

華語雙音節詞基頻的聲調共構效果

鄭靜宜

國立高雄師範大學聽力學與語言治療研究所

摘要

共同構音效果是言語常見的現象，不僅發生於口道的構音動作，也可能發生於聲源的製造上。華語為聲調語言，在連續華語語音中各音節中的聲調製造是否也存在著共同構音效果？可透過分析連續語音中基頻的走勢觀察此效果。本研究的目的在探討華語十六種聲調組合之雙音節詞的聲調共構特性，分析十位正常說話者所產生的32個華語雙音節詞的基頻曲線。藉由比較華語四種聲調之基頻各在第一音節與第二音節的起始、中點與末尾的變化與差異，檢驗共構效果的存在。結果顯示雙音節詞之第一音節和第二音節之聲調對鄰音節基頻皆有顯著的影響，除了在第一音節的起始處沒有顯著效果外，其餘皆有顯著效果，其中以在第一音節聲調對第二音節基頻的影響區域範圍較大，且基頻斜率的改變趨勢較為一致，顯示第一音節聲調的影響效果較強，亦即聲調共構的存留性效果大於預期性的效果。聲調共構效果對於韻母基頻斜率的改變有限，各聲調大致還是維持著既定的基頻輪廓走勢。就雙音節詞十六種聲調的組合而言，將基頻的變異程度大致分為兩類——和諧型與衝突型，和諧型的前後音節間基頻的差距較衝突型的為小。

關鍵字：聲調、基頻、共構、基頻共構、雙音節詞

* 通訊作者：鄭靜宜

通訊地址：80201高雄市苓雅區和平一路116號

電子郵件：jjeng@nknuc.nknu.edu.tw

投稿日期：2011.05.17

接受日期：2011.08.13

壹、前言

一、華語的聲調與基頻

聲調是語音的一種超音段特性。華語為聲調語言，聲調的不同會使詞義發生改變。華語聲調特性於言語聲學上的主要表現為音節的基本頻率、時長和音強的差異，其中最主要的是基頻走勢的變化。華語四種聲調各有其各自特殊的基頻走勢變化型態，其中一聲為陰平調（又稱高平調，high level tone），二聲為陽平調（又稱高升調，high rising tone），三聲為上聲（又稱低降升調，low falling-rising tone），四聲是高降調（high falling tone）。此外，還有輕聲（neutral tone），通常時長較短促，沒有固定的調型，音高隨著所在音境的變化而改變（鄭靜宜，2011）。

在華語中不同的調型有不同的音高變化型態，音高變化來自於基頻的變動。基頻是聲帶振動的基本頻率，聲帶振動為言語的主要聲源，語音中任何有聲（voiced）音皆帶有基頻，因此，除了母音以外，鼻音、邊音、有聲摩擦音和介音的基頻也會受聲調的影響。基頻的改變來自聲帶緊張度（vocal fold tension）與聲門下壓（subglottal pressure）的調整（Titze, 1994）。聲帶本身的緊張度與基頻的高低大致成正比，基頻愈高，聲帶的緊張度愈大，反之則否。環甲肌（cricothyroid muscle, CT muscle）的收縮可增加聲帶緊張度，進而提升音高；甲杓肌（thyroarytenoid muscle, TA muscle）的收縮可增加聲帶的厚度，進而降低音高（Titze）。此外，一些喉外肌群對於降低音高也有貢獻，如胸骨舌骨肌（sternohyoid, SH）和胸骨甲狀肌（sternothyroid, ST）（Erickson, 1993; Hallé, 1994）。總之，聲調的基頻變化需要喉內肌、喉外肌以及呼吸肌群互相協調合作，才能產生出有固定型態的音高變化。

華語四種聲調各有其獨特的基頻輪廓（contour），如圖1所示為一華語男性說話者說出具有四種聲調形式的/i/音節（衣、移、椅、異），呈現出四種不同的音節基頻曲線的輪廓。早期Chao（1948）創音調五度制，將聲調音高分成五個等級，而「一」代表最低調，「五」代表最高調，依此五度制將華語四個聲調的型態定為5-5、3-5、2-1-4與5-1（對應於一聲、二聲、三聲與四聲）四種。比較這些聲調的基頻走勢，主要的不同在於四種聲調的起點和目標音高的不同。就起點音高而言，通常三聲的起點音高最低，而一聲和四聲的起點音高較高。就終點音高而言，通常三聲和四聲的終點音高較低，而一聲和二聲的終點音高較高。由於在連續語境中三聲皆為「半上」形式，即所謂「不及」（undershoot）的形式，末尾音高並無上升，因此，三聲的特點就是具有最低的基頻值，是為低調。四聲則是擁有最大的基頻變化範圍值，音高由起點最高很快地降到最低，音高變化的斜率以四聲最為陡峭。

基頻於時間向度的變化率，即基頻的斜率，每種聲調皆有其特性。基頻變化率為一段時長中基頻的變化範圍差距值。通常華語一聲的變化率最小，四聲則有最大的基頻變化率。基頻斜率的計算是音節區段的末尾基頻減去起始基頻值，再除以該區段的時長。斜率為「負」值時表示下降走勢，斜率為「正」值表示上升走勢。基頻斜率的計算由於是以音段時長為分母，在此音段中基頻的差距為分子，因此數值會受語速的影響，音段時長愈長基頻變化率愈低，因此需在同一語速下做比較才有意義。若在同一語速下，各聲調間的區別應是顯而易見的。

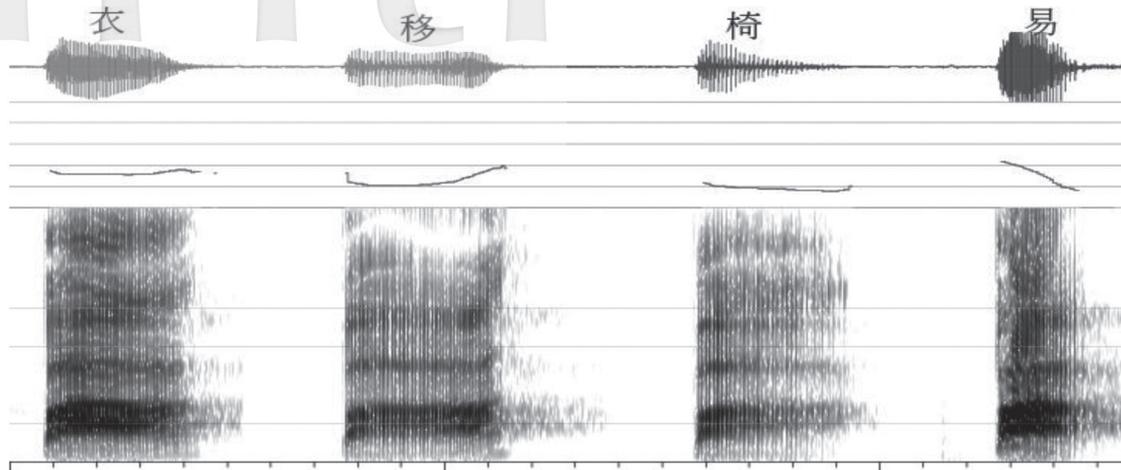


圖1 華語具有四種調型的/i/音節的波形、基頻曲線圖和頻譜圖

二、多音節詞的基頻變化

在多音節詞或句子中，由於受到整體語調音高的規範使得基頻的變化可能就不如在單音節時的明顯。多音節發語的音節基頻會受到許多因素的影響，如句調、變調（tone sandhi）、共同構音（coarticulation）等因素。變調是在連續發語時語言中特有的聲調改變規則，乃是語言特有的調型變化規則。在音節連續串接時，音節原本的聲調改變成另一種聲調的調型。例如華語有名的「三三變調」規則，凡是發語詞或是語句中有「三聲」鄰接「三聲」的音節，第一個三聲音節會變調為「二聲」，而形成「二聲」接「三聲」的調型。例如「水果」一詞中「水」音之本調為三聲，但在說出這個詞時需變成「二聲」的形式。

除了變調外，音高還會受到其前後鄰近音節的「共同構音」（簡稱共構）或稱「協同構音」的影響，相互牽制的結果將使得在語句中音節的基頻型態不若在單音節中時明顯。但因「共同構音」造成的音高變化不若「變調」的影響來得劇烈，通常不易被察覺。變調是改變了整個音節的調型，而共同構音造成的影響則只是在音節中一些區域範圍的基頻上有些許的改變，調型還是依舊維持著音節原本的聲調型態。本研究的目的即在探討雙音節詞中一些因共構而來的基頻變化。

三、聲調的共構

「共同構音」是在連續發語時每個相鄰音（音素或是音節）之間有不同程度的音重疊現象。共同構音主要源自於需顧及言語動作的連續性與流暢性，連續發語時每個音的構音動作不可能遽然分明，切割得清清楚楚，而是在音和音之間的交接處會出現部分的重疊，例如發生於子音和母音之間的協同構音動作。通常語速愈快，重疊部分愈多，共構愈明顯。

