

語音轉碼對臺灣大學生閱讀歷程的影響：來自眼動實驗的證據*

官英華

國立臺灣師範大學
華語文教學系暨研究所

語音在中文閱讀中的角色長久以來是心理語言學界爭論的話題。雖然一些證據顯示中文母語者閱讀中文時，語音可以在字詞辨識早期被激活，語音在字詞辨識和閱讀理解中的角色仍有爭議。本研究進行了兩個眼動實驗，探討是否中文成人的讀者需要依賴語音轉碼來理解短篇論說文，以及是否當讀者沒有與特定領域文章內容相關的背景知識時，更需要依賴語音轉碼來理解文意。實驗一請 30 位大學生在 5 個閱讀條件（語音抑制、逐字朗讀、聽不相干語音、聽文章語音以及安靜閱讀）下閱讀 20 篇短篇論說文。受試者在每篇文章後的閱讀測驗分數以及他們的眼動行為都被記錄下來，之後針對每個依變項進行數個（廣義）線性混合模型分析，以找出最佳配適度的模型。結果顯示語音抑制明顯的降低閱讀理解且造成較大的回視率和目標詞的重讀率，表示語音轉碼在中文閱讀理解和字詞辨識的重要性。實驗二沿用同樣的實驗法另請 30 位大學生在上述 5 個閱讀條件下閱讀 15 篇物理學專業的短文，其中 15 位主修人文社會科學，15 位主修自然科學。實驗結果顯示只有背景知識對閱讀理解有顯著效果，但閱讀條件以及它與背景知識的交互作用都不顯著。背景知識無法調節受試者閱讀理解時對語音轉碼的依賴程度。整體來說，語音轉碼對特定知識領域短文的理解並不那麼重要。語音抑制並未顯著降低物理學專業短文的閱讀理解表現。逐字朗讀會使閱讀變慢並降低回視率，但不能提升閱讀理解。聽文章語音會增加閱讀短篇論說文中目標詞的重讀率，也會增加閱讀物理學專業短文的閱讀時間和平均凝視時間。聽不相干語音不影響閱讀理解表現，只增加物理學專有名詞的重讀率以及延長沒有背景知識受試者的首次凝視時間。

關鍵詞：中文閱讀、眼動實驗、語音轉碼

*1. 本文通訊作者為官英華，通訊方式：yhguan@ntnu.edu.tw。
2. 感謝國科會計畫（計畫編號 NSC 98-2511-S-003 -008）和科技部計畫（計畫編號 MOST 107-2410-H-003-041）提供的研究經費，並且感謝蔡介立教授當年提供實驗室，使得此研究能順利完成。

在閱讀時所涉及的訊息處理歷程頗為複雜，但一般可以大致分為兩個同時進行且交互影響的歷程：一為由下而上的訊息處理（*bottom-up processing*），一為由上而下的訊息處理（*top-down processing*）。前者進行的方式是從字形辨識、語音轉碼（*phonological recoding*）、字義提取、句法處理到句子和篇章的理解，而後者進行的方式是以讀者的背景知識為出發點，並利用篇章本身提供的情境脈絡訊息來輔助篇章、句子甚至某些字義的理解（Elbro, 2018; Rayner et al., 2012; Traxler & Gernsbacher, 2006）。在過去一個世紀裡，心理語言學家針對讀者是否需要語音轉碼（即將文字轉成語音碼），才能進行字詞辨識並且達成閱讀理解，提出了許多的理論和分歧的看法，至今仍未能完全達成共識（Coltheart, 2000; McCusker et al., 1981; Rayner et al., 2012）。

過往的字詞辨識理論是西方學者為了解釋人們如何辨識拼音文字字詞歷程所提出的，主要有三個論點：

1. **語音中介理論（phonological mediation）**。此理論主張語音在字形辨識之後隨即激活，字義的提取需經過語音中介達成（Lukatela & Turvey, 1994; Rayner et al., 1998; Van Orden et al., 1988）。

2. **字形直接提取字義論（direct access route）**。此理論主張提取字詞意義不需語音中介的過程，但此理論並不排除字詞的語音可能被激活，只是語音激活時間與語義擷取時間相同或較晚（Coltheart & Coltheart, 1997; Taft & Van Graan, 1998）。

3. **雙路徑（dual route）理論**。歷來學者提出了不同的版本，與閱讀有關的理論基本上主張兩條途徑同時存在（Coltheart, 2000）：一為形義路徑，以整個詞彙直接提取詞義，因此也稱為詞彙路徑（*lexical route*），但僅有真詞可以循此路徑提取詞義。另一為形音義路徑，以字素（*grapheme*）對應音素（*phoneme*）的規則提取語音再提取相應的語義，也稱為非詞彙路徑（*non-lexical route*），真詞或假詞都可循此路徑提取語音，但只有真詞能提取詞義。兩條路徑相互獨立，但可以同時運行，詞彙意義是經由運作速度較快的路徑達成的（Barron, 1986; Paap et al., 1992）。以拼音文字為主的閱讀研究中，不少研究結果傾向支持語音在閱讀中扮演重要的角色。Perfetti 等人（1992）甚至提出普遍語音原則（*universal phonological principle*）的論點，主張所有文字系統的讀者在閱讀時都會自動激活（整字和音素層面的）語音，而所激活的語音是作為閱讀理解和記憶之用。

漢字是表義文字，字形與字音對應關係較不明顯，除了發音規則的形聲字外（即整字與聲旁發音一致的字），其他字的字形並未提供明顯的發音線索，屬於語音較不透明的語言。根據語音透明度理論，人們閱讀語音透明度低的文字時，比較傾向以整字直接提取字義和字音（李俊仁、柯華葳，2009；Cook & Bassetti, 2005; Perfetti et al., 2013），而字音激活時間點較晚，所以並非提取字義的關鍵。但是回顧過往大量的中文閱讀研究文獻，可以看到分別支持漢字語音早期和晚期激活觀點的證據。

一、支持漢字語音可早期激活的研究

Zhang 與 Perfetti（1993）在出聲朗讀和默讀兩種實驗條件下發現漢語和英語都有繞口令效應（*tongue-twister effect*），即文章中出現連續首音相同的字詞時，會讀得較慢。所以他們主張在熟練的閱讀句子情況下，語音普遍會參與閱讀的歷程。Tan 等人（1995）使用後向遮蔽的實驗法來檢視語音在漢字辨識中的作用。所謂的後向遮蔽就是在呈現目標字後立刻出現一個假字作為遮蔽，干擾目標字的處理。結果顯示當目標字與遮蔽呈現時間分別為 50 和 30 毫秒時，只有字形產生干擾效應。當目標字與遮蔽呈現時間為 60 和 40 毫秒時，語音才產生干擾效應。語義干擾只有在高頻字且具有明確意義時才會出現。實驗結果指向漢字辨識訊息處理順序為形—音—義。Guo 等人（2005）用叫色實驗法（*Stroop paradigm*）檢視不同年紀跟不同閱讀能力的受試者在閱讀漢字時語音激活的現象。他們發現受試者提取語義時，語音的確會自動激活，而年紀較小和閱讀能力較差的小孩語音激活的現象更明顯。官英華（2020）以錯字干擾法（*error disruption paradigm*）觀察中文母語者閱讀中文句子裡目標詞的眼動行為，在首次凝視時間（目標詞上第一個凝視點的時間）上發現字音促進效應（即閱讀與正確目標字（如「生活」）同音錯字（如「升活」）的時間比不同音錯字（如「水活」）的短，是一種利用同音字音修復錯誤（*error recovery*）而能提取正確目標詞語意並達成理解的心理歷程），也是支持字音早期激活的證據。然而支持漢字語音早期激活的學者們，不一定都主張語音是必要的中介途徑。Perfetti 等人（2005）所提出詞彙組成模型（*the lexical constituency model*）主張字詞的

辨識過程包含形、音、義三個部分，字形一定會激活字音，即使字音不一定能直接提取語義，但可以幫助字的辨識並提供語義提取時的必要限制。所以閱讀時，語音並非是中介的工具，而是字詞本身固有的組成成分，用來協助字詞的辨識過程。

二、不支持漢字語音早期激活的研究

Chen 等人（1995）用中文語義分類任務（*semantic categorization task*）來觀察在此任務中會出現語音還是字形干擾效應（與符合目標語義類別（如，金屬）項目（如，銅）的同音詞（如，童），還是形似詞（如，錯）被誤判為正確的機率會提高或增加判斷的反應時間），如果有語音干擾效應，則代表在語義判斷任務中，即使不需要語音，但語音仍會自動被激活。實驗結果並未發現語音干擾效應，但發現了字形干擾效應，因此他們主張在處理漢字語意的歷程中語音不會自動激活。Shen 與 Forster（1999）在兩個遮蔽促發實驗裡，發現形似音異字在字彙判斷跟唸名任務中都有促發的效果，而形似音同字並沒有額外的促發效果。語音促發效果只有在唸名任務中才出現，字彙判斷任務則無。他們主張語音在字彙判斷任務中僅扮演次要角色，而漢字辨識修復錯誤的歷程與語音無關。Zhou 與 Marslen-Wilson（2000）檢視閱讀漢語單字詞跟雙字詞語義、語音激活的時程。他們用詞彙判斷、字形判斷、唸名以及語音判斷等任務來測試，發現語義激活的時間點和強度都跟語音一樣甚至略早，並未晚於或弱於語音。Pan 等人（2019）以錯字干擾法測量受試者在中央視野（*fovea*）區的眼動行為，結果一樣發現了同音字促進修復錯誤的效應，不過此效應僅在字詞辨識晚期才出現。

造成上述研究發現不一的原因有很多，例如：實驗的方法、實驗儀器精密度、閱讀素材的難度、閱讀的目的、受試者的背景（年齡、背景知識、閱讀技巧等）、閱讀項目出現的頻率（如詞頻）和熟悉度等因素都可能導致不同的實驗結果（Jared et al., 1999; Jian & Ko, 2014; McCusker et al., 1981）。總括來說，大多數的研究都發現中文母語者閱讀中文時也會激活字詞的語音，只是語音激活的時間點和其對閱讀理解的作用仍有爭議。值得注意的是，閱讀通常不是僅閱讀單一字詞，而是句子或篇章，且閱讀的目的是理解文意。過往的許多研究雖然探索了語音對字詞辨識的影響，但較少以閱讀理解任務檢視語音究竟對理解句子或篇章有什麼影響。以下回顧少數檢視語音對篇章理解影響的文獻。

