

语音复杂度对汉语自闭症儿童 声调音高感知影响研究*

王 婷¹, 程璐璐^{2,3}

(1. 同济大学, 上海 200092; 2. 中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580;

3. 上海外国语大学, 上海 200083)

摘 要: 本研究采用识别任务范式对比了 4~7 岁汉语自闭症儿童和典型发展儿童在不同语音复杂度条件下的声调音高感知情况。结果表明, 与典型发展儿童相比, 自闭症儿童在三种语音刺激条件下均表现出音高识别优势。但随着语音复杂度的提升, 自闭症儿童的音高感知正确率随语义加工难度而下降。研究结果提示, 与先行研究相比, 汉语自闭症儿童在言语声和非言语声中是否会表现出音高知觉优势可能受到实验任务中注意机制的调控。此外, 自闭症儿童对低水平局部信息加工的偏好与其高水平整合加工有关, 这一结果支持弱中央统合理论假说, 研究结果为厘清自闭症感知觉异常的理论解释分歧进一步提供了实证证据。

关键词: 自闭症儿童; 声调; 音高感知; 弱中央统合理论

Effects of Phonetic Complexity on Tonal Pitch Perception in Mandarin-speaking Children with Autism Spectrum Disorder

WANG Ting¹, CHENG Lulu^{2,3}

(1. Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

3. Shanghai International Studies University, Shanghai 200083)

Abstract: This study examined the tonal pitch perception under conditions of varying phonetic complexity by 4-7-year-old Mandarin-speaking children with autism spectrum disorder (ASD) and typically developing (TD) children using an identification task. Results showed that children with ASD demonstrated superior pitch identification ability compared to TD children under all stimulus conditions. However, as phonetic complexity increased, the pitch identification accuracy in children with ASD decreased due to the influence of semantic processing difficulty. These findings suggest that whether Mandarin-speaking children with ASD exhibit superior pitch perception ability in both speech and non-speech conditions may be regulated by attention mechanisms in experimental tasks. Additionally, the preference for low-level local information processing observed in children with ASD is related to their high-level integrative processing ability, supporting the Weak Central Coherence Hypothesis. The results provide further

* 感谢中国石油大学(华东)外国语学院毛浩然教授对本文的修订与悉心指导。

empirical evidence for clarifying the theoretical contradictions regarding perceptual anomalies in children with ASD.

Key words: children with autism spectrum disorder; tone; pitch perception; Weak Central Coherence

1. 引言

音高是听觉系统对声音频率高低的感知属性,在言语声中是反映声带振动频率的听觉主观心理量(Trask 2004)。在语言交际过程中,音高的变化具有多重作用。例如,音高可以区分陈述与疑问语气、标记信息焦点和重音。此外,音高变化还可以传递说话者的意图、态度、情绪等副语言信息(Laver 1994),以及说话者的性别、年龄、身体状况等非语言信息。在非声调语言中,音高变化的语言学功能比较单一,主要是通过高低抑扬的配制和变化在词、短语或句子层面体现纯语调功能。在声调语言中,音高则具有双重作用。在音节层面上,音高具有区分意义的功能,构成声调;在短语或句子层面则具有表达不同语调的功能。

先行研究表明,自闭症谱系障碍(以下简称自闭症)个体存在音高的听觉加工异常。通过行为学实验,研究者发现自闭症个体较典型发展个体而言,对纯音和言语声中的音高变化均表现出超敏锐知觉。例如, Bonnel *et al.* (2003)使用纯音音高辨别任务和纯音音高“高一低”分类任务考察高功能自闭症个体的纯音辨别能力,结果表明自闭症个体在两种任务中的正确率均优于典型发展个体。Järvinen-Pasley *et al.* (2008a)通过设计不同音高曲拱的句子,发现自闭症儿童在言语句子中音高识别正确率优于典型发展儿童。此外,脑科学研究也表明,自闭症儿童在感知音高变化时,脑电失匹配负波(Mismatch negativity, MMN)潜伏期显著缩短(Gomot *et al.* 2002),振幅显著增大(Lepistö *et al.* 2008),提示自闭症个体具有音高加工优势。

