

声调知觉的相关电位*

方 至 卢良岗 匡培梓

(中国科学院心理研究所 北京 100012)

1997 年 3 月 11 日收到

1997 年 6 月 16 日定稿

摘要 以语音诱发的大脑相关电位 (ERP) 探讨普通话声调的知觉是否有一侧化的问题。这个 $4 * 2 * 2$ 的多因素实验有男女青年共 11 名作为听者参加。相关电位经平均累加后, 进一步作了主成分分析和方差分析等二次处理。实验分析的结果表明, 左右两侧大脑对自然语音的声调知觉差异显著, 但对耳语, 左右两侧的声调知觉没有显著差异。分析还进一层表明, 大脑右侧对音高的变化率的知觉占有优势。

PACS 数 43.70

ERP of tone perception

FANG Zhi LU Lianggang KUANG Peizi

(Institute of Psychology, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100012)

Received Mar. 11, 1997

Revised Jun. 16, 1997

Abstract Is there laterality in perception of tone of Chinese? To this problem, the conclusion of our past psycho-acoustical experiments were repeatedly negative, just as the case in perception of final or vowel. Recently, however, studies using neuroelectric event-related potential (ERP) paradigm, have showed somewhat different results. It is thus necessary to undertake further research on this problem.

In the present experiment, we used four tones of the syllable "mao", in both natural sound and whisper as its phonetic materials. ERP recordings were derived from the electrode at sites T_3 , T_4 on the scalp over the superior temporal regions of subjects head. 11 young male and female, took part in this $4 * 2 * 2$ factorial experiment. As a second processing PCA and ANOVA were performed on the 176 averaged ERP.

Seven principal components were determined after PCA. They accounted for 89 % of the total variance and were submitted one by one to a Tone(4) \times Voice(2) \times Lateral(2) ANOVA. Both main and interaction effect of all except the third component were not significant, while the third one had a significant tone by voice interaction. Moreover, the post Hoc comparison showed that the ERP of some tones of natural sound on both left and right side differed significantly, but no such case were occurred among ERPs of these tones in whisper.

Another PCA ANOVA was taken to the 88 cases of ERP's of natural sound with 3 variables: $L(2)$, $H(2)$, $V(2)$. Here, H and V was the height and change rate of F_0 respectively. The results of the second analysis showed that there is a weak right hemisphere advantage in the ERP of V perception.

* 国家自然科学基金资助项目

引言

人类听觉系统的语音知觉有没有一侧优势的问题, 已有了二十多年的研究。大多数的工作采用了双耳分听 (dichotic) 的实验方法, 其结果可概括为: (1) 元音或韵母没有侧化, (2) 辅音或声母, 尤其是塞辅音, 有显著的右耳优势^[1,2]。至于声调, 作为声调语言特有的音位, 它的知觉有没有侧化, 研究结果还不一致。泰语的实验表明, 它的声调知觉有明显的右耳优势^[3], 而我们的汉语普通话实验则一再表明, 它的声调知觉和元音一样, 没有一侧优势^[2,4]。上述观点, 自 Molfese 用脑电平均相关电位 (ERP) 方法取代双耳分听方法进行言语知觉侧化实验以来, 已经动摇。两种方法的差异, 首先在刺激的呈现上。双耳分听用耳机给听者两耳同时呈现两个互不相同的语音, 相关电位实验则通常用扬声器放出语音, 两耳听到的是同一语音, 即所谓双耳合听 (diotic)。其次, 在反应上, 双耳分听要求听者对听到的语音作出口头的、书写的或按键的反应, 而相关电位实验只要求听者注意聆听, 不作任何反应, 它记录的是语音知觉在头部诱发的相关电位。Molfese 的实验表明, 听觉系统对语音信息的加工似有不同于前述的模式。以塞辅音知觉为例, 已不再是简单的右耳优势。它涉及语音的发音部位和发音方式等特征。塞音清和浊的知觉似以右脑或左耳为主, 而发音部位的知觉则表现为右耳或左脑优势^[5,6]。不过, 这类实验的结果并不一致。Segalowitz, Cohen 类似的实验显示, 塞音的知觉, 不论是清浊还是部位, 优势都在左耳或右脑一侧^[7]。语音知觉侧化问题这种纷纭莫一的现象, 促使我们对本有存疑的声调知觉的侧化问题, 用相关电位的方法进行一次再实验, 既可检验我们以前的工作, 也可能取得一些不同的结果, 深化问题的探讨。

