doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.06.020

人工耳蜗植入儿童声调产出能力研究

A Study on the Pitch Production Ability of Children with Cochlear Implants

易海燕　李永勤　林海英　孙莉

YI Hai-yan, LI Yong-qin, LIN Hai-ying, SUN Li

【摘要】目的 探讨人工耳蜗植入儿童声调产出的特点和发展规律，为言语康复训练提供指导。**方法** 通过提取基频（均值、最小值、最大值、范围）、时长2类声学参数，结合正确率和错误模式分析，对16名人工耳蜗植入儿童的单字调产出能力进行初步探索。**结果** （1）人工耳蜗植入儿童声调产出的总正确率为87.50%。四声调中，阴平和去声的正确率最高（100%），其次是阳平（93.75%），上声的正确率最低（56.25%）。（2）从错误类型来看，人工耳蜗植入儿童最易出现声调替代错误（62.50%），集中表现为用阳平替代上声。其次是歪曲错误（37.50%），集中表现为上声歪曲。（3）4～5岁组人工耳蜗植入儿童阳平的产出能力优于3～4岁组。（4）人工耳蜗植入儿童单字调的基频均值与极值均存在显著的年龄差异，随年龄增长呈整体下移趋势。（5）基频范围的年龄差异不显著，其调域跨度未随年龄增长发生显著变化。（6）在上声方面，男生的基频范围显著大于女生。（7）在基频均值和基频最大值方面，人工耳蜗植入儿童4个声调之间存在显著差异，阴平和去声显著高于阳平和上声（$P<0.05$）。（8）不同声调的时长之间存在显著差异（$P<0.05$），上声的时长最长，其次是阴平和阳平，去声的时长最短。**结论** 随着年龄的增长，人工耳蜗植入儿童单字调的产出表现出音高整体下降，但调域跨度保持不变的现象。人工耳蜗植入儿童4个声调之间有明显的频率和时长差异。

【关键词】人工耳蜗植入；单字调；声调产出

【中图分类号】G762　　**【文献标识码】**A　　**【文章编号】**1672-4933(2026)06-0674-05

【Abstract】*Objective* In this study we explore the rules of tone production in children with cochlear implants, and provide guidance for speech rehabilitation training. ***Methods*** By extracting two categories of acoustic parameters, including fundamental frequency (mean fundamental frequency, minimum fundamental frequency, maximum fundamental frequency, and fundamental frequency range), and duration, combined with accuracy analysis and error pattern analysis, and a preliminary exploration of single-word tone production ability in 16 children with cochlear implants was conducted. ***Results*** The overall accuracy of tone production in children with cochlear implants was 87.50%. Among the four tones, the highest accuracy rates were observed for Tone 1 and Tone 4(both 100%), followed by Tone 2(93.75%), while Tone 3 exhibited the lowest accuracy (56.25%). An error pattern analysis revealed that the most frequent error type was tone substitution(62.50%), predominantly manifested as substituting Tone 2 for Tone 3. The second most common error was tone distortion(37.50%), primarily characterized by distorted realizations of Tone 3. A comparative analysis of age groups indicated that children aged 4-5 years demonstrated significantly better production accuracy for Tone 2 compared to children aged 3-4 years.The mean fundamental frequency and extreme values of single syllables in children with cochlear implants exhibit significant age-related differences, showing an overall downward trend as they age.However, there is no significant age difference in the fundamental frequency range. the pitch range span of cochlear implant users remains unchanged as they age. In Tone 3, the fundamental frequency range of male voices was significantly greater than that of female voices. In terms of fundamental frequency mean and maximum, there were significant differences between the four tones of artificial cochlear implant children, Tone 1 and Tone 4 are significantly higher than Tone 2 and Tone 3 ($P<0.05$). There was a significant difference in the duration of different tones, Tone 3 is the longest, followed by Tone 1 and Tone 2, and Tone 4 was the shortest ($P<0.05$). ***Conclusion*** With advancing age, children with cochlear implants demonstrated a progressive decline in fundamental frequency, while their pitch range span remained unchanged during one-syllable tone production. Obvious differences in frequency and duration can be observed among the four tones of children with cochlear implants.

