

人工耳蜗植入者使用精细结构编码策略的 音高和言语感知相关研究^{*}

辜萍¹ 郝昕¹ 韩东一¹ 洪梦迪¹ 王倩¹ 杨仕明¹ 戴朴¹

[摘要] 目的: 通过评估 MED-EL 人工耳蜗植入者使用 FS4 编码策略和 HDCIS 编码策略时的音乐音高和言语感知能力,探索提供精细结构信息的编码策略对人工耳蜗使用效果的影响。方法: 12 例植入 MED-EL 人工耳蜗的语后聋患者分别在 FS4 和 HDCIS 编码策略下编程调试,并进行音高差阈、音高方向和言语感知测试,比较 2 种编码策略下各项测试的结果,并进行统计学分析。结果: 在 FS4 编码策略下的音高差阈和音高方向测试结果均显著优于 HDCIS 编码策略下的测试结果,测试得分差异有统计学意义($P < 0.05$)。2 种编码策略下的汉语声调、声母和韵母识别得分均差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论: FS4 编码策略对人工耳蜗植入者的音乐音高感知有较大帮助。在汉语声调、声母和韵母识别方面,FS4 和 HDCIS 编码策略的使用效果差异不大。

[关键词] 人工耳蜗植入; 编码策略; 音乐感知; 言语感知

[中图分类号] R764.35 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-1781(2013)10-0481-04

Speech and pitch perception with the new fine structure speech coding strategy

GU Ping XI Xin HAN Dongyi HONG Mengdi WANG Qian YANG Shiming DAI Pu

(Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Institute of Otolaryngology, Chinese PLA General Hospital, Medical School of Chinese PLA, Beijing, 100853, China)

Corresponding author: XI Xin, E-mail: xxi@bbn.cn

Abstract Objective: To assess the performance of the new fine structure processing strategy (FS4) compared to the previous generation coding strategy HDCIS. **Method:** Twelve post-lingual hearing-impaired cochlear implant users were included. FS4 and HDCIS were compared in music pitch perception and speech perception test. **Result:** Acute comparison between FS4 and HDCIS showed that FS4 performed as well as HDCIS in speech perception tests, and outperformed HDCIS in music pitch perception. **Conclusion:** Results indicate that FS4 performs better than HDCIS in music perception. Differences between the two strategies were not significant for speech test.

Key words cochlear implant; coding strategy; music perception; speech perception

人工耳蜗植入作为治疗重度至极重度感音神经性聋的有效方法已在临床广泛开展。为使人工耳蜗使用者获得更好的聆听效果,相关技术还在不断改进。其中完善人工耳蜗的声信号编码策略,提高声音处理器输出信息的仿真度是重要途径之一。人工耳蜗装置的声信号编码策略是将声音信号转换为电刺激信号的处理方案,其主要理论依据为正常耳蜗的感音机制和病理状态下的耳蜗电生理学特征^[1]。

声音兼具时域和频域特性^[2]。在时域中,幅度包络和精细结构是声信号的基本变量。自 2002 年 Smith 等发现精细结构信息在正常人的音乐欣赏和言语识别中具有重要作用后,研究人员开始致力于开发能传递声音精细结构信息的人工耳蜗编码策略。2011 年 MED-EL 推出 FS4 编码策略,该策略

在高清晰度连续间隔采样 (high definition continuous interleaved sampling, HDCIS) 编码策略的基础上,提供 4 个通道 (70 ~ 1 000 Hz) 输出信号的精细结构。本研究拟对比汉语人工耳蜗植入者使用 FS4 和 HDCIS 编码策略时在音乐音高感知和言语感知方面的表现,探索声音精细结构信息对以汉语为母语的人工耳蜗使用者音乐音高辨别和言语感知的影响。

1 资料与方法

1.1 临床资料

12 例语后聋人工耳蜗使用者,男 7 例,女 5 例;年龄 12 ~ 55 岁,平均 35 岁。术前均为双耳极重度感音神经性聋,致聋原因包括耳毒性药物性聋、大前庭水管综合征、中耳炎继发的内耳病变等。受试者使用人工耳蜗时间 3 ~ 18 个月;9 例受试者使用 MED-EL SONATAti100 植入体,3 例使用 MED-EL PULSARci100 植入体。患者详细资料见表 1。测试前受试者均被详细告知测试流程并签署知情同意书。

