms masking noise. The pure tone presentation level was set at 20 dB SL, and the signal-to-noise ratio was set at -20 dB. Each trial consisted of the monaural presentation of the sine wave tone followed by the presentation of the masking noise with an ISI of 400, 200, 100, 50, 30, 20, 10, or 0 ms between them. The complete evaluation of one ear consisted of six presentations of each ISI, totaling 48 trials plus 12 trials containing only the masking tone. Prior to the testing session, we conducted a training session with 12 trials with ISIs

varying between 400 and 50 ms and three trials with masking noise only.

Participants were asked to listen carefully to the stimuli and press the response button whenever they heard the preceding tone. For each ear, the 60 trials were presented in different randomized orders. Half the sample tested their right ears first, while half had their left ears tested first to avoid ear differences due to the learning effect. Performance at the BMT was analyzed with two measures for each ear: percentage of correct responses (BMTP), which represents the percentage of correctly identified tones, and target sound detection threshold (BMTT), which is defined as the shortest ISI detected 4 out of 6 times with equal or higher detection rate for subsequent ISIs. The final performance for a given individual was considered as the average of the two ears' BMTP and BMTT.

The equipment and conditions for the BMT were the same as those for the pitch identification test.

3.1.3. Statistical analysis

Statistical procedures for this experiment included the same software, tests, bootstrapping technique, and significance criterion as used in Experiment 1. Since Experiment 2 was also conducted with a small sample, ESs were also considered for interpreting the results in the same fashion as Experiment 1.

3.2. Results

The difference between groups was not significant for BMTP [$t(13) = -1.993$, $p_{BH} = 0.194$, $g = 0.732$, mean difference = -6.56% , BCa 95% CI = $(-13.83, 2.40)$] and for BMTT [$t(13) = 1.506$, $p_{BH} = 0.194$, $g = 0.555$, mean difference = 7.05 ms, BCa 95% CI = $(-5.50, 18.32)$] (Figure 3).

Correlation analyzes comprising the total sample of the study (AP + Non-AP groups, $n = 15$) revealed a lack of statistically significant linear correlations between BMTP and pitch identification test measures [correct response rate: $r = -0.320$, BCa 95% CI = $(-0.777, 0.344)$, $p_{BH} = 0.568$; MAD: $r = 0.253$, BCa 95% CI = $(-0.363, 0.708)$, $p_{BH} = 0.568$]. A similar scenario was observed between BMTT and the pitch identification test [correct response rate: $r = 0.183$, BCa 95%

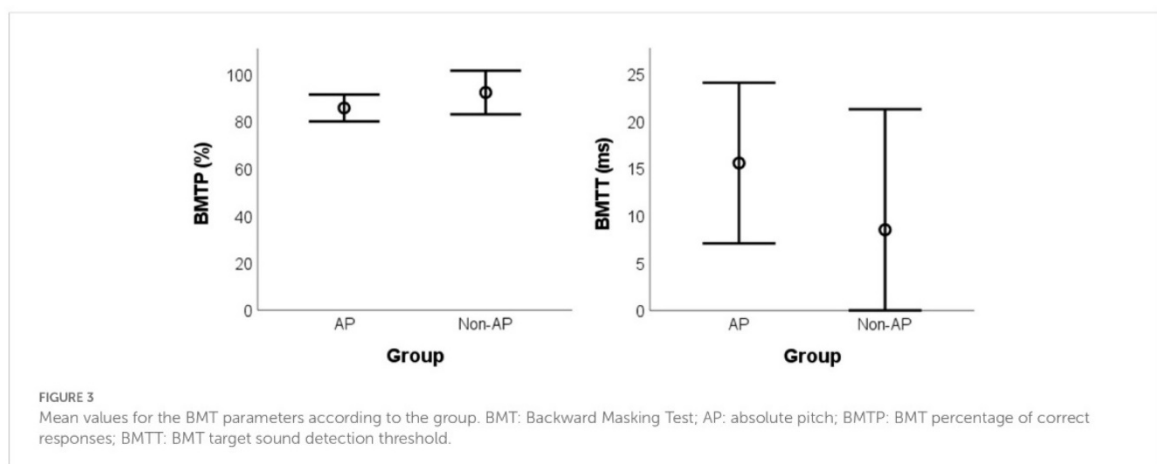
CI = $(-0.409, 0.650)$, $p_{BH} = 0.569$; MAD: $r = -0.132$, BCa 95% CI = $(-0.621, 0.568)$, $p_{BH} = 0.652$] (Figure 4). Due to the lack of significant correlations between the BMT and the pitch identification tests, no regression analyzes were carried out (Supplementary Table S2).

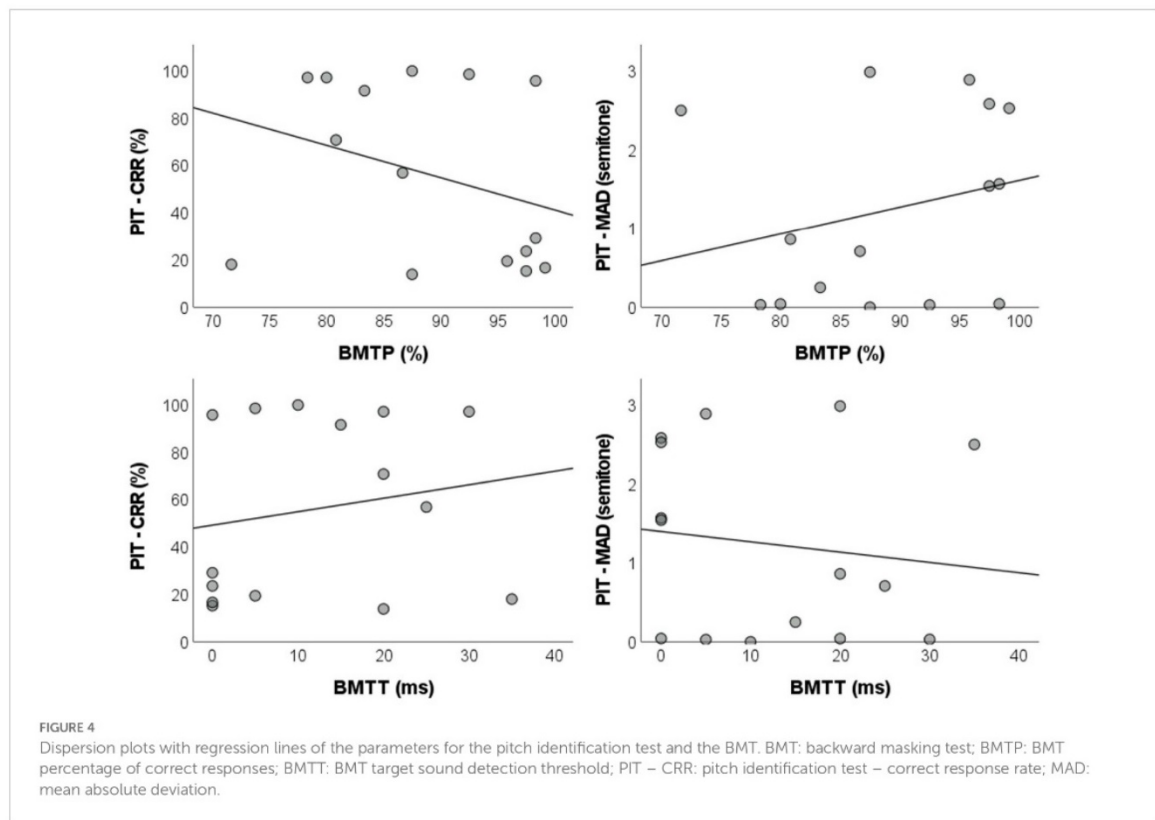
3.3. Discussion

The lack of statistical difference between groups and statistically significant correlations between the pitch identification test and the BMT suggests that backward masking is not related to the ability to name musical notes, either considering AP an all-or-none ability or a continuum trait.

These results agree with other studies which found no difference in the auditory perception of musicians with AP (Fujisaki and Kashino, 2002; McKetton et al., 2019). Although the data presented in Experiment 2 contradicts the "perceptual subprocess hypothesis" (Siegel, 1974; Fujisaki and Kashino, 2005; Kim and Knösche, 2017a; Leipold et al., 2019a; Reis et al., 2021) and even the results for Experiment 1, several reasons can be listed for this scenario.

First, the CANS is a highly complex set of structures; not all are involved in every aspect of auditory processing (Hackett, 2015; Pickles, 2015). In this sense, even though the neural basis of backward masking is still poorly understood (Mattingly et al., 2018), some findings suggest that AP and backward masking may have substantially different neural substrates. For example, while backward masking is related to a significant activation of the cingulate gyrus (van Dijk and Backes, 2003), this structure is not significantly activated during pitch identification by musicians with AP (Schulze et al., 2009). On the other hand, the activation of regions like the inferior frontal gyrus and the parietal lobule during AP-related tasks (Schulze et al., 2009; Wengenroth et al., 2014; Dohn et al., 2015; Leipold et al., 2019b) contrasts with the seemingly unremarkable activation of these areas during backward masking tasks (van Dijk and Backes, 2003). As such, even if the activity of structures like the temporal pole may suggest a neural overlap of backward masking and AP through the ventral stream (van Dijk and Backes, 2003), the cited dissociations may account for some of the results observed in Experiment 2.