自闭症个体表现出的音高超敏锐知觉可通过弱中央统合理论(Weak Central Coherence, WCC)(Frith 1989)和知觉功能促进化理论(Enhanced Perceptual Functioning, EPF)(Motttron *et al.* 2006)来解释。前者认为自闭症个体存在自上而下的高水平整合加工缺陷,而后者则认为这种音高加工优势是由于负责知觉加工的神经网络过度专门化导致的,与高水平整合加工能力无关(Heaton *et al.* 2008)。然而,这些理论尚未明确自闭症个体在音高加工优势与整合加工能力之间的关系。

以上研究主要集中在非声调语言背景下自闭症个体的音高加工表现上。然而,在声调语言中,声调音高变化不仅涉及低水平音高信息加工,还包括高水平语义信息加工(Shuai & Gong 2014)。因此,研究自闭症个体的声调加工机制对于探讨其自下而上加工偏好与自上而下整合加工关系具有重要意义。目前,针对声调背景自闭症儿童的声调加工研究较少,且主要关注声调范畴化能力和音高知觉加工能力。Chen *et al.* (2016)和 Wang *et al.* (2017)发现,普通话自闭症儿童对声调范畴间与范畴内的音高辨别没有显著差异,提示自闭症儿童存在自上而下的声调范畴化缺陷。Yu *et al.* (2015)的研究结果显示,普通话自闭症儿童在非言语声中表现出音高知觉优势,但在言语声中未表现出这一优势。与此不同, Zhang *et al.* (2019)则报告粤语自闭症儿童在言语声和非言语声中均未表现出音高加工优势,原因可能在于语言背景对自闭症儿童的非言语音高知觉加工产生影响。因此,具有声调语言背景的自闭症儿童是否表现出音高超敏锐知觉仍存在争议,亟需更多的实证研究来验证。

综上所述,声调的认知加工过程复杂,涉及低水平音高信息加工和高水平语义加工。自闭症儿童在这两种加工任务中的音高感知能力是否与非声调语言使用者表现一致,这两种加工如何相互影响尚不明确。因此,本研究将以普通话声调的“音高变化携带语义”为切入点,采用行为学实验对比普通话背景的自闭症儿童和典型发展儿童的声调感知表现,探讨语音复杂度对汉语自闭症儿童声调音高感知的影响。本研究的具体问题包括:

- 1)汉语自闭症儿童是否表现出音高感知优势?在言语声和非言语声中有何异同?

2)当语音复杂度逐步增加时,自闭症儿童的自下而上的音高感知表现是否受到自上而下的语义加工的影响?

本研究可进一步探明自闭症个体在复杂语言环境中的音高感知机制,并为其语言康复训练提供理论支持和实证依据。

2. 研究方法

2.1 研究对象

本研究的被试包括 4~7 岁的实验组自闭症儿童和对照组典型发展儿童。自闭症儿童招募自上海和黑龙江的两所正规自闭症干预机构,共 18 人,均由当地医院诊断为自闭症。实验过程中,有 5 名儿童未能顺利完成任务,最终参与实验的人数为 13 人,其中男生 9 人,女生 4 人,平均年龄为 5.99 岁。典型发展儿童招募自上海、江苏和黑龙江的幼儿园和少年宫,共 13 人,其中男生 11 人,女生 2 人,平均年龄为 5.58 岁。所有被试均为右利手,日常交流使用普通话,尚未在学校里系统学习过普通话声调,无听力障碍,无音乐训练背景。

分别采用皮博迪图片词汇测试(Peabody Picture Vocabulary Test, PPVT)(桑标、缪小春 1990)和瑞文标准推理测验(Raven’s Standard Progressive Matrices, SPM)(Raven 1998)对两组被试的言语智商和非言语智商进行评估,结果如表 1 所示。t 检验结果显示,实验组与对照组在实际年龄和非言语智商分数上均无显著性差异,但自闭症被试的言语智商分数显著低于典型发展被试。为探明言语智商水平和实验结果的关系,本文在研究结果部分将对言语智商分数和感知结果进行相关性分析。

表 1 被试人口学信息

	自闭症儿童(13人)			典型发展儿童(13人)			p值
	平均值	标准差	范围	平均值	标准差	范围	
实龄	5.99	0.88	4.58-7.67	5.58	0.69	4.17-6.67	0.160
言语智商分数	98.1	24.83	55-133	130	28.02	81-160	0.003**
非言语智商分数	107.55	7.63	92-120	110.08	8.61	96-126	0.403

