

# 音乐经验延缓老年人声调范畴感知衰退： 工作记忆的中介作用\*

贺梦洁<sup>1</sup> 姚尧<sup>1</sup> 陈飞<sup>2</sup>

(1. 长沙理工大学外国语学院, 长沙 410114; 2. 湖南大学外国语学院, 长沙 410082)

**摘要:** 先前研究表明, 音乐经验有利于改善老年人音段层面的言语感知水平, 但能否延缓老年人在超音段层面精细化的声调范畴感知衰退及其认知机制仍不清楚。本研究采用经典语音范畴感知实验范式, 对比年轻音乐家、年轻非音乐家、老年音乐家和老年非音乐家对普通话声调阴平(T1) - 阳平(T2)连续统的感知表现。结果发现:(1) 相较于年轻人群体, 老年人群体的声调范畴感知能力显著下降, 但音乐经验可以增强其范畴感知水平;(2) 年龄和音乐经验通过工作记忆的中介作用改善老年人声调范畴感知能力。结果表明: 音乐经验通过提高工作记忆增强声调范畴感知能力, 进而延缓老年人感知精细化音高线索衰退的进程。这些发现为音乐学习对抗言语感知老龄化提供了坚实的理论基础, 研究结果将进一步深化音乐学习在教育与医疗领域的广泛应用。

**关键词:** 声调范畴感知; 音乐经验; 老龄化; 工作记忆

**分类号:** B844

## 1 引言

随着年龄的增长, 老年人在身体机能、神经系统各方面出现退化, 其中言语感知老龄化现象最为普遍, 已严重影响到老年人的生活质量(杨小虎, 李洋, 2020)。老龄化不仅降低人类感知一般言语信息的能力, 还会削弱其对音段和超音段层面精细化的语音范畴感知能力。范畴感知是人类对世界万物进行分类的一种高级认知活动, 反映人类认知机制的根本特性。在语音感知领域, 范畴感知表现为将连续声学信号映射为心理词库中特定语音类别(Liberman et al., 1957), 具备三项基本特征: 在辨认函数中, 边界位置处斜率陡增或陡降; 跨范畴区分峰值与边界位置基本对齐; 辨认函数可预测区分函数(Xu et al., 2006)。语音范畴感知不仅涉及声学层面的音位特征分析, 还包括对音系层面的范畴知识进行处理。汉语是典型的声调语言, 正常声调范畴感知能力可增强听者对范畴间语音的区分, 同时抑制范畴内语音的区分, 这在言语沟通中发挥着重要作用。

先前研究表明, 汉语母语者感知普通话声调具有范畴性特征, 但随着年龄的增长, 感知能力显著下

降。相比于年轻人以离散的方式感知声学上连续变化的声调, 老年人则会以相对连续的方式感知声调(Wang et al., 2021; 肖容等, 2020)。值得注意的是, 老年人声调范畴感知能力下降不仅意味着其与范畴知识相关的音高加工层面存在衰退, 还被证实与认知能力, 尤其是听觉工作记忆能力下降紧密关联(Feng et al., 2022)。工作记忆是一种对信息进行暂时加工和贮存的记忆系统, 在许多复杂的认知活动中起重要作用。随着年龄的增长, 老年人的工作记忆普遍出现衰退, 导致在声调范畴感知过程中, 暂时存储听觉语音信息的能力下降, 进而影响到范畴感知水平(Scott, 1994; 肖容等, 2021)。因此, 通过分析汉语普通话老年人声调范畴感知的特征及其发展趋势, 可进一步探明老年人语音范畴感知衰退产生的核心机制, 并为其言语感知衰退的诊断和干预提供参考。

作为一种令人愉悦且容易推广的训练策略, 音乐训练不仅有益于个体艺术素养提升, 还能促进言语感知能力提升(Jin et al., 2024; Parbery - Clark et al., 2011; Zhang et al., 2023)。在行为学层面, 接受过毕生音乐训练的老年音乐家感知词汇和句子的准确率显著高于老年非音乐家(Parbery - Clark

\* 基金项目: 教育部人文社科基金项目(24YJA740058); 湖南省社科基金项目(19YBA008); 湖南省研究生科研创新项目(CX20230939); 湖南省研究生教改项目(2024JGYB178)。

通讯作者: 姚尧, E-mail: yaoyao1024@126.com

et al., 2011); 70 岁左右的老年音乐家的言语感知水平与 50 岁左右的老年非音乐家相当,且感知水平下降显著缓于老年非音乐家(Zendel et al., 2019)。在神经生理学层面,Zhang 等人(2023)通过功能性磁共振成像技术发现,老年音乐家在言语运动区域呈现出比老年非音乐家更好的辅音及元音表征,这些证据表明音乐经验可以在一定程度上改善老龄化带来的言语感知衰退。

然而,目前关于音乐经验影响言语感知老龄化的研究主要集中在音段层面,对超音段层面的研究较少。音段音位(包括元音和辅音)与超音段音位(声调)在声学特性和语言功能方面存在显著差异。就声学特性而言,元音共振峰和辅音噪音起始时间起着决定性作用,而声调则主要由音高特征塑造(Chao, 1968)。就语言功能而言,元音和辅音主要用于区分意义,而声调不仅决定声调语言中每一个字的语义,还可以主导非声调语言中的韵律变化(肖容等,2021)。基于它的特殊地位,音高加工一直以来都是探究音乐经验和普通话母语者语音感知之间关系的焦点。根据共享声音范畴学习机制假设(SSCLMH)(Patel, 2008),音乐和语言在各自领域内的声学表现方式存在差异,但底层的神经和认知加工具有重叠,这使得音乐和语言在声音范畴学习机制上存在共通。音乐和语言的音高加工均涉及包括听觉与额叶脑区在内的类似神经网络(Nan & Friederici, 2013)。相对于音段层面音位,聚焦音高变化的音乐训练所获得的音高经验或许可以迁移到语言领域,表现为对超音段层面语言声调的敏感性,进而改善精细化的音高加工能力。鉴于此,本研究提出假设 1:音乐经验可能会延缓老年人超音段层面精细化的声调范畴感知能力衰退。

此外,先前研究发现音乐经验影响老年人言语感知老龄化,但音乐经验延缓老年人言语感知衰退的认知机制仍不清晰。修正版的老龄化与认知支架理论模型(STAC-r)(Park & Reuter-Lorenz, 2009; Reuter-Lorenz & Park, 2014)认为,老龄化及各种人生经历不仅影响大脑结构和功能变化,还能通过增强“认知储备”保存认知能力发展。认知储备是指大脑面对各种类型的损害、退化或疾病时仍能维持认知功能的能力,通常与个体的认知能力,如感觉、知觉、记忆、思维、想象和语言等方面有关(Stern, 2012)。与其他一般认知能力相比,工作记忆的下降被认为是影响老年人言语感知衰退尤为重要的因素之一(徐宁宁等,2024)。已有研究表明,