Second, unlike the GIN test, and since it is a brand new auditory test, the potential of the BMT to differentiate between subgroups of individuals with normal auditory processing is yet to be investigated. Therefore, although the BMT can identify auditory processing disorders in a clinical context and presents a high correlation with other well-established temporal processing tests, including the GIN test (Filippini et al., 2022), the possibility that the tool cannot track subclinical, AP-related differences in temporal processing cannot be completely ruled out. However, it is worth noting that the absence of a significant ceiling effect in our sample speaks against this hypothesis.

Finally, a third possible explanation resides in the association between backward masking and cognitive abilities, such as short-term memory, attention, and executive function, as demonstrated by studies linking this auditory phenomenon to event-related auditory potentials, brain areas, and behavioral tasks that are known to take part in cognitive processes (Winkler and Näätänen, 1992; Winkler et al., 1993; Bazana and Stelmack, 2002; van Dijk and Backes, 2003; Strait et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2011). Since cognitive factors were not strictly controlled in this experiment, a cognition-driven bias cannot be excluded entirely.

4. General discussion

Taken together, the results of both experiments provide further insights into the perceptual subprocess of AP. Although data from

Experiment 1 suggests that temporal processing does play a role in pitch naming ability, the results from Experiment 2 are against this claim. Such discrepancies may reflect the discrete neural processes by which aspects of temporal processing operate and relate to other hearing abilities. In this context, some studies show a higher correlation coefficient between frequency discrimination and temporal acuity measured by gap detection (Jones et al., 2009; Gyldenkaerne et al., 2014) than between frequency discrimination and the phenomenon of backward masking (Filippini et al., 2022), which may be an explanation for the apparently contradictory conclusions between experiments 1 and 2. Therefore, the results of the present research suggest that temporal resolution is involved in the perceptual subprocess of AP, while backward masking is not, implying that only some of the auditory temporal processing features are relevant to the assumption of unique categorization of musical notes present in the perceptual subprocess hypothesis (Siegel, 1974).

The present study also shows that treating AP as an all-or-none ability or a continuum trait may directly affect interpreting the results. In this sense, combining group and correlation analyzes in AP research may be a viable way to fully assess the phenomenon and overcome some of the methodological heterogeneity in the field.

A limitation worth noting for both experiments is the small sample size, which can be justified by the rare occurrence of high-precision AP, even in the musically trained population. We attempted to overcome this issue by using bootstrapping and robust methods to guarantee the validity of all statistical analyzes. Besides that, ESs, less

prone to small sample bias, were also considered for interpreting the results.

The experiments were conducted in different moments and institutions. Consequently, a different pitch identification test, judged as less susceptible to relative pitch bias than the one used in Experiment 1, was used for Experiment 2. Even though this research topic lacks a definitive and valid test for determining the presence of absolute pitch, which implicates significant heterogeneity not only for our results but for other studies as well, we acknowledge that the differences between the pitch identification tests might impose limitations in comparing the results of both experiments. Another possible limitation in comparing the experiments is the absence of a precise mensuration of the absolute pitch ability in Non-AP musicians in Experiment 1 since subjects were assigned to the Non-AP group after a simple screening procedure during the training session of the pitch identification test. However, the AP group of Experiment 1 still yielded significant variance, with correct response rates ranging from 62 to 100%. Thus, we believe that the results of the correlation analyzes presented in this experiment are still noteworthy.

Although we demonstrated a link between temporal resolution and AP, further investigations must be made to elucidate the causal relationship between both, if any. In this sense, the impact of an auditory training program focused on temporal aspects on the pitch naming ability might be an interesting way to explore this question.

5. Conclusion

Better performance in the GIN test was a significant predictor of AP, indicating that temporal resolution influences pitch naming ability. On the other hand, no relationship was found between BMT and the pitch identification test, suggesting that temporal masking is not related to AP.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Ethics statement

The studies involving human participants were reviewed and approved by Federal University of São Paulo Research Ethics Committee and University of São Paulo School of Medicine Research Ethics Committee. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

References

- Arnal, L. H., Poeppel, D., and Giraud, A. (2015). Temporal coding in the auditory cortex. *Handb. Clin. Neurol.* 129, 85–98. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00005-6
- Bairnsfather, J. E., Osborne, M. S., Martin, C., Mosing, M. A., and Wilson, S. J. (2022b). Use of explicit priming to phenotype absolute pitch ability. *PLoS One* 17:e0273828. doi: 10.1371/journal.pone.0273828

Author contributions

CLF contributed to study design, data collection, data management, data analysis, and writing and reviewing of the manuscript. CR-M contributed to data collection, data analysis, and reviewing of the manuscript. LP and ES contributed to study design, reviewing of the manuscript, and supervision of the study. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

Funding

This research was funded by São Paulo Research Foundation/Fapesp (grant 2019/13817–1) and National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

Acknowledgments

We thank the following colleagues: Patricia Vanzella for her valuable advice, which improved the study design; Psyche Loui and Raphael Bender Chagas Leite for making their pitch identification tests available for this study; Renata Filippini for providing the backward masking test and advising on its usage; Felipe Diego Toro Hernández for running the statistical analysis conducted with R; and the reviewers, whose commentaries and suggestions significantly improved the quality of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Supplementary material

The Supplementary material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2023.1151776/full#supplementary-material>

- Bairnsfather, J. E., Ullén, F., Osborne, M. S., Wilson, S. J., and Mosing, M. A. (2022a). Investigating the relationship between childhood music practice and pitch-naming ability in professional musicians and a population-based twin sample. *Twin Res. Hum. Genet.* 25, 140–148. doi: 10.1017/thg.2022.29

- Bazana, P. G., and Stelmack, R. M. (2002). Intelligence and information processing during an auditory discrimination task with backward masking: an event-related