1 方法

1.1 听者

11 名大学生参加实验, 年龄 20 岁左右, 男生 5 人, 女生 6 人。他们都生长在北京, 说普通话, 听力正常。经询问, 都是右利手。

1.2 实验语音

给听者的语音是音节“mao”的四个声调, 即猫 (māo)、毛 (mao)、卯 (mao)、帽 (mao)。考虑到声调信息的主要负载是基频, 而耳语恰好失去基频。本实验除了自然发出的上述四声外, 还用耳语的四声进行实验对比。实验音节表含 80 个音节, 即每一声调各重复 20 次, 先后秩序是随机排定的。音节表由一名电影制片厂的男性解说员发音, 录成磁带。语音的长短和强度按日常生活中说话的自然方式发出。各音之间的时距经过加工, 在 4 ~ 8 s 之间变动, 以减少期待和习惯的影响。以上是自然语音的磁带录制。耳语的录音与此相同, 只是音节表的音节先后秩序另作了随机排列。语音记录在双道收录机的第一磁道上。在另一磁道上记录一个和音节起始同步的信号。它们是幅值为 3 V 的方波。在以后的实验中用以触发脑电记录仪描出和语音同步的诱发电位。图 1 是音节“mao”的自然语音和耳语的四声的语图。图中可以明显看到两种语音的差别在基频的有无。

1.3 实验步骤

实验是让听者逐个进行的。在一间小隔声室内, 听者坐在一张舒适的靠椅上。正前方一米处放置扬声器。语音强度约 80 dB(A)。对听者的要求是注意聆听, 不作其它反应。诱发电位的描记电极置于听者头部左右颞区, 即国际通用的 10 ~ 20 电极系统的 T_3 、 T_4 位置。参照电极放在两耳耳垂上, 加以并联。接地极在前额。诱发电位经过放大和滤波后, 记录在一台多道调频磁带上, 供随后的离线处理。