共構對於鄰音的影響，依照影響的順序或方向可分為兩類，一種是「存留性共構」（preservative coarticulation, retentive），又稱為「由左到右」（left-to-right），或謂「前行性」（progressive）的共構效果，發生於後音的改變乃是受到前音的影響。此類多半是由於

構音動作因為慣性或遲滯作用，使得後音發音時構音子 (articulators) 無法在短時間內回復到中性的位置，以致於在連續動作時，下一個語音動作往往會受到先前一個動作殘留的影響而改變。例如說/ma/音時/a/音會帶有鼻音的鼻化現象，這是因顎咽閥門 (velopharyngeal port) 的關閉動作較遲滯而造成。另一種是所謂的「預期性共構」 (anticipatory coarticulation)，又稱為「由右到左」 (right-to-left) 或「回溯性」 (regressive) 的共構。此種語音的改變乃是因為後接音的影響，位於一個音段的構音受到其後接下來將要產生的音所影響，構音動作會為將來即將發生的動作先做準備而調整。在連續產生的構音動作中，當說話者欲產生一個音時，同時也會為下一個音的動作作預備，而在動作上先有些因應性的改變。例如說/tu/音時，/t/的動作受到接下來要說/u/音的影響會加入圓唇的動作，而原本單純/t/音的動作並不需要圓唇。對於多音節詞中基頻其實也會受到共構的影響，然而到底是源自於預期性效果或是存留性效果呢？兩者中哪一種影響較大呢？

「共同構音」不僅是在「音段」的構音動作上出現，在「超音段」上也會出現此現象，因為在連續發語時喉部聲帶的基頻調整動作也會如其他構音器官一樣，有預期準備或慣性牽制的情形。聲調在連續發語的情況下（如多音節詞）會受到共構的影響在基頻走勢上出現些許的改變，稱為聲調共構 (tonal coarticulation) 效果，聲調共構不會造成聲調調型的改變，只是會對語段中部分基頻略產生改變，來自於語音音境 (phonetic context) 產生的基頻局部性的變化。事實上，聲調共構在聲調語言中是普遍的現象，例如Gandour、Potisuk和Dechongkit (1994) 即發現泰語有聲調共構的現象，而Peng (1997) 研究分析了台語的聲調共構影響。

在華語雙音節詞中的第一音節與第二音節的聲調，即可能因聲調共構的影響，使得基頻產生變化。Shih (1988) 曾分析華語聲調共構的現象，測量音節基頻輪廓的起點和終點的基頻值，發現基頻值和聲調目標的計時會因聲調共構而移動，例如一個二聲後接一聲的情況。二聲末尾的基頻上揚趨勢的時間會稍往後延宕，末尾上揚的幅度也就相對地較小。Shen (1990) 發現基頻的變化範圍會受聲調共構的影響，末尾高調之後接音基頻範圍會較大於末尾低調的情況，儘管如此，聲調共構卻不會改變聲調的大致基頻輪廓。然而，Xu (1994) 指出共構對於一個聲調型改變的程度視該聲調所在的音境 (phonetic context) 而定，他發現在「相容」的聲調音境下，基頻變異的程度小；但若在「衝突」的聲調音境下，基頻的改變程度會較大，有時甚至改變基頻走向和輪廓。例如在一個三音節詞中，若第二聲的音節是夾在前有高調尾和後有低調頭的情況，則此二聲音節的基頻輪廓會是持平或甚至下降，而非上揚走勢。Xu (1997) 使用 /ma ma/ 音節研究華語雙音節詞的聲調協同構音效果，發現基頻同時具有預期性（回逆性）與存留性（前向性）的雙向性協同構音效果。然而此研究由於使用的材料和說話者人數過少，使得在結果的推論方面有其限制，且其使用的音節只有一種/ma/音節，除了「媽媽」一詞之外，其他雙音節皆為無意義音節串連。若要了解其他聲母音節的雙音節詞中基頻共構的情形，需納入更多的語音類別的詞彙為材料來做分析。

華語聲調主要由韻母所攜帶，根據Howie (1974)，華語音節的聲調並非散佈於音節中有聲的部分，也不是只在母音部分，而是侷限於音節韻母部分，包括母音及其後有聲的韻尾音段。在連續語音中，在不同的聲調連接的音境當中，音節基頻變化的起點和目標實現可能

會有所改變，使得基頻輪廓有所變異（Xu & Wang, 2001）。鄭靜宜和張有馨（2003）曾調查華語各種聲調組合之雙字詞的基本頻率之共構特性，分析四位正常說話者（二男、二女）的雙音節詞的基本頻率。觀察由於前後音節不同聲調相連接時，同一調型基頻曲線的差異，例如詞語「琴聲」為二聲＋一聲，而「化身」為四聲＋一聲的連接，比較第二音節的聲調可發現同是一聲，但四聲後的一聲起始基頻值較低；二聲後的一聲起始基頻值則稍較高。同樣地，在詞語「班級」為一聲＋二聲，而「變質」四聲＋二聲，可發現同是在第二音節的二聲，但四聲後的二聲起始基頻值較低；一聲後的二聲起始基頻值則稍較高。在詞語「供給」（一聲＋三聲）中第二音節的三聲走勢為低平，起伏比單音節時的為小，在詞語「辦法」中的三聲音節走勢也是較為低平，而且三聲的起始頻率較為低，這是因為受到前面四聲音節的影響。又如在詞語「會議」（四聲＋四聲）中的第二音節的起始基頻也是有比「福氣」（二聲＋四聲）中第二音節較低的情況。圖2顯示一男性說話者產生之「福氣」與「會議」兩詞語的基頻曲線，由圖2中可見在「會議」一詞的情況中，第二音節「議」音的起始段基頻較「氣」音為低。可能是由聲調為四聲的第一音節「會」音造成後接音節的起始基頻變得較低之故，推測可能因為四聲末尾的基頻較低，後接音節的起始基頻值無法在短時間之內上升到應有的基頻高度所致。以上這些都是聲調在多音節詞中的共構效果，造成音節之中局部音段的基頻略有變異的情形。

本研究的目的是在探討華語雙音節詞聲調之基頻共構作用，比較兩個音節各因鄰聲調產生的基頻變異程度。本研究使用有意義的華語雙音節詞彙為材料，基頻分析時增加基頻曲線中段點的分析以及基頻斜率的分析。

貳、方法

一、參與者

共有十位參與者，男、女各有五位，參與語音錄音的工作，他們年齡範圍在二十二至四十二歲之間。這些參與者皆為以華語為母語，教育程度為大學以上，並無聽力、言語障礙

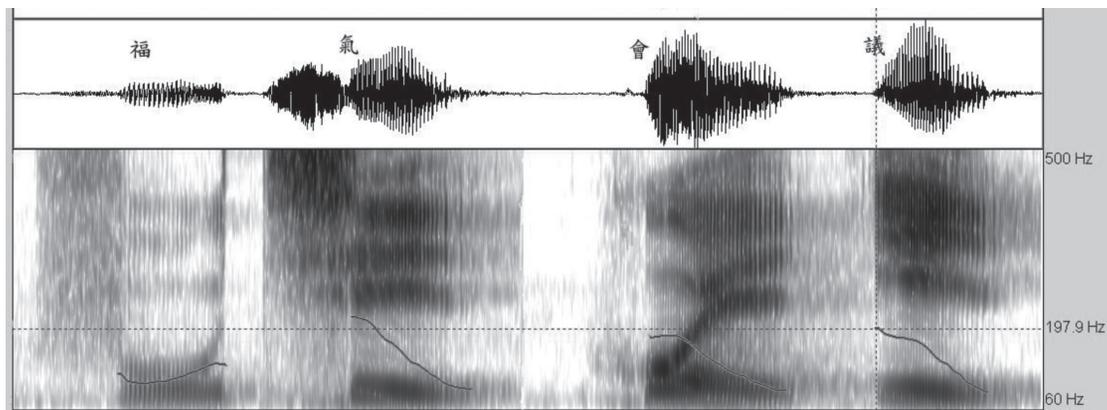


圖2 一男性說話者產生之「福氣」與「會議」兩詞語的基頻曲線比較

或其他神經性疾患。表1列出十位說話者發出華語雙音節詞的平均基頻值、標準差、最低基頻值、最高基頻值與基頻範圍。這十位說話者產生華語雙音節詞的基頻最低值為63.56 Hz，最高可達351.45 Hz，個人基頻變化範圍最小有92.53 Hz，最大則達286.22 Hz之廣。

