

華語語句產生與知覺的計時特性

鄭靜宜

國立高雄師範大學聽力與語言治療研究所

本研究目的在探討華語語句計時的聲學和聽知覺韻律特性，由語句的語音聲學和聽知覺反應探討華語音節等時性的存在，考驗三種計時候選單位（空白起始單位、母音起始單位和子音起始）的等時性。實驗一使用句型結構相似的句子為材料，分析二十一位正常說話者用五種語速所說語句音段（子音、母音、空白）時長，比較三種計時單位的成對變異指數（PVI）。結果發現在各語速下以母音起始為等時的單位有最低的PVI值，尤其在慢語速時，母音起始單位最具有等時性，也發現母音時長確會受其後接子音的影響，而子音前空白或靜默則會受到前接母音的影響。為維持母音起始單位的等時性，單位內各音段具有消長互補特性。實驗二發現聽者可估計在四種語速語句中被噪音取代音節的數量，平均正確率達70%。在實驗三中參與者除了需判斷噪音段之前的音節母音時長是否拖長外，還需依照原語句的計時架構仿說語句，並填補噪音取代的音節，結果參與者判斷正確率平均達73%，且發現參與者所產生語句的母音起始單位之PVI值較其他單位為小。本研究結果支持以母音起始的類音節為華語韻律計時的基本單位，語句中言語計時單位的切分點大致是位於語句中各音節的母音起始處，推論語音的產生與知覺皆是以此單位所組成的語句韻律框架進行處理。

關鍵詞：母音起始、成對變異指數、言語計時、等時性、韻律

言語計時在語音的產生和知覺過程中均扮演著重要的角色。說話時，說話者考量所要說語句的語音種類、言語速度、句型、語意強調、韻律（rhythm）等因素，調整語流中各音段的時長，讓所說出來的語音具有自然的節奏韻律感，使之順利傳達對方。在聽者的語音知覺辨識部分，聽知覺處理系統在分析語音所含的細部資訊之前，如語音成分、音境、語彙、語意、語法等，先經過整體而粗略的處理，對於語言韻律架構的了解通常有助於連續語流的快速切割與分解。言語韻律是語音知覺的重要現象之一，不管是何種語言，言語之中皆存在著特定的韻律感，這種節奏感在不同語言中似有不同的差異特性。Crystal（1990）定義韻律是對於言語中存在著一些具有相等的明顯單位（prominent unit）的重複性感覺。簡言之，韻律是語音中有規則性的重複現象，而所調的韻律單位（rhythmic unit）是指時長具有一致性或等時性（isochrony）的單位。

在語音知覺過程中，言語韻律可提供許多有關片語的界線、語法或語音切割（segmentation）的線索，也提供有關說話時語句產生歷程的訊息，如說者的強調詞語。言語韻律中的等時性是假設在連續語音中有些相等時長間隔的基本單位存在，而計時的等時性為言語節奏韻律感的來源。語言使用者依據等時性的單位來處理語流訊號。等時計單位可能隨著語言種類而不同，有些和重音有關，而有些則和音節有關（Dauer, 1983; Pike, 1945; Roach, 1982）。華語語流中韻律等時的基本單位為何？在連串的話語流中計時單位的切分點是位於何處呢？是否就在一個音節的起點處呢？

在言語產生方面，MacNeilage（1998）認為說話時下顎的開合反覆移動是說話韻律節奏的基礎，說話動作的形式架構（frame）就是下顎連續一開一合的序列式動作組成，而下顎一開一合的動作構成一個音節的動作，且認為這種有韻律的動作起源可能來自於進食的咀嚼動作，因為咀嚼食物時下顎會做有韻律性的

初稿收件：2010/11/24；一修：2011/05/11；正式接受：2011/05/15

通訊作者：鄭靜宜（jjeng@nknuc.nknu.edu.tw）802高雄市苓雅區和平一路116號 國立高雄師範大學聽力學與語言治療研究所

致謝：感謝國科會專題計劃補助，計畫編號NSC 95-2413-H-024-005國語韻律等時性的聲學與知覺的基礎。

開合動作。言語動作中下顎的開合通常和母音的產生有關，而母音通常扮演音節的核心角色，子音的角色則通常在輔助和修飾母音。

「穩定性」在動作控制是重要的課題之一，而和穩定性概念相反的是「變異性」。在動作表現的相關測量變項，如力道、方向、範圍、時長、計時等，對一個個體熟練的技巧性動作而言，其變異性皆會比不熟練的動作為小，即具有相對的穩定性。事實上，動作熟練的學習過程就是這些參數變異減小的過程，趨向愈來愈穩定的狀態。說話是屬於人類的行為動作的一種，說話動作的執行通常都有其變異性，即使是相同的動作，在每一次的時間和空間表現也存在著變異性，但正常說話者的變異總會在一個小範圍內，而這種變異性的範圍界定即可區分正常和異常群體。比較言語音段間時長的變異性即是由此方向來思考，藉由時長變異性的比較可深入了解言語節律的特性。言語動作是一個發展學習而來的動作技巧，學習過程中也具有變異性減少的趨勢，Kent與Forner（1980）指出變異性可以當作是言語動作控制成熟度的指標，並發現兒童隨著年齡的成長，音段長度和變異數有漸減趨勢直到如同成人一樣；較小的變異數代表著較高的動作精準性，亦即音段時長漸較趨於一致，由另一面來看，就是較具有計時的等時性。

（一）成對變異指數

成對變異指數（pairwise variability index, PVI）可用來作為言語時長變異性的指標。PVI是計算語句中順序上兩相鄰單位間時長的差異，以語句中各個相鄰兩音之間時長差異的平均數來代表音段間時長的變異性（Low, Grabe, & Nolan, 2000），屬於語句中區域內音段時長穩定性的測量。使用PVI來分析句子中單位時長的變異性會比一般的變異數或標準差等量數為佳，因為PVI指標較能敏感地顯現出相鄰單位時長間的差異。單位間時長的PVI指數可作為語句單位等時性指標，若PVI數值愈小，代表句子中單位間較具等時性，反之則否。Low、Grabe及Nolan（2000）以及Deterding（2001）曾使用PVI分析不同地區英語說話者的節律性差異，發現新加坡英語和英國英語這兩種英語的句子音段時長PVI值具有顯著差異，代表著言語節律差異的存在。Deterding發現新加坡英語的PVI顯著地較小，推論說者可能受其母語的影響產生較屬於音節等時的語流，但此研究中並沒有控制語速因素，而語速是PVI重要的影響因素。在語速快時，音段時長變短；

反之，語速慢時，音段時長變長。例如以重音計時的英語，在快語速時，非重音音節的時長就會被縮短較多，而各音段的時長差異則可能會變得較大。鄭靜宜（2008）分析五種語速下華語語句的PVI，發現在慢語速時PVI有增加的趨勢，而在最快語速時PVI最小。

Grabe與Low（2002）分析十八種語言「北風與太陽」語句的音段PVI，每種語言各有一位說話者。PVI值計算的單位則分為母音核心時距（vocalic intervals）和介於母音間時距（intervocalic intervals）兩種。母音時距是指母音的起始處至末尾處之間的時長；母音間時距是指一母音的末尾至下一個母音的起始之間的時長，可能包含空白和子音。並將母音時距PVI正規化，即相鄰單位時長差距值再除以兩音時長的平均，算得每種語言的母音核心音段正規化PVI值（Vocalic nPVI）。結果發現以重音計時的英語和德語的兩種PVI值皆較高，以音節計時的法語和西班牙語的PVI值則較低。而華語的資料則是又比法語和西班牙語具有更低的PVI值，顯示華語有更強的音節計時特性。

（二）華語的韻律特性

華語一字一音節，相較於英語，華語音節的結構較為簡單，聽起來音節的節律感也較強，較沒有輕重音對比的區分。許多研究發現音節在華語產生和知覺扮演著重要的角色。例如Chen、Chen及Dell（2002）以內隱促發（implicit priming）實驗研究在華語雙音節詞念名時一些音節特性的促發效果，如聲調、聲母、音節，結果發現在具有相同音節情況時的促發效果最強，推論「音節」為詞語產生的單位。音節（不含聲調）是華語產生一個被儲存和規劃的音韻單位，Chen、Lin及Ferrand（2003）的研究也再度支持此推論。此外，Leong（2006）指出對於華語的音韻覺識，聲母加上韻母的音節單位也是最容易被兒童掌握的音韻覺知單位。以「音節計時」韻律特性也是一般對於華語韻律的共識（如Jun, 2005; Tseng, Huang, & Jeng, 1996; Tseng & Lee, 2004）。

若音節真為華語產生的計時單位，那麼在語音產生聲學信號上是否可以找到音節等時性的證據呢？而等時計時單位的起點又位於何處呢？鄭靜宜（2005）曾測量說連續華語語句時各音節的時長，發現語句中各音節的時長並不相等，音節時長受到許多因素的影響，如聲母、母音種類、聲調、所在位置（如語尾）等，例如帶摩擦音的音節會比其他音節為長，帶有不

送氣塞音的音節相對較短，而位於語句末的音節會拖長。語句中音節時長的變異性相當地大，語句中單純的音節時長，即聲母加上韻母音段的時長是不具等時性的。然而若考慮整個句子的架構，將音節和音節間的空白（gap）或靜默（silence）時長納入單位中考量，單位時長會變得較具等時性。鄭靜宜（2008）認為音節和音節間的空白扮演著調節節律的角色，在該研究中將音節和音節間的空白或靜默音段納入言語計時單位中，提出華語可能的兩種言語計時單位，一為音節時長加上音節前空白，稱「全音節單位」（即空白起始單位），另一為由母音起點開始加上音節後空白，再加上後接音節的子音時長，稱為「母音起始單位」。計算兩種可能單位在同一語句中相鄰單位間的PVI後，發現以母音起始點來劃分的單位之PVI有顯著地小於全音節單位PVI，也發現隨著語速的變慢，這些單位的時長PVI值顯著增加，但以母音起始單位之PVI受語速的影響較小，支持母音起始單位是華語語句韻律計時單位的想法。

在言語篇章中，韻律的結構又更加複雜了，Zellner Keller（2002）曾提出韻律的階層性組織架構的想法，認為在時間向度上言語韻律的組織乃為階層性的架構，包含著由音段到片語的各階層。Tseng等人（2004）探討華語連續語音的調律（prosody）特性，結合語調和時長因素，解釋華語調律的架構，採用韻律單位分級，提出一個具五層次階層性的調律組織架構，由下到上階層各是音節、調律詞（prosodic words）、調律片語（prosodic phrases）、呼吸群（breath group）和調律片語群（prosodic phrase groups），並使用這些層次定義出語流中的單位和單位間的界限，其中呼吸群（breath group）和調律片語群（prosodic phrase groups）是較高層次的單位。語句或子句間出現較長的停頓通常為為言語呼吸群（breath group）的界線，此時為說話者換氣或為思緒、詞彙和語法的整頓時間。影響音節長度的因素不只是在音節層次也存在於比音節更高的四個層次的單位之中，如詞語（句）末尾位置的音節拖長效果。然而這些研究使用階層方式來分析語言韻律的重點在於階層架構探討，如音節、調律詞、音步或片語等各層次架構，較少著眼於單一層次內單位時長的關係，如音節間、調律詞之間或是語句群之間的比較，或是較細微有關言語行為的動作計時。本研究聚焦於句子中音節階層內各計時單位間的關係，以語速控制的方法盡量排除句子中這些階層單位（如片語、調律詞）的影響，探討

在語句中單位間如何串接，或是如何調節時長使之等時的計時機制，亦即計時單位等時性的維持與調節。

（三）韻律的計時單位

若單就華語語句以音節序列串接的層面來考量，句子是由一個個音節和音節之間的空白組成，在此層次上存在著三種可能的計時起點或單位間的切分點：子音起始點、母音起始點和空白起始點，由此可構成三種計時單位：「子音起始單位」、「母音起始單位」、「空白起始單位」（如圖1所示），而這三種計時單位皆屬於音節層次單位，一個單位中皆含有聲母、韻母以及音節間的空白成分，只是計時起點或單位間切分點的差異。「空白起始單位」的算法是由音節之前的空白開始（同時也是前一音節韻母的結束處），成分依次為空白、聲母、韻母。「子音起始單位」則由一個音節的子音信號開始（同時也是空白的結束處），成分依次為聲母、韻母、空白。「母音起始單位」是由音節的母音為起始（同時也是聲母的結束處），到下一個音節之母音起點為止的間隔，包括母音（或韻母）和其後接的空白以及後接子音的時長，成分依次為韻母、空白、聲母。

「子音起始單位」可能存在的理由是較符合一般人對於音節的認知，音節由子音開始，接著是母音或韻母，接著是母音之後可能會有一些空白存在。「空白起始單位」可能存在的理由是因通常在塞音（或塞擦音）之前會有一段空白時長，此段空白其實是塞音構音動作的一部分，故將此音段歸入和該子音相同的單位中，且符合一音節中子音、母音相連接的觀念。而母音起始單位和一些韻律知覺研究（Buxton, 1983; de Jong, 1994; Fowler, 1979; Morton, Marcus, & Frankish, 1976）中提到的「知覺中心」（Perceptual center, P-center）的位置相近，P-center被認為是聽知覺韻律的中心，而其位置即是在一個音節之中母音起始的位置附近，由此為基準點開始做切分計時，母音起始處為計時的開始，接著是母音後可能的空白，再接著至下一音節的子音為止，為一個完整的計時單位。由此看來這三種計時單位看似皆有其合理存在之處，究竟何者才是真正的華語言語計時單位呢？