【Key words】Cochlear implants; One-Syllable tone; Tone production

1 引言

人工耳蜗通过对听觉神经的直接电刺激使感音神经性听障者获得有效的听觉感知，是临床上公认的有效帮助重度及极重度感音神经性听障者重建听力，并获得言语交

基金项目：2023年度中国残联听力语言残疾预防与康复专项课题“学龄前人工耳蜗植入儿童合唱训练实施探索及效果研究”（2023CDPFHS-13）

作者单位：上海市特殊儿童康复中心 上海 200217

作者简介：易海燕 硕士 中教一级；研究方向：听障儿童早期康复教育

通讯作者：易海燕，E-mail：2670105009@qq.com

际能力的主要手段[1~3]。目前，由于人工耳蜗采用的言语编码策略对音调的提取能力有限[4]，因此，使用普通话交流的人工耳蜗植入儿童声调识别及产出存在障碍[5~7]。

普通话声调分为阴平、阳平、上声、去声4个调类，声调在普通话中承担区别音节意义的功能，对提高言语可懂度具有重要作用[8~10]。声调产出能力对人工耳蜗植入者意义重大，对处于语言发展期的儿童更是如此。与同龄健听儿童相比，人工耳蜗植入儿童的声调产出质量较差，且对阳平和上声的掌握存在困难[11~14]。李衍[15]对40名人工耳蜗植入儿童进行声调产出研究，发现人工耳蜗植入儿童经常用容易产出的声调代替难以产出的声调，其中用阴平代替其他声调的现象最频繁，上声代替阳平的现象也常有发生，还有部分儿童用阳平代替上声。潘慧等[16]对以19名3岁以内单侧人工耳蜗植入儿童和健听儿童的单字调产出能力进行比较研究，发现人工耳蜗植入儿童的声调产出总正确率为74.17%，显著低于健听儿童(97.38%)，其中阳平的错误率最高，其次是上声和阴平，去声的错误率最低。目前，已有研究主要聚焦听障儿童四声声调的产出难度、准确率，且大部分依靠听感知判断其声调发音情况。通过听感知能够辨认声调的区别，但在进一步揭示音高、调型和调长等构成的声学特征时，人耳往往会产生偏差。人工耳蜗植入儿童由于个体发音差异大，许多语音发生了歪曲，需要借助相关语图和声学数据才能客观反应语音产出的实际情况。本研究通过提取基频均值、最小值、最大值、范围、时长等声学参数，对16名人工耳蜗植入儿童的单字调产出能力进行系统分析，获得人工耳蜗植入儿童声调产出特征，为临床治疗提供理论和实践依据。

2 方法

2.1 被试

从上海市某康复机构选取16名人工耳蜗植入儿童，其中3～4岁组8人，5～6岁组8人；男女生各8人。纳入标准：(1)先天性感音神经性听力损失；(2)同意参与研究；(3)人工耳蜗植入时长达1年及以上；(4)未伴随听神经病变；(5)无发育迟缓等其他障碍。本研究通过上海市特殊儿童康复中心医学伦理委员会批准(EKLL-2023001)，受试者家长均签署知情同意书。

2.2 材料与设备

在语料设计方面，考虑到学前儿童认知水平及人工耳蜗植入儿童的构音水平，在参考朱瑶[17]研究的基础上，选取“八/bā/、拔/bá/、靶/bǎ/、爸/bà/”4个单音节词用于评估声调。录制设备为联想笔记本电脑连接单项麦克风和录音软件Adobe Audition 3.0，参数为单通道、44100 Hz的采样率、采样精度为16 bit，保存格式为WAV文件。