三、語音對句子或篇章理解的影響

（一）語音干擾的相關研究

為了直接檢視語音對閱讀理解的影響，一些學者使用語音抑制（*articulatory suppression*）或在語音干擾（*irrelevant background speech*）的方法來進行實驗。這些實驗法主要想干擾工作記憶裡語音處理的機制。根據 Baddeley（1997）的工作記憶模型，工作記憶裡的語音迴路系統（*phonological loop*）主要負責處理語音相關的訊息並有兩個機制，一為語音暫存機制（*phonological store*），負責暫時儲存語音訊息。由於語音訊息如不及時處理很快會消失，所以另有一個語音迴路機制（*articulatory loop*），負責內部語音複誦，以便延長語音在工作記憶裡儲存的時間。根據 Baddeley 的理論，人們在閱讀時，會經由語音轉碼（*phonological recoding*）的歷程將文字轉成語音，並由語音迴路系統處理。語音抑制實驗法及要求受試者在閱讀文章的同時，一直不斷的大聲重複唸一個詞（通常是文章裡未出現過、與文章內容無關連的詞，如：*cola*），以干擾語音迴路機制的運作，進而阻礙語音轉碼的進行。而聽無關語音則是企圖以與閱讀內容不相干的外在語音來干擾工作記憶中語音暫存機制的運作。

1. 語音抑制的相關研究。過往有一些學者針對語音抑制法究竟能否「抑制」語音轉碼的進行提出質疑（Leininger, 2014; Rayner et al., 2012），並且常將語音抑制任務視為一般的分心作業，然而這些質疑常訴諸個人經驗和純理論的論述，並未有強有力的實驗證據支持。反觀不少研究其實觀察到語音抑制的確能干擾閱讀時語音相關的表現（Coltheart et al., 1990; Daneman & Newson, 1992; Eiter & Inhoff, 2010）。Larsen 與 Baddeley（2003）比較了語音抑制和「以手按鍵」對記憶字母串任務的影響，藉以驗證語音抑制和另一項不必發音的分心作業的干擾效果是否一致。在語音抑制條件下，受試者在記憶字母串的同時必須以每秒兩次的速度大聲重複唸 *two* 這個詞，而在以手按鍵條件下，

則需在記憶字母串的同時以每秒兩次的速度按數字鍵 0。他們發現語音抑制使得語音相似效應（即語音相似的字母記憶表現比不相似的字母記憶表現差的現象）消失，但以手控制每秒兩次按鍵速度的分心作業則無此效應，顯示語音抑制並非僅是單純的分心作業，而是具有強烈干擾語音轉碼進行中的作用。Norris 等人（2018）發現語音抑制雖不能完全抑制語音轉碼的進行，但可有效使受試者減少使用語音轉碼，轉而依賴字形來從事判斷字對的韻母或發音是否相似的任務。

在過往的研究中，語音抑制主要用來檢視字詞處理歷程中是否有語音轉碼的進行。然而語音抑制究竟對句子或篇章閱讀理解有何影響呢？魯忠義與張亞靜（2007）探討了工作記憶中的語音迴路對中文短文閱讀理解的影響。他們比較受試者分別在正常閱讀、語音抑制和伴隨無關語音等條件下閱讀 55 字以內的中文短文時的閱讀理解和反應時間的差異。在每篇短文中，他們鎖定一個雙字詞作為目標詞（如，推向），然後將雙字詞的首字以音似字（如，退向）或形似字（如，准向）置換，並且也操弄目標詞的頻率高低。然而此研究所謂的「閱讀理解」並非真的計算了受試者閱讀文章後理解文意的正確率，而僅是觀察受試者是否察覺了錯字的存在，因為受試者被要求在看完文章後，判斷短文的意義是否可以被接受（有錯字就必須回答「否」），而之後他們在文意理解題的表現並未被納入分析。實驗結果顯示語音抑制組對錯字偵測的正確數低於正常閱讀組。在正常閱讀組，短文含音似錯字比含形似錯字的判斷正確數高，但在語音抑制組未出現此差異，顯示語音抑制阻礙了語音轉碼。他們也發現語音抑制組對高頻詞的判斷正確數低於正常閱讀組，但低頻詞則無差異。此外，無關語音與正常閱讀相比，兩者的錯字偵測正確數無顯著差異，前者僅延長了受試者的反應時間。不過有錯字條件的錯字偵測正確數仍明顯低於無錯字條件的，表示無關語音仍有干擾的效果。魯忠義等人的研究缺點在於並未真正檢視閱讀理解表現的差異，而且僅觀察受試者的反應正確數和反應時間，以閱讀研究來說，無法看到受試者即時性的訊息處理歷程。

丁錦紅與王麗燕（2006）的研究則使用眼動實驗觀察語音迴路與漢語閱讀理解的關係。他們讓受試者閱讀 28 篇 120 字左右的短文，每篇含有兩個目標字（為雙字詞的第一個字，如：學生、走路）。總共有 56 個目標字，分為五種形式：正確字、音同形似字、音同形異字、音異形似字、音異形異字。實驗採二因子（閱讀條件：正常閱讀／語音抑制；目標詞類型）受試者內設計。受試者被要求儘量自然地去閱讀，不要刻意去記某個字，並且短文只讀一遍。他們在語音抑制條件下要求受試者在閱讀的同時，以每秒平均 2～3 次的速度連續不斷地發「一」這個音，一直到讀完文章為止。受試者的眼動行為結果顯示語音抑制可減少閱讀時間，加快閱讀速度，但不影響閱讀理解的表現。此外，兩種閱讀條件下都出現了同音字效應，即同音字的首次凝視時間、總注視時間都比非同音字短。此研究的結果指向語音抑制似乎不能抑制語音轉碼的進行，而且語音在字詞辨識早期即可被激活，但是語音抑制可能減少了語音轉碼的使用，才使得閱讀速度加快，卻不影響閱讀理解，所以語音轉碼並非閱讀理解必要的元素。不過，丁錦紅等人的研究僅讓受試者重複唸「一」，可能這樣的發音太簡單而未能造成明顯的干擾效應。從上述的研究來看，語音對中文母語者閱讀理解中文短文的重要性仍有爭議，在語音轉碼被干擾的情況下，閱讀理解是否會顯著變差則仍需後續實驗再次檢視。

2. 不相干語音干擾的相關研究。有許多學者檢視了不相干語音對工作記憶中語音迴路系統裡語音暫存機制的干擾效果，發現不相干語音的干擾效果不如語音抑制的明顯，且各研究的結果不太一致，有些研究發現即使聽不懂的不相干語音也能使得語音相似效應消失，有些研究未能觀察到不相干語音的干擾作用，似乎受試者記憶字串或字母串時是否進行語音轉碼，以及不相干語音的特質都會影響實驗結果（Baddeley & Salamé, 1986; Colle & Welsh, 1976; Hanley & Bakopoulou, 2003; Jones & Macken, 1993; Larsen & Baddeley, 2003）。Inhoff 等人（2004）讓受試者在閱讀句子中目標詞的當下聽不到不相干語音（與目標詞同音、相似音或不相似音的詞），並觀察他們的眼動反應，發現不管哪種不相干語音都會延長目標詞的注視時間，但相似或不相似音的干擾效果則大於同音的。在閱讀理解方面，Martin 等人（1988）發現在背景裡不受注意的不相干語音會影響閱讀理解，而內容具有意義的語音傾向比無意義任意組合的語音對閱讀理解所造成的負面影響更大。Oswald 等人（2000）也發現有意義和無意義的不相干語音都會使受試者對所閱讀句子內容的記憶變差，而有意義的不相干語音產生的負面影響力更明顯。然而官英華（2015）和 Guan（2020）在探討語音對外語閱讀影響的兩項實驗裡，發現聽具有意義的不相干語音對英、日語為外語的閱讀理解表現並無任何顯著的影響。事實上有一些學者指出，人們是否會受到不相干語音的影響與個人對抗干擾能力的差異有關（Elliott et al., 2006; Sörqvist et al., 2010）。

(二) 逐字朗讀以及同時聽讀對閱讀理解的影響

另有一些學者從反方向出發，利用逐字朗讀以及同時聽讀的方式來檢視語音對閱讀的影響。逐字朗讀是將語音轉碼直接外顯出來閱讀的一種方式，教師經常會在課堂上利用逐字朗讀來訓練閱讀技能尚不熟練的學生（如小孩或外語學習者）閱讀文章。逐字朗讀如果由教師朗讀（或播放語音檔），學生閱讀時聽教師朗讀（或聽語音檔），則是讓學生以聽讀的方式進行閱讀，許多研究顯示由教師或家長朗讀故事或文章給小孩聽，可提升小孩的閱讀理解和閱讀的興趣（陳惠茹、張鑑如，2011；Beck & McKeown, 2001; Lane & Wright, 2007; Swanson et al., 2011），其好處主要來自於朗讀者可以示範如何正確的發字詞的音和斷句、利用生動活潑的語氣強調文章的重點或提升讀者對文章內容的興趣和注意力，增加與學生的互動，也可凝聚學生的注意力，而學生則可以藉由聽讀的方式學習閱讀技巧。倘若逐字朗讀由學生進行，教師通常會輪流指派學生接續朗讀，讓大家都有朗讀和聽讀的機會，並可從學生朗讀的狀況（如正確性、流暢性）得知學生是否能正確理解文章，可適時提醒或糾正學生的錯誤，因此不少教師經常在外語課堂讓學生朗讀課文（Gibson, 2008; Huang, 2010; Kailani, 1998; Takeuchi et al., 2012）。然而上述逐字朗讀的好處僅在教授閱讀技能尚不成熟的學生時比較明顯，而且其好處其實來自聽他人朗讀，並非因為讀者親自朗讀且同時閱讀而得到的好處。此外亦有研究顯示對閱讀技能已經熟練或成人的外語學習者來說，讀者在閱讀時逐字朗讀並無明顯的好處（官英華 2015；Guan, 2020）。有些學者甚至主張逐字朗讀對閱讀有負面的影響，例如逐字朗讀造成閱讀速度變慢，且有時為了注意發音卻沒能好好理解文章的內容，對某些學生來說在課堂上朗讀也會造成焦慮感（Bernhart, 1983; Dwyer, 1983; Gibson, 2008）。Holmes（1985）的研究顯示受試者如果為了理解文意而逐字朗讀給自己聽，其效果與安靜閱讀一樣。如果受試者得逐字朗讀給聽眾聽，他們在朗讀之後的閱讀理解表現較差，因為他們投注較多的注意力在朗讀本身，而非文章內容。至於聽讀方面的研究，一些研究顯示聽讀對於初學閱讀或閱讀有困難者比較有正向的影響（Toh et al., 2010; Verlaan & Ortlieb, 2012; Woodall, 2010），對閱讀技能已經熟練者則效果不明顯，也有研究指出聽讀造成額外的認知負荷，對閱讀理解沒有幫助（Diao & Sweller, 2007; Gerbier et al., 2018）。