究竟言語流中的計時單位的切分點是位於母音起始處，或在一個音節前空白的起始，還是就位於一個音節子音的起始呢？計時單位內如何調節以維持時長

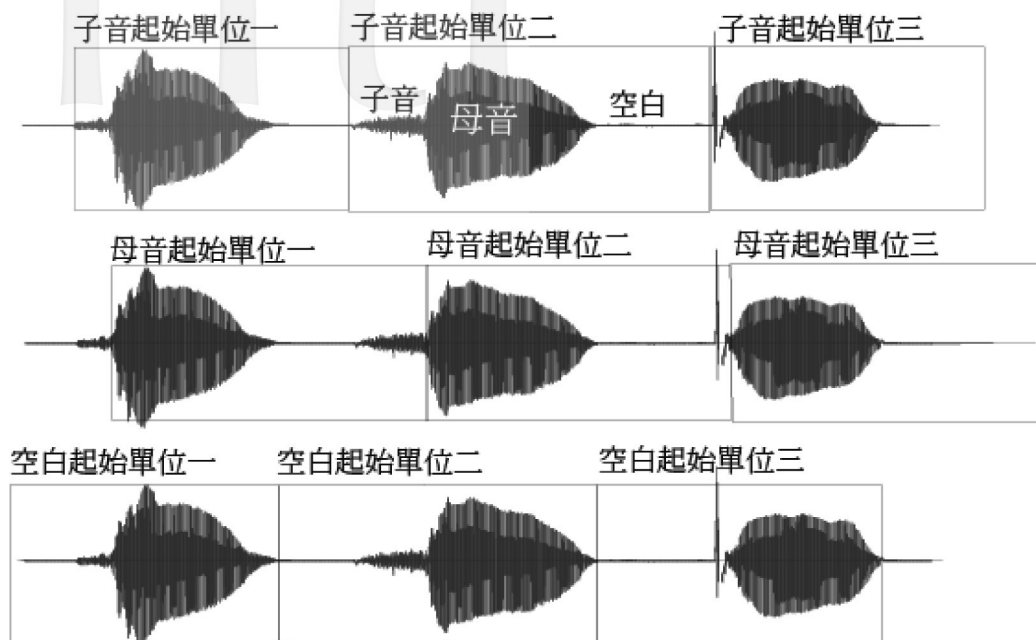


圖1：三種計時單位（子音起始單位、母音起始單位、空白起始單位）的劃分

間隔的等時呢？可以藉由觀察計時單位內各音段時長的變化尋找此問題的答案。假若韻律等時單位是由母音起點開始計算，一個等時單位中母音後接的子音音段若是較長（例如摩擦音）是否會使該單位之中母音的時長縮短？理論上，為保持單位時長的等時，一個語句等時單位中各音段間的長度有種互相牽制關係，即在一個等時單位中韻母的長短和後接音節的子音時長呈現的應是一種互補關係。若韻母變長則後接音節的子音時長變短。然而由於母音的延展性較大，改變彈性較子音為大。子音通常受限於語音類別因素，時長變化範圍較小，因此母音的時長調整改變量應該會較明顯。然而，由於影響母音時長的因素十分眾多，例如說話的速度、母音類別、在語句中的位置、語句中的音節數目、詞語強調與否、母音之前的子音。而這些因素的影響均需加以控制，才能釐清音節後接子音對母音時長的影響。之前一些有關英語母音時長的研究（Chen, 1970; House & Fairbank, 1953; Kluender, Diehl, & Wright, 1988; Luce & Charles-Luce, 1985）發現英語母音之前或之後的子音類別（有聲或無聲）會影響母音時長，且其中受母音之後接子音的影響較大。在華語研究（鄭靜宜，2005）中也發現在一個音節中母音前的子音送氣與否會影響母音時長，送氣子音後的母音會比起不送氣後的母音為稍短。由於華語的音節結構較西方語言簡單，除了鼻韻外，華語中並

無CVC音節，因此無法考驗音節末尾子音種類對母音時長的影響，然而跨音節的子音是否有可能產生影響呢？連續語句中一個音節的母音時長是否會受到跨（後接）音節子音的影響呢？是否於音節外部也會存在著影響母音時長的因素，包括該音節之前和之後所接的音段（子音或是母音）？語句中計時單位等時的維持或補償是否會影響一個音節中母音時長呢？

本研究探討華語連續語音中的計時等時性，由語音的產生和知覺兩方面考驗三種可能的計時單位的等時性，運用一些結構類似的句子為材料，計算並比較三種可能等時單位（子音起始、母音起始、空白起始單位）的PVI，實驗一藉由分析語句中各音段時長的比較，考驗語句中音段時長受到鄰音節子音或母音的影響，探討計時單位內各音段時長的互補性，並觀察語速的影響。

實驗一

實驗一比較華語說話者所產生的語句以三種計時單位（子音起始、母音起始、空白起始單位）切分時，單位時長PVI值的差異，並檢驗華語語句中一個音節的母音和空白時長是否會受到其相鄰音節的影響。

（一）方法

1. 參與者

二十一位正常成年人（男10名，女11名）參與語音錄音，年齡範圍由19至31歲，皆以華語為母語，其視力與聽力皆在正常範圍內，且無已知的神經性疾患。

2. 語句材料

詞語材料包括有42個句子（見附錄一），除了有3句為七音節句子外，其餘句子皆有八個音節。大多數為SVO的句型。語句材料中有23個句子有類似句型，句子的框架為：「小×他×破×子了」，例如「小琪她撕破簿子了」、「小企她踩破梳子了」、「小七她刺破柱子了」、「小迪他敲破珠子了」等。這些句子中皆有「小」、「他」、「破」和「子」等相同的音節，但這些音節的前後鄰接音節各有所不同，可藉此比較各句中這些相同音節的音段時長，考驗這些音段的時長是否會因後接或前接語音之不同而有差異。

3. 錄音程序

先由一位以華語為母語的成年女性錄製說話速度示範語句，錄音時參照電子節拍器的節拍速度，並盡量以自然的語調和速度說出句子。示範語句共有三句，各有五種設定速度：中速（120次／分）、稍快（150次／分）、最快（180次／分）、稍慢（90次／分）、最慢（60次／分）。

對於每個說話者採用個別錄音的方式進行。錄音採樣於隔音室中進行，使用數位錄音機Marantz PMD670（取樣頻率22.05kHz）與Sony EMC麥克風錄音。主試者先以Panasonic錄放音機播放語速示範錄音，呈現五種不同的說話速度的說話方式，包括中速、最快速、稍快、稍慢和最慢速，請說話者參照

帶子中說話速度和速度順序練習說出一些語句，之後開始進行正式語句的錄音，使用五種語速一一說出四十二個目標句。各個語句文字印於小卡片（4”×6”）上，以隨機順序呈現。錄製時保持每句發語間隔約一秒。說話者產生的話語時，若遇不流暢情況，句子須重說，以確保語句的流暢。為了避免疲憊，說話者在實驗中可有二至三次的小休息，整個過程約需1.5小時。

4. 資料分析

使用聲學分析軟體TF32（Milenkovic, 2004）呈現寬頻頻譜圖（頻寬為300Hz）進行聲學音段時長測量，以視覺手動方式逐一分析各說話者所說各語句中各音段的長度，分析的音段包括每句中所有子音、韻母和音節間的空白（或靜默）時長，分析的語句數量共計有4,410句（21×42×5）。之後進行PVI分析，先各算得各語句中以三種單位（子音起始單位、母音起始單位、空白起始單位）劃分之單位時長，如一個八音節句子在去頭尾後（因為在句子的頭和尾處各計時單位之中的音段資料會因缺項而不完整，若計入會造成偏誤），可得六個完整計時單位的時長資料，亦即每個計時單位皆有完整的子音、韻母和空白三要件的資料。之後再計算每個語句在產生順序上各兩相鄰計時單位的時長差異，並求得其平均數，得到各句以三種劃分單位的PVI值，亦即同樣的一份時長資料使用三種不同的計時單位劃分做PVI的計算。

（二）結果與討論

首先比較在五種語速下三種計時單位的PVI，表1呈現在五種語速下三種計時單位的PVI平均值和標準差以及三種單位時長的平均值和標準差。子音起始單位的PVI在最快速時為70ms，在最慢速時為138ms，

表1 在五種語速下三種計時單位的平均PVI值（ms）、標準差和單位平均時長（ms）、標準差

語速	最快		稍快		中速		稍慢		最慢	
單位	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
子音起始單位PVI	70	27	80	29	96	37	116	46	138	61
母音起始單位PVI	49	27	51	30	58	33	60	33	72	38
空白起始單位PVI	45	25	51	28	62	35	93	51	146	80
子音起始單位時長	343	30	392	25	492	40	616	44	916	83
母音起始單位時長	336	28	384	23	482	38	604	42	902	83
空白起始單位時長	332	29	378	23	470	36	589	44	880	83

PVI幾乎增加了一倍。母音起始音節單位在最快速時為49ms，在最慢速時為72ms，增加不多。空白起始單位在最快和稍快速時的PVI和母音起始單位PVI相近，但在其他語速時則皆較高。可見母音起始音節單位在五種語速下皆保持著較低的PVI值，而其兩種單位的PVI則較高，尤其是在慢語速時。雖然三種計時單位的PVI皆隨著語速變慢而有增加的趨勢，但以母音起始單位的PVI值在慢語速下增加最少，母音起始的計時單位受語速的影響最小。若比較各計時單位PVI的標準差，在慢語速時也是以母音起始單位的PVI為最小，其他兩種單位的PVI則較高，顯示以母音起始單位計時的PVI變異性較小。

為考驗以三種計時劃分單位之間PVI的差異，以單位和語速為自變項，PVI值為依變項，進行受試者內二因子變異數分析，結果顯示單位和言語速度的效果皆達顯著，單位效果： $F(2, 40) = 100.34, p < .01$ ， $\text{partial } \eta^2 = .83$ ；言語速度效果： $F(4, 80) = 153.22, p < .01$ ， $\text{partial } \eta^2 = .89$ 。言語速度與單位的交互作用亦達顯著， $F(8, 160) = 41.34, p < 0.01$ ， $\eta^2 = 0.67$ 。事後考驗結果顯示三種單位之間的成對比較以及五種速度之間的成對比較PVI值皆達顯著差異（ $p < .01$ ）。母音起始單位的PVI顯著地小於空白起始單位和子音起始單位的PVI。在不同語速下PVI值亦有顯著地差異，PVI值隨著語速的變慢而顯著增加。在快語速下，三種單位的PVI差異較小，但在慢語速時，差異變大。在最慢速時，空白起始單位和子音起始單位的PVI皆有急遽增加的趨勢，但是以母音為起始的計時單位仍維持著較低的PVI值，顯示此種單位受語速的影響較小。因此，整體而言，母音為起始的計時單位是較具有等時性的計時單位。

是否這些PVI值的差異是來自三種單位的時長的差異呢？事實上，三種單位間單位時長的平均值和標準差差距很小（見表1），因為三種單位的劃分資料乃由同一份語句音段資料衍生而來，只是單位的切分點有差異。這些單位時長皆有隨語速變慢而一致地逐漸增加的趨勢，而各語速下計時單位的平均時長則十分接近，且和展示錄音時節拍器的速度相去不遠，例如展示節拍最快速是180次／分，相當為一音節約333ms；稍快速是150次／分，相當為一音節400ms；中速是120次／分，相當為一音節500ms；稍慢速是90次／分，相當一音節667ms；最慢則是60次／分，相當一音節是1000ms。雖在稍慢和最慢時，說話者的計時單位時長有稍較短的趨勢，但在其他語速計時，單位平均時長

的倒數值則十分接近所要調整的目標語速。可見即使用的是較間接的語速調節方式（錄音帶語速展示），整體上仍可成功地調節說話者的語速，而計時單位時長的倒數值即為言語韻律的節拍。

實驗材料中有二十三個刺激句具有很相似的句型結構，如「小琪他撕破簿子了」、「小弟他戳破格子了」，在這些句中皆有相同的音節（字）：第一音節（「小」）、第三音節（「他」）、第五音節（「破」）和第七音節（「子」），我們可藉由跨句比較這些相同的音節的音段時長推論語句中影響音段時長的來源因素。圖2顯示這些刺激句在五種語速下各音段平均時長，橫軸由左至右各是依據語句中音段出現順序的各音節子音（以c開頭表示）、母音或韻母（以v開頭表示）和音節間的空白（以gap表示）。圖中每條橫向連接線為同一語句中各音段的時長，乃為二十一位說話者平均值，詳細的數據資料亦列於附錄四之中。圖3和圖4則是在最快語速和最慢語速時的各音段時長。由圖2、圖3和圖4皆可發現這些句中共有音節（字）之母音時長受到鄰音節影響而變化的型態很類似。若跨句比較可發現這些句中共有的音節：第一音節（「小」）、第三音節（「他」）、第五音節（「破」）和第七音節（「子」）的子音（c1、c3、c5、c7）具有相近的時長，例如這些句子中具有的共同音節「他」中的/t^h/的時長變化範圍不大，時長平均約在87ms左右。由於子音時長受到子音語音類別的規範，變異性小，而同樣地，每個句子中皆有的「小」、「破」和「子」音之子音時長變異性也是不大。然而，若比較這些相同音節的母音或子音前的空白時長，情況就不太一樣。這些句中的同一個字的母音時長，雖然為同一母音，但有些較長，有些則較短。例如在「小莎」句中的「小」之韻母時長就相對地較短，而「小李」句中的就相對地較長。推論可能是「小莎」句中/iau/音受到後接「莎」音的影響，因為/s/音較長，為維持單位等時性，/iau/音就較短；而「小李」句中的中/iau/音受到後接「李」音的影響，因為/l/音較短，為維持單位等時性，/iau/音就較長，而兩句中的第一音節和第二音節之間的空白時長相近。跨語句比較其他具有相同字的音節，如各句中的音節「他」、「破」也可發現類似這種隨著在語句中後接子音的不同而有差異的情形。但這些句中「子」音的母音時長情況就較例外，雖然為同一個字，後接音節也都是同一字「了」，但時長卻都不一樣，如此似乎違反之前我們等時性推論的原則。「子」音為輕聲，