2.3 录音过程

在安静的室内(背景噪声低于45 dB)调整好被试、麦克风之间的距离(15～20 cm)，确保收音效果最佳。正式录音前，使用练习词进行练习。主试出示一张练习图片以正常声调朗读，让被试跟随标准音复述3遍，过程中观察被试发音情况，提醒被试保持正常的音量及速度；再出示一张图片，让被试模仿复述。在被试熟悉声调产出的流程和材料后，试录无误后进行正式录音。主试人员以正确的声调朗读测试材料，要求被试跟读3遍，同时进行录音。

2.4 语料的切分与标注

第一步，使用Adobe Audition CS 3.0软件将每个被试发音文件中的单字调切分出来，每个单字调的前后留有固定时长的空白段。第二步，利用Praat对单字调进行标注。根据需要，对单字调进行汉字层和声韵层标注。标注内容分别是产出词的汉字，声韵层的标注内容是韵母。

2.5 数据提取与处理

用Praat对导入的每个单音节词提取基频和时长。时长以秒(s)为单位。基频包含均值、最大值、最小值及基频范围(基频最大值与最小值之差)4个相关参数。为了更方便地表示音高变化，基频以半音为单位，参考基频值(F_r)设定为50 Hz，换算关系为：$St=12\times\log_2\left(\frac{F_0}{F_r}\right)$，其中St为转换后的半音值，$F_0$为提取的基频值。将提取的数据导入SPSS 16.0统计分析软件进行统计学分析，以$P<0.05$为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 声调产出正确率

3～4岁组和4～5岁组声调产出总正确率、阴平、上声和去声正确率无显著差异($P>0.05$)。两组儿童阳平的产出能力差异显著($P<0.05$)，4～5岁组人工耳蜗植入儿童阳平的产出能力优于3～4岁组，见表1。

3.2 单字调的基频均值

对不同年龄和性别被试4个声调的基频均值(见表2)进行三因素混合方差分析。结果表明，单字调基频均值年龄差异显著($P<0.05$)，声调类型差异极其显著($P<0.01$)，性别差异不显著($P>0.05$)。3～4岁组基频均值高于5～6岁组；阴平和去声的基频均值之间无显著差异，但显著高于阳平和上声。

3.3 单字调的基频最大值、最小值与基频范围

对不同年龄和性别被试4个声调的基频最大值、最小

表1 声调产出的正确率均值及标准差(%)

分组(岁)	总正确率	T1	T2	T3	T4
3～4	84.38±12.94	100.00±0.00	96.88±15.36	50.00±13.45	100.00±0.00
4～5	90.62±12.94	100.00±0.00	100.00±0.00	62.50±11.75	100.00±0.00
P	1.000	-	0.035*	0.505	-

注:T1=阴平,T2=阳平,T3=上声,T4=去声,*P<0.05,下同。T1、T4组因正确率均为100%,标准差为零,无法计算*P*值,以"-"表示

表2 基频均值($\bar{x}\pm s$)

分组(岁)	T1	T2	T3	T4
3～4	30.06±1.55	27.74±2.18	26.49±2.03	30.75±2.58
5～6	27.07±2.91	25.39±1.63	25.28±1.35	28.40±2.57

值和范围(见表3)分别进行三因素混合方差分析(见表4),结果表明,单字调基频最大值年龄差异显著(*P*<0.05),声调类型差异极其显著(*P*<0.01),性别差异不显著(*P*>0.05)。3～4岁组基频最大值高于5～6岁组;阴平和去声的基频最大值之间无显著差异,但显著高于阳平和上声。单字调基频最小值年龄差异显著(*P*<0.05),声调类型和性别差异不显著(*P*>0.05)。3～4岁组基频最小值高于5～6岁组。单字调基频范围年龄、性别及声调类型差异不显著(*P*>0.05),声调类型和性别的交互作用显著(*P*<0.05)(见图1)。进一步简单效应分析发现,在阴平、阳平和去声方面,男女生的基频范围无显著差异;在上声方面,男生的基频范围(8.468)显著大于女生(4.857)。

