

语音多模态研究和多元化语音学研究

——北大语音乐律研究的进展与理念

Research on Multi-Speech Models and Variety of Phonetic Study

孔江平

Kong Jiangping

摘要: 语音学是一门既古老又现代的学科, 说它古老是因为我们至今还在沿用其口耳之学的基本方法研究语音, 说它现代是因为语音学已采用了大量现代科学技术, 其研究也已进入了各个相关的科学领域。1925 年刘复先生在北京大学建立了第一个语音实验室—语音乐律实验室, 它标志着中国语音学进入了科学的领域。经过了八十多年的发展, 北大的语音乐律研究也进入了一个更广阔的领域。本文将依据北大语音学研究的现状, 从“语音多模态研究”和“多元化语音学研究”两个方面和广大同仁一起探讨我国语音学研究的学科范畴和发展方向。

Abstract: Phonetics is an old and also a modern subject because of very old method, such as recording speech sound by hearing and imitation, and modern method, such as speech and neural signal processing, are all used at present. The phonetic research has also been related with many different fields. Prof. Liu Fu established the first phonetics lab, the phonetic and music lab, in Peking University in 1925, which symbolized that phonetics had become scientific in China. After more than 80 years, the lab has been coming into a more extensive research area. This paper introduces the study in the phonetic and music lab from the viewpoint of ‘multi-model phonetic study’ and ‘variety study of phonetics’ and discusses the research category and direction of phonetics in China.

关键词: 语音多模态研究 多元化语音学研究 语音学 语音乐律 语音科学

Key words: Multi-models of speech, Variety of Phonetic Study, phonetics and music, phonetic science

1 引言

语音学最初作为语言学的一个分支有着悠久的历史, 在早期的语言研究中起了重要的作用。西方的传教士在传教过程中将语音学带到了世界各地, 在语音学的研究普及上起了很重要的作用。随着科学技术的发展, 语音学采用了大量科学的研究方法使其发展成为了一门和许多学科相关的现代科学。因此, 我们说: 语音学是一门既古老又现代的科学, 说它古老是因为我们至

今仍在用口耳之学的基本方法研究语音, 说它现代是因为它已采用了大量现代科学技术, 其研究已进入了各个相关的科学领域。本文将依据北大语音乐律研究的现状, 从“语音多模态研究”和“多元化语音学研究”两个方面和广大同仁一起探讨我国语音学研究的学科范畴和发展方向。

1.1 北大语音乐律研究

刘复先生 1925 年在北京大学建立了第一个语音实验室—语音乐律实验室, 它标志着中国的语音学进入了科学的研究领域。刘复先生的《四声实验录》(1924) 是我国语音学领域最早的语音学研究成果, 首次科学地揭示了声调的物理特性, 这是中国语音学对世界语音学理论的重要贡献。经过了八十多年的发展, 北大的语音乐律研究已进入了一个更广阔的领域。

1.2 语音多模态研究

在中国利用物理的方法研究语音已有八十多年的历史(刘复, 1924), 后来又采用了生理的方法(周殿福, 吴宗济, 1963)。随着科学技术的发展, 许多新的科学方法用于语音学研究, 特别是电子计算机和生理设备的应用, 使得语音学的学科范畴有了很大变化。语音学研究最初只是为语言学服务, 研究的目的比较单一, 而现代语音学研究在方法和基础理论范畴方面已进入了物理学、生理学、心理学、病理学等科学领域(William J. Hardcastle et al, 1997; G. Fant et al, 2004), 研究的目的和范畴已经大大超出了语言学, 单纯面向语言学的语音学已不能满足当今科学研究和社会的需求。为了探讨和明确语音学的基础理论范畴, 我们提出了“语音多模态研究”的理念, 并根据近几年我们在“汉语语音多模态研究”方面的实践, 希望与大家共同探讨语音学的理论范畴。

1.3 多元化语音学研究

除了面向语言学的语音学研究领域外,我国的现代语音学研究已经进入了许多相关的科学领域,例如,语音工程、语音病理、司法语音、声乐教学、播音教学等。语音学在和相关学科结合后,研究对象有了很大的扩展。语音学研究对象的扩展,一方面反映了社会发展的需求,同时,也对语音学的研究范畴提出了新的要求。为了更好地划分和明确语音学的研究范畴,我们在语音学研究的对象方面提出了“多元化语音学研究”的思路,以期能够和大家一同探讨。