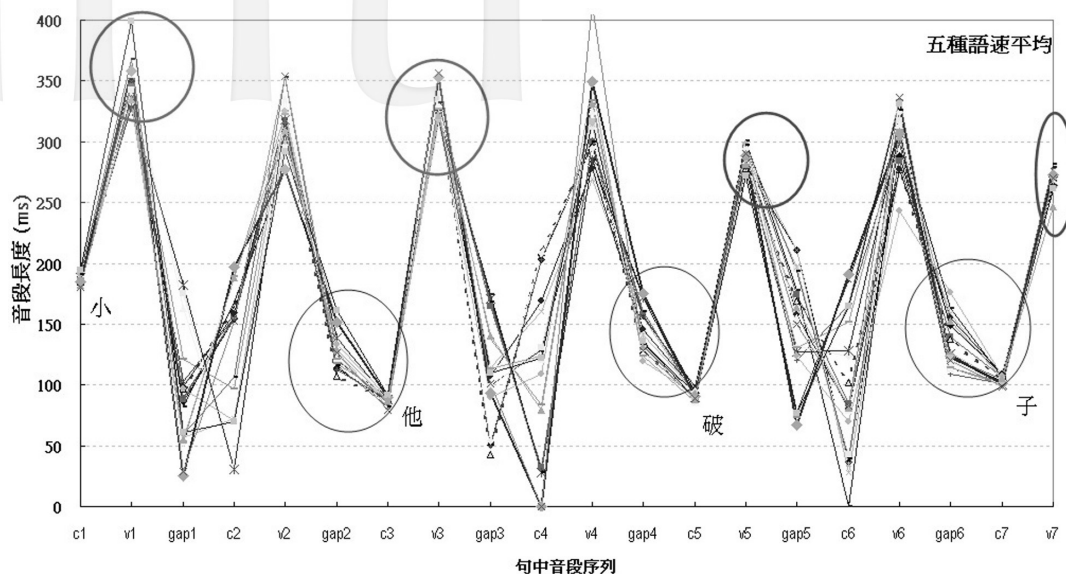


圖2：二十三個刺激語句在五種語速下的平均語段時長 (ms)

註：由左至右各是「小×他×破×子」，橫軸按語句中各音節出現順序排列，子音（以c開頭表示）、韻母音段（以v開頭表示），音節和音節間有靜默或是空白（以gap表示），圓圈標明這些句子中相同音節的母音和該音節前空白之音段時長。

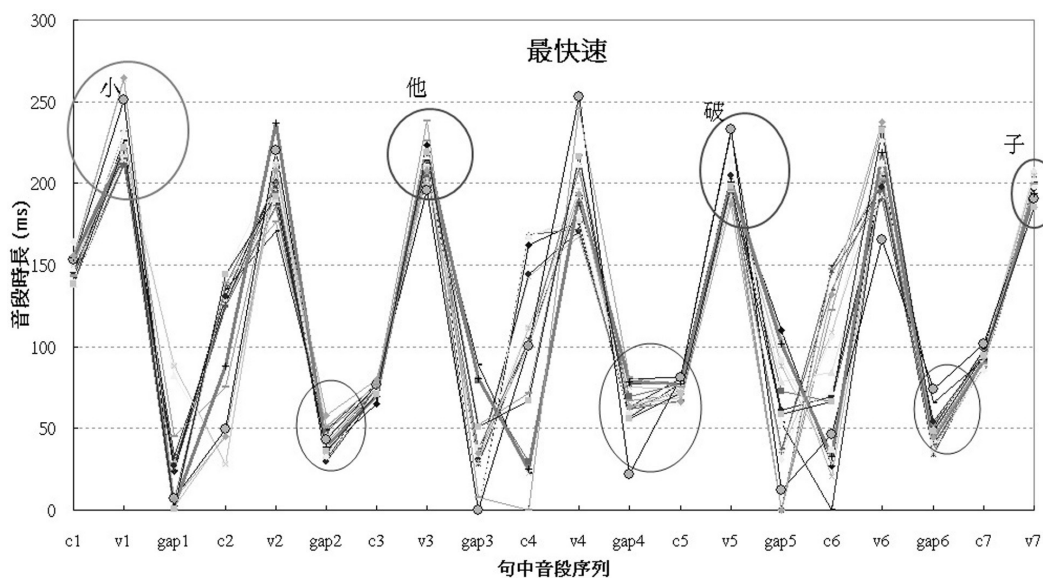


圖3：二十三個刺激語句在最快速語速下的平均語段時長 (ms)

註：由左至右各是「小×他×破×子」，每個音節有子音、韻母音段，音節和音節間有靜默或是空白。圓圈標明這些句子相同音節之母音和該音節前空白之音段時長。

而輕聲的調型是隨著其前音節聲調而變化，因此在各句中「子」音調型不太一致，母音時長當然也會有所差異，雖由字面來看在各句中「子」為同一個字，但其實各句中的音是不太相同的。

由以上可知，一個音節中韻母的時長會跨音節地受到其後接子音影響而有所增減。在語速控制的條件下，實驗材料語句中相同的音節：「小」、「他」和「破」，雖具有相同聲母、韻母和聲調，但母音時長

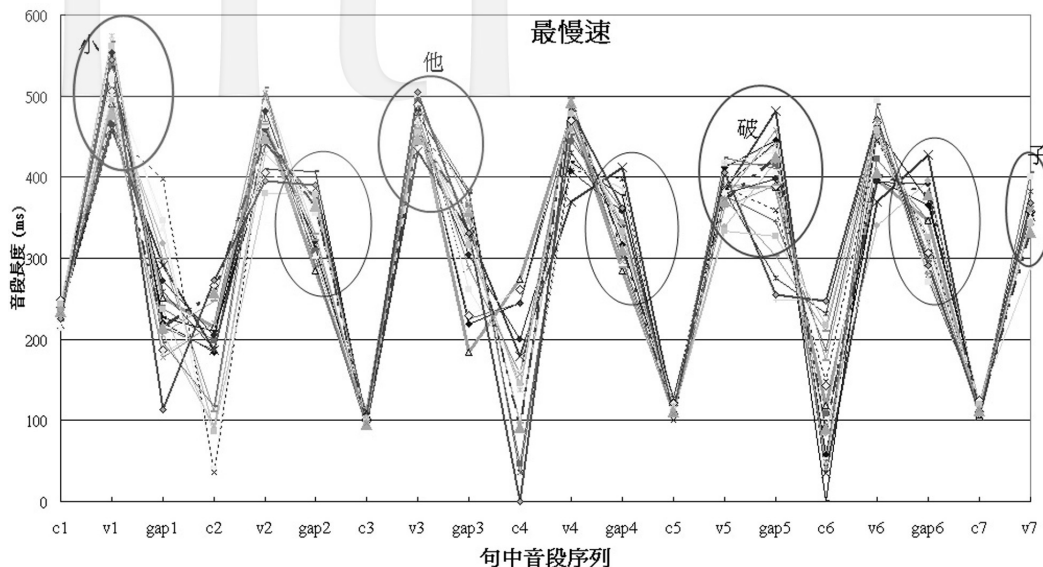


圖4：二十三個刺激語句在最慢語速下的平均語段時長 (ms)

註：由左至右各是「小×他×破×子」，每個音節有子音、韻母音段，音節和音節間有靜默或是空白。圓圈標明這些句子相同音節之母音和該音節前空白之音段時長。

卻不太相同，推論這些音節的母音時長是受到句中後接子音的影響，因後接音節子音的不同而使該音節韻母時長發生互補性的增減改變，這種改變的來源可能是為了維持計時單位的等時性，而此種計時單位應是「母音起始」的單位，若為「子音起始」或是「空白起始」的計時單位，則無法解釋此現象。

處於音節和音節間的空白時長通常會受到後接子音語音的類別的規範，先前的一些研究（如石峰，1990；鄭靜宜，2005；Repp, 1984; Repp, Liberman, Eccardt, & Pesetsky, 1978）皆曾提出具有不同構音方式子音前之空白時長不同，而不同塞音種類之前的空白時長也會不同，如華語不送氣前塞音的空白會較送氣塞音為長，華語塞音前之空白時長會比塞擦音的為長。塞音或塞擦音前的空白其實是構音動作中的持阻期，乃是釋放氣流前的閉鎖（closure）階段，屬於塞音或塞擦音構音動作的一部份（Kent & Read, 2002）。但在其他類別子音（如摩擦音、鼻音）之前都沒有明顯的空白期（在快語速和中語速時），但在慢語速時就會出現較長的空白間隔，隨著語速的變慢空白會愈長。一般而言，塞音之前的空白最長，其次是塞擦音之前空白，再其次是摩擦音或其他語音類別（如邊音或鼻音）。在本實驗結果所得的音段資料中亦可見到此大致趨勢（請見附錄四），塞音前的空白最長，如編號第16句中塞音「弟」音之前的空白在五

種語速下平均有182ms，而編號第22句中摩擦音「喜」音之前的空白在五種語速下平均卻只有25ms。

若跨句觀察這些有相同音節（字）的句子，可發現這些句子相同音節之子音前的空白時長也有出現跨語句間的差異。一般而言，子音前的空白期（或靜默）時長主要和子音語音類別有關，但此處卻可觀察到受其前接音節母音的影響，而呈現一種和前接母音時長互補的關係。由圖2、3和4皆可觀察到這些空白時長大致和其前接的母音時長呈現出一種消長互補的關係，若前接音節之母音較長，則其後空白期較短；反之則否。例如同樣比較「破」音前的空白期，在「小啟他打破椅子了」和「小弟他打破車子了」句中，「打」音中韻母相對地較短，「破」音前的空白期即相對地較長；相反地，在「小麗他弄破李子了」句中，「弄」音節中韻母相對地較長，「破」音前的空白期相對地較短。可見靜默時長和前一音節母音時長也呈現一種消長關係。推論這種消長關係的來源可能是在維持一個計時單位的等時性，因為空白期和前一音節母音同屬於一個計時單位，需要以消長互補的方式來維持單位的等時性。同樣地，也可以觀察到在「他」和「子」之前的靜默時長也呈現著和它前接音節的韻母時長有互補消長的關係。

在連續語句中，一個音節中母音的時長受到句中後接音節的影響，而子音前的空白則是受到前接

母音的影響。若假設計時單位是根據空白起始單位（GCV），一個音節的空白、韻母同屬於一計時單位，它的時長理應不會受到語句中跨音節的鄰前或後接音節的影響，但由此觀察到跨語句中相同音的各音段時長情況卻非如此。相同音節（字）中的母音會受到後接音節子音的影響，相同音節（字）中子音前的空白時長則受到前接音節母音的影響，由此可推論語句中一音節的韻母和後接音節的子音和空白同屬於一計時單位，而一音節的子音則和其前接音節的母音屬同一計時單位，亦即語句中一個音節內的韻母、子音是分屬於前後不同的計時單位，一個音節韻母和其後的空白則屬於同一計時單位。言語計時的基本方式是以前後音節交織串接的方式進行，以一個音節中子音和母音的交界處為計時單位的切分點，而音節和音節之間的空白時長也納入計時單位中做相應的時長調整。

既然一個音節和音節之間的空白時長是同時受前接音節的韻母和後接音節子音類別所限制，前接音節的韻母、空白和後接音節的子音同屬於一個計時單位，而這樣的計時單位組成就是以韻母為起始點的計時單位。它是由一音節的韻母為起點開始計時，加上和後方音節間的空白間隔，再加上其後接音節的子音音段。

言語的構音動作是連串動作有次序性的演練，而夾在音節之間的空白期是處在韻母後和子音前，它可能既屬於子音動作的一部份，也可能是前接母音殘存但未出聲的部分。通常在說話時，音節中的母音常出現有去噪音化（devoicing）的現象，母音在產生時，有時會在沒有完整說出前聲帶就停止振動，此現象常見於雙母音或是華語具有三聲聲調的母音。因為空白起始單位的起點是在母音結束開始，這種母音不及（undershoot）的現象對於此計時單位的起點的設定其實是較不利的，容易出現不穩定的變異。此外，韻母時長同時也受其他因素的影響，如母音類別、聲調、語速、嗓音病理，因此語句中韻母時長的變化其實受到不小的限制，時長不能完全地就計時等時做調整。也因此計時單位等時性維持的責任也會分散到音節間的空白部分，尤其是在慢語速時，空白或停頓所扮演的語速調節功能相對地較強。圖5呈現在各語速下，韻母計時單位中韻母、空白和聲母所佔的平均百分比值，除了最慢語速外，韻母時長在一個計時單位中約佔了60%的比例，聲母則佔約20%的比例，而空白也約佔15-20%的比例。在最慢語速時，空白所佔的比例提高到30%，母音時長所佔的比例則縮小為整個計時單位時長的50%左右，可見在慢語速時空白的計時角色加重了許多。

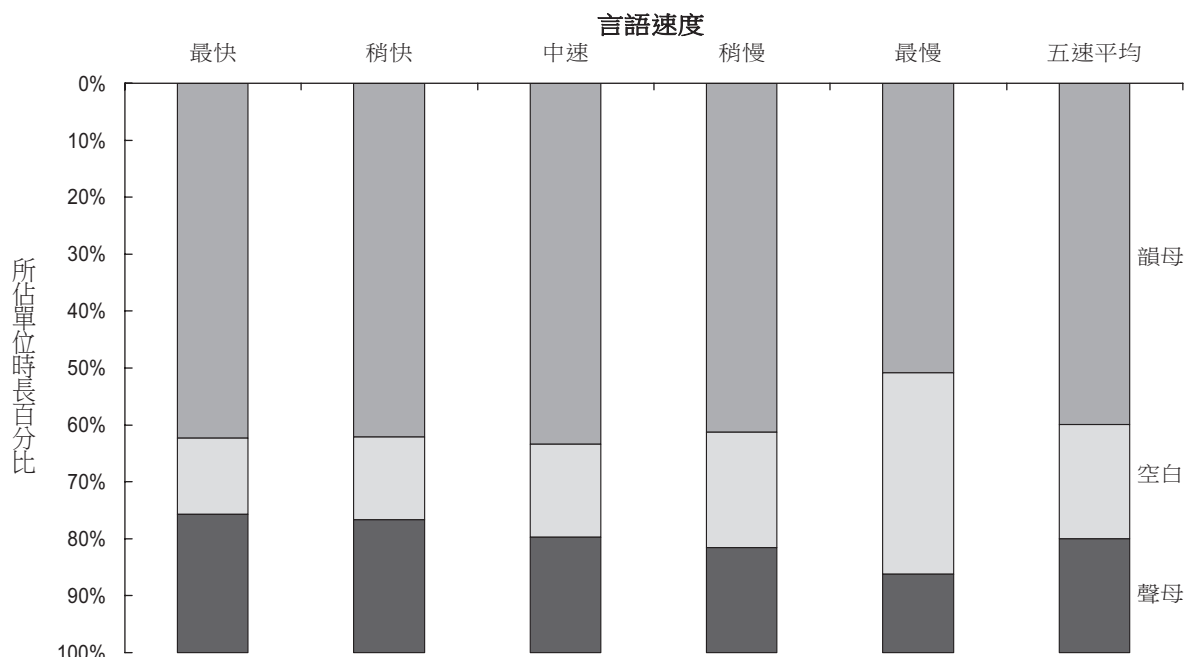


圖5：五種語速句子下計時單位中韻母、空白和聲母佔單位時長之平均百分比值

若跨語句比較三計時單位時長的PVI值，圖6呈現材料中42個語句在五種語速三種計時單位的PVI平均，可發現除了三個語句（編號22、25、28）外，母音起始單位的PVI在各語速的情況皆有較等時的趨勢。而這例外的三個句中皆含有零聲母音節，如「咬」、「壓」、「鴨」等音節。若檢查這些語句中各單位時長的差異，可發現以韻母起點開始計算的計時單位，因這些零聲母音節缺乏子音，且通常會和前一個音節的母音產生相連融合現象，如此會造成相鄰計時單位的不等時。例如在「小喜他咬破鞋子了」句中「咬」音會和前一音節「他」音相連融合，雖在頻譜圖上由共振峰頻率的轉變可切出兩音的界線，但若計時單位起點是在母音起始點，含有「他」音韻母的計時單位就會很短，因為後面沒有一般計時單位應存在的空白和子音音段，且它的下一個（後接）計時單位時長變得比一般來得長，因含有零聲母音節（如「咬」音）再加上其後空白和下一個音節的子音音段，如此一來則造成兩相鄰單位間時長差距拉大，使得計時單位間變得不等時。零聲母音節的音節結構迥異於其他有聲

