

# 语句中协同发音对音节知觉的影响\*

周迅溢 王蓓 杨玉芳 李晓庆

(中国科学院心理研究所,北京 100101)

**摘要** 采用音节相似度听辨实验,以大学生为被试,对音节间协同发音现象所引起的音节知觉差异进行了考察,结果发现:音节之间的协同发音影响音节音段内容的变化,而这种变化主要取决于相邻前音节末尾韵母部分的差异,以及相邻后音节首辅音发音部位的差异;对于发音相同、语境不同的音节,音节在超音段内容变化所引起的知觉效应明显大于协同发音引起的知觉效应。

**关键词** 协同发音,音段内容,超音段内容,声学参数。

**分类号** B842.2

## 1 引言

基于大规模语料库,用波形拼接的方法使汉语文语转换系统(Text-to-Speech System)的可懂度和自然度有了很大的提高。这样的合成系统面临的最大问题是根据什么样的规则选择适当的音节。因为,同样的音节在不同的语流中会出现多种变化。语流中的音节不像单独念时那么“纯”,它会受到前后音节的影响,也会因语句韵律的不同而改变相应的超音段声学参数。

口头语言与书面语言不同,它并不是诸如音素、音节或词等各种语音单元的简单机械地串列,而是按照一定的规则结合变化的有机体系。在连续语流中,这个体系的各个相邻语音单元之间会相互叠套、彼此渗透而产生协同发音现象<sup>[1,2]</sup>。所谓协同发音(co-articulation),就是不只一个音同时发生的现象,它同相邻语音发音态势的叠套有关<sup>[3]</sup>。从语音产生的生理机制和声学表现来看,协同发音一般可分为先行和后续的两种。前者是指,在前一音的发音期间,发音器官就已开始作下一个音的发音准备,逐渐向着下一个音的部位和态势移动;在声学上,不仅表现为前一个音后半段向着后一音的过渡状态,而且表现为前一个音本身的音值偏离它的标准形态。后者是指,在后一个音正式开始发音以后,由于惯性的作用,前一音的发音器官态势的残留过程会

叠加在后一音的发音上,形成对它的音值的影响<sup>[4]</sup>。无论是先行的还是后续的协同发音,都会导致语音的环境变异。

协同发音主要造成音节音段内容的变化,是引起音变的重要因素之一。汉语中,对于语流中的某个音节来说,协同发音主要取决于相邻前一音节末尾的元音,以及相邻后一音节首的辅音。照此推论,对于发音相同而语境不同的两个音节,如果它们的前音节末尾元音相同,则其引起的音变的知觉效果会十分接近;而后音节首的辅音,如果它们在发音部位上差异很小,则其所引起的音变知觉效果也会十分接近<sup>[5]</sup>,本文将对这一观点进行验证。曹剑芬根据协同发音引起音变的原理研究了汉语中的双音子和三音子结构<sup>[4,6]</sup>,对普通话音节间的三音子作了归纳和分类,并根据后音节首音辅音的发音位置作了进一步分类。本文参照以上研究结果和所要研究的问题,对前后音节搭配作了如下分类:(1)前音节末尾韵母不同,即为不同类;(2)后音节首声母,依照辅音发音部位(成阻部位)的不同分为6类,加上零声母情况,共分7类(见表1)。如果两个音节的后音节首声母辅音属同一类(如果是零声母,则要看后音节的韵母部分,由于在实际言语中出现较少,本文不作具体讨论),则认为这两音节在尾端的协同发音属同种情况。本文将通过音节相似度听辨实验,验证同类协同发音在听辨上知觉差异是否显著

收稿日期:2002-11-11

\* 973 国家重点基础研究发展规划项目的资助(G1998030505-3)项目。

通讯作者:杨玉芳,Email:yangyf@psych.ac.cn

小于非同类协同发音。

除协同发音外,超音段内容的变化,也使语句中的音节在发音上产生各种变异。如音节重读时,通常基频提高,时长加长。对于发音相同、语境不同的音节,由于在音段内容方面保留了绝大部分相同的特征,相比之下,它们在超音段内容方面的变化要显著的多。而超音段内容的变化主要通过基频、时长和音强三个声学参数体现出来。本文也将通过实验,对音段内容和超音段内容变化所引起的知觉差异大小做进一步的比较。

表 1 辅音发音部位分类

成阻部位	辅音
唇	[b],[p],[m],[f]
齿	[z],[c],[s]
齿龈	[d],[t],[n],[l]
卷舌	[zh],[ch],[sh],[r]
腭	[j],[q],[x]
软腭	[g],[k],[h]