3.4 单字调的时长

对不同年龄和性别被试4个声调的时长(见表5)进行三因素混合方差分析。结果表明单字调时长声调类型差异极其显著(*P*<0.01),年龄和性别差异不显著(*P*>0.05)。单字调时长上声(0.488 s)、阴平(0.443 s)>阳平(0.418s)>去声(0.202 s)。

4 讨论

4.1 人工耳蜗植入儿童单字调产出的错误类型分析

本研究发现,人工耳蜗植入儿童声调产出的总正确率为87.50%。四声调中,阴平和去声的正确率最高(100%),其次是阳平(93.75%),上声最低(56.25%),与以往研究结果一致[18～20]。从错误类型来看,人工耳蜗植入儿童最易出现声调替代错误(62.50%),集中表现为阳平替代上声。其次是歪曲错误(37.50%),集中表现为上声歪曲。在语言领域,视听结合训练能够显著提高复杂语音特征的感知与产出能力[21]。由于电刺激信号对人工耳蜗植入儿童声调关键线索(如基频F_0、时长)的传递受限,视听结合训练通过补偿听觉缺陷(如用打拍子呈现时长变化)和强化关键特征(如用手势表示声调轮廓),帮助其建立完整的语音表征。以上声为例,在训练过程中可采用感知-分解-整合3步法,整合听觉和视觉等多种感官通道,增强学习效果,促进神经可塑性。训练初期可播放不同时长的上声音频,如短促的"雨"和延长的"语",要求儿童判断时长差异,通过强化时长的感知,区分重塑听觉系统。在训练中期可将上声分解为前后2部分,通过模仿发音时长(先一拍,再2拍)和频率(降调段手掌下压,升调段手掌上抬)的变化,用视觉增强运动控制。最后逐步缩短停顿时间,最终实现连贯整合的声调曲线。在训练过程

表3 基频最大值、最小值及范围($\bar{x}\pm s$)

指标	分组	T1	T2	T3	T4
基频最大值	3～4岁组	31.51±1.75	31.37±1.83	29.64±2.69	33.38±2.88
	5～6岁组	29.59±0.94	28.24±2.08	26.99±1.35	31.02±2.33
基频最小值	3～4岁组	28.97±2.05	24.65±3.76	23.12±2.92	26.80±3.06
	5～6岁组	24.28±2.26	23.60±1.53	21.90±1.09	25.78±2.81
基频范围	3～4岁组	2.54±1.49	6.72±3.16	6.53±2.95	6.59±3.27
	5～~6岁组	5.31±2.09	4.64±1.96	6.78±3.00	5.25±2.64

表4 基频最大值、基频最小值和基频范围的方差分析

	基频最大值			基频最小值			基频范围		
	df	*F*	*P*	*df*	*F*	*P*	*df*	*F*	*P*
年龄	1	8.055	0.015*	1	5.912	0.032*	1	0.024	0.880
性别	1	0.986	0.340	1	1.488	0.246	1	0.289	0.601
声调	3	6.361	0.001**	3	2.610	0.066	3	0.362	0.781
年龄*性别	1	0.521	0.484	1	0.031	0.863	1	1.009	0.335
声调*年龄	3	0.102	0.755	3	2.846	0.051	3	2.759	0.056
声调*性别	3	0.064	0.804	3	2.629	0.065	3	2.915	0.047*
声调*年龄*性别	3	0.346	0.567	3	1.859	0.154	3	2.631	0.065

**P<0.01

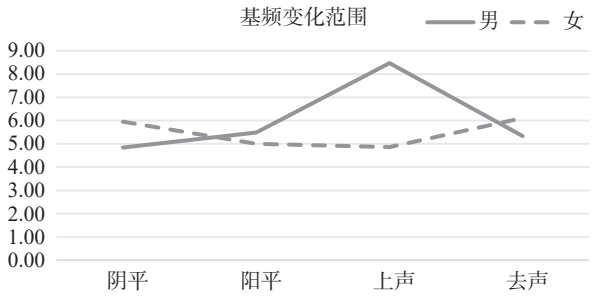

图1 不同性别被试在4种声调下的基频变化范围对比

表5 时长均值及标准差(秒)