老年人声调范畴感知能力退化与工作记忆衰退存在关联,其范畴边界宽度与记忆广度测试得分呈显著负相关,即工作记忆越差,边界宽度越宽,声调范畴感知能力越弱(肖容等,2021)。同时,系列研究发现年轻音乐家在言语感知方面的优势与更好的工作记忆相关(Parbery-Clark et al., 2009; Yoo & Bidelman, 2019)。就老年人群体而言,Zhang 等人(2021)通过对比年轻音乐家、年轻非音乐家、老年音乐家和老年非音乐家在噪音背景下言语感知表现,证实音乐经验通过保留工作记忆延缓老化所引起的言语感知衰退。Worschech 等人(2021)通过 6 个月的纵向追踪,发现老年人的语音接收阈值(speech reception threshold, SRT)改善受认知能力调节,提出音乐训练对言语加工的具有促进作用,这可能是通过增强听觉处理能力和改善认知能力,如听觉工作记忆、抑制能力和专注力实现的。鉴于工作记忆在中介音乐经验提升言语感知效果方面发挥关键作用,本研究提出假设 2:音乐经验可能通过提升听觉工作记忆增强认知储备,进而延缓老年人声调范畴感知老化。

综上所述,本研究主要目的在于探究音乐经验对老年人声调范畴感知衰退的影响及其认知机制。为了解决这一问题,本研究基于 Patel 的共享声音范畴学习机制假设和 Park 等人的老龄化与认知支架理论模型,采用声调范畴感知经典行为学实验,通过比较母语为普通话的年轻音乐家、年轻非音乐家、老年音乐家和老年非音乐家在安静环境下对普通话阴平-阳平(T1-T2)连续统辨认和区分实验任务的表现,并通过路径分析推断听觉工作记忆在延缓老年人声调范畴感知能力衰退中所起的中介作用。总体而言,本研究的创新之处主要包括以下几点:首先,从研究问题上而言,本研究基于共享声音范畴学习机制假设和老龄化与认知支架理论模型,深入探究音乐经验影响老年人语音范畴感知的作用机制,这对理解音乐和语言的关系,尤其是音乐经验改善老年人言语感知的核心机制具有重要的理论意义;其次,从研究设计而言,本研究采用范畴感知实验范式,聚集精细化的音高加工过程。相较年轻人而言,老年人虽然在感知典型声调刺激时正确率有所降低,但仍能保持在 90% 左右(Yang et al., 2015)。若采用典型声调作为实验刺激,结果可能会出现天花板效应。一系列研究证实,老龄化加速了语音范畴感知衰退,具体表现为,范畴感知实验中辨认函数的斜率绝对值降低,区分函数的区分峰值缩小

(Feng et al., 2022; Wang et al., 2017)。因此,对比普通话老年人与年轻人,老年音乐家和非音乐家之间声调范畴感知表现差异,探明音乐经验能否延缓老年人声调范畴感知衰退,显然有助于我们更全面地认识音乐学习对抗言语感知老化的作用。

## 2 研究方法

### 2.1 研究对象

本次参与实验的共 109 人,包括 55 名汉语普通话老年人(年龄区间 57~82 岁)和 54 名汉语普通话年轻人(年龄区间 18~27 岁)。实验开始前,采用  $G^* \text{Power } 3.1$  (Faul et al., 2009) 的功效值计算( $\alpha = 0.05$ ,  $power = 0.8$ )估算样本量。通过  $2 \times 2$  两因素方差分析发现,4 组共 109 个被试足以检测到 94% 功效值的大效应量(Cohen's  $f = 0.4$ )。随后,我们对所有的被试进行音乐背景调查,包括自我报告的音乐水平、所学乐器、训练时长、训练频次、唱歌音准及识谱能力。根据被试的音乐经验,进一步分为老年音乐家组(14 男,14 女)、老年非音乐家组(13 男,14 女)、年轻音乐家组(10 男,17 女)和年

轻非音乐家组(15 男,12 女)。所有音乐家均从乐团招募而来且接受过 8 年及以上正式、连续的音乐训练;非音乐家均未接受过任何形式专业的音乐训练,且无失歌症患者。所有被试无语言和听力障碍,并在实验开始前签署知情同意书。

参考 Zhang 等人(2021)的研究,前测时对所有被试进行问卷调查,包括自我报告的年龄、教育水平、健康状况、自我评价的生活满意度、生活状况、社会活动,并对其认知能力和工作记忆进行评估。教育水平根据被试受教育年限进行计算。认知能力测试采用北京版蒙特利尔认知水平估量表(BJ-MoCA),评估被试的整体认知能力(Mukari et al., 2018)。工作记忆测试采用韦氏成人智力量表(Gong, 1992)中的正序和逆序数字广度任务,包括位数为 3~12 的正序段和位数为 2~10 的倒序段,评估被试的听觉工作记忆。被试需按照原来的顺序重复前面的数字,并按照相反的顺序重复后面的数字,评分根据正序段和倒序段中最长的正确重复数字序列计算。四组被试的年龄、教育水平、认知能力、工作记忆和音乐学习时长结果见表 1。

表 1 四组被试的年龄、教育水平、工作记忆、认知能力和音乐学习时长的均值和标准差

组别	年龄	教育水平	工作记忆	认知能力	音乐学习时长
	均值(标准差)	均值(标准差)	均值(标准差)	均值(标准差)	均值(标准差)
年轻音乐家	21.78 (2.06)	16.48 (1.78)	25.78 (4.09)	27.52 (1.75)	9.82 (3.63)
年轻非音乐家	22.60 (2.30)	17.07 (1.33)	24.81 (3.52)	27.00 (1.52)	NA
$t(p)$	-1.39 (0.17)	-1.38 (0.17)	0.92 (0.36)	1.16 (0.25)	
老年音乐家	68.3 (6.48)	11.68 (2.45)	19.14 (4.66)	24.71 (2.92)	20.59 (21.08)
老年非音乐家	66.6 (5.93)	10.70 (4.15)	16.78 (3.34)	24.67 (3.13)	NA
$t(p)$	1.03 (0.31)	1.06 (0.30)	2.17 (0.04)*	0.06 (0.95)	