二、刺激材料

共有十六種音調連結型式（四聲 × 四聲）的雙音節詞32個（請見附錄一），每一種音調連結型各有兩個雙音節詞。為避免鼻聲母的干擾，刺激材料排除帶有鼻聲母的音節。

三、語音取樣

語音採樣錄音於安靜的室內進行，語音收錄採用Handy Recorder H2數位錄音機，取樣頻率為44.10 k Hz。提供給受試者刺激詞材料之頁面上印有中文字。請受試者先練習閱讀一次，再依主試者的指示以慣用音量與中等語速唸出詞音，每一個詞各唸一次。

四、基頻分析

基頻聲學的分析使用Praat聲學分析處理軟體，以程式提供的音調分析功能，並結合頻譜圖觀察進行每個發語詞中韻母基頻曲線的擷取。語音先經過低通濾波（400 Hz），再以自相關基頻分析運算，基頻最高可能數值設為400，最低可能值設為60 Hz，基頻運算以每10毫秒為單位。計算得出每個發語詞的第一音節和第二音節之韻母平均基頻、標準差、最低基頻值、最高基頻值與基頻範圍等數值，並求得第一音節韻母之起始、中點、末尾與第二音節韻母之起始、中點和末尾的二十毫秒基頻的平均值，之後進行音節基頻的斜率分析。斜率計算乃是將該音段的末尾基頻值減去起始基頻，除以該段的時長（以毫秒計）。

表1
十位說話者的平均基頻值、標準差、最低基頻值、最高基頻值與基頻範圍 (Hz)

編號	性別	平均基頻	標準差	最低值	最高值	範圍
1	男	108.84	14.71	65.30	157.83	92.53
2	男	115.45	13.24	64.49	173.73	109.24
3	女	225.09	44.66	65.23	351.45	286.22
4	女	224.03	32.11	69.73	332.99	263.26
5	男	136.26	23.57	81.54	245.48	163.94
6	女	197.87	29.44	65.28	313.29	248.01
7	女	205.50	41.48	65.70	334.30	268.60
8	女	179.86	23.69	70.00	270.48	200.48
9	男	113.40	13.83	65.65	191.26	125.61
10	男	131.66	13.65	63.56	188.39	124.83
全體		163.19	52.87	63.56	351.45	287.89

參、結果與討論

一、韻母之起始、中和末尾處的基頻比較

於表2列出雙音節聲調連結型態的第一音節始段、中段和末段與第二音節始段、中段和末段的平均基頻值。「T11」表示第一音節為一聲，第二音節為一聲的詞語，依此類推。圖3呈現十位說話者之四種聲調在第一音節和第二音節的始、中、尾段之平均基頻值（排除T33）。此外，本研究說話者男、女性組別之第一音節和第二音節四種聲調的基頻相關分析之平均值與韻母時長資料列於附錄二。男女性的基頻值雖有差異，但在四種聲調的變化趨勢上是一致的。

為考驗音節位置對基頻的影響，以相依樣本的 t 考驗，考驗出現在雙音節詞的第一音節或第二音節的位置對基頻值的影響（排除T33），結果顯示在一個韻母中在三種位置的基頻值均顯著地受音節所在順序位置（第一音節 vs. 第二音節）的影響，起始基頻： $t(149) = 2.97, p = .003$ ，中點基頻： $t(149) = 4.09, p < .001$ ；末尾基頻： $t(149) = 2.76, p = .007$ ，第一音節的基頻顯著地高於第二音節，亦即就整體來看，第一音節的基頻較第二音節的基頻為高。

表2

十六種雙音節聲調連結情況第一音節與第二音節首、中、末位置的平均基頻值 (Hz)

聲調連結型態	第一音節			第二音節		
	起始	中點	末尾	起始	中點	末尾
T11	192	191	193	189	187	198
T12	193	192	193	160	133	161
T13	198	199	203	172	136	108
T14	201	190	192	212	173	134
T21	176	163	196	202	188	207
T22	157	163	194	167	140	168
T23	165	160	208	161	127	114
T24	160	146	171	210	161	127
T31	167	140	125	179	185	198
T32	156	133	124	146	134	167
T33	159	159	203	170	126	103
T34	161	132	119	202	165	124
T41	220	168	135	182	174	184
T42	221	178	140	137	130	158
T43	214	163	132	127	100	103
T44	213	160	132	189	158	126
全體	184.81	164.81	166.25	175.31	151.06	148.75

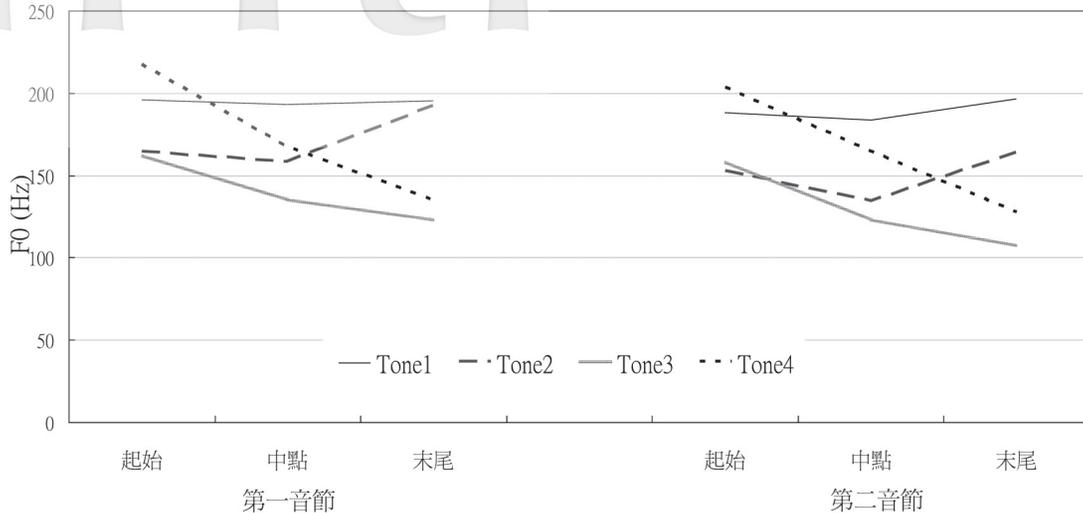


圖3 四種聲調各在第一音節和第二音節的始、中、尾段之平均基頻值 (Hz)

不管是在兩音節間的始段、中段或是末段的比較上，皆是如此，呈現雙音節詞整體基頻的走勢是由高至低的趨向，亦即同一種聲調若出現於第二音節皆會比第一音節的基頻值來得低。例如同為第二聲，若出現於第二音節位置時頻率會較低，尤其在末尾處二聲上升幅度較小。若比較四種聲調型之間的差異，以第二聲受到音節位置的影響較大，同樣為二聲，位於第二音節的中點和末尾位置之基頻較低，第二音節的二聲無法像是在第一音節時在末尾有較明顯的上揚趨勢。帶有第三聲音節的基頻走勢整體為下降趨勢（T33除外），後半部基頻走勢的斜率較緩，但在第二音節位置的基頻走勢下降較陡急，末尾的基頻也較為低。推測在第二音節基頻較低的原因可能是受到整個發語之語調（utterance intonation）的影響，通常在一個連續語音發語、片語或子句之中基頻值由頭至尾會有漸降（declination）趨勢（Cohen, Collier, & Hart, 1982），即使發語只有兩個音節也可能會有這樣的效果。

二、鄰聲調的影響

觀察表2和圖4、圖5、圖6、圖7可發現四種聲調的第一音節的始段基頻在各自其四種的連結型中差異並不大，而音節末段的基頻變化稍較大（T33不計入）。和第一音節相比，在第二音節的始段中在各種連結型間的基頻差異較大，而音節末尾基頻的變化則較小。例如觀察第二音節同是二聲的連結型，T32和T42的第二音節的始段基頻就較T12和T22為低。比較雙音節詞這六個位置的基頻變異性可發現在第二音節起始位置的地方不同連結調型間的差異較大，表示受到共構的影響較強，也就是第一音節的調型對其後第二音節的基頻起始值的影響較大，此為存留性共構的影響。此外，觀察圖8、圖9、圖10、圖11可發現當第一音節為四聲時，第二音節起始基頻值會較低，以T43最為明顯，推論這些效果源自於聲調共構的存留性效果。