母結構的音節（如CV），且通常在快語速時音節前的無空白，且和前一音節的母音融合。

語句中含無聲母音節對於母音起始計時單位所計得之PVI值的影響是較其他兩種計時單位為大。例如以母音起始單位計時：VG VG VG VG……，假設無聲母音節的母音是位於第二個單位中，第一個單位內缺C（因為無聲母），此單位剩VG，且因無聲母音節之韻母常和前一音節的韻母相連，G消失或很小，該單位（即是位於無聲母音節母音之前的單位）會變得很短，而此無聲母音節之韻母所在的計時單位又會變得過長，因為此種音節韻母整體就已經是較長（有介音加上核心母音）還要再加上後方的G和C音段。如此造成在此區域相鄰兩計時單位長度差距過大，而提高了時長PVI值。語句中含無聲母音節對於另兩類計時單位的影響就沒有那麼大，例如以子音起始單位計時：CVG VG CVG，假設於第二個單位內缺C，剩VG，但V是比較長的介音加韻母，此單位長度會和其相鄰單位相當，因此對PVI之影響不大。又如以空白起始單位計時：GCV GV GCV，假設於第二個單位內缺C，剩

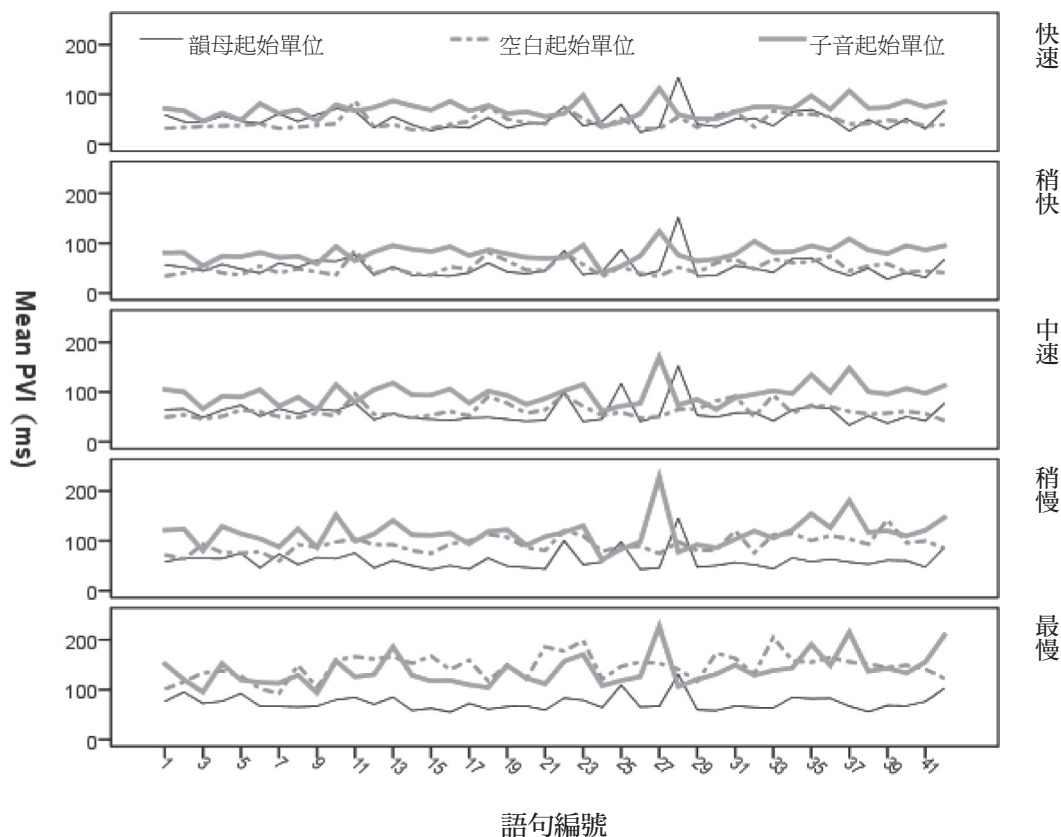


圖6：四十二個句子在五種語速的三種計時單位的平均PVI值

GV，儘管G可能消失或很小，但因為V是較長的，所以影響也是不大。

然而是否以韻母為起始的計時方式的說法，在具有零聲母音節的句子中似乎就無法適用呢？語句中在此種音節中真正計時起點似乎是在韻母起點後方一點的位置。究其原因，可能是因為零聲母音節缺乏聲母，若有介音（glide；如「咬」音中的/i/），則在此音節中介音可能代替聲母，扮演音節首的角色。在一些語音研究（如林怡君，2001；Grabe & Low, 2002）中，皆將無聲母音節之介音視為具有聲母性質，並不將之視為和母音同質。林怡君藉由聲調基頻變化曲線的觀察，認為無聲母音節之介音的地位是類似有聲聲母。而Grabe與Low對於多國語言PVI的研究中也特別提出不將具介音無聲母音節的介音音段納入母音時長的計算。但對於具有聲母和介音的音節，介音則是併納入母音音段之中做計算，將之視為韻母的一部份。對於無聲母介音起始音節，真正計時的起點可能並非在該音節起始的韻母處，而是延後至該音節之核心母音的起始處，在此種音節中的介音可能具有類似聲母的角色性質。

然而若統一將言語計時「以韻母為起點」的說法修正為「音節核心母音的起點處」是否會較為貼切呢？「聲母後接韻母」是華語音節結構的基本框架，韻母的結構除了核心母音外，尚可能在核心母音前有介音，以及可能在韻母末尾有鼻音。若一個具聲母的音節若有介音，一般夾在聲母和核心母音的介音時長通常十分短暫，在普通語速下估計一般約有20至50毫秒，且常和核心母音產生共同構音（coarticulation）現象，在頻譜圖上的呈現常是兩者相融，無法確實區分開來。在本實驗的語句中也有許多具有介音的音節，如「掐」、「夾」、「敲」等音，頻譜圖測量的點是以韻母起始點為準，因此就目前本實驗的資料，只能肯定言語產生的韻律計時和母音起點有關。華語語句的產生大致上是以母音起始為計時的起點，但若是遇到無聲母只有韻母的音節，則計時起點會延宕至較為後方之處，而非位於韻母之始或此種音節之首。

實驗一的結果支持在產生方面，華語語句的計時是以母音起始的類音節單位為基礎，但在知覺方面，華語聽者對於語句的韻律是否有音節計時的能力呢？在實驗二中將檢驗華語聽者是否有可估算語句中噪音取代音段之音節數量的能力。

實驗二

若言語的韻律等時性的假設為真，在聽知覺過程中聽者應可依賴此計時機制，推論語句中被噪音遮蔽或取代的音節數量。實驗二使用白噪音取代語句當中一小段語音，考驗聽者是否能推論被噪音取代音段的音節數量，並考量到語速的影響，刺激語句有四種速度變化。

（一）方法

1. 參與者

30位正常成年人（男女各半）參與聽知覺語句音節數目估計的作業。參與者皆以華語為母語，且其視力與聽力皆在正常範圍內，且無已知的神經性疾患。他們皆不曾參加過類似的實驗。語音刺激材料各由一位男性和女性錄製而成，他們皆以華語為母語。

2. 語音材料

使用的句子材料共有40句，列於附錄二，語句的長度在7至12個音節之間。共有八組裝載句框組，每組具有相同的裝載句，具有類似的句型以避免句型或語義的干擾。每個裝載句中皆有五種可能的音節數目以形成有意義句子，附錄二中句子中黑體字部分為被噪音取代的部分。

語音刺激材料由兩位以華語為母語的說話者（一男一女）錄製而成。錄音取樣於隔音室中進行，採用數位錄音機與麥克風錄音（同實驗一）。錄音時維持麥克風距離說話者嘴約7-10cm。錄音者說出每一裝載句組的5個句子，每句有四種速度的變化，包括中速、最快、稍快、稍慢。他們先聽完示範錄音帶四種不同說話速度的展示，再以類似的速度說出，語音務求自然、清晰。之後使用Praat語音分析軟體（Boersma & Weenick, 2010）將句中需要以噪音替代的音段部分以一段音強相當、時長一致的白噪音取代，噪音起始的位置為語句中需噪音取代音節的前一個母音結束位置至噪音取代音節的韻母結束為止。如此合成具有一音節、二音節、三音節、四音節和五音節含噪音段的語句刺激。

3. 程序

語音實驗在聽力檢查的隔音室中進行。聽者戴上耳機（Sennheiser HD280），語音刺激以筆記型電腦

和DMDX程式 (Forster & Forster, 2004) 以雙耳耳機呈現。聽者估計被噪音取代的音節數目，並以鍵盤上右端的數字鍵作按鍵反應，可能的答案有五個（由1到5），代表受試者估計受到噪音取代部分的音節數目。指導語說明之後，在正式嘗試之前有20次的練習嘗試，並給予反應回饋，正式測試時則無回饋。練習嘗試所用的句子為另外的一組裝載句，不包含於正式測試之中。正式的測試共有160個刺激嘗試。正式實驗為四種語速下的混合刺激，包括中速、最快、稍快、稍慢四種語速，各語速的句子隨機混合。整個實驗約三十至四十分鐘完成，中間有一次約五分鐘的休息。

（二）結果與討論

30位聽者之中正確率最高為86%，最低為45%，整體平均正確率為70% ($SD = 0.458$)。雖然聽者從來沒聽過原始句子，但大多數具有推測語句中噪音段所含的音節數目，甚至可正確估計出含五個音節之噪音長度的句子，可支持聽者具有聽覺言語計時能力的存在。雖然有不小的個別差異存在，然而多數聽者是可藉由噪音音段時長的訊息和整體語句語速的消息判斷語句中噪音音段所涵蓋的音節數量。

比較噪音取代的音節數目多寡對判斷反應正確率的影響，圖7中呈現對五種噪音取代音節數的語句平均反應正確率與標準差。當噪音音段最短（只有一個音節被遮蔽時）時，正確率最高，平均為82%，但隨著被噪音取代的音節數目增加，即噪音段時長的增加，正確率漸漸降低。噪音段最長時，即有五個音節被噪音取代時，正確率降至最低只有58%，但仍舊有高於百分之五十以上的正確率，遠高於隨機猜測機率百分之二十（五選一）。以噪音取代的音節數目為自變項，正確率為依變項，進行受試者內單因子變異數分析結果顯示噪音音節數目的效果達顯著， $F(4, 116) = 16.49, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = 0.36$ 。事後考驗結果顯示，除了相鄰兩種音節數之間（如一個音節vs.二個音節），其餘五種音節數之間兩兩比較正確率皆達顯著差異 ($p < .05$)，含五個音節數的噪音語句正確率最低，和其他每種之間正確率皆達顯著差異。可見當噪音音段的時長愈長，聽者對噪音中所含音節數目的掌握度愈低。