注:\* $p < 0.05$ 。

### 2.2 实验材料

声调范畴感知实验中所采取的刺激样本是一位普通话女声发出的自然单音节  $d\bar{a}$ (搭)和  $d\acute{a}$ (达)(22050 Hz 采样率,16 位,单声道)。参照 Chen 等人(2017)的研究,实验使用 Praat (Boersma & Weenink, 2016)制作了起点  $d\acute{a}$  至终点  $d\bar{a}$ 、间隔 60Hz 的阳平-阴平连续统,音高等距变化,步长 7.5Hz。在处理过程中,除音高外,其余声学参数保持一致,音强均为 70dB,时长均为 500ms,得到 9 个语音实验刺激(图 1)。

### 2.3 实验过程

声调范畴感知实验包括辨认任务和区分任务,通过 E-prime 软件播放刺激音并采集数据。正式测试开始前,被试通过 4 个辨认任务和 3 个区分任

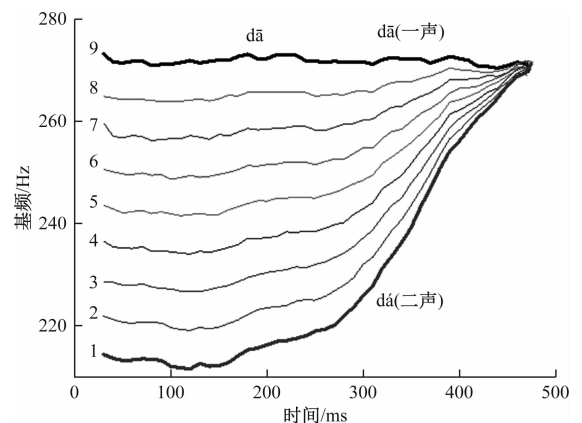


图 1 / $d\acute{a}$ / - / $d\bar{a}$ /连续统

务熟悉实验流程,连续统两端典型声调刺激的感知准确率达到 100% 时,方可进入正式实验。

在辨认任务中,9个刺激音随机重复播放5遍(共45个辨认刺激),被试通过按键判断听到的刺激音为一声还是二声。当被试完成按键判断,或是某个刺激呈现了2500毫秒被试还未能做出判断时,屏幕将自动出现300毫秒的间隔,然后呈现下一个刺激。刺激按伪随机顺序呈现,确保相邻两个刺激不同。

在区分任务中,被试每次听到两个语音刺激,即一个刺激对。研究者将间隔两步长(15 Hz)的语音组成一组刺激对(即1-3、3-5、5-7、7-9、2-4、4-6、6-8、3-1、5-3、7-5、9-7、4-2、6-4和8-6),同时还将相同语音组成一组刺激对(1-1、2-2、3-3、4-4、5-5、6-6、7-7、8-8和9-9),刺激间距为200毫秒。被试需要按键判断该刺激对中的两个刺激音是相同还是不同。每对刺激音重复4遍,共92组区分刺激对。

两个任务均采用二选一的强迫性选择形式,每一刺激音或刺激对播放结束后,被试需尽可能快地通过按键做出选择,无结果反馈。每位被试先完成辨认任务,再完成区分任务。

## 2.4 数据处理

为了考察年龄(老年人和年轻人)和音乐经验(音乐家和非音乐家)对被试辨认和区分任务表现的影响,本文采用 Xu 等人(2006)的数据处理方法,考察了范畴感知的五个基本特征:范畴边界位置、辨认函数斜率、范畴间和范畴内的区分正确率及区分峰值。首先,采用逻辑回归模型(Logistic Regression Model)(Jaeger, 2008)分析被试辨认任务表现,计算公式为  $\text{Logit}(\text{tone}1) = \beta_0 + \beta_1 x$ 。其中,  $x$  为声音刺激连续体的步长个数,即辨认任务中的 F0 频率;  $\beta_0$  和  $\beta_1$  是回归模型函数中自变量  $x$  的回归系数和常数;  $\beta$  表示随着声调 T1-T2 中起始 F0 的增加,即辨认函数的斜率;辨认率为 0.5 时所对应的  $x$  值则为辨认边界位置:  $x = -\beta_0/\beta_1$ 。辨认函数斜率的绝对值越大,范畴感知程度越高(肖容等,2021)。

随后,对区分任务中的区分正确率进行分析。本研究重新组合了所有区分刺激对,每组包括四种类型的刺激对:AA, BB, AB, BA, 总共得到了7组刺激对,编号为1-3、2-4、3-5、4-6、5-7、6-8和7-9。区分正确率的计算方法采用了 Xu 等人(2006)提出的公式:  $P = P('S'/S) \times P(S) + P('D'/D) \times P(D)$ 。在此公式中,  $P('S'/S)$  表示被试听到相同刺激对后做出“相同”判断的百分比;  $P('D'/D)$  表示被试听到不同刺激对后做出

“不同”判断的百分比。  $P(S)$  则代表每组内相同刺激对占所有刺激对的百分比,  $P(D)$  代表每组内不同刺激对占所有刺激对的百分比。在本实验中,  $P(S)$  和  $P(D)$  均为 50%。此外,参考 Chen 等人(2017)的研究,根据每个被试的辨别边界位置,将各组区分正确率进一步分类为范畴内和范畴间的区分正确率,范畴间区分正确率和范畴内区分正确率的差值为区分峰值。区分峰值越大,范畴感知程度越高。所有数据采用 R 语言进行统计分析。

## 2.5 路径分析

首先,结合声调范畴感知的描述性统计和差异分析结果,对体现声调范畴感知程度的量化数值(辨认斜率和区分峰值)和工作记忆进行相关分析。然后,采用 Amos 软件 24.0 对模型进行路径分析,分别考察音乐经验和年龄对声调范畴感知的直接和间接影响,所有变量都通过正态性检验。模型拟合的指标包括卡方自由度 ( $\chi^2/df$ ) < 5, 近似误差均方根 (RMSEA)  $\leq 0.050$ , 标准均方残差 (SRMR)  $\leq 0.08$ , 比较拟合指数 (CFI)  $\geq 0.900$  (Preacher & Hayes, 2004)。本研究使用偏差校正的非参数百分位 Bootstrap 来判断参数估计的显著性,重复取样 5000 次,计算 95% 置信区间,置信区间不包括 0,表明中介效应显著(Preacher & Hayes, 2004)。

## 3 结果

声调范畴感知实验的辨认曲线和区分曲线如图 2 所示。四组被试感知普通话声调都存在范畴边界和区分峰值,且基本保持“峰界对应”,表明普通话背景的年轻人和老年人感知普通话声调均具有范畴性特征。在此基础上,进一步对四组被试的边界位置、辨认斜率、范畴内、范畴间区分正确率及区分峰值进行统计分析。