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金 (No: 61003094), 香港 General Research Fund (GRF) (No: 780109M)

¹ 解放军总医院解放军医学院耳鼻咽喉-头颈外科 (北京, 100853)

通信作者: 郝昕, E-mail: xxi@bbn.cn

表 1 受试者相关信息

例序	年龄/岁	性别	耳聋原因	耳聋时间/年	人工耳蜗使用时间/月	日常使用的编码策略	植入体型号
1	23	男	大前庭水管综合征	18	5	FSP	PULSARci100
2	42	男	药物性聋	3	5	HDCIS	SONATAti100
3	41	男	中耳炎	3	3	HDCIS	SONATAti100
4	27	女	不明原因	5	12	FSP	PULSARci100
5	50	女	不明原因	10	5	HDCIS	SONATAti100
6	18	男	突发性聋	6	4	FS4	SONATAti100
7	32	女	突发性聋	2	3	FS4	SONATAti100
8	48	女	突发性聋	5	3	FS4	SONATAti100
9	12	男	大前庭水管综合征	8	12	CIS	SONATAti100
10	38	女	突发性聋	4	18	CIS	PULSARci100
11	54	男	突发性聋	5	3	FS4	SONATAti100
12	55	男	不明原因	8	3	FS4	SONATAti100

1.2 研究方法

1.2.1 测试材料 ①音乐音高辨别测试使用中科院声学所人工耳蜗使用者音乐能力测试系统^[3]。测试项包括音高差阈测试(just noticeable difference, JND)和音高方向辨别测试(pitch-direction discrimination, PDD)。JND测试使用3选1方法进行测试,每次随机播放3个声音,2个相同的声音为参考音,不同的声音为目标音,测试结果为受试者可感受到的最细微的音高变化量。PDD测试使用2选1方法,受试者分辨2个声音频率高低,测试结果为受试者可以分辨音高方向的最小阈值。2项测试均以仅包含基频和2个谐波的复合音作为测试音源,使用自适应步长调整参考音与目标音之间音高差的方法,按照2下4上步骤进行测试,以半音为计量单位。在受试者获得12个拐点,或已完成60个选项的判定后,测试结束。选择最后6个拐点的平均值作为测试结果。②声调、声母、韵母识别测试使用美国HOUSE研究所的捷星中文听能评估系统,声调识别测试中包含16个单字词(分4组),声母和韵母识别测试中各包含24个单字词(分6组)。3项测试均为4选1封闭项测试,以识别正确率作为测试得分。

1.2.2 测试条件 本实验所有受试者在测试过程中均使用OPUS言语处理器和Maestro 4.0软件进行编程调试。受试者测试过程中非植入耳不使用任何助听装置。根据受试者参加测试的顺序编号,编号为奇数的患者先使用FS4编码策略进行测试,然后使用HDCIS策略。编号为偶数的患者相反。编程后对各电极进行T/C值和响度平衡调节,使受试者有较舒适的电刺激听音感受。

1.2.3 测试方法 测试在经校准满足准自由场条件的标准隔声室内进行,本底噪声小于20 dB(A)。声场测试时扬声器置于受试者前方1 m处,其中心

点与受试者坐姿耳部齐平,测试音以零度角正面入射。完成编程调试后即进行测试,各项测试均选定受试者听音最舒适的强度,充分告知受试者测试流程并进行练习,测试过程中可随时暂停并休息。

1.3 统计学方法

使用SPSS 18.0统计软件对数据进行统计学分析。对受试者在2种编码策略下的测试结果进行配对 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 音乐音高辨别测试

受试者JND测试和PDD测试在FS4和HDCIS2种编码策略下的得分差异均有统计学意义($P < 0.05$)。2项测试平均得分情况见图1。测试得分为受试者刚好能分辨的音高差值,以所对应的半音的数量来表示,半音数越少代表受试者音高辨别能力越强。在FS4编码策略下,JND测试和PDD测试得分值均显著低于HDCIS策略下的测试得分。根据受试者参加测试前日常使用的编码策略种类,将日常使用CIS或HDCIS的受试者编为CIS经验组(5例),使用FS4的受试者编为FS4经验组(5例)。2组受试者的JND和PDD测试得分情况见图2、3。

