



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Relative contributions of auditory and cognitive functions on speech recognition in quiet and in noise among older adults[☆]



Siti Zamratol Mai Sarah Mukari ^{a,*}, Yusmeera Yusof ^{b,c}, Wan Syafira Ishak ^b, Nashrah Maamor ^b, Kalaivani Chellapan ^d e Mariam Adawiah Dzulkifli ^e

^a *Universiti Kebangsaan Malaysia, Institute of Ear, Hearing and Speech, Kuala Lumpur, Malásia*

^b *Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Health Sciences, Kuala Lumpur, Malásia*

^c *Ministry of Health, Malásia*

^d *Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Engineering & Built Environment, Bangi, Malásia*

^e *International Islamic University, Kuliyyah of Islamic Revealed Knowledge and Human Sciences, Kuala Lumpur, Malásia*

Recebido em 11 de julho de 2018; aceito em 23 de outubro de 2018

Disponível na Internet em 18 de janeiro de 2020

KEYWORDS

Speech recognition;
Hearing threshold;
Auditory;
Cognition;
Elderly

Abstract

Introduction: Hearing acuity, central auditory processing and cognition contribute to the speech recognition difficulty experienced by older adults. Therefore, quantifying the contribution of these factors on speech recognition problem is important in order to formulate a holistic and effective rehabilitation.

Objective: To examine the relative contributions of auditory functioning and cognition status to speech recognition in quiet and in noise.

Methods: We measured speech recognition in quiet and in composite noise using the Malay Hearing in noise test on 72 native Malay speakers (60–82 years) older adults with normal to mild hearing loss. Auditory function included pure tone audiogram, gaps-in-noise, and dichotic digit tests. Cognitive function was assessed using the Malay Montreal cognitive assessment.

Results: Linear regression analyses using backward elimination technique revealed that had the better ear four frequency average (0.5–4 kHz) (4FA), high frequency average and Malay Montreal cognitive assessment attributed to speech perception in quiet (total $r^2 = 0.499$). On the other hand, high frequency average, Malay Montreal cognitive assessment and dichotic digit tests contributed significantly to speech recognition in noise (total $r^2 = 0.307$). Whereas the better ear high frequency average primarily measured the speech recognition in quiet, the speech recognition in noise was mainly measured by cognitive function.

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.10.010>

[☆] Como citar este artigo: Mukari SZ, Yusof Y, Ishak WS, Maamor N, Chellapan K, Dzulkifli MA. Relative contributions of auditory and cognitive functions on speech recognition in quiet and in noise among older adults. Braz J Otorhinolaryngol. 2020;86:149–56.

* Autor para correspondência.

E-mail: zamratol@ukm.edu.my (S.Z. Mukari).

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

PALAVRAS-CHAVE

Reconhecimento de fala;
Limiar auditivo;
Auditivo;
Cognição;
Idoso

Conclusions: These findings highlight the fact that besides hearing sensitivity, cognition plays an important role in speech recognition ability among older adults, especially in noisy environments. Therefore, in addition to hearing aids, rehabilitation, which trains cognition, may have a role in improving speech recognition in noise ability of older adults.

© 2018 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Contribuições relativas das funções auditivas e cognitivas no reconhecimento da fala no silêncio e no ruído entre idosos**Resumo**

Introdução: A alteração da acuidade auditiva, do processamento auditivo central e da cognição são fatores que contribuem para a dificuldade de reconhecimento da fala em idosos. Portanto, quantificar a contribuição desses fatores no problema de reconhecimento da fala é importante para a formulação de uma reabilitação holística e efetiva.

Objetivo: Examinar as contribuições relativas do funcionamento auditivo e do estado cognitivo para o reconhecimento da fala no silêncio e no ruído.

Método: Nós medimos o reconhecimento de fala no silêncio e no ruído composto com o teste *Malay hearing in noise test* em 72 idosos malaios nativos falantes (60-82 anos) com audição normal a perda auditiva de grau leve. A avaliação da função auditiva incluiu audiograma de tons puros, teste *gaps-in-noise* e testes dicótico de dígitos. A função cognitiva foi avaliada pelo teste *Malay Montreal cognitive assessment*.

Resultados: Análises de regressão linear com técnicas de eliminação *backward* na orelha melhor revelaram média de quatro frequências (0,5–4 kHz) (4AF), média de alta frequência e teste *Malay Montreal cognitive assessment* na orelha melhor, mensurada pela percepção da fala no silêncio (r^2 total = 0,499). Por outro lado, a média de alta frequência, *Malay Montreal cognitive assessment* e o teste dicótico de dígitos contribuíram significativamente para o reconhecimento da fala no ruído (r^2 total = 0,307). Enquanto a média de alta frequência da melhor orelha mediu principalmente o reconhecimento da fala no silêncio, o reconhecimento da fala no ruído foi mensurado principalmente pela função cognitiva. Esses achados destacam o fato de que, além da sensibilidade auditiva, a cognição desempenha um papel importante na capacidade de reconhecimento da fala em idosos, principalmente em ambientes ruidosos. Portanto, além de aparelhos auditivos, a reabilitação, que treina a cognição, pode ter um papel na melhoria da capacidade do reconhecimento da fala no ruído entre os idosos.

