

普通話上聲變調形式的逆向協同發音作用

東孝拓 [Takahiro Higashi]、王韞佳 [Yunjia Wang]

南開大學 / Nankai University | 北京大學 / Peking University

學界普遍認為連讀變調是音系層面的，協同發音是語音層面的，當一個聲調發生連讀變調之後，它對鄰近聲調的協同發音作用是以本調還是變調形式進行的，學界尚未展開充分的研究。本文以漢語普通話的上聲變調為樣本考察這一問題，上聲的底層形式是低調，在另一個上聲前變為與陽平類似的升調。通過聲學實驗觀察上聲的不同表層語音形式對前接聲調的協同發音作用。結果顯示，陽平和半上聲對前一個聲調的逆向作用有顯著差異，而陽平和類似於陽平的變調上聲對前一個聲調的逆向作用則無差異。這些結果表明，上聲對前接聲調的逆向協同發音是以其表層的語音表達形式而不是底層音系形式為基礎的。這個結果同時意味著，發音人對連上變調規則的心理加工在發音之前已經完成，這與前人通過腦電研究上聲變調加工所得到的相關結果形成呼應。

關鍵詞: 普通話, 上聲, 連讀變調, 聲調協同發音

1. 引言

連讀變調和聲調協同發音(tonal coarticulation)都是聲調連讀時產生的變化，但這兩種變化有著重要差別，多數學者認為，連讀變調是音系層面的，協同發音是語音層面的（Shen 1992；Zhang & Liu 2011；李倩等2020）。聲調的連讀變調形式與單字調相比通常會有高低特徵或曲拱特徵的變化。協同發音作用導致的聲調變化可能是「微觀」的，例如聲調起點或者末點或平均值的略微變化、因某些特徵點音高的少許變化而導致的曲拱特徵的細微變化（升幅或降幅的縮小或加大）；也可能是巨大的，例如在語速較快的情況，由於所有的發音目標都難以實現，導致音高曲線扭曲到與原型差異巨大(Xu & Wang 2001; Xu 2004, 2005)。不過，無論協同發音導致的聲調變化是大是小，這些變化都可以從前後聲調的音高特點和聲調發音時間是否衝突的角度加以解釋，

也可以認為，在時間足夠的情形下，協同發音導致的變化應該是「微觀」的，聲調在音系特徵上不發生變化。在聲學語音學領域，學界對聲調協同發音的研究報告很多，也發現了人類語言聲調協同發音的一些共性，例如逆向異化作用，即後音節聲調的起點越低，前音節聲調的音高就越高。存在聲調異化作用的語言有漢語普通話（Brotzman 1964；Shen 1990；林茂燦、顏景助1992；Xu 1993, 1997；王韞佳1993, 1997；鄧丹2010: 35–36）、漢語閩南話（閩方言，Peng 1997；Chang & Hsieh 2012）、漢語香港話（粵語，Flynn 2003: 18–22）、漢語天津話（Zhang & Liu 2011; Li & Chen 2016）、漢語福州話（閩語，Li 2015）、泰語（Gandour et al. 1992）、一些非洲語言（Laniran & Clements 2003）等。

在自然話語中，協同發音和連讀變調實際上是同時存在的，這兩種變化之間存在什麼樣的關係，少數研究者有過一些闡釋，例如Xu (2004)提出了使用「音高目標逼近模型(Target Approximation model)」來區分二者的方法：音高目標被改變的是連讀變調，音高目標不變但由於音高目標沒能實現所導致的變化是聲調協同發音。但是關於連讀變調和聲調協同發音之間更深層次的關係，依然有比較多的討論空間。如上文所述，一個聲調的高低特徵在很大程度上決定了它對鄰近聲調發生何種協同發音作用；儘管多數學者認為被作用聲調的變化是語音而非音系層面的，但我們尚不能以此推斷起作用的聲調（觸發聲調）是以變調格式還是單字調或者底層格式對鄰近聲調發生作用的，因此本文擬以漢語普通話的上聲變調為樣本，對這一問題進行初步研究。

漢語普通話的上聲有三種音位變體。按照林燾、王理嘉(2013: 150, 153–154)的描述，各變體的五度制調值和所出現的語境如下：第一種是[214]（全上聲），出現在停頓之前或單念時，林和王認為這是上聲的本調；第二種是[21]（半上聲），出現在後字聲調是非上聲的條件下；第三種音位變體與陽平調值[35]基本相同，這種變體出現在後字聲調是上聲的條件下。本文關注的是上聲處於非詞末位置的變調問題，我們把上聲的[35]形式稱為變調上聲，把[21]和[214]形式統稱為非變調形式。

關於普通話/北京話的連上變調問題，學界已經取得了豐碩的研究成果，其中最令人關注的研究角度之一是變調上聲是否真正與陽平相同（例如，Wade & Hillier 1886: 422；Karlgren 1918: 29–30；Hockett 1947；Wang & Li 1967；Zee 1980；Shen 1990；Xu 1993, 1997；

鄭劍菁、王洪君2008；Zhang & Lai 2010；Zhang & Peng 2013；Yuan & Chen 2014；王韞佳等2018）。儘管各種物理和心理實驗的結果並不完全相同，但學界的基本共識是(1)從感知的角度來說，母語者無法區分音段序列相同的「上聲+上聲」和「陽平+上聲」組合；(2)儘管在某些條件下變調上聲和陽平可能存在程度不一的差別，但它們在聲學上依然非常相似。為使行文簡潔，下文把普通話的四個聲調分別簡稱為T1、T2、T3和T4，聲調的組合，例如「陽平+上聲」和「上聲+上聲」用T2T3和T3T3表示。

前人的研究結果表明，在普通話/北京話聲調的協同發音中，逆向作用既有異化作用，也有同化作用。具體來說，陰平、陽平和去聲這三個聲調的高音點都會受到逆向異化作用，一個重要的表現是，這幾個聲調的高音點在上聲前（非變調的）比在非上聲前高（Xu 1993, 1997；王韞佳1993, 1997；鄧丹2010:35–36）；去聲低音點所受逆向作用為同化作用（Brotzman 1964；Shen 1990；林茂燦、顏景助1992；王韞佳1993；鄧丹2010:35–36），即去聲低音點在高起點的陰平或去聲前，高於在低起點的陽平或上聲前。利用T2T3和T3T3聲學形式相似但首音節底層聲調不同的特點，我們可以對前面提出的問題進行聲學分析。我們的思路是，假如協同發音中的觸發聲調是以底層形式對鄰近聲調發生作用的，那麼T2T3中的T2和T3T3中的第一個T3對前接聲調的逆向作用結果必然不同；假如協同發音中的觸發聲調是以變調形式，即表層的聲學形式對鄰近聲調發生作用的，那麼T2T3中的T2和T3T3中的第一個T3對前接聲調的逆向作用結果必然相似。

2. 研究方法

2.1 語料設計

實驗語料中用於觀察協同發音的是「T1/T4+T2/T3+T1/T2/T3/T4」的三音節組合，本文叫做「實驗詞」。其中第一個聲調陰平或者去聲為逆向協同發音的**被作用聲調（目標聲調）**；第二個聲調為陽平或底層上聲，上聲根據第三個音節聲調的不同又會出現變調上聲或半上聲（半上聲可以看做非變調上聲），第二個聲調是本文觀察逆向協同發音作用中對前音節聲調起作用的**觸發聲調**。第三個聲調用來控制第二個音節上聲的變調形式，如果第三個聲調為上聲，則處於中間位置的上聲