華語雙音節詞的第一音節聲調是否會影響第二音節的基頻呢？可比較第二音節基頻值是否因相鄰聲調（第一音節聲調）不同而有差異。圖12呈現十位說話者所有發語詞之第二音

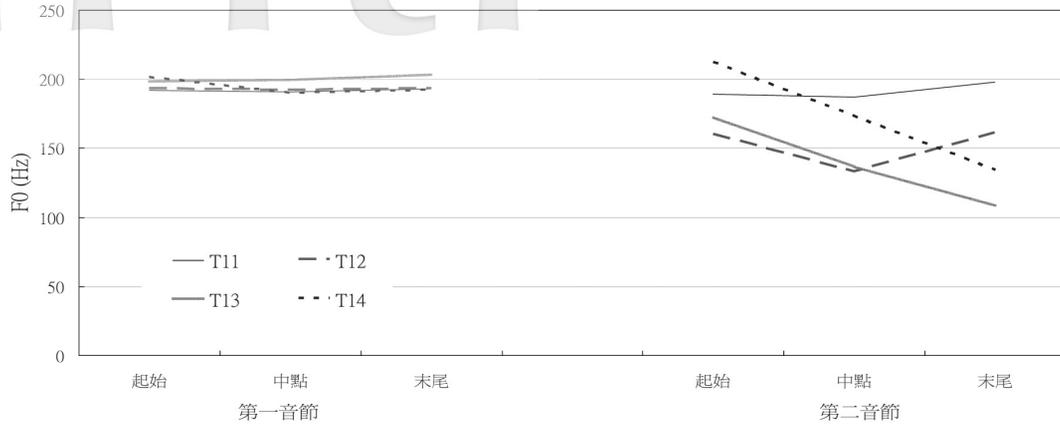


圖4 第一音節同爲一聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

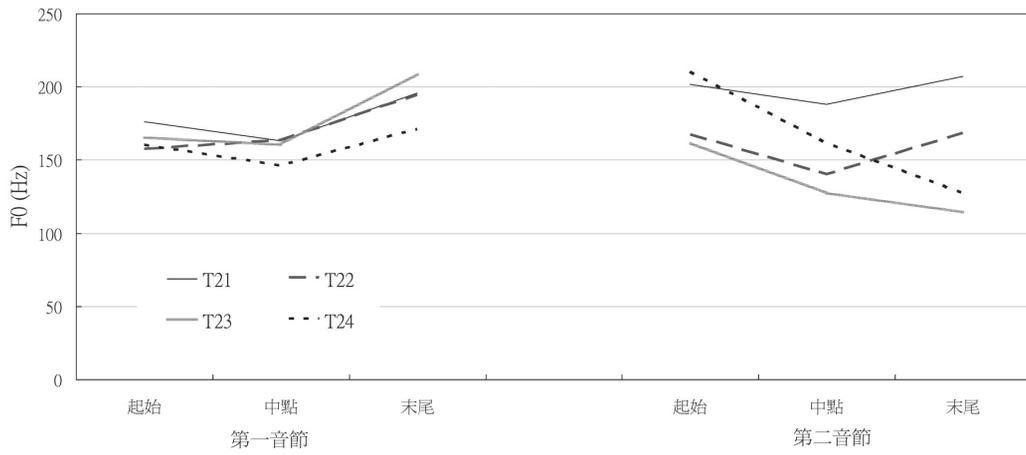


圖5 第一音節同爲二聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

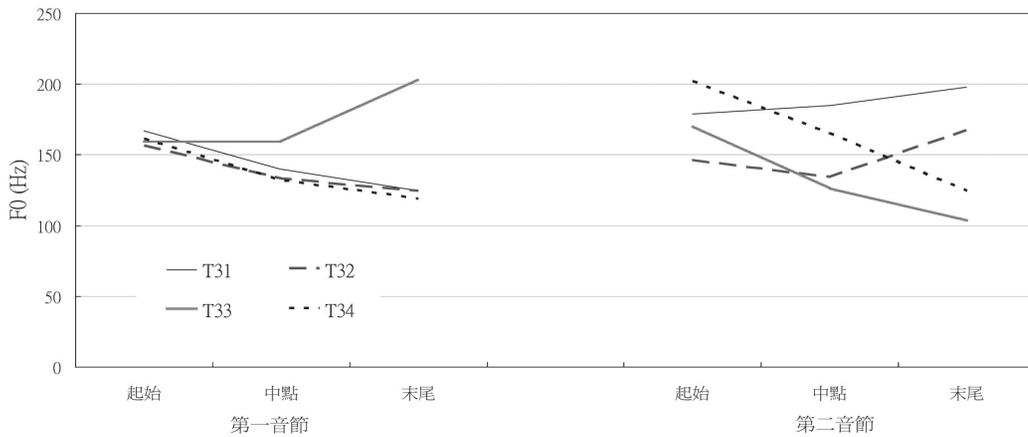


圖6 第一音節同爲三聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

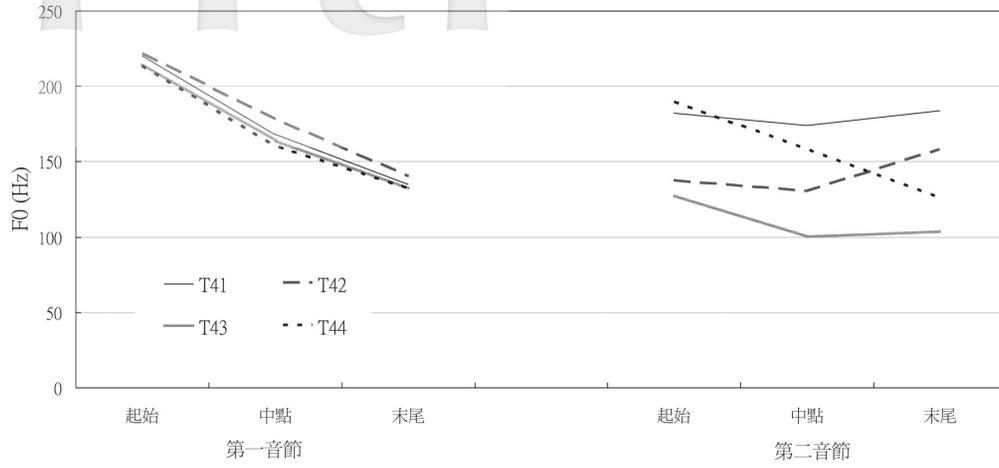


圖7 第一音節同為四聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

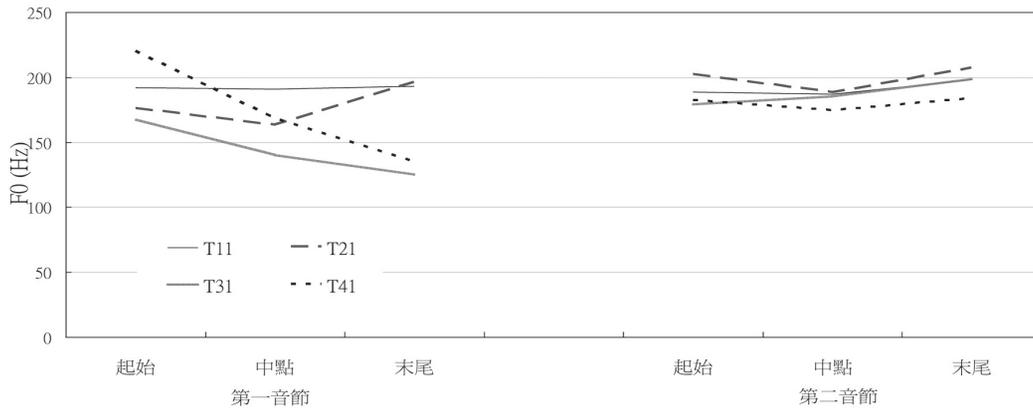


圖8 第二音節同為一聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

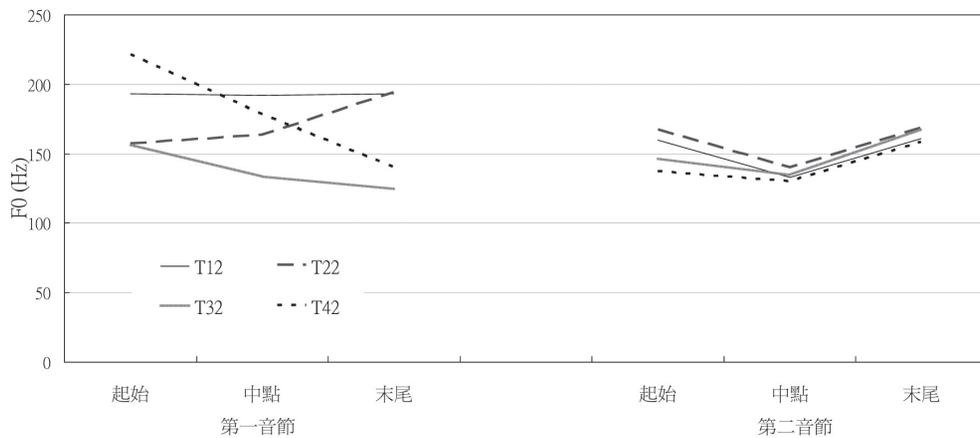


圖9 第二音節同為二聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

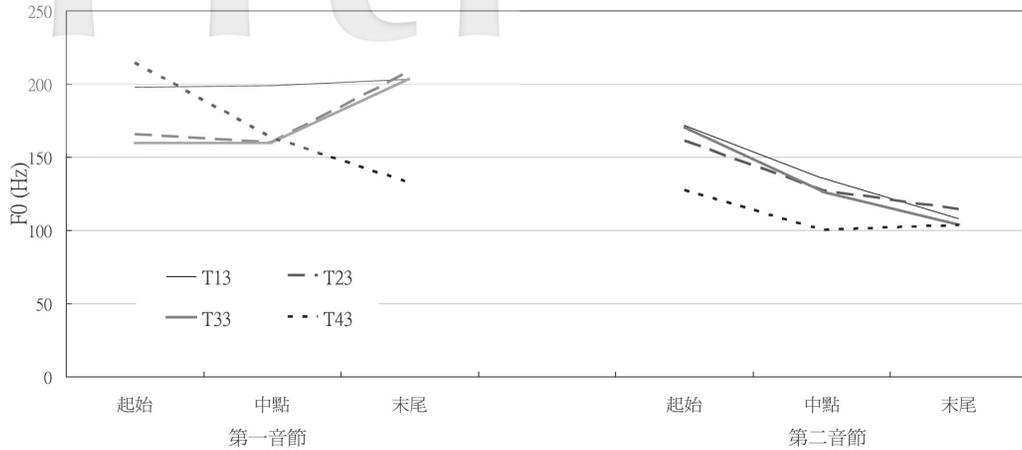


圖10 第二音節同為三聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

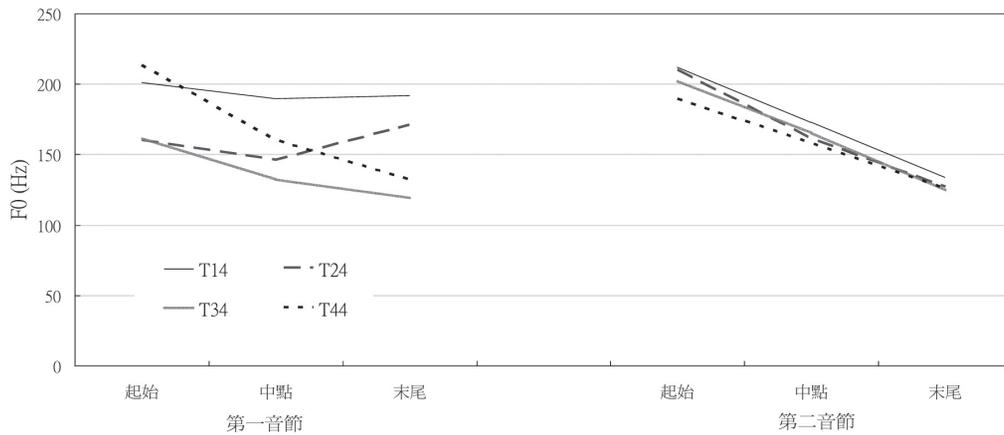


圖11 第二音節同為四聲的四種聲調結合型的各區段平均基頻值 (Hz)

節起始點、中點和末尾的基頻平均值，可見到當第一音節是二聲時，第二音節頭段基頻會較高，而當第一音節是四聲時第二音節起始基頻值則會是在較低的情況。究其原因可能是聲帶振動頻率的調整會受其前一狀態的影響，無法在短暫時間中達到應達的振動速度。例如，在第一音節為四聲時，在第一音節末尾聲帶振動的頻率已經很低，因慣性之故，一時之間無法很快做調整而顯得較其他情況時為慢，而造成後接音節的起始基頻較低。當第一音節是二聲時，第二音節頭段基頻較高，可能因一時之間無法很快下降頻率，造成後續音節起始基頻值較高。