從上述的文獻回顧看來，語音對篇章閱讀理解的影響仍有爭議。隨著讀者的閱讀技能（高低）、背景知識的多寡、所閱讀的語言（母語還是外語）、閱讀文章的性質（文體、內容難度等）以及閱讀的目的不同，語音扮演的角色也不同。官英華（2015）與 Guan（2020）分別以眼動實驗探索語音對中文母語並且以英語或日語為外語的臺灣大學生閱讀英文或日文短文時的影響。受試者在語音抑制、逐字朗讀、聽不相干語音、聽文章語音以及安靜閱讀等條件下閱讀不同難度的短文並回答閱讀理解題。Guan（2020）也觀察到語音抑制使日語學習者閱讀日文時的眼跳距離增加或閱讀速度變快的傾向，雖然閱讀理解的表現並未顯著的比安靜閱讀的差，但傾向略低，而且閱讀文章時的回視率較高，表示加快閱讀速度的同時也降低了理解程度，所以必須較頻繁的回視，以達成閱讀理解。不過官英華（2015）並未在英語閱讀的情況下觀察到同樣的現象。聽不相干語音對英、日文的閱讀理解表現無顯著的影響，但致使閱讀英文字詞上的回視率明顯比安靜閱讀時的高。這些研究也同時觀察逐字朗讀和聽文章語音是否能有效提升字詞處理和閱讀理解。結果顯示逐字朗讀和聽文章語音都未能顯著提升閱讀理解表現。逐字朗讀使閱讀速度明顯變慢，而聽文章語音可降低受試者在英文字詞上的重讀時間和總閱讀時間，但對日文中的漢字詞以及和製漢語的處理有干擾作用，使注視時間和總閱讀時間都明顯增加。在兩個研究中，文章難度與閱讀條件間都無明顯的交互作用，顯示受試者並未因為文章難度增加而出現更依賴語音的現象。然而官英華（2015）與 Guan（2020）的研究是針對外語的閱讀，所觀察的結果與閱讀技能熟練的中文母語者閱讀中文短文時的表現有何不同則非常值得探討與比較：是否在外語閱讀的情況下，學生本來就發展出比較少依賴語音轉碼的閱讀策略，使得在那些研究裡，各閱讀條件對閱讀理解的影響力較不明顯，而在母語閱讀的情況下，語音可能會自動而快速的被激活，使得各閱讀條件的影響力較為明顯呢？

本研究同樣使用了官英華（2015）與 Guan（2020）的實驗方法來檢視是否中文母語者閱讀中文短文時需要依賴語音轉碼的輔助來處理字詞和達成閱讀理解。具體的研究問題為：對中文母語者來說，一、是否語音抑制和聽不相干語音會干擾字詞處理和閱讀理解；二、是否逐字朗讀和聽文章語音能有助於字詞處理和閱讀理解；三、是否閱讀者不具有所讀文章的背景知識時，會更需要依賴語音轉碼的輔助來處理字詞和達成閱讀理解。為了釐清上述的研究問題，本研究一共進行了兩個實

驗，相關的實驗假說列在下列各實驗章節中。

方法

實驗一

實驗一的目的在於檢視中文成人母語者閱讀一般（即不需要特殊專業知識就能看懂的）論說短文時，是否需要語音輔助來處理字詞和理解文意。實驗材料為 20 篇長度 350 字的論說文。實驗主要採受試者內單因子重複數設計，每位受試者皆在 5 種閱讀條件下（語音抑制、逐字朗讀、聽不相干文章語音、聽文章語音、安靜閱讀）閱讀這 20 篇短文（每種條件下閱讀 4 篇），並在閱讀完每篇短文後，回答 4 題閱讀理解題。依變項分為整體閱讀表現以及眼動行為分析。前者包括受試者的閱讀理解表現（答對題數）以及閱讀時間的比較，後者則分為閱讀整篇文章以及針對文章中一些目標詞的眼動指標分析。閱讀整篇文章的眼動指標包括平均凝視時間（mean fixation duration）、平均凝視點數目（number of fixations）、平均眼跳距離（mean saccade length）、回視率（regression ratio），主要為反應閱讀難度的指標。平均凝視時間越長、平均眼跳距離越短、平均凝視點數目越多以及回視率越高，均是受試者在安靜閱讀時遇到困難的典型眼動行為表現（Rayner, 1998; Rayner et al., 2006）。為了檢視字詞處理歷程，筆者最終從最後 10 篇文章中，平均每篇選取 66 個雙字詞（10 篇共 660 個雙字詞）作為觀察字詞處理歷程的目標詞¹。雙字詞（例如：喜歡、思想、判斷、什麼、色彩、線條……等）皆不是位在句首或句尾，並且排除數字和人名。檢視字詞處理的眼動指標包括首次凝視時間（first fixation duration）、注視時間（gaze duration）、重讀時間（re-reading time）、重讀率（re-reading probability）和總閱讀時間（total reading time）。首次凝視時間為受試者首次停駐凝視目標詞的時間，可顯示字詞處理最早期的反應，其後為注視時間，此為受試者從首次凝視時間開始，一直到其視線從目標詞右方邊界移開之前總共在目標詞注視的時間，顯示字詞處理中期的反應。重讀時間則為受試者再次閱讀目標詞的時間總和，顯示字詞處理較晚期的反應，而總閱讀時間是注視時間和重讀時間的加總，代表字詞處理最晚期的反應。重讀率則是一個詞再次被閱讀的機率，重讀率越高，也可意謂字詞處理較為困難（Rayner et al., 2006）。

一、實驗假說

筆者一方面根據官英華（2015）與 Guan（2020）在各閱讀條件下發現的現象，一方面也參考過往相關文獻的發現，針對前述的研究問題一和二提出相應的假說，並檢視在過往研究裡觀察到的某些現象，是否在此研究中仍會重現：

1. 假說 1。如果中文母語的大學生閱讀一般論說文時，需要依賴語音轉碼來處理字詞和達成閱讀理解，那麼語音抑制應該會降低閱讀理解的表現，並且干擾字詞辨識的歷程。聽不相干語音對閱讀理解的干擾效果應該不如語音抑制的明顯。如果受試者能抵抗不相干語音的干擾，則閱讀理解將不受影響。兩者間的差別會展現在整體的閱讀表現和閱讀時的眼動行為上。具體的預測為：1.1 受試者在語音抑制條件下的閱讀理解表現應該會比安靜閱讀條件下的差，而在聽不相干語音條件下的理解表現如果下降的話，其下降的幅度應該比語音抑制條件下的小。1.2 與安靜閱讀相比，語音抑

¹ 如將 20 篇文章中所有的詞都納入統計分析，數據量太大，一方面統計模型很難估算，另一方面詞的長度不一，分析時還必須加入「詞長」為共變項，使模型更加複雜，因此筆者決定以雙字詞為主要的分析對象。為了讓數據量不至於大到無法估計但仍足夠具有代表性，因此集中在編號為 11-20 的文章中，平均每篇選取 66 個雙字詞作為本實驗的目標詞。由於 20 篇文章皆為論說文，且難度相似，因此 10 篇文章的選取並沒有特定的篩選標準，是筆者隨機選擇的結果。

制應該會使閱讀文章的時間縮短、眼跳距離以及回視率增加，對詞的各項凝視時間也會傾向較短且重讀率較高。而聽不相干語音並不能干擾語音轉碼的進行，因此它對眼動行為的影響應該比語音抑制的要小。如果受試者能抵抗不相干語音的干擾，則眼動行為將不受影響。

2. 假說 2。如果中文母語的大學生平常閱讀一般論說文時，需要依賴語音轉碼來達成字詞辨識和閱讀理解，那麼逐字朗讀和聽文章語音條件下的閱讀理解表現應該跟安靜閱讀條件下的差不多，因為中文母語的大學生已經是閱讀技巧成熟的閱讀者，逐字朗讀和聽文章語音只是將讀者原本腦中默唸的文章語音更完整地顯示出來，在文章難度不高的情況下，其作用應該與讀者在安靜閱讀時進行語音轉碼的作用差不多（參考官英華（2015）、Guan（2020）與 Holmes（1985）的發現）。不過在逐字朗讀的過程中會使閱讀速度變慢，因為必須注視每一個字並且發音（在安靜閱讀時則不需如此），然而增加字詞的閱讀時間，應該有助於字詞辨識，減少回視率。聽文章語音也可能造成類似的效果。具體的預測為：2.1 受試者在逐字朗讀條件下的閱讀理解表現應該跟安靜閱讀條件下的差不多，但因為閱讀仔細的關係，會使得閱讀時間明顯增加。與安靜閱讀相比，逐字朗讀時的凝視時間和凝視點數目應該會明顯增加，眼跳距離和回視率會明顯減低，在字詞上的各項閱讀時間也應該會最長。2.2 受試者在聽文章語音時的閱讀理解表現應該也與安靜閱讀差不多，如果受試者專心聽語音並按照語音速度閱讀的話，則會使閱讀速度比安靜閱讀時的慢，呈現類似逐字朗讀時的眼動行為。如果受試者並未完全跟隨語音速度閱讀的話，則會出現類似安靜閱讀的眼動行為。

二、方法

（一）參與者

實驗參與者為 30 位在台灣北部來自各種科系背景（中文、英文、新聞、社會、財政、歷史、應數、外交、政治等科系）的大學生（27 人）或研究生（3 人），平均年齡約為 21 歲。8 位男性，22 位女性，母語皆為中文，且無視覺障礙或閱讀障礙。參與者皆是自願參與實驗，並在實驗者說明實驗目的與程序後，親自簽署依照中華心理學會規範的實驗參與同意書。

（二）實驗儀器

眼動儀 EyeLink 1000 系統，時間解析度為 1000 赫茲，空間解析度為 $0.25^{\circ} - 0.5^{\circ}$ 視角範圍內。實驗材料呈現在 22" LCD 電腦螢幕，螢幕解析度設定為 1024×768 。一個電腦擴音器連結到受試者電腦，用來呈現文章語音，另使用額頭固定架，用來固定受試者頭部的位置。