2 北大语音乐律研究

北大语音乐律研究经过八十年的发展已有了一定的规模,本节主要从1)实验室基础设备、2)语音乐律研究分析平台、3)语音多模态数据库三个方面简单介绍一下我们的研究条件和研究基础。

2.1 实验室基础设备

在北大 985 项目的支持下,从 2003 年开始逐步购买了一些先进的仪器,主要有:1)美国 KAY 公司的计算机语音工作站 3700,其选件有:语音合成分析选件 ASL、多维嗓音分析选件 MDVP、实时声门阻抗分析选件 EGG、音域分析软件、语音教学选件等;2)澳大利亚 ADI 公司的肌电脑电仪,其硬件包括肌电脑电采集器和生物电放大器;3)美国 KAY 公司的声门阻抗信号采集器;4)美国 UCLA 的气流气压计;5)英国产电子腭位仪;6)高质量的录音室、录音设备和录像设备。设备基本能够满足语音学基本的研究。

2.2 语音乐律信号分析平台

国外的语音学仪器一般只随机带有信号的采集软件和简单的分析软件,无法进行信号的参数提取和深入研究。为了使这些语音仪器能用于研究,我们逐步建立了自己的语音乐律分析平台,它主要有:1)语音声学信号分析系统,该系统具有自己的文件格式和用于语音学及言语工程目的的标注方法;2)X 光动态声道分析系统,具有图像处理、声道截面积计算和共振峰推算功能;3)动态声门分析系统,具有处理高速

数字图像、声门参数提取和嗓音生理合成的功能;4)基于呼吸信号的韵律分析系统,具有提取呼吸重置、基频和嗓音参数的功能;5)电子腭位信号分析系统,能将电子腭位参数和声学参数结合起来分析;6)语音唇形分析系统,主要提取唇的外轮廓和内轮廓的参数功能,并能和语音声学参数结合起来进行分析;7)语音共振峰参数合成系统,主要是模拟声道进行语音合成;8)气流气压信号分析系统,提取气流、气压、鼻流等参数。这些分析系统的逐步建立和完善,从软件上为语音乐律的研究提供了基本的条件。

2.3 语音多模态数据库

根据现有的仪器设备,我们围绕语音多模态研究建立了汉语普通话多模态数据库和相关语音数据库,主要用于语音学的科研和教学。这些数据主要包括:1)汉语普通话单音节库;2)汉语普通话嗓音库;3)汉语普通话 EGG 信号库;4)汉语普通话词汇视频库;5)汉语普通话动态声道库;6)汉语普通话电子腭位数据库;7)汉语普通话病理语音库,目前只有听障儿童语音库;8)声乐音库包括民族唱法头部和胸部共鸣信号库、标准元音头部共鸣信号库、呼麦声乐样本和日本“能乐”样本;9)特殊音库,主要有腹语样本和藏传佛教密宗诵经样本。

3 语音多模态研究

语音多模态研究主要是指对某种语音进行语言学、语音学、语音声学和语音生理学的全方位研究。在理论上,注重语音产生理论的研究和语音共性的研究。在方法上,尽可能采用声学、生理、心理学的研究方法采集各种声学和生理信号,如语音声学信号、生理信号和心理信号等。下面从 1)汉语普通话动态声道研究、2)动态声门研究、3)声学与电子腭位图谱研究、4)汉语普通话发声模型研究、5)基于呼吸信号的韵律研究、6)基于声门阻抗信号的嗓音模型研究几个方面介绍我们有关语音多模态研究的基本理念。

3.1 汉语普通话动态声道研究

在语音学研究中,动态声道研究是一项最有价值的研究。在早期的语音学研究中,人们就开

始了基于 X 光的声道研究,但由于 X 光对人体有一定的伤害,因此,样本采集非常慎重,X 光的动态声道研究也局限在较小的范围内。虽然研究规模小,但由于涉及到言语产生的最根本问题,其研究的成果具有很高的学术价值。随着技术的进步,CT 和核磁共振技术都有了很大的发展,声道图像信号已经从二维图像发展到了三维立体图像,大大促进了声道的语音学研究。

