

修改語音基頻曲線與低通濾波處理影響 聽障學生國語聲調聽辨成效之研究

郭俊弘

高雄市愛群國小不分類資源班教師

劉惠美

臺灣師範大學特教系副教授

黃桂君

高雄師範大學特教系教授

王小川

清華大學電機工程系教授

曹峰銘

臺灣大學心理系副教授

本研究旨在透過電腦，採用擴大語音基頻曲線與低通濾波處理兩種方法，將語音訊號修改成「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」六種方式，並分析聽障學生透過六種方式聽辨國語聲調的差異及錯誤類型。研究對象為 26 名中重度聽力損失且配戴助聽器的國小高年級與國中學生。本研究主要結果如下：一、藉由擴大語音基頻曲線與低通濾波處理兩種方法，能顯著地提升聽障學生的國語聲調聽辨表現。二、六種電腦語音修改方式下，聽障學生均對於第四聲最容易聽辨，最難聽辨之聲調則因不同電腦語音修改方式而有所差異。主要的聲調聽辨錯誤類型為第一聲混淆為第二聲；第二聲混淆為第三聲；第三聲混淆為第二聲或第四聲；第四聲混淆為第一聲。最後提出有關利用電腦語音修改系統進行聽障學生聲調教學與未來研究之建議。

關鍵詞：電腦語音修改、聽障學生、國語聲調、擴大語音基頻曲線、低通濾波

結論

一、研究動機

聽障學生由於缺乏聽覺管道的回饋，限制了語音訊息的接收，使其不易瞭解聲音所代表的意義（李芃娟，1998；林寶貴，2006；張文輝、江源泉、王德馨，2003），進而無法覺知聲調的變化造成聲調聽辨錯誤。不同的聲調具有相異的基頻（fundamental frequency）、音長（duration）與振幅，但因無明顯的視覺動作差異，無法藉由說話者唇形與舌頭動作進行判斷，使得聽障學生聽辨倍時感困難。多數研究發現（王麗雪，2005；邱紫容，2000；趙育綾，2007；歐菁妮，2002），聽障學生對於聽辨國語（Mandarin）聲調有所困難，聽力損失在中度以上的聽障學生，即使配戴助聽輔具或是人工電子耳，仍受限於放大頻率與語音清晰度無法兼顧，對於聲調聽辨無明顯助益（張小芬，2007b；張蓓莉，1997；張淑品，1999；Christensen, 1985; Lee, Chang, & Chiang, 2006）。

語調聽覺法使用聽輔儀（System Universal Verbotonal Audition Guberina）過濾特定範圍的語音頻率，在教學上具有良好成效，但由於儀器昂貴以及教材編輯複雜，因此推展不易（陳小娟、林淑玟，1993）。而拜語音處理技術日趨進步所賜，利用電腦進行語音閾值與語音聽辨能力的量測與教學，已逐漸應用於聽障學生的語言學習（黃佩芬、黃桂君、王小川、劉惠美，2006）。雖然，國外早已將電腦語音處理技術廣泛應用於聽障學生的語言學習研究，但較少應用於聲調聽辨方面。至於國內在電腦語音處理技術方面，則多著重於軟體系統的開發與功能檢測，亦缺乏聲調聽辨方面之研究。

整體觀之，目前國內尚無利用電腦語音處理技術來調整語音訊號各項參數，並應用於聽障學生聲調聽辨之研究。而由於語音訊號所攜

帶的聲調訊息多半存在於基頻當中（Fu, Zeng, Shannon, & Soli, 1998; Tseng, 1990），相關研究也發現基頻曲線（pitch contour）的變化對聲調聽辨具重要影響（Apoux, Tribut, Debrulle, & Lorenzi, 2004; Liang, 1963; Liu & Samuel, 2004; Tseng, 1990）。藉由國外研究可發現，透過調整語音訊號參數的方式，能有效增進語音覺知與聽辨的能力（Langhans & Strube, 1982; Picheny, Durlach, & Braida, 1986）。而透過調整語音訊號參數方式，改變語音訊號所攜帶的聲調訊息，或許也能改善聽障學生對於國語聲調的聽辨能力。但是，目前透過電腦語音處理技術調整基頻曲線，並應用於聲調聽辨之研究極少。故藉由電腦語音修改系統調整語音訊號所攜帶的聲調訊息，是否能輔助聽障學生對於聲調的聽辨，此乃本研究所關切之重點。

因此，經由電腦化系統的設計，本研究將採「語音聽力檢測系統」和「語音修改系統」兩套軟體（王小川，2005，2008）所組成之電腦語音修改系統，利用設計濾波器組與修改基頻範圍之功能，進行調整正常語音訊號與經濾波處理之語音信號的基頻曲線範圍，探究對於改善聽障學生聲調訊息覺知能力之成效。

二、研究目的與研究問題

本研究主要目的是探討藉由不同電腦語音修改方式，包括「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」等，對於輔助聽障學生國語聲調聽辨之成效。根據研究目的，本研究欲探討之問題為：

（一）比較聽障學生在六種電腦語音修改方式與國語四個聲調，對於國語聲調聽辨作業之表現是否具有差異？

（二）聽障學生在六種電腦語音修改方式，國語聲調聽辨作業的正確率及錯誤類型為何？

三、名詞釋義

(一) 電腦語音修改系統

本研究所指的「電腦語音修改系統」，係由清華大學電機工程學系語音與音訊實驗室所研發之「語音聽力檢測系統」和「語音修改系統」兩套軟體（王小川，2005，2008）。「語音聽力檢測系統」提供各種聽力相關檢測以及設計濾波器組，可針對語音訊號進行特定頻率範圍的濾除。「語音修改系統」能在時域與頻域上改變聲學特性，包括語音的頻率、音長和振幅。

(二) 聽障學生

本研究之「聽障學生」係指經台南縣市、高雄市及屏東縣教育局鑑定安置輔導委員會鑑定通過，安置於國中小不分類資源班、啟聰資源班、集中式啟聰班與啟聰學校，其優耳聽力損失在 70dB 到 100dB 之間，排除配戴人工電子耳或兼有其他障礙之聽障學生。

(三) 國語聲調聽辨

本研究之「聽辨能力」係指研究對象聽取研究者所自編之「國語聲調聽辨作業」後，對其所聽到之語音聲調的指認反應。

文獻探討

一、國語聲調聲學特質

國語是一種具有音調涵義的語言，每個中文字均有其聲調。傳統的國語聲調為「平」、「上」、「去」、「入」，現代則分為「陰平」、「陽平」、「上」、「去」四種，多以「第一聲」、「第二聲」、「第三聲」、「第四聲」稱之（翁秀民、楊正宏，1997；國立臺灣師範大學國音教材編輯委員會，2007）。國語依靠聲調來傳遞語意，相同字詞會因為聲調差異而產生不同意義，因此是國語當中不可或缺的重要部分（國立臺灣師範大學國音教材編輯委員會，

2007；鄭靜宜，2003，2004）。

聲調主要由音高和音長所構成，依照音高升降變化，可分為平調（level tone）及曲折調（contour tone）兩種（鍾榮富，2007）。基頻帶有許多與聲調相關之訊息，因此是聽辨聲調最主要的線索依據（Fu et al., 1998; Tseng, 1990）。對聲調的聽知覺判斷，主要是依據基頻曲線的起始頻率、首次下降及轉折時間點三項聲學特徵（Shen & Lin, 1991）。除了基頻外，音長和振幅對於聲調的聽辨也有所影響（翁秀民、楊正宏，1997；Tseng, 1990）。相關研究指出（Liu, Tsao, & Kuhl, 2007; Tseng, 1990），國語聲調當中以第三聲的音長為最長，但也有研究發現第三聲的音長並非最長（Fon, Chiang, & Cheung, 2004; Shih, 1988，引自黃良喜，2009）。之所以有不一致的結論，可能是因為所使用的語音材料與型態不同而造成。由此也顯示出，聲調的音長並非聽辨第二、三聲的主要線索，基頻曲線的走勢和轉折情形，才是主要的聽辨依據。國語第二、三聲的基頻變化均為先降後升的走勢，分辨兩者最重要的聲學線索是基頻轉折的時間點（Moore & Jongman, 1997; Shen & Lin, 1991）。第二聲的基頻轉折點約在基頻曲線 25%到 30%之間，第三聲則在 70%到 75%間（Liu et al., 2007）。第二聲的基頻變化在前面 25%的下降部分相當短暫，使得人耳不易覺察，只能聽到後面 75%的上升部分。第三聲的基頻變化則是在前面 75%的部分持續下降，後面 25%才轉為上升，因此人耳可清楚聽到先降後升的轉折，也藉此基頻變化加上不同的音長及振幅，才能聽辨國語四個聲調的差異。

二、聽障學生聲調聽辨能力與教學

綜合相關資料發現，聽障學生對於聽辨國語聲調，以第一、四聲較佳，第二、三聲較困難，且第二、三聲彼此混淆的情形較多，顯示

對於音高相近的聲調，其聽辨明顯產生困難（王麗雪，2005；邱紫容，2000；張小芬，2007a，張蓓莉，1987，1997；趙育綾，2007；歐菁妮，2002；Barry et al., 2001）。Liu、Hsu 和 Horng（2000）發現聽損程度在輕至中度者，對聲調仍保有一定程度的覺知能力，而中度以上者則有所困難。雖然聽障學生語音接收能力比聽覺正常學生差，但輕度與中度聽障學生在利用基頻曲線訊息的能力並無明顯不足，顯示其並未喪失對基頻曲線訊息的敏銳度（Turner, Souza, & Forget, 1995）。

聲調的覺知主要依靠基頻在 300Hz 以下的變化（Moore & Jongman, 1997），雖然聽障學生可以藉由助聽輔具擴大外界聲音，但助聽輔具為了減少低頻對高頻的遮蔽效果（upward spread of masking），因此對於低頻只提供微量放大（江源泉，2006）。加上語音頻率的轉折快速且細微，極重度聽障學生需比常人較大的基頻改變，才能知覺到基頻的完整變化，進而正確聽辨聲調（Grant, 1987）。但是，即使聽損情況類似的聽障學生，也可能因為使用的助聽器種類及效能不同，間接影響聲調聽辨及學習的成效（Ching, 1990）。歐菁妮（2002）發現聽覺正常成人、學生和聽障學生對於國語聲調聽辨的覺知時間點，在單音節第一、四聲與雙音節四個聲調均只要少於二分之一個音節的語音訊號即可聽辨，單音節第二、三聲則需要大於二分之一個音節的語音訊號。另外，聽障學生對於語速較慢的語音，其聽辨表現與聽常者無明顯差別，表示在語速較慢的狀態下，語音訊號訊息較容易被完整傳遞（Fu & Shannon, 2000）。