（三）實驗材料

實驗材料為 20 篇內容不涉及特殊專業知識的論說短文，每篇長 350 字。文章主題包括「給社會新鮮人的建議」、「3C 產品對人類認知功能的影響」、「水污染」、「猴子的實驗」、「哲學家與青蛙」、「看電視對小孩的影響」……等。具體實驗材料範例如下：

文章範例：

美國的研究發現，孩子平均一天最少看電視兩小時。台灣也相同，兒童從放學到晚上十點，家庭開機時間平均是三小時二十分鐘。孩子看電視時間過長所造成的傷害與影響包括容易過胖、變笨變傻、懶散被動、注意力降低、扼殺想像力。因為電視強烈的聲光畫面，讓孩子的腦部只維持在原始區域運作，無法刺激他們思考區域的發展。美國小兒科醫學會建議，別讓兩歲以下的小孩看電視，至於大小孩，建議只看優質節目，且一天不超過兩小時。如何能幫助孩子不黏在電視機前？一、先跟孩子訂好看電視規則，包括看的時間和次數。二、陪孩子一起看電視，解釋討論內容。三、以優質的電影取代不好的電視節目。四、把電視機放在不顯眼的角落，也把遙控器收起來。五、別放電視機在小孩的房间。六、別把電視當褓姆。七、大人也要以身作則，關掉電視，花心思創造更多有趣的家庭活動。

閱讀理解題：

1. 孩子看電視時間過長會變胖、變笨、變懶
2. 電視強烈的聲光畫面無法刺激孩子思考區域的發展
3. 家長應把電視機放在不顯眼的角落，以免孩子看太多電視

4. 少看電視會使注意力降低並扼殺想像力

文章內容分成 5 幕呈現於電腦螢幕上，每個字元大小 32x32 像素，字元間隔 4 像素，每頁可呈現 4 行字，一行最多可呈現 22 個字元。行間距離 100 像素。受試者距離螢幕直線距離約 70 公分，大約一度視角涵蓋一個字元的範圍。文章一開始的凝視點位置是固定在該幕第一行文字的起始處。

(四) 實驗程序

每位受試者都必須閱讀 20 篇短文，並被告知要閱讀並理解文章內容。閱讀實驗分成 5 個階段進行。在每個階段正式開始前，有一篇短文作為練習，其後呈現 4 篇正式實驗的短文。在語音抑制的條件下，受試者必須在文章開始呈現前，以每秒約兩次的速度，大聲重複唸一個雙字詞，例如：「珊瑚」。為防止練習效應，確保干擾效果，開始呈現每篇文章前，受試者會被提示一個新的雙字詞。在逐字朗讀的條件下，受試者必須在閱讀的同時逐字唸出該文章。在聽不相干語音的條件下，受試者閱讀同時會聽到另一篇不相干內容短文的語音。在聽相同語音的條件下，受試者會聽到與閱讀短文內容完全相同的語音。在安靜閱讀情況下，則無任何語音介入。閱讀條件是以任意順序呈現。文章與實驗條件都經拉丁方格平衡過。

正式施測時，先進行九點校正程序，校正眼動儀，受試者通過校正程序後，按鍵開始閱讀第一篇文章（為練習文章）。讀完第一頁後，按鍵可進入文章的下一頁。閱讀完一篇文章後，必須回答 4 題閱讀測驗題（是非題）。每個題目單獨呈現於電腦螢幕上，受試者以按鍵方式進行回答。讀完第一篇練習文章後，依隨機順序呈現 4 篇正式實驗的文章。每篇文章進行程序都相同。受試者在閱讀所有文章時的眼動行為都以眼動儀記錄下來。每完成一個階段的實驗，受試者可以短暫休息，再繼續實驗。實驗進行途中依需要可再次進行眼動儀的校正。

三、實驗結果

本實驗的各項數據皆以線性或廣義混合模型（linear or generalized linear mixed model）的方法進行分析，使用的統計軟體為 SPSS 23。採用線性混合模型而不採用變異數分析的原因是線性混合模型可以依照數據資料的結構層次，同時估計因子的固定效果和隨機效果，並且在隨機效果的部分還可同時估計隨機截距和隨機斜率的效果。當有離漏值或不平衡設計時，線性混合模型也能分析。此外，在模型中也可以同時納入多個預測變項，而預測變項可以為連續變項或類別變項，以上這些優勢是傳統的變異數分析無法達到的（Baayen et al., 2008; Cunnings, 2012）。當然，線性混合模型也因為分析方法具有諸多彈性而顯得程序非常複雜，在分析方法上學者們也有不同的看法（Linck & Cunnings, 2015）。筆者認為不一定越複雜的模型一定越好，還是要兼顧研究的需要、數據量多寡以及模型配適度等問題，因此在本研究中所進行的模型分析為綜合考量這三個向度而得的結果。然而因為文章篇幅有限，無法將每個依變項模型的建立和比較過程一一詳述，所以筆者在本文先概述主要比較的模型和模型篩選的標準，之後僅呈現各個依變項最佳配適度模型的結果。

本實驗首先針對整體閱讀表現以及閱讀篇章層次的眼動行為進行分析，主要進行兩種模型比較，再從中選出最佳配適度的模型。在模型 1 中，固定變數為閱讀條件，以「安靜閱讀」為參照組（reference group）。隨機變數為受試者以及實驗文章，模型 1 估算這兩變數的隨機截距。在模型 2 中，除了模型 1 已有的固定和隨機變數外，另加上一個隨機變數，即受試者在各閱讀條件下的隨機斜率（受試者因閱讀條件所產生不同程度反應的差異）²。模型選擇的標準是比較各模型的 AIC（Akaike information criterion）值，最佳配適度模型是其中 AIC 值最小的模型（如何比較 AIC 值請參考 Fabozzi et al., 2014）。

(一) 整體閱讀表現

1. 閱讀理解測驗表現。因為分數為二元變項（答對或答錯），因此以廣義線性混合模型（generalized linear mixed model）進行分析。模型分析結果請見表 1。最佳配適度模型（模型 2）的

² 模型中都未放入實驗文章在閱讀條件下的隨機斜率是因為這個隨機效果估計值都為 0，所以沒有放入模型裡的必要性。

結果顯示受試者在語音抑制條件下的勝算 (odds 即答對次數除以答錯次數所算出的比率) 為安靜閱讀條件下的 0.66 倍 (odds ratio = 0.66), 表示在安靜閱讀條件下答對機率每增加 1, 則在語音抑制條件下會減少 34% 的答對機率, 所以受試者在語音抑制條件下答對的機率顯著的比安靜閱讀條件下的低。各組在模型估計下的答對正確率分別為: 語音抑制 ($M = 79\%$, $SE = 0.04$)、逐字朗讀 ($M = 82\%$, $SE = 0.03$)、聽不相干語音 ($M = 86\%$, $SE = 0.03$)、聽文章語音 ($M = 83\%$, $SE = 0.03$)、安靜閱讀 ($M = 85\%$, $SE = 0.03$)。若改以語音抑制條件為參照組, 則發現聽不相干語音條件下的答對的機率也顯著的比語音抑制條件下的高 (odds ratio = 1.58) ($\beta = 0.46$, $SE = 0.18$, $t = 2.58$, $p < .05$)。而其他閱讀條件下的閱讀分數則與安靜閱讀條件下的無明顯差異。

2. 閱讀時間。首先為了符合線性混合模型殘差為常態分配的假設, 根據 Boxcox 冪變換係數³ ($\lambda = -0.06$) 將數據進行對數轉換後, 再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 在逐字朗讀條件下的閱讀時間 ($M = 77.82$ 秒, $SE = 4.60$) 顯著的比安靜閱讀的 ($M = 37.30$ 秒, $SE = 2.21$) 長, 但其他閱讀條件 (語音抑制 ($M = 35.22$ 秒, $SE = 2.08$)、聽不相干語音 ($M = 37.15$ 秒, $SE = 2.20$)、聽文章語音 ($M = 39.65$ 秒, $SE = 2.34$)) 與安靜閱讀之間的差異不顯著 (模型分析結果請見表 1)。

表 1 閱讀條件對整體閱讀表現的影響

依變項	閱讀分數				閱讀時間		
	β	(Odds ratio)	SE	t	β	SE	t
固定效果							
截距	1.75		0.18	9.91***	3.62	0.07	54.63***
語音抑制	-0.42	(0.66)	0.18	-2.36*	-0.06	0.05	-1.05
逐字朗讀	-0.26	(0.77)	0.18	-1.42	0.74	0.05	13.46***
聽不相干語音	0.03	(1.03)	0.19	0.18	-0.004	0.05	-0.07
聽文章語音	-0.16	(0.85)	0.18	-0.90	0.06	0.05	1.12
隨機截距效果				Z			Wald Z
受試者	0.22		0.09	2.51*	0.08	0.02	3.42**
文章	0.49		0.12	4.19***	0.005	0.002	2.74**
隨機斜率效果				Z			Wald Z
閱讀條件 (受試者)	0.04		0.06	0.60	0.04	0.006	6.93***
殘差	NA				0.02	0.001	14.66***

註: 閱讀條件以「安靜閱讀」為參照組, 閱讀分數以「答錯」為參照組。

*** $p < .001$. ** $p < .01$. * $p < .05$.

(二) 篇章層次的眼動行為分析

1. 平均凝視時間。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 受試者在逐字朗讀條件下的平均凝視時間 ($M = 253.73$ 毫秒, $SE = 5.62$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 212.69$ 毫秒, $SE = 5.62$) 長, 但其他閱讀條件與安靜閱讀之間的差異不顯著 (見表 2)。

2. 平均凝視點數目。由於凝視點數目分配與 Poisson 機率分配較為接近, 因此以廣義線性混合模型進行分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 受試者在逐字朗讀條件下的平均凝視點數目 ($M = 323.44$ 個/篇, $SE = 22.64$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 152.32$ 個/篇, $SE = 10.66$) 多, 但其他閱讀條件與安靜閱讀之間的差異不顯著 (見表 2)。

³ 有關 Boxcox 冪變換 (power transformation) 請參考 Box 與 Cox (1964) 和 Glen (2015)。本研究以 R 統計軟體所提供的程式計算各項 Boxcox 冪變換係數。