目前我们利用汉语普通话的 X 光动态声道资料对汉语语音产生的各个方面进行初步的研究。研究主要分为:动态声道检测、声道截面积到共振峰的推算和动态声道的生理模型研究三个方面(汪高武等,2007)。另外,我们正在利用核磁共振采集汉语普通话基本元音的三维立体声道样本。同时,也正在和日本尖端科技大学党建武教授合作,采集动态核磁共振的声道数据,深入进行汉语普通话语音产生的生理模型研究。动态声道的研究除了可以解释语音学的许多理论问题外,其研究成果会大大促进言语工程和言语病理的研究和实际应用。另外,动态声道的基本资料可以用来制作语音多媒体教学系统,用于汉语普通话的语音教学,特别是聋哑儿童的语音康复训练。

3.2 动态声门研究

语音学将语音的产生分为调音和发声两个部分,调音的生理活动是通过动态声道来研究的,但对于语音声源的生理活动一直研究得很少。现在除了通过声学信号外,研究声带振动最先进的方法是声带高速数字成像技术。通过与东京大学言语生理系和香港大学言语听觉科学研究部的合作,我们对常见的发声类型和汉语普通话四声的声带振动方式进行了研究(孔江平,2001),在研究过程中建立了高速数字成像的分析系统。研究主要是先对声门录像进行图像处理,然后提取出动态声门的各项参数,研究这些参数和语音声学参数之间的关系,最终利用生理参数建立一个嗓音生理模型,合成出不同发声类型的声源。动态声门研究使我们能够更好地认识语音发声的生理机制、语音发声的微观运动、各种发声类型的特性以及和语音声学信号的关系,使我们更好地认识语音发声的原理和在语言交

际中的作用。

3.3 声学与电子腭位图谱研究

《可视语言》(Ralph K. Potter et al, 1947)一书是在出现了语图仪以后第一本全面反映英语声学特性的研究性专著和图谱,从此,语言图谱研究就成为了语音学研究的一个重要方面。汉语普通话也出版了一本语图(吴宗济,主编,1986),由于当时的技术所限,只出了宽带和窄带语图。现在信号处理技术已经有了很大的发展,提取的参数在数量上和精度上都有了很大提高。因此,语图的研究已经和声学及生理参数数据库结合在了一起,研究的内容和目的都有了很大的变化,其重要性也越来越凸显。

现在研究声学图谱和数据库,首先要考虑研究的目的。众所周知,语音学研究现在和其它学科的交叉已经越来越大,因此,语音学的研究也要考虑其它学科的用途,在图谱和数据库的设计上不仅仅要满足语音学研究的需要,也要满足语音工程、语音病理等各个学科的需要。我们在汉语普通话的图谱制作和数据库建立方面主要考虑了一个原则,即声学数据的集合是否能够合成回语音波形。如果能较好地合成语音,则表明主要信息完全保留,没有太多的损失,这样就可以满足不同学科的研究需求。

3.4 汉语普通话发声模型研究

汉语普通话发声的声学模型研究一直是我们的重点,通过国家自然科学基金的多个项目支持,实验室建立起了一个由八个年龄段共 800 人的汉语普通话嗓音数据库,并对这 800 人的嗓音进行了声学研究。研究主要是提取常用的声学参数,如基频、基频抖动、振幅抖动、开商、速度商、嗓音的谱倾斜率等,然后利用这些参数建立汉语普通话嗓音的统计模型。例如,高中年龄段的平均基频要低于大学年龄段的基频;又如,幼儿园年龄段的基频男女已经开始有了微小的差别等。根据这些基本的特性,我们最近的研究主要集中在建立汉语普通话单音节声调和双音节声调的嗓音声学模型上(Kong jiangping, 1998, 2004),这些研究主要是为嗓音感知和嗓音的参数合成奠定基础。

3.5 基于呼吸信号的韵律研究

汉语是声调语言,同时又有丰富和多变的韵律特征。目前国内大部分的研究主要是利用基频、音长和振幅等几个声学参数进行研究,并取得了很好的成果。然而,韵律是复杂的言语活动,对汉语韵律的研究采用新的生理信号和利用新的方法是非常必要的。从这个角度来考虑语音韵律研究的发展,我们购置了能够采集呼吸信号的仪器,结合呼吸、嗓音和声学三种基本信号来研究汉语普通话的韵律规律。

