

人工耳蜗植入后儿童的声调发声的初步研究

陈秀伍¹ 李永新² 赵小燕¹ 韩德民² 徐立^{1,2,3}

1 北京市耳鼻咽喉科研究所 首都医科大学附属北京同仁医院临床听力学中心(北京 100730)

2 首都医科大学附属北京同仁医院耳鼻咽喉-头颈外科(北京 100730)

3 School of Hearing, Speech and Language Sciences, Ohio University, Athens, Ohio 45701, USA

【摘要】目的 多导人工耳蜗对言语信号中的声调不能有效地提取并体现, 本文探讨可能影响讲声调语言的儿童在人工耳蜗植入后的声调的发育状况。方法 受试者为 4 例接受了人工耳蜗植入的语前聋患儿及 7 例同年龄组(3~9岁)的正常听力儿童。对受试者用 10 个音节发四声所录取的共 40 个语音样本的基频(F_0)进行分析, F_0 的提取方法为自相关分析法。此外, 正常成人对受试儿童的四声发声进行了主观评判。结果 正常听力儿童的四声发声呈典型的(1)高平、(2)上升、(3)低谷及(4)下降四种形式, 而人工耳蜗植入患儿四声发声从混乱无章至接近正常均有体现; 正常听力成人对受试儿童的四声发声主观评判的结果表明, 正常儿童的四声发声被认为准确无误, 而人工耳蜗植入患儿则从毫无声调至接近正常均有分布。结论 人工耳蜗植入后儿童的声调发声有不同程度的障碍, 大量病例的进一步研究将有助于阐明个体差异的原由。

【关键词】 人工耳蜗; 声调; 四声发声

【中图分类号】 R318.18, R767.92 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-2922(2007)02-171-05

A preliminary study on tone production in children with cochlear implants

CHEN Xiu-wu¹, LI Yong-xin¹, ZHAO Xiao-yan¹, HAN De-min¹, XU Li^{1,2}

1 Beijing Institute of Otorhinolaryngology, Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Capital

University of Medical Sciences Affiliated Beijing Tongren Hospital, Beijing 100730, China

2 School of Hearing, Speech and Language Sciences, Ohio University, Athens, Ohio 45701, USA

【Abstract】Objective Tone or pitch information in speech signals is not explicitly extracted and represented in the contemporary multichannel cochlear implant systems. The purpose of the present study is to investigate tone production in tone-language-speaking children with cochlear implants. Methods Speech samples were recorded from four cochlear-implant children and seven normal-hearing children of 4 to 9 years of age. All subjects were native Mandarin speakers. The speech samples, consisting of four Mandarin tones of 10 syllables, were subject to acoustic analysis of the fundamental frequency (F_0). In addition, four normal-hearing native Mandarin-speaking adults performed tone intelligibility test in which they listened to the speech materials from the children and judged the intelligibility of the children's tone production. Results The normal-hearing children produced the typical four tone patterns of Mandarin Chinese, i.e., (1) high and flat, (2) rising, (3) low and dipping, and (4) falling. The F_0 patterns produced by the children with cochlear implants, however, tended to be flat with some other irregular patterns. The tone production for the normal-hearing children was considered to be perfect in the intelligibility judgments whereas the cochlear-implant children showed degraded intelligibility of tone patterns. Conclusion This preliminary study indicated that there is a remarkable deficit in tone production in prelingually-deafened children with cochlear implants whose native language is a tone language. Further studies with a large number of subjects are necessary to determine factors that might contribute to the individual differences in tone production in children with cochlear implants.