綜上所述，影響聽障學生聲調聽辨的因素包含基頻覺知能力、語音頻率範圍、助聽器類型與效能、音長、語速等，而基頻曲線訊息是影響聽障學生聲調聽辨的主要因素。

三、利用電腦語音修改技術調整聲學線索的可應用性

從相關研究中發現（Apoux, Crouzet, & Lorenzi, 2001; Clarkson & Bahgat, 1991; Freyman & Nerbonne, 1996; Fu & Shannon, 1999, 2000; Lorenzi, Berthommier, Apoux, & Bacri, 1999; van Buuren, Festen, & Houtgast, 1999），聽障學生對於低頻率部分被濾除的語音之覺知情形，明顯比高頻率部分被濾除要來的差，而且語音的低頻率被保留下來時，經過處理後的語音都仍保有基本的聲學訊息及語音清晰度。但是在何種頻率範圍下，對於保留語音訊息的完整性能達到最理想的狀態，迄今尚未有確切且一致的研究證據（Knoll, Uther, & Costall, 2009）。不過，大多數的相關研究均採用 650Hz 以下的頻率範圍來進行實驗，尤其語音頻率範圍在 500Hz 以下，能較完整傳遞語音聲學特性以及女性成人的基頻訊息（Fu & Shannon, 1998; Kramer, 1964; Spence & Freeman, 1996）。

Knoll 等人（2009）發現聽覺正常成人在不同低通濾波頻率下，對於語言情緒的覺知情形，均以基頻曲線範圍較大的「母親語」（infant-directed speech）為佳，而且 1000Hz 以下的低通濾波，對於語氣訊息的保留較完整，1000Hz 以上會混淆聽者對於語氣的判斷。

Schroeder 首先提出藉由擴大整體或特定語音段頻率範圍方式，可以增進聽障學生的語音聽辨能力（引自 Plomp, 1988）。後續許多以聽障學生為對象的相關研究均證實其有效性（Burk, Humes, Amos, & Strauser, 2006; Korte-kaas & Stelmachowicz, 2000; Munro & Lutman, 2005; Stelmachowicz, Pittman, Hoover, & Lewis, 2001, 2002; Versfeld, Festen, & Houtgast, 1999）。例如，Langhans 和 Strube（1982）的

研究顯示，利用該方法可增進聽障者語音聽辨表現達 30%到 40%。後續 Clarkson 和 Bahgat (1991)、Fu 和 Shannon (1999)、Lorenzi 等人 (1999)、Apoux 等人 (2001) 等多篇以聽障學生和聽常學生進行的研究，也都發現使用擴大語音頻率範圍，可以改善其語音聽辨能力。

Andrea (2008) 綜合分析多篇相關研究後發現，聽障學生在小幅度與大幅度擴大語音高頻率範圍方式下，字彙學習表現並無顯著差異。推測可能由於每篇研究均分別採用不同的語音頻率範圍，且採用不同的字彙與音素做為研究語料，致使無法彰顯大幅度擴大語音頻率範圍的成效。所以 Andrea 進一步同時採用小幅度與幅度的高頻寬兩種語音情境，分別去對應聽障學生和聽常學生的聽覺接收環境，檢驗其詞彙學習效果。結果發現，在大幅度擴大語音頻率範圍的情形下，均有較佳的詞彙學習成效。

調整聲學線索方式中最常被使用的是擴大語音頻率範圍，除了單用擴大語音頻率範圍之外，部分研究也同時加入其他聲學線索的調整，例如：擴大語音頻率範圍配合音量調整 (Narne & Vanaja, 2008)、擴大語音頻率範圍結合不同語速 (Apoux et al., 2004)。

上述多篇研究均是針對語音訊號的不同聲學線索進行調整，結果都顯示，無論對於聽常學生或是聽障學生，在語音聽辨上皆有不同的影響。尤其是透過增強聲學線索的方式，更可以改善腦皮質神經在各種頻率範圍中對於語音的覺知能力，以及改善在噪音環境中對語音的覺察 (Cunningham, Nicol, Zecker, & Kraus, 2001; Gordon-Salant, 1986; Hazan & Simpson, 1998; Picheny, Durlach, & Braid, 1985, 1986)。這樣的研究結果提供生理方面的證據來支持使用調整聲學線索的刺激，可以作為矯正有語言

學習困難學生的有效工具。

整體觀之，使用電腦語音修改技術來調整聲學線索的方式，常被應用在增強聲學線索、調整語音頻率範圍、特定語音頻率範圍濾除等層面，尤以擴大語音頻率範圍最被廣為使用，還能進一步與振幅、音長、語速等其他聲學線索的調整相互結合。由於國外透過使用擴大語音頻率範圍來改善聽障學生語音覺知的成效良好，故研究者想藉由擴大語音基頻曲線的方法，來瞭解對於聽障學生國語聲調的聽辨能力是否也具有改善成效。另外，由於聲調訊息多存在於語音訊號的低頻率當中，因此研究者也想藉由濾除語音訊號的高頻率，保留語音訊號的低頻率所帶有之基頻訊息，看是否對於聽障學生國語聲調的聽辨能力也有助益，並進一步和單獨擴大語音基頻曲線的效果進行比較。

有鑑於改變語音訊號可以協助聽障學生在語音上的學習與修正，而且使用濾波器找出最適合聽者的語音頻率範圍來進行語言訓練具有良好的成效 (陳小娟、林淑玟, 1993)，因此王小川 (2005) 設計一套能以數位信號處理 (digital signal processing) 技術來改變濾波性質的數位濾波器與濾波器組 (filter bank)。該系統藉由電腦螢幕呈現操作介面，讓使用者採雙聲道方式，直接從螢幕中設計與編輯各聲道頻帶的濾波器組。除了數位濾波器與濾波器組的設計外，王小川 (2008) 也針對聽障者的語音聲調接收，發展一套能修改語音聲調的電腦系統，利用偵測音高方式，作出可以針對語音訊號聲調進行修改的功能。只要透過系統將語音訊號的音高軌跡曲線樣式加以改變，語音訊號所產生的聲調也會隨之不同。透過數位濾波器與語音聲調修改的使用，讓語音處理技術進入數位化，對於改善聽障者的語音覺知更為簡便與適性化，將更有助於提升聽障者的語音學習成效。

研究方法

一、研究對象

聽損中度者對於一般語音之聲調覺知有困難，但使用一般的聽能或口語訓練即可在聲調聽辨上收到良好成效。而中重度與極重度聽損者，由於助聽輔具功能的限制，致使在一般語言能力上訓練成效不彰。是以本研究以中重度聽損者為研究對象，期能探討藉由擴大語音基頻曲線的方式，對於增進其聲調覺知能力之成效。本研究之研究對象篩選標準為：(一) 領有身心障礙手冊，優耳聽力損失介於 70 dB 到 100dB 間，屬於中度以上之聽障者；(二) 排除配戴人工電子耳以及兼有其他障礙之聽障者；(三) 就讀國小五年級至國中三年級；(四) 國語四聲聲調聽辨不佳（在「國語聲調聽辨作業」的「原始語音基頻曲線」方式 28 題中，聽辨正確題數在 20 題（含）以下）；(五) 能瞭解四種聲調圖示所代表之意義。

依據上述篩選標準，聯繫台南縣市、高雄縣市、屏東縣市的國中小不分類資源班、啟聰資源班、集中式啟聰班、啟聰學校，詢問是否有符合標準之學生，並確認家長意願後列入研究對象。本研究之研究對象共有 26 名，14 名男生及 12 名女生，平均年齡 13.6 歲，平均聽力損失右耳為 88dB，左耳為 89dB。

二、研究工具與實施程序

本研究所使用之研究工具包括「語音聽力檢測系統」、「語音修改系統」、「國語聲調聽辨作業」。

(一) 語音聽力檢測系統

「語音聽力檢測系統」係由清華大學電機工程學系語音與音訊實驗室所研發（王小川，2004，2005；梁峰誠，2005；黃柏凱，2005；葉向林，2004），且已實際應用於輔助聽障學生發音教學，並具有良好之成效（黃佩芬等

人，2006）。此系統提供純音聽力檢測（pure tone audiometry）、語音接受閾（speech reception threshold）檢測、最舒適響度（most comfortable loudness level）檢測，以及語音聽辨能力（speech discrimination ability）檢測等功能。使用者也可以設計一個濾波器組，針對語音訊號進行濾波處理。

(二) 語音修改系統

「語音修改系統」係由清華大學電機工程學系語音與音訊實驗室所研發（王小川，2006，2007，2008；李銘浚，2007；林典蔚，2007；郭致廷，2008；Kuo & Wang, 2008），提供語音訊號的音量調整、音長調整、音高調整，以及特定語音訊號段裁剪等功能。

(三) 國語聲調聽辨作業

「國語聲調聽辨作業」乃是研究者所自編，考量各種不同語言系統中均包含有「一」、「ㄨ」、「ㄩ」三個音素，同時希望進一步探究複韻母在電腦語音修改系統下，被聽障學生所聽辨之狀況，故採用國語「一」、「ㄨ」、「ㄩ」、「ㄛ」、「ㄝ」、「ㄞ」、「ㄟ」為測試語料。本聲調聽辨作業採一女性成人聲音，依正常念讀速度說出等七個韻母的四個聲調，共計 28 個語音。該名女性成人的語音聲學特性，包括頻率、音量和速度等，均在正常範圍，且語音清晰度佳。後續以該名女性成人之語音檔進行聲學分析，分別測量每一個韻母的開始、中間和結束位置的基頻數值，作為四個國語聲調頻率數據（表一），並將錄製好之所有語音，統一修改成音量 75dB，音長 600ms 的語音檔。接著以第一聲為範本，分別修改成「設定語音基頻曲線」、「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」五種電腦語音，每一種電腦語音修改方式的語音材料數量均為 28 個（七個韻母×四個聲調）。