目前我们建立了一个基于呼吸信号的汉语普通话韵律数据库,数据库包括了不同的汉语文体,如五言七言诗、宋词、散文、小说和新闻。同步采集的信号有语音信号、呼吸信号和嗓音信号(EGG)。从这些信号中可以提取出基频、音长、振幅、开商、速度商、语音重置最大值和最小值、重置时间、重置覆盖时长等参数。研究表明汉语普通话呼吸重置有许多类型,在呼吸信号的强度上至少有三级重置,它们和韵律都有密切关系。另外,还可以确定,在言语交际过程中,呼吸和不同的文体、说话人的风格以及情感都有密切的关系。从呼吸信号本身来看,它对汉语普通话的语音教学和朗读等都有实际应用价值。

3.6 汉语普通话多维嗓音分析

嗓音的声学研究包括许多方面,多维嗓音分析主要是面向语音病理的研究。在自然科学基金的资助下,我们对汉语、藏语、彝语和蒙语做了多维嗓音分析(Kong Jiangping, 1999, 2000; 孔江平, 2001b)。研究结果表明,不同语言的嗓音特性有较大差异,这说明了嗓音发声对语言的重要性,也说明了不同语言在使用自己特有的发声类型。

目前,我们正在使用 KAY 的多维嗓音分析软件,分析汉语普通话 800 人的嗓音样本。这项研究的主要目的是按年龄段和性别建立汉语普通话发音人的基本声学和生理参数数据库,多维嗓音参数共有三十二个。根据这些参数,希望最终能建立标准汉语音声学模型和嗓音生理模型。

4 多元化语音学研究

多元化语音学研究主要是指对各个不同科学领域中的语音学问题进行的研究。下面从 1)

侗台语声调的声学研究、2) 藏语声调起源的研究、3) 语音病理研究、4) 声乐语音学研究、5) 腹语的语音学研究、6) 诵经的发声研究几个方面介绍一下我们有关多元化语音学研究和教学的思路。希望在语音学研究对象的范畴上进行一些探讨。

4.1 侗台语声调声学研究

面向语言学的语音学研究是语音学基础理论的来源,对汉语、汉语方言和民族语言的语音进行研究是我们的基础。除了汉语语音多模态研究外,目前我们正在进行的一项研究是侗台语声调的声学研究。研究主要是从调类出发,研究我国境内主要侗台语单音节和双音节声调的声学性质。

我们研究的侗台语包括:武鸣壮语、龙洲壮语(李洪彦等, 2006)、德宏傣语、西双版纳傣语、莫语、临高语、榕江侗语、拉珈语、毛南语、仡佬语、水语、标语(谭晶晶等, 2006)、仡佬语、佯黄语、加茂黎语。从这些侗台语声调声学研究的结果看,侗台语声调有很多自己的特点,如,单音节声调数量较多,调类之间有明确的对应关系,声调和声母及韵母有互补分布关系,声调分舒声和促声。侗台语的双音节声调组合数量一般都很大,但个别组合不一定能找到实际的词。这些组合中,有的会产生变调现象。由于侗台语声调和音节结构有复杂的关系,同时具有大量的双音节组合形式,因此,侗台语声调的音位负担在汉藏语声调中有极其特殊的性质,是汉藏语声调理论研究的一个重要方面。

4.2 藏语声调起源的研究

历史语言学主要研究不同语言和方言之间的语音对应规律,包括历史文献的资料和活的语言及方言的资料,这些资料实际上也包括了语言接触对音变的影响。因此,怎样从语音学的角度来看待历史语言学的研究是语音学研究的一个非常重要的方面(孔江平, 2006)。在这个方向上,我们主要开展了针对藏语声调起源的语音学研究。

藏语是汉藏语系中一个重要的语言,也是我国一个使用人口较多和分布较广的民族语言。藏语有自己的传统文字,大约创立于公元七世纪。从藏

文上看,历史上的藏语有 200 多个声母。其中大部分是复辅音声母,从现代藏语方言的语音上看,安多藏语保留有几十个到一百多个不等的声母,没有声调,只有所谓的“习惯调”。同时,康方言和卫藏方言都有声调,但数量不同。研究表明,安多藏语的音调根据声母的清浊有一定的分化。藏语康方言中,有些单音节和双音节声调不是很稳定。另外,藏语音节和声调在整个音位系统的分布上也都有明显的特点。藏语语音方言上的这种分布,为研究藏语声调的产生和发展提供了活的资料,也使我们从语音学的角度研究藏语声调的产生和起源过程成为可能。