必然發生變調；若第三個聲調為非上聲，則前面的上聲表層形式就是半上聲，此時的資料作為第三個音節是上聲時資料的對照組。目標聲調選擇陰平或者去聲是基於前人有關逆向協同發音的結果，如引言所述，根據前人的研究，陰平和去聲的高音點都受到了逆向異化作用，而去聲的低音點受到了逆向同化作用。為便於控制聲母和韻母等無關變數，三音節組合被設計為人名Gao/Zhao Duomao，漢字形式如表1所列。第一音節是「高」和「趙」的交替，也就是陰平和去聲的交替，第二音節是陽平和上聲的交替，第三音節是四個不同調類的交替。如表1所列，首、中、末字中的每一個音節都與其他位置的所有音節分別搭配，比如「高鐸貓、高朵貓、高鐸卯、高朵卯」等。

表 1. 實驗詞表

首字	中字	末字
高 趙	鐸 朵	貓 矛 卯 茂

實驗詞的設計儘量滿足以下三個條件：一、作為聲調攜帶段的韻母具有足夠的長度；二、由於實驗詞是人名，實驗詞要具有一定的自然度；三、三個音節在聲韻母特徵上儘量具有一致性。據此，我們把實驗詞的第一個和第二個音節的聲母均設計為不送氣清聲母，三個音節的韻母均設計為複合元音韻母。前人的研究表明，在逆向協同發音中，濁聲母音節的聲調比清聲母音節的聲調所起的作用更大（林茂燦1996）。本文的觸發聲調所在音節為焦點音節，我們預測焦點音節的聲調所產生的協同發音作用可能會更大（儘管這個假設也還需要另外的實驗加以證明），所以這個放大的協同發音作用也許可以抵消清、濁聲母音節的聲調所產生的逆向協同發音作用力度的差異。¹ 此外，我們把第三個音節的聲母設計為濁聲母，這是為同樣使用這些材料的另外一項研究而設計的；由於本文聲學測量的目標是第一和第二個音節的聲調，因此第三個音節的聲母設計不影響本文結果。理論上來說，第一個音節應該和第二、第三音節一樣只有聲調的交替，聲母和韻母都保持不變，但由於難以找到滿足上述三個條件的兩個常用姓氏，因此兩個姓氏的聲母有所不同。需要特別說明的是，第一個音節聲母的

1. 從本文的實驗結果看，本文所使用的清聲母音節的逆向協同發音作用是顯著的。

不同並不會影響本文的結論，因為在後面的相關分析中，需要對比的是同一個姓氏（某個聲調）在不同後接聲調條件下的音高，而「高」和「趙」的音高不會用來對比。

將實驗詞放置在語句中，從而盡可能讓發音人自然讀出連上變調。負載句的形式為「XYZ背書包」。為了使得逆向協同發音中的觸發聲調，即第二個聲調的調拱有最充分的實現，同時也是為了儘量凸顯它的逆向作用，我們採用問答的形式引導出實驗語句，問句焦點置於人名的第二個音節上，即觸發聲調位於焦點位置。例如「高鐸貓背書包」的引導句為「高多貓背書包，還是高鐸貓背書包？」，前後兩個分句只有一字之差。這樣可以讓發音人將對比焦點落在「高鐸貓背書包」的第二個音節上。在發音材料中，實驗語句的每一句都呈現兩次。在實際發音材料中還有多於實驗目標項目的填充發音項目。所有發音項目均隨機排列。

2.2 錄音和樣本篩選

發音人共有36位（男女各18位），平均年齡為男性21.4歲（標準差3.24），女性21.6歲（標準差2.81），均是土生土長的北京人。錄音前進行發音練習，讓發音人熟悉實驗語句，並於隔天參加正式發音。所有發音人均得到了工作報酬。

錄音在北京大學中文系消聲錄音室進行，取樣速率44.1 kHz，解析度24 bit。從每個實驗語句的每個發音人的兩個樣本中選取聽感上最清晰的一個作為聲學分析的最終樣本，如果難以判斷，則選取錄音順序在前面的樣本。樣本篩選工作由本文作者以外的普通話母語者完成，最後由作者進行確認。

2.3 語音標注和音高測量

分別對實驗詞中三個音節的聲調進行聲學測量（實際上末音節聲調的測量並不用於本文的資料分析），所用語音分析軟體為Praat (Boersma 2001)，版本6.0.30。

基頻測量之前首先在Praat中進行語音標注。標注對象都是各音節的濁音部分，對於需要統計分析的音節（實驗詞的第一、第二音節）來說就是韻母段，由於末音節是濁聲母音節，因此聲母段和韻母段都被標注在濁音段中。清聲母音節的韻母起點為第一個較完整週期的開

始處。韻母終點的確定分兩種情況：(1)第一個音節之後的音節是清聲母音節，該音節韻母的終點就是韻母最後一個較完整週期的結束處；(2)第二個音節之後是濁聲母音節，按照語圖上出現的共振峰斷層和波形圖上的振幅變化等信息來判斷該韻母的終點。濁聲母終點的標注與(2)相同，第三個音節的韻母終點標注與(1)相同。

然後進行基頻測量，測量對象為標注過的濁音部分的基頻。音高原始資料來自Praat自動產出的PointProcess檔，該檔中包含波形圖上每個週期的起點和終點的時間點。對於濁音段之間的邊界處常出現的音高突變值，人工確認波形圖後，在PointProcess檔中手工刪除突變值。上聲音節往往出現嘎裂聲(creaky voice)，在PointProcess檔中，上聲音節的週期起終點信息頻繁有誤。此時人工查看波形圖，並手工訂正PointProcess檔。

第三步，用Praat自帶的線性插值法(linear interpolation)從PointProcess檔中提取等距離音高值。從各濁音片段中分別提取30個等距離音高值。例如，從「高鐸貓背書包」的「高」和「鐸」的韻母段、「貓」的聲母段和韻母段分別提取30個等距離音高值。等距離提取音高值的目的是對時間進行歸一，提取的音高樣點在時間上的密度較大，這是為了儘量高保真地還原基頻曲線，以便保證所得資料中基頻最高值和最低值的準確性。

最後，分別從第一和第二音節的30個音高值中確定要統計分析的「聲調特徵點」，本文將重點關注這些特徵點在各種不同聲調環境中的變化。本文參照王韞佳等(2015)的做法，陰、陽、上、去四個聲調音高曲線上的聲調特徵點如下：陰平的最高點、陽平和變調上聲的最低點和最高點、上聲最低點、去聲的最高點和最低點。需要指出的是，陽平和變調上聲的最高點均從韻母的後半部分中選取，以此保證其位置處於最低點之後。