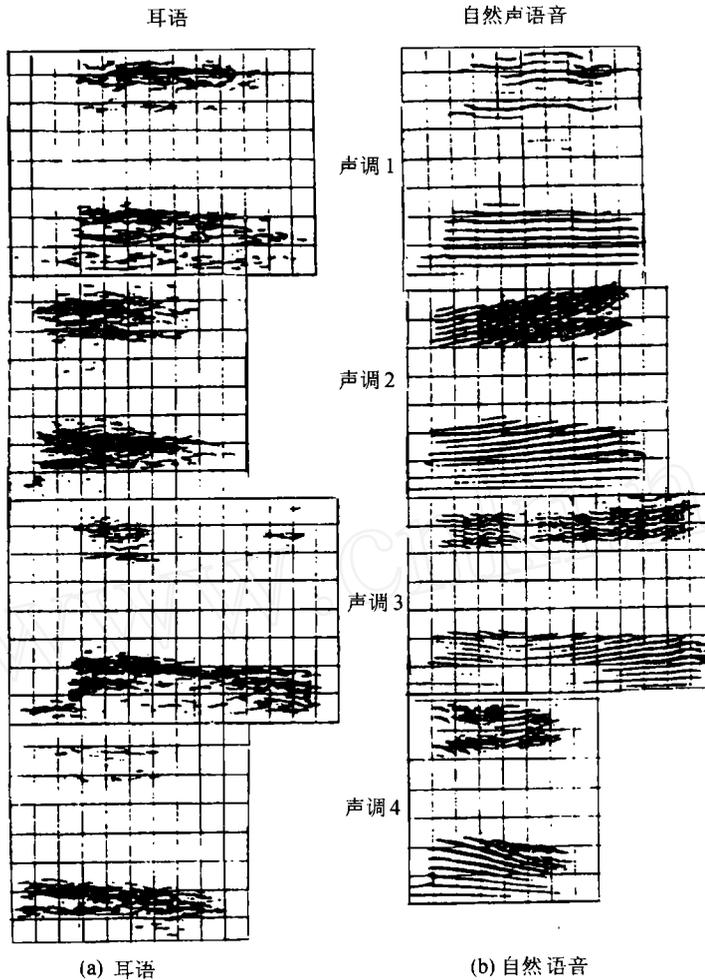


图 1 音节“Mao”四声的语图

1.4 数据分析

磁带上所记录的包括 11 名听者在知觉 8 种语音时从头部两点 (T_3 、 T_4) 描记下的 176 条诱发电位的波形曲线, 它们各重复 20 次。这些曲线用中国科学院心理研究所心理生理实验室的“脑生物电信号处理系统”(PSBSb) 在一台 IBM PS/2 微机上经过数字转换、去伪迹、平均累加和缺项处理之后, 得到了 11 名听者的 176 条平均相关电位曲线。它们再按组平均后便得到了图 2 的 11 名听者知觉 8 种语音在 T_3 、 T_4 诱发的总平均相关电位。对上述原始数据的进一步多变量分析, 使用了 Stats 的 CSS 统计系统中的主成分分析 (PCA) 程序。176 个平均 ERP 各取其前 500 ms 的 50 个时间点的幅值作为变量, 176 为个案数, 由此构成的数据矩阵即为程序的输入。数据矩阵首先被转换成 50×50 的相关矩阵, 而后对它进行主成分分析。主成分的提取标准是要求特征值 ≥ 1 , 这可以保证任一主成分的方差复盖面至少不低于原有变量中的任一个。为了既能保持各主成分之间的正交性, 又能使它们更易区分, 对各主成分还作了 Varimax 旋转, 并计算出各主成分对应于 50 个时间点的“因素负荷”和各主成分的原 176 个 ERP 的“因素分数”。从因素负荷可图示各主成分的时间过程及其主要负荷点。但要原单位表示, 还要乘上相应的标准差。因素分数是赖以进行方差分析的数据, 以检验各主成分的 176 个因素分数是否能区分有关的独立变量。