### 3.1 边界位置

四组边界位置的结果见表 2。2(年龄:年轻人/老年人)  $\times$  2(音乐经验:音乐家/非音乐家)双因素方差分析结果显示,年龄主效应不显著,  $F(1, 105) = 0.059$ ,  $p = 0.809$ ; 音乐经验主效应不显著,  $F(1, 105) = 0.160$ ,  $p = 0.69$ ; 年龄和音乐学习经验的交互作用不显著,  $F(1, 105) = 0.012$ ,  $p = 0.912$ , 说明年龄和音乐经验对边界位置影响不大。

### 3.2 斜率

各组辨认函数斜率的结果见表 2 和图 3。2(年龄:年轻人/老年人)  $\times$  2(音乐经验:音乐家/非音乐家)双因素方差分析结果显示,年龄主效应显著,

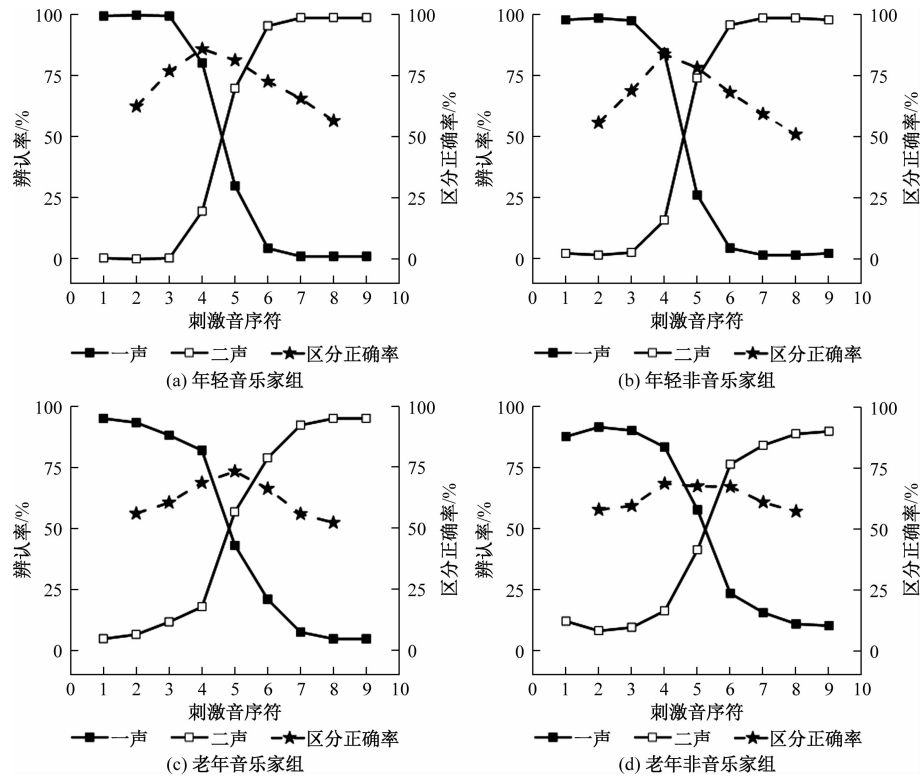


图 2 四组 /dǎ/ - /dā/ 连续统的辨认和区分结果

表 2 四组被试辨认边界位置及斜率的均值 (标准差)

组别	边界位置	斜率
年轻音乐家	3.90 (0.84)	-0.89 (-0.10)
年轻非音乐家	3.78 (0.63)	-0.84 (-0.13)
老年音乐家	4.04 (0.83)	-0.75 (-0.17)
老年非音乐家	3.84 (3.98)	-0.62 (-0.26)

$F(1, 105) = 28.506, p < 0.001, \eta^2 = 0.214$ , 音乐经验主效应显著,  $F(1, 105) = 6.742, p = 0.011, \eta^2 = 0.06$ , 但年龄和音乐经验的交互作用不显著,  $F(1, 105) = 1.2, p = 0.276$ 。该结果表明, 年轻人声调范畴感知能力总体强于老年人, 有音乐经验的个体声调范畴感知能力总体强于无音乐经验的个体。

### 3.3 区分正确率

各组区分正确率及区分峰值见表 3。以年龄和音乐经验作为组间因素, 对范畴间区分率、范畴内区分率和区分峰值分别进行  $2 \times 2$  的双因素方差分析。结果显示, 在范畴间区分率上, 年龄主效应显著,  $F(1, 102) = 41.056, p < 0.001, \eta^2 = 0.287$ , 音乐经验主效应不显著,  $F(1, 102) = 0.162, p = 0.164$ , 年龄和音乐经验的交互作用不显著,  $F(1, 102) = 0.075, p = 0.784$ , 说明年轻人比老年人对范畴间语音刺激的差异更为敏感。

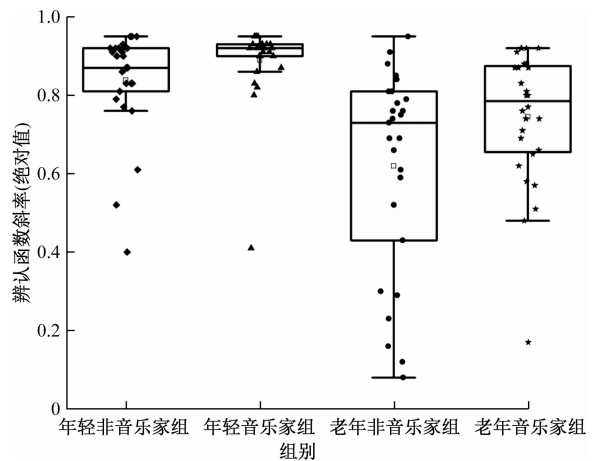


图 3 四组 /dǎ/ - /dā/ 连续统的辨认斜率

表 3 区分正确率及区分峰值的均值和标准差

组别	范畴间正确率	范畴内正确率	区分峰值
年轻音乐家	0.81 (0.11)	0.68 (0.09)	0.13 (0.12)
年轻非音乐家	0.79 (0.11)	0.61 (0.05)	0.18 (0.11)
老年音乐家	0.68 (0.12)	0.60 (0.09)	0.08 (0.09)
老年非音乐家	0.64 (0.12)	0.63 (0.07)	0.01 (0.12)