語速的差異是否影響反應正確率呢？圖7中也呈現對四種速度句子的音節數目判斷的正確率和標準差。在最快速和快速時，正確率較低，而在中速和慢

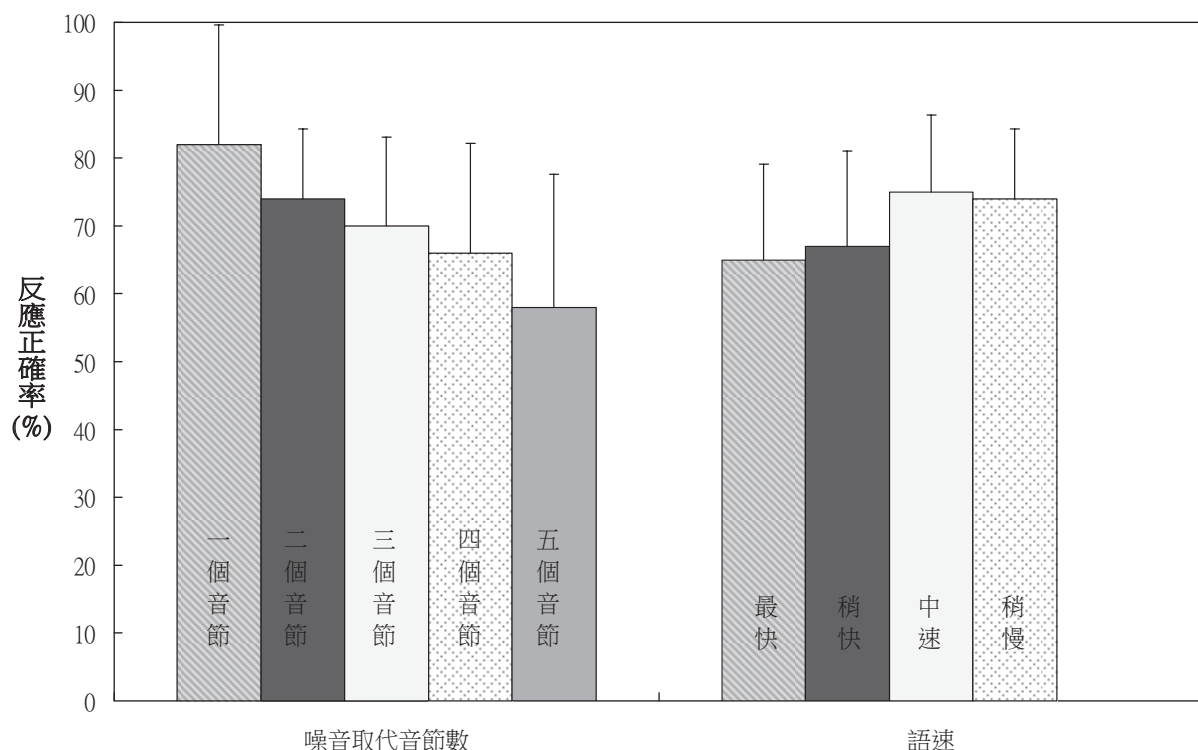


圖7：對五種噪音取代音節數目和四種語速語句的平均反應正確率與標準差

速時，正確率較高。以語速為自變項，正確率為依變項，進行受試者內單因子變異數分析結果顯示語速效果達顯著差異， $F(3, 87) = 11.76, p < .01$ ， $\text{partial } \eta^2 = 0.29$ 。事後考驗結果顯示，除了最快和稍快之間以及中速和慢速之間，其餘兩者之間比較正確率皆達顯著差異（ $p < .05$ ）。可見當語速快時，聽者對噪音中所含音節數目的掌握度愈低。此外，對於八種裝載句型，平均反應正確率最高的有75.3%（他低頭看×螞蟻），最低的為67.3%（他特別愛×衣服嗎？）。疑問句型有正確率稍較低的趨勢，其餘句型的判斷正確率皆在70%左右，差異不大。

本實驗以白噪音取代句子中的一段語音，噪音的時長和被取代的語音片段為等長，所呈現的語句是一種不完整（degraded）的信號，很類似我們在日常生活中聽到的語句部分被外來噪音遮蔽的情況，但因遮蔽的範圍比例不大，尚不及句長的二分之一，語句的韻律結構還依舊保存著。由分析的結果可知華語聽者在聽這些不完整的語句時大致仍可正確地估計出噪音所含的音節數目量。聽者所憑藉的無非是語句中噪音時長的訊息、計時的架構以及語句整體的言語速率等線索。可見，聽者對於語句音節數目的估計並不需真正知道刺激詞句內容，只要得知語句時序的架構，就大致地估計出來，而這可能就是母語聽者對語句韻律所能掌握的「語感」或韻律感。由於華語聽者具有音節計時能力，即使所聽的是不完整的語句信號，但是仍可做計時的處理。由於語句中取代的噪音的時長是完全符合原語句中音節的時長，推論當大腦中的言語計時機制由上而下地自動填補不完美的語句信號時，言語計時的機制所使用的是以音節或者是一種類音節為基礎的計時單位。

實驗二的主要目的在考驗聽者是否有估計音節數量的能力。此實驗的設計並無法區分出三種音節計時單位的差異，由於人耳對噪音長度感知的最小覺察差異（jnd, just notice difference）很大，對於小的差異並不敏感，且愈長時愈不敏感。例如對於500ms和550ms的噪音聽起來都是一樣的。若真的去操弄噪音時長，三種單位之間需取代噪音時長差距其實相當小，因此無法藉由操弄噪音時長來檢驗三種單位的差異，為此實驗的限制。

由實驗二的結果可知在聽知覺方面華語使用者可以預測語句中被噪音取代音段的音節數目，具有音節計時的能力。由實驗一的結果可知若一音節的母音（或韻母）時長縮短，為保持計時單位的等時性，其

後的空白時長會變得較長。然而若是語句中有母音的時長刻意被拉長時，是否會對語句等時性產生影響呢？實驗三將探討華語使用者聽知覺和語音產生之間計時的交互影響。

實驗三

實驗三的主要目的有二：一是考驗聽者是否能聽出刺激句子中有不自然被拉長的音節，二則是考驗參與者是否可自行填補噪音段（依據語句中的已有其他音段的訊息）產生相同計時形式的語句。參與者需按照原刺激句的語速和噪音前母音的時長以同樣的計時方式說出句子，而刺激句當中有兩個音節是被噪音取代的，說話者必須自行填補說出。說話者需要調節言語速度使所發出的句子和展示句的語速一致。探討華語說話者語速調節以及受不自然音段時長訊息的影響，考驗他們在這種狀況下所說出的語句的等時性以及三種可能計時單位之PVI差異。

（一）方法

1. 參與者

十四位正常成年人（男女各半）參與語音錄音的工作，年齡範圍在20至25歲之間，皆以華語為母語，其視力與聽力皆在正常範圍內，並無已知的神經性疾患。這些參與者皆未參與過實驗一或實驗二。

2. 語音材料

語句材料包括8個句子，句中皆含有八個音節（見附錄三），這些展示刺激句材料是來自實驗一所錄得的語音，這些句子由四位說話者（兩男兩女）所產生具有三種速度變化，對應在實驗一的語速設定各是稍快、中速和稍慢速度；而在本實驗中則界定為快速、中速和慢速三種。在這些語句中由第五個音節到第六音節的時段皆以強度相當的白噪音取代，如圖8中所示在「小細他撕破擦子了」句中，「破擦」二音節時間為噪音取代區，噪音由「破」/p^b/前的靜默期開始到「子」的/ts/音開始前為止，而噪音前母音（如「撕」音）的時長則用Praat程式（Boersma & Weenick, 2010）的再合成功能時長調整的處理，分三類：一種是增加原刺激母音時長約1/3，一種是縮短為原先時長的2/3，一種則是維持原刺激長度不做更動。

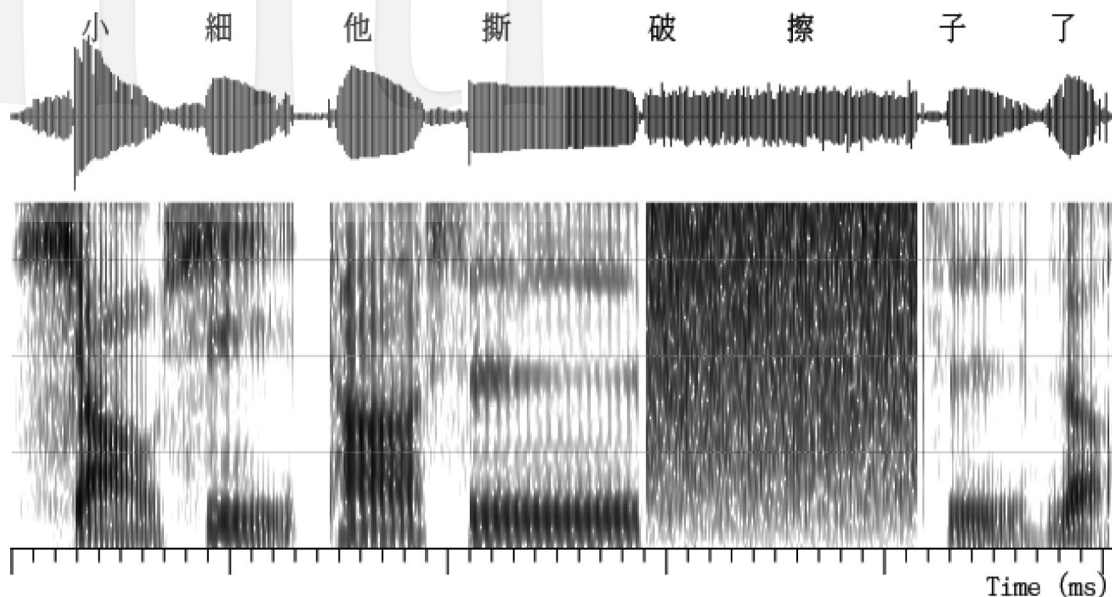


圖8：刺激語句的波形和頻譜圖舉例，為慢速、噪音前母音增長「小細他撕破擦子了」的句子

3. 程序

所有的語音採樣錄音皆於隔音室中進行，採用數位錄音機與麥克風錄音。錄音時固定麥克風離說話者的嘴約7cm左右。基本的程序是首先電腦螢幕會呈現刺激句子的完整字句，以國字呈現，並同時播放刺激語句。在指導語中說明播放的語句中會有一段噪音，要求聽者判斷噪音出現前的母音是否有不自然的拉長或縮短的情形，並按鍵反應。每個刺激會播放兩次，第二次播放是在聽者按鍵反應後的1秒鐘後播放。聽者在聽完第一次後需判斷語句中被噪音取代前的那個音是否有比一般自然的情況唸出時較長。在刺激第二次呈現時需盡量依照原刺激語句的方式說出該語句，而且盡量讓所說的最後一個音節時間剛好就和展示刺激音一樣時間結束。仿說結束後需照同樣的速度和方式重複再說一次。採用第二次獨立唸出的語句語音做音段時長的分析。嘗試之間留有六秒的待答時間。使用DMDX程式記錄按鍵反應及Marantz PMD670數位錄音機（取樣頻率22.05kHz）與Sony EMC麥克風錄音。

正式嘗試前有12次練習。正式實驗含144個嘗試，分三個區段進行，各區段有48個嘗試，區段間有數分鐘的休息。區段中刺激項以隨機排序出現。實驗進行歷時約二個小時。

4. 聲學音段時長分析

使用TF32 (Milenkovic, 2004) 進行頻譜聲學分析，即以寬頻頻譜圖於電腦螢幕呈現檢視各說話者在每個嘗試中第二次（獨立發語時）產生語句之頻譜圖。主要測量各個發語語句中由「他」音開始至「子」為止的五個音節相關的子音音段、韻母音段和音節間空白的時長。例如在「小細他撕破擦子了」句中會計算「他撕破擦子」五個音節中各音段的時長，算出刺激音和反應語句間的音段時長的差距值。之後並計算三種計時單位於噪音取代區鄰近範圍的PVI值，取噪音音段範圍兩單位（如「破擦」）加上含噪音前母音的單位（如「撕」）之時長資料計算PVI值，如此雖然由於計時單位的劃分雖有略為不同的起點和終點，但三種計時單位PVI計算時所取用皆是含相同韻母的資料，如此每個語句中會取與噪音相關的連續三個計時單位。

（二）結果與討論

參與者對噪音前母音時長情況判斷反應正確率平均為73%，標準差為7.55，最低為60%，最高為87%。在圖9中呈現各參與者的反應正確率。可見儘管語句有語速的變化，且句中還有部分語音是在被噪音取代的情形，參與者還是能敏感地覺察噪音前母音長度的正常與否，可見即使是在刺激語句第一次播放時，聽者

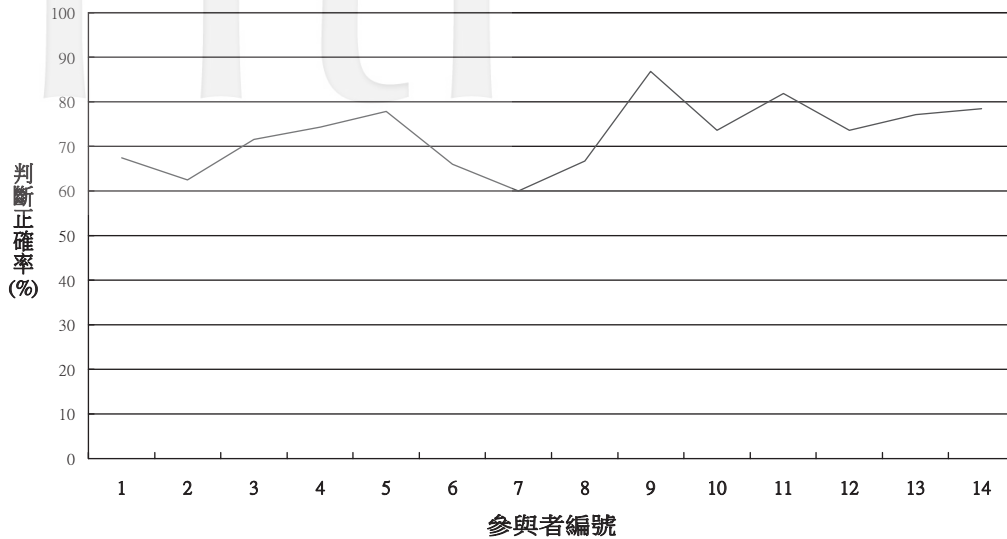


圖9：十四位參與者的母音時長判斷反應正確率

即可就語句中的部分，做出大致正確判斷。他們所憑藉的應該就是內在言語計時的韻律感，能敏銳地覺察語句中韻律的不等時情形。

圖10呈現的在三種噪音前母音變化狀況所測量的相關五音節各音段的時長的平均值，其中v2為噪音前母音，可見到隨著刺激音語句的三種情況，說者有隨之做拉長或縮減的變化，其他的音段時長在這三種狀況下則差異不大。參與者從未聽過原始未被噪音取代的語句，是否憑著語句的部分能產生出和原語句計時型態相近的語音呢？比對原刺激句中噪音時長和參與者反應之發語句中原來被噪音取代音段之時長的差異，將刺激句噪音時長和反應語句相應單位時長相減，求取其兩者差異的平均值為63ms，而兩者差異絕對值的平均為113ms，標準差為106。在中速和快速時產出語句較接近原語句值，在慢速時則兩者差距較大。圖11呈現的三種語速下和三種噪音前母音變化狀況刺激音噪音時長與產生語句時長之間差距的平均值，可知除了在快速時，說者的反應時長會比刺激時長稍較長之外，反應之相應於噪音段之音段時長在其他兩種語速下皆有較短的趨勢；時長差異值同時會受到語速和噪音前母音時長操弄變化的影響。在快速時，反應產生的語句中原本和噪音相對應的音段時長雖有稍短的趨勢，但平均差距只有22毫秒之多，非常相近。在慢速和中速時反應的時長則比展示句中噪音時長為稍長，以慢速時差距最大。計算兩者間時長的相關係數達0.74 ($p < .05$)，呈中高程度的相關。