本研究的另一目的在于,通过协同发音对音节知觉影响的实验研究,探讨影响音节知觉相似度的主要因素,结果有助于语音工程中对汉语音库音节样本的选取以及音节调节参数的选择。

本研究的实验任务为音节知觉相似度比较。考察两个影响音节知觉相似度的主要因素,即协同发音和超音段声学参数,并且讨论这两种因素对音节知觉相似度的贡献大小。

## 2 研究方法

### 2.1 被试

共 10 名被试参加了本实验。他们是来自北京高校的的大学生,年龄 20 岁左右,男性 7 名,女性 3 名,均身体健康,听力正常,无耳疾,来自北方地区,说标准普通话。

### 2.2 实验材料

从标准语料库的语句中选取合适的音节作为实验材料。实验音节均来自语句中,主要对与该音节相邻的前后两个音节进行考察,并依据前后音节的匹配挑选符合实验要求的音节。选定的音节用 Multi-Speech 3700 语音分析软件将其从语流中切分出来作为实验时的声音刺激。

每 3 个音节组成一组,并用 A、B、C 表示每组内的 3 个音节。其中,A、B 为同类音节,C 与 A、B 不同类。要求被试判断 3 个音节中哪 2 个音节听起来

更相似。研究假设,A、B 的相似度大于 A、C 的和 B、C 的相似度。音节的选择考虑两方面的因素,即协同发音和超音段声学参数变化。协同发音分别考查前音节和后音节的影响。这样,音节组根据不同的匹配方式可分为以下 3 种情况。

**2.2.1 前音节一致** 前音节一致指音节 A、B、C 的前音节末尾韵母相同。音节 A、B 后音节首的声母属于同一类,而音节 C 后音节首的声母属另一类。如前所述,这里对声母的分类是按照发音的成阻部位来划分的(见表 1)。例如,

A、国家公务员 guo2 **jia1** gong1 wu4 yuan2

B、国家科委 guo2 **jia1** ke1 wei3

C、国家机关 guo2 **jia1** ji1 guan1

A、B、C 中的“jia1”,其前音节“guo2”完全相同;后音节首声母,A、B 中的 [g]、[k] 均为软腭成阻辅音,而 C 的 [j] 属腭成阻辅音,与 A、B 不同类。

此外,对测试音节的其它相关变量做了匹配。包括对体现超音段内容变化的声学参数(基频、时长、音强)的控制;对音节在词中、句中位置的控制;并且听测音节与相邻后音节结合较紧密,音节间的协同发音较显著。这样选取 7 组实验材料。这类音节主要考察相邻后音节声母变化对前音节知觉的影响。

**2.2.2 后音节一致** 后音节一致指音节 A、B、C 后音节首声母相同。其中,音节 A、B 前音节末尾的韵母完全相同,而音节 C 前音节末尾的韵母与 A、B 不同。例如,

A、经济信息报消息 jing1 ji4 xing4 xi1 **ba04**  
xiao1 xi1

B、经济报消息 jing1 ji4 **ba04** xiao1 xi1

C、健康报消息 jian4 kang1 **ba04** xiao1 xi1

“ba04”作为测试音节,它们的后音节“xiao1”完全相同;前音节末尾的韵母,A、B 均为 [i],而 C 则为 [ang]。同样的,对测试音节的声学参数和句中、词中位置逐一作了匹配;并且测试音节与相邻前音节结合较紧密,音节间协同发音显著。这样也选出 7 组实验材料。这类音节主要考察的是,相邻前音节变化对音节知觉的影响。

**2.2.3 声学参数匹配** 在本实验中,声学参数匹配指基频、时长、音强等体现超音段变化的声学参数。实验材料设计如下,音节 A、B 符合前音节一致或后音节一致两种情况;同时对音节 A、C 在平均基频、时长和音强值三种声学参数上进行匹配。如:

A、查办案件工作力度 cha2 ban4 an4 jian4

gong1 zuo4 li4 du4  
 B、食品有限公司的 shi2 ping3 you3 xian4  
 gong1 si1 de5  
 C、八达岭高速公路 ba1 da2 ling3 gao1 su4  
 gong1 lu4

即, A、B 符合前音节匹配情况, 同时 A、C 符合声学参数匹配情况(A、B、C 的各项相关声学参数这如表 2 所示)。按照此种匹配条件, 从语料库中选出两组实验材料。类似地, 选出另两组实验材料, 使 A、B 满足后音节匹配条件, 而 A、C 声学参数匹配。共 4 组实验材料。