在范畴内区分率上, 年龄和音乐经验交互作用显著,  $F(1, 102) = 9.638, p = 0.002, \eta^2 = 0.086$ 。对于不同的年龄组, 结果显示年轻音乐家和老年音乐家的范畴内区分率差异显著 ( $p < 0.001$ ), 而年

轻非音乐家与老年非音乐家的范畴内区分率差异不显著( $p = 0.41$ );对于不同的音乐经验,年轻音乐家和年轻非音乐家的范畴内区分率差异显著( $p = 0.003$ ),而老年音乐家和老年非音乐家在范畴内区分率上没有显著差异( $p = 0.193$ ),说明音乐经验对年轻人区分范畴内语音刺激的能力有显著影响,但对于老年人无明显改善。

在区分峰值上,年龄和音乐经验交互作用显著, $F(1,102) = 6.193, p = 0.014, \eta^2 = 0.057$ 。对于不同的年龄组,非音乐组的年轻人和老年人区分峰值差异显著( $p < 0.001$ ),音乐组的年轻人和老年人区分峰值差异显著( $p = 0.049$ );对于不同的音乐经验,老年音乐家和老年非音乐家的区分峰值差异显著( $p = 0.035$ ),而年轻音乐家和年轻非音乐家的区分峰值没有显著差异( $p = 0.173$ )。结果表明,音乐训练能够提升老年人声调范畴感知能力,但无法恢复至年轻人的感知水平。

### 3.4 相关分析

基于皮尔逊相关分析,考察工作记忆与声调范畴感知能力(斜率和区分峰值)的相关性,并采用Bonferroni对 $p$ 值进行矫正。相关分析结果表明,年轻音乐家组的工作记忆与斜率之间正相关显著( $p < 0.05$ ),其他三组相关性不显著;四组的工作记忆与区分峰值均呈显著正相关(老年音乐家: $r = 0.75, p < 0.001$ ;老年非音乐家: $r = 0.79, p < 0.001$ ;年轻音乐家: $r = 0.67, p < 0.001$ ;年轻非音乐家: $r = 0.63, p < 0.001$ ),见图5。

### 3.5 路径分析

基于研究假设构建的结构方差模型进行路径分

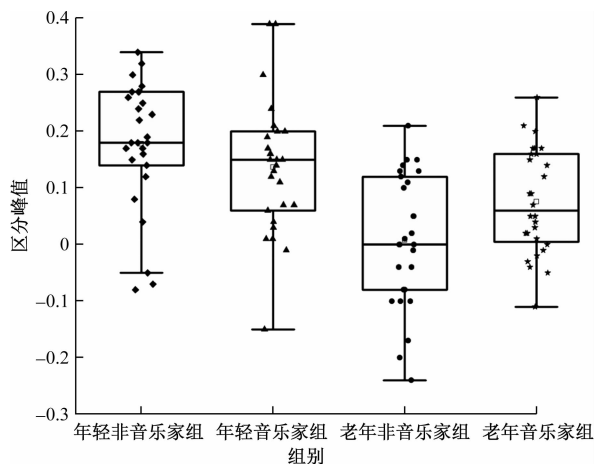


图4 四组/dá/-/dā/连续统的区分峰值

析,探寻工作记忆在被试年龄、有无音乐经验和声调范畴感知能力之间所发挥的作用。由于本研究聚焦年轻人和老年人之间范畴感知程度的差异,并未将年龄视作一个持续性衰老进程的指标,“被试年龄”作为二分变量纳入分析。结果显示,该模型拟合度可以接受( $CMIN/df = 0.009, RMSEA < 0.001, RMR < 0.001, NFI = 1, CFI = 1, TLT = 1.062$ ),见图6。

结构方程模型分析显示,音乐经验对斜率的直接影响路径显著( $\beta = 0.17, p = 0.04$ ),且音乐经验通过工作记忆为中介对斜率( $\beta = 0.049, 95\% CI [0.003, 0.049]$ )和峰值( $\beta = 0.064, 95\% CI [0.003, 0.037]$ )产生间接影响的路径也显著。具体而言,音乐经验可以显著正向预测工作记忆( $\beta = 0.173, p = 0.015$ ),而工作记忆可以显著正向预测声调范畴感知能力(斜率: $\beta = 0.283, p = 0.009$ ;