- potential analysis. *J. Pers. Soc. Psychol.* 83, 998–1008. doi: 10.1037/0022-3514.83.4.998
- Benjamini, Y., and Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J. R. Stat. Soc. Ser. B* 57, 289–300. doi: 10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x
- Bermudez, P., and Zatorre, R. J. (2009a). The absolute pitch mind continues to reveal itself. *J. Biol.* 8, 75–11. doi: 10.1186/jbiol171
- Bermudez, P., and Zatorre, R. J. (2009b). A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing. *Music. Percept.* 27, 89–101. doi: 10.1525/mp.2009.27.2.89
- Brauchli, C., Leipold, S., and Jäncke, L. (2019). Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *NeuroImage* 189, 241–247. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.01.021
- Burkhard, A., Elmer, S., and Jäncke, L. (2019). Early tone categorization in absolute pitch musicians is subserved by the right-sided perisylvian brain. *Sci. Rep.* 9:1419. doi: 10.1038/s41598-018-38273-0
- Chavarria-Soley, G. (2016). Absolute pitch in Costa Rica: distribution of pitch identification ability and implications for its genetic basis. *J. Acoust. Soc. Am.* 140, 891–897. doi: 10.1121/1.4960569
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychol. Bull.* 112, 155–159. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155
- Deutsch, D. (2013). "Absolute pitch" in *The Psychology of Music*. ed. D. Deutsch (Waltham: Elsevier), 141–182.
- Deutsch, D., and Dooley, K. (2013). Absolute pitch is associated with a large auditory digit span: a clue to its genesis. *J. Acoust. Soc. Am.* 133, 1859–1861. doi: 10.1121/1.4792217
- Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., and Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: association with tone language fluency. *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 2398–2403. doi: 10.1121/1.3081389
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., and Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 719–722. doi: 10.1121/1.2151799
- Diedler, J., Pietz, J., Bast, T., and Rupp, A. (2007). Auditory temporal resolution in children assessed by magnetoencephalography. *Neuroreport* 18, 1691–1695. doi: 10.1097/WNR.0b013e3282f0b6e2
- Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Chakravarty, M. M., Hansen, M., Lerch, J. P., and Vuust, P. (2015). Gray- and white-matter anatomy of absolute pitch possessors. *Cereb. Cortex* 25, 1379–1388. doi: 10.1093/cercor/bht334
- Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Heaton, P., and Vuust, P. (2012). Do musicians with perfect pitch have more autism traits than musicians without perfect pitch? An empirical study. *PLoS One* 7:e37961. doi: 10.1371/journal.pone.0037961
- Donai, J. J., and Jennings, M. B. (2016). Gaps-in-noise detection and gender identification from noise-vocoded vowel segments: comparing performance of active musicians to non-musicians. *J. Acoust. Soc. Am.* 139, EL128–EL134. doi: 10.1121/1.4947070
- Eggermont, J. J. (2015). *Auditory Temporal Processing and its Disorders*. 1st ed. Oxford: Oxford University.
- Elmer, S., Rogenmoser, L., Kuhnis, J., and Jancke, L. (2015). Bridging the gap between perceptual and cognitive perspectives on absolute pitch. *J. Neurosci.* 35, 366–371. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3009-14.2015
- Field, A. (2017). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 5th. Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Filippini, R., Leite Filho, C. A., Barros, G. M. S. B., Musiek, F. E., and Schochat, E. (2022). Evidence of validity and normative values of a new auditory backward masking test. *J. Clin. Med.* 11:4933. doi: 10.3390/jcm11114933
- Filippini, R., and Schochat, E. (2014). A new paradigm for temporal masking assessment: pilot study. *CoDAS* 26, 302–307. doi: 10.1590/2317-1782/201420130044
- Filippini, R., Wong, B., Schochat, E., and Musiek, F. (2020). GIN test: a meta-analysis on its neurodiagnostic value. *J. Am. Acad. Audiol.* 31, 147–157. doi: 10.3766/jaaa.18079
- Fujisaki, W., and Kashino, M. (2002). The basic hearing abilities of absolute pitch possessors. *Acoust. Sci. Technol.* 23, 77–83. doi: 10.1250/ast.23.77
- Fujisaki, W., and Kashino, M. (2005). Contributions of temporal and place cues in pitch perception in absolute pitch possessors. *Percept. Psychophys.* 67, 315–323. doi: 10.3758/BF03206494
- Germano, N. D. G., Cogo-Moreira, H., and Bortz, G. (2016). Absolute Pitch: in Search of Testable Model. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Music Perception and Cognition*. San Francisco: Society for Music Perception and Cognition, pp. 710–713.
- Germano, N. D. G., Cogo-Moreira, H., Coutinho-Lourenço, F., and Bortz, G. (2021). A new approach to measuring absolute pitch on a psychometric theory of isolated pitch perception: is it disentangling specific groups or capturing a continuous ability? *PLoS One* 16:e0247473. doi: 10.1371/journal.pone.0247473
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., and Marvin, E. W. (1999). Absolute pitch: prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *Am. J. Hum. Genet.* 65, 911–913. doi: 10.1086/302541
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Lee, A., Baron-Cohen, S., Fisher, S. E., Asher, J. E., et al. (2013). Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Hum. Mol. Genet.* 22, 2097–2104. doi: 10.1093/hmg/ddt059
- Gußmack, M., Vitouch, O., and Gula, B. (2006). Latent Absolute Pitch: An Ordinary Ability? In: *Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception and Cognition*. Bologna: Bologna University, pp. 1408–1412.
- Gyldenkerne, P., Dillon, H., Sharma, M., and Purdy, S. C. (2014). Attend to this: the relationship between auditory processing disorders and attention deficits. *J. Am. Acad. Audiol.* 25, 676–687. doi: 10.3766/jaaa.25.7.6
- Hackett, T. A. (2015). Anatomic organization of the auditory cortex. *Handb. Clin. Neurol.* 129, 27–53. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00002-0
- Hartley, D. E. H., Wright, B. A., Hogan, S. C., and Moore, D. R. (2000). Age-related improvements in auditory backward and simultaneous masking in 6- to 10-year-old children. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 43, 1402–1415. doi: 10.1044/jslhr.4306.1402
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *J. Educ. Stat.* 6, 107–128. doi: 10.2307/1164588
- Heinrich, A., Alain, C., and Schneider, B. A. (2004). Within- and between-channel gap detection in the human auditory cortex. *Neuroreport* 15, 2051–2056. doi: 10.1097/00001756-200409150-00011
- Jakubowski, K., Müllensiefen, D., and Stewart, L. (2017). A developmental study of latent absolute pitch memory. *Q. J. Exp. Psychol.* 70, 434–443. doi: 10.1080/17470218.2015.1131726
- Jones, J. L., Zalewski, C., Brewer, C., Luckner, J., and Drayna, D. (2009). Widespread auditory deficits in tune deafness. *Ear Hear.* 30, 63–72. doi: 10.1097/AUD.0b013e31818ff95e
- Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., and Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *NeuroImage* 14, 1402–1408. doi: 10.1006/nimg.2001.0925
- Kim, S., and Knösche, T. R. (2016). Intracortical myelination in musicians with absolute pitch: quantitative morphometry using 7-T MRI. *Hum. Brain Mapp.* 37, 3486–3501. doi: 10.1002/hbm.23254
- Kim, S.-G., and Knösche, T. R. (2017a). On the perceptual subprocess of absolute pitch. *Front. Neurosci.* 11, 1–6. doi: 10.3389/fnins.2017.00557
- Kim, S.-G., and Knösche, T. R. (2017b). Resting state functional connectivity of the ventral auditory pathway in musicians with absolute pitch. *Hum. Brain Mapp.* 38, 3899–3916. doi: 10.1002/hbm.23637
- Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., and Jäncke, L. (2019b). Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain Struct. Funct.* 224, 1723–1738. doi: 10.1007/s00429-019-01872-2
- Leipold, S., Greber, M., and Elmer, S. (2019a). Perception and cognition in absolute pitch: distinct yet inseparable. *J. Neurosci.* 39, 5839–5841. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019
- Leite, R. B. C., Mota-Rolim, S. A., and Queiroz, C. M. T. (2016). Music proficiency and quantification of absolute pitch: a large-scale study among Brazilian musicians. *Front. Neurosci.* 10:447. doi: 10.3389/fnins.2016.00447
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: evidence from the production of learned melodies. *Percept. Psychophys.* 56, 414–423. doi: 10.3758/BF03206733
- Levitin, D. J., and Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends Cogn. Sci.* 9, 26–33. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.007
- Loui, P., Li, H. C. C., Hohmann, A., and Schlaug, G. (2011). Enhanced cortical connectivity in absolute pitch musicians. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 1015–1026. doi: 10.1162/jocn.2010.21500.Enhanced
- Loui, P., Zamm, A., and Schlaug, G. (2012a). Absolute pitch and synesthesia: two sides of the same coin? Shared and distinct neural substrates of music listening. *ICMPC* 3979, 618–623.
- Loui, P., Zamm, A., and Schlaug, G. (2012b). Enhanced functional networks in absolute pitch. *NeuroImage* 63, 632–640. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.07.030
- Loyd, L. L., and Kaplan, H. (1978). *Audiometric Interpretation: A Manual of Basic Audiology*. 1st. Baltimore: University Park Press.
- MacDonald, J. A. (2011). Using the ideal observer to predict performance in perceptual tasks: an example from the auditory temporal masking domain. *Atten. Percept. Psychophys.* 73, 2639–2648. doi: 10.3758/s13414-011-0213-8
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Croux, C., Todorov, V., Ruckstuhl, A., Salibián-Barrera, M., et al. (2022). *Robustbase: Basic Robust Statistics*. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=robustbase>.
- Marvin, E. W., and Brinkman, A. R. (2000). The effect of key color and timbre on absolute pitch recognition in musical contexts. *Music. Percept.* 18, 111–137. doi: 10.2307/40285905
- Masataka, N. (2011). Enhancement of speech-relevant auditory acuity in absolute pitch possessors. *Front. Psychol.* 2, 1–4. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00101
- Mattingly, M. M., Donell, B. M., and Rosen, M. J. (2018). Late maturation of backward masking in auditory cortex. *J. Neurophysiol.* 120, 1558–1571. doi: 10.1152/jn.00114.2018
- McKetton, L., DeSimone, K., and Schneider, K. A. (2019). Larger auditory cortical area and broader frequency tuning underlie absolute pitch. *J. Neurosci.* 39, 2930–2937. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019