4.3 语音病理研究

在我国约有听力残疾者 2004 万,每年有 3 万新生听障儿童,因此,从语音学的角度研究听障儿童的语音习得和言语康复有重要的学术价值和实际应用意义。近几年我们研究了北京中国儿童康复中心部分听障儿童单音节声调和双音节声调的获得情况,研究包括佩戴助听器的听障儿童和植入人工耳蜗听障儿童的声调获得。研究结果表明,佩戴助听器儿童的声调获得要好于植入人工耳蜗儿童的声调获得(李洪彦, 2007)。系统的研究不仅解释了语音获得的一些语音学问题,而且为听障儿童的语音康复提供了教学上的依据。同时,也对人工耳蜗在技术上的改进提出了新的要求。

4.4 声乐语音学研究

歌唱是人们言语交际的一种特殊方式,在我国许多民族都有对歌的习俗。它除了具有言语交际的功能外,在情感的表达上更为丰富。从声学的角度看,唱歌时声音可以很大,这样可以传得更远,延长了交际的距离。由于歌唱更注重情感的表达,因此,在歌唱时会用更为复杂的发声方式和调音方法,这为语音学研究提供了更为丰富的研究内容。

我国从声学和语音学的角度研究声乐的人比较少,而需要研究的声乐领域却十分广阔。我国有大量的戏曲,如昆曲、京剧以及各种地方戏等,同时还有大量的不同民族的民歌,这些戏曲和民歌具有丰富多变的发声方法。近几年,我们主要进行了民族唱法头部共鸣和胸部共鸣的研

究(钱一凡, 2007)。同时,也对标准元音头部共鸣进行了研究,找出了不同元音在头部不同部位共鸣的强弱程度(孔江平, 2007)。另外,我们还正在研究蒙古族的“呼麦”和日本的“能乐”。呼麦是蒙古族一种独特的演唱形式,根据我们的研究,呼麦至少有九种基本的演唱方法,有的是运用不同的发声方式,有的是运用不同的调音方式,或者两者结合,它是一种具有奇特表现力的艺术形式。能乐是从中国传入日本的一种戏剧,在日本得到了发展,它使用一种低音调发声类型演唱,具有很独特的艺术风格。

4.5 腹语的语音学研究

腹语是一种独特的舞台言语表演艺术,表演者在操纵木偶的同时,唇型不动,同时能模仿出不同人的发音。腹语研究的意义在于,它完全采用代偿性发音来表演。代偿性发音主要是言语有残疾的儿童,如腭裂儿童,在言语学习过程中形成的发音方法。而腹语是一整套系统的代偿性发音,研究腹语不仅能使我们更好地了解这种言语艺术,而且还能充分认识人类发音器官的潜在能力,为言语儿童康复提供训练的方法。

我们对一名特殊的腹语者的语音进行了研究。这名腹语者是闭着嘴说话,从初步的研究看,气流是从嘴角挤出,元音共振峰的模式大多能区分,整个舌的运动靠后,辅音主要靠舌尖调节。由于闭着嘴,整个音调比正常说话要高,声调模式和正常没有区别。

4.6 诵经的发声研究

在我国,佛教和藏传佛教的诵经都会使用特别的发声类型来营造虔诚的气氛和达到震撼心灵的效果。根据我们的调查,在藏传佛教中,这种诵经要从小经历严格训练才能学会。我们调查了一些藏传佛教的诵经,声学分析表明,诵经样本的基频并不是很低,大约在 80 赫兹左右,但在听感上却很低。从共振峰上看,诵经在高频段有很强的峰值,类似于歌唱共振峰。因此,诵经的发声类型和共振峰结构都很复杂,这些现象还需要进一步研究。另外,诵经时往往会采用两三个人和声的方式,和声能造成基频的差频,从而出现一个更低的基频,这种高能量的低频声音往往能造成人们心灵上的共鸣和震撼。近几年情

感语音的研究越来越受到重视, 诵经在发声和调音方面的技巧很值得研究。

5 结语

中国的现代语音学研究从刘复先生在北大建立语音乐律实验室起已走过了 80 多年的历程, 随着技术的进步和研究的深入, 语音学和其它学科在研究方法和内容上越来越交叉, 研究的领域也在不断融合。在这种情况下我们有必要从理论上、方法上和研究对象上对语音学的学科范畴进行讨论和界定, 这种讨论和界定将会十分有利于现代语音学的发展和进步, 从而推动我国的语音学理论和应用的研究。