「設定語音基頻曲線」與「擴大語音基頻

曲線」兩種方式是透過語音修改系統，將所錄製的 7 個第一聲原始韻母語音，分別修改為研究者參考 Tseng (1990) 的研究後，所自訂之第一、二、三、四聲頻率範圍 (表二、圖一)，以及分別擴大為研究者參考 Liu 等人 (2007) 的研究以及語音學專家之建議後，以 1.1×1.1 的相對比例增減原則，所訂定之第一、二、三、四聲頻率範圍 (表三、圖二)。「原始語音低通濾波」方式則是利用語音聽力檢測系統，設定一組 0Hz 到 500Hz 的低通濾

波器組，將所錄製 28 個的第一、二、三、四聲原始韻母語音進行低通濾波處理，濾除 500Hz 以上的語音頻率，只保留 500Hz 以下的語音頻率。「濾波設定基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式是透過語音修改系統，將「原始語音低通濾波」方式的第一聲韻母語音，分別修改為表二之第一、二、三、四聲頻率範圍，以及分別擴大為表三之第一、二、三、四聲頻率範圍 (表三、圖二)。

表一 原始語音七個國語韻母四個聲調頻率表

韻 母	聲 調			
	第一聲	第二聲	第三聲	第四聲
一	259-257-258	182-162-255	192-142-212	294-227-130
ㄨ	291-290-290	186-170-249	197-163-208	334-246-153
ㄚ	245-243-244	188-175-243	190-150-202	287-225-154
ㄛ	269-266-267	166-153-245	184-137-201	305-196-145
ㄜ	273-271-275	182-153-246	180-155-214	307-231-142
ㄝ	267-268-267	165-159-250	183-153-211	300-232-141
ㄞ	258-260-255	173-159-241	189-153-211	327-213-143

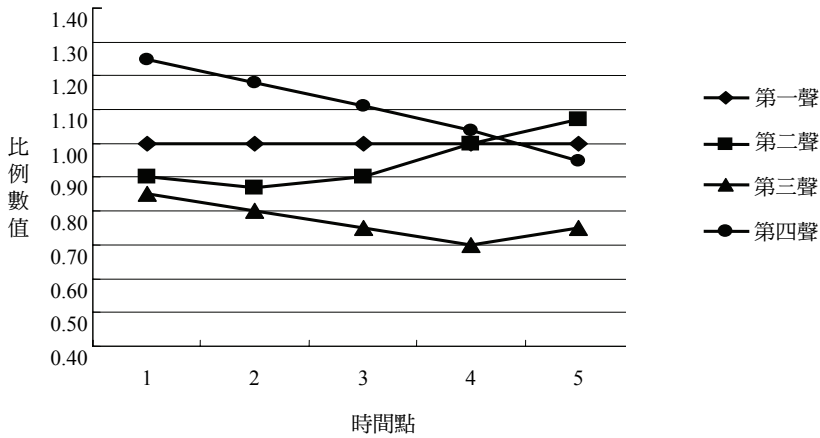
註：頻率單位為 Hz

表二 「設定語音基頻曲線」比例數據

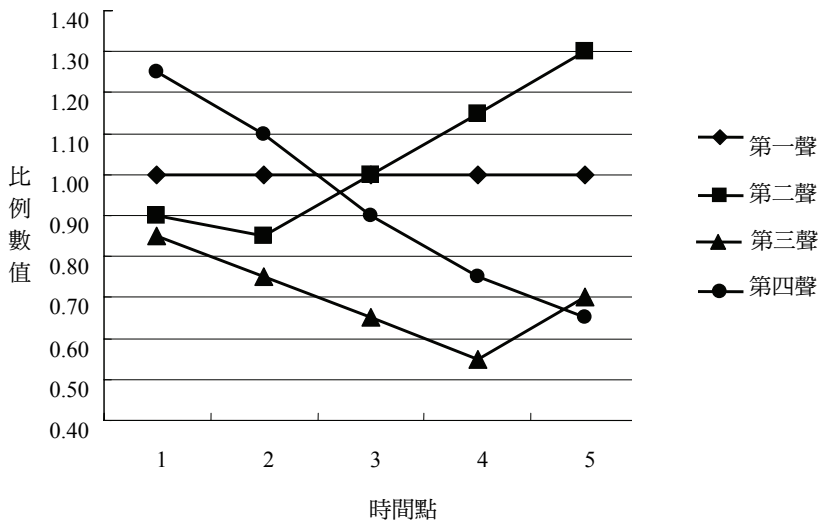
	時間點 1	時間點 2	時間點 3	時間點 4	時間點 5
第一聲	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
第二聲	0.90	0.87	0.90	1.00	1.07
第三聲	0.85	0.80	0.75	0.70	0.75
第四聲	1.25	1.18	1.11	1.04	0.95

表三 「擴大語音基頻曲線」比例數據

	時間點 1	時間點 2	時間點 3	時間點 4	時間點 5
第一聲	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
第二聲	0.90	0.85	1.00	1.15	1.30
第三聲	0.85	0.75	0.65	0.55	0.70
第四聲	1.25	1.10	0.90	0.75	0.65



圖一 「設定語音基頻曲線」比例圖



圖二 「擴大語音基頻曲線」比例圖

所有語音修改完成後，將「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」六種語音，分別透過語音聽力檢測系統加以隨機排列，並依照隨機排列順序逐一編號。施測時採一對一方式進行，按照編碼順序讓研究對象聽取語音，六種電腦語音修改方式的施測順序亦以隨機方式

編排，每位研究對象測試順序皆不同。另外，為避免研究對象對於經電腦語音修改系統處理後的語音不熟悉，研究者於每種電腦語音修改方式正式施測前，會讓研究對象聽取研究者事先採隨機選取之四個不同國語聲調的語音，同時告訴研究對象目前所聽取的語音聲調為第幾聲，以達熟悉該類型語音型態之目的。另外，研究者繪製四個國語聲調圖示（一、ˊ、ˇ、ˋ、

、)，並透過語音聽力檢測系統於每次研究對象在聽取測試語音後，隨機呈現四個國語聲調圖示的排列順序，要求研究對象用滑鼠點出國語聲調圖示，來表示所聽到的國語聲調。

施測地點選擇安靜不受外界聲音干擾的教室，環境噪音值介於 60dB 以下，並使用音量計測量。正式施測前向研究對象說明施測進行方式，為確認研究對象真正瞭解施測進行方式，先請研究對象裸耳戴上耳機（PHILIPS，型號 SHP2000 全罩式立體聲耳機），然後隨機選擇語音讓研究對象聽取，並要求用滑鼠點出所聽到的國語聲調圖示。若所點選之語音聲調圖示錯誤，則讓其再次聽取語音，並告知該語音的正確國語聲調，之後再隨機選擇語音讓其聽取，並要求用滑鼠點出所聽到的國語聲調圖示，直至連續三個語音聽辨正確為止。施測過程中耳機輸出音量均統一設定在 100dB，並使用音量計進行量測。確認研究對象瞭解施測進行方式後，由研究者依序讓研究對象聽取語音，並要求用滑鼠點出所聽到的國語聲調圖示，待點選完畢才聽取下一個語音。施測過程中研究者不給予研究對象任何物質、口頭或肢體回饋。另外，研究對象在六種電腦語音修改方式下，所有語音均聽辨完成後才結束施測，中途並未給予休息時間。

研究者於正式實驗前，先以六年級男性聽常學生與男性聽障學生各一名進行預試，以評估正式研究的可行性與施測過程所需注意之層面。而同意參與正式研究之研究對象原為 30 名，但測試過程中，發現 2 名研究對象在「國語聲調聽辨作業」的「原始語音基頻曲線」方式中，國語聲調聽辨表現幾乎完全正確，另有 2 名研究對象以隨意猜測方式作答，故排除此 4 名研究對象。每位研究對象均在同一次測試中完成所有的語音聲調聽辨，全部施測時間約需 40 分鐘，且每位研究對象均依固定流程接受測試。

三、資料分析

本研究欲瞭解聽障學生在不同電腦語音修改方式與國語四個聲調，對於聲調聽辨作業的表現是否具有差異。加上使用 *Kappa* 一致性係數有校正期望的隨機一致性比率之影響，可排除隨機歸類機率，獲得正確的歸類比例（余坡莉，2007；吳裕益，2007；崔懷芝，2009），故本研究之資料分析方式詳述如下：

一、利用重複量數二因子變異數分析，分析研究對象在六種電腦語音修改方式與國語四個聲調，對於國語聲調聽辨作業之表現是否有顯著差異，以回答研究問題（一）。

二、依據研究對象實際在六種電腦語音修改方式，國語聲調聽辨作業之聽辨正確率，並以 *Kappa* 係數表示排除隨機歸類機率後，能提升研究對象聲調聽辨正確比例，以及說明四個聲調的聽辨錯誤類型，以回答研究問題（二）。

結果與討論

一、聽障學生透過不同電腦語音修改方式國語聲調聽辨之差異

為比較聽障學生在六種電腦語音修改方式與國語四個聲調，對於國語聲調聽辨作業的表現是否有顯著差異，研究者根據 26 名受試國語聲調聽辨作業聽辨之結果，進行重複量數二因子變異數分析，分析結果如表四。

根據表四的結果顯示，電腦語音修改方式與國語聲調類型交互作用具有顯著差異（ $F=4.08$ ， $p<.001$ ），故研究者進一步考驗電腦語音修改方式與國語聲調類型對於國語聲調聽辨作業的單純主要效果並校正其錯誤率，使其犯第一類型錯誤的總和不超過原來族屬 .05 的錯誤率，考驗結果如表五。

表四 聽障學生電腦語音修改方式及國語聲調類型國語聲調聽辨之重複量數二因子變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F 值
受試者間 (S)	862.63	25	34.51	
受試者內	1619.29	598		
語音修改方式 (A)	296.41	5	59.28	38.37***
殘差 (A×S)	193.13	125	1.55	
聲調類型 (B)	186.27	3	62.09	16.84***
殘差 (B×S)	276.52	75	3.69	
交互作用 (A×B)	93.58	15	6.24	4.08***
殘差 (AB×S)	573.38	375	1.53	
全 體	2481.92	623		