- Miyazaki, K. (1989). Absolute pitch identification: effects of timbre and pitch region. *Music. Percept.* 7, 1–14. doi: 10.2307/40285445
- Moore, B. C. J. (2008). 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.* 9, 399–406. doi: 10.1007/s10162-008-0143-x
- Moore, D. R., Cowan, J. A., Riley, A., Edmondson-Jones, A. M., and Ferguson, M. A. (2011). Development of auditory processing in 6- to 11-yr-old children. *Ear Hear.* 32, 269–285. doi: 10.1097/AUD.0b013e318201c468
- Musiek, F. (2020). Updates in gaps in noise test. *Hear. J.* 73:34,35. doi: 10.1097/01.HJ.0000669884.68540.eb
- Musiek, F. E., and Chermak, G. D. (2015). Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handb. Clin. Neurol.* 129, 313–332. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4
- Musiek, F. E., Shinn, J. B., Jirsa, R., Bamiou, D.-E., Baran, J. A., and Zaida, E. (2005). GIN (gaps-in-noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear.* 26, 608–618. doi: 10.1097/01.aud.0000188069.80699.41
- Ngan, V. S. H., Cheung, L. Y. T., Ng, H. T. Y., Yip, K. H. M., Wong, Y. K., and Wong, A. C. N. (2023). An early perceptual locus of absolute pitch. *Psychophysiology* 60:e14170. doi: 10.1111/psyp.14170
- Oechslin, M. S., Meyer, M., and Jancke, L. (2010). Absolute pitch—functional evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cereb. Cortex* 20, 447–455. doi: 10.1093/cercor/bhp113
- Oxenham, A. J. (2012). Pitch perception. *J. Neurosci.* 32, 13335–13338. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3815-12.2012
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E., and Kraus, N. (2011). Musical experience and the aging auditory system: implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PLoS One* 6:e18082. doi: 10.1371/journal.pone.0018082
- Phillips, D. P. (1999). Auditory gap detection, perceptual channels, and temporal resolution in speech perception. *J. Am. Acad. Audiol.* 10, 343–354. doi: 10.1055/s-0042-1748505
- Phillips, D. P., Taylor, T. L., Hall, S. E., Carr, M. M., and Mossop, J. E. (1997). Detection of silent intervals between noises activating different perceptual channels: some properties of “central” auditory gap detection. *J. Acoust. Soc. Am.* 101, 3694–3705. doi: 10.1121/1.419376
- Pickles, J. O. (2015). Auditory pathways. *Handb. Clin. Neurol.* 129, 3–25. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00001-9
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Reis, K. S., Heald, S. L. M., Veillette, J. P., Van Hedger, S. C., and Nusbaum, H. C. (2021). Individual differences in human frequency-following response predict pitch labeling ability. *Sci. Rep.* 11:14290. doi: 10.1038/s41598-021-93312-7
- Ribeiro, A. C. M., Scharlach, R. C., and Pinheiro, M. M. C. (2015). Assessment of temporal aspects in popular singers. *CoDAS* 27, 520–525. doi: 10.1590/2317-1782/20152014234
- Rufener, K. S., Ruhnau, P., Heinze, H.-J., and Zaehle, T. (2017). Transcranial random noise stimulation (tRNS) shapes the processing of rapidly changing auditory information. *Front. Cell. Neurosci.* 11, 1–11. doi: 10.3389/fncel.2017.00162
- Rupp, A., Gutschalk, A., Hack, S., and Scherg, M. (2002). Temporal resolution of the human primary auditory cortex in gap detection. *Neuroreport* 13, 2203–2207. doi: 10.1097/00001756-200212030-00008
- Rupp, A., Gutschalk, A., Uppenkamp, S., and Scherg, M. (2004). Middle latency auditory-evoked fields reflect psychoacoustic gap detection thresholds in human listeners. *J. Neurophysiol.* 92, 2239–2247. doi: 10.1152/jn.00163.2004
- Russo, F. A., Windell, D. L., and Cuddy, L. L. (2003). Learning the “special note”: evidence for a critical period for absolute pitch acquisition. *Music. Percept.* 21, 119–127. doi: 10.1525/mp.2003.21.1.119
- Schellenberg, E. G., and Trehub, S. E. (2003). Good pitch memory is widespread. *Psychol. Sci.* 14, 262–266. doi: 10.1111/1467-9280.03432
- Schlemmer, K. B., Kulke, F., Kuchinke, L., and Van Der Meer, E. (2005). Absolute pitch and pupillary response: effects of timbre and key color. *Psychophysiology* 42, 465–472. doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00306.x
- Schulze, K., Gaab, N., and Schlaug, G. (2009). Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC Neurosci.* 10:106. doi: 10.1186/1471-2202-10-106
- Schulze, K., Mueller, K., and Koelsch, S. (2013). Auditory stroop and absolute pitch: an fMRI study. *Hum. Brain Mapp.* 34, 1579–1590. doi: 10.1002/hbm.22010
- Sergeant, D., and Vraka, M. (2014). “Pitch perception and absolute pitch in advanced performers” in *Advanced Musical Performance: Investigations in Higher Education Learning*, eds. I. Papageorgi and G. Welch (Burlington: Ashgate), 201–229.
- Shinn, J. B. (2003). Temporal processing: the basics. *Hear. J.* 56:52. doi: 10.1097/01.HJ.0000292557.52409.67
- Siegel, J. A. (1974). Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *J. Exp. Psychol.* 103, 37–44. doi: 10.1037/h0036844
- Strait, D. L., Kraus, N., Parbery-Clark, A., and Ashley, R. (2010). Musical experience shapes top-down auditory mechanisms: evidence from masking and auditory attention performance. *Hear. Res.* 261, 22–29. doi: 10.1016/j.heares.2009.12.021
- Szyfyer, K., and Witt, M. P. (2020). How far musicality and perfect pitch are derived from genetic factors? *J. Appl. Genet.* 61, 407–414. doi: 10.1007/s13353-020-00563-7
- Takeuchi, A. H., and Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychol. Bull.* 113, 345–361. doi: 10.1037/0033-2909.113.2.345
- Theusch, E., Basu, A., and Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *Am. J. Hum. Genet.* 85, 112–119. doi: 10.1016/j.ajhg.2009.06.010
- Theusch, E., and Gitschier, J. (2011). Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin Res. Hum. Genet.* 14, 173–178. doi: 10.1375/twin.14.2.173
- Thornton, A. R., and Raffin, M. J. M. (1978). Speech-discrimination scores modeled as a binomial variable. *J. Speech Hear. Res.* 21, 507–518. doi: 10.1044/jshr.21.03.507
- Vaden, K. I., Eckert, M. A., Dubno, J. R., and Harris, K. C. (2020). Cingulo-opercular adaptive control for younger and older adults during a challenging gap detection task. *J. Neurosci. Res.* 98, 680–691. doi: 10.1002/jnr.24506
- van Dijk, P., and Backes, W. H. (2003). Brain activity during auditory backward and simultaneous masking tasks. *Hear. Res.* 181, 8–14. doi: 10.1016/S0378-5955(03)00130-8
- Van Hedger, S. C., Heald, S. L. M., and Nusbaum, H. C. (2019). Absolute pitch can be learned by some adults. *PLoS One* 14:e0223047. doi: 10.1371/journal.pone.0223047
- Vanzella, P., and Schellenberg, E. G. (2010). Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PLoS One* 5:e15449. doi: 10.1371/journal.pone.0015449
- Vitouch, O. (2003). Absolutist models of absolute pitch are absolutely misleading. *Music. Percept.* 21, 111–117. doi: 10.1525/mp.2003.21.1.111
- Weiss, N. A. (2016). *wBoot: Bootstrap Methods*. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=robustbase>.
- Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., et al. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cereb. Cortex* 24, 1127–1137. doi: 10.1093/cercor/bhs391
- Wilson, S. J., Lusher, D., Wan, C. Y., Dudgeon, P., and Reutens, D. C. (2009). The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cereb. Cortex* 19, 724–732. doi: 10.1093/cercor/bhn121
- Winkler, I., and Näätänen, R. (1992). Event-related potentials in auditory backward recognition masking: a new way to study the neurophysiological basis of sensory memory in humans. *Neurosci. Lett.* 140, 239–242. doi: 10.1016/0304-3940(92)90111-J
- Winkler, I., Reinikainen, K., and Näätänen, R. (1993). Event-related brain potentials reflect traces of echoic memory in humans. *Percept. Psychophys.* 53, 443–449. doi: 10.3758/BF03206788
- Wong, Y. K., Lui, K. F. H., Yip, K. H. M., and Wong, A. C. N. (2020a). Is it impossible to acquire absolute pitch in adulthood? Attention, perception. *Psychophysiology* 82, 1407–1430. doi: 10.3758/s13414-019-01869-3
- Wong, Y. K., Ngan, V. S., Cheung, L. Y., and Wong, A. C. N. (2020b). Absolute pitch learning in adults speaking non-tonal languages. *Q. J. Exp. Psychol.* 73, 1908–1920. doi: 10.1177/1747021820935776
- Zatorre, R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nat. Neurosci.* 6, 692–695. doi: 10.1038/nm1085

ANEXO L – Artigo publicado 1: ficha de anamnese

Nome:	No.:		
Atualmente,			
1. Apresenta algum problema de audição?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
2. Apresenta algum problema de aprendizado?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
3. Apresenta algum problema de fala?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
4. Apresenta algum problema neurológico?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
5. Apresenta algum problema de atenção?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
<i>Se sim para um ou mais itens, detalhe o problema:</i> _____			
<hr/>			
Na infância,			
1. Apresentou algum dos problemas acima?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
<i>Se sim, detalhe o problema:</i> _____			
<hr/>			
Em algum momento de sua vida,			
1. Sofreu um traumatismo craniano?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
2. Sofreu um Acidente vascular cerebral (AVC)?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
3. Apresentou convulsões?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
<i>Se sim para um ou mais itens, detalhe a ocorrência:</i> _____			
<hr/>			
4. Realizou Terapia Fonoaudiológica?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> não sabe
<i>Se sim, quando? Por quanto tempo? Por qual motivo?</i> _____			
<hr/>			
5. Teve treinamento musical?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não	
<i>Se sim, qual instrumento? Por quanto tempo?</i> _____			
<i>Atuou como músico profissionalmente?</i> _____			
<i>Ainda pratica o instrumento?</i> _____			
<i>Se não, parou há quanto tempo? Por quê?</i> _____			
<hr/>			
tem dificuldade em prestar atenção quando alguém esta falando?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
solicita repetição da informação?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem dificuldade em ouvir e realizar algo ao mesmo tempo?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem necessidade de pistas visuais para compreender o que foi dito?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
aumenta o volume da TV ou senta-se próximo à fonte sonora?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem dificuldade em entender a fala na presença de ruído?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem dificuldade p realizar instruções e ordens?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem dificuldade com a ordem dos acontecimentos ao contar uma história ou descrever um ato?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
fica estressado em ambiente ruidoso?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
tem dificuldade para localizar um som?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
entende melhor textos escritos ou desenhados do que textos falados?	<input type="checkbox"/> sempre	<input type="checkbox"/> as vezes	<input type="checkbox"/> nunca
<hr/>			
Há algo que ache importante acrescentar sobre sua saúde? _____			

ANEXO M – Artigo publicado 1: ficha de aplicação da bateria Montreal Cognitive Assessment (MoCA)

MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA) Nome: _____ Data de nascimento: ____/____/____
Versão Experimental Brasileira Escolaridade: _____ Data de avaliação: ____/____/____
 Sexo: _____ Idade: _____