© 2018 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

Acompanhar uma conversa falada em um ambiente barulhento é difícil, especialmente para os idosos com ou sem deficiência auditiva.¹ Três hipóteses foram propostas para explicar as dificuldades de compreensão da fala por idosos: os processos auditivos periféricos, centrais e cognitivos.² Embora as contribuições dos processos auditivo central e cognitivo no desempenho do reconhecimento de fala em condições adversas de escuta tenham sido documentadas,^{3,4} o manejo da deficiência auditiva tem sido concentrado principalmente no sentido de melhorar a audibilidade através do uso de dispositivos de amplificação sonora. Uma abordagem de reabilitação mais holística, sobre os processos envolvidos nas dificuldades de reconhecimento de fala, é necessária para fornecer resultados mais satisfatórios.

Além da perda auditiva periférica, o envelhecimento é frequentemente acompanhado por uma redução na eficiên-

cia do processamento do som devido à degeneração da via auditiva central⁵ e um declínio na função cognitiva.⁶ Dos três fatores, a perda auditiva periférica tem sido extensivamente estudada como o fator subjacente para as dificuldades de compreensão da fala no ruído experimentadas por idosos.⁷ Embora esses estudos sugiram que a perda auditiva periférica desempenhe um papel primordial nas dificuldades de compreensão da fala no ruído, o fato de os ouvintes mais velhos tenderem a ter maiores dificuldades do que os jovens, apesar da audição normal,^{8,9} indica que outros processos além da audição periférica também contribuem para essas dificuldades de reconhecimento de fala.

Os papéis dos fatores auditivos e cognitivos centrais na compreensão da fala no ruído têm sido amplamente estudados nas últimas décadas.^{10,11} A maioria desses estudos incluiu medidas de resolução temporal auditiva.^{7,8,11} Os efeitos dos déficits de processamento temporal no reconhecimento da fala permanecem obscuros. Por exemplo, Besser

et al.,¹¹ que examinaram as contribuições das habilidades auditiva, cognitiva e linguística para os resultados do teste *listening in spatialized noise-sentences* (LISN-S) em grupos de jovens e indivíduos mais velhos com audição normal, verificaram que as medidas de processamento temporal, habilidades linguísticas e nível de audição não predizem resultados do LISN-S na faixa etária mais alta. Em contraste estão os resultados de Tyler et al.,¹² que relataram uma correlação significativa entre os limiares de gap e o reconhecimento de palavras no ruído após a combinação dos dados de jovens e idosos. Deve-se notar, no entanto, que as diferenças nas faixas de idade e nível de audição dos participantes do estudo, medidas de processamento temporal, bem como variações nos materiais de reconhecimento de fala, podem ter contribuído para a diferença nos resultados entre os estudos.

Outra função de processamento auditivo central que diminui com a idade é a escuta dicótica. A escuta dicótica é uma tarefa desafiadora, pois o ouvinte é obrigado a lidar com sinais sonoros concorrentes apresentados às duas orelhas simultaneamente. Um estudo investigou a influência do controle atencional da idade do efeito lateral incentivado por estímulo ascendente em adultos jovens e mais velhos.¹³ Os sujeitos do estudo foram testados com os paradigmas de recordação livre, escuta forçada à direita e à esquerda. Seus resultados revelaram que tanto o grupo dos indivíduos jovens quanto o dos mais velhos apresentavam melhor desempenho na orelha direita (vantagem da orelha direita) nos paradigmas de recordação livre e escuta forçada à direita. Entretanto, no paradigma da escuta forçada à esquerda, enquanto o grupo mais jovem demonstrou vantagem na orelha esquerda, esse fenômeno não foi observado no grupo mais velho, sugeriu que o envelhecimento reduz a capacidade de controle atencional descendente de um efeito de lateralidade ascendente. Considerando que se sabe que a atenção diminui com a idade¹⁴ e espera-se que seja geralmente importante para o desempenho da fala no ruído,¹⁵ é possível que a escuta dicótica influencie o desempenho do reconhecimento da fala no ruído. Além disso, estudos sobre escuta dicótica com estímulos da fala mostraram que o envelhecimento está associado a uma redução geral nos escores das orelhas direita e esquerda, o escore da orelha esquerda apresenta redução mais rápida, resulta em maior vantagem da orelha direita.¹⁶ Sugere-se que a vantagem da orelha direita na escuta dicótica de base linguística pode ter um impacto considerável no processamento do sinal binaural, o que pode interferir na capacidade de reconhecimento da fala no ruído.¹⁷ Apesar da possível influência da escuta dicótica no reconhecimento da fala no ruído, a revisão da literatura, entretanto, revela estudos muito limitados que incluíram um teste dicótico.

A influência da cognição na compreensão da fala no ruído tem sido amplamente estudada e estabelecida.^{10,18} Entre as medidas cognitivas comumente estudadas estão a capacidade de memória de trabalho, atenção e velocidade de processamento.¹⁹⁻²¹ Uma metanálise de 25 artigos que incluíram atenção, memória, função executiva, quociente de inteligência e velocidade de processamento revelou uma associação geral entre cognição e desempenho da fala no ruído.²² Enquanto a maioria dos estudos que examinaram a influência da cognição no desempenho da fala no ruído usou avaliação cognitiva de domínio específico, alguns estudos,

como o de Besser et al.¹¹ e Zhan et al.,²³ usaram um teste de triagem para o estado cognitivo global, como o *Montreal cognitive assessment* (MoCA). Seus estudos demonstraram uma influência significativa do MoCA no desempenho da fala no ruído.