*** $p < .001$

表五 聽障學生電腦語音修改方式與國語聲調類型交互作用之單純主要效果分析摘要表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F 值	事後比較結果
電腦語音修改方式					
在第一聲	59.80	5	11.96	7.36*	3 > 1、2、4、5、6； 6 > 2
在第二聲	63.36	5	12.67	8.74*	3 > 1、2、4、5、6； 6 > 1、2、4、5
在第三聲	155.65	5	31.13	22.00*	2 > 1、4； 3 > 1、2、4、5； 6 > 1、2、4、5； 5 > 1
在第四聲	111.19	5	22.24	13.54*	1 > 2、5； 3 > 1、2、4、5； 6 > 2、5
國語聲調類型					
在原始語音基頻曲線方式	127.49	3	42.50	17.39*	一聲 > 二、三聲； 二聲 > 三聲； 四聲 > 一、二、三聲
在設定語音基頻曲線方式	5.18	3	1.73	1.00	
在擴大語音基頻曲線方式	26.00	3	8.67	8.73*	一聲 > 二、三聲； 四聲 > 一、二、三聲
在原始語音低通濾波方式	93.89	3	31.30	12.96*	一聲 > 三聲； 四聲 > 一、二、三聲
在濾波設定基頻曲線方式	11.26	3	3.75	1.43	
在濾波擴大基頻曲線方式	16.04	3	5.35	4.72*	四聲 > 一、二、三聲

* $p < .05$

註：事後比較結果欄位中，1 代表原始語音基頻曲線方式、2 代表設定語音基頻曲線方式、3 代表擴大語音基頻曲線方式、4 代表原始語音低通濾波方式、5 代表濾波設定基頻曲線方式、6 代表濾波擴大基頻曲線方式

(一) 第一聲

由表五的結果可知，在電腦語音修改方式的單純主要考驗效果中，聽障學生在不同電腦語音修改方式，聽辨第一聲之得分具有顯著差異 ($F=7.36, p<.001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，在「擴大語音基頻曲線」方式之得分均顯著高於其他五種電腦語音修改方式，且均達.05 顯著水準，表示聽障學生第一聲的聽辨表現以在「擴大語音基頻曲線」方式最佳。而「濾波擴大基頻曲線」方式之得分也顯著高於「設定語音基頻曲線」方式之得分，且達.05 顯著水準。亦即，聽障學生第一聲的聽辨表現，在「濾波擴大基頻曲線」方式比在「設定語音基頻曲線」方式佳。

(二) 第二聲

聽障學生在不同電腦語音修改方式，聽辨第二聲之得分具有顯著差異 ($F=8.74, p<.001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，在「擴大語音基頻曲線」方式之得分均顯著高於其他五種電腦語音修改方式，且均達.05 顯著水準，表示聽障學生第二聲的聽辨表現以在「擴大語音基頻曲線」方式最佳。而「濾波擴大基頻曲線」方式之得分也顯著高於「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式之得分，且均達.05 顯著水準。亦即，聽障學生第二聲的聽辨表現，在「濾波擴大基頻曲線」方式比在「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式佳。

(三) 第三聲

聽障學生在不同電腦語音修改方式，聽辨第三聲之得分具有顯著差異 ($F=22.00, p<.001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式之得分均顯著高於其他四種電腦語音修改方式，且均達.05 顯著水準，表

示聽障學生第三聲的聽辨表現以在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式最佳。而「設定語音基頻曲線」方式之得分也顯著高於「原始語音基頻曲線」與「原始語音低通濾波」兩種方式之得分，且均達.05 顯著水準。亦即，聽障學生第三聲的聽辨表現，在「設定語音基頻曲線」方式比在「原始語音基頻曲線」與「原始語音低通濾波」兩種方式佳。另外，「濾波設定基頻曲線」方式之得分也顯著高於「原始語音基頻曲線」方式之得分，且達.05 顯著水準，表示聽障學生第三聲的聽辨表現，在「濾波設定基頻曲線」方式比在「原始語音基頻曲線」方式佳。

(四) 第四聲

聽障學生在不同電腦語音修改方式，聽辨第四聲之得分具有顯著差異 ($F=13.54, p<.001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，在「擴大語音基頻曲線」方式之得分均顯著高於「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式，且均達.05 顯著水準，表示聽障學生第四聲的聽辨表現，在「擴大語音基頻曲線」方式比在「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式佳。而「原始語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式之得分也均顯著高於「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」兩種方式之得分，且均達.05 顯著水準。亦即，聽障學生第四聲的聽辨表現，在「原始語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式，比在「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」兩種方式佳。

(五) 「原始語音基頻曲線」方式

聽障學生在聲調類型的單純主要效果考驗中，「原始語音基頻曲線」方式在聽辨四個國語聲調類型之表現達顯著差異 ($F=42.50, p<.001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯

示，第四聲之得分均顯著高於第一、二、三聲，第一聲之得分均顯著高於第二、三聲，第二聲之得分顯著高於第三聲，且均達.05 顯著水準，表示在「原始語音基頻曲線」方式，聽障學生聽辨國語四個聲調的難易程度，由易至難依序為第四聲、第一聲、第二聲、第三聲。

(六)「擴大語音基頻曲線」方式

聽障學生在聲調類型的單純主要效果考驗中，「擴大語音基頻曲線」方式在聽辨四個國語聲調類型之表現達顯著差異 ($F=8.73, p < .001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，第四聲之得分均顯著高於第一、二、三聲，且均達.05 顯著水準，表示在「擴大語音基頻曲線」方式，聽障學生聽辨第四聲比第一、二、三聲容易。另外，第一聲之得分均顯著高於第二、三聲，且均達.05 顯著水準，亦即在「擴大語音基頻曲線」方式，聽障學生聽辨第一聲比第二、三聲容易。

(七)「原始語音低通濾波」方式

聽障學生在聲調類型的單純主要效果考驗中，「原始語音低通濾波」方式在聽辨四個國語聲調類型之表現達顯著差異 ($F=12.96, p < .001$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，第四聲之得分均顯著高於第一、二、三聲，且均達.05 顯著水準，表示在「原始語音低通濾波」方式，聽障學生聽辨第四聲比第一、二、三聲容易。另外，第一聲之得分顯著高於第三聲，且達.05 顯著水準，亦即在「原始語音低通濾波」方式，聽障學生聽辨第一聲比第三聲容易。

(八)「濾波擴大基頻曲線」方式

聽障學生在聲調類型的單純主要效果考驗中，「濾波擴大基頻曲線」方式在聽辨四個國語聲調類型之表現達顯著差異 ($F=4.72, p < .01$)，經單純主要效果之事後比較結果顯示，第四聲之得分均顯著高於第一、二、三聲，且均達.05 顯著水準，表示在「濾波擴大

基頻曲線」方式，聽障學生聽辨第四聲比第一、二、三聲容易。

(九)「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」方式

聽障學生在「設定語音基頻曲線」($F=1.00, p > .008$)與「濾波設定基頻曲線」($F=1.43, p > .008$)兩種方式在聽辨四個國語聲調類型之表現均未達顯著差異，表示在「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」兩種方式，聽障學生聽辨國語四個聲調之間未有明顯差異。

綜合上述資料，聽障學生透過六種電腦語音修改方式的國語聲調聽辨表現，的確具有顯著差異性。而且，透過事後比較結果可以發現，「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式，對於聽障學生國語聲調聽辨表現均可達到改善之成效，也與研究者的假設相符。

本研究控制了語音訊號的音長、振幅，單就操弄基頻曲線走勢變化的程度，的確提升了聽障學生對國語語音聲調的聽辨表現，此結果顯示「擴大語音基頻曲線」的方式可以協助跨不同語言的聽障學生的語音學習。至於「設定語音基頻曲線」方式，未能有效改善聽障學生國語聲調聽辨表現，並未支持研究者的假設，推測可能是因為「設定語音基頻曲線」方式只稍微擴大了原始語音的基頻曲線，其擴大程度所產生之正面效果不大，再與語音經電腦修改後語音品質降低之反面效果相互抵銷，因此對於聽障學生國語聲調聽辨表現，並沒有產生明顯助益。再者，單純使用「擴大語音基頻曲線」方式對於增進聽障者國語聲調聽辨表現，比使用結合擴大語音基頻曲線和低通濾波處理的「濾波擴大基頻曲線」方式佳。研究者認為是因為經由低通濾波處理後的語音訊號，雖然能將干擾聽障學生聲調聽辨的聲學訊息刪除，但存在於 500Hz 以上諧波之聲調訊息同時也會

被剔除。反觀單純使用擴大語音基頻曲線，能提供給聽障學生完整又清晰的聲調訊息。因此，「擴大語音基頻曲線」方式對於增進聽障學生國語聲調聽辨表現，才會顯著優於「濾波擴大基頻曲線」方式。

另外，聽障學生聽辨四個國語聲調也呈現顯著差異性。透過事後比較的結果可以發現，聽障學生對於第四聲的聽辨優於其他三個聲調，此結果與張小芬（2007a）、張蓓莉（1997）和趙育綾（2007）等研究結果相同。研究者認為第四聲之所以最容易被聽障學生正確聽辨，是因為第四聲的基頻曲線為高至低的斜降走勢，變化頻率範圍最大，加上中間未有轉折，對於聽障學生而言，較容易知覺基頻變化，且透過擴大語音基頻曲線處理後，基頻曲線落差範圍增加，更能凸顯第四聲的聲調特徵，致使聽障學生對於第四聲的聽辨表現優於其他三個聲調。至於聽障學生聽辨第一、二聲，均是以在「擴大語音基頻曲線」方式最佳，聽辨第三聲是在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式最佳，聽辨第四聲是在「原始語音基頻曲線」、「擴大語音基

頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」三種方式有較明顯之效果，但無法進一步比較，聽障學生在此三種方式下聽辨第四聲，以何種方式最佳。而聽障學生在「原始語音基頻曲線」方式，聽辨第四聲最容易，聽辨第三聲最困難；在「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波擴大基頻曲線」三種方式，聽辨第四聲最容易，最不易聽辨的國語聲調則無顯著差異；在「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」兩種方式，聽辨四個國語聲調則無顯著差異。

