

双耳分听汉语普通话声调研究

牟宏宇, 原 猛, 冯海泓

(中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

摘要: 系统地探讨与研究了以汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话声调感知的偏侧优势。选取 40 个常用的汉语普通话单音节词作为实验材料, 在合适的反应时间和信噪比下采用双耳分听范式进行声调辨别听觉感知实验。实验要求被试者从同时、分别播放到左右耳的不同声调中选出一个最清楚听到的声调, 而不考虑所选的声调来自左耳还是右耳。30 位听力正常的右利手被试者参与了此项实验。实验结果表明, 在本研究设定的双耳分听实验条件下, 汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话声调的感知存在显著的右耳(大脑左半球)优势, 且对四个声调的感知具有相同的偏侧优势; 左、右耳对四个声调间感知差异的趋势基本一致, 且对 3 声的感知显著较其余声调差。

关键词: 双耳分听; 汉语普通话声调; 偏侧优势

中图分类号: B845.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-01-0041-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.01.009

Research on dichotic listening of Mandarin tone

MOU Hong-yu, YUAN Meng, FENG Hai-hong

(Shanghai Acoustics Laboratory, Chinese Academy of Science, Shanghai 200032, China)

Abstract: The lateralization of Mandarin tone perception of right-handed native Chinese Mandarin speakers was systematically investigated and discussed. Forty daily-used Mandarin monosyllables were utilized as experimental materials. The experiment was designed according to the dichotic listening paradigm under appropriate response time (RT) and signal-to-noise ratio (SNR). The subjects were asked to select one tone which was more clearly heard by both ears, regardless of the lateral. Thirty right-handed adult subjects with normal hearing were recruited for this study. Experimental results indicate that there was significant right ear advantage (REA) or left hemisphere lateralization on Mandarin tone perception. Moreover, same lateralization trend is found in all of the four Mandarin tones. The results also show that the perceptual difference trend for the four tones is the same for both ears, and the perception of Tone 3 is found to be significantly difficult compared with the rest three tones.

Key words: dichotic listening; Mandarin tone; lateralization

0 引言

大脑是人类思维活动和意识活动的器官, 是中枢神经系统的最高级部分, 由左、右两个大脑半球组成, 两半球间由胼胝体连接。通常认为大脑左半球是语言功能的优势半球, 擅长音素(如字、合成音节等)处理^[1], 而大脑右半球是情绪功能的优势半球, 擅长旋律和韵律(如音乐、音高轮廓、情感相关的韵律等)处理^[2,3]。当然, 这种偏侧优势只是一种倾向, 并不意味着另一侧半球不具备这种功能。

汉语普通话是一种声调语言, 每个音节由声母、韵母和声调(四种调值)三部分组成。一方面, 声调是具备区分语义功能的语言信息, 人对于声调的感知应该呈现左半球优势; 另一方面, 声调是音高随时间变化的函数, 人对于声调的感知又应该呈现右半球优势^[4]。因此, 声调成为了研究大脑半球偏侧优势的重要媒介之一。

双耳分听(Dichotic Listening)是一种研究大脑半球偏侧优势的有效范式。在双耳分听测试中, 两个不同的刺激(如: 不同音节, 相同音节不同声调等)被同时呈现给被试者, 每侧耳一个。此时, 来自每侧耳的刺激主要或完全通过对侧的通路传递到对侧的大脑, 所以, 右耳优势代表了大脑左半球优势, 而左耳优势代表了大脑右半球优势^[5]。

目前, 双耳分听范式被广泛用于汉语普通话声调感知的大脑半球偏侧优势研究。Zhang 等人在安静和噪音背景下, 对汉语普通话声调进行了双耳分

收稿日期: 2013-03-21; 修回日期: 2013-07-01

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(11104316)、上海市自然科学基金项目(11ZR1446000)、中国科学院声学研究所所长择优基金项目(Y154221701)