Considerando que as dificuldades de ouvir no ruído são comuns e continuam a aumentar nos idosos, e o fato de que a perda auditiva em si nem sempre explica esses problemas, é importante examinar as contribuições relativas dos processos auditivos periféricos, centrais e cognitivos ao reconhecimento da fala. Conhecer a magnitude dos efeitos desses processos é crucial no desenvolvimento de um plano de manejo mais abrangente da perda auditiva em idosos. Portanto, este estudo tem como objetivo determinar a contribuição relativa das funções auditivas e cognitivas no reconhecimento da fala em idosos com perda auditiva de grau normal a leve. Este estudo traz algo novo. Em primeiro lugar, enquanto muitos estudos examinaram a contribuição do processamento auditivo central no desempenho de reconhecimento da fala em idosos, muito poucos incluíram o teste de escuta dicótica. Foram incluídos os testes de *gap-in-noise* e escuta dicótica como medidas de processamento auditivo central neste estudo. Especificamente, consideramos importante a inclusão do teste de escuta dicótica, porque alguns estudos sugerem o potencial do treinamento da escuta dicótica para melhorar o reconhecimento da fala.²⁴ Nossa hipótese é que o reconhecimento da fala depende do nível de audição, do processamento auditivo central e das funções cognitivas e que cada um dos fatores contribui de maneira diferente em diferentes condições do *hearing in noise test* (HINT).

Método

Participantes

Foram incluídos neste estudo 72 participantes. Para ser incluído, o participante precisava ter 60 anos ou mais, ser destro, falante de malaio nativo, não ter histórico de acidente vascular cerebral, traumatismo craniano, cirurgia otológica, problemas psiquiátricos ou demência. Além disso, os participantes precisavam ter função normal da orelha média com base na timpanometria e no nível de audição simétrico, com audição normal ou perda auditiva leve, conforme indicado pela Média de Tom Puro (PTA, do inglês *Pure Tone Average*) para 0,5, 1, 2 e 4 kHz de 40 dB NA ou menos, na melhor orelha. O limiar auditivo simétrico foi definido como a diferença entre o PTA (0,5 a 4,0 kHz) de ambas as orelhas, não superior a 10 dB. Os testes foram distribuídos em duas sessões, que duraram cerca de uma hora cada. O protocolo e os procedimentos experimentais deste estudo foram aprovados pelo comitê de ética em pesquisa da Universiti Kebangsaan Malaysia (aprovação n° NN-050-2015). O consentimento informado foi obtido antes da coleta de dados.

Testes de audição periférica

Audiograma de tons puros

A audiometria de tons uros (ATP) foi feita em uma cabine de tratamento acústico, por um fonoaudiólogo treinado, com

fonos de ouvido padrão TDH-39 e um audiômetro Madsen OB822 (Madsen Electronics Itera 2). Os limiares de condução aérea (CA) para cada orelha foram medidos para frequências de 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 kHz. A condução óssea (CO) foi avaliada sempre que os limiares da CA foram maiores que 20 dB NA para as frequências de 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 Hz. O mascaramento para os limiares de condução aérea e óssea foi feito quando indicado. A média de tom puro de quatro frequências (4FA) foi calculada para frequências de 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 kHz. A média de alta frequência (MAF) foi baseada nas frequências 4 e 8 kHz. Perda auditiva normal e leve foram definidas da seguinte forma: sem comprometimento, ATP $\leq$ 25 dBNA e leve, ATP de 26 a 40 dBNA.²⁵ A 4FA da melhor orelha (MO) e a MAF da MO foram usadas nas análises.

Timpanometria

A timpanometria foi feita em ambas as orelhas com um timpanômetro Interacoustic Titan. Um timpanograma normal foi definido como admitância estática de 0,2 a 1,5 mmho e largura timpanométrica de 35 a 125 daPa.²⁶

Testes auditivos centrais

Teste dicótico de dígitos (TDD)

O TDD foi conduzido com o *Malay double dichotic digits test*.²⁷ Pares de dígitos diferentes foram apresentados simultaneamente para cada uma das duas orelhas em nível de sensação (dB NS) de 35 dB. O TDD foi conduzido com a condição de teste de recordação livre, no qual os indivíduos foram instruídos a repetir todos os quatro dígitos que ouviram sem ordem específica. O teste foi feito com 20 itens de estímulo; cada item consiste em quatro dígitos. Uma resposta correta foi alocada para cada dígito repetido corretamente. A pontuação correta total possível era de 40 pontos para cada orelha. O escore da orelha direita (EOD) e da esquerda (EOE) foi calculado como porcentagem de respostas corretas. A vantagem da orelha direita (VOD), determinada ao deduzir-se o escore da orelha esquerda do escore da orelha direita, foi usada na análise.