3. 平均眼跳距離。為了符合線性混合模型殘差為常態分配的假設，故而參考 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = 0.75$) 將數據開根號進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示，受試者在語音抑制條件下的平均眼跳距離 ($M = 181.24$ 像素, $SE = 6.08$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 167.19$ 像素, $SE = 5.84$) 長，而在逐字朗讀條件下的平均眼跳距離 ($M = 104.27$ 像素, $SE = 4.62$) 則顯著的比安靜閱讀條件下的短 (見表 2)。

4. 回視率。回視率是將受試者閱讀每篇文章時回視的次數除以總眼跳的次數。由於回視率的數值很小，為了方便模型分析的緣故，而將回視率乘以 100。為了符合線性混合模型殘差為常態分配的假設，考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = 0.55$) 將數據開根號進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示，受試者在語音抑制條件下的回視率 ($M = 0.15$, $SE = 0.01$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 0.12$, $SE = 0.01$) 高，而在逐字朗讀條件下的回視率 ($M = 0.07$, $SE = 0.01$) 則顯著的比安靜閱讀條件下的低。在聽文章語音條件下的回視率 ($M = 0.13$, $SE = 0.01$) 也傾向比安靜閱讀條件下的高 (幾乎達統計顯著 ($\beta = 0.18$, $SE = 0.09$, $t = 1.95$, $p = 0.05$)) (見表 2)。

表 2 閱讀條件對篇章層次眼動行為的影響

依變項	平均凝視時間			平均凝視點數目		
	β	SE	t	β	SE	t
固定效果						
截距	212.69	5.62	37.86***	5.03	0.08	66***
語音抑制	2.45	4.54	0.54	-0.07	0.07	-0.85
逐字朗讀	41.04	4.54	9.05***	0.75	0.07	11.42***
聽不相干語音	-1.73	4.54	-0.38	0.05	0.07	0.76
聽文章語音	1.31	4.54	0.29	0.11	0.07	1.58
隨機截距效果			Wald Z			Z
受試者	622.22	179.81	3.46**	0.10	0.03	3.36**
文章	10.37	5.10	2.03*	0.01	0.002	2.97**
隨機斜率效果			Wald Z			Z
閱讀條件 (受試者)	276.08	40.68	6.79***	0.06	0.01	7.43***
殘差	131.02	8.90	14.72***	NA		
依變項	平均眼跳距離			回視率		
	β	SE	t	β	SE	t
固定效果						
截距	12.93	0.23	57.22***	3.42	0.13	26.32***
語音抑制	0.53	0.16	3.32**	0.41	0.09	4.36***
逐字朗讀	-2.72	0.16	-16.94***	-0.82	0.09	-8.77***
聽不相干語音	0.06	0.16	0.38	0.07	0.09	0.74
聽文章語音	0.01	0.16	0.06	0.18	0.09	1.95
隨機截距效果			Wald Z			Wald Z
受試者	1.10	0.31	3.56***	0.37	0.10	3.55***
文章	0.03	0.01	2.48*	0.01	0.01	1.49
隨機斜率效果			Wald Z			Wald Z
閱讀條件 (受試者)	0.33	0.05	6.51***	0.08	0.02	4.51***
殘差	0.21	0.01	14.65***	0.20	0.01	14.63***

註：閱讀條件以安靜閱讀條件為參照組。NA 是模型無法提供估計值。

*** $p < .001$. ** $p < .01$. * $p < .05$.

(三) 字詞層次的眼動行為分析

針對字詞處理的眼動行為分析，因為考量目標詞的詞頻、筆畫數、以及情境脈絡下的可預測性都可能影響受試者的眼動行為，因此在模型裡除了分析閱讀條件的固定效果和受試者與目標詞的隨機效果外，也將詞頻、筆畫數和詞的可預測性設定為共變項。目標詞的詞頻是將在中研院現代漢語標記語料庫 4.0 版查詢到的詞頻，取以 10 為底數的對數後，再納入模型中分析（目標詞詞頻取以 10 為底數的對數後其平均值和標準差為分別為 $M = 2.60$, $SD = 0.79$ ，全距為 3.66）。目標詞的筆畫數為兩個字元筆畫數加總的結果（平均值和標準差為分別為 $M = 19.82$, $SD = 6.31$ ，全距為 32）。目標詞的可預測性是請另外 17 位並未參加眼動實驗的台灣大學生，以填詞測驗評估目標詞在句子情境脈絡下的可預測性。填詞測驗提供填答者目標詞出現之前的句子脈絡，請填答者寫下最先想到的三個可能接續出現的詞。最後統計 17 位填答者針對每個目標詞正確預測的百分比，作為目標詞可預測性的依據（目標詞可預測性的平均值和標準差為分別為 $M = 32.68\%$, $SD = 32.95$ ，眾數為 0，中位數為 20，全距為 100）。

1. 首次凝視時間。參考 Boxcox 冪變換係數 ($\lambda = 0.02$) 將數據取對數進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型（模型 2）的結果顯示，受試者在逐字朗讀條件下的首次凝視時間顯著的比安靜閱讀的長 ($\beta = 0.18$, $SE = 0.02$, $t = 7.83$, $p < .001$)，其他閱讀條件的首次凝視時間與安靜閱讀的並無顯著差異。詞的可預測性效果顯著 ($\beta = -0.07$, $SE = 0.01$, $t = -5.21$, $p < .001$)，可預測性越高，首次凝視時間越短。詞頻與筆畫數的效果都不顯著。最佳配適度模型分析的數據結果請見表 3，相關的描述性統計請見表 4。

2. 注視時間。考量 Boxcox 冪變換係數 ($\lambda = -0.22$) 後將數據取對數進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型（模型 2）的結果顯示，受試者在逐字朗讀條件下的注視時間顯著的比安靜閱讀的長 ($\beta = 0.33$, $SE = 0.03$, $t = 12.12$, $p < .001$)，其他閱讀條件的注視時間與安靜閱讀的並無顯著差異。詞的可預測性效果顯著 ($\beta = -0.1$, $SE = 0.02$, $t = -5.67$, $p < .001$)，可預測性越高，注視時間越短。詞頻與筆畫數的效果都不顯著（請見表 3 與表 4）。

3. 重讀時間。同樣在參考 Boxcox 冪變換係數 ($\lambda = -0.26$) 後將數據取對數進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型（模型 2）的結果顯示，受試者在逐字朗讀條件下的重讀時間顯著的比安靜閱讀的長 ($\beta = 0.2$, $SE = 0.05$, $t = 4.05$, $p < .001$)，其他閱讀條件的重讀時間與安靜閱讀的並無顯著差異（請見表 3 與表 4）。詞的可預測性、詞頻與筆畫數的效果都不顯著（請見表 3 與表 4）。

4. 總閱讀時間。參考 Boxcox 冪變換係數 ($\lambda = -0.18$) 將數據取對數進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型（模型 2）的結果顯示，受試者在逐字朗讀條件下的總閱讀時間顯著的比安靜閱讀的長 ($\beta = 0.39$, $SE = 0.04$, $t = 10.76$, $p < .001$)，其他閱讀條件的總閱讀時間與安靜閱讀的並無顯著差異（請見表 3 與表 4）。詞的可預測性和詞頻的效果皆顯著 ($\beta = -0.1$, $SE = 0.02$, $t = -5.45$, $p < .001$; $\beta = -0.02$, $SE = 0.01$, $t = -2.25$, $p < .05$)。詞的可預測性和詞頻越高，總閱讀時間越短（請見表 3 與表 4）。筆畫數的效果不顯著。

5. 重讀率。由於重讀率為二元變項，因此以廣義線性混合模型分析。最佳配適度模型（模型 1）的結果顯示，受試者在語音抑制 ($\beta = 0.33$, $SE = 0.07$, $t = 4.57$, $p < .001$) 和聽文章語音條件 ($\beta = 0.38$, $SE = 0.07$, $t = 5.35$, $p < .001$) 下的重讀率都顯著的比安靜閱讀條件下的高。在語音抑制下目標詞的重讀率為安靜閱讀條件下的 1.39 倍，而聽文章語音條件下目標詞的重讀率為安靜閱讀條件下的 1.46 倍。詞的可預測性效果顯著 ($\beta = -0.52$, $SE = 0.09$, $t = -5.92$, $p < .001$)，詞的可預測性越高，目標詞的重讀率越低。詞頻與筆畫數的效果都不顯著（請見表 3 與表 4）。

表 3 閱讀條件、詞的可預測性、頻率和筆畫數對目標詞上的眼動行為影響

依變項	首次凝視時間			注視時間		
	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>
固定效果						
截距	5.41	0.03	158.95***	5.49	0.04	128.49***
語音抑制	0.01	0.02	0.23	-0.02	0.03	-0.70
逐字朗讀	0.18	0.02	7.83***	0.33	0.03	12.12***
聽不相干語音	-0.01	0.02	-0.23	0.001	0.03	0.03
聽文章語音	0.02	0.02	0.82	0.03	0.03	0.95
可預測性	-0.07	0.01	-5.21***	-0.10	0.02	-5.67***
詞頻	-0.01	0.01	-1.27	-0.02	0.01	-1.89
筆畫數	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.001	0.32
隨機截距效果			Wald Z			Wald Z
受試者	0.01	0.003	3.29**	0.01	0.004	3.27**
目標詞	0.003	0.001	3.89***	0.01	0.001	5.81***
隨機斜率效果			Wald Z			Wald Z
閱讀條件(受試者)	0.004	0.001	4.33***	0.01	0.001	4.68***
殘差	0.14	0.002	69.09***	0.20	0.003	69.35***
依變項		重讀時間			總閱讀時間	
固定效果	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>
截距	5.47	0.06	85.29***	5.59	0.05	109.62***
語音抑制	0.02	0.05	0.36	0.005	0.04	0.14
逐字朗讀	0.20	0.05	4.05***	0.39	0.04	10.76***
聽不相干語音	0.03	0.05	0.54	0.01	0.04	0.39
聽文章語音	0.03	0.05	0.54	0.07	0.04	1.89
可預測性	0.03	0.03	1.06	-0.10	0.02	-5.45***
詞頻	-0.01	0.01	-0.85	-0.02	0.01	-2.25*
筆畫數	0.001	0.002	0.40	0.001	0.001	0.52
隨機截距效果			Wald Z			Wald Z
依變項		重讀時間			總閱讀時間	
隨機截距效果	β	<i>SE</i>	Wald Z	β	<i>SE</i>	Wald Z
受試者	0.01	0.003	1.73	0.01	0.005	2.99**
目標詞	0.01	0.003	2.38*	0.01	0.002	8.14***
隨機斜率效果			Wald Z			Wald Z
閱讀條件(受試者)	0.02	0.004	4.12***	0.01	0.002	5.49***
殘差	0.28	0.01	39.44***	0.25	0.003	75.29***
依變項		重讀率				
固定效果	β	(Odds ratio)	<i>SE</i>	<i>t</i>		
截距	-0.91		0.22	-4.21***		
語音抑制	0.33	(1.39)	0.07	4.57***		
逐字朗讀	-0.08	(0.92)	0.07	-1.14		
聽不相干語音	-0.03	(0.97)	0.08	-0.44		