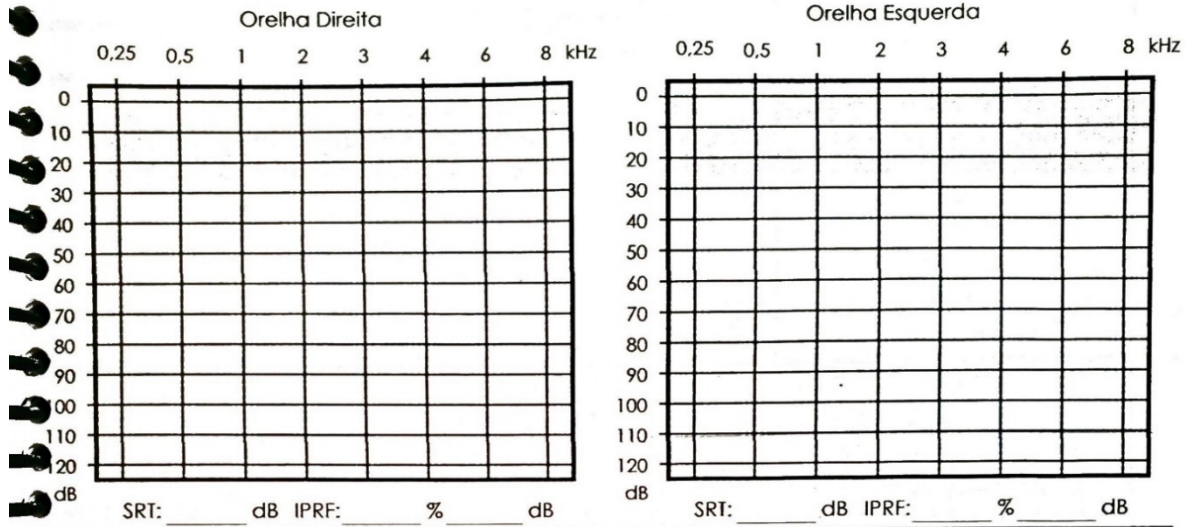
VISUOESPACIAL / EXECUTIVA							Pontos	
	Copiar o cubo 	Desenhar um RELÓGIO (onze horas e dez minutos) (3 pontos)						
[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	Contorno [] Números [] Ponteiros []	___/5	
NOMEAÇÃO								
								___/3
[] [] [] [] []	[] [] [] [] []	[] [] [] [] []						___/3
MEMÓRIA		Leia a lista de palavras, O sujeito de repeti-la, faça duas tentativas Evocar após 5 minutos					Sem Pontuação	
		Rosto	Veludo	Igreja	Margarida	Vermelho		
		1ª tentativa						
		2ª tentativa						
ATENÇÃO		Leia a seqüência de números (1 número por segundo) O sujeito deve repetir a seqüência em ordem direta [] 2 1 8 5 4 O sujeito deve repetir a seqüência em ordem indireta [] 7 4 2					___/2	
		Leia a série de letras. O sujeito deve bater com a mão (na mesa) cada vez que ouvir a letra "A". Não se atribuem pontos se ≥ 2 erros. [] F B A C M N A A J K L B A F A K D E A A A J A M O F A A B					___/1	
		Subtração de 7 começando pelo 100 [] 93 [] 86 [] 79 [] 72 [] 65	4 ou 5 subtrações corretas: 3 pontos; 2 ou 3 corretas 2 pontos; 1 correta 1 ponto; 0 correta 0 ponto				___/3	
LINGUAGEM		Repetir: Eu somente sei que é João quem será ajudado hoje. [] O gato sempre se esconde embaixo do Sofá quando o cachorro está na sala. []					___/2	
		Fluência verbal: dizer o maior número possível de palavras que comecem pela letra F (1 minuto). [] _____ (N ≥ 11 palavras)					___/1	
ABSTRAÇÃO		Semelhança p. ex. entre banana e laranja = fruta [] trem - bicicleta [] relógio - régua					___/2	
EVOCAÇÃO TARDIA		Deve recordar as palavras SEM PISTAS					___/5	
		Rosto	Veludo	Igreja	Margarida	Vermelho	Pontuação apenas para evocação SEM PISTAS	
		[]	[]	[]	[]	[]		
OPCIONAL		Pista de categoria [] Pista de múltipla escolha []						
ORIENTAÇÃO		[] Dia do mês [] Mês [] Ano [] Dia da semana [] Lugar [] Cidade					___/6	
© Z. Nasreddine MD www.mocatest.org Versão experimental Brasileira: Ana Luisa Rosas Sarmiento Paulo Henrique Ferreira Bertolucci - José Roberto Wajman (UNIFESP-SP 2007)						TOTAL Adicionar 1 pt se ≤ 12 anos de escolaridade ___/30		

ANEXO N – Artigo publicado 1: fichas de registro da avaliação audiológica básica (utilizadas também no Experimento 2 do artigo publicado 2)

Data do exame: ____ / ____ / ____

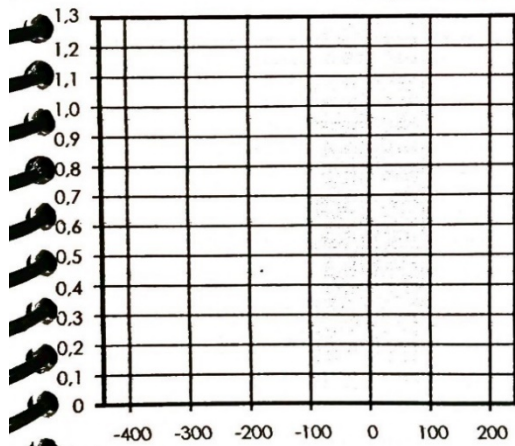
Id.: _____ Nome: _____

AUDIOMETRIA



IMITANCIOMETRIA

Timpanometria e Pesquisa dos reflexos acústicos

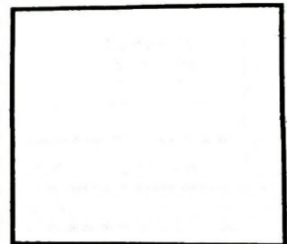


orelha direita	orelha esquerda	
		meatoscopia
		volume MAE
		volume do pico
		pico de admitância

Orelha direita			Orelha esquerda			
limiar	ipsi	contra		limiar	ipsi	contra
			500 Hz			
			1000 Hz			
			2000 Hz			
			4000 Hz			
			WN			

Observações: _____

CONCLUSÃO: _____

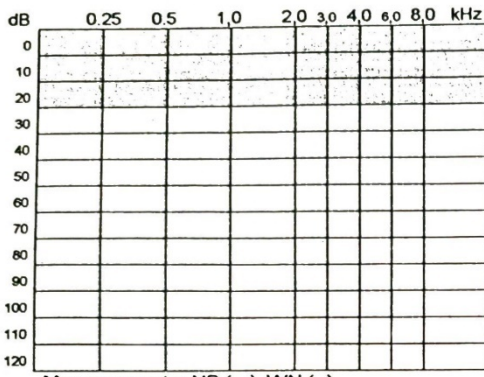




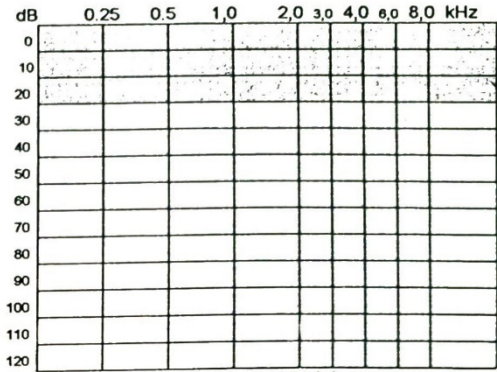
FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA, FONOAUDIOLOGIA E TERAPIA OCUPACIONAL
 CURSO DE FONOAUDIOLOGIA – AUDIOLOGIA CLÍNICA

NOME _____ SEXO _____ DN _____ IDADE _____
 AUDIÔMETRO _____ IMITANCIÔMETRO _____ DATA DE EXAME / /
 ESTAGIÁRIA _____ FONOAUDIÓLOGA RESPONSÁVEL _____

AVALIAÇÃO AUDIOLÓGICA



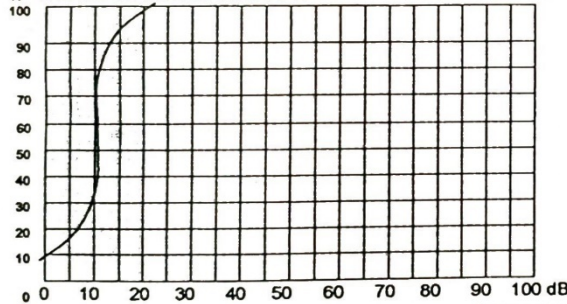
Mascaramento: NB () WN ()
 Nível: dBNS



Mascaramento: NB () WN ()
 Nível: dBNS

OBSERVAÇÃO:

% CURVA DE INTELIGIBILIDADE



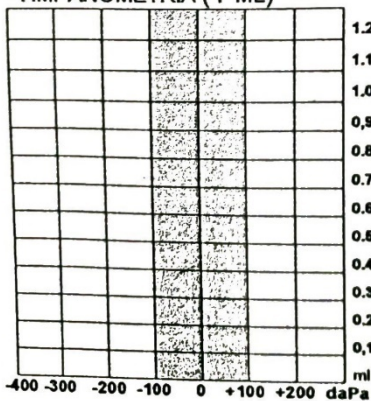
Testes de Fala

	Orelha Direita	C/ masc	Orelha Esquerda	C/ masc
LIMAR DE ATENÇÃO À FALA (LAF)	dB		dB	
LIMAR DE RECONHECIMENTO DE FALA (SRT)	dB		dB	
ÍNDICE PERCENTUAL DE RECONHECIMENTO DE FALA	%		%	
Monossílabos ()				
Dissílabos ()	dB		dB	

Mascaramento:
 Nível: dBNS

IMITANCIOMETRIA

TIMPANOMETRIA (Y ML)



ORELHA DIREITA ORELHA ESQUERDA

	ORELHA DIREITA	ORELHA ESQUERDA
Meatoscopia		
Volume Equivalente de MAE	ml	ml
Pressão do pico	daPa	daPa
Pico de Admitância (Yml)	ml	ml

PESQUISA DE REFLEXOS ACÚSTICOS

LIMAR	IPSI	CONTRA	Hz	LIMAR	IPSI	CONTRA
OD		AFD/EF E		OE		AI E/EF D
			500			
			1000			
			2000			
			4000			
			BB			

Legenda: BB – Broad Band Noise (ruído de banda larga)

Conclusão:

ANEXO O – Artigo publicado 1: fichas de registro dos testes temporais (teste de mascaramento sucessor, teste Gaps-in-Noise e testes de padrão de frequência e duração)

BM						GIN						TPD							
1	400	31	100	1	400	31	20	1	15	2	5	1	2	10	1	LLC	31	CCL	
2	100	32	20	2	100	32	--	2	15			2			2	LCC	32	LLC	
3	30	33	--	3	200	33	100	3	6	10		3	15		3	CLL	33	CLC	
4	50	34	10	4	--	34	50	4	6	20	6	4	3	6	2	4	CCL	34	LCC
5	--	35	50	5	30	35	--	5	4			5	12	20		5	CLC	35	LCL
6	0	36	30	6	50	36	0	6	12			6	12	4	12	6	LCL	36	CLL
7	20	37	100	7	10	37	400	7	3	4		7	10	15	8	7	LCC	37	LLC
8	--	38	30	8	100	38	30	8	10	10		8	10	2	10	8	LLC	38	CLL
9	200	39	--	9	20	39	200	9	5			9	10	15	15	9	CCL	39	LCC
10	10	40	0	10	--	40	10	10				10	2			10	CLC	40	LCL
11	--	41	200	11	0	41	200	11	6	12	12	11	4	3		11	LCL	41	CLC
12	30	42	--	12	400	42	20	12	6			12	2			12	CLL	42	CCL
13	50	43	10	13	--	43	400	13	15			13	15	4	4	13	CCL	43	LCC
14	0	44	20	14	30	44	--	14	5			14	10	4	20	14	LCL	44	CCL
15	--	45	100	15	10	45	50	15	3	6		15	6	15		15	CLC	45	LCL
16	20	46	200	16	200	46	100	16	2	3	20	16				16	LCC	46	CLL
17	100	47	50	17	10	47	30	17				17	3			17	CLL	47	CLC
18	400	48	400	18	0	48	--	18	5	4		18	2	3		18	LLC	48	LLC
19	0	49	--	19	--	49	30	19	10			19	5			19	CCL	49	LCL
20	10	50	10	20	30	50	--	20	2			20	3	12	4	20	LLC	50	CCL
21	100	51	0	21	200	51	0	21	5			21	8			21	LCL	51	CLC
22	200	52	400	22	50	52	--	22	8	20		22	20			22	CLC	52	CLL
23	10	53	--	23	--	53	400	23	12	10		23	5	12	4	23	LCC	53	LCC
24	--	54	30	24	50	54	0	24	8			24	5	5		24	CLL	54	LLC
25	400	55	50	25	400	55	10	25	20	2		25	8			25	LLC	55	LCC
26	20	56	400	26	20	56	50	26	3	2		26	5	6		26	CLL	56	LLC
27	50	57	20	27	0	57	20	27	5	15		27	5	20	6	27	LCL	57	CLC
28	--	58	0	28	20	58	100	28	2	20	8	28	6	12	20	28	LCC	58	CCL
29	30	59	--	29	100	59	200	29	3	4		29	20			29	CCL	59	CLL
30	200	60	200	30	--	60	10	30	3	15	20	30	8	6		30	CLC	60	LCL
								31	4			31	8						
								32	4	10		32	8						
								33	15	8									
								34	8	8		OD: [] %	OD: [] %						
								35	12	12		OE: [] %	OE: [] %						
												2ms - []	8ms - []						
												3ms - []	10ms - []						
												4ms - []	12ms - []						
												5ms - []	15ms - []						
												6ms - []	20ms - []						

OD: [] %

400ms - []

200ms - []

100ms - []

50ms - []

30ms - []

20ms - []

10ms - []

0ms - []

OE: [] %

400ms - []

200ms - []

100ms - []

50ms - []

30ms - []

20ms - []

10ms - []

0ms - []

OD: [] %

OE: [] %

2ms - []

3ms - []

4ms - []

5ms - []

6ms - []

8ms - []

10ms - []

12ms - []

15ms - []

20ms - []

OD: [] %

OE: [] %

 Limiar: _____ int tom/masc: _____ /

LIST 1

LIST 2

orelha				orelha			
1	400	31	100	1	400	31	20
2	100	32	20	2	100	32	WT
3	30	33	WT	3	200	33	100
4	50	34	10	4	WT	34	50
5	WT	35	50	5	30	35	WT
6	0	36	30	6	50	36	0
7	20	37	100	7	10	37	400
8	WT	38	30	8	100	38	30
9	200	39	WT	9	20	39	200
10	10	40	0	10	WT	40	10
11	WT	41	200	11	0	41	200
12	30	42	WT	12	400	42	20
13	50	43	10	13	WT	43	400
14	0	44	20	14	30	44	WT
15	WT	45	100	15	10	45	50
16	20	46	200	16	200	46	100
17	100	47	50	17	10	47	30
18	400	48	400	18	0	48	WT
19	0	49	WT	19	WT	49	30
20	10	50	10	20	30	50	WT
21	100	51	0	21	200	51	0
22	200	52	400	22	50	52	WT
23	10	53	WT	23	WT	53	400
24	WT	54	30	24	50	54	0
25	400	55	50	25	400	55	10
26	20	56	400	26	20	56	50
27	50	57	20	27	0	57	20
28	WT	58	0	28	20	58	100
29	30	59	WT	29	100	59	200
30	200	60	200	30	WT	60	10

400 - _____ /6
200 - _____ /6
100 - _____ /6
50 - _____ /6
30 - _____ /6
20 - _____ /6
10 - _____ /6
0 - _____ /6

400 - _____ /6
200 - _____ /6
100 - _____ /6
50 - _____ /6
30 - _____ /6
20 - _____ /6
10 - _____ /6
0 - _____ /6

Nome: _____ No.: _____

GIN – OD / OE

T1	Duração do gap	T1	Duração do gap	T1	Duração do gap	T1	Duração do gap
1	15 . 2 . 5	11	6 . 12 . 12	21	5	31	4
2	15	12	6	22	8 . 20	32	4 . 10
3	6 . 10	13	15	23	12 . 10	33	15 . 8
4	6 . 20 . 6	14	5	24	8	34	8 . 8
5	4	15	3 . 6	25	20 . 2	35	12 . 12
6	12	16	2 . 3 . 20	26	3 . 2	2ms	/6 8ms /6
7	3 . 4	17	-	27	5 . 15	3ms	/6 10ms /6
8	10 . 10	18	5 . 4	28	2 . 20 . 8	4ms	/6 12ms /6
9	5	19	10	29	3 . 4	5ms	/6 15ms /6
10	-	20	2	30	3 . 15 . 20	6ms	/6 20ms /6

Teste de Padrão de Frequência – Musiek – OD / OE

Teste de Padrão de Duração – Musiek – OD / OE

1	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	36	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	36	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	39	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	39	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	42	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	42	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	43	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	43	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	44	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	44	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	45	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	45	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	47	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	47	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	49	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	19	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	49	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	51	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	51	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	52	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	52	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	53	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	53	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	54	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	24	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	54	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	55	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	55	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	56	GGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	56	LLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	57	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	57	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	GAA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	58	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28	LCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	58	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	AAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	59	AGG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	29	CCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	59	CLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	AGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60	GAG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30	CLC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60	LCL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acertos:								Acertos:							

ANEXO P – Artigo publicado 2: Experimento 1: fichas de anamnese



Universidade Federal de São Paulo
Escola Paulista de Medicina
Centro de Fonoaudiologia – Disciplina dos Distúrbios da Audição

Anamnese – Audiologia Clínica

Adaptado por: Prof.^a Dr.^a Alda Christina de Carvalho Borges e Ms. Daniela Gil/UNIFESP

1. Identificação

Nome: _____ Idade: _____ Sexo: _____
 Endereço: _____
 Telefone: _____ Profissão: _____
 Encaminhado por: _____ Data da Avaliação: _____