2.4 音高單位換算

為了消除性別帶來的系統調域差異以達到統計分析的需要，本文將音高換算為半音(semitone)，公式(1)是換算方法（ i 表示某個音高樣點）。在半音換算中，男、女發音人的參考頻率 f_{ref} 分別為70 Hz和110 Hz（參照黃賢軍等(2016)的設計）。

$$st_i = 12 \log_2 f_i / f_{ref} \quad (1)$$

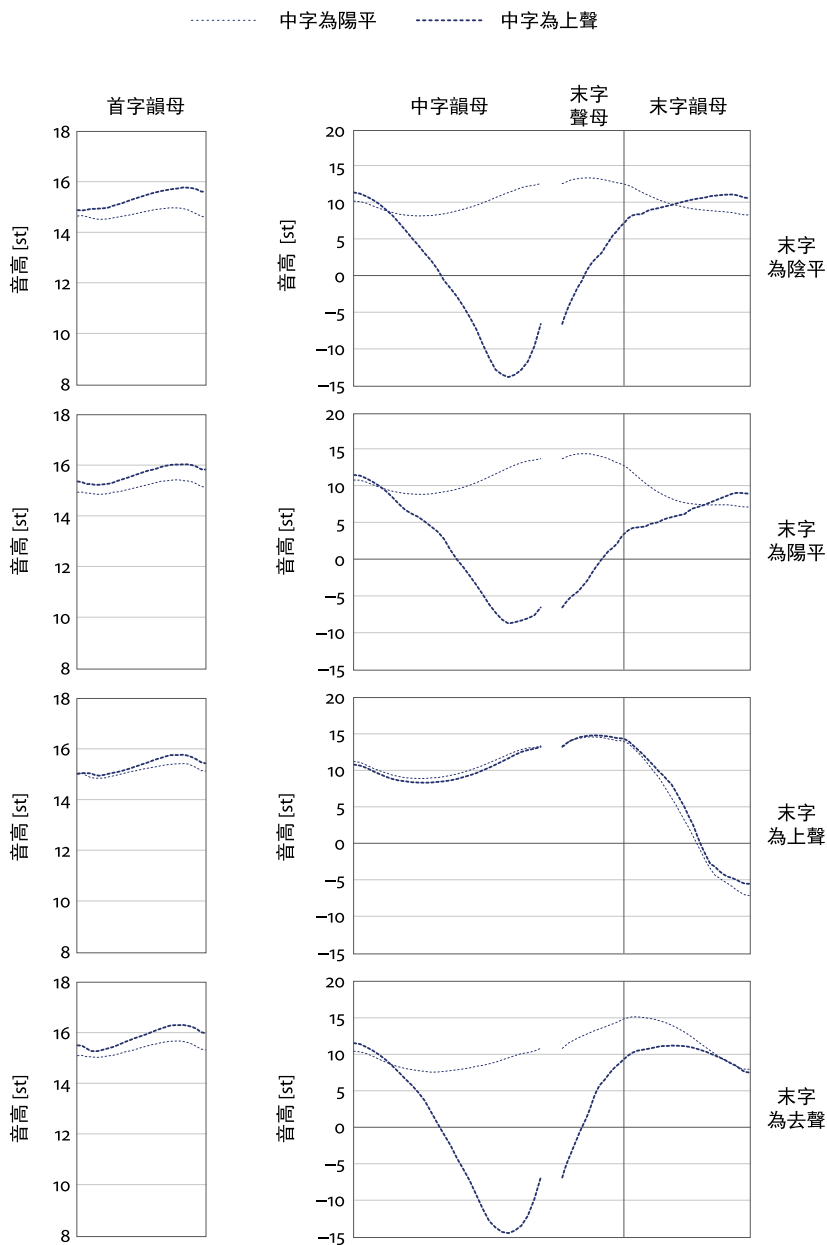
3. 結果與分析

3.1 聲學測量結果

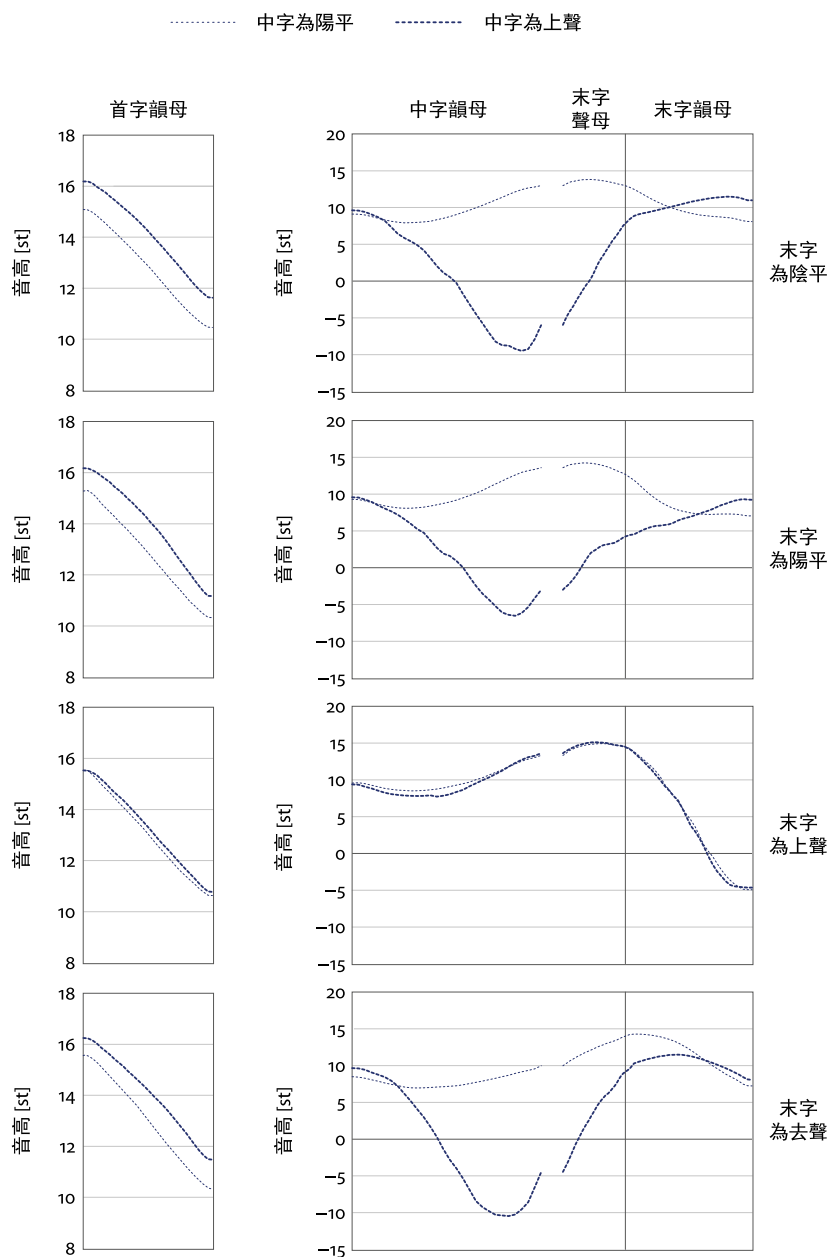
圖1顯示了36位發音人所念的實驗語句中實驗詞的音高曲線均值，三列曲線分別為實驗詞中從前到後三個音節的聲調。第二個音節和第三個音節的音高曲線之間用空白間隔顯示，第三個音節的聲、韻母邊界用豎實線來顯示。由於第一個音節陰平受到的逆向協同發音作用較弱，儘管統計結果可以清楚地表明逆向協同發音作用是否顯著，但如果三個音節使用同樣的縱軸範圍，那麼第一個音節的兩條音高曲線會看似重合，顯得與統計結果不一致，因此我們單獨為第一音節設置了縱軸範圍，這樣的話細微的差別也能在圖中顯示出來。這裡主要考察第一個聲調在不同後字聲調前的具體表現。圖1a和圖1b分別是第一音節為陰平和去聲的結果。