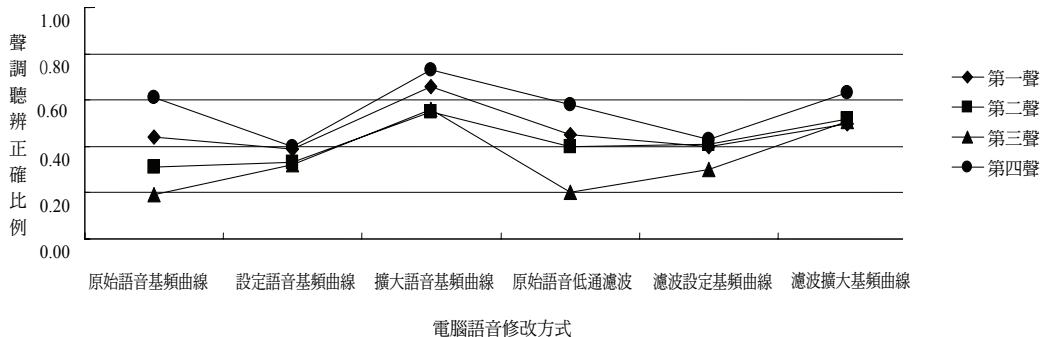
二、聽障學生透過不同電腦語音修改方式國語聲調聽辨正確率及錯誤類型

研究者根據 26 名受試國語聲調聽辨作業聽辨之結果，分別計算在六種電腦語音修改方式下，國語聲調聽辨的作答情形。聽障學生在六種電腦語音修改方式下，聽辨四個國語聲調的正確率排序以及錯誤類型結果為表六、圖三。

表六 聽障學生六種電腦語音修改方式國語聲調聽辨正確率排序及錯誤類型

	電腦語音修改方式					
	原始語音 基頻曲線	設定語音 基頻曲線	擴大語音 基頻曲線	原始語音 低通濾波	濾波設定 基頻曲線	濾波擴大 基頻曲線
正確率排序	4 (.61) > 1 (.44) > 2 (.31) > 3 (.19)	4 (.40) > 1 (.39) > 2 (.33) > 3 (.32)	4 (.73) > 1 (.66) > 3 (.56) > 2 (.55)	4 (.58) > 1 (.45) > 2 (.40) > 3 (.20)	4 (.43) > 2 (.41) > 1 (.40) > 3 (.30)	4 (.63) > 2 (.52) > 3 (.51) > 1 (.50)
平均正確率	.39	.36	.63	.41	.38	.54
Kappa 係數	.19	.14	.50	.22	.17	.39
錯誤類型	1→2 (.24) 2→3 (.33) 3→4 (.47) 4→1 (.17)	1→2 (.28) 2→3 (.26) 3→1 (.30) 4→1 (.26)	1→2 (.14) 2→3 (.24) 3→2 (.23) 4→1 (.10)	1→2 (.22) 2→3 (.26) 3→4 (.47) 4→2 (.17)	1→2 (.24) 2→1 (.23) 3→2 (.27) 4→2 (.21)	1→2 (.20) 2→3 (.20) 3→2 (.24) 4→1、3 (.14)

註：1、2、3、4 為國語聲調；（）內數值為該聲調聽辨比例；甲→乙：表示將甲聲調錯誤聽辨為乙聲調；
 為聲調聽辨錯誤比例超過.25



圖三 聽障學生六種電腦語音方式國語聲調聽辨正確率情形

(一) 聽障學生在「原始語音基頻曲線」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

由表六可知聽障學生在「原始語音基頻曲線」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.39。由於考慮隨機猜測機率因素，因此採用 *Kapaa* 統計進行分析。*Kapaa* 係數的數值越高，表示該種電腦語音修改方式相對於隨機猜測之結果，能增加聽障學生國語聲調聽辨正確率就越高。聽障學生透過「原始語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調的 *Kappa* 係數為.19 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「原始語音基頻曲線」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.19 的正確率。聽障學生透過「原始語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.61、第一聲為.44、第二聲為.31、第三聲為.19，表示聽障學生透過「原始語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第三聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.24，第二聲混淆為第三聲佔.33，第三聲混淆為第四聲佔.47，第四聲混淆為第一聲佔.17。

(二) 聽障學生在「設定語音基頻曲線」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

聽障學生在「設定語音基頻曲線」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.36。如果考慮隨

機猜測機率因素，其 *Kapaa* 係數為.14 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「設定語音基頻曲線」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.14 的正確率。聽障學生透過「設定語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.40、第一聲為.39、第二聲為.33、第三聲為.32，表示聽障學生透過「設定語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第三聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.28，第二聲混淆為第三聲佔.26，第三聲混淆為第一聲佔.30，第四聲混淆為第一聲佔.26。

(三) 聽障學生在「擴大語音基頻曲線」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

聽障學生在「擴大語音基頻曲線」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.63。如果考慮隨機猜測機率因素，其 *Kapaa* 係數為.50 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「擴大語音基頻曲線」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.50 的正確率。聽障學生透過「擴大語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.73、第一聲為.66、第三聲為.56、第二聲為.55，表示聽障學生透過「擴大語音基頻曲線」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第

二聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.14，第二聲混淆為第三聲佔.24，第三聲混淆為第二聲佔.23，第四聲混淆為第一聲佔.10。

(四) 聽障學生在「原始語音低通濾波」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

聽障學生在「原始語音低通濾波」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.41。如果考慮隨機猜測機率因素，其 *Kapaa* 係數為.22 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「原始語音低通濾波」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.22 的正確率。聽障學生透過「原始語音低通濾波」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.58、第一聲為.45、第二聲為.40、第三聲為.20，表示聽障學生透過「原始語音低通濾波」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第三聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.22，第二聲混淆為第三聲佔.26，第三聲混淆為第四聲佔.47，第四聲混淆為第二聲佔.17。

(五) 聽障學生在「濾波設定基頻曲線」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

聽障學生在「濾波設定基頻曲線」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.38。如果考慮隨機猜測機率因素，其 *Kapaa* 係數為.17 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「濾波設定基頻曲線」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.17 的正確率。聽障學生透過「濾波設定基頻曲線」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.43、第二聲為.41、第一聲為.40、第三聲為.30，表示聽障學生透過「濾波設定基頻曲線」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第三聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.24，第二聲混淆為第一聲佔.23，第三聲混淆為第二聲

佔.27，第四聲混淆為第二聲佔.21。

(六) 聽障學生在「濾波擴大基頻曲線」方式聲調聽辨正確率與錯誤類型

聽障學生在「濾波擴大基頻曲線」方式國語聲調的整體聽辨正確率為.54。如果考慮隨機猜測機率因素，其 *Kapaa* 係數為.39 ($p < .001$)，也就是相對於隨機猜測之結果，透過「濾波擴大基頻曲線」方式讓 26 位受試聽辨國語聲調，可增加.39 的正確率。聽障學生透過「濾波擴大基頻曲線」方式聽辨國語聲調，聽辨正確率由高至低依序是：第四聲為.63、第二聲為.52、第三聲為.51、第一聲為.50，表示聽障學生透過「濾波擴大基頻曲線」方式聽辨國語聲調，以第四聲最容易，第一聲最困難。四個聲調聽辨錯誤類型的比例分別是：第一聲混淆為第二聲佔.20，第二聲混淆為第三聲佔.20，第三聲混淆為第二聲佔.24，第四聲混淆為第一聲佔.14 或第三聲佔.14。

(七) 聽障學生在六種電腦語音修改方式聲調聽辨正確率分析

由上述結果可知，在六種電腦語音修改方式下，聽障學生國語聲調聽辨均以第四聲的正確率最高，也就是聽障學生對於第四聲最容易正確聽辨。在「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式下，聽障學生國語聲調聽辨均以第三聲的正確率最低，也就是聽障學生對於第三聲最不容易正確聽辨。在「濾波擴大基頻曲線」方式下，聽障學生國語聲調聽辨以第一聲的正確率最低，也就是聽障學生對於第一聲最不容易正確聽辨。此兩部分研究結果與相關文獻（邱紫容，2000；張小芬 2007a；張蓓莉，1997；趙育綾，2007）所發現，聽障學生對於第二聲的聽辨能力最差之結果不同。但是在「擴大語音基頻曲線」方式，聽障學生國語聲調聽辨，以第二聲的正確率最低，此結

果則與上述文獻一致。

換言之，透過「擴大語音基頻曲線」方式，對於聽障學生第三聲的聽辨表現，相較於第二聲而言是較佳的。而透過「濾波擴大基頻曲線」方式，對於聽障學生第一聲的聽辨表現，相較於其它三個聲調而言是較差的。之所以會有如此的差異，研究者推測在「原始語音基頻曲線」方式，可能是因為本研究所採用之語音材料為「一」、「ㄨ」、「ㄩ」、「ㄛ」、「ㄝ」、「ㄞ」七個國語韻母，涵括單韻母與複韻母兩種，與邱紫容（2000）使用單音節字音；張小芬（2007a）使用國小低年級國語課本之單字詞與二字詞；張蓓莉（1997）使用受試者能聽辨正確的韻母，且該韻母有四個聲調的常用語詞；趙育綾（2007）使用結合韻、聲母加韻母、聲母加結合韻的單字詞與二字詞等均不相同，聽障學生因對於不同聲韻母組合的聽辨差異，進而影響聲調聽辨表現。而在「設定語音基頻曲線」、「濾波設定基頻曲線」兩種方式，由於第二聲的基頻變化是上升部分佔 75%，第三聲的基頻變化是下降部分佔 75%，透過只輕微擴大語音基頻曲線的方式，聽障學生對於第二聲基頻上升的現象變得較容易覺知，因此對於第二聲的聽辨表現有所提升。而聽障學生雖然對於第三聲基頻下降的現象也變得較容易覺知，但由於語音基頻曲線被擴大的程度不大，相較之下反而會讓第三聲基頻上升部分更加不明顯，致使聽障學生更不易聽出第三聲的轉折變化，因此第三聲的聽辨表現最差。

另外，雖然 Fon 等人（2004）提到聽辨國語第三聲的主要基頻線索是位於語音訊號的起始部分，但其受試對象為聽常大學生，而研究者認為聽障學生因受限於聽覺接收能力的不足，加上第三聲的基頻走勢轉折變化存在於語音訊息的後段，所以更需要較完整的語音訊號來聽辨聲調間的差異。但本研究將四個國語聲