注: **表示在 $p = 0.01$ 的水平上显著。

2.2 语音刺激

根据语音复杂度的不同,实验语音刺激分为真词、假词和滤波词三组(如表 2 所示),每组包含四种声调音高走势。真词语音刺激共有 28 个,由 7 组声调对立但声母和韵母相同的普通话单音节字组成,每组 4 个字,如“蛙”/wa1/、“娃”/wa2/、“瓦”/wa3/、“袜”/wa4/,涵盖普通话的 6 个单元音和一个双元音/au/。真词语音刺激由一位女性发音人在隔音室录制。发音人来自某大学播音表演专业,20 岁,北方人,普通话标准,无听力障碍。录音使用 MacBook Air OSX 10.8.5 笔记本电脑连接 Zoom H6 声卡(Zoom Corporation, Japan)和 AKG C544 麦克风(Samsung US, US)进行。使用 Praat 语音分析软件(Boersma 2001)采集单声道语音信号,采样率为 44.1KHz,采样精度为 16bit。发音人按照正常语速和语气朗读每个单音节字 3 遍,选取最自然的一遍作为感知实验刺激。

表 2 三组语音刺激的语音属性对比

	音高变化	言语声	携带语义
真 词	√	√	√
假 词	√	√	
滤波词	√		

假词语音刺激为无实际意义的单音节假字,与真词的韵母和声调一一匹配,但声母不同,如将“蛙”的声母/w/替换成/r/得到/ra1/、/ra2/、/ra3/、/ra4/。由于有8个真词无法通过更换声母成为假词,故假词组共20个实验刺激。假词刺激的录制方式与真词组相同。

滤波词语音刺激由真词语音刺激合成。使用Praat语音分析软件提取每个真词语音的音高对象,进而使用To Sound(hum)算法合成对应的滤波词。滤波词保留了真词的韵律特征(音高、音长、音强),去除了频谱特征,使得语音失去可懂度和人声音色。

为消除由于发音人、发音速度、音节结构、录音环境等因素导致的音强和音长的差异,我们使用Praat软件将三组语音刺激的音强归一化为65dB,音长归一化为500毫秒。然后,将真词语音刺激的四个声调的音高曲拱分别拷贝到假词语音刺激对应的音节上。经过以上处理,三组语音刺激的音高、音强和音长特征完全相同,但是否携带语义信息、是否为言语声等属性不同。

2.3 感知实验流程

使用Praat软件的ExperimentMFC功能分别编制真词组、假词组和滤波词组的感知实验程序。在每一个程序中,每个试次随机听觉呈现该组的一个语音刺激2遍,同时视觉呈现4幅音高图,分别显示小汽车在高平、上升、降升、高降的路上行驶(分别对应普通话一声、二声、三声、四声的调型)。

每位被试在安静的房间进行感知实验。由于自闭症被试对头戴式耳机会感到不适,因此借助电脑外放声音来呈现语音刺激。实验要求被试根据所听语音刺激的音高变化选择相对应的音高走势图。若发现被试没有听清楚,可点击屏幕上的“再听一次”按钮重听当前试次。实验开始前,先进行练习,每组刺激各练习3个试次(不出现在正式实验中),实验人员同时讲解语音刺激与音高走势图的对应关系。练习可重复,直到被试完全理解实验任务,方可进入正式实验。每组程序中的试次顺序随机安排,中间休息一次,三组任务程序的顺序在被试之间随机分配。每位被试的实验时间约为20分钟。感知实验程序会记录被试每个试次的鼠标选择。被试选择与正确的音高走势相符记为1,不符记为0。

3. 实验结果

采用R(R Core Team 2019)软件进行数据统计分析。由于本研究选取的自闭症儿童和典型发展儿童的言语智商测试结果存在显著性差异(见表1, $p = 0.003 < 0.01$),首先对两组被试的言语智商分数和感知正确率进行皮尔森相关性分析。统计结果显示,被试的言语智商分数与真词和滤波词的感知正确率之间均无显著相关性(真词: $r = -0.320$, $p = 0.111 > 0.05$; 滤波词: $r = -0.352$, $p = 0.078 > 0.05$),但与假词的感知正确率存在显著负相关(假词: $r = -0.486$, $p = 0.012 < 0.05$),说明被试的言语智商分数越低,对假词的感知正确率越高。