由於焦點音節（實驗詞中字）比前後音節時間更長，且焦點後音節是濁聲母，濁音部分包括了聲母和韻母，為了在音高曲線上體現這種關係，我們把三個音節時間軸的比例進行了縮放，呈現出來三個音節四種濁音部分（首音節韻母、中音節韻母、末音節濁聲母、末音節韻母）的時長比例為2:3:1:2。當然，這個設計與本文要討論的音高問題無關。

從圖中可以直觀地看到，焦點音節（中字）的上聲在焦點後音節為上聲時發生了變調，其音高曲線和陽平接近。當末音節是非上聲時，焦點音節的上聲和陽平有著非常明顯的差異。從圖中還可以看到，無論第一音節（焦點前）為陰平還是去聲，它們的整體音高在陽平和半上之前都存在差距，總的來說是在陽平之前比在半上之前低一些。與之形成對照的是變調上聲和陽平之前的情況，無論第一個音節是陰平還是去聲，音高曲線都接近重合。下面兩個小節將對資料進行統計分析。



a. 首音節聲調為陰平



b. 首音節聲調為去聲

圖 1. 實驗詞中三個音節的音高曲線 (36位發音人的均值)

3.2 變調上聲和陽平的音高對比

3.2.1 方法

如前文所述，假如變調上聲和陽平（即T1+T2/T3+T3和T4+T2/T3+T3序列裡的中字聲調）的音高接近相同，那麼它們對前接聲調的逆向協同發音作用可能就是一樣的。因此首先必須對它們的音高是否存在差異進行檢驗。聲調的音高曲線有各種幾何特徵，我們使用兩種方法來對這些幾何特徵進行對比。²

方法一是使用多項式擬合來看聲調的起點音高、斜率和音高曲線的拱度特徵(Li & Chen 2016)。由於陽平和變調上聲的實際音高曲線都是凹型，因此我們使用二次回歸方程 $y=a+bx+cx^2$ 進行擬合，回歸方程中的 y 表示音高曲線上任意一個時間點的音高數值， x 表示時間，截距 a 為 $x=0$ 時的 y ，一次係數 b 表示音高曲線的斜率，二次係數 c 表示音高曲線的凹凸度。在我們的數據中時間起點為1，從回歸方程中可知，截距和起點處的音高值是比較接近的。

方法二是根據聲調的音系特徵選擇音高曲線上的特徵點進行對比，陽平和變調上聲的音高曲線是相似的，因此選取它們的起點、最低點和最高點進行對比。在前人有關陽平和變調上聲對比的研究以及聲調協同發音的研究中，這種「點對點」的比較也是前人使用過的方法(Zee 1980; Zhang & Peng 2013; 王韞佳等2018)。

3.2.2 結果

表2和表3分別呈現了首字陰平和首字去聲條件下陽平和變調上聲的各種參數的差異均值（陽平-變調上聲，音高的單位均為st），統計檢驗的方法為配對樣本的 t 檢驗（自由度均為35，表中略）。表中「*」表示 $p<0.05$ ，「**」表示 $p<0.01$ ，「***」表示 $p<0.001$ ，下文同。

2. 本文初稿採用的是點對點的分析方法，初審時一位審稿人認為點對點的分析方法不合適，建議使用多項式擬合的方法。為了觀察哪一種方法更加合理，我們在修改稿加入了多項式擬合分析，對點對點的比較和多項式擬合兩種分析方法得出的結果進行了對比，並從理論上對兩種方法的優劣給予了簡要討論。

表 2. 首字陰平時中字變調上聲和陽平的差異

截距	一次係數	二次係數	起點	最低點	最高點
0.238	0.058	-0.002	0.440	0.653	0.122
$t=1.339$	$t=2.435$	$t=-2.314$	$t=2.223$	$t=3.240$	$t=0.442$
$p=0.189$	$p=0.020^*$	$p=0.027^*$	$p=0.033^*$	$p=0.003^{**}$	$p=0.662$

表 3. 首字去聲時中字變調上聲和陽平的差異

截距	一次係數	二次係數	起點	最低點	最高點
-0.072	0.116	-0.005	0.048	0.866	-0.463
$t=-0.352$	$t=3.492$	$t=-4.059$	$t=0.243$	$t=2.528$	$t=-1.942$
$p=0.727$	$p=0.001^{**}$	$p<0.001^{***}$	$p=0.809$	$p=0.016^*$	$p=0.060$

在兩種首字聲調條件下，陽平和變調上聲多項式擬合方程中的截距都沒有顯著差異，說明兩種聲調音高的擬合曲線在起點音高上接近；兩種聲調音高曲線擬合方程中的一次係數和二次係數都有幅值較小但統計上有顯著意義的差距，說明斜率和拱度有具有統計意義的較小差異。在點對點的比較中，兩種前接聲調條件下陽平和變調上聲的最低點都有顯著差異，陽平高於變調上聲，但差距很小。首字為陰平時，陽平的起點音高略高於變調上聲，兩者的最高點沒有顯著差異；首字為去聲時，兩個聲調的起點和最高點都沒有顯著差異。點對點的對比結果可以解釋多項式擬合的對比結果：兩種聲調音高曲線斜率和凹度的細微差距主要是由最低點有顯著差異造成的。這裡的點對點的分析結果與前人在此問題上的研究結果是相同或接近的（Zee 1980；Xu 1997；王韞佳等2018）。

3.3 逆向作用的對比

3.3.1 結果

本節對首音節聲調在變調上聲、半上聲和陽平之前的音高進行對比，對比方式與§ 3.2中的相同，即首先進行多項式擬合結果的對比，然後進行音高特徵點的對比。由於陰平是在音系上具有平調特徵和高音特

徵，因此我們在點對點的對比中我們對比的是陰平的平均音高和最高點。去聲對比的特徵點是最高點和最低點。由於末音節有四種聲調，因此我們分別在四種末音節聲調條件下對陽平和上聲之前的陰平/去聲的音高進行配對樣本*t*檢驗（自由度均為35，表中略）。

表4和表5分別顯示了陰平和去聲各種參數在後接陽平和上聲兩種條件下差異均值（後字陽平條件–後字上聲條件）以及統計檢驗的結果。灰色網底部分表示此時對比的是陽平和變調上聲的作用，無網底部分表示此時對比的是陽平和非變調上聲的作用。音高均值差的單位都是st。其他代碼同表2和表3。

表 4. 陰平在陽平和上聲前的音高差異（陽平前–上聲前）

末字聲調	截距	一次係數	二次係數	平均音高	最高點
T1	–0.231	–0.025	<–0.001	–0.617	–0.740
	<i>t</i> = –1.189	<i>t</i> = –1.900	<i>t</i> = –0.004	<i>t</i> = –3.157	<i>t</i> = –3.505
	<i>p</i> = 0.242	<i>p</i> = 0.066	<i>p</i> = 0.997	<i>p</i> = 0.003**	<i>p</i> = 0.001**
T2	–0.345	–0.008	<–0.001	–0.516	–0.605
	<i>t</i> = –1.637	<i>t</i> = –0.689	<i>t</i> = –0.375	<i>t</i> = –2.637	<i>t</i> = –3.007
	<i>p</i> = 0.111	<i>p</i> = 0.495	<i>p</i> = 0.710	<i>p</i> = 0.012*	<i>p</i> = 0.005**
T3	<–0.001	–0.017	<0.001	–0.212	–0.303
	<i>t</i> = –0.0003	<i>t</i> = –1.129	<i>t</i> = 0.377	<i>t</i> = –0.954	<i>t</i> = –1.297
	<i>p</i> = 1.000	<i>p</i> = 0.267	<i>p</i> = 0.709	<i>p</i> = 0.347	<i>p</i> = 0.203
T4	–0.276	–0.007	<–0.001	–0.475	–0.578
	<i>t</i> = –1.573	<i>t</i> = –0.476	<i>t</i> = –0.645	<i>t</i> = –2.310	<i>t</i> = –2.701
	<i>p</i> = 0.125	<i>p</i> = 0.637	<i>p</i> = 0.523	<i>p</i> = 0.027*	<i>p</i> = 0.011*