作者简介: 牟宏宇(1988-), 男, 甘肃秦安人, 研究实习员, 研究方向为心理声学。

通讯作者: 原猛, E-mail: ym@mail.ioa.ac.cn

听研究,发现两耳对汉语普通话声调感知没有差别,单耳优势不明显^[6,7]。Baudoin-Chial 对汉语普通话声调的双耳分听研究,发现汉语普通话声调感知没有显著的单耳优势^[8]。杨玉芳^[9]的实验也得到了类似的结果。Wang Y 等人对汉语普通话声调进行的双耳分听研究,通过在刺激中添加高斯白噪声和缩短反应时间的方式,使被试者的错误率达到35%左右,结果发现汉语普通话声调感知存在右耳优势^[10]。刘丽等人在一项双耳分听汉语普通话声调的研究中,也发现了右耳优势^[11]。由此可见,双耳分听汉语普通话声调研究的结果并不一致,有待进一步的研究。

本文的目的是系统地探讨与研究以汉语为母语的右利手被试者对声调感知的偏侧优势。选取40个常用的汉语普通话单音节词作为刺激声,并选择合适的反应时间(Response Time, RT)和信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)作为实验参数。实验设计了双耳分听汉语普通话声调测试。测试中,相同音节不同声调的两个刺激被同时分别呈现给被试者的双耳,要求被试者选出一个最清楚听到的声调,而不考虑所选的声调来自左耳还是右耳。30位听力正常的右利手被试者参与了测试。对实验结果进行全面地分析,探讨了汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话声调感知的偏侧优势,以及不同声调之间的感知差异。

1 实验设计

1.1 实验对象和测试环境

30位在校大学生或研究生,男女各15名,平均年龄24岁(范围21~26岁)。均为右利手(根据中国人的利手分类标准^[12]判定),听力正常(纯音测听听阈 ≤ 20 dB HL),无听力或言语障碍史。所有被试者在实验前均被充分告知实验内容,签署知情同意书,并在实验结束后获得测试补贴。

为完成实验,我们开发了基于VC++的测试软件,保证被试者在计算机上完成全部测试,测试界面如图1所示。

所有测试都在本底噪声为小于30 dBA SPL的测听室内进行,采用TASCAM US-144 MKII型外置声卡,被试者佩戴插入式耳机(E.A.R. Tone 3A)进行测试。利用耦合腔和声级计对耳机输出进行校准,保证输出声压级在 65 ± 2 dBA。被试者只需要在测试软件每次放完一对测听信号后,在规定的反应时间内通过按键做出选择。

1.2 实验材料和测听信号

根据汉语普通话元音的共振峰分布情况和清辅音的声学数据表^[13],挑选40个汉语普通话单音节词。包含10个不同的音节,每个音节与4个不同的声调组成相应单字。实验材料如表1所示。



图1 测试界面
Fig.1 Testing interface

实验材料由一位普通话标准的女性说话人在安静的录音室内录制完成,每个目标单音节词的发音都被录制为一个单独的音频文件,文件为16 bit PCM 编码格式,采样率为44.1 kHz。为保证双耳分听测试时左右耳听到声音强度和时间长度保持一致,将所有信号的均方根值(Root Mean Square, RMS)调整为相同值,每个音节的四个不同声调的时间长度进行归一化。

表1 实验材料
Table 1 Experimental materials

音节	T1	T2	T3	T4
bo	波	博	跛	簸
tu	秃	图	土	兔
ke	科	壳	渴	课
ji	鸡	及	几	计
fa	发	罚	法	发
han	酣	含	喊	汉
cun	村	存	村	寸
sheng	声	绳	省	圣
qing	青	情	请	庆
chong	充	虫	宠	冲

T1~T4: 汉语普通话声调中的1~4声

相同音节的不同声调两两组成双耳分听的12个测听对,共120对(10音节 \times 12测听对)测听信号。为避免“天花板效应”,对纯净语音信号线性加入平均语谱噪声(Averaged Speech-Spectrum-Shaped Noise)。

1.3 参数选择

实验涉及答题反应时间(RT)和信噪比(SNR)两个参数的选择。在开展正式实验前,对3位被试者

进行参数选择实验(在正式实验中不包含此 3 人)。此实验采用与正式实验类似的测试步骤,但要求被试者分别选出左耳和右耳听到的声调,且对左右耳的选择顺序不做限制,由被试者自由选择,但减少题目数量(20 题)。首先在安静情况下,选取 $RT=1\sim 3\text{ s}$ 进行测试,最终在保证测试数据可靠性(选择率 90%以上)的前提下,选取 $RT=2\text{ s}$;然后在 $RT=2\text{ s}$ 条件下,选取不同的信噪比进行测试,并最终选取 $SNR=-12\text{ dB}$ (错误率 $\approx 35\%$)。