為考驗語速和噪音前母音狀況對於噪音相應音段時長的差異值的影響，以十四位參與者的平均差異值為依變項，語速和噪音前母音狀況為自變項，受試者內變異數分析的結果顯示語速效果達顯著， $F(2, 26) = 167.92$, $p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .93$ ；噪音前母音狀況效果則不顯著，兩變項之間的交互作用亦未達顯著， $F(2, 26) = 2.87$, $p = 0.075$ ； $F(4, 52) = 1.51$, $p = 0.21$ 。可見整體而言，參與者所產生的語句和噪音時長相應部分時長差異主要是受語速影響，噪音前母音狀況則沒有產生影響。

原刺激句中噪音前母音有些有經過時長的調整（縮短或拉長），參與者是否有按照原刺激句的母音時長架構做出相似的模仿呢？比較原刺激句的噪音前母音時長和參與者反應的語句中相對應母音的時長，平均差異為58毫秒。在圖11中亦呈現了三種語速下和三種噪音前母音變化狀況刺激句噪音前母音時長與反應語句母音時長差異值。可見到差異值也會受語速影響，快速時兩者差異很小；慢速時差異較大。兩者間時長的相關係數則達0.65 ($p < .05$)。相應於刺激語句中母音被拉長情形，在說者產生的語句中母音拉長的程度卻沒有那麼大，尤其在慢語速時更顯不足，但在噪音前母音變短的情況，兩者母音時長則十分相近；在無改變的情形時，說者母音的長度則有略顯不足的情形。

為考驗語速和噪音前母音狀況對於反應句中相應噪音前母音音段時長之差異值影響，以十四位參與

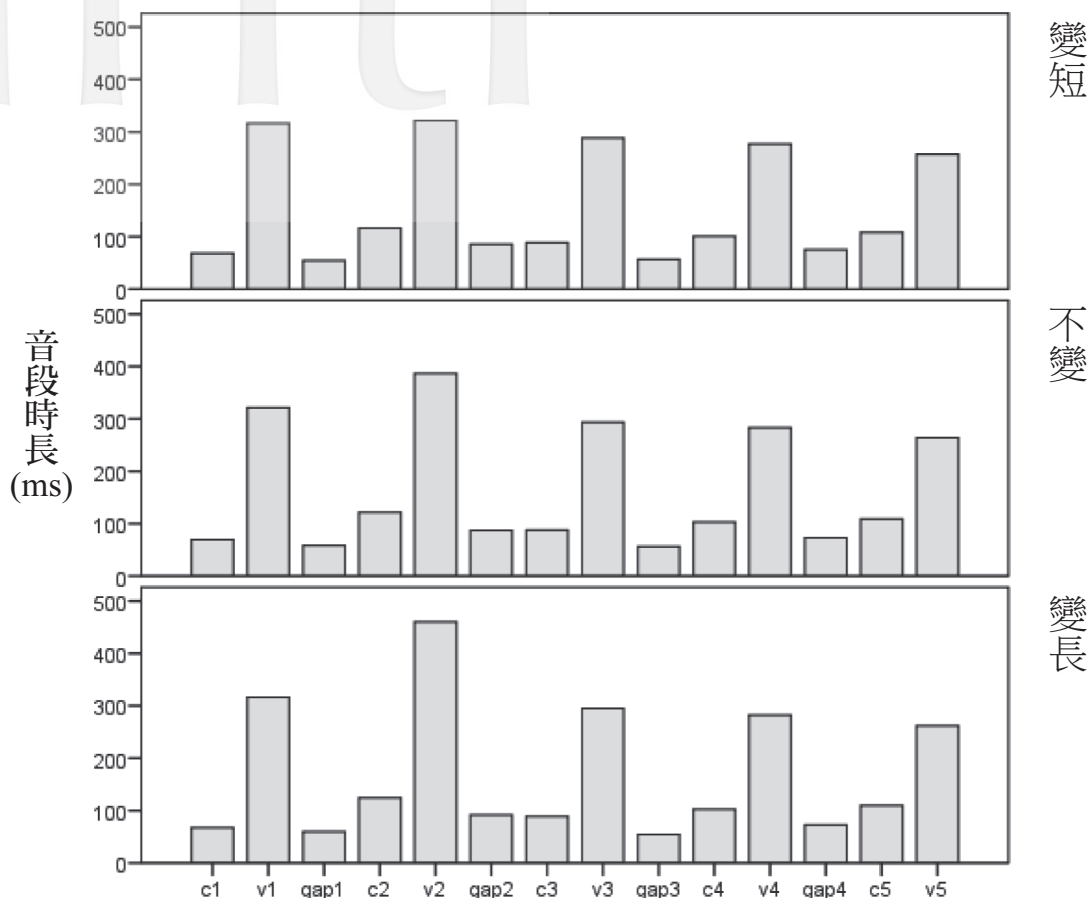


圖10：在三種噪音前母音變化狀況相關五音節各音段的時長的平均值（ms）

者的平均母音音段差異值為依變項，語速和噪音前母音狀況為自變項，受試者內變異數分析的結果顯示語速效果達顯著， $F(2, 26) = 52.49, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .82$ ；噪音前母音狀況效果亦達顯著， $F(2, 26) = 63.79, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .83$ ；兩變項之間的交互作用亦達顯著， $F(4, 52) = 45.07, p < .001$, $\text{partial } \eta^2 = .78$ 。可見參與者所產生的語句中噪音前母音的時長差異，除了受語速影響，也受到原刺激句中噪音前母音時長狀況的影響。

綜合來看，原刺激句中噪音前母音時長狀況影響只及於對於該母音時長的模仿，並不影響其後接續的音段長度。雖然這些含噪音語句有不同的語速以及音段還有不正常的拉長或縮短形式，參與者對於語句中被噪音取代的音段時長形式仍可大致掌握，推論說者運用了內在的言語計時機制自行填補產生出和原始語句計時架構相近的句子。

實驗中呈現的刺激語句有三種噪音前母音變化狀況，而聽者需按照刺激語句的形式照樣說出語句。產生的語句中若有某個母音變短或拉長是否使得計時單位間時長變異性增加呢？是否說者的語句仍維持著計時單位的等時性呢？圖12呈現三種噪音前母音變化狀況在三種語速下三種可能計時單位PVI的比較。就三種計時單位的比較，可知跨三種噪音前母音時長變化狀況，在中速和慢速時母音起始單位的PVI皆小於其他兩種單位的PVI；在快速時，母音起始單位和空白起始單位的PVI相近，兩者差異不大。整體而言，和實驗一的PVI資料（對應相同語速）相較，在各語速下皆有較大的情況，可能是因實驗操弄和設計不同、受試人數或是計時單位數量較少所致。

三種語速和計時單位對說者產生語句的PVI是否有顯著影響？以單位和語速為自變項，PVI值為依變項，進行受試者內二因子變異數分析，結果顯示單位和言語速度的效果皆達顯著，語速效果： $F(2, 26) = 44.47, p$

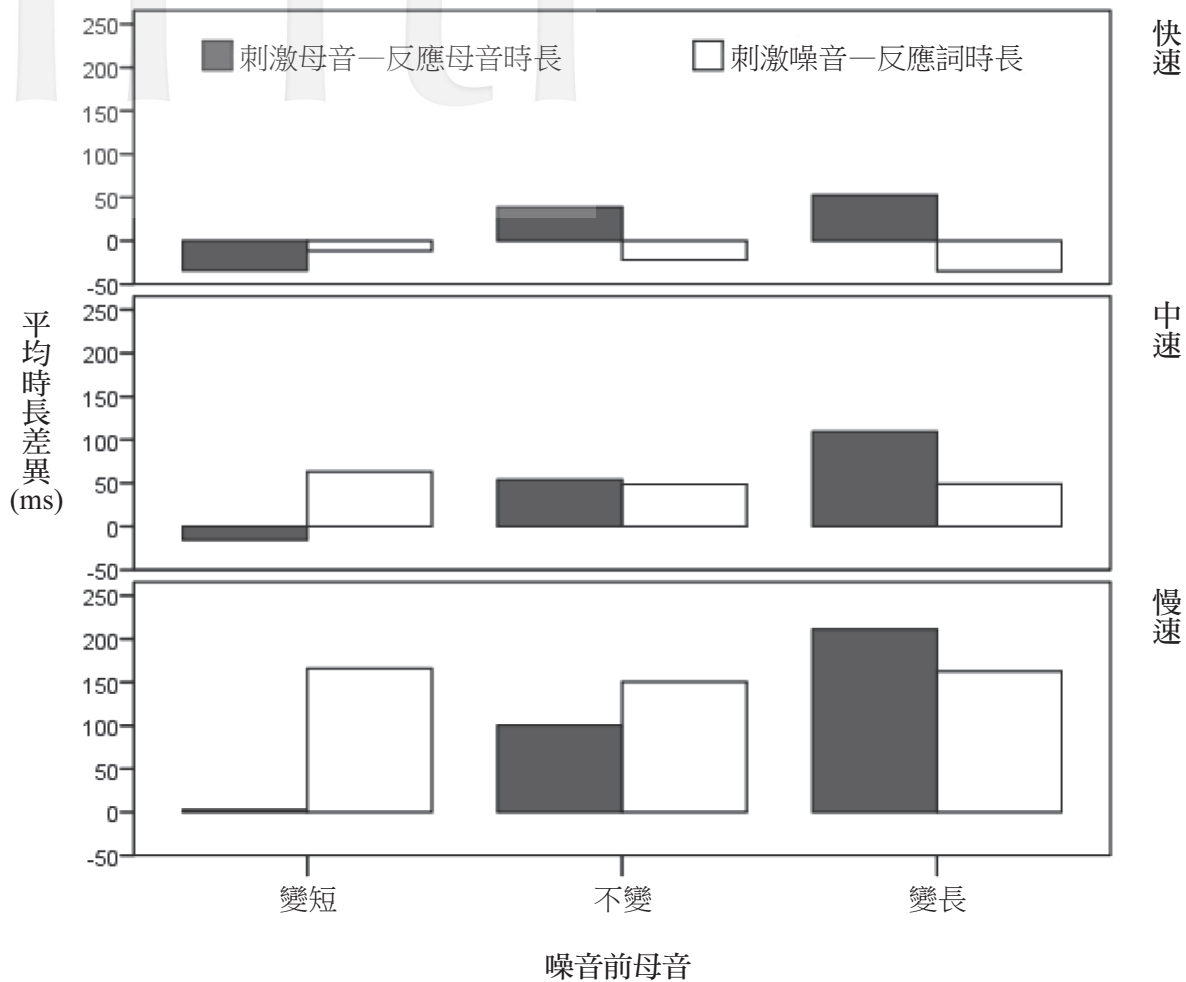


圖11：三種語速下和三種噪音前母音變化狀況、刺激句噪音前母音時長、與反應語句母音時長差距值（ms），以及噪音時長與反應語句對應音節時長的差異值（ms）

$< .001$, partial $\eta^2 = 0.77$; 單位效果: $F(2, 26) = 77.71$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .85$ 。言語速度與單位的交互作用亦達顯著, $F(4, 52) = 5.50$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.31$ 。事後考驗結果顯示三種速度之間PVI值的成對比較皆達顯著差異 ($p < .01$)，PVI值隨著語速的變慢而顯著增加。事後考驗結果也顯示除了母音起始單位和空白起始單位之間PVI無顯著差異外 ($p = .08$)，其他單位間PVI值的成對比較達顯著差異 ($p < .001$)，子音起始單位的PVI顯著地大於空白起始單位和母音起始單位的PVI。以母音為起始的計時單位之PVI平均值雖為最小，但和空白起始單位之PVI差異未達顯著。在快語速下，三種單位的PVI差異較小，但在慢語速時，差異變大。在最慢速時，空白起始單位和子音起始單位的PVI皆有急遽增加的趨勢，此為交互作用的效果之源。母音起始單

位和空白起始單位在慢語速時仍維持著較低的PVI值，顯示這兩種單位受語速的影響較小。這些結果大致和實驗一的結果相吻合，母音起始單位和空白起始單位間的差異在事後考驗未達顯著可能是因本實驗的受試者人數較少，統計考驗力不夠所致。

若單以母音起始單位的PVI來看，噪音前母音拉長的狀況PVI的平均為120ms ($SD = 37$)，噪音前母音不變的狀況PVI的平均為82ms ($SD = 28$)，而噪音前母音縮短的狀況PVI的平均為55ms ($SD = 17$)。考驗三種噪音前母音狀況對母音起始單位的PVI是否有顯著影響，以噪音前母音狀況為自變項，十四位說話者的PVI值為依變項，進行受試者內單因子變異數分析，結果顯示噪音前母音狀況的效果達顯著, $F(2, 26) = 43.07$, $p < .001$, partial $\eta^2 = 0.77$ ，事後考驗的結果顯示三種狀