表 5. 去聲在陽平和上聲前的音高差異（陽平前-上聲前）

末字聲調	截距	一次係數	二次係數	最高點	最低點
T1	-1.004	-0.044	0.001	-1.071	-1.178
	$t=-3.992$	$t=-2.272$	$t=2.617$	$t=-4.782$	$t=-5.310$
	$p<0.001^{***}$	$p=0.029^*$	$p=0.013^*$	$p<0.001^{***}$	$p<0.001^{***}$
T2	-0.756	-0.073	0.002	-0.927	-0.855
	$t=-3.170$	$t=-3.170$	$t=3.560$	$t=-3.989$	$t=-4.085$
	$p=0.003^{**}$	$p=0.003^{**}$	$p=0.001^{**}$	$p<0.001^{***}$	$p<0.001^{***}$
T3	0.009	-0.036	0.001	-0.044	-0.140
	$t=0.035$	$t=-2.297$	$t=2.379$	$t=-0.171$	$t=-0.636$
	$p=0.972$	$p=0.028^*$	$p=0.023^*$	$p=0.865$	$p=0.529$
T4	-0.485	-0.065	0.001	-0.657	-1.158
	$t=-1.829$	$t=-3.229$	$t=2.413$	$t=-2.629$	$t=-5.671$
	$p=0.076$	$p=0.003^{**}$	$p=0.021^*$	$p=0.013^*$	$p<0.001^{***}$

首先看對多項式擬合所得各項參數的對比結果。在所有末字聲調條件下，陰平的截距、一次係數和二次係數在陽平和上聲之前均沒有顯著差異，無論上聲是否發生變調。去聲的結果與陰平有所不同。除了末字為上聲的條件，即除了在變調上聲之前，去聲的截距、一次係數和二次係數在陽平和上聲之前均有顯著或者邊緣顯著的差異。由於去聲在音系上是一個降調，並無拱度特徵，因此這裡實際上可以忽略二次係數的結果而只看截距和斜率。截距的結果暗示著去聲的最高點在陽平之前比在半上聲前低。而當上聲發生變調之後，這一差異消失。去聲的斜率在陽平前也低於在上聲前，由於去聲的斜率是負值，因此這一結果表明去聲在陽平前斜率的絕對值更大，即去聲在陽平前具有更大的降幅。值得注意的是，無論上聲是否發生變調，這一關係始終存在，但是兩種聲調斜率的差距在上聲發生變調之後變小了。

實際上，從圖1中可以看到，陰平和去聲的平均音高曲線更加近似於直線而不是曲線，當然，去聲的直線特徵更加突出。而從音系特徵上來說，陰平和去聲都不具備凹或者凸的特徵，因此我們又用一次回歸方程 $y=a+bx$ 對陰平和去聲在陽平和上聲前的音高參數進行了對比，

這裡的截距依然表示起點前一個音高單位上的擬合值，即一個不存在的但是和起點擬合值較為接近的數值。表6-7呈現的是對比結果。

首先看陰平的表現。在所有的末字聲調條件下，陰平的截距在陽平和上聲之前依然沒有顯著差異，暗示著擬合直線的起點音高在兩個聲調之前是接近重合的。但是，擬合直線的斜率在兩種聲調之前始終有顯著差異，在上聲之前的斜率大於在陽平之前的斜率，無論上聲是否發生變調，在二次擬合的結果中，陰平的斜率在陽平和上聲之前始終沒有顯著差異。我們將在§ 3.3.2節中討論不同擬合方式所得結果與實測平均值之間的關係。

再來看去聲的一次方程擬合結果。在末字為陰平、陽平和去聲時，去聲的截距在陽平和半上聲之前的差異是顯著的；而當末字為上聲時，截距在陽平和變調上聲前沒有顯著差異，這一關係和二次擬合得到的關係是幾乎一樣的。一次方程擬合和二次方程擬合的結果有所不同的是一次係數，在一次方程擬合的結果中，去聲斜率在陰平和上聲前的差異僅在末字為去聲時顯著，且這裡的差距絕對值(0.023)比在二次方程擬合中的(0.065)小，而在二次方程擬合中，斜率在所有末字聲調條件下都有顯著差異。

表 6. 陰平在陽平和上聲前的音高差異（陽平前-上聲前），使用一次回歸方程 $y=a+bx$ 擬合。

	末字聲調			
	T1	T2	T3	T4
截距	-0.231	-0.324	-0.027	-0.229
	$t=-1.173$	$t=-1.524$	$t=-0.129$	$t=-1.129$
	$p=0.249$	$p=0.137$	$p=0.898$	$p=0.267$
一次係數	-0.025	-0.012	-0.012	-0.016
	$t=-5.758$	$t=-2.557$	$t=-2.528$	$t=-3.422$
	$p<0.000^{***}$	$p=0.015^{*}$	$p=0.016^{*}$	$p=0.002^{**}$

表 7. 去聲在陽平和上聲前的音高差異（陽平前-上聲前），使用一次回歸方程 $y=a+bx$ 擬合。

	末字聲調			
	T1	T2	T3	T4
截距	-1.213	-1.152	-0.164	-0.712
	$t=-4.779$	$t=-4.287$	$t=-0.594$	$t=-2.504$
	$p<0.001^{***}$	$p<0.001^{***}$	$p=0.556$	$p=0.017^*$
一次係數	-0.005	0.001	-0.004	-0.023
	$t=-0.450$	$t=0.150$	$t=-0.411$	$t=-2.205$
	$p=0.655$	$p=0.882$	$p=0.683$	$p=0.034^*$

最後來看點對點的統計結果。以這種方式進行對比得到的結果，陰平和去聲在陽平和上聲之前的關係具有較好的一致性。一方面，在非上聲末字條件下，即在後接低調半上聲時，陰平的平均音高和最高點、去聲的最高點和最低點在上聲之前都無一例外地高於在陽平之前。另一方面，無論是陰平的平均音高和最高點還是去聲的最高點和最低點，在變調上聲和陽平前的差異均不顯著。這裡要特別指出的是，點對點得到的統計結果與圖1中的平均音高曲線的結果更加吻合，也與一次方程擬合得到的關係更加接近。

3.3.2 多種對比方法的異同

點對點對比所得到的結果表明，當後接聲調的語音形式相差較大時，後接聲調對前接陰平和去聲的逆向異化作用是比較突出的：陰平的最高點和平均音高、去聲的最高點和最低點在低調半上聲之前都高於在升調陽平之前；而在語音形式極為相似的變調上聲和陽平之前，陰平和去聲音高特徵點的差異沒有統計學意義。去聲的最高點和最低點在兩種聲調前的這種關係與多項式擬合對比的結果有著比較好的一致性，即去聲的起點音高在陽平之前低於在半上聲之前，而在陽平和變調上聲之前的差距沒有統計學意義。