2.2 声调、声母、韵母识别测试

在FS4和HDCIS2种编码策略下,声调、声母、韵母识别测试得分均差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。3项测试平均得分情况见图4。在FS4编码策略下受试者声调识别平均得分为76.56%,高于HDCIS编码策略下的平均得分为71.35%。声母、韵母识别平均得分差异不大。

3 讨论

声信号经过Hilbert变换可分解为缓慢变化的包络部分和快速变化的精细结构部分。声信号包

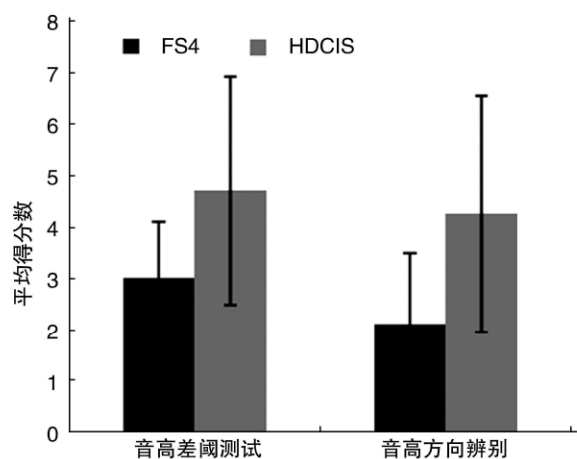


图 1 2 种编码策略下 JND 和 PDD 得分平均值的比较

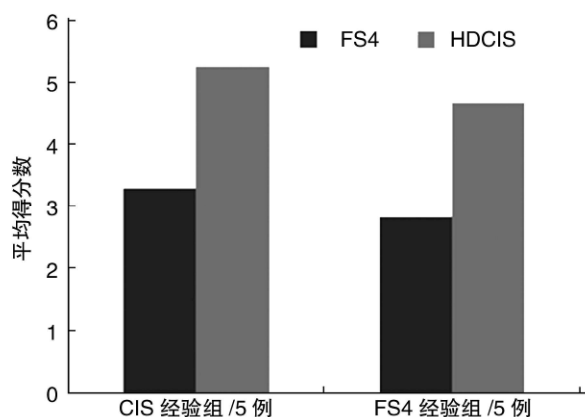


图 2 CIS 经验组和 FS4 经验组 JND 得分

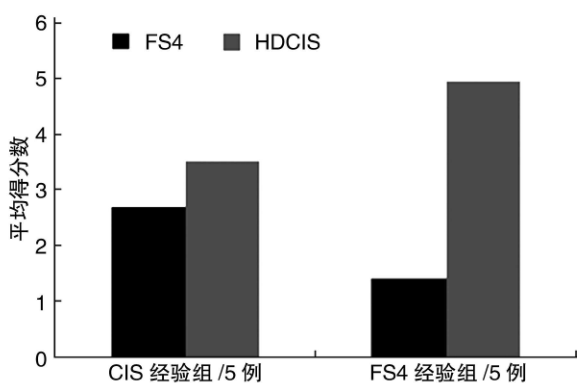


图 3 CIS 经验组和 FS4 经验组 PDD 得分

络信息在言语识别中占主要作用,而精细结构信息则有利于音乐感知和言语声调辨别^[4]。本研究中所涉及的 HDCIS 编码策略主要提取声信号中的包络信息,通过所植入电极传至耳蜗内残余的螺旋神经节细胞,从而诱发听觉。FS4 编码策略使用通道特异采样序列(channel specific sampling sequences, CSSS)对信号的零相位点进行编码来描绘低频通道(1000 Hz 以下)听觉信号的精细结构,其他通道