Teste gaps-in-noise (GIN)

O teste GIN foi administrado e seu escore pontuado de acordo com os critérios estabelecidos por Musiek et al.²⁸ O teste GIN contém uma série de 36 diferentes segmentos de ruído branco de 6 segundos. Cada um dos segmentos de ruído branco contém entre 0 e 3 intervalos (*gaps*) de silêncio que variam de 2 a 20 ms. O GIN contém 60 *gaps* e a ordem das suas durações é aleatória. Um *gap* de silêncio de 5 segundos separa cada segmento de ruído de 6 segundos. O teste foi conduzido de forma binaural através de um fone de ouvido a 35 dB NS. Pediu-se ao indivíduo que escutasse e respondesse ao *gap* de silêncio que ocorre dentro de cada explosão de ruído. O limiar do GIN foi definido pelo menor *gap* de silêncio que foi detectado corretamente pelo indivíduo em pelo menos quatro de seis vezes.

Teste hearing-in-noise

O teste de fala no ruído foi conduzido em uma cabine de som com a versão em malaio do teste de audição no ruído (MyHINT).²⁹ O MyHINT é um teste de reconhecimento de fala adaptativo aberto, que é usado para medir o limiar de

recepção de sentenças (LRS). O HINT é equipado com um processador de som de áudio que simula os locais de origem para a fala a 0° e o ruído em azimutes de 0°, 90° e 270°. ³⁰ O teste My HINT consiste em 12 listas foneticamente balanceadas de 20 sentenças simples e curtas com de 4 a 6 palavras. O ruído usado no teste HINT é o ruído em forma de discurso em estado constante.

O teste HINT foi feito em quatro condições: 1) No silêncio (HINT Q), 2) HINT Ruído frontal (HINT NF), 3) HINT Ruído à Direita (HINT NR) e HINT Ruído à Esquerda (HINT NL). Em todas as condições de teste, a fala foi apresentada à frente. Em condições de ruído, o nível de ruído foi fixado em 65 dBA. O LRS foi calculado com base no nível médio de apresentação da 5ª até a 20ª sentença e o nível no qual a 21ª sentença seria apresentada.

Neste estudo, os testes HINT (Q) e HINT (composto), um escore frequentemente usado como um descritor de condições de ruído,³¹ foram analisados. O escore do teste HINT (composto) foi calculado com base nas três medidas de LRS: LRS para HINT (composto) = [2 HINT (NF) + HINT (NR) + HINT (NL)] / 4.

Avaliação cognitiva

A função cognitiva global foi avaliada com a versão malaia do teste *Montreal cognitive assessment*,³² adaptada do MoCA original por Nasreddine et al.³³ Ele consiste em 16 itens, que abrangem atenção e concentração, funções executivas, memória, linguagem, habilidades visuoespaciais, pensamento conceitual, cálculos e orientação. O teste MoCA tem um escore total possível de 30. Neste estudo, o escore bruto foi usado. O MoCA é somente um teste de triagem para cognição e não fornece uma medida em profundidade da cognição.

Análise estatística

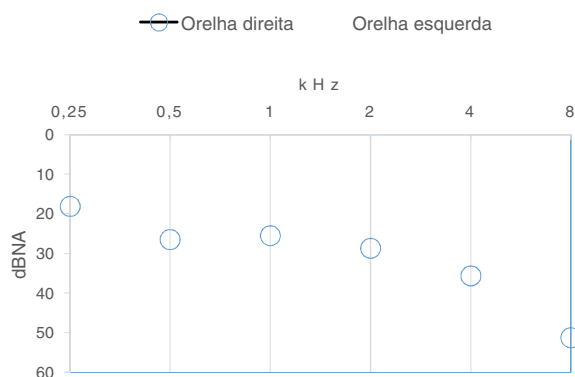
Os dados foram analisados no programa estatístico *Statistical package for the social sciences*, versão 22. Foram feitas análises descritivas dos dados demográficos, testes de função auditiva e MoCA. As associações entre as medidas no teste HINT com a idade, a audição periférica, os testes auditivos centrais e o MoCA foram avaliadas pelo teste de correlação de Pearson. Por fim, análises de regressão linear múltipla foram usadas para determinar as contribuições relativas do desempenho auditivo, desempenho cognitivo global e medidas do HINT.

Resultados

Participaram 72 indivíduos, 18 homens e 54 mulheres entre 60 a 82 anos (Min. 67,4; DP=4,9 anos). A [tabela 1](#) mostra as médias e desvios-padrão do MoCA, 4FAs e MAF dos participantes. Cinquenta por cento dos participantes tinham audição normal (4FA $\leq$ 25 dB NA) e os outros 50% tinham perda auditiva leve. A MAF da MO variou de 10 a 80 dB NA; menor do que 25 dB NA (18,1%), entre 26 a 40 dB NA (30,6%), entre 41 e 70 dB NA (48,6%) e mais de 70 dB NA em (2,8%) dos participantes. A [figura 1](#) mostra os limiares auditivos médios nas frequências de teste para ambas as orelhas. O

Tabela 1 Médias e desvios-padrão do MoCA, 4AF e MAF (n = 72)

Variáveis	Média (DP)
MoCA	17,7 (4,5)
OD 4AF (dB HL)	26,5 (8,0)
OE 4AF (dB HL)	26,6 (7,6)
AO 4AF (dB HL)	24,9 (7,5)
OD MAF (dB HL)	44,1 (16,9)
OE MAF (dB HL)	46,1 (16,9)
AO MAF (dB HL)	41,1 (15,5)

**Figura 1** Limiares auditivos médios para as orelhas direita e esquerda.**Tabela 2** Médias e desvios-padrão dos testes HINT (Q), HINT (composto), dicótico de dígitos e *gaps-in-noise*

Variáveis	Média (DP)
HINT (Q) (dB A)	28,7 (5,9)
HINT (C) (dB SNR)	-5,5 (2,1)
TDD (VOD) (%)	16,7 (13,5)
<i>Gaps-in-Noise</i> (msec)	13,7 (4,2)

audiograma indica uma configuração bastante plana de até 2,0 kHz e suavemente inclinada em frequências mais altas, típicas do audiograma da presbiacusia.