1.4 实验流程

本研究双耳分听实验中,两个相同音节不同声调的刺激信号被同时分别呈现给被试者的双耳。正式实验时,要求被试者每次只选出一个最清楚听到的声调,而不需要考虑所选的声调来自左耳还是右耳,并通过键盘上的四个按键进行选择。

在正式实验前,每位被试者均需进行 10~15min 的预测试以熟悉实验材料和实验流程。预测试筛选声调辨别能力在 75%以上的被试者参与正式实验。正式实验 120 道实验题目的播放顺序随机产生,被试者根据实验要求进行按键选择。正式实验结束后,被试者将不被告知实验结果,每位被试者需测试 10min 左右。

2 实验结果

表 2 为 30 位被试者的实验结果,表明了每位被试者的声调选择情况。

本实验采用计算正确选出左耳、右耳声调率来对结果进行分析。整体来看,正确选出右耳声调率(R_{RE})的平均值大于正确选出左耳声调率(R_{LE})的平均值,且 70%的被试者选择右耳声调大于选择左耳声调,由此可见被试者更多地选择了来自右耳的声调。

采用 STATISTICA 6.0 软件中的重复测量方差分析法(Repeated Measures ANOVA)对表 2 中实验结果数据进行统计分析,实验结果的耳侧间差异统计如图 2 所示。

结果显示,耳侧因素对结果有显著的影响($[F(1, 29)=5.4633, p=0.0265]$)。这表明,在本研究设定的双耳分听实验条件下,发现汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话声调的感知存在显著的右耳(大脑左半球)优势。

3 分析与讨论

将实验结果数据按声调分别统计左、右耳正确

表 2 实验结果
Table 2 Experimental results

序号	性别	$R_{LE}/\%$	$R_{RE}/\%$	$R_{RE}-R_{LE}/\%$
1	男	16.7	71.7	55.0
2	男	26.7	64.2	37.5
3	男	30.0	66.7	36.7
4	男	35.8	59.2	23.4
5	男	35.0	57.5	22.5
6	女	28.3	50.0	21.7
7	女	35.0	56.7	21.7
8	女	36.7	55.0	18.3
9	男	37.5	55.0	17.5
10	男	39.2	53.3	14.1
11	男	36.7	50.8	14.1
12	男	39.2	52.5	13.3
13	男	33.3	45.8	12.5
14	男	40.8	51.7	10.9
15	女	37.5	46.7	9.2
16	女	39.2	47.5	8.3
17	女	45.0	52.5	7.5
18	女	40.8	46.7	5.9
19	女	43.3	48.3	5.0
20	女	40.8	43.3	2.5
21	男	45.8	48.3	2.5
22	男	45.8	45.0	-0.8
23	男	42.5	40.0	-2.5
24	女	46.7	42.5	-4.2
25	女	46.7	39.2	-7.5
26	女	55.8	40.8	-15.0
27	男	50.8	35.0	-15.8
28	女	52.5	34.2	-18.3
29	女	58.3	32.5	-25.8
30	女	62.5	31.7	-30.8
平均值		40.8	48.8	8.0
标准差		9.6	9.8	18.7

R_{LE} : 正确选出左耳声调率; R_{RE} : 正确选出右耳声调率;

注: 序号和被试者参与实验的顺序无关。

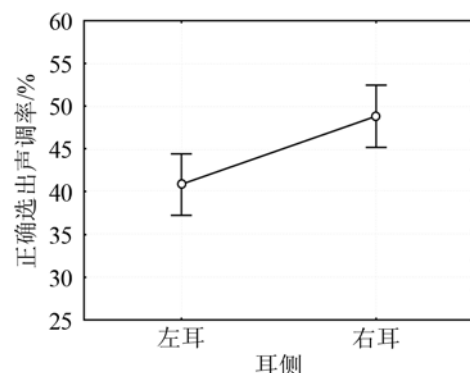


图 2 耳侧间差异统计(垂直条表示 0.95 置信区间)