下页图1所示是自闭症儿童和典型发展儿童对真词、假词和滤波词语音刺激的音高感知正确率对比。从图1可以发现:1)两组被试的感知正确率均超过机会水平(25%)的两倍,说明两组被试都可以成功识别不同语音刺激中的音高变化模式;2)自闭症儿童对各类语音刺激的音高感知正确率均高于典型发展儿童;3)随着语音复杂度的增加,典型发展儿童的感知正确率递增,但自闭症儿童的感知正确率却递减。

为验证以上观测到的差异是否具有统计学意义,使用R的lme4函数(Bates et al. 2015)构建广义线性混合模型(Wolfinger & O'Connell 1993),其中,因变量为感知正确率,固定变量为被试组(自闭症儿童、典型发展儿童)、语音刺激类型(真词、假词、滤波词)及二者的交互作用,随机变量为被试个体和刺激词。卡方检验结果显示,被试组的主效应显著, $\chi^2(3) = 27.201$, $p < 0.001$,提示自闭症

儿童的感知正确率显著高于典型发展儿童。语音刺激类型的主效应显著, $\chi^2(4) = 18.737, p < 0.001$, 说明真词、假词、滤波词的感知正确率存在显著性差异。同时, 被试组和语音刺激类型的交互效应也显著, $\chi^2(2) = 15.594, p < 0.001$, 说明自闭症儿童和典型发展儿童对三种语音刺激的感知模式不同。

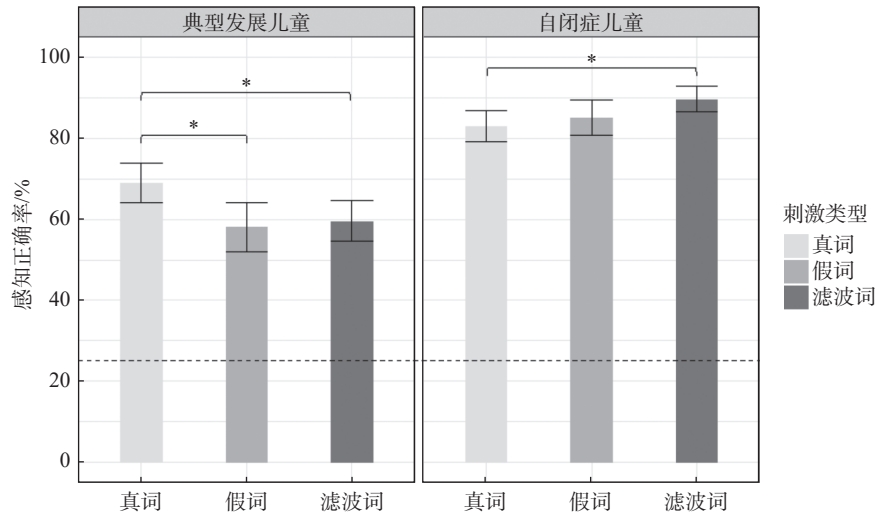


图1 自闭症儿童和典型发展儿童的三种语音刺激感知正确率对比
(误差线表示标准误, 虚线表示机会水平, *表示在 $p = 0.05$ 的水平上显著)

进一步使用 R 的 *emmeans* 函数(Lenth et al. 2018)进行事后多重比较。由表3的统计结果可知, 在真词、假词和滤波词任务中, 自闭症儿童的音高感知正确率均显著高于典型发展儿童, 表明无论语音刺激是否为言语声、是否携带语义, 自闭症儿童都表现出音高识别优势, 且在假词和滤波词条件下, 两组被试的感知正确率差异明显大于真词条件, 说明音高识别优势在假词和滤波词中更突显。典型发展儿童对真词的音高感知正确率显著高于假词和滤波词(p 值分别为 0.0138、0.0153), 假词和滤波词之间则无统计学差异($p = 0.6942$); 然而, 自闭症儿童表现出相反的模式, 他们对真词的音高感知正确率最低, 但却对滤波词音高的感知正确率最高, 且二者差异显著($p = 0.0258$), 这一结果表明, 被试的音高感知正确率会受到语义信息的影响, 且语义信息对自闭症儿童和典型发展儿童的影响相反。