Teste *hearing-in-noise* testes auditivos centrais

A [tabela 2](#) resume as médias e os desvios-padrão dos testes HINT (Q), HINT (composto), TDD (VOD) e GIN. As intercorrelações entre os testes HINT e as variáveis preditoras são mostradas na [tabela 3](#). Os resultados indicaram que maiores valores de 4FA MO, MAF MO e menor de MoCA foram associados com pior HINT (Q) e HINT (composto). Além disso, o HINT (composto) também se correlacionou positivamente com o GIN. Houve uma correlação positiva entre o HINT (Q) e o HINT (composto).

Contribuições das funções auditivas e função cognitiva para o teste *hearing-in-noise*

Fizemos análises de regressão linear múltipla para determinar o quanto a acuidade auditiva, os testes auditivos centrais

e o MoCA contribuíram para as medidas de variações de cada um dos resultados do HINT. Para examinar potenciais casos de colinearidade entre variáveis preditoras, fizemos um teste de colinearidade diagnóstica com uma análise de regressão linear. Não foram observadas colinearidades, com valores de fator de inflação de variância < 2. Assim, todas as variáveis preditoras foram incluídas nas análises de regressão.

As análises de regressão linear múltipla foram feitas com o método de eliminação *backward*. As variáveis preditoras foram excluídas pelo método *stepwise*, removeu-se a variável com o maior valor de *p* em cada etapa, até que apenas as variáveis com valor de *p* < 0,1 permaneceram no modelo. Os modelos finais são mostrados na [tabela 4](#).

Os resultados indicaram que HINT (Q) foi mais bem predito pelas 4FA MO, MAF MO e MoCA, $F(4,67) = 18,706$, $p < 0,001$. As três variáveis representaram 49,9% da variância. A proporção de variância no LRS (Silêncio) explicadas unicamente por essas variáveis, indexadas pelas correlações semiparciais ao quadrado (r^2 parcial), foi de 29,2% pela MAF MO, 10,9% pela 4FA MO e 5,7% pelo MoCA. O coeficiente beta positivo para as duas médias de audição e o coeficiente beta negativo para o MoCA indicam que o desempenho do HINT (Q) piorou à medida que as médias da audição aumentaram e o MoCA diminuiu. As diferenças individuais em MAF MO, TDD (VOD) e MoCA juntas representaram 30,7% da variação do HINT (composto), $F(3,68) = 11,467$, $p < 0,001$. O MoCA correspondeu de forma exclusiva à 18,5% da variância, seguido pelo MAF MO (12,4%) e pelo TDD (VOD) (8,2%). Menores valores de MoCA, maior MAF MO e TDD (VOD) resultaram em pior desempenho do HINT (composto).

Discussão

Contribuições dos limiares audiométricos para os resultados do teste HINT

No presente estudo, que incluiu participantes adultos idosos com audição normal e com perda auditiva leve em 4FA, a acuidade auditiva em ambas as frequências baixas e médias, bem como em frequências altas, contribuiu significativamente para a variação do teste HINT no silêncio. As 4FA e MAF representaram exclusivamente 10,9% e 29,2% da variância de HINT (Q), respectivamente. Esses resultados corroboram os achados de estudos anteriores que explicaram a importância da audibilidade do espectro de fala no desempenho do reconhecimento da fala.^{7,34}

A importância da acuidade auditiva de alta frequência no reconhecimento da fala no silêncio, principalmente entre idosos, está bem estabelecida. A teoria do índice de articulação prevê que indivíduos com perda auditiva de alta frequência com inclinação, como na presbiacusia, terão dificuldade de ouvir a fala em nível de conversação devido à inaudibilidade dos sons da fala de alta frequência.³⁵ Além de ser importante para detectar fricativas fracas como os sons / f / e / s /, a acuidade auditiva de alta frequência também é essencial na diferenciação de sinais vocalizados dos não vocalizados e sinais de local da emissão.³⁶ Além disso, sabe-se que a perda auditiva em uma determinada região de frequência afeta não apenas a audibilidade, mas também afeta habilidades de processamento auditivo

Tabela 3 Análise de correlação entre limiares de recepção de sentenças do teste HINT, idade, MoCA, testes auditivos periféricos e centrais

	HINT (Q)	HINT (C)	AO 4AF	AO MAF	GIN	TDD (VOD)	MoCA
HINT (Q)	—	0,505 ^a	0,530 ^a	0,621 ^a	0,138 ^c	0,137 ^c	-0,326 ^b
HINT (composto)		—	0,235 ^b	0,368 ^a	0,234 ^b	0,199 ^c	-0,436 ^a
AO 4AF			—	0,413 ^a	0,048 ^c	0,061 ^c	-0,262 ^b
AO MAF				—	0,205 ^c	-0,067 ^c	-0,182 ^c
GIN					—	0,166 ^c	-0,206 ^c
TDD (VOD)						—	0,065 ^c
MoCA							—

^a $p < 0,001$; ^b $p < 0,05$; ^c $p > 0,05$.