信息处理方式同 HDCIS 编码策略。

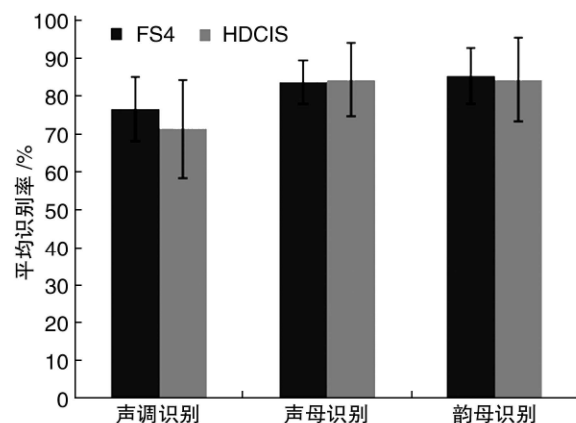


图 4 2 种编码策略下声调、声母、韵母平均识别率

本研究通过测试受试者音高差阈和音高方向辨别能力,比较 2 种编码策略在音乐音高识别上的优劣。研究结果显示受试者使用 FS4 编码策略时音高差阈和音高方向辨别结果明显优于 HDCIS 编码策略,两者测试得分的差异有统计学意义。由于受试者参加测试前日常使用的编码策略种类和时长各不相同,不能排除学习效应^[5]对实验结果的影响。为降低此影响,根据受试者日常使用的编码策略种类,将使用 CIS 或 HDCIS 的受试者编为 CIS 经验组(5 例),使用 FS4 的受试者编为 FS4 经验组(5 例),2 组受试者的 JND 和 PDD 测试结果均提示在 FS4 编码策略下测试得分值显著较低(图 2、3)。测试得分值为受试者可辨别的最小半音数,半音数越少代表受试者音高辨别能力越强。这进一步证实了受试者使用 FS4 编码策略时的音高感知效果较优。

FS4 编码策略的使用情况目前国内外尚未见报道,但早前 MED-EL 公司推出的精细结构信息编码策略(fine structure processing, FSP)已在临床应用数年。FSP 编码策略可提供 500 Hz 以下频段的精细结构信息,其 CSSS 通道数目少于 FS4。有关 FSP 编码策略的研究结果对本研究有一定的参考意义。Arnolder 等^[6]对 14 例 MED-EL PULSAR 植入者使用 CIS 和 FSP 的情况进行了长期随访,受试者参加测试前均使用 CIS 策略,在更换策略前和使用 FSP 策略 12 周时分别进行音乐感知测试,结果显示使用 FSP 策略的节奏和音色感知效果显著优于 CIS 策略。本研究对受试者使用 2 种编码策略时的音高识别能力做了急性对照,结果显示,2 种编码策略下的音乐音高感知能力的差异有统计学意义,即使是 CIS 经验组使用 FS4 编码策略时的音高识别能力也较使用 HDCIS 有显著提高。本研究编程过程中相关参数设置均使用 Maestro 4.0 软件默

认值,FS4 编码的信息频率范围为 100 ~ 8 500 Hz, HDCIS 编码策略的频率范围为 250 ~ 8 500 Hz。在编码频率范围上,FS4 较 HDCIS 有一定的扩展,并且在 1 000 Hz 以下的频段提供了精细结构信息。FS4 编码策略对受试者音乐音高感知的影响是频率扩展和提供精细结构信息的共同作用。