“语音多模态研究”是随着科学的发展, 在语音学采用了大量其它相关科学研究方法和基础理论的情况下发展出来的。另一方面, 语音多模态研究的发展也反映出了社会对语音学提出了新的要求。虽然许多不同学科的学者都在进行语音多模态的研究, 但研究目的不尽相同。语音学的学科范畴应该限定在研究语音的交际功能及内在规律方面。因此, 我们认为“语音多模态研究”主要是从研究方法和基础理论上探讨语音学的学科范畴。虽然现在很难将语音学的学科范畴界定得很清楚, 但大的范畴应该明确, 这将有利于学科的发展。

“多元化语音学研究”是从研究对象和研究领域上来探讨和扩展语音学的研究及应用范畴。从我国具体的情况看, 许多领域十分需要语音学的研究。如, 聋哑儿童的语音研究和语音康复研究、民族声乐中的语音研究、特殊语音的研究等。目前, 我国语音的多元化研究还十分薄弱, 有许多空白, 需要大力发展, 这对我们的研究生教育也提出了新的要求。总之, 我们希望通过讨论, 能更加明确语音学的学科范畴和研究领域, 推动中国语音学的发展。

参考文献

- [1]孔江平, 2001, 《论语言发声》, 民族大学出版社
[2]孔江平, 2006, 现代语音学研究与历史语言学, 《北京大学学报》, 哲学社会科学版, 第 43 卷, 第 2 期, 北京大学出版社
[3]孔江平, 2007, 标准元音头部共鸣声学研究, 第七届

- 中国语音学学术会议论文集(电子版)
[4]李洪彦 蓝庆元 孔江平, 壮语龙州话声调的声学分析, 《民族语文》, 2006 年第 6 期, 商务印书馆
[5]李洪彦, 2007, 听障儿童普通话声调获得研究, 北大研究生论文
[6]刘复, 1924, 《四声实验录》, 上海群艺出版社
[7]钱一凡, 2007, 民歌男高音共鸣的实验研究, 第七届中国语音学学术会议论文集(电子版)
[8]谭晶晶, 孔江平, 2006, 广东诗洞标话双音节连字调的音系研究, 《语言学论丛》, 第三十四辑, 商务印书馆
[9]汪高武, 孔江平, 鲍怀翘, 2007, 从声道形状推导普通话元音共振峰, 第七届中国语音学学术会议论文集(电子版)
[9]周殿福, 吴宗济, 1963, 《普通话发音图谱》, 商务印书馆
[10]吴宗济, 主编, 1986, 《汉语普通话单音节语图册》, 北京, 中国社会科学出版社
[11]G. Fant, H. Fujisaki, J. Cao, Y. Xu, 2004, From
[12]Traditional Phonology to Modern Speech Processing, 语音学与言语处理前沿, 外文教学与研究出版社
[13]Kong Jiangping, 1998, Egg Model of Diatonics in Mandarin, Proceedings of 5th International Conference on Spoken Language Processing. Tu5P16, Sydney, Australia.
[14]Kong Jiangping, 1999, Correlation and Classification Study on EGG Parameters of Mongolian, Proceedings of 4th National Conference on Modern Phonetics, Jiancheng Publishing House.
[15]Kong Jiangping, 2001a, Study on Dynamic Glottis through High-Speed Digital Imaging, PhD. Dissertation at the Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong
[16]Kong Jiangping, 2004, “Phonation Patterns of Tone and Diatone in Mandarin”, From Traditional Phonology to Modern Speech Processing, edited by G. Fant, H. Fujisaki, J. Cao, Y. Xu
[17]Kong Jiangping, Shen Mixia, Chen Jiayuou and Caodao Bater, 2000, Correlation and Classification Study on EGG Parameters of Tibetan, A collected Essays for the Technology of Man-Machine Speech Communication, Tsinghua university Publishing House.
[18]Ralph K. Potter, George A. Kopp, Harriet C. Green, 1947, Visible Speech, D.Van Nostrand Company, INC. New York
[19]William J. Hardcastle, John Laver, 1997, The Handbook of Phonetic Sciences, Blackwell Publishers