從點對點的對比結果看，陰平的表現與去聲相似，即當後接聲調的表層語音形式有突出的高低差異時，陰平的平均音高和最高點在低調前面比在升調前面更高；而當後接聲調的表層語音形式高度接近

時，陰平的平均音高和最高點都沒有顯著差異。在二次方程擬合的結果中，後接聲調表層語音形式的差異並沒有使得陰平回歸方程的截距和斜率關係發生變化。當我們把擬合方程改為一次方程後，陰平的斜率在陽平和上聲（包括變調上聲）前出現了顯著差異，總體上與圖1a的實測結果相符合，但沒有體現出實測結果中陰平在變調上聲之前比在半上聲之前更接近陽平的特點。

兩種去聲多項式擬合的結果與點對點的結果都有著較好的一致性，但一次方程擬合的結果與實測結果更為接近，體現在兩個方面：一方面，實測結果中除了末字為去聲以外，去聲在後接陽平和上聲時的音高曲線都是接近平行的，斜率的差別不顯著，一次方程擬合的結果體現了上述關係，而二次方程擬合的結果中去聲的斜率在所有條件下都存在顯著差異。另一方面，在末字為去聲的條件下，去聲的最高點在陽平和半上聲之前的差距依然比較醒目，但二次方程擬合的截距差距沒有統計上的顯著性，而一次方程擬合的截距與實測結果吻合。

上述分析表明，在考察逆向協同發音的作用時，對於目標聲調在不同聲調環境中產生的聲學變化，多項式擬合對比和點對點對比的方法各有優劣。在音高曲線較為複雜的情形下，多項式擬合所得到的結果更加細緻，例如一次係數和二次係數可以分別表達音高曲線的斜率和凹凸度。但是對於平調來說，最關鍵的音高參數應該是基頻最大值或聲調的平均音高，此時多項式擬合方程中的各項參數未必能夠體現基頻最大值或聲調平均音高實際存在的差異。而對於純降調來說，一次方程擬合或者點對點的分析方法也可能比二次方程擬合更加合適。

4. 討論和結論

在討論本文的主旨，即上聲的不同變調形式對前接聲調的逆向協同發音作用之前，首先需要對本文聲學分析的結果與前人結果不一致的地方進行分析。在本文的結果中，處於焦點位置上的變調上聲和陽平在音高上的差異不算很大，在首字陰平和首字去聲條件下，共同的差異僅僅存在於最低點上。如引言所述，前人在這個問題上的實驗結果也不盡相同，這些分歧可能與實驗設計有關。與本文的設計存在相似之處的是王韞佳等(2018)的實驗，因為他們也將目標聲調放置在實驗句的焦點位置，且發現焦點導致陽平和變調上聲的聲學距離進一步擴大。

同樣是在焦點位置，本研究沒有觀察到兩者在起點、低音點（即最低點）和高音點（即最高點）上都有顯著差異的情況，原因可能是兩個方面的：其一，語料設計不完全相同。在本文中，焦點音節處於一個三音節基本韻律單元（也有人稱之為音步）的中字位置，而在王韞佳等的實驗中，焦點位置的聲調都處於一個雙音節韻律單元的首字或者末字位置，音節在時長自由度和節律位置上都與本文的設計不同。其二，在音高測量中，王韞佳等考慮到處於焦點位置的陽平和變調上聲可能會發生高音點的延遲實現（peak delay，普通話中此現象的專門分析見Xu (1999; 2001)），因此高音點的測量範圍包括了焦點後音節的濁聲母部分。此外需要指出的是，如引言部分所述，即便在前人的結果中變調上聲和陽平之間在起點、低音點和終點音高上都存在具有統計學意義的差異，二者之間的距離也依然是較小的，因此，二者是否存在差異對於本文所要論證的問題並不十分重要。

本文的結果可以明確回答引言部分提出的問題，即上聲對前接聲調的逆向協同發音是以其表層的語音表達形式而不是底層音系形式為基礎的，也就是說，在普通話聲調的協同發音作用中，無論是目標聲調的變化，還是觸發聲調的身份，都是語音而不是音系層面的。本文結果中還有一個證明這一猜想的次級證據：變調上聲雖然與陽平在表層形式上高度接近，但依然存在微弱差距，即變調上聲的最低點比陽平更低，與之對應的是，陰平和去聲的平均音高曲線在變調上聲之前都略高於在陽平之前（見圖1），雖然平均值的這種差距在本文中沒有顯示出統計學意義（本文的樣本量為36），但平均值的這種關係與變調上聲和陽平的音高關係是對應——在後接聲調較低時平均值較高。我們把這個沒有統計學意義的結果看做證據的另一個原因是，陰平或去聲在上聲和陽平前的差距與上聲和陽平的表層語音差距是同步變化的：半上聲和陽平的語音差距大，陰平或去聲在這兩種聲調形式之前的差距也大；變調上聲和陽平的語音差距小，陰平或去聲在這兩種聲調形式之前的差距也小。我們之所以認為陰平或去聲在變調上聲和陽平前的微弱差異只能是證明本文猜想的「次級」證據，當然是因為它沒有得到統計學結果的支持，由於本文的樣本量已經不算小（36位發音人），因此我們也無法預測擴大樣本之後是否能夠讓這個證據不再處於「次級」的位置。

由於學界對協同發音中觸發聲調不同的表層形式所起作用的研究很少，我們暫時沒有找到可以用來對照的其他漢語方言或者聲調語言

的資料，因此本文所得結論也只能限制在普通話音系中。由於這方面公開發表的語言材料太少，因此在目前的基礎上我們還不能對聲調協同發音中的語音問題和音系問題進行更深入的討論，但無論如何，與如何區分連讀變調和聲調協同發音這兩種變化相比，這兩種變化之間是如何關聯的，可能是更加值得關注的研究課題。

這裡要對去聲所受到的逆向作用進行專門的討論。在本文的結果中，去聲的音高整體上都受到了後接聲調的逆向異化作用，即去聲的最低點受到的逆向作用並不像前人（Brotzman 1964；Shen 1990；林茂燦、顏景助1992；王韞佳1993；鄧丹2010:35–36）所看到的那樣是逆向同化作用。本文的結果與前人的結果存在分歧的主要原因可能是觀察範圍不一樣，本文只觀察了上聲的兩種表層語音形式以及陽平之前去聲的音高差異，在這個範圍內，去聲最低點無疑是受到了逆向異化作用，實際上前人也得到過類似的結果（王韞佳1993；鄧丹2010:35–36）。但如果把後接聲調擴大到所有聲調條件，這一結論可能就不存在了，因為前人的一些結果表明，去聲低音點在高起點的聲調陰平和去聲之前比在非高起點的陽平和上聲之前更高，從這個角度看，去聲低音點的變化可以說是逆向同化作用的結果。這裡最需要解釋的是為什麼去聲最低點會在半上聲之前比在陽平之前更高，我們認為這是去聲音高目標延遲實現所導致的。王韞佳等(2015)發現，處於焦點位置上的去聲會把其低音目標延遲到後接音節（焦點後高度輕化）上實現。我們認為，低音目標的延遲實現是有條件的，如果後接音節是非輕化的高起點聲調，非但低音目標不可能延遲實現，去聲的音高曲線反而會由於時間限制在較高的位置就轉向後接聲調的起始高音點，這就會導致音高曲線上的最低點被大幅度抬高，從結果看就是逆向同化作用。也就是說，如果拿高起點的陰平和去聲條件去跟非高起點的陽平和上聲條件比，去聲最低點所受到的逆向作用看上去就是同化作用。但如果拿音高目標為高音的陽平和音高目標為低音的半上聲比，去聲最低點所受到的逆向作用看上去就是異化，因為去聲的低音目標可以延遲到半上聲中實現而無法延遲到陽平上實現。