2. Qual a sua maior preocupação?

Perda auditiva ()
 Tontura ()
 Zumbido ()
 Outros: _____

3. História Audiológica

- a. Início dos sintomas: gradual () súbito ()
- b. Melhor ouvido: direito () esquerdo ()
- c. unilateral () bilateral ()
- d. Perda auditiva: estável () progressiva () flutuante ()
- e. História familiar de perda auditiva ()
- f. Exposição a ruído () Quanto tempo? _____
- g. Drogas ototóxicas ()
- h. Testes auditivos anteriores ()
- i. Trauma craniano ou acidente ()

4. História da Comunicação

- a. Situações nas quais há dificuldade auditiva:
 Telefone () Orelha Direita () Orelha Esquerda ()
 Ambiente ruidoso () TV () Cinema () Teatro () Festas () Igreja ()
 Ambiente silencioso () Conferências () Salas de aula ()
- b. Dificuldade com vozes homem () mulher () criança ()
- c. Dificuldade em localizar sons ()
- d. Uso de prótese auditiva ()
- e. Avaliação ou terapia de linguagem ()
- f. Necessidade de comunicação ()

5. História otológica

- a. Cirurgias anteriores: ouvidos () nariz () garganta ()
- b. Dores de ouvido ()
- c. Otorreia ()
- d. Zumbido () Há quanto tempo? _____
- e. Características do zumbido:
 Descrição – agudo () grave () outros _____
 Grau de severidade () leve () moderado () severo
 Unilateral () Bilateral ()
 Contínuo () Intermitente ()
- f. Tontura
 Descrição – rotatória () () não-rotatória () postural () não-postural
 Sintomas associados
 Náuseas () Alterações visuais () Desmaios () Taquicardia ()
 () Outros: _____

6. História médica

- a. Saúde geral () boa () debilitada
- b. Doença renal (rins) ()
- c. Câncer ()
- d. Diabetes ()
- e. Pressão alta ()
- f. Outros problemas cardíacos ou vasculares ()
- g. Rubéola ()
- h. Sarampo ()
- i. Catapora ()
- j. Meningite ()
- k. Sífilis ()
- l. Tuberculose ()
- m. Malária ()
- n. Febre escarlatina ()
- o. AIDS ()
- p. Problemas na tireoide ()
- q. Fumo ()
- r. Álcool ()
- s. Alergias ()
- t. Problemas visuais ()
- u. Crises epilépticas ()
- v. Problemas neurológicos ou neuromusculares ()
- w. Doenças ósseas ()
- x. Alterações de cabeça e pescoço ()
- y. Terapia psicológica ou psiquiátrica ()

Bibliografia:

MARGOLIS, R. H. **Audiology Clinical Protocols.**

1997 – Allyn and Bacon, Boston, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore.

SILMAN, S.; SILVERMAN, C. A. **Auditory Diagnosis.**

1991 – Academic Press

1997 – Singular Publishing Group, Inc.



PROTOCOLO 1

ANAMNESE

Identificação:

Nome:		Idade:	
Data de nascimento:		Sexo: () masculino () feminino	
Avaliador:		Data da avaliação:	
Preferência manual:		Encaminhado por:	
Escolaridade:		Telefone:	
Endereço:			

Anamnese:

Perguntas	Sim	Não	Observações
Escuta bem em ambiente silencioso?			
É desatento?			
Escuta bem em ambiente ruidoso?			
É muito quieto?			
Localiza o som?			
É agitado?			
Compreende bem a conversação?			
Em que situação a conversação é mais difícil?			
ambiente silencioso:			
em grupo:			
com um interlocutor:			
ambiente ruidoso:			
em grupo:			
com um interlocutor:			
oscila independente do ambiente:			
Apresenta alguma dificuldade em fala?			Qual:
Apresenta alguma dificuldade em leitura/escrita?			Qual:
Apresenta alguma outra dificuldade?			Qual:
Demorou para aprender a falar?			Iniciou com:
Demorou para aprender a andar?			Iniciou com:
Teve dificuldade para aprender a ler?			
Teve dificuldade para aprender a escrever?			
Teve outras dificuldades escolares?			Quais?
Apresentou repetência escolar?			Quantas vezes e em que série?
Tem boa memória?			Descreva:
Está sendo medicado?			Descreva:
Teve episódio de otite, dor de ouvido, principalmente nos primeiros anos de vida?			Descreva:
Teve outras doenças?			Quais e quando?
Está em acompanhamento médico?			Início e motivo:
Está em acompanhamento fonoaudiológico?			Início e motivo:
Está em acompanhamento psicológico?			Início e motivo:
Está em acompanhamento psicopedagógico?			Início e motivo:

ANEXO Q – Artigo publicado 2: Experimento 1: Questionário de experiência musical

Questionário de experiência musical

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Aplicado por: _____	Data da aplicação: ___/___/___	

1) Há quanto tempo você pratica música? (Considere apenas o período ativo)

R: _____

1.1) Sua prática é: () Amadora () Profissional

2) Com que idade você começou a praticar música?

R: _____

3) Qual(is) instrumento(s) você toca? (“Voz” é uma opção válida)

R: _____

4) Em média, quantas horas semanais de treino musical você tem?

R: _____

5) Você já teve algum estudo formal de música? () Sim () Não

5.1) Se sim, com que idade esse estudo se iniciou?

R: _____

5.2) Durante quanto tempo você teve estudo formal de música?

R: _____

6) Você possui ouvido absoluto? () Sim () Não

6.1) Algum parente seu apresenta ouvido absoluto? () Sim () Não

6.1) Se sim, qual(is)?

R: _____

Grupo: () GOA () GnOA () GC

ANEXO R – Artigo publicado 2: Experimento 1: ficha de registro da avaliação audiológica básica

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: ____
Avaliador: _____	Data da avaliação: ____/____/____	

Audiometria Tonal Liminar

	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	3000Hz	4000Hz	6000Hz	8000Hz
OD (VA)								
OE (VA)								

	Média de 500, 1000 e 2000Hz
OD (VA)	
OE (VA)	

Conclusão - Audição Periférica: () Normal () Alterada

IPRF	
Orelha avaliada:	Orelha Avaliada:
Intensidade de fala: ____ dBNA	Intensidade de fala: ____ dBNA
01. TIL	01. CHÁ
02. JAZ	02. DOR
03. ROL	03. MIL
04. PUZ	04. TOM
05. FAZ	05. ZUM
06. GIM	06. MEL
07. RIR	07. TIL
08. BOI	08. GIM
09. VAI	09. DIL
10. MEL	10. NU
11. NU	11. PUZ
12. LHE	12. NHÁ
13. CAL	13. SUL
14. MIL	14. JAZ
15. TEM	15. ROL
16. DIL	16. TEM
17. DOR	17. FAZ
18. CHÁ	18. LHE
19. ZUM	19. BOI
20. NHÁ	20. CAL
21. CÃO	21. RIR
22. TOM	22. CÃO
23. SEIS	23. LER
24. LER	24. VAI
25. SUL	25. SEIS
% de acertos:	% de acertos:
Conclusão: () NL () ALT	Conclusão: () NL () ALT

ANEXO S – Artigo publicado 2: Experimento 1: ficha de registro do teste de ouvido absoluto

Teste de ouvido absoluto (reproduzido por Leite Filho, 2014, a partir de Loui et al., 2011; com base em Keenan et al., 2001)

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: ____
Avaliador: _____	Data da avaliação: ____/____/____	

Faixa-treino 1: Binaural – 40 dBNS (Se n de acertos ≥ 7 , realizar faixa-teste 1)

	Tom	Resposta
01	F#4/Gb4	
02	B4	
03	G4	
04	F5	
05	C5	
06	F#5/Gb5	
07	C#5/Db5	

	Tom	Resposta
08	G#4/Ab5	
09	D5	
10	D#5/Eb5	
11	A#5/Bb5	
12	E5	
13	A4	

Faixa-teste 1: Binaural – 40 dBNS

	Tom	Resposta
01	D#5/Eb5	
02	B4	
03	G#4/Ab4	
04	A#4/Bb4	
05	D5	
06	E5	
07	A4	
08	C5	
09	F5	
10	C#5/Db5	
11	G4	
12	F#5/Gb5	
13	F#4/Gb4	
14	D5	
15	B4	
16	F5	
17	A#4/Bb4	
18	E5	
19	F#4/Gb4	
20	C5	
21	D#5/Eb5	
22	G#4/Ab4	
23	F#5/Gb5	
24	C#5/Db5	
25	A4	
26	G4	

	Tom	Resposta
27	D#5/Eb5	
28	F#4/Gb4	
29	F#5/Gb5	
30	E5	
31	C5	
32	C#5/Db5	
33	A#4/Bb5	
34	F5	
35	G4	
36	B4	
37	A4	
38	D5	
39	G#4/Ab4	
40	D#5/Eb5	
41	C#5/Db5	
42	E5	
43	G4	
44	F#5/Gb5	
45	A#4/Bb4	
46	F#4/Gb4	
47	A4	
48	F4	
49	B4	
50	D4	
51	G#4/Ab4	
52	C4	

Tabela de desvio (semitons) da nota alvo

	F#3	G3	G#3	A3	A#3	B3	C4	C#4	D4	D#4	E4	F4	F#4
F#3													
G3													
G#3													
A3													
A#3													
B3													
C4													
C#4													
D4													
D#4													
E4													
F4													
F#4													