Fig.2 Statistics of the difference between ear sides
(Vertical bars denote 0.95 confidence intervals)

选出率。采用 STATISTICA 6.0 软件中的重复测量方差分析法(Repeated Measures ANOVA)对实验结果数据按声调进行统计分析,实验结果的耳侧和声

调作为联合因素统计如图3所示。其中, T1~T4分别代表1~4声调。

结果显示, 耳侧作为单独影响因素对整体结果有显著影响([F(1, 29)=5.4484, $p=0.0267$]); 声调作为单独影响因素对整体结果无显著影响([F(3, 87)=2.1401, $p=0.1009$]); 耳侧和声调的联合作用因素对整体结果亦无显著影响([F(3, 87)=0.8633, $p=0.4633$])。

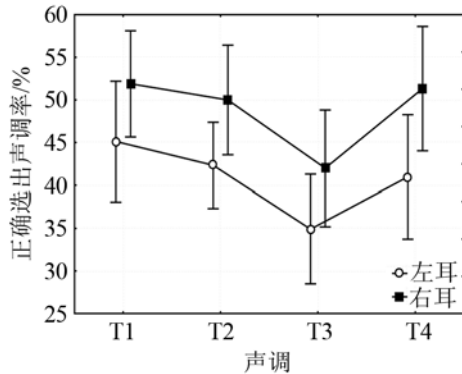


图3 耳侧和声调作为联合因素统计(垂直条表示0.95置信区间)

Fig.3 Statistics with ear sides and tones as combined factors (Vertical bars denote 0.95 confidence intervals)

3.1 不同声调的偏侧优势

从图3可见, 四个声调(T1~T4)正确选出右耳声调率均大于正确选出左耳声调率。事后分析(Post-hoc, Fisher LSD)结果如表3所示, 结果显示, 四个声调均存在显著的耳侧间差异($p<0.05$)。这表明, 在本研究设定的双耳分听实验条件下, 发现汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话四个声调的感知均存在显著的右耳(大脑左半球)优势。

表3 事后分析不同声调的耳侧间差异 p 值

Table 3 Post-hoc p value of the difference between ear sides of different tones

	T1	T2	T3	T4
p	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000

T1~T4: 汉语普通话声调中的1~4声

上述结果与前人的一些双耳分听汉语普通话声调研究(如: Wang Y., 2001^[10]; 刘丽, 2004^[11])得到的结果一致, 而与另一些研究(如: Baudoin-Chial, 1986^[8]; 杨玉芳, 1991^[9])得到的结果不同。Wang Y^[10]指出 Baudoin-Chial^[8]和杨玉芳^[9]等研究中可能存在“天花板效应”, 故而未发现偏侧优势。本研究结果表明, 汉语普通话声调感知的确呈现出显著的右耳(大脑左半球)优势, 而且对四个声调的感知具有相同的偏侧优势。

此外, 从实验结果数据来看, 30位被试者中有9位呈现左耳优势, 这表明尽管大脑左半球对汉语

普通话声调的感知占优势地位, 但大脑右半球也参与了声调信息的处理。

3.2 不同耳侧的声调间差异

此外, 从图3亦可见, 左耳和右耳对四个声调(T1~T4)感知的声调间差异趋势基本一致, 且无论左、右耳, 正确选出3声(T3)率均低于其余3个声调(T1、T2、T4)。可见, 在对汉语普通话声调的感知中, 对3声(T3)的感知难于其余声调。

事后分析(Post-hoc, Fisher LSD)结果显示, 左耳对四个声调感知存在统计学显著差异的为: T1和T3($p<0.05$), T1和T4($p<0.05$), T2和T3($p<0.05$), T3和T4($p<0.05$); 右耳对四个声调感知存在显著差异的包括: T1和T3($p<0.05$), T2和T3($p<0.05$), T3和T4($p<0.05$)。这表明, 在对汉语普通话声调的感知中, 无论是左耳还是右耳, 对3声(T3)的感知和对其余声调(T1、T2、T3)的感知存在显著的差异, 即对3声(T3)的感知显著难于其余声调。