從上述分析來看，去聲最低點所受到的逆向作用並不適合簡單地二分為同化或者異化，它的高低首先取決於後接聲調起點有沒有高音特徵，然後取決於後接聲調是否為純低調——後接聲調如果是非輕化的高起點聲調，那麼去聲的最低點就會被抬高，無論後接聲調是高平調還是高降調；後接音節如果是高度輕化的音節或攜帶純低調（比如半

上聲），那麼去聲的低音點就可能延遲到後接音節上實現，因而導致其最低點比在同樣是非高起點但沒有低音目標的聲調（比如陽平）之前高。從本文的結果看（參見圖1b），去聲最低點在後接觸發聲調為半上聲時比後接觸發聲調為陽平時更高，但是在後接觸發聲調為陽平和變調上聲（都不具有低音目標的）兩種條件下的差距很小（無統計學意義），說明去聲最低點的變化是以後接觸發聲調的表層語音特徵而不是底層音系特徵為條件的，這就回到了本文的出發點。

既然聲學實驗的結果可以證明變調上聲對前面聲調的協同發音作用是表層的變調形式而不是底層形式，那麼就表明連上變調規則早在連上字組的發音之前就已經加工完畢。關於連上變調規則的加工時間問題，Zhang et al. (2015)曾經進行過基於ERP（event-related potential，也叫事件相關電位）技術的語言心理學實驗。這個實驗研究的緣起是：儘管T2T3和T3T3的產出結果相似度很高，但從心理加工過程來說兩種聲調組合應該是不同的，因為前者不需要使用變調音系規則，那麼如何證明產出T3T3時的確使用了純音系層面的規則？在實驗中，被試聽到兩個具有一定時間間隔的音節，第一個音節為陽平調或上聲調，第二個音節為上聲調。要求被試在聽到第二個音節時儘快地把兩個音節組成詞，但是不把它們念出來；在聽到提示音之後，再把已經合成的這個詞念出聲來。對ERP的分析時間範圍為第二個音節播放之後的-100-1200 ms。研究者試圖通過這個時間窗的腦電成分來觀察對比被試產出T3T3和T2T3時的ERP。實驗結果表明，第一個音節的聲調對於第二個音節呈現之後的ERP成分P2（聲音刺激呈現之後230-320 ms之間的正波，在Zhang et al.的研究中，這個時間段內被試還沒有開始發音）有顯著效應，T3T3序列中的P2比T2T3序列具有更大的幅值。Zhang et al.認為，這個結果可能說明被試在加工T3T3的合成詞時需要額外的或者更加費力的音系加工過程，因為T2T3的組詞過程中，詞調是透明的（單音節聲調的簡單相加）。這個研究結果令我們感興趣的一點是，被試似乎在默默組詞（還沒有發音的時候）的過程中（第二個音節的聲調可能尚未播放完），已經進行了連上變調的音系加工，即連上變調規則的加工可能出現在發音之前。根據Zhang et al.的綜述，在他們的實驗之前，前人發現P2主要與詞加工難度有關（比如新出現的詞和曾經出現的詞相比），因此，在P2與音系規則的運用，特別是與連讀變調規則運用之間的關係只是Zhang et al.結合前人結果和自己實驗結果做出的推測。本文的實驗結果表明，上聲對前接聲調的作用是

以其變調而不是本調形式實現的，也就是說，在連上變調的發音尚未啟動時，前面聲調的發音已經建立在變調基礎之上了，這就近乎「完美」地證明了在「上聲+上聲」中的前上沒有發音之前，連上變調規則的加工已經完成，甚至可能在前上之前那個聲調開始啟動時就已經完成（圖1中首字陰平和去聲起點在陽平和半上聲前有差異，而在陽平和變調上聲前無差異）。也就是說，語言行為實驗的結果與大腦皮層的電生理實驗結果形成了很好的呼應。顯然，本文的語言行為實驗結果直接提供了連讀變調規則加工時間的證據，其實也就是為明確P2與音系規則的關聯提供了新的證據。

Funding

本研究獲中國國家社會科學基金（批准號11YB047），中國教育部人文社會科學重點研究基地重大項目基金（編號13JJD740002），中國教育部中外語言交流合作中心國際中文教育研究課題（編號22YH84C）資助。

Acknowledgements

作者感謝匿名審稿人提出的中肯且富有建設性的意見。本文的原始資料來自第一作者的博士論文《普通話語句中相鄰聲調間的相互作用——焦點和節律的制約》（北京大學，2019年）資料中的一部分，本文對這些資料增加了新的統計學方法，並從新的角度對實驗結果進行了理論闡釋。

References

- Boersma, Paul. 2001. Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott International* 5(9/10). 341–345.
- Brotzman, Robert L. 1964. *Progress report on Mandarin tone study* (Ohio State University Project on Linguistic Analysis 8). Columbus: Ohio State University Research Foundation.
-  Chang, Yueh-chin & Hsieh, Feng-fan. 2012. Tonal coarticulation in Malaysian Hokkien: A typological anomaly? *The Linguistic Review* 29(1). 37–73.
- Deng, Dan (鄧丹). 2010. *Experimental study of Chinese prosodic word* 漢語韻律詞研究. Beijing: Peking University Press.
- Flynn, Choi-Yeung-Chang. 2003. *Intonation in Cantonese*. Munich: LINCOM GmbH.