(續)

表 3 (續)

依變項	重讀率			
固定效果	β	(Odds ratio)	SE	t
聽文章語音	0.38	(1.46)	0.07	5.35***
可預測性	-0.52		0.09	-5.92***
詞頻	0.03		0.05	0.48
筆畫數	-0.01		0.01	-1.06
隨機截距效果	Z			
受試者	0.34		0.1	3.61***
目標詞	0.34		0.04	8.24***
殘差	NA			

註：odds ratio 的值代表某閱讀條件下的重讀率與安靜閱讀條件的重讀率的比值。NA 是模型無法提供估計值。

表 4 各閱讀條件在目標詞上眼動指標的描述性統計

依變項	首次凝視時間		注視時間		重讀時間	
	M	SE	M	SE	M	SE
語音抑制	214.86	5.33	222.52	6.55	240.81	9.13
逐字朗讀	255.19	6.12	316.40	8.98	290.03	10.77
聽不相干語音	212.72	5.24	227.24	6.63	243.23	9.58
聽文章語音	217.89	5.34	232.99	6.77	242.99	9.09
安靜閱讀	213.79	5.29	227.01	6.66	236.51	9.47
依變項	總閱讀時間		重讀率			
	M	SE	Odds	SE		
語音抑制	249.88	8.53	0.56	0.01		
逐字朗讀	366.50	12.21	0.37	0.01		
聽不相干語音	252.14	8.58	0.39	0.01		
聽文章語音	266.40	9.01	0.59	0.01		
安靜閱讀	248.64	8.50	0.40	0.01		

註：M 為平均值，SE 為標準誤，odds 為詞被重讀的機率。除了重讀率之外，其他依變項的單位皆為毫秒。

四、討論

實驗一從受試者閱讀一般論說短文的閱讀理解表現來看，語音抑制與安靜閱讀相比，的確明顯的使閱讀理解程度下降，顯示受試者在安靜閱讀一般論說短文時，會使用語音轉碼的輔助，當語音轉碼歷程透過語音抑制受到干擾時，理解程度會明顯下降，結果支持假說 1.1 的預期。然而聽不相干語音對閱讀理解並無影響，表示受試者皆能有效對抗不相干語音的干擾。逐字朗讀和聽文章語音並未能有效提升閱讀理解的表現，結果支持假說 2.1 和 2.2 的預期。從閱讀時間來看，逐字朗讀條件下的閱讀時間最長（結果支持假說 2.1 的預測），而其他閱讀條件下的閱讀時間無明顯差異（不支持假說 1.2 預測語音抑制閱讀時間較短），表示導致語音抑制閱讀理解表現低落的原因並非閱讀時間的長短，而是閱讀條件本身所致。

在篇章層次的眼動行為分析，主要有兩個發現：（1）受試者在逐字朗讀條件下的平均凝視時

間和凝視點數目的數值都顯著的比在安靜閱讀條件下的大，而他們的平均眼跳距離和回視率則顯著的比在安靜閱讀條件下的小。表示與安靜閱讀相比，受試者必須縮短眼跳距離和增加凝視時間才能逐字朗讀，也因為眼跳距離變短，所以凝視點數目會增加，也因此閱讀文章的時間最長。然而仔細閱讀也使得他們在逐字朗讀時的回視率最低，顯示逐字朗讀有利於閱讀時即時性的訊息整合。結果全然支持假說 2.1 的預測。(2) 受試者在語音抑制條件下的平均眼跳距離顯著的比安靜閱讀條件下的長，回視率則明顯的較高，顯示語音抑制干擾了語音轉碼的進行，受試者改採快速瀏覽文章的補償策略，而大幅增加了眼跳距離，然而快速瀏覽並無法好好的理解文章，所以需要經常回視，再次閱讀已快速掃視過但還沒理解的地方。即使如此，他們在語音抑制干擾下的閱讀理解表現仍是最差的，此結果支持假說 1.1 和 1.2 的預測。

在字詞處理的眼動行為方面，結果都很一致的顯示受試者在逐字朗讀條件下的首次凝視時間、注視時間、重讀時間和總閱讀時間顯著的比安靜閱讀條件下的長，而其他閱讀條件下的這些眼動指標測量結果與安靜閱讀條件下的無明顯差異，結果支持假說 2.1 的預測，也與整體眼動行為的觀察相呼應。目標詞的重讀率結果顯示受試者在語音抑制和聽文章語音等條件下的重讀率顯著的比安靜閱讀條件下的高，結果支持假說 1.2 和 2.2 的預測：在聽文章語音時，受試者並未完全跟隨語音速度閱讀，其眼動表現與安靜閱讀時差不多，不過為了調整眼動和語音的速度而伴隨了較多的回視。

實驗一檢視了語音對臺灣大學生閱讀一般論說短文的影響。然而這些觀察的結果，是否會因為文章內容難度不同而有所不同？是否讀者對文章內容的背景知識多寡也會影響他們對語音依賴的程度？實驗二針對這些問題進一步比較文科和理科背景的大學生閱讀物理學的短文時，依賴語音來理解文意和辨識字詞的情形是否有顯著的差異。

實驗二

實驗二進一步驗證臺灣大學生閱讀困難度較高的科學短文時，是否需要語音輔助來處理字詞和理解文意。實驗比較兩組大學生的閱讀物理學短文時的閱讀表現和眼動行為。受試者分為兩組，一組為不具有物理學專業知識的文學院學生，另一組為具有較多物理學專業知識的理學院學生。

實驗材料為 15 篇平均長度 356 字的短文，內容涉及物理學專業知識，取材自科學人雜誌。文章主題包括「量子計算」、「環圈量子重力理論」、「希格斯粒子」、「反物質」、「電荷耦合裝置」、「3 氦超流體」、「兆赫波」……等。實驗採 5x2 混合因子重複量數設計，同樣以 5 種閱讀條件（語音抑制、逐字朗讀、聽不相干文章語音、聽文章語音、安靜閱讀）為受試者內因子，另將背景知識（有、無）視為受試者間因子。每位受試者皆在 5 種閱讀條件下閱讀 15 篇短文，並在閱讀完每篇短文後，回答 4 題閱讀理解題（選擇題）。依變項與實驗一全部相同。因為閱讀材料為物理學的短文，實驗二的目標詞希望能檢視受試者有無背景知識對專業學術詞彙處理的影響，故而選取無物理學背景知識學生不熟悉，但有物理學背景知識學生較為熟悉的專業學術詞彙作為目標詞。目標詞的熟悉度是由 12 位（6 位文科背景和 6 位理科背景）沒有參加眼動實驗的學生針對每個目標詞以李克特氏 5 點量表來進行評估（1：非常不熟悉，5：非常熟悉）。筆者最終在每篇文章中選取 4 個（總共 60 個）對文科背景學生熟悉度平均在 2 以下，但對理科背景學生熟悉度平均在 4 以上的專有名詞（例如：量子態、局域波包、芮得柏波包、短脈衝雷射技術、兆赫波、電洞、郎肯循環、普朗克長度……等）作為詞層次眼動分析的目標詞。

一、實驗假說

實驗二假設背景知識會影響受試者在閱讀理解和字詞辨識時對語音轉碼的依賴。根據先前學者們所提出的理論（Jared et al., 1999; McCusker et al., 1981; Rayner et al., 2012），筆者認為無文章背景知識的受試者因為對文章內容和專業術語不熟悉，應該比較需要依賴語音轉碼的輔助來辨識字詞和理解文意。具體預測為：假說 3.1：無背景知識受試者的閱讀理解表現應該比有背景知識的差，所需的閱讀時間也較長。無背景知識受試者應該比較需要語音的輔助，預期他們在語音抑制和聽不相干語音條件下受干擾的現象比有背景知識者更明顯，而在逐字朗讀和聽文章語音條件下的閱讀理解表現應該會比安靜閱讀時的好。而有背景知識受試者應該比較不需要語音的輔助，閱讀理解表現比

較不受閱讀條件的影響。假說 3.2：在眼動行為方面，本實驗預期在安靜閱讀情況下，無文章背景知識受試者的平均凝視時間應該會較長、凝視點數目會較多，平均眼跳距離會較短、回視率會較高。在目標詞上的各項閱讀時間會較長、重讀率也會較高（參考 Jian & Ko, 2014）。假說 3.3：在其他閱讀條件下，預期無文章背景知識受試者的各項眼動行為應該會比有文章背景知識的受試者更明顯地受到閱讀條件的影響。

二、方法

（一）參與者

實驗參與者為 30 位台灣的大學生，14 位男性，16 位女性。其中 15 位為來自文學院的學生，另 15 位為來自理學院的學生（主修物理學、大氣物理、光電、電機和材料科學等科系）。母語皆為中文，且無視覺障礙或閱讀障礙。參與者皆是自願參與實驗，並在實驗者說明實驗目的與程序後，親自簽署依照中華心理學學會規範的實驗參與同意書。

（二）實驗儀器

與實驗一相同。

（三）實驗材料

實驗材料為 15 篇取材自科學人雜誌的物理學短文，平均長度 356 字。實驗材料範例如下：

與古典粒子的軌道運動對應的量子態，並非一個簡單的定態，而只能是由若干定態的相干疊加所構成的非定態。為模擬古典粒子的軌道運動，它們應該是一個在空間運動的較窄局域波包。而由許多芮得柏態相干疊加形成的波包則稱為「芮得柏波包」。近年來，由於短脈衝雷射技術的進展，已可能在實驗室中產生和檢測各種體系中（如：電子、分子、半導體量子井等）由許多定態相干疊加所形成的定域波包。此一類波包的演化和動力學是目前物理和化學很多領域都很感興趣的課題。從量子力學誕生起，它和古典力學的關係始終是物理學裡熱門的研究課題。古典力學適用於宏觀系統，粒子運動遵循確定的軌道。量子力學適用於微觀系統，其規律是概率性的。但作為物理學的基本規律，量子力學也應適用於宏觀系統。相干態在量子力學中是一個非常重要的概念，在物理學許多領域都有應用。