考驗第一音節的調型對其後接第二音節的基頻值產生影響，以十位說話者第二音節起始點基頻為依變項，第一音節聲調為自變項，受試者內變異數考驗（排除T33）的結果顯示第一音節聲調效果達顯著， $F(3, 27) = 19.50, p < .001$ 。同樣地，若以第二音節的中點基頻為依變項，變異數考驗的結果亦達顯著， $F(3, 27) = 19.30, p < .001$ 。若以第二音節的末尾點基頻

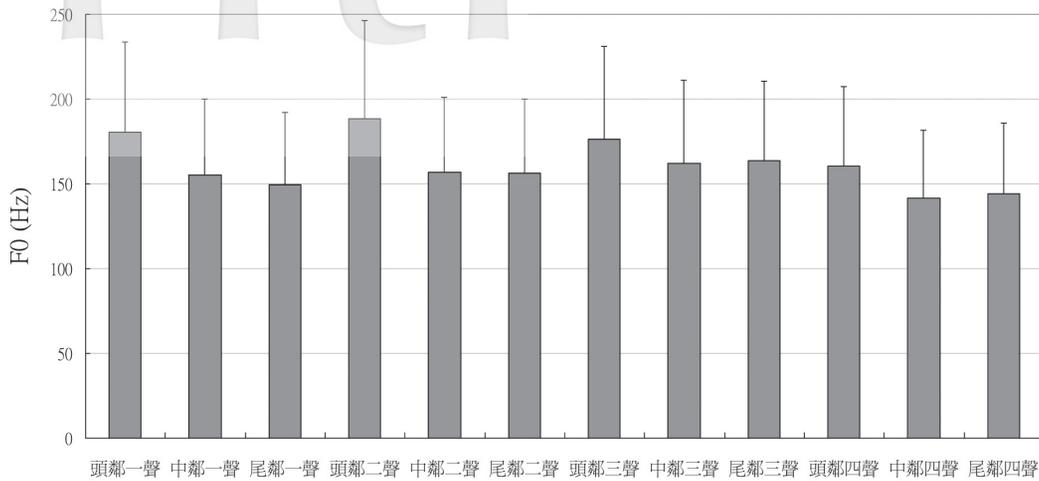


圖12 十位說話者所有發語詞之第二音節起始點、中點和末尾的基頻平均值 (Hz)

為依變項，變異數考驗的結果亦達顯著， $F(3, 27) = 18.60, p < .001$ 。可見第一音節聲調的效果是散佈於第二音節的整段，在起始點、中點和末尾位置皆受到影響，亦即第一音節的調型對其後第二音節的整段基頻值都會發生影響，此即為共構的存留性效果。

華語雙音節詞的第二音節聲調是否會影響第一音節的基頻呢？可比較第一音節基頻值是否因相鄰聲調不同而有差異。圖13呈現十位說話者所有發語詞之第二音節起始點、中點和末尾的基頻平均值（排除T33），可發現當第二音節為四聲時，第一音節末尾頻率下降較多，此為預期性共構效果。以十位說話者第一音節尾端基頻為依變項，第二音節聲調為自變項，受試者內變異數考驗（排除T33）的結果顯示第二音節聲調效果達顯著， $F(3, 27) = 19.75, p < .001$ 。同樣地，若以第二音節的中點基頻為依變項，變異數考驗的結果亦達顯著， $F(3, 27) = 16.17, p < .001$ 。但若以第一音節的起點基頻為依變項，變異數考驗的結果則未達顯著， $F(3, 27) = 4.65, p = .06$ 。可見第二音節聲調的效果在出現於第一音節的末尾和中點位置，而第二音節的調型對第一音節起始點位置基頻則不發生影響，可見預期性共構的效果侷限於第一音節之後半段（由中點至末尾）。

綜合上述第一音節和第二音節聲調對鄰音節之起始、中點和末尾位置影響的比較，可發現雙音節詞之第一音節和第二音節之聲調對鄰音節基頻皆有影響，同時出現存留性和預期性共構的效果，但其中以在第一音節的聲調型對第二音節基頻的影響區域範圍較大，且四種鄰聲調間的差異以第一音節聲調所造成的差異幅度較大，顯示第一音節聲調對第二音節基頻的影響效果較強，可見對於華語雙音節詞聲調共構的存留性效果大於預期性效果。