【Key words】 Cochlear implant; Pitch; Tone production

基金项目: 1、国家自然科学基金资助项目(30572028); 2、北京市自然科学基金资助项目(7032008); 3、十五科技攻关课题(2004BA720A18-02) 4、北京市科技新星资助项目(9558101300)

作者简介: 陈秀伍, 女, 安徽人, 主任医师, 主要从事耳科疾病的临床与应用基础研究。

通讯作者: 李永新, Email: entlyx@sina.com

多导人工耳蜗为全球成千上万的聋人带来了福音。近年来我国及东南亚地区人工耳蜗植入者人数有显著的增长。就北京同仁医院而言，在开展人工耳蜗植入后的九年里，人工耳蜗病人总数已逾600，其中80%为儿童。

在我国及东南亚地区，声调语言——如汉语及其各种方言、越南语、泰语等——使用的人数最多。声调语言的特点是同一音节由于发声部分的基频 (F_0) 的变化而带来词义上的变化。汉语普通话有四种声调 (简称四声)，例如，同一音节 /ma/ 的四声可分别产生 (1) 妈、(2) 麻、(3) 马、(4) 骂四个不同意义的字。因此，声调的准确性在言语交往中起着重要的作用。

在多导人工耳蜗的设计中，并未能将复杂声信号 (如言语和音乐) 的声调信息明确地编码并体现出来^[1]。近年来几个零星的报道认为，讲汉语的人工耳蜗患者识别四声的能力从纯属随机至80%的准确率不等^[2-5]。有关儿童人工耳蜗患者声调识别能力的报道则更少，针对讲粤语的人工耳蜗儿童的研究指出，患儿的声调识别能力只稍优于随机水平^[6,7]。因此，使用多导人工耳蜗的儿童提取声调信息方面仍面临着不同程度的困难。听觉输入对于正常言语及语言的发育是至关重要的。人工耳蜗植入后的儿童在声调信息贫乏的情况下声调的发育会是怎样的呢？本研究针对讲汉语普通话的人工耳蜗植入儿童的声调发育进行初步探讨。

1 材料与方法

4例语前聋患儿 (年龄4.0~8.75岁) 参加了本项研究，他们均在一周岁前即诊断为感音神经性聋，在三至四周岁之间在我院进行了人工耳蜗植入，所用产品为澳大利亚 Cochlear 公司生产的 Nucleus 24M 多导人工耳蜗，受试者详细情况见表1。

对照组为7例正常听力儿童 (年龄3.0~8.5岁)。所有受试者均只使用汉语普通话。

首先我们在隔声室录下所有受试者从1数到10的发声，对于这一年龄组，所有受试者均能从一数到十，而有的受试者却不能说其它较复杂的字，因此，至少我们可获取这些基本的发声材料。然后，我们让患儿或正常听力儿童跟着一位成人重复以下10个音节的四声并录下其发声，这10个音节为 /fu/, /ji/, /ma/, /qi/, /shi/, /wan/, /xi/, /yan/, /yang/, /yi/。这十个音节包含各种不同的元音和辅音，而且其四声都有具体的汉字。所有语音录音从磁带转存到计算机硬盘，数码转存过程中使用的采样率为22 050 Hz，A/D转换为16位。

语音材料的声学分析着重于基频 (F_0) 的分析，因此我们对所有受试者用上述10个音节发四声所录取的共40个语音样本进行 F_0 分析。首先使用 CoolEdit 2000 (美国 Syntrellium 公司) 声处理软件将语音信号中的辅音部分删除，然后采用自相关 (autocorrelation) 方法^[8] 对元音部分的 F_0 进行提取，此过程在 MATLAB (美国 MathWorks 公司) 环境下完成。自相关算法是在信号处理技术中一种常用的对语音信号提取 F_0 的方法，它通过计算原始信号与自身延时信号之间的“相似性” (即相关性) 确定出一个最小延时，以满足在这个延时上两段信号最为“相似” (即相关系数最大)。这一延时必然为言语信号的周期，因此这个最小延时的倒数即为这段语音信号的 F_0 值。最后，为确保 F_0 分析的准确性，将自相关方法提取的 F_0 与窄带语谱图 (narrowband spectrogram) 所描绘的 F_0 进行比较，当两者有出入时 (通常为所提取的 F_0 与实际 F_0 呈成倍或成半的关系) 则以语谱图为基准对 F_0 进行矫正。语谱图的绘制原理是，首先将声信号分割为数个互相重叠的时间段，然后对各时间段进行短时频谱分析即傅立叶转换，当时间段足够长时，便得到窄带语谱图，这种语谱图最适于观察言语信号中的 F_0 及谐音结构。