本研究中所有受试者均以汉语为母语,汉语声调具有构词辨义功能,其音高取决于基音的频率,汉语四声的变化主要表现为基频的变化⁽⁷⁾。男、女发声时基频变化范围即调域分别在 100 ~ 200 Hz 和 150 ~ 300 Hz。理论上 FS4 编码策略的频率扩展和提供精细结构信息的特点对基频的感知有较大帮助,相对于 HDCIS 编码策略更有利于汉语声调识别。本研究对比 2 种策略下的声调识别结果,在统计学上未见明显差异,但从图 4 可见,受试者使用 FS4 编码策略时声调识别平均得分明显高于使用 HDCIS 编码策略时的得分,2 种策略下的声母和韵母识别得分基本相同,这提示使用 FS4 编码策略在声调识别方面有一定优势,而声母和韵母识别主要依赖声信号的包络信息。Schatzer 等⁽⁸⁾对 12 例以广东话为方言的人工耳蜗植入者使用 CIS 编码策略和精细结构编码策略时的言语识别情况进行急性对照,在广东话词汇声调识别方面 2 种编码策略的使用效果差异无明显统计学意义。元贝尔等⁽⁹⁾报道的 12 例以普通话为方言的语后聋人工耳蜗植入者在不同编码策略下的言语感知结果,亦未观察到提供精细结构信息的策略与仅提供包络信息策略间有显著统计学差异,这与本研究结果一致。对于非声调语言,Riss 等⁽¹⁰⁾观察了 12 例 CIS 编码策略使用经验平均达 8 年以上的儿童受试者,使用 FSP 编码策略 4 周后的 HSM 句子识别得分有显著提高。Seebens 等⁽¹¹⁾对 45 例从 CIS 编码策略更换为 FSP 编码策略的人工耳蜗使用者进行了 1 年的随访,在使用 FSP 之前以及使用 4 周时进行 Freiburg 单音节词和 HSM 句子测试,结果显示使用 FSP 编码策略 4 周时各项测试结果均有显著提高。本研究暂未得到受试者使用 FS4 编码策略的长期观察结果,在 2 种编码策略下的声调识别得分统计学上差异不显著有可能是由于观察期短和受试者样本量较小的原因。但另一方面,基频并不是辨认声调的惟一信息。梁之安等(1963)研究发现给予受试者去除基频信息但保留谐波成分的语音信号,声调识别不受影响,约为 92.1%;给予受试者保留第一共振峰频率信息,声调识别率仍有 83%。声调信息广泛分布于音节的各个频带成分中,其信息冗余度较大,只需要得到总的信息中的一小部分,便

可确定声调,这也可能是 2 种编码策略下声调识别得分差异不显著的原因。

本研究重点观察了受试者使用 FS4 编码策略和 HDCIS 编码策略在音乐音高感知和言语声调感知方面的效果,结果显示受试者使用 FS4 编码策略时的音乐音高识别和汉语声调识别能力较 HDCIS 编码策略均有一定提高,这说明 FS4 编码策略在低频区的扩展和提供精细结构信息的特点有利于人工耳蜗使用者音乐和声调语言感知。本研究结果为临床编程调试工作者和人工耳蜗使用者选择编码策略提供参考。

参考文献

- [1] COSETTI M K, WALTZMAN S B. Cochlear implants: current status and future potential [J]. *Exp Rev Med Devices*, 2011, 8: 389 - 401.
- [2] 王坚, 蒋涛, 曾凡刚. 听觉科学概论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005: 391 - 394.
- [3] 平利川, 原猛, 郗昕, 等. 人工耳蜗使用者音乐感知评估系统的设计 [J]. *声学技术*, 2010, 29 (5): 512 - 517.
- [4] WILSON B S, SCHATZER R, LOPEZ-POVEDA E A, et al. Two new directions in speech processor design for cochlear implants [J]. *Ear Hearing*, 2005, 26: 73S - 81S.
- [5] 赵阳, 郗昕, 冀飞, 等. 嘈杂语噪声下汉语语句测试中的学习效应 [J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2009, 17 (2): 107 - 110.
- [6] ARNOLDNER C, RISS D, BRUNNER M, et al. Speech and music perception with the new fine structure speech coding strategy: preliminary results [J]. *Acta Otolaryngologica*, 2007, 127: 1298 - 1303.
- [7] 刘博. 人工耳蜗植入者的声调研究与评价 [J]. *中国医学文摘耳鼻咽喉科学*, 2009, 24 (4): 260 - 261.
- [8] SCHATZER R, KRENMAYR A, AU D K, et al. Temporal fine structure in cochlear implants: preliminary speech perception results in Cantonese-speaking implant users [J]. *Acta oto-laryngologica*, 2010, 130: 1031 - 1039.
- [9] QI B E, HAN D M. Effects of temporal fine structure stimulation on Mandarin speech recognition in cochlear implant users [J]. *Acta Otolaryngologica*, 2012, 132: 1183 - 1191.
- [10] RISS D, HAMZAVI J S, KATZINGER M, et al. Effects of fine structure and extended low frequencies in pediatric cochlear implant recipients [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2011, 75: 573 - 578.
- [11] SEEBENS Y, DILLER G. Improvements in speech perception after the upgrade from the TEMPO + to the OPUS 2 audio processor [J]. *ORL*, 2012, 74: 6 - 11.

(收稿日期: 2013-01-26)