表 2 A、B、C 声学参数值

音节	平均音高(Hz)	时长(ms)	能量(dB)
A	145	147	68.22
B	127	115	66.42
C	143	148	69.04

这类音节主要考察的是, 前后音节搭配以及体现超音段内容的声学参数哪个因素对音节知觉的影响占主导地位。如果前后音节搭配起主要作用, 则 A、B 的相似度大于 A、C 的。如果超音段声学参数起主要作用, 则 A、C 的相似度大于 A、B 的。而 B、C 的相似度最低。

这样共选出 18 组音节, 每组 3 个, 共 54 个测试音节。其中符合前音节一致条件、后音节一致条件的各有 7 组, 另 4 组为声学参数匹配。

### 2.3 实验任务和程序

实验在计算机上进行, 被试按照实验程序的提示, 戴好耳机开始实验。实验要求被试对所有 18 组音节做听辨反应, 每组呈现 3 个音节。被试判断 3 个音节中哪 2 个音节听起来更相近, 然后做出选择。被试可以对每个音节反复听, 直到听清为止。听完一组音节, 做出判断后, 实验程序将紧接着呈现下一组音节, 要求被试继续对其进行听辨。为了使实验结果更稳定, 对每组音节做 3 次判断, 这样总共有  $18 \times 3 = 54$  组音节, 所有音节组的呈现次序是随机的。

## 3 研究结果

### 3.1 前音节一致组和后音节一致组听辨结果

前音节一致和后音节一致两种情况下, 各组音节中 A、B 和 C3 个音节相似度比较结果见表 3。

从表 3 可以看到, 在大多数情况下(7 组中有 5 组), 判断音节 A、B 相似的次数要明显多于判断 A、

C 相似和 B、C 相似的次数, 这说明, 前音节一致时, 表 3 前音节一致组与后音节一致组音节相似度听辨结果

音节	组编号						
	1	2	3	4	5	6	7
前音节一致							
A、B	14	20	7	17	11	18	13
A、C	7	5	13	6	12	4	11
B、C	9	5	10	7	7	8	6
后音节一致							
A、B	17	22	16	19	21	13	16
A、C	7	5	10	5	4	15	6
B、C	6	3	4	6	5	2	8

后音节声母属于同一类的两个音节 A、B 的知觉差异小于后音节不同类的两个音节 A、C 和 B、C 的知觉差异。同样, 后音节一致时, 前音节韵母属于同一类时(A 和 B)的差异小于不同类时(A 和 C, 及 B 和 C)。分别对符合这一分布趋势各组的 A、B 相似次数和 A、C 相似次数、A、B 相似次数和 B、C 相似次数作等概率卡方检验, 以检验判断 A、B 相似次数是否达到显著性, 如表 4、5。

表 4 前音节一致组 AB、AC 相似次数和 AB、BC 相似次数卡方检验结果

音节		组编号				
		1	2	4	6	7
AB 和	$\chi^2$	2.333	9.000	5.261	8.909	0.167
AC	$p$	>0.05	<0.01*	<0.05*	<0.01*	>0.05
AB 和	$\chi^2$	1.087	9.000	4.167	3.846	2.579
BC	$p$	>0.05	<0.01*	<0.05*	<0.05*	>0.05

表 5 后音节一致组 AB、AC 相似次数和 AB、BC 相似次数卡方检验结果

音节		组编号					
		1	2	3	4	5	7
AB 和	$\chi^2$	4.167	10.704	1.385	8.167	11.560	4.545
AC	$p$	<0.05*	<0.001*	>0.05	<0.01*	<0.001*	<0.05*
AB 和	$\chi^2$	5.261	14.440	7.200	6.760	9.846	2.667
BC	$p$	<0.05*	<0.001*	<0.01*	<0.01*	<0.01*	>0.05

表 4、5 中可见, 在前音节一致组中, 2、4、6 组 A、B 的相似度与 A、C 的相似度比较, 以及 A、B 的与 B、C 的相似度比较均达到显著性差异。后音节一致组中, 除第 3 组外, A、B 的相似度与 A、C 的相似度比较, 以及 A、B 的与 B、C 的相似度比较也都达到显著性差异。这些结果基本与实验假设相符, 对