表3 被试组在语音刺激类型下、语音刺激类型在被试组间的两两比较结果
(TD: 典型发展儿童; ASD: 自闭症儿童; True: 真词; Pseudo: 假词; Filter: 滤波词)

	Contrast	Estimate	SE	<i>z</i> -ratio	<i>p</i> -value
真词	TD - ASD	-0.928	0.427	-2.172	0.0299 *
假词	TD - ASD	-1.651	0.445	-3.708	0.0002 ***
滤波词	TD - ASD	-2.029	0.438	-4.627	<0.0001 ***
典型发展儿童	True- Pseudo	0.5540	0.196	2.833	0.0138 *
	True - Filter	0.4787	0.179	2.667	0.0153 *
	Pseudo - Filter	-0.0753	0.192	-0.393	0.6942
自闭症儿童	True - Pseudo	-0.1686	0.242	-0.698	0.4852
	True - Filter	-0.6218	0.237	-2.627	0.0258 *
	Pseudo - Filter	-0.4532	0.261	-1.737	0.1646

注:*表示在 $p = 0.05$ 的水平上显著, **表示在 $p = 0.01$ 的水平上显著, ***表示在 $p = 0.001$ 的水平上显著。

为进一步比较两组被试分别对真词、假词和滤波词中的不同音高走势的感知正确率差异,在原广义线性混合模型中再加入音高走势(一声、二声、三声、四声)作为固定变量进行统计分析,卡方检验结果显示,音高走势的主效应显著, $\chi^2(18) = 34.024, p = 0.0125 < 0.05$,说明被试对不同音高走势的感知正确率存在显著差异。具体而言,如图2所示:1)对于典型发展儿童,在真词中,一声和四声的感知正确率均值明显高于二声和三声,但两两比较结果显示,仅四声和二声之间存在统计学上的显著差异($p = 0.0492 < 0.05$);在假词和滤波词中,四种音高走势两两之间均无统计学差异(p 值均大于0.05);2)对于自闭症儿童,在真词和滤波词中,四种音高走势两两之间均无统计学差异(p 值均大于0.05);在假词中,四声的感知正确率显著高于二声($p = 0.0304 < 0.05$),其他音高走势之间无显著性差异(p 值均大于0.05)。上述结果说明,典型发展儿童在有语义条件下较容易识别第四声的音高走势,而自闭症儿童在无语义条件下较容易识别第四声的音高走势。

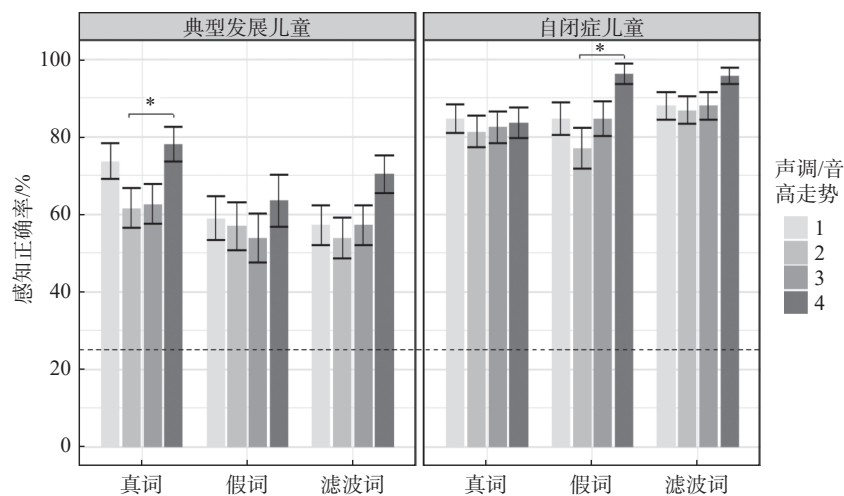


图2 自闭症儿童和典型发展儿童的四声音高走势感知正确率对比
(误差线表示标准误,虚线表示机会水平,*表示在 $p = 0.05$ 的水平上显著)

4. 讨论

本研究以普通话不同声调单音节真词、假词和音高模式匹配的滤波词语音作为实验刺激,设计音高走势识别行为学实验,通过对比典型发展儿童,考察自闭症儿童的音高识别能力。实验结果表明,与典型发展儿童相比,自闭症儿童在三种语音刺激条件下均表现出音高走势识别优势,且随着语音复杂度的递升,自闭症儿童的音高感知正确率受到语义加工的影响递减。