除了上述声学分析之外，还让四名正常听力成人对所有语言材料的声调可识别性进行判断，并给

表1 4例受试者情况

受试者	年龄(岁)	性别	病因	人工耳蜗植入时年龄(岁)	人工耳蜗使用年限(年)	言语处理策略
S1	8.8	女	未知	3.8	5.0	SPEAK
S2	5.9	女	未知	3.6	2.3	ACE
S3	5.9	女	药物性聋	3.8	2.1	ACE
S4	4.0	女	先天性聋	3.0	1.0	SPEAK

每一儿童受试者的四声发声给予一主观评分, 分数由 0 至 10, 0 为“毫无声调”而 10 为“优秀”。

2 结果

图 1 显示音节/qi/的元音部分的四声的语谱图。上、下两组语谱图分别为—正常儿童 (N7) 和—人工耳蜗植入儿童 (S3) 的语音样本。各语音样本的时程均被调整为所有语音材料的平均时程, 即 318ms。白色点线为自相关分析所提取的 F_0 , 它与语谱图所绘的 F_0 完全吻合。声调的变化可从 F_0 或其高频谐音的走向而得知。图 1 中正常听力儿童的四声呈典型的 (1) 高平、(2) 上升、(3) 低谷及 (4) 下降型, 而人工耳蜗植入儿童的四声除第四声与正常的下降型相似外, 其它三声基本上无法相互区分。

人工耳蜗儿童的四声发声有明显的个体差异。图 2 左侧四列示—正常儿童 (N7) 及四名人工耳蜗植入儿童汉语四声的 F_0 图。图中每一条线代表一个汉字元音部分的声调, 除耳蜗植入患儿 S4 外, 每个受试儿童每一声调均有 10 个发声样本; S4 因不能跟随成人发四声, 其语音资料只能来自她数 1~10 的语音样本: 汉语 1 至 10 中有 4 个第一声, 1 个第二声, 2 个第三声, 3 个第四声。图中各线的时程均被调整为所有语音材料的平均时程, 即 318ms, 以利于比较不同受试者之间及不同声之间的声调特性。

与正常儿童不同, 人工耳蜗植入患儿的四声发声显现出各种各样的错误。S1 的四声在所有患儿中最佳, 几乎接近正常, 她的第三声常在中间出现“发声暂停”(glottal stop), 后者被认为是第三声一种正常变异^[9]。S2 的四声发声错误明显多于 S1, 尤其体现在发第二声时未能发“上升”的声调。S3 的第一、二、三声几乎无法区分, 其第四声倒是类似正常(图 1、图 2)。S4 的四声发声最差, 各声均出现错误。

四声的准确性及可辨别性可以从 F_0 曲线的起始点及终止点的频率得到量化。图 2 右侧一列描绘这些受试者的 F_0 起始点和终止点的频率分布, 可见正常儿童某一声调的 F_0 起始点和终止点的频率分布集中于某一区域, 而各声调的分布又能清晰地分开。耳蜗植入儿童的 F_0 起始点和终止点频率的分布则呈现较大的个体差异, S1 的四声的分布尚接近正常, 而其它 3 名受试者则混在一起, 难以

区分开。这一分析进一步证实了以上对 F_0 曲线的观察结果。

四名正常听力成人对所有语音材料的声调可识别性进行判断并打分的结果由图 3 所示。所有正常儿童均获满分 10 分, 而人工耳蜗植入患儿得分由平均 0.25 至 8.5 不等, 统计学方差分析 (ANOVA) 表明, 正常儿童与植入儿童之间及植入儿童组本身之间在这一分数上均有显著差异 ($P < 0.05$)。在每一受试儿童, 不同成人所给的声调可识别性分数的差异不算大一, 从图中可见各分数的分布(圆点)及标准差(竖线)。