于异常组与假设不一致的原因将在后面讨论。实验结果表明,从音节间协同发音的影响来看,在其它条件相同的情况下,对前音节末尾韵母相同对比前音节末尾韵母不相同的音节的知觉差异要小;对后音节首辅音发音部位相同对比后音节首辅音发音部位不同的音节的知觉差异要小。

### 3.2 声学参数匹配组听辨结果

声学参数匹配的情况下,各组音节中 A、B 和 C 三个音节相似度比较结果见表 6。

表 6 声学参数匹配组听辨结果

音节判断	组编号			
	1	2	3	4
A、B	5	2	3	2
A、C	23	28	26	28
B、C	2	0	1	0

表 7 声学参数匹配组 AB、AC 相似次数和 AB、BC 相似次数卡方检验结果

音节		组编号			
		1	2	3	4
AB 和 AC	$\chi^2$	11.571	22.533	18.241	22.533
	$p$	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
AB 和 BC	$\chi^2$	17.640		23.148	
	$p$	<0.001*		<0.001*	

4 组结果都显示,A、C 相似的次数与 A、B 相似的次数的差异显著,A、B 相似的次数与 B、C 相似的次数差异也达到显著性。由于第 2、4 组判断 B、C 相似的次数为 0,无法作卡方检验,但从实验数据来看,显然两者差异是十分显著的。可见,即使前后音节在音段方面达到了很好的匹配,如果它们在体现超音段内容的声学参数上有很大的差异,两者之间的知觉差异仍不可忽略;而如果体现超音段内容的声学参数本身十分接近,那么即使相邻音节不匹配,它们在知觉上的差异也是比较小的。

## 4 讨论

(1) 根据前音节一致组和后音节一致组两种情况下 14 组音节的结果分析,判断 A、B 相似次数最多的有 11 组,其中有 8 组,判断 A、B 相似次数与判断 A、C 相似次数以及 B、C 相似次数的差异达到了显著性。这一结果说明,实验基本符合我们的预期,在声学参数、语句单元位置一定的情况下,前后相邻音节引起的协同发音是影响音节本身知觉的重要因

素。具体来说,前音节末尾韵母部分的差异、和后音节开头辅音发音部位的差异,都会引起对音节知觉的变化。

(2) 不同发音部位的辅音、不同舌位的元音过渡,它们引起的音节知觉差异的大小也是不同的。例如,后音节一致组中的第 1 组,前音节韵母末尾与测试音节首声母分别是:

A [i]→[g] B [i]→[g] C [ŋ]→[g]

元音[i]的 F2(第二共振峰频率)较高,而舌根辅音[g]的音轨也较高,两者过渡不明显;鼻音[ŋ]的 F2 很弱,与其后[g]的过渡亦不明显,因此被试对这组音节 A、B 相似的判断次数较少(17 次)。后音节一致组中的第 2 组,前音节韵母末尾与测试音节首声母分别是:

A [i]→[b] B [i]→[b] C [ŋ]→[b]

前音节韵母和前组一样,而测试音节声母改为唇辅音[b],音轨很低,使得 A、B 的音节头过渡较明显,而音节 C 过渡仍不明显。因此被试对这组音节 A、B 相似的判断次数较多(22 次)。

(3) 对实验结果进行进一步的分析,得到一些有意义的发现:在本实验中前后音节声调是否匹配,对音节相似性的判断并影响不大。前音节一致中的第 1 组,音节 A、B、C 的后音节分别为:si1, zuo4, bu4,音节 A 的后音节为阴平声,音节 B 和 C 的后音节同为去声,但由于[s]与[z]同为齿辅音,而[b]为唇辅音,使得 A 和 B 的知觉相似性要明显大于 B 和 C。此外,还有多组音节,尽管参与听辨的 3 个音节声调各不相同,但是仍然表现出了匹配音节知觉相似性要明显高于未匹配音节的规律,由此可以设想,前后相邻音节声调的差异对音节本身的知觉差异判断不会有显著影响。对于声调对音节知觉的影响,将来可进行实验研究以验证此假设。

(4) 实验中也出现了一些不符合实验预期的结果。前音节一致组中,有两组的判断结果近似呈均匀分布(3、5 组),说明即使对 A、B 的前后音节进行了匹配,它们的知觉差异并没有明显小于那些未作匹配的音节。观察发现,第 3 组测试音节韵母末为鼻音[ŋ],其 F2(第二共振峰频率)较弱,与后音节的过渡并不明显,所以对后音节的影响变小了。在前音节一致组中,第 1、4 组测试音节韵母末鼻音也是[ŋ],被试对这两组音节 A、B 相似的判断次数也相对较少(分别为 14、17 次)。可见,当测试音节末尾为鼻音时,后音节对其知觉判断的影响不明显。