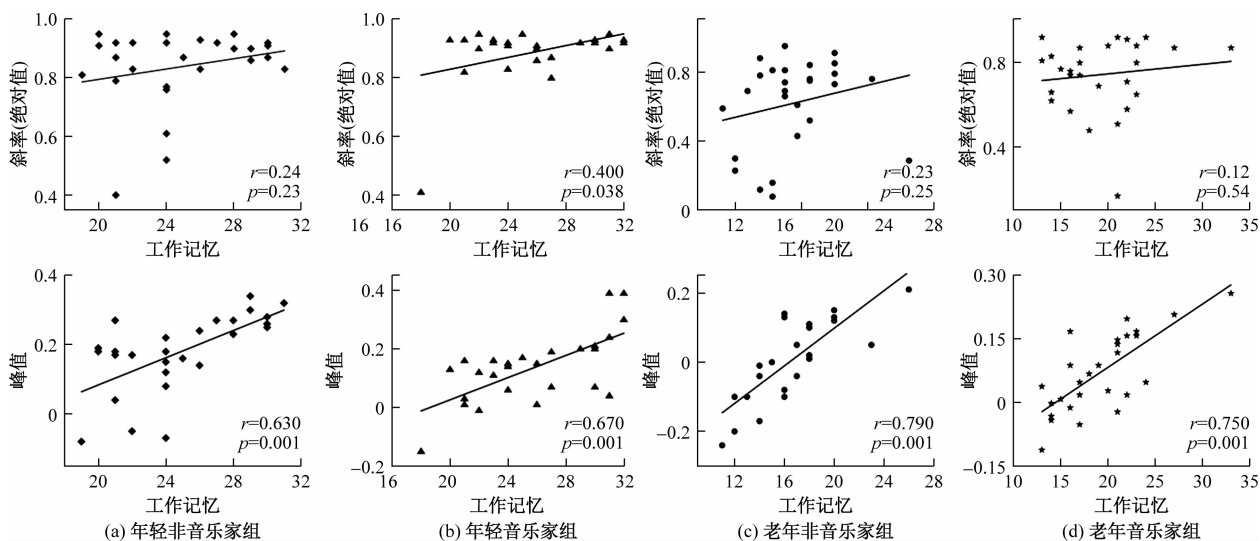


图5 四组工作记忆与范畴感知能力(斜率和区分峰值)的相关性

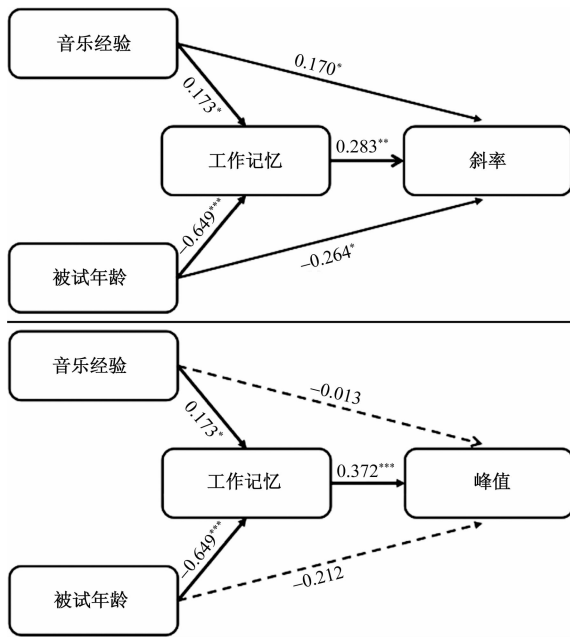


图 6 音乐经验、被试年龄和工作记忆对范畴感知能力影响的路径分析

(\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ;

实线表示显著的直接路径,加粗表示中介路径也显著,虚线表示不显著的直接或中介路径)

峰值; $\beta = 0.372, p < 0.001$ )。年龄对斜率的直接影响路径显著( $\beta = -0.264, p = 0.014$ ),且年龄通过工作记忆对斜率( $\beta = -0.184, 95\% \text{ CI} [-0.136, -0.022]$ )和峰值( $\beta = -0.241, 95\% \text{ CI} [-0.109, -0.019]$ )产生间接影响的路径也显著。具体而言,年龄可以显著反向预测工作记忆( $\beta = -0.649, p < 0.001$ ),而工作记忆可以显著正向预测声调范畴感知能力(斜率; $\beta = 0.283, p = 0.009$ ;峰值; $\beta = 0.372, p < 0.001$ )。通过随机抽样从原始数据集( $n = 109$ )中产生的 5000 个自举样本,采用 Bootstrap 方法来检验模型中介效应的稳定性。结果表明音乐经验影响声调范畴感知能力(三条)与年龄影响声调范畴感知能力(三条)的路径在 95% 的置信区间不包括 0,说明中介效应显著,见表 4。

## 4 讨论

本研究结果发现:(1)老年音乐家辨认函数斜率和区分峰值高于老年非音乐家,说明音乐经验显著改善老年人声调范畴感知水平;(2)年龄和音乐经验通过工作记忆中介音乐经验影响老年人声调范畴感知的作用。

### 4.1 音乐经验延缓老年人声调范畴感知能力衰退

本研究的第一个问题是音乐经验能否影响老年

表 4 工作记忆在音乐经验、年龄与声调范畴感知能力(斜率、峰值)之间的中介作用

路径	Bootstrap 95% CI	$p$	标准化路径效应
音乐经验→斜率	[0.003, 0.132]	<b>0.040</b>	<b>0.170</b>
音乐经验→峰值	[-0.044, 0.040]	0.903	-0.013
音乐经验→工作记忆→斜率	[0.003, 0.049]	<b>0.016</b>	<b>0.049</b>
音乐经验→工作记忆→峰值	[0.003, 0.037]	<b>0.011</b>	<b>0.064</b>
年龄→斜率	[-0.201, -0.021]	<b>0.012</b>	<b>-0.264</b>
年龄→峰值	[-0.109, 0.006]	0.075	-0.212
年龄→工作记忆→斜率	[-0.136, -0.022]	<b>0.008</b>	<b>-0.184</b>
年龄→工作记忆→峰值	[-0.109, -0.019]	<b>0.005</b>	<b>-0.241</b>

人普通话声调范畴感知水平。首先,老龄化对普通话声调范畴感知能力产生消极作用,表现为老年人在辨认函数上呈现出比年轻人更平缓的斜率,在区分函数上显示更小的峰值,这与已有研究的结果一致(Wang et al., 2017; 肖容等, 2021)。在此基础上,本研究发现,音乐经验对老年人声调范畴感知有积极的改善作用,具体表现为老年音乐家在辨认函数上显示出比老年非音乐家更陡峭的斜率,在区分函数上显示出比老年非音乐家更大的区分峰值。年龄增长确实导致老年人群体对声调的精细化感知能力减弱,但音乐音高的加工经验却能在其言语音高加工过程中起到积极作用,促进老年音乐家在音高感知方面表现出比老年非音乐家更好的水平。先前研究发现,相较于无任何音乐经验的年轻人,音乐家对各种声学特征更为敏感,尤其是音乐、语言和纯音中的音高信息(Sadakata & Sekiyama, 2011)。本研究的辨认实验结果证实了有音乐经验的老年人比无音乐经验的老年人具有更陡峭的辨认函数斜率,即较高的范畴感知水平。然而,音乐经验并未影响老年人感知声调范畴的边界位置,我们推断一旦范畴感知的边界位置确立后,无论是老龄化还是音乐经验可能都难对其产生影响。

此外,区分实验的区分峰值结果表明,老龄化使得老年人群体的区分能力整体衰退,但音乐经验能够在一定程度上延缓衰退的进程。已有研究证实,老年人声调范畴感知能力下降可能受到辨别音高轮廓变化的听觉心理声学能力下降的影响(Mattys & Scharenborg, 2013)。普通话声调感知主要依赖于声调的音高轮廓,而音乐信号也是通过音调(频率)、时间(节奏)和音色(时频)等基本特征来表达,音乐和语言都需要知觉、注意和记忆系统的参与(王孟元等, 2015; 姚尧, 陈晓湘, 2020)。具有音乐

经验的老年人比无音乐经验的老年人区分峰值更大,声调范畴感知能力更强,在一定程度上也说明音乐经验可以改善老年人声调范畴感知水平。然而,范畴内和范畴间的区分结果表明,音乐经验既没能提高老年人对音高声学特征的感知敏感性,也没能提高音系层面的敏感性。这可能是由于实验刺激过于精细且持续时间较短,造成范畴内和范畴间的音位区分难度过大造成的,今后可调整刺激的持续时间进一步印证实验结果。