上述结果与 Wang Y^[10]得到的结果一致, 被试者正确选出3声率远不及其它三个声调。导致上述结果的原因可能有: (1) 尽管本研究中所有测听材料的RMS均被调为一致, 但由于3声的基频(F0)低于其余声调, 所以导致3声听起来响度略小^[14]; (2) 本研究中对每个音节的语音长度分别进行了归一化, 可能导致3声未达到预期的时长^[15], 不利于被试者对3声的感知; (3) 从实验结果数据来看, 被试者容易将3声听(或判断)成2声也是一个重要因素。

4 结论

通过设计和实施双耳分听汉语普通话声调实验, 探讨和研究了汉语为母语的右利手被试者对声调感知的偏侧优势。本研究表明, 在本研究设定的双耳分听实验条件下, 汉语为母语的右利手被试者对汉语普通话声调的感知存在显著的右耳(大脑左半球)优势, 且对四个声调的感知具有相同的偏侧优势; 左、右耳对四个声调间感知差异的趋势基本一致, 且对3声的感知显著较其余声调差。

致谢: 衷心感谢参与实验的全部被试者。感谢对本文早期版本提出宝贵意见的中国科学院声学研究所东海研究站仿生耳与声音技术实验室的同事们, 其中特别感谢孟庆林、范雪莉、赵建平。

参考文献

[1] Kimura D. Cerebral dominance and the perception of verbal sti-

- multi[J]. *Canadian Journal of Psychology*, 1961, **15**(3): 166-171.
- [2] Kimura D. Left-right differences in the perception of melodies[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1964, **16**(4): 335-358.
- [3] Bryden M P. *Laterality: Functional asymmetry in the brain*[M]. New York: Academic Press, 1982.
- [4] Ryalls J, Reinvang I. Functional lateralization of linguistic tones: Acoustic evidence from Norwegian[J]. *Language and Speech*, 1986, **29**(4): 389-398.
- [5] Studdert-Kennedy M, Shankweiler D. Hemispheric specialization for speech perception[J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1970, **48**(2B): 579-594.
- [6] Zhang J T, Fang Z. Some research on the perception of Chinese speech sounds[C]// Stevenson H W, Jing Q C ed. *Issues in Cognition Proceedings of a Joint Conference in Psychology*, 1978; 345-356.
- [7] 吴宗济, 林茂仙. 实验语音学概要[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989, 153-191.
WU Zongji, LIN Maoxian. *Experimental phonetics summary*[M]. Beijing: Higher Education Press, 1989, 153-191.
- [8] Baudoin-Chial S. Hemispheric lateralization of Modern standard Chinese tone processing[J]. *Journal of Neurolinguistics*, 1986, **2**(1): 189-199.
- [9] 杨玉芳. 辅音特征和声调识别中的耳优势[J]. *心理学报*, 1991, **23**(2): 131-137.
- YANG Yufang. Ear differences in distinguishing consonant features and lexical tones[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 1991, **23**(2): 131-137.
- [10] Wang Y, et al. Dichotic perception of Mandarin tones by Chinese and American listeners[J]. *Brain and Language*, 2001, **78**(3): 332-348.
- [11] 刘丽, 彭聃龄. 汉语普通话声调加工的右耳优势及其机理: 一项双耳分听的研究[J]. *心理学报*, 2004, **36**(4): 260-264.
LIU Li, PENG Danling. Right ear advantage for Mandarin tone perception and its mechanism: a dichotic listening study[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2004, **36**(4): 260-264.
- [12] 李心天. 中国人的左右利手分布[J]. *心理学报*, 1983, **15**(3): 268-275.
LI Xintian. The distribution of left and right handedness in Chinese people[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 1983, **15**(3): 268-275.
- [13] 吴宗济. 普通话元音和辅音的频谱分析及共振峰的测算[J]. *声学学报*, 1964, **1**(1): 33-39.
WU Zongji. Spectral analysis and formant estimation of Mandarin vowels and consonants[J]. *Acta Acoustica*, 1964, **1**(1): 33-39.
- [14] Stevens S S, Davis H. *Hearing: Its psychology and physiology* [M]. New York: Wiley, 1938.
- [15] Lin M C. The pitch indicator and the pitch characteristics of tones in Standard Chinese[J]. *Acta Acoustica*, 1965, **2**(1): 8-15.