4.1 汉语自闭症儿童表现出自下而上的音高识别优势

本研究发现,4~7岁的典型发展儿童和自闭症儿童都能够正确识别语音刺激中的音高走势类型,且无论是在言语声(真词、假词)还是非言语声(滤波词)中,自闭症儿童的音高走势感知正确率均显著高于典型发展儿童,提示汉语自闭症儿童对言语声和非言语声中的音高变化均表现出加工优势。这一结果与 Bonnel *et al.* (2003) (非言语声)、Heaton (2005) (非言语声)、O’Riordan & Passetti (2006) (非言语声)、Heaton *et al.* (2008) (非言语声、言语声)、Järvinen-Pasley *et al.* (2008a) (言语声)等针对非声调语言背景的自闭症个体的研究结论一致,进一步佐证了自闭症个体具有自下而上的对低水平音高声学线索的加工风格偏好,且表现出跨通道的普遍性。

然而,本研究与 Yu *et al.* (2015) 和 Zhang *et al.* (2019) 分别对普通话和粤语被试开展的声调语言音高加工的 ERPs 实验结果不一致。Yu *et al.* (2015) 和 Zhang *et al.* (2019) 均报告自闭症被试在非言

语声条件下,对不同音高的靶刺激和偏差刺激的脑电反应无显著差异;而在言语声条件下,前者发现差异,后者仍无差异。我们认为本研究与这两项研究结果的不同可能源于注意机制的影响:本研究及前述针对非声调语言的研究采用音高辨别或识别任务,需要被试投入注意,主动做出反应;Yu *et al.* (2015)和 Zhang *et al.* (2019)则采用被动 Oddball 范式,无需被试投入注意。由于自闭症个体与典型发展个体相比多存在注意缺陷(Corbett *et al.* 2009),因此是否在实验任务中引入注意可能造成结果的不同。未来研究有必要使用同一组声调语言背景的自闭症被试完成两种实验任务,以期在控制注意投入的前提下考察其音高加工表现。

4.2 自上而下的语义信息加工影响汉语自闭症儿童的音高加工

通过对比被试组内不同语音刺激类型的音高走势感知结果发现,自闭症儿童的表现与典型发展儿童相反,即语音刺激包含的信息越简单,音高感知正确率越高,符合弱中央统合理论与知觉功能进化理论中关于自闭症个体具有局部信息加工偏好的假设(Frith 1989; Motttron *et al.* 2006)。具体而言,本研究中自闭症儿童对真词音高的感知正确率显著低于对滤波词音高的感知正确率,而两种语音刺激中的音高走势完全相同,其差异在于音高变化是否引起语义变化。这一结果提示,自闭症儿童的音高识别能力受到语音刺激中语义信息存在的影响。由于真词声调感知的过程既包括自下而上的音高信息加工,又包括自上而下的语义信息加工,因此,当语音刺激中涉及语义信息时,自闭症儿童的音高感知正确率下降的原因可能源于语义加工损伤,这一结果支持弱中央统合理论中关于整合加工影响自闭症儿童局部加工的假设,且与 Järvinen-Pasley *et al.* (2008b)、Jiang *et al.* (2015)、Wang *et al.* (2017)的观点一致,认为自闭症儿童存在自上而下的整合加工损伤。

此外,本研究中自闭症儿童的真词音高感知正确率均值也低于假词音高感知正确率,但没有达到统计学的显著水平,这可能是因为本研究的实验任务要求被试注意真词的音高走势,而不是判断语义,这在一定程度上减弱了语义信息加工对音高加工的影响。但对刺激中的不同声调类型具体分析时发现(如图 2 所示),典型发展儿童对真词四个声调的感知正确率表现出范畴差异,对一声和四声的感知正确率较高,这一结果与以往关于普通话声调习得的研究结果一致(Singh & Fu 2016),也符合 Tes (1977)和 So & Dodd (1995)关于粤语声调习得的研究结果,即儿童先掌握高平调和降调。然而,自闭症儿童对于真词四个声调的感知正确率没有表现出范畴差异,而当语音刺激转变为假词时,四声的识别正确率显著提升。这一结果表明自闭症儿童对高降调更为敏感,但语义信息的存在会抑制这一表现,从而进一步验证了自闭症儿童的音高感知受到语义信息的影响。