三、基頻斜率分析

四種聲調各有其獨特的基頻輪廓斜率特徵，例如帶有四聲的音節會呈現負值最低的斜率值，表示基頻曲線陡然下降；而帶有二聲音節末尾則有較高正值的斜率，表示基頻曲線末尾

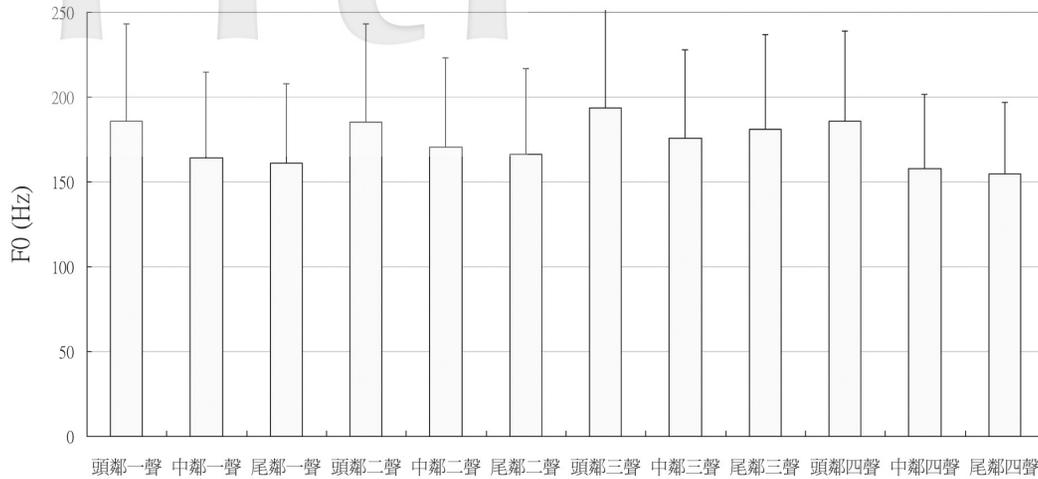


圖13 十位說話者所有發語詞之第一音節起始點、中點和末尾的基頻平均值 (Hz)

呈現上升趨勢，但是若只觀察二聲音節的前半段則斜率值往往不大，甚至有些還略呈負值，可見一個音節中的首段和末段，基頻走勢常有不一致的情形。將音節韻母由其時長之中點切分，將之分為「前段」和「後段」兩部分來觀察斜率走勢應是個可行的方法。表3呈現在16種調型結合狀況的第一音節和第二音節之前半段和後半段之平均基頻斜率值。於表3中可見在音節前半段的基頻斜率一般以負值居多，其中一聲和二聲音節的負值較小，而四聲和三聲音節的斜率負值較大。帶二聲音節在音節後半段的基頻斜率有較大的正值，以位於第一節時基頻斜率值較大。T33的第一音節由於受變調的影響斜率為正值，尤其在後半段斜率正值很明顯，如同在第二聲時的情況（為正值）。此外，末段斜率為正值的情況還出現於第二音節為一聲的情況，如T11、T21、T31和T41，但斜率的上升幅度皆不及帶二聲時的情況。此外，由表3可看出華語雙音節詞的第二音節韻母的時長似有較長的趨勢，可能是由於末尾拖長效果（final lengthening effect）所致。在鄭靜宜（2004）有關華語音節時長研究亦曾發現此效果。

基頻斜率是否會受鄰音節聲調共構的影響？若第一音節同為某一聲調，可觀察後接音節聲調斜率，對其產生的變化在何段的斜率（前半段和後半段）會有較大的差異。因為既然為同一聲調理論上音節基頻變化的斜率理應相近似，若有不同則應是第二音節聲調所造成的影響。由圖14的觀察可見到在第一音節同為一聲的四種情況（T11、T12、T13、T14），第二音節聲調對第一音節韻母基頻斜率的影響其實不大。在第一音節同為二聲時的四種情況（T21、T22、T23、T24）時，韻母前、後段斜率則有些不一致性的差異，顯示韻母前、後段皆受到第二音節共構的影響，但末尾走勢上揚的趨勢（斜率正值）是不變的，只是幅度的差異，在T23時，第一音節基頻末尾上揚最為明顯。在第一音節帶有三聲的情況（T31、T32、T33、T34），除了T33變調外，在第一音節韻母前半段各狀況間前半段斜率差異較大，似乎在前半段受到的影響較大。在第一音節帶有四聲的情況（T41、T42、T43、T44），第一音節韻母前半段受到第二音節聲調的影響略大，例如在T42和T44間的前半段的差異較大；在後半段則似乎差異都不大。由這些第一音節具同一聲調的韻母因第二音節聲調之不同而造成的基

表3

十六種調型結合狀況的第一音節和第二音節之前半段和後半段之平均時長 (ms) 和基頻斜率值 (Hz/ms)

聲調連結型態	第一音節			第二音節		
	時長	前段斜率	末段斜率	時長	前段斜率	末段斜率
T11	270	0.00	0.02	310	-0.02	0.08
T12	300	-0.01	0.01	370	-0.16	0.16
T13	310	0.01	0.02	260	-0.32	-0.27
T14	260	-0.09	0.02	200	-0.46	-0.46
T21	290	-0.10	0.24	350	-0.08	0.11
T22	280	0.06	0.25	360	-0.16	0.16
T23	270	-0.03	0.37	220	-0.38	-0.22
T24	260	-0.11	0.21	210	-0.54	-0.38
T31	250	-0.24	-0.14	340	0.03	0.09
T32	250	-0.20	-0.08	330	-0.09	0.22
T33	270	0.01	0.35	230	-0.46	-0.27
T34	210	-0.29	-0.16	220	-0.40	-0.43
T41	240	-0.46	-0.30	310	-0.07	0.07
T42	280	-0.34	-0.29	350	-0.05	0.17
T43	270	-0.41	-0.26	210	-0.30	-0.03
T44	230	-0.51	-0.26	180	-0.39	-0.40
全體	265	-0.17	0.00	278	-0.24	-0.09

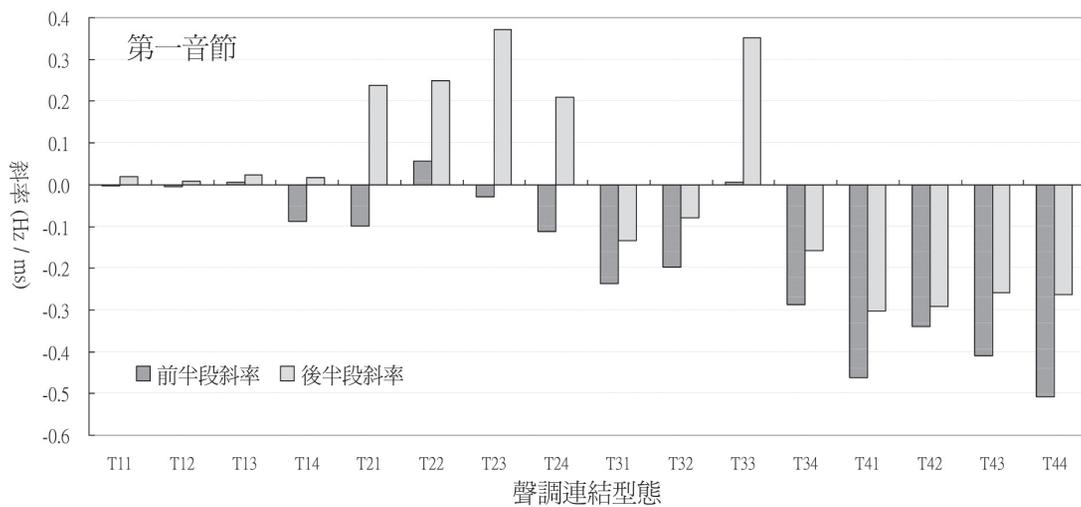


圖14 十六種聲調連接型在第一音節之韻母前半段和後半段的平均基頻斜率值 (Hz/ms)

頻斜率值的差異，是屬於預期性共構的效果，也可見到在各聲調的音節中共構所帶來對基頻斜率的影響並不一致。

同樣地，也可觀察第二音節的前半段和後半段斜率由第一音節聲調差異所帶來的存留性影響，亦即觀察第二音節同為一種聲調時，第一音節聲調對第二音節基頻斜率造成的差異。由圖15可見到較大的差異大多是出現在第二音節前段的斜率，顯示在第二音節前半段受到共構的影響較強，例如在第二音節同為一聲的情況，第二音節的前半段的斜率就會因第一音節聲調而有不同斜率的差異，顯示前半段受到共構的影響較大。第二音節帶有二聲、三聲和四聲音節之前半段在不同調型間也是具有較大的斜率差異，在後半段則差異較小，趨勢較為一致。有一例外發生在T43的情況，其第二音節的後半段斜率較小（基頻走勢較平），與其前半段的斜率差距較大。在T33的情況雖為變調，但其第二音節還是三聲，在韻母前段基頻值卻具有較為負的負值，顯示基頻走勢下降較陡然，頗類似四聲的斜率，不完全等同於T23的情況。

就基頻斜率的分析來看，比較第二音節和第一音節聲調對其鄰音節基頻的影響，可知第一音節聲調對於第二音節基頻斜率的影響在各調型間趨勢較為一致，且改變幅度較為明顯，可見對其基頻共構的存留性效應較為強。然而，大體而言，在雙音節詞的聲調共構效果對於基頻斜率的改變有限，各聲調大致還是維持著既定的基頻輪廓走勢。