調之音長設定為相同數值，或許導致聽障學生在聽辨第三聲時，可能無法獲得足夠的語音訊息，而產生較差的聽辨表現。至於在「擴大語音基頻曲線」方式，由於語音基頻曲線被擴大的程度較大，基頻頻率範圍變寬，因此第三聲基頻的變化更為明顯，使得聽障學生較容易覺知到第三聲的轉折，所以聽辨表現也有所提升。此部分研究結果也與 Fon 等人發現在基頻頻率範圍較寬的情形下，第三聲的聽辨正確率較高之結果一致。而在「濾波擴大基頻曲線」方式，由於語音經過低通濾波與擴大語音基頻曲線處理後，聽障學生對於第二、三聲的聽辨表現有明顯的增進。然而相較之下，由於第一聲呈現出來的基頻曲線原就接近於水平狀態，透過此種處理操弄後，其基頻曲線狀態仍屬於水平，因此未能呈現出低通濾波與擴大語音基頻曲線處理之效果。

研究者進一步以「原始語音基頻曲線」方式之正確率為基準，比較在其他五種電腦語音修改方式，四個國語聲調的聽辨表現。結果發現在「設定語音基頻曲線」方式，第一、四聲的正確率降低，第二、三聲的正確率提高，其中以第四聲的正確率變化最為明顯，減少了.21，不過在第三聲的正確率則是增加了.13；在「擴大語音基頻曲線」方式，國語四個聲調的正確率均有所提升，其中以第三聲增加了.37 最為明顯，其次為第二聲（增加.24）與第一聲（增加.22）；在「原始語音低通濾波」方式，第四聲的正確率降低，第一、二、三聲的正確率提高，其中以第四聲的正確率變化最為明顯，減少了.11，不過在第二聲的正確率則是增加了.09；在「濾波設定基頻曲線」方式，第一、四聲的正確率降低，第二、三聲的正確率提高，其中以第四聲的正確率變化最為明顯，減少了.18，不過在第二、三聲的正確率則是分別增加了.10 與.11；在「濾波擴大基頻曲線」方式，國語四個聲調的

正確率均有所提升，其中以第三聲增加了.32最為明顯，其次為第二聲（增加.21）。

整體觀之，相較於「原始語音基頻曲線」方式，第一聲在「擴大語音基頻曲線」方式最能提升其正確率，其餘四種電腦語音修改方式之正確率雖然有增有減，但與「原始語音基頻曲線」方式之正確率差距均在.06以內：第二聲在五種電腦語音修改方式的正確率均有所提升，其中以在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式的提升程度最為顯著；第三聲在五種電腦語音修改方式的正確率均有所提升，其中以在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式的提升程度最為顯著；第四聲僅在「擴大語音基頻曲線」方式正確率有顯著提升，在「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式，正確率反而減少.11到.21。

上述結果顯示，第一聲受到電腦語音修改方式的影響較不顯著，研究者推測是因為第一聲的基頻曲線走勢屬於持平，未有升降或轉折現象，因此較不易受到擴大語音基頻曲線及低通濾波處理之影響。第二、三聲在五種電腦語音修改方式，聽辨正確率均有所提升，研究者認為是因為第二、三聲在「原始語音基頻曲線」方式，原本就不易被聽障學生覺知到其基頻曲線走勢，一旦透過擴大語音基頻曲線與低通濾波處理，再加上第二、三聲經過電腦語音修改後的語音品質較不易受到過多改變，致使第二、三聲的基頻曲線走勢變得容易讓聽障學生覺知。其中，第三聲部份，與 Fon 等人（2004）發現第三聲在基頻範圍較大時，其聽辨正確率較高之結果相同。第四聲部分僅在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式正確率才有所提升，或許是因為第四聲經過電腦語音修改後，其語音品質較易受到過多的影響，只有在擴大語音基頻曲線程度較明顯時，才能對於聽障學生聽辨第四聲時

產生正面的效果。另外，測試語料的設計，雖然其中有部分語音，例如：ㄨ 1、ㄨ 2、ㄨ 3、ㄩ 2、ㄨ 2，並不符合國語語音的組合規則。但在六種電腦語音修改方式下，其聲調聽辨表現有高有低，並未有一致性表現較差的情形，所以應該不會是造成聲調聽辨表現不佳的主要原因。

（八）聽障學生在六種電腦語音修改方式聲調錯聽辨誤類型分析

在六種電腦語音修改方式，聽障學生的第一聲均混淆為第二聲。第二聲僅在「濾波設定基頻曲線」方式會混淆為第一聲，其餘均混淆為第三聲。而第三、四聲的聽辨錯誤類型，則不如第一、二聲來得一致。此結果與張蓓莉（1997）、趙育綾（2007）和 Fon 等人（2004）三篇研究比較後發現，均有呈現出第二聲混淆為第三聲，第三聲混淆為第二聲或第四聲，第四聲混淆為第一聲等現象。但是本研究在第一聲混淆為第二聲，與張蓓莉的第一聲較無混淆現象，以及趙育綾的第一聲混淆為第三聲則有所不同。研究者認為除了是因為使用的語音材料不同而產生差異外，也可能是國語四個聲調當中，第一聲的基頻走勢是屬於持平的高音，聽障學生對於高音的接收能力較差，再加上第一聲與第二聲的終點音高相近，因此導致第一聲混淆為第二聲的現象。

由於聽辨結果選項有四個，單一選項的比例平均為.25，因此聽辨錯誤類型比例超過.25時，顯示該聲調聽辨錯誤類型比其他錯誤類型明顯。故研究者進一步分析四個國語聲調在六種電腦語音修改方式的聽辨錯誤類型比例。在「原始語音基頻曲線」方式，第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的比例超過.25，其中第三聲混淆為第四聲的比例（.47）更高達將近一半，表示在「原始語音基頻曲線」方式，聽障學生將第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的情形較為明

顯；在「設定語音基頻曲線」方式，第一聲混淆為第二聲，第二聲混淆為第三聲，第三聲混淆為第一聲，第四聲混淆為第一聲的比例均超過.25，表示在「設定語音基頻曲線」方式，聽障學生將第一聲混淆為第二聲，第二聲混淆為第三聲，第三聲混淆為第一聲，第四聲混淆為第一聲的情形較為明顯；在「擴大語音基頻曲線」方式，四個聲調的混淆比例均未超過.25，表示在「擴大語音基頻曲線」方式，雖然聽障學生聽辨四個聲調仍有混淆現象產生，但單一種錯誤類型均未達到明顯之程度；在「原始語音低通濾波」方式，第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的比例超過.25，其中第三聲混淆為第四聲的比例(.47)更高達將近一半，表示在「原始語音低通濾波」方式下，聽障學生將第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的情形較為明顯；在「濾波設定基頻曲線」方式，僅有第三聲混淆為第二聲的比例超過.25，表示在「濾波設定基頻曲線」方式，聽障學生將第三聲混淆為第二聲的情形較為明顯；在「濾波擴大基頻曲線」方式，四個國語聲調的混淆比例均未超過.25，表示在「濾波擴大基頻曲線」方式，雖然聽障學生聽辨四個國語聲調仍有混淆現象產生，但單一種聲調聽辨錯誤類型均未達到明顯之程度。

整體觀之，聽障學生在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式，四個國語聲調的聽辨錯誤類型比例均未達到明顯程度。研究者認為是因為「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式對於聽障學生在國語聲調聽辨表現有顯著改善效果，因此國語聲調被聽辨錯誤也不會固定傾向於某個聲調。

三、研究限制

本研究囿於符合篩選條件之人數有限，因

此在研究結果僅能推論至聽力損失程度在中重度、未配戴人工電子耳及未兼有其他障礙、年齡介於 10 至 19 歲之聽障學生。另外，部分研究對象聽力損失資料為多年前之舊資料，研究者無法要求研究對象重新接受聽力檢查，僅能以現有資料作為篩選依據。因此，部分研究對象的實際聽力損失情形，可能會與呈現之數據有所差異。

再者，由於本研究之研究對象遍佈多個縣市，在時間與距離配合上有困難，因此無法在具有隔音效果較佳之聽力檢查室進行施測，僅能就研究對象所就讀之學校，選擇安靜不受外界聲音干擾，環境噪音值在 60dB 以下的場所進行。因此，外在環境噪音或許對於研究對象在聽辨聲調的過程中，會產生程度不一的干擾。

最後，本研究中的電腦語音修改系統是首次應用於聽障學生聲調聽辨測試，是由研究者參考相關文獻及語音學專家之建議後，決定語音訊號修改數值的範圍，因此在語音訊號的修改數值尚無一固定標準。且研究結果因無直接相關研究文獻可供支持，故研究者僅能就所採用之語音材料之聲學特性進行聲調聽辨結果的原因分析，也表示此套電腦語音修改系統，仍有待不斷進行測試與相關之實驗，方能獲得更精確與充足之數據資料，使此系統所能發揮之教學效益更加完臻。

結論與建議

一、結論

(一) 聽障學生透過不同電腦語音修改方式與聲調類型聽辨國語聲調之差異

根據本研究之結果，聽障學生透過六種電腦語音修改方式的國語聲調聽辨正確率達顯著差異，經事後比較發現，聽障學生在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方

式之聽辨得分，均顯著高於其他四種方式，而「擴大語音基頻曲線」方式更顯著高於「濾波擴大基頻曲線」方式且達顯著差異。由此可知，藉由擴大語音基頻曲線的方法，或將擴大語音基頻曲線結合低通濾波處理，確實能顯著地提升聽障學生的國語聲調聽辨表現。

另外，從研究結果亦發現，雖然擴大語音基頻曲線對於改善聽障學生國語聲調聽辨表現具有成效，但擴大比例若未達到一定程度者，則無法發揮擴大語音基頻曲線所應有之促進聽辨的效果。因此，想要利用擴大語音基頻曲線方式來提升聽障學生的國語聲調聽辨能力，必須對於所使用之語音基頻曲線擴大比例多加考量與設計。