我们进一步从语言认知加工的视角解释自闭症儿童的音高加工受到语义信息影响的原因。基于 Heilman (2006)的信息加工模型(Information Processing Model),被试对真词声调的感知情况可以反映其从“听觉语音分析”到“语音输入心理词典”,再到“语义概念”的通路(通路 1)是否畅达。由于滤波词和假词并没有语义,无法在心理词典中找到对应项,所以对于滤波词和假词声调的感知越过了“语义概念”,由“听觉语音分析”直接到达“发音动作程序”这一通路(通路 2)。因此,在本研究中当语音刺激由假词和滤波词变为真词时,自闭症儿童的音高识别优势显著降低,正是由于自闭症儿童的“语义概念”可能存在损伤,致使他们的语言理解能力缺失,不具备综合信息的能力,通路 1 不如通路 2 畅达(尚晓明、程璐璐 2019)。

综上所述,通过调控语音刺激中是否存在语义,我们发现普通话背景的自闭症儿童对语音音高信息的感知能力受到自上而下的语义信息加工的影响。但由于本研究没有设计外显的语义理解任务,自闭症儿童的语义信息加工损伤程度仍需在未来研究中进一步探讨。

5. 结语

本研究以 4~7 岁汉语自闭症儿童为研究对象,采用识别任务行为学实验,考察了他们在不同

语音复杂度条件下对普通话真词、假词和滤波词中声调音高的听觉识别情况。研究发现,与典型发展儿童相比,自闭症儿童在这三种语音刺激条件下均表现出显著的音高识别优势,但随着语音复杂度的增加,自闭症儿童的音高感知正确率在有语义的条件下显著下降。

在理论层面,本研究验证了自闭症儿童在音高感知上的超敏锐性,同时揭示了语义信息对其音高感知的抑制作用。研究结果支持了弱中央统合理论解释自闭症感知觉异常的合理性,为理解和干预自闭症儿童的语言能力提供了理论支持。在实践层面,本研究支持了基于初级感知觉加工与高级语言能力相互影响的干预思路。教育者和治疗师可以通过音乐疗法、声音游戏等手段,合理运用音高、节奏等元素,设计多样化的情感交流和社交互动活动,帮助自闭症儿童提升听觉注意力和感知能力,改善其在社会交往中的语言表达和理解能力,促进他们的情绪理解和社交技能的发展。

后续研究可进一步细化自闭症儿童音高加工的认知神经机制,利用 fMRI、EEG 等神经科学方法,探究音高识别优势背后的脑区激活模式和网络连接,为更精准地制定干预策略提供科学依据。此外,后续研究还可以结合不同的实验任务范式,深入探讨注意机制对自闭症儿童音高加工的影响,进一步明确主动与被动任务条件下自闭症儿童感知觉表现的异同。

参考文献:

- [1] Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & S. Walker. Fitting linear mixed-effects models using lme4 [J]. *Journal of Statistical Software*, 2015, 67(1): 1–48.
- [2] Boersma, P. Praat, a system for doing phonetics by computer [J]. *Glott International*, 2001, 5(9): 341–345.
- [3] Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E. & A. M. Bonnel. Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: A signal detection analysis [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2003, 15(2): 226–235.
- [4] Chen, F., Yan, N., Pan, X., Yang, F., Ji, Z., Wang, L. & G. Peng. Impaired categorical perception of mandarin tones and its relationship to language ability in autism spectrum disorders [C] // *Proceeding of The 17th Annual Conference of the International Speech Communication Association*, 2016. 233–237.
- [5] Corbett, B. A., Constantine, L. J., Hendren, R., Roche, D. & S. Ozonoff. Examining executive functioning in children with autism spectrum disorder, attention deficit hyperactivity disorder and typical development [J]. *Psychiatry Research*, 2009, 166(2-3): 210–222.
- [6] Frith, U. *Autism: Explaining the Enigma*[M]. Oxford, UK: Blackwell, 1989.
- [7] Gomot, M., Giard, M. H., Adrien, J. L., Barthelemy, C. & N. Bruneau. Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: Electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning [J]. *Psychophysiology*, 2002, 39(5): 577–584.
- [8] Heaton, P. Interval and contour processing in autism [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2005, 35(6): 787–793.
- [9] Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A. & E. Hill. Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders [J]. *Cognitive Neuropsychology*, 2008, 25(6): 771–782.
- [10] Heilman, K. M. Aphasia and the diagram makers revisited: An update of information processing models [J]. *Journal of Clinical Neurology*, 2006, 2(3): 149–162.
- [11] Järvinen-Pasley, A., Wallace, G. L., Ramus, F., Happé, F. & P. Heaton. Enhanced perceptual processing of speech in autism [J]. *Developmental Science*, 2008a, 11(1): 109–121.
- [12] Järvinen-Pasley, A., S. Peppé, G. King-Smith & P. Heaton. The relationship between form and function level receptive prosodic abilities in autism [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2008b, 38: 1328–1340.
- [13] Jiang, J., Liu, F., Wan, X. & C. Jiang. Perception of melodic contour and intonation in autism spectrum