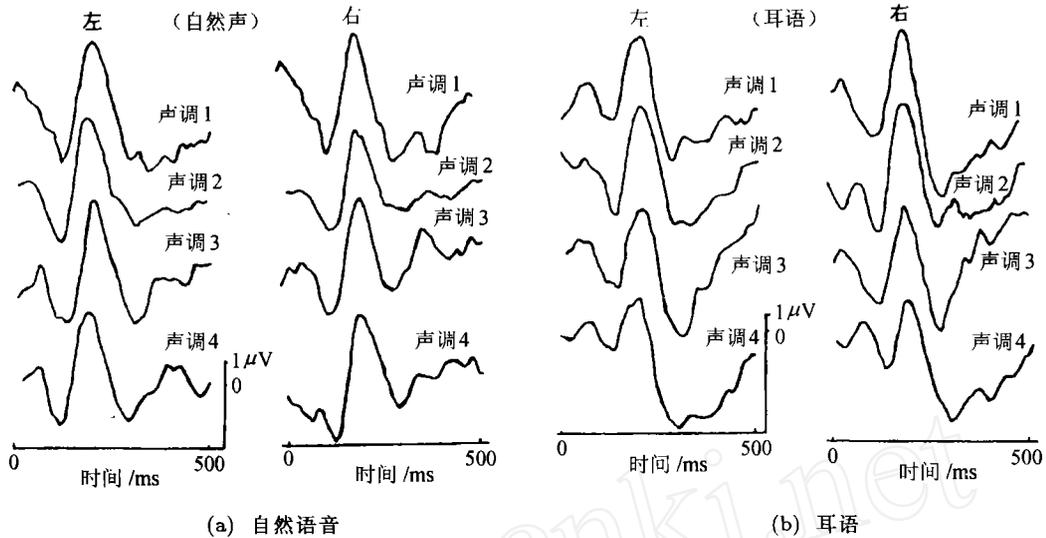


图 2 8 种语音在 T_3 、 T_4 处诱发的总平均相关电位

2 结果

11 名听者知觉 8 种语音的平均相关电位示于图 2。用一般电生理学方法对它们的主要正负峰值和潜伏期进行统计分析, 未能发现显著的差异。这证实有必要对整条曲线进行分析, 或许能揭露一些潜在的结果。实验作了两次 PCA 和 ANOVA 分析。首先是对所有 16 种实验条件下的 176 例相关电位的主成分分析, 得出了 7 个主成分。它们复盖了整个方差的 89%。各成分的时间过程列于图 3。图上的中心线是所有听者在全部实验条件下的 176 次 ERP 的总平均结果。成分 1 的最大负荷在 400 ms 附近, 它复盖方差的 40.6%, 它的主效应和交互效应都不显著。成分 2 在 175 ms 处有高负荷, 占方差的 22.0%, 语音的主效应显著, 自然语音和耳语的差异非常显著 ($F(1.160) = 7.64$, $P < 0.01$), 但四声的差异无论是耳语还是自然语音, 也无无论在左侧还是右侧都不明显。成分 3 最值得注意, 它在 270 ms 时负荷最大, 所占方差比重为 8.6%, 它不仅有显著的声调主效应 ($F(3.160) = 7.01$, $P < 0.004$) 和语音的主效应 ($F(1.160) = 51.23$, $P < 0.0000$), 而且有很显著的声调和语音的交互效应 ($F(1.160) = 4.44$, $P < 0.003$)。后验 (post hoc) 比较表明, 第一声和第三声的边际均数 (marginal mean) 的差异显著 (Scheffe test $P = 0.15$), 第四声和第一声的边际均数也很显著 (Scheffe test $P = 0.003$)。进一步比较还表明, 自然语音的第二声和第四声在左侧的 ERP 差异显著 (Scheffe test $P = 0.05$); 其第一声和第三声的差异, 第二声和第三声的差异在右侧也很显著 (Scheffe test 分别为 $P = 0.002$, $P = 0.01$)。与此相反, 耳语的声调差异无论左侧还是右侧都不显著, 如图 4 所示。

总括起来说, 成分 3 的上述分析突出了两点: (1) 相关电位和人的主观识别对声调的反应是一致的, 即具有基频的自然语音的声调可以辨别, 缺少基频的耳语的声调不能识别; (2) 大脑左右两侧在这个问题上没有不同。它们对自然语音的某些声调都能作出不同 ERP 的反应, 对耳语的声调的差别都不能有不同的 ERP 反应。成分 4 ~ 7 的主效应和交互效应都不显著, 其仔细结果从略。

上述结果要求实验对自然语音的声调相关电位作深入一步的分析。从塞辅音的侧化研究可以得到启发, 如前面所述, 辅音知觉的侧性已分化到它们的声学的和发音的特征, 如发音部位和发

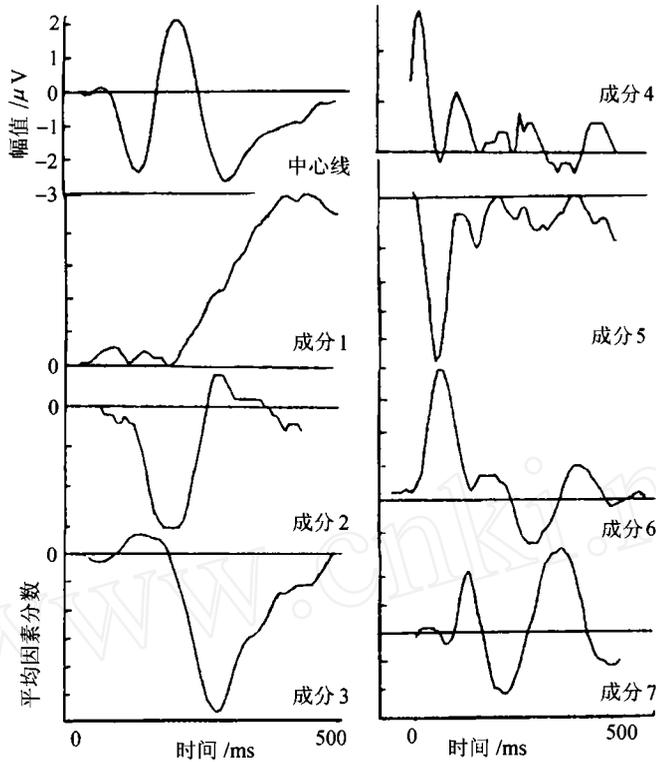


图 3 ERP 总平均的中心线和主成分分析所得的 7 个成分的负荷的时间函数。
(负荷的幅值与极性取决于不同条件的因素分数)