再者，聽障學生在四個國語聲調當中，對於第四聲最容易聽辨，第三聲最不易聽辨。聽辨第一、二聲以在「擴大語音基頻曲線」方式最佳，第三聲以在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」方式最佳，第四聲是以在「原始語音基頻曲線」、「擴大語音基頻曲線」、「濾波擴大基頻曲線」三種方式有較明顯之效果。另外，聽障學生在「原始語音基頻曲線」方式，對於第四聲的聽辨最容易，第三聲的聽辨最困難，在「擴大語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波擴大基頻曲線」三種方式，對於第四聲的聽辨最容易，最不易聽辨的聲調則無顯著差異，在「設定語音基頻曲線」與「濾波設定基頻曲線」兩種方式，四個聲調的聽辨表現則無顯著差異。

(二) 聽障學生在不同電腦語音修改方式的國語聲調聽辨表現及錯誤類型

就六種電腦語音修改方式的國語聲調聽辨正確率結果來看，聽障學生以第四聲最容易聽辨。而在「原始語音基頻曲線」、「設定語音基頻曲線」、「原始語音低通濾波」、「濾波設定基頻曲線」四種方式，以第三聲最不易聽辨，在「擴大語音基頻曲線」方式，以第二聲最不易

聽辨，在「濾波擴大基頻曲線」方式，以第一聲最不易聽辨。另外，原本就容易被聽障學生正確聽辨的第四聲，必須透過擴大語音基頻曲線程度較明顯之方法，才使得第四聲的聲調特徵更為明顯。而原本不易被聽障學生正確聽辨的第二、三聲，只要有透過擴大語音基頻曲線與低通濾波處理，就能使聽障學生更容易覺知到其聲調特徵。除此之外，也發現第一、四聲在「擴大語音基頻曲線」方式最能提升其正確率，第二、三聲在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式的正確率提升程度最為顯著。

本研究也發現聽障學生的聲調聽辨錯誤類型分別是第一聲混淆為第二聲，第二聲混淆為第三聲，第三聲混淆為第二聲或第四聲，以及第四聲混淆為第一聲。若分別就單一電腦語音修改方式來看，聽障學生在「原始語音基頻曲線」方式將第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的情形較為明顯；在「設定語音基頻曲線」方式將第一聲混淆為第二聲，第二聲混淆為第三聲，第三聲混淆為第一聲，第四聲混淆為第一聲的情形較為明顯；在「原始語音低通濾波」方式將第二聲混淆為第三聲，以及第三聲混淆為第四聲的情形較為明顯；在「濾波設定基頻曲線」方式將第三聲混淆為第二聲的情形較為明顯。至於在「擴大語音基頻曲線」與「濾波擴大基頻曲線」兩種方式，雖然聽障學生聽辨四個國語聲調仍會有混淆現象產生，但單一種聲調聽辨錯誤類型均未達到明顯之程度。

二、建議

(一) 對聽障學生聲調教學的建議

1. 事先熟悉語音型態

根據本研究發現，語音經過電腦系統修改後，對於語音品質會產生影響，導致產出之語音型態與平常所聽到之語音有所差異。聽障學

生初次接觸到該類語音型態時，或許無法在第一時間就能完全適應，因此在進行實際教學時，應先讓聽障學生練習聽取該類型語音，並告知目前所聽取的語音之聲調作為知覺回饋，使聽障學生習慣該類型語音之聲調模式後，再進行教學或是測驗。

2. 建立語音資料庫

語音教學內容多樣化，聽障學生也因個人聽力損失程度不同，而在語音的聽辨能力上有所差異。為配合每位聽障學生的個別差異，可事先建立數種語音基頻曲線比例，然後於實際教學時，再根據聽障學生的個別狀況進行微調，如此可增進教學效率與通用性。

3. 採用漸進式教學

根據本研究發現，每位聽障學生對於擴大語音基頻曲線與低通濾波處理的覺知程度不同。除本研究所使用之語音基頻曲線比例與低通濾波處理範圍外，實際在進行聽障學生聲調教學時，教學者可視學生學習狀況，採漸進方式來修改語音基頻曲線比例與低通濾波處理範圍，藉此讓聽障學生能逐漸適應原始語音型態。

(二) 對未來研究的建議

1. 採用不同研究語料

本研究只採用七個國語韻母作為研究語料，未來可針對聲母加上韻母，或是單字詞及雙字詞聲調，透過擴大語音基頻曲線與低通濾波處理，以便更深入瞭解此兩種電腦語音修改方式，對於不同語料是否會產生不同之效果。

2. 採用不同說話者語音

本研究僅採用一位女性成人語音作為研究語料，未來可多錄製多位說話者之語音進行實驗，以進一步探究不同性別、語音特性之因素，對於聽障學生國語聲調聽辨之影響層面。

3. 採用不同語音修改比例

本研究僅採用兩種語音基頻曲線比例與500Hz 低通濾波結合，未來可嘗試多增加幾組

語音基頻曲線比例與不同濾波頻率範圍結合，看是否能獲得最適合多數聽障學生聽辨之組合型態，使得聽障學生的聲調教學困境能更有所突破。

4. 擴大研究對象範圍

本研究研究對象侷限於南部縣市，後續研究可進行不同區域範圍的取樣，甚或擴大至全國，也可考慮包括學前、國小中低年級、高中職、大專以上等不同教育階段別的聽障學生，以便擴大研究結果之推論性。

5. 採用不同施測環境

本研究由於時間和距離之限制，僅能就研究對象所就讀學校，選取安靜不受外界聲音干擾之場地進行施測。建議未來可在具有良好隔音效果之聽力檢查室進行施測，儘可能完全排除外界環境噪音之干擾，相信對於使用擴大語音基頻曲線與低通濾波處理方法，來提升聽障學生國語聲調聽辨能力之成效會更加顯著。

6. 區分聽損程度不同者反應

本研究未進一步針對不同聽損程度研究對象之施測結果，進一步分析其反應是否有所差異。雖然聽損程度與聲調知覺不盡然會成正比，但仍可進一步探究兩者間的關係，甚而類化此教學系統至不同聽損程度之族群。

參考文獻

- 王小川 (2004)：以語音處理技術做聽力損失者聽力檢測與語音感知改善之研究(1/2)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告 (NSC92-2218-E-007-020)。
- 王小川 (2005)：以語音處理技術做聽力損失者聽力檢測與語音感知改善之研究(2/2)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告 (NSC93-2213-E-007-094)。
- 王小川 (2006)：適應聽障者之語音增強與修改研究(1/3)。行政院國家科學委員會專題研

- 究成果報告 (NSC94-2614-E-007-082)。
- 王小川 (2007)：適應聽障者之語音增強與修改研究(2/3)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告 (NSC95-2221-E-007-109)。
- 王小川 (2008)：適應聽障者之語音增強與修改研究(3/3)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告 (NSC96-2221-E-007-144)。
- 王麗雪 (2005)：台灣聽障兒童的國語聲調感知與發音研究。輔仁大學語言學研究所碩士論文 (未出版)。
- 江源泉 (2006)：電腦視覺回饋在國中聽障生學習國字聲調書寫上的應用。特殊教育研究學刊, 30, 95-111。
- 余玻莉 (2007)：國內常用的三種語言評量工具在鑑定語言發展遲緩兒童的信效度之比較研究。國立高雄師範大學聽力學與語言治療研究所碩士論文 (未出版)。
- 吳裕益 (2007)：心理與教育統計學。臺北：雙葉。
- 李芃娟 (1998)：聽覺障礙學童國語塞擦音清晰度研究。國立彰化師範大學特殊教育學系博士論文 (未出版)。
- 李銘浚 (2007)：應用獨立成分分析、對數頻譜預估、及頻率成分調整技術做語音增強之研究。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 林典蔚 (2007)：語音訊號中的雜訊預估與刪減方法研究。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 邱紫容 (2000)：國小六年級聽覺障礙學生後設語言覺知能力之研究。國立彰化師範大學特殊教育學系碩士論文 (未出版)。
- 林寶貴 (2006)：聽覺障礙教育理論與實務。臺北：五南。
- 翁秀民、楊正宏 (1997)：國語四聲的能量與字音長度之探討。技術學刊, 12(1), 125-129。
- 張小芬 (2007a)：電腦化「國語聲調聽辨測驗」之編製。測驗學刊, 54(1), 97-120。
- 張小芬 (2007b)：聲調視覺回饋教學對聽障兒童唸讀與聽辨語詞聲調之學習效果。特殊教育研究學刊, 32(4), 47-64。
- 陳小娟、林淑玟 (1993)：語調聽覺法。臺南：臺南師院特殊教育中心。
- 張文輝、江源泉、王德譽 (2003)：適合聽障者國語構音及韻律矯正之訓練輔具研究(1/3)。行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告 (NSC91-2614-E-009-001)。
- 國立臺灣師範大學國音教材編輯委員會 (2007)：國音學。臺北：正中。
- 郭致廷 (2008)：可應用於 VoIP 封包遺失隱蔽及語音修改的低複雜度架構。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 梁峰誠 (2005)：利用語音訊號轉換與修改作為改善聽障者聽辨能力之研究。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 張淑品 (1999)：國中重度聽障生與耳聰學生國語單元音與聲調的聲學比較分析。國立臺灣師範大學特殊教育學系碩士論文 (未出版)。
- 張蓓莉 (1985)：使用國語及英語聾童口語溝通之聲調。特殊教育季刊, 16, 16-18。
- 張蓓莉 (1987)：回歸主流聽覺障礙學生語言能力之研究。特殊教育研究學刊, 3, 119-134。
- 張蓓莉 (1997)：聽覺障礙學生注音符號聽取能力研究。特殊教育研究學刊, 15, 151-171。
- 崔懷芝 (2009)：量表信度的測量：Kappa 統計量之簡介。2009 年 5 月 4 日, 取自 http://www2.cmu.edu.tw/~biostat/online/teaching_corner_011.pdf。
- 黃良喜 (2009)：旋律中的聲調—論腔詞相應關係。2010 年 5 月 3 日, 取自 <http://net3>。