- doi Gandour, Jack & Potisuk, Siripong & Dechongkit, Sumalee & Ponglorpisit, Suvit. 1992. Anticipatory tonal coarticulation in Thai noun compounds. *Linguistics of the Tibeto-Burman Area* 15(1). 111–124.
- doi Hockett, Charles F. 1947. Peiping phonology. *Journal of the American Oriental Society* 67(4). 253–267.
- Huang, Xianjun (黃賢軍) & Zheng, Haiyang (鄭海洋) & Lü, Shinan (呂士楠) & Yang, Jinchen (楊錦陳). 2016. The effects of prosodic phrase boundary on the pitch lowering of downstep and focus 韻律短語邊界對降階和焦點後音高驟降的影響. *Shengxue Xuebao* 聲學學報 2016(4). 529–536.
- Karlgren, Bernhard. 1918. *A Mandarin phonetic reader in the Pekinese dialect*. Stockholm: P. A. Norstedt & Söner.
- Kuang, Jianjing (鄺劍菁) & Wang, Hongjun (王洪君). 2008. T3 sandhi at the boundaries of different prosodic hierarchies 連上變調在不同韻律層級上的聲學表現. *Zhongguo Yuyin Xuebao* 中國語音學報 2008(1). 118–124.
- doi Laniran, Yetunde O. & Clements, G. N. 2003. Downstep and high raising: Interacting factors in Yoruba tone production. *Journal of Phonetics* 31(2). 203–250.
- doi Li, Qian & Chen, Yiya. 2016. An acoustic study of contextual tonal variation in Tianjin Mandarin. *Journal of Phonetics* 54. 123–150.
- Li, Qian (李倩) & Shi, Menghui (史濛輝) & Chen, Yiya (陳軼亞). 2020. A new statistical approach in the studies of tones: Two case studies on Chinese dialects using Growth Curve Analysis 聲調研究中的一種新統計方法——「增長曲線分析」法在漢語方言研究中的運用. *Zhongguo Yuwen* 中國語文 2020(5). 591–608.
- Li, Yang. 2015. Tone sandhi and tonal coarticulation in Fuzhou Min. In the Scottish Consortium for ICPHS 2015 (ed.), *Proceedings of the 18th International Congress of Phonetic Sciences*. Glasgow: The University of Glasgow.
- Lin, Maocan (林茂燦). 1996. The F0 transition between adjacent two syllables and its perception in Mandarin 普通話兩音節間F0過渡及其感知. *Zhongguo Shehui Kexue* 中國社會科學 1996(4). 159–174.
- Lin, Maocan (林茂燦) & Yan, Jingzhu (顏景助). 1992. Tonal coarticulation patterns in quadrisyllabic word and phrase of Mandarin 普通話四音節詞和短語中聲調協同發音模式. *Shengxue Xuebao* 聲學學報 1992(6). 456–467.
- Lin, Tao (林燾) & Wang, Lijia (王理嘉). 2013. *Yuyinxue jiaocheng* 語音學教程. Revised edn. Beijing: Peking University Press.
- doi Peng, Shu-hui. 1997. Production and perception of Taiwanese tones in different tonal and prosodic contexts. *Journal of Phonetics* 25(3). 371–400.
- doi Shen, Xiaonan Susan. 1990. Tonal coarticulation in Mandarin. *Journal of Phonetics* 18(2). 281–295.
- doi Shen, Xiaonan Susan. 1992. On tone sandhi and tonal coarticulation. *Acta Linguistica Hafniensia* 25(1). 83–94.
- Wade, Thomas Francis & Hillier, Walter Caine. 1886. *Yü yen tzŭ êrh chi: A progressive course colloquial Chinese*, vol. 2. 2nd edn. London: W. H. Allen & Co.
- doi Wang, William S.-Y. & Li, Kung-Pu. 1967. Tone 3 in Pekinese. *Journal of Speech and Hearing Research* 10(3). 629–636.

- Wang, Yunjia (王韞佳). 1993. *Micro-variation of Mandarin tones* 北京話聲調微觀變化的實驗研究. Beijing: Peking University. (Doctoral dissertation.)
- Wang, Yunjia (王韞佳). 1997. Yangping de xietong fayin yu waiguoren xuexi yangping 陽平的協同發音與外國人學習陽平. *Yuyan Jiaoxue yu Yanjiu* 語言教學與研究 1997(4). 94–104.
- Wang, Yunjia (王韞佳) & Jeong, Dayong (丁多永) & Higashi, Takahiro (東孝拓). 2015. The effect of intonation on pitch realization of the tones in Chinese Putonghua 不同語調條件下的聲調音高實現. *Shengxue Xuebao* 聲學學報 2015(6). 902–913.
- Wang, Yunjia (王韞佳) & Yu, Mengxiao (于夢曉) & Wu, Qian (吳倩). 2018. The influences of stress and rhythmic relation on the implementation of third-tone-sandhi rule in Beijing 重音和韻律對北京話連上變調的作用. *Chinese Journal of Phonetics* 中國語音學報 2018(10). 72–82.
- Xu, Yi. 1993. *Contextual tonal variation in Mandarin Chinese*. Storrs: The University of Connecticut. (Doctoral dissertation.)
-  Xu, Yi. 1997. Contextual tonal variations in Mandarin. *Journal of Phonetics* 25(1). 61–83.
-  Xu, Yi. 1999. Effects of tone and focus on the formation and alignment of F0 contours. *Journal of Phonetics* 27(1). 55–105.
-  Xu, Yi. 2001. Fundamental frequency peak delay in Mandarin. *Phonetica* 58(1–2). 26–52.
- Xu, Yi. 2004. Understanding tone from the perspective of production and perception. *Language and Linguistics* 5(4). 757–797.
-  Xu, Yi. 2005. Speech melody as articulatorily implemented communicative functions. *Speech Communication* 46(3–4). 220–251.
-  Xu, Yi & Wang, Q. Emily. 2001. Pitch targets and their realization: Evidence from Mandarin Chinese. *Speech Communication* 33(4). 319–337.
- Yuan, Jiahong & Chen, Yiya. 2014. 3rd tone sandhi in Standard Chinese: A corpus approach. *Journal of Chinese Linguistics* 42(1). 218–236.
- Zee, Eric. 1980. A spectrographic investigation of Mandarin tone sandhi. *UCLA Working Papers in Phonetics* 49. 98–116.
- Zhang, Caicai & Peng, Gang. 2013. Productivity of Mandarin third tone sandhi: A wug test. In Shi, Feng & Peng, Gang (eds.), *Eastward flows the great river: Festschrift in honor of Professor William S.-Y. Wang on his 80th birthday*, 255–282. Hong Kong: City University of Hong Kong Press.
-  Zhang, Caicai & Xia, Quansheng & Peng, Gang. 2015. Mandarin third tone sandhi requires more effortful phonological encoding in speech production: Evidence from an ERP study. *Journal of Neurolinguistics* 33. 149–162.
-  Zhang, Jie & Lai, Yuwen. 2010. Testing the role of phonetic knowledge in Mandarin tone sandhi. *Phonology* 27(1). 153–201.
-  Zhang, Jie & Liu, Jiang. 2011. Tone sandhi and tonal coarticulation in Tianjin Chinese. *Phonetica* 68(3). 161–191.

Abstract

Regressive tonal coarticulation of Tone3 sandhi to the preceding tones in Mandarin

It is widely acknowledged that tone sandhi is phonological, whereas tonal coarticulation is phonetic. However, when a tone undergoes tone sandhi, the question as to whether its tonal effect on adjacent tones is based on its underlying phonological form or its surface phonetic form has not been fully studied. Thus, this study chose Mandarin Tone3 sandhi (a tonal change in which a Tone3 [T3], which has an underlying low form, followed by another T3, is pronounced as a rising tone that resembles Tone2 [T2]) as a research sample to investigate the above-mentioned problem. An acoustic experiment was conducted to observe the tonal coarticulation effects of different tonal forms of T3 on their preceding tones. The results showed that there was a significant difference between the regressive effects of T2 and the low form of T3 on the preceding tone, whereas there was no significant difference between the regressive effects of T2 and sandhi T3 on the preceding tone. These results demonstrate that the regressive effect of T3 on the preceding tone is based on the surface phonetic form, rather than the underlying phonological form. Moreover, the results of this study suggest that psychological processing of the T3 sandhi rule has been implemented before pronunciation of the first T3 in the T3T3 combination, which is in accord with the related results obtained from a previous ERP (event-related potential) study on T3 sandhi processing.

Keywords: Mandarin Chinese, Tone 3, Tone sandhi, Tonal coarticulation

Address for correspondence

Yunjia Wang
Laboratory of Language Sciences
Center for Chinese Linguistics
Department of Chinese Language and Literature
Peking University
Haidian District
Beijing 100871
China
wangyunjia@pku.edu.cn
<https://orcid.org/0009-0006-2032-3829>

Co-author information

Takahiro Higashi
Nankai University
School of Foreign Studies
dongxiaotuo@outlook.com
 <https://orcid.org/0000-0001-7474-6524>

Publication history

Date received: 5 March 2022
Date accepted: 8 August 2023
Published online: 14 April 2025