分组(岁)	T1	T2	T3	T4
3～4	0.48±0.10	0.44±0.08	0.47±0.09	0.19±0.07
4～5	0.40±0.05	0.40±0.09	0.50±0.12	0.24±0.10

中采用视觉强化和游戏设计,突破听觉反馈不足的限制,促进更自然的声调产出。

4.2 人工耳蜗植入儿童单字调产出的频率特征

从基频均值上看,人工耳蜗植入儿童在单字调产出方面存在显著的年龄差异(P<0.05)。3～4岁组基频均值高于5～6岁组。说明随着年龄的增长,人工耳蜗植入儿童单字调的基频呈现明显的下降趋势。这一现象可能与儿童声带的自然发育有关。随着年龄的增长,儿童的声带结构发生变化。出生时,婴儿的声带较短、较薄,且呈水平状,随着生长发育,声带逐渐变长、变厚,逐渐呈现成人的倾斜状态[22]。声带的变长和增厚会导致基频出现一定程度下降。模仿对象泛化可能是造成人工耳蜗植入儿童基频下降的原因之一。父母的儿向语言(baby talk)是儿童语言习得初期重要的言语输入形式[23]。儿向语言中最引人注目的是其在音韵上的特征,如音调多变、音调相对较高等[24]。3～4岁儿童更多模仿高亢、夸张语调的儿向语言,而5～6岁儿童转向模仿成人或同伴的更低沉语调,导致基频下降。

基频的最大值、最小值和范围反映了发音人的调域。本研究发现,人工耳蜗植入儿童的基频最大值和最小值均存在显著的年龄差异(P<0.05),但基频范围的年龄差异不显著(P>0.05)。这表明随着年龄增长,该群体的基频发生了整体下移,但其调域跨度并未随之发生显著改变。在调域的发展轨迹上,与健听儿童形成显著分化。已有研究指出,健听儿童的调域在3～5岁会随年龄增长而逐渐收窄[25]。人工耳蜗植入儿童之所以出现这种调域停滞,可能主要受限于人工耳蜗设备对基频信息传输的局限性,他们无法像健听儿童那样通过丰富的听觉反馈来精细化控制发声[26]。这也提示在临床康复中不能单纯等待患儿音调控制能力随年龄自然成熟,必须针对性地开展音调动态控制的专项干预训练。

在单字调的基频范围方面,声调类型和性别的交互作用显著(P<0.05)。男女生在阴平、阳平和去声的基频范围无显著差异;男生的上声基频范围(8.468)显著大于女生(4.857)。男性声带较长且厚,基频普遍低于女性。因此,在上声的降升调中,男性需实现从低频到高频的大幅度音高跳跃,其声带需经历更大的张力变化,这种调节可能因声带质量较大而产生显著的基频波动。

从基频均值和最大值上看,人工耳蜗植入儿童的4个声调之间存在明显的频率差异,具体表现为阴平和去声显著高于阳平和上声。但从基频最小值上看,人工耳蜗植入儿童的4个声调之间无差异。可能表明对人工耳蜗植入儿童而言,基频均值和最大值可能比最小值更敏感,更能反映个体的频率变化。

4.3 人工耳蜗植入儿童单字调产出的时长特征

在单字调时长方面,人工耳蜗植入儿童表现出明显的声调类型差异(P<0.01)。上声(0.488 s)时长最长,其次是阴平(0.443 s)和阳平(0.418 s),去声(0.202 s)最短。这与朱瑶[17]、丁馨等[27]对人工耳蜗植入儿童声调产出的研究结果一致。从发音过程上分析,上声调型为曲折调,先下后升,上升时声调会因频率变高而变得紧绷,相比其他调型消耗更多能量,因此,需要的时长更长。去声调型则是高降调,发音时不需要将声带绷紧,时长较短。