3 讨论

人工耳蜗无论在言语的接收还是表达技能上都

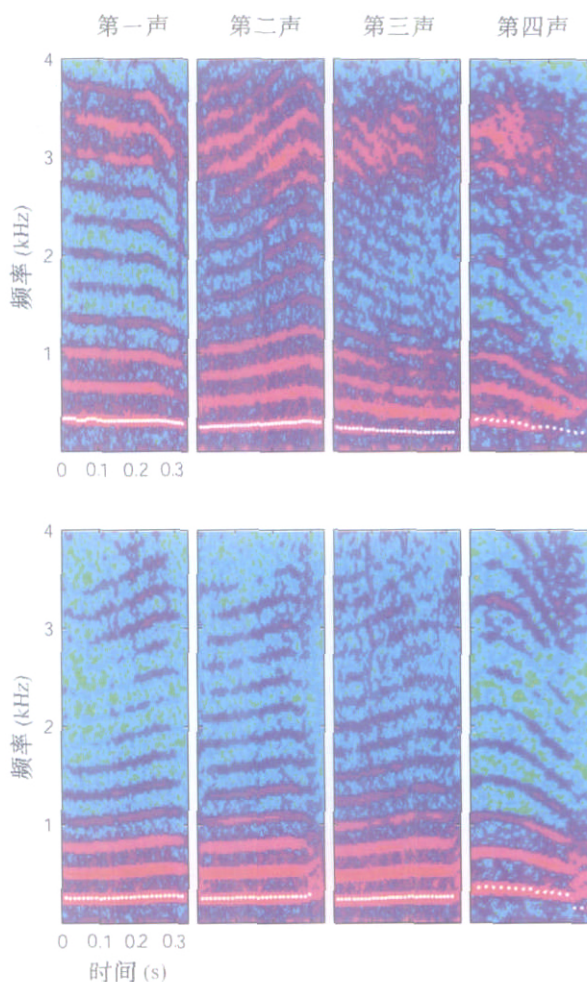


图 1 正常听力儿童(上)及一名人工耳蜗植入儿童(下)四声发声的语谱图。语谱图中不同的颜色代表某一时间(横轴)及某一频率(纵轴)言语信号中的能量的高低。从左至右之四列分别为第一、二、三、四声。白色点线为自相关分析法提取的基频 (F_0)。