- disorder: evidence from mandarin speakers [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2015, 45(7): 2067–2075.
- [14] Laver, J. *Principles of Phonetics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [15] Lepistö, T., Kajander, M., Vanhala, R., Alku, P., Huottilainen, M., Nääätänen, R. & T. Kujala. The perception of invariant speech features in children with autism [J]. *Biological Psychology*, 2008, 77(1): 25–31.
- [16] Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P. & M. Herve. Emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means [J]. *R Package Version*, 2018, 1(1): 3.
- [17] Mottron, L., Dawson, M., Soulieres, I., Hubert, B. & J. Burack. Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(1): 27–43.
- [18] O’Riordan, M. & F. Passetti. Discrimination in autism within different sensory modalities [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(5): 665–675.
- [19] Raven, J. C. & J. H. Court. Raven’s progressive matrices and vocabulary scales [M]. Oxford: Oxford Psychologists Press, 1998.
- [20] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing (version 6.3. 6)* [M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019.
- [21] Shuai, L. & T. Gong. Temporal relation between top-down and bottom-up processing in lexical tone perception [J]. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2014, 8: 97.
- [22] Singh, L. & C. S. L. Fu. A new view of language development: The acquisition of lexical tone [J]. *Child Development*, 2016, 87(3): 834–854.
- [23] So, L. K. H. & B. J. Dodd. The acquisition of phonology by Cantonese-speaking children [J]. *Journal of Child Language*, 1995, 22: 473–495.
- [24] Tes, J. K. -P. Tone acquisition in Cantonese: A longitudinal case study [J]. *Journal of Child Language*, 1977, 5: 191–204.
- [25] Trask, R. L. *A Dictionary of Phonetics and Phonology* [M]. New York: Routledge, 2004.
- [26] Wang, X., Wang, S., Fan, Y., Huang, D. & Y. Zhang. Speech-specific categorical perception deficit in autism: An Event-Related Potential study of lexical tone processing in Mandarin-speaking children [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 432–454.
- [27] Wolfinger, R. & M. O’connell. Generalized linear mixed models a pseudo-likelihood approach [J]. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 1993, 48(3): 233–243.
- [28] Yu, L., Fan, Y., Deng, Z., Huang, D., Wang, S. & Y. Zhang. Pitch processing in tonal-language-speaking children with autism: An event-related potential study [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2015, 45(11): 3656–3667.
- [29] Zhang, J., Meng, Y., Wu, C., Xiang, Y. -T. & Z. Yuan. Non-speech and speech pitch perception among Cantonese-speaking children with autism spectrum disorder: An ERP study [J]. *Neuroscience Letters*, 2019, 703: 205–212.
- [30] 桑标, 缪小春. 皮博迪图片词汇测验修订版(PPVT—R)上海市区试用常模的修订[J]. *心理科学通讯*, 1990, (5): 20–25.
- [31] 尚晓明, 程璐璐. 发展语用学视域中的语用障碍问题研究[J]. *外国语*, 2019, (4): 103–112.

基金项目: 国家社科基金青年项目“自闭症儿童汉语声调加工认知机制研究”(20CYY038)

收稿日期: 2022 – 11 – 14

作者简介: 王 婷(1987—), 女, 博士, 副教授, 博士生导师。研究方向: 实验语音学、言语病理学。

程璐璐(1987—)(通讯作者), 女, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 发展语用学、言语病理学。