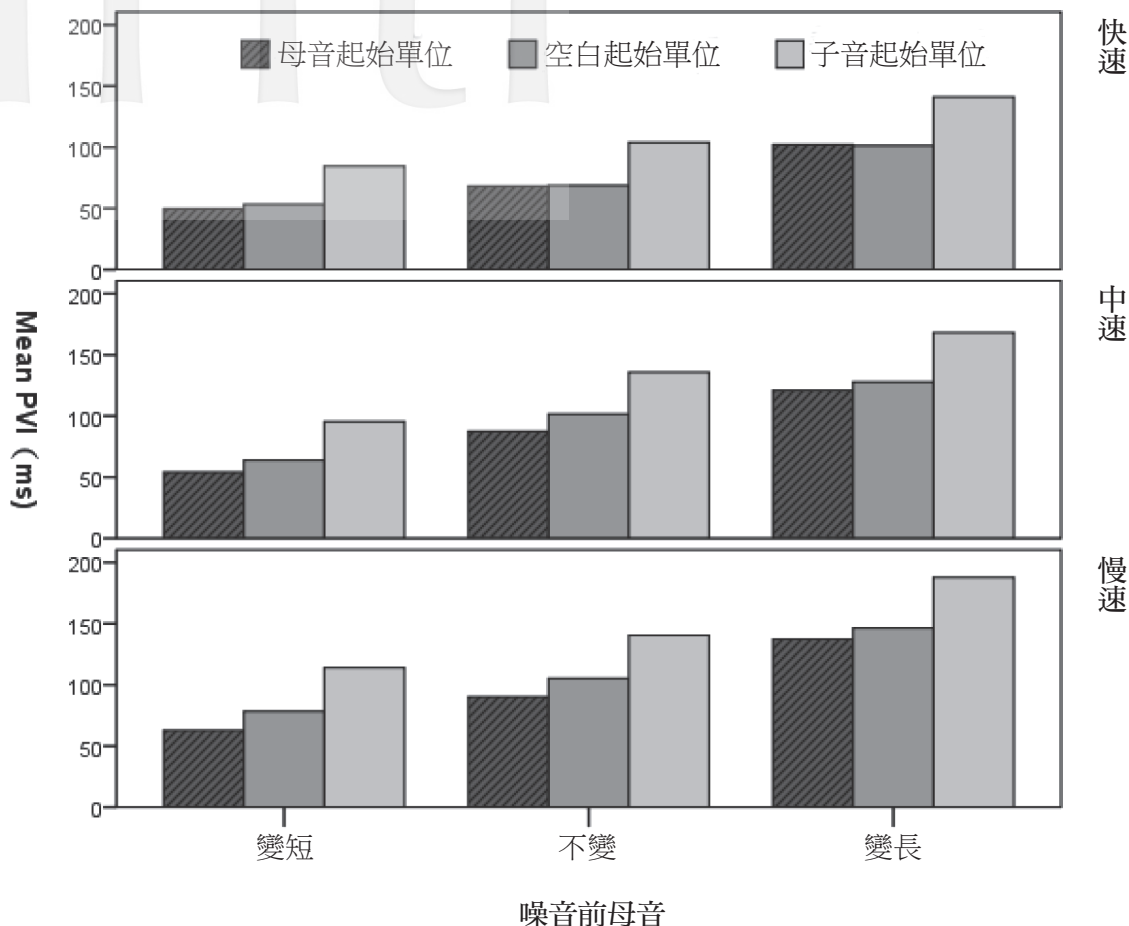


圖12：三種語速下和三種噪音前母音時長狀況的三種計時單位PVI值比較

況之間的成對比較皆達顯著差異 ($p < .001$)。刺激語句中噪音前母音拉長的情況會顯著提高PVI，增加計時單位間的不等時性；但當噪音前母音變短時，PVI值相對地較小，然其PVI數值其實和實驗一的資料相近。說話者在噪音前母音變短時，刺激音和反應母音時長其實差距不大，可見噪音前母音拉長的情況對等時性的影響最大，在母音縮減刺激情況影響則相對不大。

綜合討論

本研究探討華語說話者在語音產生和知覺時的韻律等時單位的特性，考驗華語以母音起始計時等時的假設。實驗一比較三種計時單位時長的等時性。實驗一分析的結果顯示以母音起始單位的PVI值顯著小於以空白起始單位以及聲母起始單位的PVI，亦即以母音起始單位的相鄰單位之間時長差異較小，較具有等時

性。言語速度愈慢，PVI值愈大，尤其在慢速語速時的PVI值達最大，且此時空白起始單位和聲母起始單位的PVI受語速的影響也較大，而相對地，母音起始單位在慢語速時增加較少，相對地較穩定。此外還發現句中相同位置的母音會受後接子音的影響而有時長的變異。子音前的空白或靜默時長受到子音類別的規範，同時也與語句中前接母音的時長成消長互補關係。

實驗一透過跨句比較四個相同音節（字）在不同句子中的各音段時長變化趨勢，可觀察到音節的母音時長會受到句中後接音節子音的影響，而音節之前的空白時長也會受到前接音節韻母的影響。推論是由於受到母音起始單位（韻母+空白+子音）計時等時性的規範，使得一個計時單位內相鄰成分間的時長呈現著消長互補的關係，母音起始單位在言語計時中為一種功能性的單位，具有單位間隔的等時性。言語節律計畫的基本單位即與此種單位有關，言語計時的起點

應是位於音節中母音的起始位置。而此處同時也是位於母音之前子音（或聲母）時長的結束之處，由於聲母的時長通常受語音類別的規範有其一定限制，此處也是較為穩定的地標，例如送氣／不送音的塞音對比VOT的時長分佈通常變異性很小，亦即說者需嚴格控制這些聲母的時長，因此對於說話時對於聲母音段結束時間的掌握是相對地重要，因此，此處應是言語計時重要的標記處。推論說話時進行言語的基本計時，在言語流中每個音節之中聲母韻母的交界處會做一個標記，而此標記處既是一個基本計時單位的起點，也是終點，保持基本計時單位間具有相等的時間間隔。這可能是語句計時的基本架構，在這架構之上可能會加上一些詞語強調、句型或調律群組階層的變化形式，而使得表面上語句中基本計時單位音段看起來不那麼等時。

實驗二測試華語聽者在知覺上運用時長訊息對音節數目預測的有效性，考驗正常華語聽者是否可以根據一些片段時長訊息推測句中被噪音取代的音節數目，結果發現聽者大多能正確地推算出音節的數目，顯示具有音節計時的能力。實驗三考驗在聽者在模仿刺激音語句的語速調節能力，說話時是否能運用各音段時長的訊息說出和語句的語速相近且計時架構相似的句子。結果發現參與者不僅大多能正確指出噪音前母音是否有不自然的增長，且說出的語句也和原句相去不遠，說話者語句的產生皆保持著計時單位時長的等時性，即使是在實驗三中不自然的情況下，也依舊具有母音為起始的計時單位PVI較小的優勢，此母音為起始的等時優勢與鄭靜宜（2008）研究所得的結果吻合。

由本研究三個實驗的結果可知對語音的計時能力無論在言語產生和知覺上是享有共同的基礎。聽者能掌握語音基本架構知識，對於所接收的連續性語音進行語音分析辨識應是一種普遍的能力，而對連續語音的初步解析是以基本計時單位作為切割的架構。說話者說話動作前的言語計畫和程序化亦以計時單位為基礎。而言語基本計時單位具有等時性，是以一音節的母音為起始的計時單位，包括一音節的母音、音節間的空白（或靜默）再加後接音節的子音音段。以母音為起始的計時單位是跨音節的單位，計時的方式以跨音節方式完成可以調整語句整體的語速。在實驗二和實驗三中有部分音段被噪音取代，聽者藉由噪音前語句的部分得到整體節律架構的訊息，將之推論到噪音遮蔽的訊號中，聽者普遍具有聽語計時的能力，即各

音段時間的估算和單位數目的預測能力，這些能力在語音知覺過程中十分重要，有助於連續語句語音信號的切割和解碼。

本研究中提出的三種假設單位都是屬於音節單位，只是計時的起點不同所致。本研究對於音節單位的定義是指具有三要件：聲母、韻母和音節之間的空白。所謂的「音節計時」的涵義是廣泛的，是相對於「重音計時」而言，而非專指用哪一種音節單位做計時。因此實驗一和實驗二的結果並無衝突，而是在不同面向有相關，實驗一是在言語動作的計時方面，而實驗二則是在聽知覺的層次，聽者可以在聽知覺上大致覺知音節數量，這種能力和音節計時能力有關。數音節數和語句產生是不同性質的作業，當然語速的影響也是不同。語速慢時，對語音知覺而言是有利的，因個體會有較充裕的時間處理語音訊息，對音節數的估算也較為有利，且對於語句中噪音取代音節數的估計乃是以選擇題的形式，在選擇有限的情況下，在慢語速時，一個計時單位會相對地較長，推論聽者在以倍數式的估計時較容易排除不適當的數目選項。慢語速的語句產生則是需要較為熟練的構音和言語產生動作技巧才能做到精確的言語計時，且因為慢語速並非一般人的慣用語速，言語計畫和程序可能和慣常語速時不同，故變異性較大。

觀察語句頻譜圖常會有停頓（pauses）和靜默（silence）無法區分的問題，它們在頻譜圖的呈現都是一段空白。就功能而言，停頓和靜默是不同的，靜默的性質具有語音類別必然性，主要位於塞音或塞擦音之前，而停頓的產生可能是說話者刻意造成，或是句型所需，也可能是說話過程意外的失誤導致（例如口吃或忘詞）。在一些聲學研究中常獨斷地以時長做一個切截，例如把時長大於200ms或250ms以上視為停頓，但實有不合理之處，因為在慢的說話語速情況，語句中也可能會大於200ms的長靜默（鄭靜宜，2005）。由於在本研究實驗中的說話者產生的話語在實驗室中監控觀察之下都是流暢狀況，若有不流暢情況句子都是會重說的。因此，句子中含有停頓的機率很小，故將語句頻譜圖上音節之間的空白音段皆視為靜默。在早期的Repp等人（1978）研究中發現，在聽辨塞擦音和摩擦音時，子音前的靜默時長線索會和噪音時長線索做整合來決定該語音的類別。另外，在言語產生時塞音或塞擦音爆破（burst）動作之前的阻塞所產生的靜默時長在不同塞音類別也有區別。因此，在語流中的靜默或空白並不一定都是扮演（ground）的角色也可能是圖像（figure）的角色，所以在言語動

作計時的計畫中會將之納入考量，成為計時單位中的一個成分；在語音知覺解碼的過程中也會將空白的線索整合納入考慮。

本研究提出三種不同計時單位做言語產生和知覺的檢視，一為母音起始，一為子音起始，一為空白起始。三種單位皆具有音節的組成成分：聲母、韻母和空白，只是在時間軸線上計時的起點不同而已。統整本研究三個實驗的結果均支持華語計時是以母音起始的類音節單位，此計時單位具有言語產生和知覺計時的等時性優勢，且此等時優勢性愈在慢語速時愈能顯現出來。此結果和鄭靜宜（2008）的研究相吻合，在此研究中不管使用何種語速控制方式母音起始單位皆是顯著地比全音節單位具有等時性。本研究的結果也再度支持母音起始單位為國語韻律計時的等時單位。華語韻律的計時是以母音起始為準，延伸音節間的空白和下一音節的子音為止。母音起始單位是華語言語計時的功能性單位，單位時長在各語速下具有等時的齊一性。母音起始處即是所謂為「知覺中心」

（Perceptual center, P-center）的位置，而此處同時也是一個音節中振幅強度開始明顯增強的位置，即所謂振幅輪廓起升時間（amplitude envelope rise time）的位置，具有聽知覺的邊緣敏感性（Goswami, Fosker, Huss, Mead, & Szűcs, 2010; Tanaka, Tsuzaki, Aiba, & Kato, 2008），也是音節中較有動態改變的區域，因為此處正是共振峰轉折（formant transition）的所在，共振峰轉折涉及整個音節（子音與母音）的辨識。可見此處在語音知覺上具重大意義，值得標記下來，在連續華語言語流中每個音節的此種標記具間隔等時性，即韻律的節拍點。然而，由於「知覺中心」一詞是以知覺角度的出發來探討等時性，無法涵蓋說話時言語產出的等時性探討，若改以「等時中心」（isochrony center）一詞則較能涵蓋語言的知覺和產生時的語句計時特性。

就本研究應用性的價值而言，本研究的結果可應用於增加語音合成的語音自然度與有助於語音辨識程式的設計。目前語音合成最大的瓶頸即在於語音的自然、流暢度，例如在TTS（text-to-speech）的語音合成技術中，語音的自然度和言語速度的控制調節是重要的課題，欲使合成語音如同自然語音般自然流暢，就必須參考自然語音的聲韻特性，使用自然語音的韻律規則。本研究提出華語「以韻母為計時單位」的特性，可供語音辨識與合成的研究者在建立韻律模式時的參考，尤其在多變的語速情況，近來有些研究

已開始使用韻律單位的萃取來作語言辨識（如Rouas, Farinas, Pellegrino, & Andre-Obrecht, 2005）。此外，本研究藉由對言語速度的調整，得到正常說話者的計時單位PVI資料，可作為將來從事言語節律障礙（如訥吃者、言語失用症者、口吃者或聽障者）的研究作為比較常模的參考。

參考文獻

- 石峰（1990）：《語音學探微》。北京：北京大學出版社。[Shi, F. (1990). *Studies in phonetics*. Beijing: Beijing University Press.]
- 林怡君（2001）：《台灣華語介音歸屬的實驗研究》。國立清華大學語言學研究所，碩士論文。[Lin, Y. C. (2001). *An experimental study on the classification of prevocalic glides in Taiwan Mandarin*. Unpublished master thesis, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan.]
- 鄭靜宜（2005）：〈不同發語單位、言語速度和發語詞位置對國語音段時長的影響〉。《南大學報》，39(1)，161-185。[Jeng, J.-Y. (2005). The influence of speaking rate, utterance unit and position on segmental duration of Mandarin. *Journal of National University of Tainan*, 39(1), 161-185.]
- 鄭靜宜（2008）：〈不同言語速度下國語節律的計時等時性〉。《中華心理學刊》，50，471-488。[Jeng, J.-Y. (2008). The timing isochrony of spoken Mandarin at different speaking rates. *Chinese Journal of Psychology*, 50, 471-488.]
- Boersma, P., & Weenick, D. (2010). *Praat: Doing phonetics by computer*. Retrieved January 12, 2010, from <http://www.fon.hum.uva.nl/praat>
- Buxton, H. (1983). Temporal predictability in the perception of English speech. In A. Cutler & D. R. Ladd (Eds.), *Prosody: Models and measurements* (pp. 111-121). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Chen, J.-Y., Chen, T.-M., & Dell, G. S. (2002). Word-form encoding in Mandarin Chinese as assessed by the implicit priming task. *Journal of Memory and Language*, 46, 751-781.
- Chen, J.-Y., Lin, W.-C., & Ferrand, L. (2003). Masked priming of the syllable in Mandarin Chinese speech