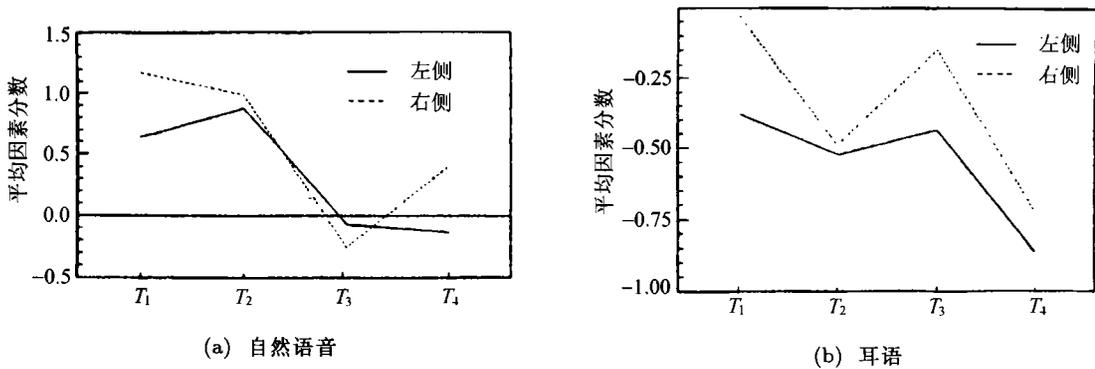


图 4 声调和语音在主成分 3 中的交互作用

音方式，共振峰结构和声韵的过渡等。同样，声调知觉的侧性也可能从笼统的基频分化到它的区别特征。声调知觉的多维量表分析^[8]初步确定了两个维度，即音高或基频的高度(以下简称 H)和变化率(以下简称 V)，它们又各有两个水平： H (高)和 H (低)， V (平)和 V (仄)。因此四个声调可以纳入下面二维矩阵。

	H (低)	H (高)
V (平)	第二声 (T_2)	第一声 (T_1)
V (仄)	第三声 (T_3)	第四声 (T_4)

从原始数据中提出自然语音条件下的 88 例相关电位，以 L (侧性)， H 和 V 为主变量作了另一次主成分分析和方差分析。图 5 是分析所得的 7 个主成分的负荷曲线。

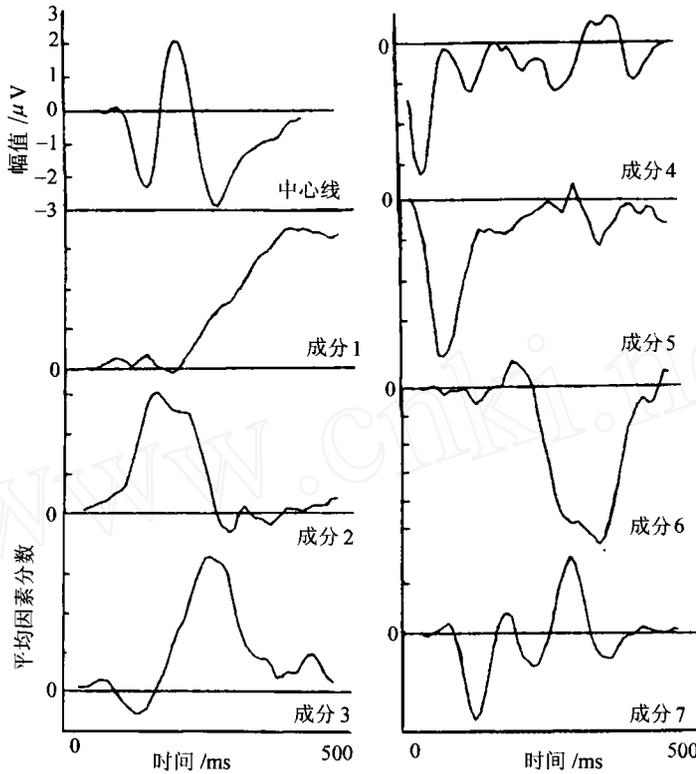


图 5 自然语音条件下 ERP 的中心线和 7 个主成分的负荷曲线。(图例同图 3)

图 3 和图 5 比较，除第 1 成分相似外，其它成分似呈倒相的关系。

7 个成分中与本文问题有关应予注意的是成分 6，它有侧性 (L) 和变化率 (V) 两个主变量的显著交互作用 ($F(1, 88) = 6.89, P < 0.01$)，它覆盖 4% 的方差，其最大负荷在 350 ms 处。后验比较表明，右侧脑能分辨 T_2 、 T_3 的差异 (Scheffe test $P < 0.05$)，但左侧却不能分辨。右侧能分辨的 T_2 、 T_3 的差别的维度分别为 H (低)、 V (平) 和 H (低)、 V (仄)，即在 V 的平仄之不同，说明右脑的知觉优势在变化率或平仄的分辨，如图 6 所示。