- hkbu.edu.hk/~lianhee/ciqiang.pdf。
- 黃佩芬、黃桂君、王小川、劉惠美 (2006)：以語音聽力檢測系統輔助聽障兒童發音教學實驗。《特殊教育研究學刊》，31，115-137。
- 黃柏凱 (2005)：以可聽覺遮蔽門檻為基礎的語音增強研究。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 葉向林 (2004)：聽障者之語音增強與轉換。國立清華大學電機工程學系碩士論文 (未出版)。
- 趙育綾 (2007)：國小聽覺障礙學生華語聲調聽辨唸讀之研究。國立臺灣海洋大學教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 鄭靜宜 (2003)：腦性麻痺說話者的國語聲調基本頻率 (F0) 型態與特性。《特殊教育與復健學報》，11，29-54。
- 鄭靜宜 (2004)：語音單調化對國語詞與和句子的辨識及語音清晰度的影響。《南師學報》，38(1)，175-196。
- 歐菁妮 (2002)：聽障與聽常兒童中文聲調的辨認。國立臺灣大學語言學研究所碩士論文 (未出版)。
- 鍾榮富 (2007)：最新語言學概論。臺北：文鶴。
- Andrea, L. P. (2008). Short-term word-learning rate in children with normal hearing and children with hearing loss in limited and extended high-frequency bandwidths. *Journal of the Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 785-797.
- Apoux, F., Crouzet, O., & Lorenzi, C. (2001). Temporal envelope expansion of speech in noise for normal-hearing and hearing-impaired listeners: Effects on identification performance and response times. *Hearing Research*, 153, 123-131.
- Apoux, F., Tribut, N., Debrulle, X., & Lorenzi, C. (2004). Identification of envelope-expanded sentences in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Hearing Research*, 189, 13-24.
- Barry, J. G., Blamey, P. J., Martin, L. F. A., Lee, K. Y. S., Tang, T., Ming, Y. Y., & Van, H. C. (2001). Tone discrimination in Cantonese-speaking children using a cochlear implant. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 16(2), 79-99.
- Burk, M. H., Humes, L. E., Amos, N. E., & Strauser, L. E. (2006). Effect of training on word-recognition performance in noise for young normal-hearing and older hearing-impaired listeners. *Ear & Hearing*, 27(3), 263-278.
- Ching, T. (1990). Tones for profoundly deaf tone-language speakers. *CUHK Papers in Linguistics*, 2, 1-22.
- Clarkson, P. M., & Bahgat, S. F. (1991). Envelope expansion methods for speech enhancement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 89(3), 1378-1382.
- Cunningham, J., Nicol, T., Zecker, S., & Kraus, N. (2001). Neurobiologic responses to speech-in-noise in children with learning problems: Deficits and strategies for improvement. *Clinical Neurophysiol*, 112, 758-767.
- Fon, J., Chiang, W.-Y., & Cheung, C. (2004). Production and perception of two dipping tones (T2 and T3) in Taiwan Mandarin. *Journal of Chinese Linguistics*, 32(2), 249-280.
- Freyman, R. L., & Nerbonne, G. P. (1996). Consonant confusions in amplitude-expanded speech. *Journal of the Speech, Language, and Hearing Research*, 39, 1124-1137.
- Fu, Q. J., & Shannon, R. V. (1998). Effects of amplitude nonlinearity on phoneme recognition

- by cochlear implant users and normal-hearing listeners. *Journal of the Speech, Language, and Hearing Research*, 104(5), 2570-2577.
- Fu, Q. J. & Shannon, R.V. (1999, May). *Recognition of spectrally-degraded speech in noise with nonlinear amplitude-mapping*. Paper presented at the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, San Antonio, Tx.
- Fu, Q. J., & Shannon, R. V. (2000). Effect of stimulation rate on phoneme recognition by Nucleus-22 cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(1), 589-597.
- Fu, Q. J., Zeng, F. G., Shannon, R. V., & Soli, S. D. (1998). Importance of tonal envelope cues in Chinese speech recognition. *The Journal of the Acoustical Society of American*, 104(1), 505-510.
- Gordon-Salant, S. (1986). Recognition of natural and time/intensity altered CVs by young and elderly subjects with normal hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 80(6), 1599-1607.
- Grant, K. (1987). Identification of intonation contours by normally hearing and profoundly hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(4), 1172-1178.
- Hazan, V., & Simpson, A. (1998). The effect of cue-enhancement on the intelligibility of non-sense word and sentence materials presented in noise. *Speech Communication*, 24, 211-226.
- Knoll, M. A., Uther, M., & Costall, A. (2009). Effects of low-pass filtering on the judgment of vocal affect in speech directed to infants, adults and foreigners. *Speech Communication*, 51, 210-216.
- Kortekaas, R. W., & Stelmachowicz, P. G. (2000). Bandwidth effects on children's perception of the inflectional morpheme /s/: Acoustical measurements, auditory detection, and clarity rating. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 645-660.
- Kramer, E. (1964). Elimination of verbal cues in judgments of emotion from voice. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 68, 390-396.
- Kuo, C. T., & Wang, H. C. (2008). *A Pitch Synchronous Method for Speech Modification*. Paper presented at International Symposium on Chinese Spoken Language Processing, Kunming, China.
- Langhans, T., & Strube, H. W. (1982, May). *Speech enhancement by nonlinear multiband envelope expansion*. Paper presented at the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Paris, France.
- Lee, C. L., Chang, W. W., & Chiang Y. C. (2006). Spectral and prosodic transformations of hearing-impaired Mandarin speech. *Speech Communication*, 48, 207-219.
- Liang, Z. A. (1963). The auditory perception of Mandarin tones. *Acta Physiol Sinica*, 26, 85-91.
- Liu, T. C., Hsu, C. J., & Horng, M. J. (2000). Tone detection in Mandarin-speaking hearing-impaired subjects. *Audiology*, 39, 106-109.
- Liu, S., & Samuel, A. G. (2004). Perception of Mandarin lexical tones when Fo information is neutralized. *Language and Speech*, 47(2), 109-138.
- Liu, H. M., Tsao, F. M., & Kuhl, P. K. (2007). Acoustic analysis of lexical tone in Mandarin infant-directed speech. *Developmental Psy-*

- chology*, 43(4), 912-917.
- Lorenzi, C., Berthommier, F., Apoux, F., & Bacri, N. (1999). Effects of envelope expansion on speech recognition. *Hearing Research*, 136, 131-138.
- Moore, D. B., & Jongman, A. (1997). Speaker normalization in the perception of Mandarin Chinese Tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(3), 1864-1877.
- Munro, K. J., & Lutman, M. E. (2005). Sound quality judgments of new hearing instrument users over a 24-week post-fitting period. *International Journal of Audiology*, 44, 92-101.
- Nahe, V. K., & Vanaja, C. S. (2008). Effect of envelope enhancement on speech perception in individuals with auditory neuropathy. *Ear & Hearing*, 29(1), 45-53.
- Picheny, M. A., Durlach, N. I., & Braid, L. D. (1985). Speaking clearly for the hard of hearing I: Intelligibility differences between clear and conversational speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 28, 96-103.
- Picheny, M. A., Durlach, N. I., & Braid, L. D. (1986). Speaking clearly for the hard of hearing II: Acoustic characteristics of clear and conversational speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 29, 434-446.
- Plomp, R. (1988). The negative effect of amplitude compression in multichannel hearing aids in the light of the modulation-transfer function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83(6), 2322-2327.
- Shen, X. S., & Lin, M. (1991). A perceptual study of Mandarin tones 2 and 3. *Language and Speech*, 34(2), 145-156.
- Spence, M. J., & Freeman, M. S. (1996). Newborn infants prefer the mother low-pass filtered voice, but not the maternal whispered voice. *Infant Behavior and Development*, 19, 199-212.
- Stelmachowicz, P. G., Pittman, A. L., Hoover, B. M., & Lewis, D. E. (2001). Effect of stimulus bandwidth on the perception of /s/ in normal- and hearing-impaired children and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(4), 2183-2190.
- Stelmachowicz, P. G., Pittman, A. L., Hoover, B. M., & Lewis, D. E. (2002). Aided perception of /s/ and /z/ by hearing-impaired children. *Ear and Hearing*, 23, 316-324.
- Tseng, C. Y. (1990). *An Acoustic Phonetic Study on Tones in Mandarin Chinese*. Taipei, Taiwan: Institute of History & Philology Academia Sinica.
- Turner, C. W., Souza, P. E., & Forget, L. N. (1995). Use of temporal envelope cues in speech recognition by normal and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(4), 2568-2576.
- van Buuren, R. A., Festen, J. M., & Houtgast, T. (1999). Compression and expansion of the temporal envelope: Evaluation of speech intelligibility and sound quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(5), 2903-2913.
- Versfeld, N. J., Festen, J. M., & Houtgast, T. (1999). Preference judgments of artificial processed and hearing-aid transduced speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(3), 1566-1578.

收稿日期：2010.03.24

接受日期：2010.07.04

A Study of Assisting Hearing-Impaired Students in Identifying Mandarin Tones by Using Modified Pitch Contours and Low-Pass Filtering

Jyun-Hong Guo

Teacher,
Kaohsiung City Ai-Cyun Elementary School

Huei-Mei Liu

Associate Professor,
Dept. of Special Education,
National Taiwan Normal University

Kuei-Chun Hung

Professor,
Dept. of Special Education,
National Kaohsiung
Normal University

Hsiao-Chuan Wang

Professor,
Dept. of Electrical Engineering,
National Tsing Hua University

Feng-Ming Tsao

Associate Professor,
Dept. of Psychology,
National Taiwan University

ABSTRACT

This study explores the effects of using a computerized speech modification system to expand pitch contours and low-pass filtering in hearing-impaired students' perception of six different types of modified Mandarin tones. Twenty-six students with moderate to severe hearing impairment participated in this study. The results of this study were that hearing-impaired students' ability to identify Mandarin tones was significantly improved by expanding pitch contours and low-pass filtering. Among the six types of computer modified speech, the easiest tone for identification was tone 4, and the most difficult tone to identify varied with the computer speech modification type. Frequent error patterns were that tone 1 was identified as tone 2; tone 2 was identified as tone 3; tone 3 was identified as tone 2 or tone 4; and tone 4 was identified as tone 1. Suggestions for teaching hearing-impaired students Mandarin tones and future studies were discussed based on the findings.

Keywords: computer speech modification, hearing-impaired students, Mandarin tones, expand pitch contour, low-pass filter