本研究结果支持了共享声音范畴学习机制假设,即音乐和语言共享的声学信息为老年人提供了声调范畴感知跨领域加工优势(Patel, 2011)。当前纳入的老年被试都是基于音高训练项目(二胡演奏),长期音乐训练所获得的音高经验可能通过重叠的大脑网络迁移到了声调范畴感知领域,进而提升精细化的音高加工水平。另外,当被问及对音乐学习的看法时,他们普遍表示音乐是一种情感疗愈的良药,能够鼓舞他们积极面对生活,这与Patel(2011)关于积极情绪在听觉传达中的重要性理念不谋而合。尽管本研究从行为层面展示了音乐训练对延缓声调范畴感知老化的证据,但并未证实音乐经验能否逆转衰退的进程。后续研究将对不同年龄段的老年人进行分类,并通过纵向追踪调查以获取更多信息。

#### 4.2 音乐经验对老年人声调范畴感知衰退的影响——工作记忆的中介作用

本研究的第二个问题是音乐经验影响老年人声调范畴感知水平的认知机制,结果推测可能是工作记忆在其中发挥了积极的中介作用。工作记忆就像大脑的一块“缓存”区域,对语言信息的储存和加工都十分关键(Parbery-Clark et al., 2011)。一方面,路径分析结果显示年龄对工作记忆产生直接影响,工作记忆影响声调范畴感知的斜率和区分峰值,揭示了老年人工作记忆下降与声调范畴感知衰退具有相关性。音段层面的相关证据表明,音位感知能力与工作记忆衰退紧密相关(Scott, 1994),超音段层面的声调感知涉及多个听觉刺激的存储和维持,这些加工过程也依赖工作记忆的参与。本研究肖容等人(2021)的研究共同为声调范畴感知衰退与工作记忆老龄化的相关性提供了证据,即使在安静环境中,作为一般性认知能力的工作记忆仍会参与到声调加工过程中,影响老年人言语感知能力。

另一方面,研究结果支持了修正版的老龄化与认知支架理论模型(STAC-r),长期持续的音乐学

习可能是通过认知激活对抗衰老带来的工作记忆减退,缓冲认知功能退化,有助于改善言语感知水平。先前研究证实了音乐经验对各种认知能力的正向迁移效应,如提高言语智力和执行功能,本研究发现工作记忆在延缓声调范畴感知衰退过程中亦扮演重要角色。具体表现为,音乐经验既直接影响辨认斜率,又通过工作记忆对声调范畴感知(斜率和峰值)产生间接影响。尽管老龄化会导致老年人的工作记忆容量下降,但音乐经验可以帮助他们保持工作记忆容量,增强存储声音信息的能力,从而延缓由老化所带来的声调范畴感知能力衰退。然而,本研究仅为工作记忆中介音乐经验改善老年人声调范畴感知的作用提供了行为学实验证据,后续将结合事件相关电位(ERP)及功能性磁共振成像(fMRI)等技术,揭示老年人加工声调范畴时的神经反应,确立音乐经验带来的工作记忆保持效应究竟属于“补偿”还是“优化”的范畴,为老龄化与认知支架模型提供更丰富的实证依据和理论支持。

## 5 结论与不足

本文探讨了音乐经验对汉语普通话老年人声调范畴感知的影响及其认知机制。老龄化会导致声调范畴感知能力衰退,但音乐经验可以改善其声调范畴感知水平,具体表现为相较于老年非音乐家,老年音乐家的辨认函数斜率更大,区分峰值更高。研究结果支持了共享声音范畴学习机制假设,即音乐和语言共享感知加工过程,音乐训练所获得的音高加工优势迁移到语言领域,延缓老年人声调感知衰退的进程。同时,年龄和音乐经验通过工作记忆对老年人声调范畴感知产生不同的作用,支持了老龄化与认知支架理论模型(STAC-r),即老龄化导致言语感知能力下降,而音乐训练通过增强听觉工作记忆提升老年人对声音信息的编码、存储和提取能力,缓冲老龄化所带来的认知能力衰退,进而改善老年人言语加工水平。

本研究存在一些不足之处。首先,实验仅对比了安静环境下四组被试的声调范畴感知表现,但日常生活中老年人言语感知还会受到其他无关说话人的干扰,尤其在噪音背景下言语感知更为困难(吴梅红, 2023),未来研究可加入有噪音掩蔽的语音范畴感知任务,系统考察音乐经验延缓声调范畴感知衰退的奖赏作用。其次,由于言语感知的复杂性,老龄化进程中可能存在关键年龄(孙赛男, 何文广, 2022)。本研究中的老年被试年龄跨度较大,后续

可对不同年龄段老年人的声调范畴感知能力进行对比,明确音乐经验改善语音感知老龄化的效应是否存在关键期。此外,本研究对于失歌症患者的筛查过于简单,后续研究可采用更为科学的蒙特利尔失歌症评估标准(Peretz et al., 2003)筛查失歌症患者,以确保实验的科学性和精准性。最后,本研究采用横断实验设计探索音乐经验与言语感知老龄化之间的潜在关联,后续将通过纵向实验追踪音乐训练延缓老年人声调范畴感知的效果,尤其是长期音乐训练能否逆转老龄化带来的声调范畴感知衰退,这对于揭示音乐经验改善言语感知老龄化的机理有着重要意义。