四、連接調型之間的衝突或和諧關係？

若將雙音節詞基頻的和諧程度定義為第一音節末尾基頻與第二音節末尾基頻值的差異多寡，若相鄰接處基頻差異值小表示聲帶振動頻率在兩音節間需要調整的幅度小，因此和諧度大；反之，基頻差異值大者表示聲帶振動頻率在兩音節之間的所需調整的幅度大，因此較不具和諧性。計算十位說話者於32個雙音節詞語的第一音節末尾的基頻與第二音節起始基頻的差異絕對值列於表4，可以發現T34之第一音節末尾基頻與後接四聲的起始基頻的差異絕對值

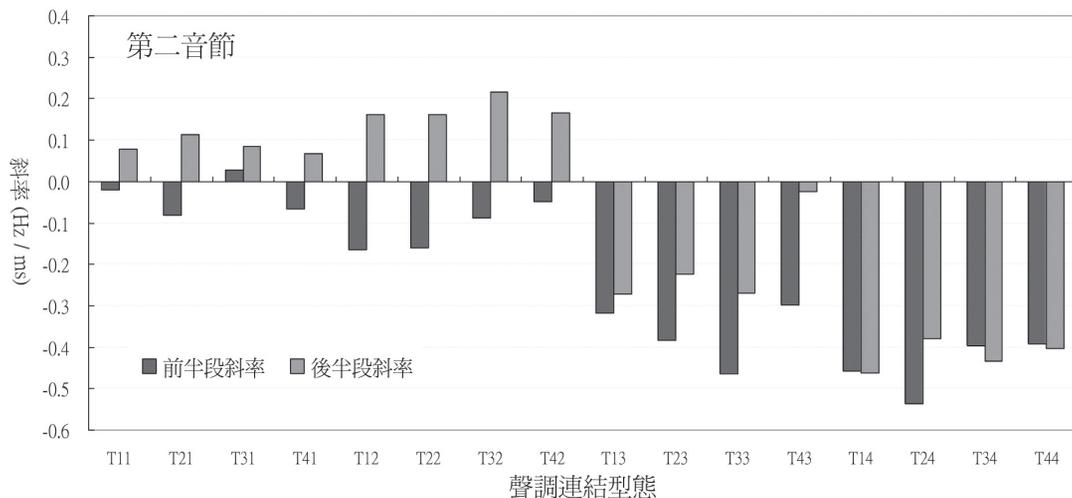


圖15 十六種聲調連接型在第二音節之韻母前半段和後半段的平均基頻斜率值 (Hz/ms)

最大，達85 Hz之多，其次為T44的雙音節，基頻差異絕對值達54 Hz之多，其餘達50 Hz以上的差異值，尚有T31的情況。前後音節最無差異值的當屬T42和T11的情況。其次是前音節四聲接後音節三聲，以及前音節一聲接後音節一聲的情況。

若以差異平均值34 Hz為分界點可將這些聲調共構連接的型態分為兩類：和諧型與衝突型，經分析共有九種和諧型與七種衝突型，列出於表5。十六種聲調的連結型態以和諧型居多，其實七種衝突型除了「二聲+三聲」的型態外，皆為第二音節起始處基頻由低突高升的情況，即衝突型的第二音節首基頻值較第一音節末尾為高。第一音節四種聲調中為一聲的皆為和諧型，而第一音節聲調為三聲的衝突型態數量較多，而第二音節聲調為二聲的皆為和諧型態，第二音節聲調為四聲的衝突型數量較多。

肆、綜合討論

本研究分析比較32個雙音節詞之十六種聲調結合之基頻差異，各在音節韻母的三個位置（起始處、終點、末尾處）擷取基頻，並計算基頻變化的斜率值，發現前後兩音節聲調皆對其鄰音節基頻產生影響，存留性和預期性共構效果都會出現，但以第一音節聲調對第二音節的基頻值的影響區域較廣，造成的差異幅度較大，影響性相對地較強，出現存留性共構效果較預期性效果為強的趨勢。在基頻斜率分析方面也有相同的發現，當第二音節同為一種聲調

表4
雙音節詞第一音節末與第二音節起始的基頻差異絕對值 (Hz)

	基頻差距		第一音節聲調				平均
	聲調	一聲	二聲	三聲	四聲		
第二音節聲調	一聲	8	10	54	43	29	
	二聲	33	26	24	9	23	
	三聲	31	48	36	16	33	
	四聲	16	46	85	58	51	
	平均	22	33	50	32	34	

表5
第一音節聲調與第二音節聲調間基頻的合諧度類型

	聲調	第一音節聲調			
		一聲	二聲	三聲	四聲
第二音節聲調	一聲	和諧型	和諧型	衝突型	衝突型
	二聲	和諧型	和諧型	和諧型	和諧型
	三聲	和諧型	衝突型	衝突型	和諧型
	四聲	和諧型	衝突型	衝突型	衝突型

時，第一音節聲調對第二音節基頻斜率造成的存留性共構效果較為明顯。然而，雙音節詞的聲調共構效果對於基頻斜率的改變有限，由基頻斜率的分析可知各聲調大致還是維持著既定的基頻輪廓走勢。

事實上，各聲調間的差異除了在聲音基頻（F0）的型態不同之外，音強與音節時長也會有所差異。雖然在聲調的辨別上，音節時長並非主要聲調的區分因素（Tseng, 1990），但是在語音產生方面，聲調的確會影響詞語的語音時長，尤其是韻母時長受聲調的影響。之前的一些研究（如翁秀民、楊正宏，1997；Shih, 1988; Tseng）發現時長也傳遞著部分聲調的消息，聲調為三聲的音節時長較長，而以聲調為四聲的音節為最短。Tseng的研究資料顯示三聲韻母的時長最長，而二聲、一聲次之，四聲最短。翁秀民和楊正宏的研究以詩句的語音為材料，結果顯示華語的四個聲調中的字音長度，以第二聲最長，其次為第一聲，第四聲最短，而第三聲大約與第四聲的時長相近。這些研究結果顯示聲調時長的不一致性，這些不一致的發現主要是在「三聲」方面。第三聲單音節的產出若是以「全上」的形式說出時，時長通常會是最長的，但若是以「半上」的形式說出時，時長通常較短。在連續發語語句中，通常第三聲音節是「半上」的形式。由於本研究是分析雙音節詞的基頻，三聲情況亦屬於「半上」的形式，三聲韻母時長和四聲的相近，但較一聲和二聲的為短，「半上」形式的三聲在韻母前半段基頻的走勢為明顯的下降趨勢，後半部基頻走勢亦呈下降之狀，只是斜率較緩，末尾並不出現「全上」時的上揚走勢。四種聲調中，第三聲的平均基頻值是相對最低的，甚至在韻母末尾處，三聲的基頻值仍比四聲的為低，是名符其實的「低降調」。

因男、女性基頻範圍值有所差異（見附錄二），本研究基頻資料分析時將男、女性資料放在一起平均統計的作法或有不妥之處，然因為本研究的目的是在於比較詞語兩音節間聲調連接所造成的基頻變化影響，而不在求得詞語的絕對基頻值，且因研究設計中男女說話者的人數是相等，故可控制性別因素的影響。且由於基頻頻率值在一般人的概念是較容易理解的，故維持以頻率值資料來呈現分析資料，而沒有轉換以半音或其他單位，如巴克（bark）或梅爾（mel）量尺作分析。事實上，在一般有關基頻的研究將男、女性基頻資料平均計算的作法相當普遍，如Peng（1997）研究台語聲調的基頻變化，Jeng、Weismer和Kent（2006）研究腦性麻痺者的華語基頻變化。

本研究中基頻輪廓的擷取統一以韻母時長的起點、中點、末尾處三點的基頻資料求得韻母的前半部和後半部的斜率，主要在迅速地掌握每個韻母基頻變化的大致形態，而不在詳實的逼近其真實的基頻曲線輪廓。因為在每個韻母基頻曲線中轉折點（turning point）的位置都是略有差異，若每個音個別地處理需要耗費相當多的時間，而且每個韻母時長也都是不一致的，更增加處理的困難。然一個韻母音段切個成兩區段（前半段和後半段）的作法或可說過於粗糙，未來研究中可以考慮增加擷取的點數和劃分的區段數或可能更貼近實際的基頻曲線輪廓。

基頻變化範圍可能會隨著所說的語言種類而改變，由於華語為聲調語言，基頻的變化是形成聲調對比的要件之一，製造連續的語音時，隨時需調整音高以因應不同音節的聲調變化，因為聲調語言對基頻變化的要求，以聲調語言為特色的華語說話者有較大的基頻變化範

圍。盛華(1996)指出說華語者的基頻變化範圍略大於說英語者的基頻範圍,其資料呈現華語成年人念短文的平均基頻範圍,男性為69 Hz至185 Hz,而女性為69 Hz至227 Hz。而本研究中的說者說出的雙音節詞,基頻範圍則又更大,男性為64 Hz至245 Hz,而女性為65 Hz至351 Hz。可能因為雙音節詞的產生基頻較無沒有語調的約束,故變化範圍較大,或也可能是來自取樣的偏誤,因受試者人數不夠多,未來進一步研究可以增加受試人數,並比較同一說話者在說雙音節和句子時的基頻範圍差異,即可解答此問題。