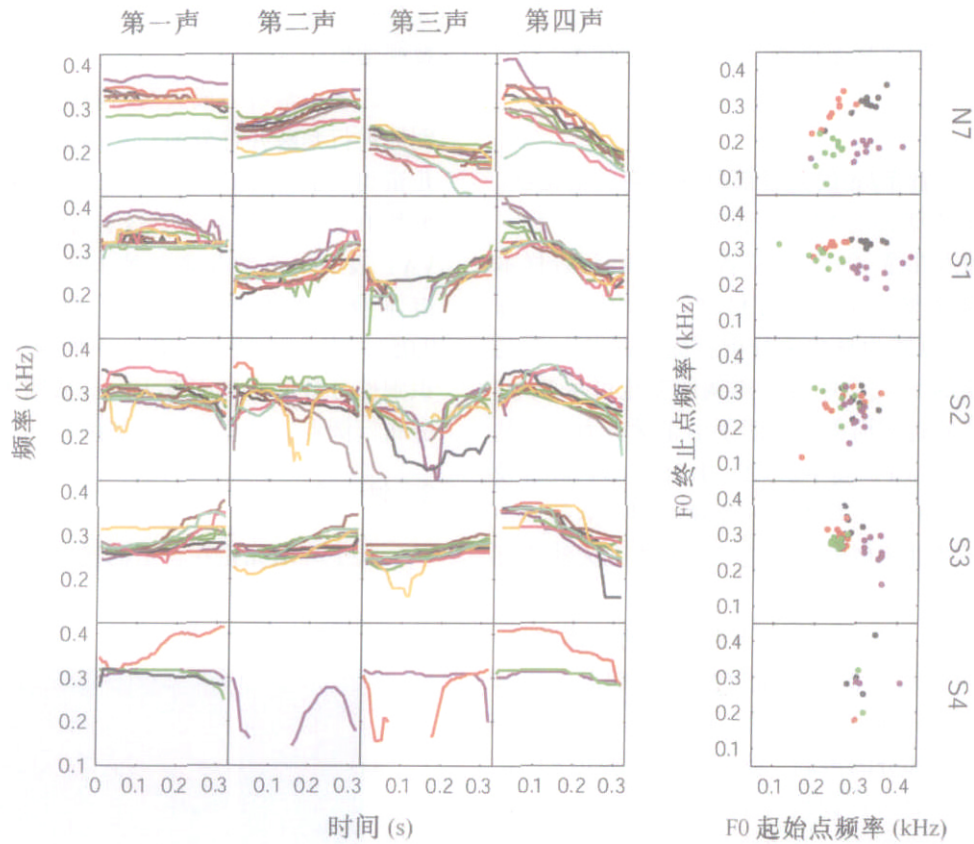


图2 正常听力儿童及四名耳蜗植入儿童四声发声的F₀图。最上一排为一名正常听力儿童的数据。之下分别为S1、S2、S3、S4等四名耳蜗植入儿童的数据。左侧一至四列分别为不同音素的四声的F₀曲线。最右侧一列为这些儿童的F₀的起始点(横轴)和终止点(纵轴)频率的分布。其中黑、红、绿、蓝四种颜色分别表示第一、二、三、四声。

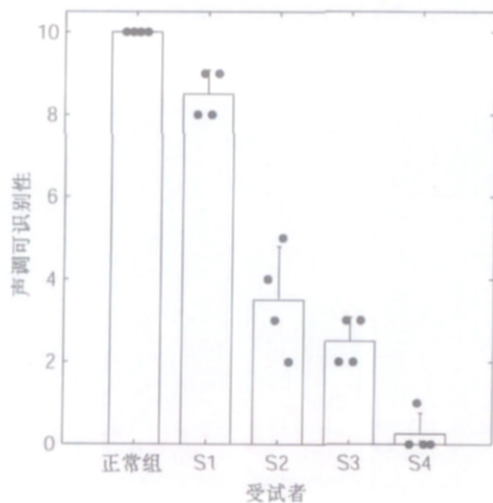


图3 正常听力组及四名耳蜗植入儿童的声调可识别性。图中圆点为四名正常听力成人对儿童受试者四声发声的可识别性的打分,柱高为均值,误差线为标准差。

给聋儿带来显著的益处, 人工耳蜗植入儿童的发音(元音、辅音和句子)较未接受人工耳蜗植入的聋

儿更准确^[10-14]。听觉反馈无疑是接受植入儿童获得良好的语言技能的关键因素。

声调发声对于声调语言来说极为重要, 因为不同声调含有词义上的信息。人工耳蜗患儿声调发声情况的研究只见于Peng等^[15](2004)的一项报告, 他们对30例讲国语的6至12岁半的儿童在人工耳蜗植入后四声发声情况进行了主观判断的研究, 结果表明患儿四声发声准确性差异极大。本文对四名讲汉语普通话的植入儿童的四声发声情况进行了声学分析和主观判断的研究, 一组同龄正常儿童也被采样作为对照。我们发现耳蜗植入儿童的四声发声均有不同程度的缺陷, 声调可识别性比正常儿童要低。

我们的结果还表明人工耳蜗植入儿童声调发育个体差异极大, 许多因素可能与此有关。Tobey等(2003)^[13]发现, 以英语为母语的人工耳蜗植入儿童的发音与智商、性别、人工耳蜗装置的特性及受教育背景相关, 其它因素如耳聋时的年龄、耳聋的

时程、助听器使用情况、耳蜗植入时的年龄、人工耳蜗使用的长短、言语处理方案等均应考虑。就我们报道的四名患儿而言，患儿使用人工耳蜗的年限似乎与他们四声发声的准确性相关，然而这种相关也可能是由年龄本身或植入早晚所决定的（见表 1）。本初步研究样本小，尚无法将各种因素对声调发育的影响逐一分离出来，这是我们将进行的一项大规模数据收集研究的内容。