Tabela 4 Modelos de regressão múltipla para medidas de desfechos. A última coluna indica o R^2 dos modelos de regressão e a contribuição relativa (r^2 parcial) de cada variável independente para as variâncias das variáveis dependentes

	Coeficiente B	t	p-valor	R ² Parcial	R ² Total
HINT (Q)					0,499
AO 4FA	0,272	2,870	0,005	0,109	
AO MAF	0,488	5,246	0,000	0,292	
MoCA	-0,177	-2,017	0,048	0,057	
HINT (composto)					0,307
AO MAF	0,312	3,097	0,003	0,124	
TDD	0,245	2,473	0,016	0,082	
MoCA	-0,396	-3,393	0,000	0,185	

supraliminar, como intensidade, frequência e processamento temporal na região da frequência correspondente à perda auditiva.³⁷ A disfunção do processamento supraliminar pode se espalhar para frequências mais baixas do que aquelas afetadas pela perda auditiva, causa um impacto *off-channel* na intensidade, frequência e processamento temporal.^{38–40}

A importância da audição de alta frequência na inteligibilidade da fala no ruído também já foi bem documentada. Por exemplo, um estudo recente indicou que idosos ouvintes com melhor audição de alta frequência na região entre 6 e 10 kHz tinham maior liberação espacial do mascaramento, resultava em melhor reconhecimento da fala quando a fala e o ruído estão separados espacialmente.¹¹

Outro estudo mostrou que o reconhecimento da fala ideal no ruído é obtido pela extensão da audibilidade até 7 kHz.⁴¹ O achado do presente estudo que indica uma relação significativa entre MAF MO e HINT (composto) estão de acordo com esses estudos.

Embora a maioria dos estudos anteriores tenha observado fortes correlações entre o reconhecimento da fala tanto no silêncio quanto no ruído e limiares auditivos até 4 kHz,^{42,43} esse não é o caso do presente estudo. Essa observação pode ser parcialmente devida ao fato de que, no presente estudo, as 4FA MO dos participantes foi relativamente mais homogênea, variou de 3 a 40 dB NA, em comparação com as MAF MO, que foram notavelmente mais variadas, variaram de 5 a 90 dB NA. Além disso, também é possível que a feitura da média dos limiares auditivos de 2 e 4 kHz com os limiares independentes de idade de 0,5 e 1 kHz tenha enfraquecido a associação entre as 4FA e a medida de reconhecimento da

fala, especialmente tendo em vista a configuração inclinada do audiograma vista neste estudo.

Contribuições do processamento auditivo central para os resultados do HINT

Os testes GIN and TDD foram incluídos como medidas do processamento auditivo central no presente estudo. No geral, nossos achados mostraram que o teste GIN não contribuiu para qualquer dos resultados do HINT. Em contraste, o TDD (VOD) contribuiu significativamente para as variações de HINT (composto), embora minimamente (8,2%). A falta de influência significativa do GIN nos resultados do HINT está de acordo com os dos estudos anteriores,^{10,44,45} que também descobriram que o limiar de detecção do *gap* não influenciou o desempenho do reconhecimento da fala no silêncio e no ruído em estado constante. A falta de flutuações temporais acentuadas ao nível ou espectro do estado constante, como usado no HINT, explicou em parte esse achado.

Houve estudos limitados, que analisaram a relação entre escuta dicótica e desempenho de reconhecimento da fala. Um estudo que analisou a relação entre as duas medidas encontrou uma forte correlação negativa entre o escore dicótico e o reconhecimento da fala no ruído.⁴⁶ É importante notar, no entanto, que a relação foi medida com correlação bivariada, sem controlar outros possíveis fatores de confusão, como limiares auditivos e função cognitiva. No presente estudo, verificou-se que a VOD do teste de escuta dicótica contribuiu com cerca de 9,0% da variância no HINT (com-

posto) após o controle de outras variáveis independentes testadas. Essa associação significativa pode ser devida ao fato de que ambas as medidas compartilham alguns processos subjacentes comuns, como a atenção.

Contribuições da função cognitiva para os resultados do HINT

A função cognitiva indexada pelo MoCA contribuiu de forma exclusiva para 5,7% e 18,5% das variâncias do HINT (Q) e HINT (composto), respectivamente. A maior contribuição do MoCA no HINT (composto) do que no HINT (Q) é esperada, porque ouvir a fala no silêncio depende mais da audibilidade da fala e exige menos do fator cognitivo. Durante o processo de reconhecimento da fala, a informação da fala é continuamente comparada com a informação armazenada na memória de longo prazo. Se essas informações coincidirem, o processamento da fala e o entendimento em nível superior ocorrerão de forma implícita e sem esforço.⁴⁷ No entanto, sempre que o *input* auditivo é degradado devido à perda de audição ou devido à presença de ruído, processos de controle cognitivo adicionais são necessários para apoiar o reconhecimento da fala.⁴⁸