Média de desvio (semitons): _____

Critério para ouvido absoluto: desvio da nota alvo < 1 semitom

Conclusão: Ouvido Absoluto – () Sim () Não

ANEXO T – Artigo publicado 2: Experimento 1: fichas de registro do teste Gaps-in-Noise

Teste Gaps-in-Noise – faixa teste 1 (Musiek et al., 2005)

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Avaliador: _____	Data da avaliação: ____ / ____ / ____	

Orelha Testada: () OD () OE
Faixa-Teste 1: Faixa 3 – Monoaural – 50 dBNS

Teste 1	Posição do gap (ms)	Duração do gap (ms)	Teste 1	Posição do gap (ms)	Duração do gap (ms)
1	1337.3	15	19	1193.7	10
	3870.3	2			
	5277.3	5	20	726.3	2
2	1303.2	15			
			21	4595.4	5
3	2862.4	6			
	4491.8	10	22	4024.6	8
				5174.2	20
4	1145.4	6			
	3449.6	20	23	500.5	12
	4319.3	6		4837.5	10
5	4466.0	4	24	2196.3	8
6	1389.5	12	25	2006.8	20
				3349.4	2
7	2799.7	3			
	3421.8	4	26	1520.3	3
				5491.9	2
8	1757.1	10			
	2875.5	10	27	1955.9	5
				3194.0	15
9	2863.4	5			
			28	1056.3	2
				3190.6	20
10				4358.1	8
11	2727.5	6			
	4205.0	12	29	1338.3	3
	5011.1	12		3802.5	4
12	4014.1	6			
			30	884.3	3
				2150.3	15
				3386.4	20
13	2304.8	15			
			31	4199.3	4
14	1597.2	5			
			32	3047.4	4
				5322.9	10
15	2032.1	3			
	4564.7	6			
16	1000.8	2	33	1812.0	15
	2613.4	3		2793.5	8
	4190.7	20			
17					
18	1268.9	5			
	1977.2	4	34	1564.4	8
				2255.5	8
			35	1118.5	12
				2613.0	12

Escore para Faixa-teste 1:

Limiar	2 ms	3 ms	4 ms	5 ms	6 ms	8 ms	10 ms	12 ms	15 ms	20 ms	Total
Acertos	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/60
%											

0/6 = 0%; 1/6 = 16,66%; 2/6 = 33,33%; 3/6 = 50%; 4/6 = 66,66%; 5/6 = 83,33%; 6/6 = 100

Teste *Gaps-in-Noise* integral – faixa teste 3 (Musiek et al., 2005)

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Avaliador: _____	Data da avaliação: ____/____/____	

Orelha Testada: () OD () OE

Faixa-Teste 3: Faixa 5 – Monoaural – 50 dBNS

Teste 1	Posição do gap (ms)	Duração do gap (ms)
1	2286.0	12
	2977.7	3
2	2734.7	2
	3507.1	2
	5430.8	20
3	1331.5	2
	2908.4	8
4	2566.2	8
	3980.9	10
5		
6	2175.9	2
	3572.4	15
	4150.7	12
7	2459.5	2
	3345.3	6
	4519.8	5
8	1334.6	5
	2504.9	4
	4335.3	3
9	1389.8	10
	3897.2	10
	4452.3	5
10	3063.0	15
	3721.2	2
	4909.0	6
11	2198.0	12
	4239.5	8
12	2254.7	6
	4182.6	8
13		
14	2885.1	8
	4670.7	10
	5325.6	3

Teste 1	Posição do gap (ms)	Duração do gap (ms)
15	1251.9	8
	4383.5	3
16	2585.0	6
17	3537.5	10
18	1259.4	6
	3244.9	12
	4461.3	4
19	4856.2	3
20	887.9	3
	2506.5	20
	3902.6	5
21	1151.2	20
22	790.6	12
	2921.0	6
	5211.6	12
23	1172.8	4
	2096.6	4
	4065.4	4
24	3206.3	5
25	2059.0	4
	2610.7	10
	5452.2	5
26	2605.8	15
	3880.1	15
	4766.5	15
27	1158.3	20
	1943.3	15
28	3378.2	20
29	4782.3	20

Escore para Faixa-teste 1:

Limiar	2 ms	3 ms	4 ms	5 ms	6 ms	8 ms	10 ms	12 ms	15 ms	20 ms	Total
Acertos	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/6	/60
%											

0/6 = 0%; 1/6 = 16,66%; 2/6 = 33,33%; 3/6 = 50%; 4/6 = 66,66%; 5/6 = 83,33%; 6/6 = 100

ANEXO U – Artigo publicado 2: Experimento 2: ficha de anamnese

Anamnese

Nome: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Profissão: _____	Escolaridade: _____	
Nacionalidade: _____	Língua materna: _____	
Data de nascimento: ____/____/____	ID: _____	
Contato: _____		

Dominância manual? () Esquerda () Direita

História audiológica

Ouve bem? () Sim () Não Melhor orelha? () D () E () Indiferente Exposição a ruído? () Sim () Não

Usa protetor? () Sim () Não História familiar de PA? () Sim () Não Quem? _____

Localiza o som? () Sim () Não Incômodo com ruído? () Sim () Não Pede pra repetir? () Sim () Não

Dificuldade de ouvir? () No silêncio () No ruído () Fala rápida () Fala em grupo () Telefone

Zumbido? () N () S Tipo? () G () A () Outros: _____ Intensidade? () L () M () S

() Contínuo () Intermitente () Unilateral _____ () Bilateral _____

Tontura? () N () S () R () NR _____ () P () NP _____

História otológica

Cirurgia? () O () R () L Dor de ouvido? () Sim () Não Otite? () Sim () Não

Otorreia? () S () N _____

História de desenvolvimento

Intercorrências gestacionais? () N () S _____ () Memória ruim _____

_____ () Desatento(a) _____

() Demorou para falar _____ () Desastrado(a) _____

() Demorou para andar _____ () Distraído(a) _____

() Demorou para ler _____ () Desorganizado(a) _____

() Demorou para escrever _____ () Agitado(a) _____

() Alt. de fala/linguagem _____ () Dificuldades escolares _____

() Alt. de leitura/escrita _____ () Dificuldade para aprender outra língua _____

() Alt. motora _____ _____

História médica

Tem problema de saúde? () S () N _____ () Rubéola _____

() Doença renal _____ () Sarampo _____

() Câncer _____ () Caxumba _____

() Diabetes _____ () Catapora _____

() HAS _____ () Meningite _____

() Probl. Cardiovasc. _____ () Tuberculose _____

() DST _____ () Malária _____

() Problema de tireoide _____ () Febre escarl. _____

() Problemas visuais _____ () Álcool _____

() Doenças neurológicas/neuromusculares _____ () Crises convulsivas _____

() Fumo _____ () Doenças ósseas _____

() Quimioterapia _____ () Alterações de sono _____

- () Radioterapia _____ () Toxoplasmose _____
 () Doenças auto-imunes _____ () Hanseníase _____
 () Acidente _____ () Paralisia facial _____
 () TCE _____ () Alterações psiquiátricas _____
 () Alergias _____ () Síndrome genética _____
 () Internação _____ () Cirurgia _____
 () Drogas _____ () Outros _____

Faz algum acompanhamento? () N () S

- () Médico _____ () Psicológico _____
 () Fonoaudiológico _____ () Outros _____

Toma medicamento? () S () N Qual? _____

Já fez ou faz alguma atividade extra? () S () N _____

Quantas horas dormiu hoje? _____ Quantas horas dorme no geral? _____

Risco para DPA: () Sim () Não

Questionário de experiência musical

Com que idade começou a praticar música sem estudo formal?

R: _____

Com qual instrumento iniciou a prática musical?

R: _____

Qual o tempo total de prática de música?

R: _____

Qual o tempo ininterrupto de prática de música?

R: _____

Estudou música formalmente? () Sim () Não

Com que idade?

Qual o tempo total de estudo formal de música?

R: _____

Tempo ininterrupto de estudo formal de música?

R: _____

Quais os conteúdos abordados no estudo formal?

R: _____

Quais instrumentos toca atualmente?

Qual o tipo de atividade musical realizada?

- () Estudante de música () Músico profissional () Músico amador () Professor de música () Professor de música universitário () Tem amplo treinamento musical, mas atualmente não toca com frequência () Tem algum treinamento musical, mas atualmente não toca com frequência () Não tem nenhum treinamento musical

Dias por semana de prática?

R: _____

Horas por dia de prática?

R: _____

Tem ouvido absoluto? () Sim () Não () Não sei

Alguém na família tem ouvido absoluto? () Sim () Não

Quem? R: _____

Grupo: () GOA () GsOA () GNM

ANEXO V – Artigo publicado 2: Experimento 2: ficha de registro do teste de ouvido absoluto e exemplo de folha de resposta do voluntário

Teste de Ouvido Absoluto (Leite, 2017)

Nome: _____ ID: _____

Data da Avaliação: ____/____/____

Practice Trial Acertos: ____/4 Soma de desvios absolutos: ____	Trial 1 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____
Trial 2 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____	Trial 3 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____
Trial 4 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____	Trial 5 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____
Trial 6 Acertos: ____/12 Soma de desvios absolutos: ____	Total Acertos: ____/72 %: _____ Desvios: ____ Média de desvio absoluto: _____

Conclusão

() Ouvido Absoluto preciso () Ouvido Absoluto impreciso () Sem Ouvido Absoluto