閱讀理解題：

1. 關於「量子態」的描述以下何者正確？ (a) 與古粒子的軌道運動相應 (b) 並非一個簡單的定態 (c) 只能是非定態 (d) 以上皆是	2. 許多量子態是屬於空間運動中較窄的什麼？ (a) 等距波包 (b) 廣域波包 (c) 局域波包 (d) 長距波包
3. 因為下列何種技術的進展得以檢驗定域波包？ (a) 短脈衝雷射技術 (b) 雷射強化電鍍技術 (c) 飛梭奈米雷射技術 (d) 藍光雷射技	4. 由許多芮得柏態相干疊加形成的波包稱為什麼？ (a) 高斯波包 (b) 芮得柏波包 (c) 薛丁格波包 (d) 泰懃波包

受試者以按鍵方式作答。文章呈現方式與實驗一的設定相同。

（四）實驗程序

與實驗一相同。

三、實驗結果

數據分析方法與實驗一大致相同。依變項包括整體閱讀表現、篇章以及字詞層次的眼動行為比較。針對整體閱讀表現和篇章層次的眼動數據分析方面，主要比較 4 種模型，再從中選出最佳配適

度的模型。：模型 1 的固定效果因子為閱讀條件和背景知識，分別以「安靜閱讀」和「有背景知識」為參照組。隨機截距效果因子為受試者和實驗文章。在模型 2 中，除了模型 1 的因子外，另加入受試者在各閱讀條件下的隨機斜率。在模型 3 中，除了模型 1 的因子外，另加入閱讀條件和背景知識交互作用的固定效果。在模型 4 中，除了模型 3 的因子外，再加入受試者在各閱讀條件下的隨機斜率。模型選擇標準與實驗一相同。

(一) 整體閱讀表現

1. 閱讀理解測驗表現。因測驗計分方式為二元變項（答對或答錯），因此以廣義線性混合模型分析。最佳配適度模型（模型 1）的結果顯示，閱讀條件對受試者的閱讀理解測驗表現沒有顯著的效果，背景知識的主要效果則顯著（ $\beta = -0.53, SE = 0.22, t = -2.38, p < .05$ ）（請見表 5）。沒有背景知識學生的勝算（正／誤次數比率）是有背景知識學生的 0.59 倍（odds ratio = 0.59），表示有背景知識學生的答題正確率每增加 1，則沒有背景知識學生的答題正確率就會降低 41%，顯示沒有背景知識學生答對的機率顯著的比有背景知識學生的低⁴。模型針對在 5 種閱讀條件下兩種背景知識受試者所估計的答題正確率如下：語音抑制：有背景（ $M = 78\%, SE = 0.05$ ）／無背景（ $M = 71\%, SE = 0.05$ ）、逐字朗讀：有背景（ $M = 86\%, SE = 0.03$ ）／無背景（ $M = 78\%, SE = 0.05$ ）、聽不相干語音：有背景（ $M = 84\%, SE = 0.04$ ）／無背景（ $M = 71\%, SE = 0.05$ ）、聽文章語音：有背景（ $M = 85\%, SE = 0.04$ ）／無背景（ $M = 79\%, SE = 0.04$ ）、安靜閱讀：有背景（ $M = 83\%, SE = 0.04$ ）／無背景（ $M = 76\%, SE = 0.05$ ）。

2. 閱讀時間。參考 Boxcox 幕變換係數（ $\lambda = 0.26$ ）將數據取對數進行轉換後，再次進行模型分析。最佳配適度模型（模型 2）的結果顯示（請見表 5），受試者在逐字朗讀（ $M = 96.92$ 秒， $SE = 6.58$ ）和聽文章語音（ $M = 68.48$ 秒， $SE = 4.65$ ）等條件下的閱讀時間顯著的比安靜閱讀條件下的（ $M = 62.03$ 秒， $SE = 4.21$ ）長（ $\beta = 0.45, SE = 0.05, t = 9.12, p < .001$ ； $\beta = 0.1, SE = 0.05, t = 2.02, p < .05$ ）。語音抑制（ $M = 61.59$ 秒， $SE = 4.18$ ）和聽不相干語音（ $M = 65.97$ 秒， $SE = 4.48$ ）條件下的閱讀時間則與安靜閱讀的無顯著差異。背景知識的效果不顯著。

表 5 閱讀條件和背景知識對整體閱讀表現的影響

依變項 固定效果	閱讀理解表現				閱讀時間		
	β	(odds ratio)	SE	t	β	SE	t
截距	1.64		0.24	6.89***	4.12	0.09	46.43***
語音抑制	-0.28	(0.76)	0.18	-1.58	-0.01	0.05	-0.14
逐字朗讀	0.16	(1.17)	0.19	0.83	0.45	0.05	9.12***
聽不相干語音	-0.12	(0.89)	0.18	-0.63	0.06	0.05	1.26
聽文章語音	0.17	(1.19)	0.19	0.88	0.10	0.05	2.02*
背景知識	-0.53	(0.59)	0.22	-2.38*	0.01	0.11	0.07
隨機截距效果				Z			Wald Z
受試者			0.11	2.44*	0.09	0.03	3.47**
文章			0.12	2.08*	0.01	0.003	2.14*
隨機斜率效果							Wald Z
閱讀條件（受試者）					0.03	0.01	5.65***
殘差	NA				0.02	0.002	11.96***

註：閱讀條件以「安靜閱讀」為參照組，知識背景以「有背景」為參照組，閱讀分數以「答錯」為參照組。

*** $p < .001$. ** $p < .01$. * $p < .05$.

⁴ 筆者也計算過加入閱讀條件和背景知識交互作用的模型，結果顯示閱讀條件、背景知識以及兩者間的交互作用都不顯著。不過因為模型配適度明顯變差許多，所以不列入考量。

(二) 篇章層次的眼動行為分析

1. 平均凝視時間。考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = -0.46$) 將數據開根號並且取倒數後乘以負 1000⁵再進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 閱讀條件效果顯著: 受試者在語音抑制 ($M = 228.75$ 毫秒, $SE = 0.02$)、逐字朗讀 ($M = 259.11$ 毫秒, $SE = 0.02$) 和聽文章語音 ($M = 223.14$ 毫秒, $SE = 0.02$) 等條件下的平均凝視時間顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 214.70$ 毫秒, $SE = 0.02$) 長。背景知識效果不顯著。最佳配適度模型的結果請見表 6。

2. 平均凝視點數目。同樣因為數據分配與 Poisson 機率分配較為接近, 因此以廣義線性混合模型進行分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 受試者在逐字朗讀條件下的平均凝視點數目 ($M = 319.37$, $SE = 20.50$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 237.83$, $SE = 15.29$) 多, 為安靜閱讀條件下的 1.34 倍。但其他閱讀條件與安靜閱讀之間的差異不顯著 (請見表 6)。

3. 平均眼跳距離。考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = 0.75$) 將數據開根號後再進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示, 受試者在語音抑制條件下的平均眼跳距離 ($M = 122.88$, $SE = 4.42$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 116.41$, $SE = 4.30$) 長, 而他們在逐字朗讀條件下的平均眼跳距離 ($M = 73.15$, $SE = 3.41$) 則顯著的比安靜閱讀條件下的短 (請見表 6)。

4. 回視率。考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = -0.75$) 將數據開根號並且取倒數後乘以負 100 以便進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 5) 的結果顯示, 閱讀條件、背景知識以及兩者間的交互作用皆不顯著 (請見表 6)。受試者不管在何種閱讀條件下的回視率都是在 47% 左右。

表 6 閱讀條件和背景知識對篇章層次眼動行為的影響

依變項	平均凝視時間			平均凝視點數目			
	β	SE	t	β	SE	t	
固定效果							
截距	-68.08	1.01	-67.08***	5.47	0.08	65.45***	
語音抑制	2.13	0.43	5.01***	-0.06	0.05	-1.23	
逐字朗讀	6.12	0.43	14.40***	0.30	0.05	5.93***	
聽不相干語音	0.50	0.43	1.19	0.05	0.05	1	
聽文章語音	1.30	0.43	3.06**	0.06	0.05	1.19	
背景知識	-0.33	1.38	-0.24	0.01	0.11	0.06	
隨機截距效果			Wald Z			Z	
受試者	13.68	3.80	3.60***	0.08	0.02	3.41**	
文章	0.15	0.09	1.64	0.004	0.002	2.52*	
隨機斜率效果			Wald Z			Z	
閱讀條件 (受試者)	2.04	0.36	5.62***	0.04	0.01	6.79***	
殘差	2.02	0.17	12***	NA			
依變項	平均眼跳距離			回視率			
固定效果	β	SE	t	截距	β	SE	t
截距	10.63	0.26	40.40***	截距	-145.47	1.09	-133.20***
語音抑制	0.30	0.15	2.04*	語音抑制 (1)	-0.28	0.94	-0.29
逐字朗讀	-2.24	0.15	-15.41***	逐字朗讀 (2)	-0.40	0.94	-0.43
聽不相干語音	-0.01	0.15	-0.10	聽不相干語音 (3)	-1.12	0.94	-1.18
聽文章語音	-0.02	0.15	-0.13	聽文章語音 (4)	0.05	0.94	0.05

(續)

⁵ 乘以負 1000 是因為原始數據開根號並且取倒數後不但變得很小, 使模型會因為數值太小而無法收斂, 而且原來數值較大的反而變得較小, 數值較小的反而變得較大, 因此得將轉換後的數據先乘以 1000 放大數值後, 再以負號反轉數值大小逆轉的現象, 以便進行模型的分析。

表 6 (續)

依變項	平均眼跳距離			回視率			
	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	
固定效果							
背景知識	0.32	0.34	0.94	背景知識 (5)	-1.36	1.49	-0.91
隨機截距效果			Wald Z	(1) * (5)	1.44	1.33	1.08
受試者	0.82	0.24	3.47**	(2) * (5)	0.95	1.33	0.72
文章	0.03	0.01	2.01*	(3) * (5)	0.29	1.33	0.22
隨機斜率效果			Wald Z	(4) * (5)	0.75	1.33	0.56
閱讀條件 (受試者)	0.26	0.04	6.28***	隨機截距效果			Wald Z
殘差	0.16	0.01	11.98***	受試者	9.92	3.01	3.29**
				文章	1.29	0.70	1.85
				隨機斜率效果			
				閱讀條件 (受試者)	2.04	0.99	2.06*
				殘差	13.91	1.15	12.09***