Limitações do estudo

Este estudo tem algumas limitações. Primeiro, o uso do teste MoCA, em vez de uma bateria mais específica de testes neuropsicológicos, torna impossível determinar quais domínios cognitivos contribuem para o desempenho do reconhecimento da fala. O teste MoCA como medida única da função cognitiva tem, no entanto, sido usado em estudos anteriores que examinaram a influência das funções cognitivas na compreensão da fala por idosos.^{11,23} Um dos estudos que analisaram as contribuições das habilidades auditivas, cognitivas e linguísticas sobre a escuta no teste LiSN-S (*listening in spatialized noise-sentences*) usou o MoCA como medida de cognição. Seus resultados indicaram que o MoCA previu três dos resultados do LiSN-S.¹¹ Da mesma forma, o uso do teste MyHINT, que emprega fala no ruído em estado constante, não reproduziu o ruído mais comum encontrado na comunicação cotidiana, que é amplamente modulado na natureza. Apesar disso, vale ressaltar que o fato de o MoCA ter contribuído significativamente para o desempenho do MyHINT sugere que o teste é bastante desafiador para testar a função cognitiva durante tarefas de reconhecimento da fala em idosos.

Conclusão

Este estudo analisou as contribuições do nível de audição, medidas do processamento auditivo central e estado cognitivo no desempenho do reconhecimento da fala no silêncio e no ruído. Nossos achados revelaram que 4FA MO, MAF MO e cognição foram os preditores significativos e representaram cerca de 50% da variância do reconhecimento da fala no silêncio. Em contraste, MAF, o estado cognitivo medido pelo MoCA e VOD significativamente previu cerca de 30% da variância do reconhecimento da fala no ruído. Enquanto a audição de alta frequência foi o principal preditor para o reconhecimento da fala no silêncio, o escore do MoCA con-

tribuiu mais do que a audição de alta frequência para a variância do reconhecimento da fala no ruído. Esses achados sugerem que a reabilitação que visa a melhorar a função cognitiva poderia ajudar a aliviar algumas das dificuldades de reconhecimento da fala experimentadas por idosos, especialmente em ambientes ruidosos. Além disso, o fato de os preditores incluídos explicarem apenas cerca de 20% a 40% do desempenho do HINT sugere que existem outros preditores relevantes que não foram abordados no presente estudo.

Financiamento

Este estudo foi financiado pelo subsídio de pesquisa do Ministério da Educação da Malásia (LRGS/BU/2012/UKM-UKM/K/02).

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Dubno JR, Dirks DD, Morgan DE. Effects of age and mild hearing loss on speech recognition in noise. *J Acoust Soc Am.* 1984;76:87–96.
2. Working Group on Speech Understanding. Speech understanding and aging. *J Acoust Soc Am.* 1988;83:859–95.
3. Pichora-Fuller MK. Cognitive aging and auditory information processing. *Int J Audiol.* 2003;42:26–32.
4. Pichora-Fuller MK, Singh G. Effects of age on auditory and cognitive processing: implications for hearing aid fitting and audiological rehabilitation. *Trends Amplif.* 2006;10:29–59.
5. Syka J. Plastic changes in the central auditory system after hearing loss, restoration of function, and during learning. *Physiol Rev.* 2002;82:601–36.
6. Harada CN, Natelson Love MC, Triebel KL. Normal cognitive aging. *Clin Geriatr Med.* 2013;29:737–52.
7. Divenyi PL, Haupt KM. Audiological correlates of speech understanding deficits in elderly listeners with mild-to-moderate hearing loss. I. Age and lateral asymmetry effects. *Ear Hear.* 1997;18:42–61.
8. Gordon-Salant S, Fitzgibbons PJ. Temporal factors and speech recognition performance in young and elderly listeners. *J Speech Hear Res.* 1993;36:1276–85.
9. Gosselin PA, Gagné JP. Older adults expend more listening effort than young adults recognizing audiovisual speech in noise. *Int J Audiol.* 2011;50:786–92.
10. Schoof T, Rosen S. The role of auditory and cognitive factors in understanding speech in noise by normal-hearing older listeners. *Front Aging Neurosci.* 2014;6:1–14.
11. Besser J, Festen JM, Goverts ST, Kramer SE, Pichora-Fuller MK. Speech-in-speech listening on the LiSN-S test by older adults with good audiograms depends on cognition and hearing acuity at high frequencies. *Ear Hear.* 2015;36:24–41.
12. Tyler RS, Summerfield Q, Wood EJ, Fernandes MA. Psychoacoustic and phonetic temporal processing in normal and hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am.* 1982;72:740–52.
13. Andersson M, Reinvang I, Wehling E, Hugdahl K, Lundervold AJ. A dichotic listening study of attention control in older adults. *Scand J Psychol.* 2008;49:299–304.
14. Commodari E, Guarnera M. Attention and aging. *Aging Clin Exp Res.* 2008;20:578–84.