这一声调发育上的缺陷可能与人工耳蜗不能有效地传达声调信息有关。现代人工耳蜗使用为数不多的通道，声信号中的 F_0 及其谐音不可能分割开来，因此，患者无法获得声调的信息。另一方面，研究表明各通道内的时域细微结构（temporal fine structure）信息可用于传达声调^[16]，然而现今的言语处理方案只着重传递时域包络（temporal envelope）信息，而将时域细微结构搁置一旁。我们以前的研究证明，如果只采用时域包络信息，声调识别效果最多也只能达到中等良好（75%左右）的水平^[17]。因此，在人工耳蜗显然较贫乏的声调刺激的情况下患儿能否实现正常的声调发育？本文这一初步研究对此提出质疑。我国近年来人工耳蜗植入人数巨增，本文所报道的声调发育问题希望在耳科界同行及听力康复工作者中引起关注。

参 考 文 献

- 1 Moore BC. Coding of sounds in the auditory system and its relevance to signal processing and coding in cochlear implants. *Otol Neurotol*, 2003, 24(2): 243-254.
- 2 Huang TS, Wang NM, Liu SY. Nucleus 22-channel cochlear mini-system implantations in Mandarin-speaking patients. *Am J Otol*, 1996, 17(2): 46-52.
- 3 Sun JC, Skinner MW, Liu SY, et al. Optimization of speech processor fitting strategies for Chinese-speaking cochlear implantees. *Laryngoscope*, 1998, 108(4 Pt1): 560-568.
- 4 Wei WI, Wong R, Hui Y, et al. Chinese tonal language rehabilitation following cochlear implantation in children. *Acta Otolaryngol*, 2000, 120(2): 218-221.
- 5 Wei CG, Cao KL, Zeng FG. Mandarin tone recognition in cochlear-implant subjects. *Hear Res*, 2004, 197(1-2): 87-95.
- 6 Ciocca V, Francis AL, Aisha R, et al. The perception of Cantonese lexical tones by early-deafened cochlear implantees. *J Acoust Soc Am*, 2002, 111(5 Pt1): 2250-2256.
- 7 Lee KY, van Hasselt CA, Chiu SN, et al. Cantonese tone perception ability of cochlear implant children in comparison with normal-hearing children. *Int J Ped Otorhinolaryngol*, 2002, 63(2): 137-147.
- 8 Kent RD, Read C. *Acoustic analysis of speech*. 2nd ed. Albany, NY: Singular, 2002.
- 9 Duanmu S. *The phonology of standard Chinese*, paperback edition. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- 10 Svirsky MA, Robbins AM, Kirk KI, et al. Language development in profoundly deaf children with cochlear implants. *Psychol Sci*, 2000, 11(2): 153-158.
- 11 Matthies ML, Svirsky M, Perkell J, et al. Acoustic and articulatory measures of sibilant production with and without auditory feedback from a cochlear implant. *J Speech Hear Res*, 1996, 39(5): 936-946.
- 12 Geers A, Brenner C, Davidson L. Factors associated with development of speech perception skills in children implanted by age five. *Ear Hear*, 2003, 24(1 Suppl): 24S-35S.
- 13 Tobey EA, Geers AE, Brenner C, et al. Factors associated with development of speech production skills in children implanted by age five. *Ear Hear*, 2003, 24(1 Suppl): 36S-45S.
- 14 Uchanski RM, Geers AE. Acoustic characteristics of the speech of young cochlear implant users: a comparison with normal-hearing age-mates. *Ear Hear*, 2003, 24(1 Suppl): 90S-105S.
- 15 Peng SC, Tomblin JB, Cheung H, et al. Perception and production of mandarin tones in prelingually deaf children with cochlear implants. *Ear Hear*, 2004, 25(3): 251-264.
- 16 Xu L, Pflingst BE. Relative importance of temporal envelope and fine structure in lexical-tone perception. *J Acoust Soc Am*, 2003, 114(6 Pt1): 3024-3027.
- 17 Xu L, Tsai Y, Pflingst BE. Features of stimulation affecting tonal-speech perception: implications for cochlear prostheses. *J Acoust Soc Am*, 2002, 112(1): 247-258.

(收稿日期: 2006-12-18)