既然在連續語音中基頻共構是存在的,就不能忽視它,因為它是自然語音的一部份,在有關聲調的語音評估或介入時均需注意此現象,並將連續語音中基頻變化納入。例如對於聽障者、訥吃者的言語復健或是對外國人的華語教學,若能重視此共構現象,必對語音的清晰度和自然度有所貢獻。傳統聲調的教學較偏重單音節時的聲調表現,單音節時的基頻變化自然是較為簡單、單純。然而在日常生活中的言語大多為多音節的詞語、片語或語句,它們有關聲調的基頻變化特徵都會減弱。許多個案單音節的聲調表現類化到多音節情況的困難大多來自音調的共構和變調規則,故應多加強此部分的訓練,畢竟自然華語的產生是無法忽略基頻的共構現象的存在。

在結果應用方面,本研究根據基頻變化幅度,將十六種華語雙音節詞連接調型分為和諧型和衝突型兩類,或可提供一般民眾於嬰兒命名或是公司行號命名的參考。由雙音節所組合成的名字之聲調結合類型,若是屬和諧型的情況,對於說話者而言,聲帶發聲時基頻所需的調整程度比衝突型的為小,或許較有助於正確語音聲調的產出,或是減輕發聲時聲帶肌因聲調共構而須調整的負荷。當然,此推論還需蒐集更多的實證研究證據或更進一步深入的研究來支持。

參考文獻

- 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。
- 鄭靜宜(2004)。語音單調化對國語詞彙、語句的辨識及語音清晰度之影響。南師學報, 38, 175-196。
- 鄭靜宜(2011)。語音聲學——說話聲音的科學。台北市:心理。
- 鄭靜宜、張有馨(2003)。國語雙音節詞之基本頻率(F0)型態與共構特性。載於中華民國音響學會(主編), 中華民國音響學會第十六屆學術研討會論文集(頁75-80)。台北市:編者。
- Chao, Y. R. (1948). *Mandarin primer*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chen, S. H. (1996). Voice range profile of Taiwanese normal young adults: A preliminary study. *The Journal of Speech-Language-Hearing Association*, 12, 79-86。
- Cohen, A., Collier, R., & Hart, J. (1982). Declination: Construct or intrinsic feature of speech pitch? *Phonetica*, 39, 254-273.
- Erickson, D. (1993). Laryngeal muscle activity in connection with Thai tones. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics*, 27, 135-149.

- Gandour, J., Potisuk, S., & Dechongkit, S. (1994). Tonal coarticulation in Thai. *Journal of Phonetics*, 22, 477-492.
- Hallé, P. A. (1994). Evidence for tone-specific activity of the sternohyoid muscle in modern standard Chinese. *Language and Speech*, 37, 103-123.
- Howie, J. I. (1974). On the domain of tone in Mandarin. *Phonetica*, 30, 129-148.
- Jeng, J.-Y., Weismer, G., & Kent, R. D. (2006). Production and perception of Mandarin tone in adults with cerebral palsy. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 20, 67-87.
- Peng, S.-H. (1997). Production and perception of Taiwanese tones in different tonal and prosodic contexts. *Journal of Phonetics*, 25, 371-400.
- Shen, X. S. (1990). Tonal coarticulation in Mandarin. *Journal of Phonetics*, 18, 281-295.
- Shih, C. L. (1988). Tone and intonation in Mandarin. *Working Papers of the Cornell Phonetics Laboratory*, 3, 83-109.
- Titze, I. R. (1994). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Tseng, C.-Y. (1990). *An acoustic phonetic study on tones in Mandarin Chinese*. Taipei, Taiwan: Academia Sinica.
- Xu, Y. (1994). Production and perception of coarticulated tones. *Journal of Acoustical Society of America*, 94, 2240-2252.
- Xu, Y. (1997). Contextual tonal variations in Mandarin. *Journal of Phonetics*, 25, 61-83.
- Xu, Y., & Wang, Q. E. (2001). Pitch targets and their realization: Evidence from Mandarin Chinese. *Speech Communication*, 33, 319-337.

The Effect of Tonal Coarticulation on the Fundamental Frequency of Mandarin Disyllabic Words

Jing-Yi Jeng

Graduate Institute of Audiology and Speech Therapy, National Kaohsiung Normal University

Abstract

Coarticulation occurs frequently in speech, and not only presents on the segmental level, but also on the suprasegmental level. Mandarin Chinese is a tonal language. Does tonal coarticulation exist in the production of tone in the connected speech? By examining the fundamental frequency (F0) variation of rime across different tonal context of disyllabic words, the contextual variation may reveal the effect of tonal coarticulation. The purpose of the present study is to investigate the tonal coarticulation for the disyllabic words of Mandarin Chinese. There are totally 16 types of tonal concatenate in the disyllabic words. Ten adults (five males, five females) participated in speech recording. The F0 values at the beginning, mid and final points were measured and compared among the 16 tonal contexts. In addition, the F0 slopes of the onset and offset section for a rime segment were calculated. The results show that the neighboring tone in the disyllabic words did influence F0 along the rime segments in both syllables of words, except at the beginning points of the first syllables. The entire tone contours of the second syllables were affected by tonal coarticulation; however, only the offset sections of the first syllables were affected. It suggests that the preservative coarticulation is stronger than the anticipatory coarticulation. Overall, the F0 movement direction was generally not affected, and the F0 slopes only had only little variation due to the coarticulation effect. According to the magnitude of the difference between the F0 at the final points of the first syllables and the beginning points of the second syllables, the 16 types of tonal concatenate in the disyllabic words can be classified as two categories: compatible type and conflicting type. For the conflicting type, the F0 distances between two concatenate syllables were greater than those for the compatible type.

Keywords: Tone; Fundamental frequency; Coarticulation; Tonal coarticula

附錄一

雙音節詞材料

		第一音節			
		一聲	二聲	三聲	四聲
第二音節	一聲	Tone1 & tone1 : 班機、巫醫	Tone2 & tone1 : 琴聲、成婚	Tone3 & tone1 : 混音、簡單	Tone4 & tone1 : 化身、特殊
	二聲	Tone1 & tone2 : 班級、新聞	Tone2 & tone2 : 無疑、及格	Tone3 & tone2 : 等級、小腸	Tone4 & tone2 : 變質、課文
	三聲	Tone1 & tone3 : 供給、優雅	Tone2 & tone3 : 馳騁、瓶口	Tone3 & tone3 : 主講、五角	Tone4 & tone3 : 辦法、拜訪
	四聲	Tone1 & tone4 : 書架、交易	Tone2 & tone4 : 福氣、獨奏	Tone3 & tone4 : 苦幹、碗筷	Tone4 & tone4 : 會議、壞掉

附錄二

男、女性說話者之第一音節和第二音節四種聲調的平均基頻 (Hz)、斜率值 (Hz/ms) 與韻母時長 (ms)

		第一音節基頻								
性別	聲調	起始	中點	末尾	前段斜率	後段斜率	基頻範圍	平均	時長	
男	一聲	140	139	140	-0.01	0.008	12	139	281	
	二聲	119	118	142	-0.01	0.21	36	123	258	
	三聲	117	99	94	-0.19	-0.05	26	102	217	
	四聲	162	124	101	-0.35	-0.22	67	128	241	
平均		136	122	121			36	125	252	
女	一聲	250	246	249	-0.03	0.026	25	248	290	
	二聲	211	199	242	-0.09	0.324	59	208	291	
	三聲	206	172	151	-0.29	-0.2	71	175	262	
	四聲	277	214	171	-0.51	-0.34	116	219	273	
平均							66	216	280	
		第二音節基頻								
性別	聲調	起始	中點	末尾	前段斜率	後段斜率	基頻範圍	平均	時長	
男	一聲	133	130	139	-0.02	0.06	16	132	323	
	二聲	111	101	124	-0.07	0.16	32	107	330	
	三聲	119	97	91	-0.27	-0.11	38	101	219	
	四聲	151	120	98	-0.38	-0.28	60	123	191	
平均							36	116	265	

附錄二 (續)

男、女性說話者之第一音節和第二音節四種聲調的平均基頻 (Hz)、斜率值 (Hz/ms) 與韻母時長 (ms)

		第二音節基頻							
性別	聲調	起始	中點	末尾	前段斜率	後段斜率	基頻範圍	平均	時長
女	一聲	239	232	249	-0.05	0.11	31	237	328
	二聲	197	168	204	-0.17	0.2	51	179	382
	三聲	198	150	124	-0.46	-0.3	93	156	241
	四聲	258	211	159	-0.52	-0.57	111	213	211
平均							70	198	292