15. Astheimer LB, Sanders LD. Listeners modulate temporally selective attention during natural speech processing. *Biol Psychol.* 2009;80:23–34.
16. Jerger J, Chmiel R, Allen J, Wilson A. Effects of age and gender on dichotic sentence identification. *Ear Hear.* 1994;15:274–86.
17. Carter AS, Noe CM, Wilson RH. Listeners who prefer monaural to binaural hearing aids. *J Am Acad Audiol.* 2001;12:261–72.
18. Meister H. Speech audiometry, speech perception, and cognitive functions. *HNO.* 2017;65:1–4.
19. Akeroyd MA. Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? A survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. *Int J Audiol.* 2008;47:S53–71.
20. Besser J, Koelewijn T, Zekveld AA, Kramer SE, Festen JM. How linguistic closure and verbal working memory relate to speech recognition in noise – a review. *Trends Amplif.* 2013;17:75–93.
21. Humes LE. Factors underlying the speech-recognition performance of elderly hearing-aid wearers. *J Acoust Soc Am.* 2002;112:1112–32.
22. Dryden A, Harriet AA, Henshaw HAA. The association between cognitive performance and speech-in-noise perception for adult listeners: a systematic literature review and meta-analysis. *Trends Hear.* 2017;21:1–21.
23. Zhan Y, Fellows AM, Qi T, Clavier OH, Soli SD, Shi X, et al. Speech in noise perception as a marker of cognitive impairment in HIV infection. *Ear Hear.* 2018;39:548–54.
24. Moncrieff DW, Wertz D. Auditory rehabilitation for interaural asymmetry: preliminary evidence of improved dichotic listening performance following intensive training. *Int J Audiol.* 2008;47:84–97.
25. WHO. Grades of hearing impairment. World Health Organization; 2007. Disponível em: http://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/
26. Wiley TL, Cruickshanks KJ, Nondahl DM, Tweed TS, Klein R, Klein BE. Tympanometric measures in older adults. *J Am Acad Audiol.* 1996;7:260–8.
27. Mukari SZ, Keith RW, Tharpe AM, Johnson CD. Development and standardization of single and double dichotic digit tests in the Malay language. *Int J Audiol.* 2006;45:344–52.
28. Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamiou DE, 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.
29. Quar TK, Siti ZM, Noor Alaudin AW, Rogayah AR, Marniza O, Nashrah M. The Malay hearing in noise test. *Int J Audiol.* 2008;47:379–80.
30. Soli SD, Wong LLN. Assessment of speech intelligibility in noise with the hearing in noise test. *Int J Audiol.* 2008;47:356–61.
31. Vaillancourt V, Laroche C, Mayer C, Basque C, Nali M, Eriks-Brophy A, et al. Adaptation of the HINT (hearing in noise test) for adult Canadian Francophone populations. *Int J Audiol.* 2005;44:358–69.
32. Sahathevan R, Mohd Ali K, Ellery F, Mohamad NF, Hamdan N, Mohd Ibrahim, et al. A Bahasa Malaysia version of the Montreal Cognitive Assessment: Validation in stroke. *Int Psychogeriatrics.* 2014;26:781–6.
33. Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whiththead V, Collin I, et al. The Montreal Cognitive Assessment MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53:695–9.
34. Humes LE, Roberts L. Speech-recognition difficulties of the hearing-impaired elderly: the contributions of audibility. *J Speech Hear Res.* 1990;33:726–35.
35. ANSI. Methods for calculation of the speech intelligibility index. New York: ANSI; 1997, 1969(R):1–35.
36. Levitt H. Speech and hearing in communication. In: Wang MC, Reynolds MC, Walberg HJ, editors. *Handbook of special education: research and practice: low incidence conditions*, vol. 3. New York: Pergamon Press; 1989. p. 23–45.
37. Moore BC, Sek A. Detection of frequency modulation at low modulation rates: evidence for a mechanism based on phase locking. *J Acoust Soc Am.* 1996;100:2320–31.
38. Feng Y, Yin S, Kieffe M, Wang J. Temporal resolution in regions of normal hearing and speech perception in noise for adults with sloping high-frequency hearing loss. *Ear Hear.* 2010;31:115–25.
39. Simon HJ, Yund EW. Frequency discrimination in listeners with sensorineural hearing loss. *Ear Hear.* 1993;14:190–201.
40. Schroder AC, Viemeister NF, Nelson DA. Intensity discrimination in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am.* 1994;96:2683.
41. Silberer AB, Bentler R, Wu YH. The importance of high-frequency audibility with and without visual cues on speech recognition for listeners with normal hearing. *Int J Audiol.* 2015;54:865–72.
42. French NR, Steinberg JC. Factors governing the intelligibility of speech sounds. *J Acoust Soc Am.* 1947;19:90–119.
43. Fletcher H, Galt R. The perception of speech and its relation to telephony. *J Acoust Soc Am.* 1950;22:89–151.
44. Helfer KS, Freyman RL. Aging and speech-on-speech masking. *Ear Hear.* 2008;29:87–98.
45. George ELJ, Zekveld AA, Kramer SE, Goverts ST, Festen JM, Houtgast T. Auditory and nonauditory factors affecting speech reception in noise by older listeners. *J Acoust Soc Am.* 2007;121:2362–75.
46. Lavie L, Banai K, Attias J, Karni A. How difficult is difficult? Speech perception in noise in the elderly hearing impaired. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 2014;25:313–6.
47. Baddeley A. Working memory and language: an overview. *J Commun Disord.* 2003;36:189–208.
48. Houtgast T, Festen JM. On the auditory and cognitive functions that may explain an individual's elevation of the speech reception threshold in noise. *Int J Audiol.* 2008;47:287–95.