- production. *Chinese Journal of Psychology*, 45, 107-120.
- Chen, M. (1970). Vowel length variation as a function of the voicing of the consonant environment. *Phonetica*, 22, 129-159.
- Crystal, D. (1990). *A dictionary of linguistics and phonetics* (3rd ed.). Oxford, UK: Blackwell.
- Dauer, R. M. (1983). Stress-timing and syllable-timing reanalyzed. *Journal of Phonetics*, 11, 51-62.
- de Jong, K. J. (1994). The correlation of P-center adjustments with articulatory and acoustic events. *Perception & Psychophysics*, 56, 447-460.
- Deterding, D. (2001). The measurement of rhythm: A comparison of Singapore and British English. *Journal of Phonetics*, 29, 217-230.
- Forster, K. I., & Forster, J. C. (2004). DMDX, ver 3 [Computer software]. Melbourne, Australia: Monash University/Tucson, AZ: University of Arizona.
- Fowler, C. A. (1979). "Perceptual centers" in speech production and perception. *Perception & Psychophysics*, 25, 375-388.
- Goswami, U., Fosker, T., Huss, M., Mead, N., & Szűcs, D. (2010). Rise time and formant transition duration in the discrimination of speech sounds: The Ba-Wa distinction in developmental dyslexia. *Developmental Science*, 14, 34-43.
- Grabe, E., & Low, E. L. (2002). Durational variability in speech and the rhythm class hypothesis. In C. Gussenhoven & N. Warner (Eds.), *Laboratory phonology 7* (pp. 515-546). Berlin, Germany: Mouton de Gruyter.
- House, A. S., & Fairbanks, G. (1953). The influence of consonant environment upon the secondary acoustical characteristics of vowels. *Journal of Acoustical Society of America*, 25, 105-113.
- Jun, S.-A. (2005). *Prosodic typology: The phonology of intonation and phrasing*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Kent, R. D., & Forner, L. L. (1980). Speech segment duration in sentence recitations by children and adults. *Journal of Phonetics*, 8, 157-168.
- Kent, R. D., & Read, C. (2002). *The acoustic analysis of speech*. San Diego, CA: Singular.
- Kluender, K. R., Diehl, R. L., & Wright, B. A. (1988). Vowel-length differences before voiced and voiceless consonants: An auditory explanation. *Journal of Phonetics*, 16, 153-169.
- Leong, C. K. (2006). Making explicit children's implicit epilanguage in learning to read Chinese. In P. Li, L. H. Tan, E. Bates, & O. J. L. Tzeng (Eds.), *Handbook of East Asian psycholinguistics: Vol. 1, Chinese psycholinguistics* (pp. 70-80). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Low, E. L., Grabe, E., & Nolan, F. (2000). Quantitative characterizations of speech rhythm: Syllable-timing in Singapore English. *Language and Speech*, 43, 377-401.
- Luce, P. A., & Charles-Luce, J. (1985). Contextual effects on vowel duration, closure duration, and the consonant/vowel ratio in speech production. *Journal of Acoustical Society of America*, 78, 1949-1957.
- MacNeilage, P. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 499-546.
- Milenkovic, P. (2004). TF32 [Speech Acoustical Analysis Software]. Madison, WI: University of Wisconsin-Madison.
- Morton, J., Marcus, S., & Frankish, C. (1976). Perceptual centers. *Psychological Review*, 83, 405-408.
- Pike, K. (1945). *The intonation of American English* (2nd ed.). Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Repp, B. H. (1984). Closure duration and release burst amplitude cues to stop consonant manner and place of articulation. *Language and Speech*, 27, 245-254.
- Repp, B. H., Liberman, A. M., Eccardt, T., & Pesetsky, D. (1978). Perceptual integration of acoustic cues for stop, fricative, and affricate manner. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 621-637.
- Roach, P. (1982). On the distinction between 'stress-timed' and 'syllable-timed' languages. In D. Crystal (Ed.), *Linguistic controversies: Essays in linguistic theory and practice in honour of F. R. Palmer* (pp. 73-79). London: Edward Arnold.

- Rouas, J.-L., Farinas, J., Pellegrino, F., & Andre-Obrecht, R. (2005). Rhythmic unit extraction and modeling for automatic language identification. *Speech Communication*, 47, 436-456.
- Tanaka, S., Tsuzaki, M., Aiba, E., & Kato, H. (2008). Auditory sensitivity to temporal deviations from perceptual isochrony: Comparison of the starting point and ending point of acoustic change. *Japanese Psychological Research*, 50, 223-231.
- Tseng, C.-H., Huang, K.-Y., & Jeng, J.-Y. (1996). The role of syllable in perceiving spoken Chinese. *Proceeding of National Science Council (ROC), Part C: Humanity and Social Science*, 5, 181-204.
- Tseng, C.-Y., & Lee Y.-L. (2004). Speech rate and prosody units: Evidence of interaction from Mandarin Chinese. *Proceedings of the International Conference on Speech Prosody, Nara, Japan*, 251-254.
- Zellner Keller, B. (2002). Revisiting the status of speech rhythm. In B. Bel & I. Marlien (Eds.), *Proceedings of the Speech Prosody 2002 Conference* (pp. 727-730). Aix-en-Provence, France: Laboratoire Parole et Langage.

附錄一：實驗一使用的句子材料

編號	語句
1	小琪她撕破簿子了
2	小琪撕破簿子了
3	小琪她打破兔子了
4	小琪她撕破褲子了
5	小琪撕破兔子了
6	琪琪她打破肚子了
7	小琪她刺破肚子了
8	小企她踩破梳子了
9	小七她刺破柱子了
10	小琪她撕破棋子了
11	小啟他打破椅子了
12	小吉他夾破蝦子了
13	小細他撕破擦子了
14	小弟他戳破格子了
15	小迪他敲破珠子了
16	小弟他打破車子了
17	小李他吹破笛子了
18	小麗他弄破李子了
19	小莎她打破席子
20	小妮她打破鴿子了
21	小西他掐破茄子了
22	小喜他咬破鞋子了
23	小李他吹破沙子了
24	小錫他夾破架子了
25	莎莎她壓破夾子了
26	小莎她敲破鴿子了
27	莎莎她撕破小狗了
28	小莎她壓破鴨子了
29	小莎她搥破調子了
30	小莎她搥子破掉了
31	小錫的架子被夾破
32	小琪他肚子被刺破
33	小弟的車子被打破
34	小琪的兔子被撕破
35	他撕破小琪的兔子
36	他夾破小錫的架子
37	小狗莎莎把他撕破
38	兔子小琪把它撕破
39	鴿子小莎把它敲破
40	兔子小琪被他打破
41	鴿子小莎被它敲破
42	小鴨莎莎把它夾破

附錄二：實驗二使用的句子材料

編號	句子	音節數
1	他低頭看大螞蟻。	7
2	他低頭看地上螞蟻。	8
3	他低頭看地上大螞蟻。	9
4	他低頭看地上紅色螞蟻。	10
5	他低頭看地上的紅色螞蟻。	11
6	他很喜歡吃東西。	7
7	他很喜歡去買東西。	8
8	他很喜歡戴貴的東西。	9
9	他很喜歡戴貴重的東西。	10
10	他很喜歡吃不一樣的东西。	11
11	他特別愛白衣服嗎？	8
12	他特別愛白色衣服嗎？	9
13	他特別愛穿白色衣服嗎？	10
14	他特別愛穿這件白衣服嗎？	11
15	他特別愛黑白條紋的衣服嗎？	12
16	那角落裡蟲很多。	7
17	那角落裡蜘蛛很多。	8
18	那角落裡蜘蛛網很多。	9
19	那角落裡大蜘蛛網很多。	10
20	那角落裡大型蜘蛛網很多。	11
21	那個小孩他聽不到。	8
22	那個小孩好像聽不到。	9
23	那個小孩他好像聽不到。	10
24	那個小孩耳朵好像聽不到。	11
25	那個小孩他耳朵好像聽不到。	12
26	他昨天在這遇到你。	8
27	他昨天在學校遇到你。	9
28	他昨天在這學校遇到你。	10
29	他昨天在這個學校遇到你。	11
30	他昨天在這學校操場遇到你。	12
31	你有沒有他的消息？	8
32	你有沒有他們的消息？	9
33	你有沒有他大哥的消息？	10
34	你有沒有他們大哥的消息？	11
35	你有沒有他們進一步的消息？	12
36	他經常和你去玩嗎？	8
37	他經常和你出去玩嗎？	9
38	他經常和你一起去玩嗎？	10
39	他經常和你朋友出去玩嗎？	11
40	他經常和你的好朋友去玩嗎？	12

附錄三：實驗三使用的刺激語句

1	小琪她刺破肚子了。
2	小企她踩破梳子了。
3	小吉他夾破蝦子了。
4	小細他撕破擦子了。
5	小迪他敲破珠子了。
6	小弟他打破車子了。
7	小麗他弄破李子了。
8	小西他掐破茄子了。

附錄四：實驗一語句各音段在五語速下的時長平均值（ms）

編號	句子	c1	v1	gap1	c2	v2	gap2	c3	v3	gap3	c4	v4	gap4	c5	v5	gap5	c6	v6	gap6	c7	v7	gap7	c8
		小						他						破						子			了
1	小琪她撕破簿子了。	182	350	86	154	315	114	86	330	50	203	298	134	93	280	211	36	288	149	109	264	140	282
3	小琪她打破兔子了。	184	345	88	156	321	121	85	328	165	32	300	158	94	295	174	84	284	140	106	261	138	289
4	小琪她撕破褲子了。	185	333	97	163	310	107	88	328	43	209	297	128	95	278	169	102	277	138	103	271	132	277
7	小琪她刺破肚子了。	186	331	100	156	308	127	82	317	114	160	269	156	91	288	210	28	277	159	104	261	153	270
8	小企她踩破梳子了。	193	336	102	155	306	121	90	329	99	129	286	156	98	279	77	186	304	114	103	272	138	281
9	小七她刺破柱子了。	189	328	98	159	318	113	88	322	108	169	278	145	95	290	158	80	277	155	109	261	145	284
10	小琪她撕破棋子了。	186	343	90	154	315	113	88	329	50	203	301	133	90	283	120	166	299	109	101	278	133	268
11	小啟他打破椅子了。	191	350	82	168	277	152	89	320	174	29	285	174	94	301	177	0	308	163	106	279	128	279
12	小吉他夾破蝦子了。	186	344	121	96	325	117	90	327	138	83	333	132	88	285	73	166	334	114	100	262	150	275
13	小細他撕破擦子了。	193	331	52	196	297	135	90	328	54	208	294	141	95	282	132	124	324	118	100	262	146	264
14	小弟他戳破格子了。	184	342	175	31	322	133	88	334	99	131	312	130	92	291	195	43	317	113	105	272	138	268
15	小迪他敲破珠子了。	190	355	163	33	334	122	88	332	115	121	325	127	86	296	155	79	314	113	105	263	155	271
16	小弟他打破車子了。	188	329	182	31	318	139	88	322	171	28	285	172	89	282	127	128	307	126	100	267	139	275
17	小李他吹破笛子了。	195	399	57	72	299	152	89	323	113	124	315	141	94	290	197	35	308	127	102	267	139	276
18	小麗他弄破李子了。	191	359	96	70	325	133	90	318	90	109	347	120	92	298	123	69	243	176	107	270	127	279
20	小妮她打破鴿子了。	190	368	59	106	353	116	82	332	168	28	300	161	90	297	193	39	326	123	104	281	117	275
21	小西他掐破茄子了。	188	332	53	190	322	121	87	327	113	124	331	124	86	280	131	152	309	115	102	272	137	271
22	小喜他咬破鞋子了。	184	358	25	197	277	151	90	353	94	0	350	175	91	288	68	191	307	124	101	273	137	276
23	小李他吹破沙子了。	194	399	61	70	292	161	92	320	110	122	317	136	88	272	77	165	331	122	103	261	141	271
24	小錫他夾破架子了。	183	334	55	188	310	129	87	322	141	79	331	131	88	281	164	81	304	152	106	247	158	268
26	小莎她敲破鴿子了。	183	329	49	162	354	119	78	324	110	125	320	132	89	284	204	46	317	123	104	266	140	275
28	小莎她壓破鴨子了。	178	325	55	154	356	120	77	351	100	0	399	139	86	296	133	0	410	124	101	259	142	274
29	小莎她搥破調子了。	187	324	55	161	350	125	80	325	114	121	318	141	90	282	208	30	314	150	108	239	159	272

The Speech Timing Characteristics of Mandarin Sentence Production and Perception

Jing-Yi Jeng

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

The behavior of speech timing plays an important role in both speech production and perception. 'Isochrony' is the source speech rhythm, and there suggests a timing unit with equal duration in the speech stream. Based on the isochronous timing unit, the language users can produce sentences naturally and also implement speech segmentation for the perceived speech stream. The purpose of this study is to investigate the timing isochrony in Mandarin sentence production and perception. In the experiment 1, 21 mandarin speakers were instructed to read 42 sentences at five speaking rates. These sentences had similar syntactic structures in order to test the effects of neighboring syllables. Three units were proposed for speech timing: units with rime onset (rime + pause + C), units with gap onset (gap + CV), and units with consonant onset (CV + gap). Pairwise variability index (PVI) was compared for the three rhythmic unit. The results show that Rime onset unit had the significantly lowest PVI. Furthermore, it suggests that for maintaining the isochrony of rhythmic units in sentences, the durations of the rimes are influenced by the consonant in the following syllable across the syllables, and the gaps duration are also influenced by the vowel in the preceding syllable. In the experiment 2, the listeners were asked to judge the number of syllables in a spoken sentence with a segment replaced by white noise. The results showed that the listeners could successfully predict the number of syllables in the noise segment with 70% accuracy, even though four speaking rate variation. In the experiment 3, the participants were asked to imitate the sentences that had a segment replaced by noise, and some with prolonged vowels just before the noise segments. When given the sentences in written Chinese, most participants could successfully imitate the sentence with little timing difference from the original sentences, and they also could judge the prolongation of vowels with 73% accuracy. The results also show that the unit with rime onset had the smallest PVI values at most of the speaking rate situations. These results suggest that the basic unit of Mandarin speech timing is related with the vocalic onset, where is the boundary between an initial consonant and a rime of a syllable, or between a glide and a vocalic vowel in a syllable without an initial consonant.

Keywords: *isochrony, pairwise variability index (PVI), rhythm, rime onset, speech timing*