另外,有两组音节(前音节一致组中的第 7 组,

后音节一致组中的第 6 组), 判断 A、B 相似的次数和判断 A、C 相似的次数明显多于判断 B、C 相似的次数(判断次数依次为: 前音节一致第 7 组 13, 11, 6; 后音节一致第 6 组 13, 15, 2), 说明音节 A 与音节 B、C 的知觉距离相差不多, 而音节 B、C 的知觉距离明显的较大。对这一结果暂无法解释。

(5) 声学匹配组的听辨结果比较一致, 声学参数接近的两个音节, 知觉差异是最小的。说明由体现超音段特征的声学参数变化引起的音节知觉差异较之由协同发音引起的音节知觉差异要大的多, 在音节知觉这一点上, 体现超音段特征的声学参数、包括句法信息的权重是最主要的。

## 5 结论

(1) 就汉语而言, 影响连续语流中音节感知的因素主要分为音段内容的变化和超音段内容的变化。而对某一音节来说, 超音段内容的变化是决定音节知觉差异的最主要因素, 并通过基频、时长等声学参数变化体现出来。

(2) 音节之间的协同发音影响着音节音段内容的变化, 这种变化很大程度上取决于前后相邻音节的搭配以及音节间联结的松紧程度。具体来说, 前音节末尾韵母部分的差异、和后音节开头辅音发音部位的差异, 都会引起对音节知觉的变化。不同发音部位的辅音、不同舌位的元音过渡, 它们引起的音节知觉差异的大小也各有不同。而前后相邻音节的声调, 对音节知觉相似性的判断并没有显著影响。

致谢: 中国社会科学院语言研究所曹剑芬研究员, 中国科

学院声学研究所吕士楠研究员为本文提出了许多建设性意见, 作者在此表示感谢!

## 参 考 文 献

- 1 Singh S, Woods D R, Becker G M. Perceptual structure of 22 pre-vocalic English consonants, *Journal of American Acoustic Society*, 1972, 52: 1668 ~ 1713
- 2 David Crystal. Translated by Shen Jiakuan. A dictionary of linguistics and phonetics (in Chinese). Business press, 2000. 62 ~ 62 (David Crystal 编. 沈家煊译. 现代语言学词典. 商务印书馆, 2000. 62 ~ 62)
- 3 Daniel Recasens. An electropalatographic and acoustic study of consonant - to - vowel coarticulation. *Journal of Phonetics*, 1991, 19: 177 ~ 192
- 4 Cao J. Environmental phonetic change and two - syllable or three - syllable structure in Mandarin (in Chinese). *Applied Linguistics*, 1996, (2): 58 ~ 69 (曹剑芬. 普通话语音的环境音变与双音子和三音子结构. *语言文字应用*, 1996, (2): 58 ~ 63)
- 5 Cao J. Investigating phonetic combination and change from the point of view of co - articulation (in Chinese). In: Shi F, Pan W ed. *The trends of linguistics in Chinese*. Hong Kong City University press, 1999. 303 ~ 314 (曹剑芬. 从协同发音看语音的结合与变化. 见: 石峰, 潘悟云主编. *中国语言学的新拓展*. 香港城市大学出版社, 1999. 303 ~ 314)
- 6 Cao J. The representative corpus of two - syllable and three - syllable structure in Mandarin (in Chinese). *Applied Linguistics*, 1997, (2): 60 ~ 68 (曹剑芬. 普通话双音子和三音子结构系统代表语料集. *语言文字应用*, 1997, (1): 60 ~ 68)

## THE INFLUENCE OF COARTICULATION ON SYLLABLE PERCEPTION IN UTTERANCE

Zhou Xunyi, Wang Bei, Yang Yufang, Li Xiaoqing

(*Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China 100101*)

### Abstract

The perception difference of syllables caused by co-articulation effect was studied through similarity perception experiments, with college students as subjects. The results showed that co-articulation effect caused variations in segment. Furthermore, the variations were mainly affected by vowel of the syllable just before the target syllable and consonant of the syllable just after the target syllable. To the syllable in different sentence context, the perception similarity is more significantly influenced by suprasegmental variations than by co-articulation effect.

**Key words** co-articulation, segment, suprasegment, acoustic parameter.