### 参考文献:

- Boersma, P., & Weenink, D. (2016). *Praat: Doing phonetics by computer* (version 6.0.14) [Computer program].
- Chao, Y. R. (1968). *Language and symbolic systems*. Cambridge University Press.
- Chen, F., Peng, G., Yan, N., & Wang, L. (2017). The development of categorical perception of Mandarin tones in four- to seven-year-old children. *Journal of Child Language*, 44(6), 1413-1434.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149-1160.
- Feng, Y., Peng, G., & Wang, W. S. Y. (2022). Categorical perception of lexical tones in Mandarin-speaking seniors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(8), 2789-2800.
- Gong, Y. X. (1992). *Manual of Wechsler Adult Intelligence Scale - Chinese Version*. Chinese Map Press.
- Jaeger, T. F. (2008). Categorical data analysis: Away from ANOVAs (transformation or not) and towards logit mixed models. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 434-446.
- Jin, X., Zhang, L., Wu, G., Wang, X. Y., & Du, Y. (2024). Compensation or preservation? Different roles of functional lateralization in speech perception of older non-musicians and musicians. *Neuroscience Bulletin*, 40(12), 1843-1857.
- Liberman, A. M., Harris, K. S., Hoffman, H. S., & Griffith, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 54(5), 358-368.
- Mattys, S. L., & Scharenborg, O. (2013). Phoneme categorization and discrimination in younger and older adults: A comparative analysis of perceptual, lexical, and attentional factors. *Psychology and Aging*, 29(1), 150-162.
- Mukari, S. Z. M. S., Yusof, Y., Ishak, W. S., Maamor, N., Chelapan, K., & Dzulkifli, M. A. (2018). Relative contributions of auditory and cognitive functions on speech recognition in quiet and in noise among older adults. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 86(2), 149-156.
- Nan, Y., & Friederici, D. (2013). Differential roles of right temporal cortex and broca's area in pitch processing: Evidence from music and mandarin. *Human Brain Mapping*, 34(9), 2045-2054.
- Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., & Kraus, N. (2009). Musician enhancement for speech-in-noise. *Ear and Hearing*, 30(6), 653-661.
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2011). Musical experience and the aging auditory system: Implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PLoS ONE*, 6(5), Article e18082. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018082>
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196.
- Patel, A. D. (2008). *Music, Language and the Brain*. Oxford University Press.
- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2, Article e142. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00142>
- Peretz, I., Champod, A. S., & Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders: The Montreal battery of evaluation of amusia. In G. Avanzini, C. Faienza, D. Minciacchi, L. Lopez, & M. Majno (Eds.), *Neurosciences and Music* (Vol. 999, pp. 58-75). New York Academy of Sciences.
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(4), 717-731.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2014). How does it STAC up? Revisiting the scaffolding theory of aging and cognition. *Neuropsychology Review*, 24(3), 355-370.
- Sadakata, M., & Sekiyama, K. (2011). Enhanced perception of various linguistic features by musicians: A cross-linguistic study. *Acta Psychologica*, 138(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.03.007>
- Scott, (1994). Auditory memory and perception in younger and older adult second language learners. *Studies in Second Language Acquisition*, 16(3), 263-281.
- Stern, Y. (2012). Cognitive reserve in ageing and Alzheimer's disease. *Lancet Neurology*, 11(1), 1006-1012.
- Wang, Y. X., Yang, X. H., Zhang, H., Xu, L. L., Xu, C., & Liu, C. (2017). Aging effect on categorical perception of mandarin tones 2 and 3 and thresholds of pitch contour discrimination. *American Journal of Audiology*, 26(1), 18-26.
- Wang, Y., Yang, X., Ding, H., Xu, C., & Liu, C. (2021). Aging effects on categorical perception of Mandarin lexical tones in noise. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(4), 1376-1389.
- Worschech, F., Marie, D., Jünemann, K., Sinke, C., Krüger, T. H. C., Großbach, M., ... Altenmüller, E. (2021). Improved speech in noise perception in the elderly after 6 months of musical instruction. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15, Article e696240. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.696240>

- Xu, Y., Gandour, J. T., & Francis, A. L. (2006). Effects of language experience and stimulus complexity on the categorical perception of pitch direction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(2), 1063–1074.
- Yang, X., Wang, Y., Xu, L., Zhang, H., Xu, C., & Liu, C. (2015). Aging effect on Mandarin Chinese vowel and tone identification. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), EL411–EL416.
- Yoo, J., & Bidelman, G. M. (2019). Linguistic, perceptual, and cognitive factors underlying musicians' benefits in noise-degraded speech perception. *Hearing Research*, 377, 189–195.
- Zendel, B. R., West, G. L., Belleville, S., & Peretz, L. (2019). Music training improves the ability to understand speech-in-noise in older adults. *Neurobiology of Aging*, 81, 102–115.
- Zhang L., Fu, X. Y., Luo, D., Xing, L. D. S. & Du, Y. (2021). Musical experience offsets age-related decline in understanding speech-in-noise: Type of training does not matter, working memory is the key. *Ear and Hearing*, 42(2), 258–270.
- Zhang L., Wang, X. Y., Alain, C. & Du, Y. (2023). Successful aging of musicians: Preservation of sensorimotor regions aids audiovisual speech-in-noise perception. *Science Advances*, 9(17), Article e7056. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adg7056>
- 孙赛男, 何文广. (2022). 语音加工的发展、老化及其神经机制. *心理发展与教育*, 38(6), 894–901.
- 王孟元, 宁睿婧, 张雪岩. (2015). 音乐训练延缓言语感知老龄化. *心理科学进展*, 23(1), 22–29.
- 吴梅红. (2023). 老龄化对 F0 轮廓线索在汉语言语识别去掩蔽作用的影响. *心理学报*, 55(01), 94–105.
- 肖容, 陈丹怡, 梁丹丹. (2021). 汉语普通话声调 T2–T4 范畴化感知的老化效应. *心理科学*, 44(5), 1097–1103.
- 肖容, 梁丹丹, 李善鹏. (2020). 汉语普通话声调感知的老年化效应:来自 ERP 的证据. *心理学报*, 52(1), 1–11.
- 徐宁宁, 张敏慧, 吴翰林, 张清芳. (2024). 工作记忆负荷对词汇理解和产生认知老化的不同影响. *心理发展与教育*, 40(4), 457–467.
- 杨小虎, 李洋. (2020). 老龄化与普通话声调感知. *南京师范大学文学院学报*, (03), 11–19.
- 姚尧, 陈晓湘. (2020). 音乐训练对 4–5 岁幼儿普通话声调范畴感知能力的影响. *心理学报*, 52(04), 456–468.

## Musical Experience Mitigates the Age-related Decline in Categorical Perception of Lexical Tones: Working Memory Is the Mediator

HE Mengjie<sup>1</sup> YAO Yao<sup>1</sup> CHEN Fei<sup>2</sup>

(1. School of Foreign Studies, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114;

2. School of Foreign Languages, Hunan University, Changsha 410082)

**Abstract:** Previous studies have shown that musical experience is beneficial for improving speech perception at the segmental level in older adults. However, it is unclear whether it could help mitigate the decline in categorical perception (CP) of lexical tones at the suprasegmental level. Furthermore, the cognitive mechanisms underlying the effects of musical experience on CP in older adults remains unknown. To investigate the issue, this study employed a classical CP experimental paradigm to compare the performance of younger musicians, younger non-musicians, older musicians, and older non-musicians on the perception of Mandarin tones (T1-T2) continuum. The results revealed that: (1) Compared to younger individuals, older participants showed a significant decline in CP of lexical tones, but musical experience could enhance their CP competence; (2) Age and musical experience had opposite impacts on influencing older adults' CP performance through working memory mediation. The findings indicated that musical experience could improve CP ability by enhancing working memory, thereby delaying the decline in fine-grained pitch perception in older adults. The findings provided a solid theoretical foundation for conducting musical training to combat age-related decline in speech perception, which will further deepen the application of musical training in the fields of education and healthcare.

**Key words:** categorical perception of lexical tones; musical experience; aging; working memory