根据音系学观点,区别特征的对立关系是区分不同调位的依据,即声调范畴的核心[28]。声调习得过程也是声调对立关系形成的过程。对于学习者来说,时长信息并非调域信息不充足时的补充线索,而是影响感知的重要因素[29]。对于初级和中级阶段学习者来说,声调在心理上的表征可能不仅是调型的对立,还包括时长的对立。语言经验的增加推动了两种对立关系的动态发展,初级学习者因为语言经验较少,所以对时长信息最依赖,而中级学习者对时长信息的依赖小于初级学习者,调域信息对其影响逐步加大。高级学习者虽然在调型意识上明显强于初级和中级学习者,但时长因素仍对其感知声调有重要影响[30]。人工耳蜗植入儿童由于早期听觉剥夺和人工耳蜗设备对频率提取不足,在声调的学习上需依赖更显著的声学特征(如时长)建立心理表征[31]。因此,对听障儿童进行声调训练时,除了频率训练外,还应重视时长训练,借助时长线索加速声调范畴化,为后期调域信息整合奠定基础。

传统时长训练方法主要以节奏训练为主,利用打击乐器让儿童跟随节拍器敲击,强化时间感知。随着语音识别技术的高速发展,基于声控技术的应用层出不穷[32]。学者将语音识别技术运用到汉语教学中,如笪骏[33]在汉语拼音课堂教学中运用Google的语音识别技术,成功提升了学生汉语学习的兴趣[33]。笔者相信随着语音识别、

增强现实与人工智能技术的突破，未来智能语音驱动的动态交互游戏将解决趣味性不足、个体适配性弱等局限，训练范式将向沉浸式游戏-精准化反馈-自适应学习三位一体模式跃迁。

4.4 研究不足与展望

本研究通过提取基频（均值、最小值、最大值、范围）、时长2类声学参数，结合正确率和错误模式分析，初步探索了学龄前人工耳蜗植入儿童单字调产出的特点和发展规律。研究过程中存在以下不足：①样本量较小，未能达到统计学上的大样本容量。②缺少健听对照组，无法准确诠释人工耳蜗植入儿童声调产出参数的临床意义。③测试材料单一，无法全面考察人工耳蜗植入儿童在不同声调组合和语境下的声调产出特点。下一阶段，笔者将从样本量、研究对象和测试材料入手，进一步丰富研究内容，使研究结果更具参考意义。

参考文献

[1] Ching TYC, Dillon H, Leigh G, et al. Learning from the Longitudinal Outcomes of Children with Hearing Impairment (LOCHI) study: Summary of 5-year findings and implications[J]. International journal of audiology,2018,57(sup2): S105-S111.

[2] 张帆,沈敏,张勤,等. 人工耳蜗植入术中听觉电生理监测的研究进展[J]. 听力学及言语疾病杂志,2023,31(3):279-283.

[3] 王霞潘,雪瑶,姜孟. 人工耳蜗植入患者听觉言语康复及其影响因素研究进展[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2023,21(1):65-67.

[4] Qin MK,Oxenham AJ.Effects of simulated cochlear-implant processing on speech reception in fluctuating maskers[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2003,114(1): 446-454.

[5] 韩辉,谢姣. 人工耳蜗植入儿童普通话声调发音声学分析[J]. 中华耳科学杂志,2025,23(3):366-371.

[6] 张圆,冯春,管艳飞,等. 人工耳蜗植入儿童普通话声调感知发育研究[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2023,21(5):463-465.

[7] Li J,Mayr R,Zhao F.Speech production in Mandarin-speaking children with cochlear implants: a systematic review[J].International Journal of Audiology,2022,61(9):711-719.

[8] 林焘,王理嘉. 语音学教程[M]. 北京:北京大学出版社,2013.128-140.

[9] Si X,Zhou W,Hong B. Human cortical encoding of pitch in tonal and non-tonal languages[J]. Nature Communications,2021,12:1161-1161.

[10] Upper P,Leung KW,Wang Y,et al.The contrast between clear and plain speaking style for Mandarin tones[J]. The Journal of the Acoustical Society of America,2021,150(6):4464-4473.