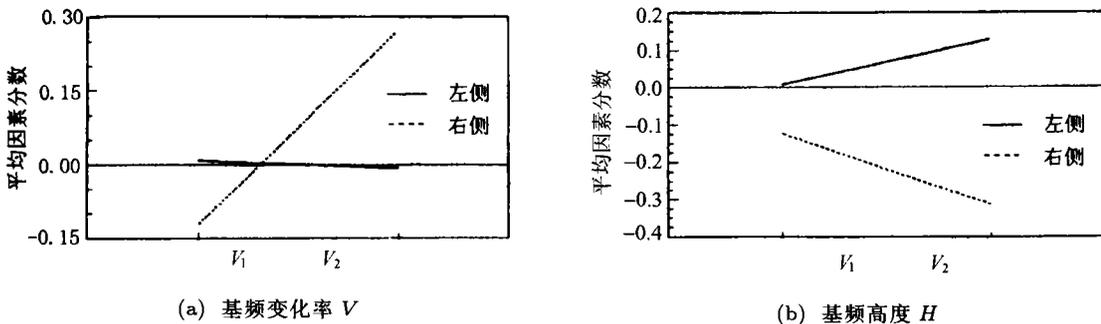


图 6 基频变化率 (V) 和侧性 (L) 在主成分 6 中的交互作用

3 讨论

实验的结果和本文两个方面的预期符合。首先,自然语音和耳语对比实验结果有力地说明,相关电位的客观描记确实能反映声调知觉的根本特性,即对语音基频变化的分辨。其次,相关电位的分析获得了和我们以往心理声学实验不同的结果。声调知觉相关电位表现出一侧优势,而且是右侧优势。不但如此,还揭示出这种优势在声调特征或其声学线索的一个部分,即音高的变化率或平仄。对这个结果,目前的解释之一是归之于反应的不同。心理声学实验要求听者作出某项动作反应,因之,如有一侧优势,它反映究竟是动作的还是感知的便不能肯定,而电生理方法不带动作反应,似能更多地反应知觉的特点。不过,象辅音实验那样,何以不同的特征有不同的侧性,就难以说明。以本实验为例,出现的右侧优势为什么只限于某几个声调,而不是全部, *V* 的知觉优势何以在右侧, *H* 的知觉为什么没有现出优势等等,都有待于进一步的深入研究。

4 结论

本文用普通话声调所诱发的相关电位,经过主成分分析,对声调知觉的侧化问题所得结论如下:

- 1 和声调知觉的主观反映一样,ERP对自然语音的四声能加以区别,但对没有基频的耳语的四声不能区别。在这一功能上,左右脑没有一侧优势。
- 2 对某些声调,如第二声与第三声的区别,ERP呈现微弱右侧的优势,而且是对基频变化率分辨的优势。

参 考 文 献

- 1 Shankweiler D, Studdert-kennedy M. Identification of consonants and vowels presented to left and right ears. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1967, **19**: 59—63
- 2 Zhang J T, Fang Z. Some research on the perception of Chinese speech sounds, In Stevenson H W and Jing Q C (ed) *Issues in cognition. Proceedings of a Joint Conference in Psychology*, 1984.
- 3 Van Lancher D, Fromkin V A. Cerebral dominance for pitch contrasts in tone language speakers and in musically untrained and trained English speaker, *Journal of Phonetics*, 1978, **6**: 19—23
- 4 杨玉芳,方至.普通话声调知觉. 1992,匡培梓,张嘉棠编,中国语文认知科学第五国际研讨会论文选编: 40—44
- 5 Molfese D L. Neuroelectronic correlates of categorical speech perception in adults. *Brain and Language*, 1978
- 6 Molfese D L. The phoneme and engram: Electrophysiological evidence for the acoustic invariance in stop consonants. *Brain and Language*, 1980, **9**: 372—376
- 7 Segalowitz S J, Cohen H. Right hemisphere EEG Sensitivity to speech. *Brain and Language*, 1989, **37**: 220—231
- 8 方至,金凌娟.声调知觉的多维量表. 1992,匡培梓,张嘉棠合编.中国语文认知科学第五届国际研讨会论文选编: 34—39