[11] Peng SC, Tomblin JB, Cheung H, et al. Perception and production of mandarin tones in prelingually deaf children with cochlear implants[J]. Ear Hear,2004,25(3):251-264.

[12] Han D, Zhou N, Li Y, et al. Tone production of mandarin Chinese speaking children with cochlear implants[J]. Int pediatr Otorhinolaryngol, 2007,71(6):875-880.

[13] 张芳,曲春燕,晁欣,等.3-5岁听障与健听儿童双字调发音的比较研究[J]. 中国康复理论与实践,2014,20(5):401-403.

[14] 张磊,韩秀华,肖永涛,等.3-5岁听障和健听儿童普通话双字调上声变调的比较研究[J]. 听力学及言语疾病杂志,2019,27(1):28-32.

[15] 李衍.3-6岁人工耳蜗植入儿童声调识别能力与语音清晰度的相关性研究[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2018,16(2):159-160.

[16] 潘慧,陈雪清,李炀,等. 婴幼儿期植入人工耳蜗的语前聋儿童单字声调产出特点[J]. 听力学及言语疾病杂志,2021,29(3):276-281.

[17] 朱瑶. 人工耳蜗植入儿童在噪声环境下的声调感知与产出研究[D]. 南京师范大学,2020.

[18] 毛弈韬,陈卓铭,徐立. 神经网络在人工耳蜗植入儿童声调发声评估中的应用[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2017,52(8):573-579.

[19] 张美琪. 人工耳蜗植入儿童普通话声调产出与感知研究[D]. 同济大学,2020.

[20] Zhou N,Huang J,Chen X,et al. Relationship Between Tone Perception and Production in Prelingually Deafened Children With Cochlear Implants[J]. Otology & Neurotology,2013,34(4): 634-641.

[21] 杨蓓. 结合形式与意义的声调视听训练[J]. 语言教学与研究,2021,29(3):31-44.

[22] 张亚梅,张天宇. 小儿耳鼻咽喉科学[M]. 北京:人民卫生出版社,2011. 214-268.

[23] 陶利娜. 儿向语言对儿童语言习得的影响和对特殊群体语言教育的启示[J]. 社科纵横,2012,27(3): 246-247.

[24] Barkow J,Cosmides L, Tooby J, et al. The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture[M]. England: Oxford University Press,1992.391-428.

[25] Chen L, Yu A, Jiang Y, et al. Linguistic complexity modulates pitch variability in 3-5-year-old Mandarin-speaking children[C]//Proceedings of Speech Prosody 2026. Philadelphia, PA:ISCA,2026.

[26] Tang P,Xu Rattanasone N,Demuth K,et al.Mandarin-speaking children with cochlear implants face challenges in using F0 expansion to express contrastive focus[J].Ear and Hearing, 2024, 45(5):1274-1283.

[27] 丁馨. 人工耳蜗植入儿童声调及重音的感知与产出研究[D]. 南京:南京师范大学,2018.

[28] 郭锦桴. 综合语音学[M]. 福州:福建人民出版社,1993.137-146.

[29] 周小兵,王功平. 近三十年汉语作为二语的语音习得研究述评[J]. 汉语学习,2010,2(1):88-95.

[30] 朱雯静,魏岩军,吴柳等. 调域时长对二语学习者汉语声调感知的影响[J]. 汉语学习,2016,4(2): 83-92.

[31] 卢静,汤平. 年龄因素对人工耳蜗植入儿童声调发音的影响[J]. 中国听力语言康复科学杂志,2023, 21(2):179-183.

[32] 方梓馨,张伟建,江沛文,等. 基于声控技术的移动终端汉语声调训练游戏设计[J]. 科技创新导报, 2018,23(1):228-231.

[33] 笪骏. 语音识别技术在中文教学中的应用:一堂汉语拼音练习课的启示[J]. 科技与中文教学,2015,6(1):16-24.

收稿日期 2024-12-23
修回日期 2025-03-23
录用日期 2025-04-11
责任编辑 赵 倩