註：(1) * (5) 代表語音抑制與背景知識間的交互作用，其他 3 個交互作用以此類推。

*** $p < .001$. ** $p < .01$. * $p < .05$.

(三) 目標詞上的眼動行為分析

由於實驗二的目標詞為 60 個物理學專有名詞，其中的多數 (56 個詞) 在中研院現代漢語平衡語料庫中的詞頻為零，因此實驗二在模型裡除了分析閱讀條件和背景知識的固定效果和受試者與目標詞的隨機效果外，不考慮詞頻而是將筆畫數 ($M = 43.08$, $SD = 17.48$, 全距為 72) 和詞長 ($M = 4.38$, $SD = 1.51$, 全距為 6) 設定為共變項。

數據分析主要比較 4 種模型：在模型 1 中，固定效果因子為閱讀條件和背景知識，共變項為詞長和筆畫數，隨機效果因子為受試者與目標詞的隨機截距。模型 2 除了模型 1 的因子設定外，再加入受試者在各閱讀條件下的隨機斜率。模型 3 除了模型 1 的因子設定外，再加入閱讀條件和背景知識交互作用的固定效果。模型 4 除了模型 3 的因子設定外，再加入受試者在各閱讀條件下的隨機斜率。

1. 首次凝視時間。根據 Boxcox 冪變換係數 ($\lambda = -0.06$) 將數據取對數後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 3) 的結果顯示，閱讀條件和背景知識的主要效果不顯著，但交互作用顯著：與安靜閱讀條件相比，沒有背景知識的受試者在聽不相干語音和聽文章語音條件下的首次凝視時間都顯著的比有背景知識受試者的長 (請見圖 1)，但在其他閱讀條件下，則是有背景知識受試者的首次凝視時間比沒背景知識受試者的長。詞長和筆畫數效果皆不顯著。模型分析數據結果請見表 7。

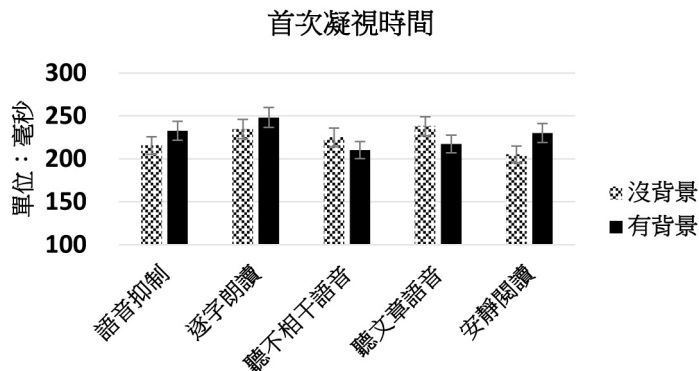


圖 1 兩種背景受試者在 5 種閱讀條件下的首次凝視時間

2. 注視時間。根據 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = 0.1$) 將數據取對數後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 1) 的結果顯示，閱讀條件主要效果顯著，但背景知識以及它與閱讀條件間的交互作用不顯著：受試者在語音抑制條件下的注視時間 ($M = 383.75, SE = 26.48$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 426.67, SE = 29.44$) 短，而他們在逐字朗讀條件下的注視時間則顯著的比安靜閱讀條件下的長 ($M = 690.21, SE = 47.62$)。詞長效果也顯著：詞長與注視時間成正比。模型分析結果請見表 7。

3. 重讀時間。考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = -0.02$) 將數據取對數後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 1) 的結果顯示，閱讀條件主要效果顯著，但背景知識不顯著：受試者在語音抑制條件下的重讀時間 ($M = 503.71, SE = 41.08$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 612.78, SE = 49.31$) 短。而其他閱讀條件下的重讀時間與安靜閱讀的無明顯差異。詞長效果顯著，而且也與重讀時間成正比 (請見表 7)。

4. 總閱讀時間。同樣考量 Boxcox 幕變換係數 ($\lambda = 0.1$) 將數據取對數後，再次進行模型分析。最佳配適度模型 (模型 2) 的結果顯示，受試者在語音抑制條件下的總閱讀時間 ($M = 667.81, SE = 53.87$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 799.51, SE = 64.56$) 短，而他們在逐字朗讀條件下的總閱讀時間則顯著的比安靜閱讀條件下的長 ($M = 1081.39, SE = 87.05$)。詞長效果顯著且與總閱讀時間成正比 (請見表 7)。

5. 重讀率。重讀率的數據為二元變項，因此以廣義線性混合模型分析。最佳配適度模型 (模型 1) 的結果顯示，受試者在逐字朗讀條件下的重讀率 ($M = 0.52, SE = 0.05$) 顯著的比安靜閱讀條件下的 ($M = 0.63, SE = 0.05$) 低，而他們在聽不相干語音條件下的重讀率 ($M = 0.71, SE = 0.05$) 則顯著的比安靜閱讀條件下的高。背景知識和筆畫數效果不顯著。詞長效果顯著且與重讀率成正比 (模型分析結果請見表 7)。

表 7 閱讀條件、背景知識、詞長和筆畫數對目標詞上的眼動行為影響

依變項	首次凝視時間			注視時間		
	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>
固定效果						
截距	5.36	0.07	82.15***	5.09	0.13	38.71***
語音抑制 (1)	0.01	0.05	0.24	-0.11	0.05	-2.03*
逐字朗讀 (2)	0.08	0.05	1.62	0.48	0.05	9.18***
聽不相干語音 (3)	-0.09	0.05	-1.91	0.01	0.05	0.17
聽文章語音 (4)	-0.06	0.05	-1.21	0.01	0.05	0.21
背景知識 (5)	-0.12	0.07	-1.75	-0.03	0.11	-0.24
(1) * (5)	0.04	0.07	0.58			
(2) * (5)	0.06	0.07	0.89			
(3) * (5)	0.18	0.07	2.75*			
(4) * (5)	0.21	0.07	3.11**			
詞長	0.01	0.02	0.47	0.18	0.04	4.86***
筆畫數	0.001	0.001	0.68	0.004	0.003	1.34
隨機截距效果			Wald Z			Wald Z
受試者	0.02	0.01	3.07***	0.08	0.02	3.38***
目標詞	0.01	0.00	2.49*	0.05	0.01	3.97***
殘差	0.17	0.01	27.14***	0.43	0.02	27.43***
依變項			重讀時間			總閱讀時間
固定效果	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>
截距	5.36	0.15	34.96***	5.45	0.14	38.21***
語音抑制	-0.20	0.08	-2.56*	-0.18	0.07	-2.65*

(續)

表 7 (續)

依變項	重讀時間			總閱讀時間		
	β	<i>SE</i>	<i>t</i>	β	<i>SE</i>	<i>t</i>
固定效果						
逐字朗讀	0.03	0.08	0.36	0.30	0.07	4.44***
聽不相干語音	-0.10	0.07	-1.35	0.06	0.07	0.85
聽文章語音	-0.03	0.07	-0.37	0.03	0.07	0.47
背景知識	0.03	0.11	0.26	0.05	0.12	0.38
詞長	0.21	0.04	4.76***	0.24	0.04	6.42***
筆畫數	0.003	0.004	0.76	0.003	0.003	0.93
隨機截距效果			Wald Z			Wald Z
受試者	0.08	0.03	2.98***	0.10	0.03	3.26***
目標詞	0.06	0.02	3.23***	0.06	0.01	4.34***
隨機斜率效果			Wald Z			Wald Z
閱讀條件 (受試者)				0.04	0.01	4.39***
殘差	0.57	0.03	21.63***	0.31	0.01	27.45***

四、討論

首先統整實驗一和實驗二的分析結果於表 8，以便比較兩個實驗的結果。

表 8 實驗一和實驗二結果對照表

	實驗一	實驗二
依變項	整體閱讀表現	整體閱讀表現
閱讀理解表現	語音抑制 < 安靜閱讀 語音抑制 < 聽不相干語音	沒背景 < 有背景
閱讀時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	逐字朗讀 > 安靜閱讀 聽文章語音 > 安靜閱讀
	篇章層次眼動行為	整體閱讀表現
平均凝視時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	語音抑制 > 安靜閱讀 逐字朗讀 > 安靜閱讀 聽文章語音 > 安靜閱讀
凝視點數目	逐字朗讀 > 安靜閱讀	逐字朗讀 > 安靜閱讀
平均眼跳距離	語音抑制 > 安靜閱讀 逐字朗讀 < 安靜閱讀	語音抑制 > 安靜閱讀 逐字朗讀 < 安靜閱讀
回視率	語音抑制 > 安靜閱讀 逐字朗讀 < 安靜閱讀	無顯著差異
	詞層次眼動行為	詞層次眼動行為
首次凝視時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	聽不相干語音：沒背景 > 有背景 聽文章語音：沒背景 > 有背景
注視時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	語音抑制 < 安靜閱讀 逐字朗讀 > 安靜閱讀
重讀時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	語音抑制 < 安靜閱讀
總閱讀時間	逐字朗讀 > 安靜閱讀	語音抑制 < 安靜閱讀 逐字朗讀 > 安靜閱讀
重讀率	語音抑制 > 安靜閱讀 聽文章語音 > 安靜閱讀	逐字朗讀 < 安靜閱讀 聽不相干語音 > 安靜閱讀

實驗二的受試者在閱讀理解表現方面，主要受背景知識多寡的影響，無背景知識受試者的閱讀理解表現比有背景知識的差，此點符合假說 3.1 的預期，但實驗二未能如實驗一觀察到閱讀條件對閱讀理解的影響，不管哪種背景知識的受試者，都未發現語音抑制條件使閱讀理解表現顯著變差，也未發現逐字朗讀和聽文章語音有促進閱讀理解的作用，似乎語音在中文母語者閱讀理解難度較高文章時並不是扮演那麼重要的角色，背景知識才是主導的因素。從閱讀時間來看，無背景知識受試者的閱讀時間也未比較長，這些結果都不符合假說 3.1 的預期。閱讀條件的效果顯示不同背景知識的受試者在逐字朗讀和聽文章語音條件下的閱讀時間都明顯的比安靜閱讀條件下的長。

值得注意的是，聽文章語音也使受試者花較長時間閱讀文章，受試者在聽文章語音時的平均凝視時間比安靜閱讀時的長，但凝視點數目和平均眼跳距離與安靜閱讀條件下的差不多，表示在文章語音介入下，受試者一面閱讀一面試圖整合背景語音和已讀文字的內容，使得凝視時間變長，閱讀速度變慢。此結果指向當文章難度較高時，不管是否有背景知識，受試者會將閱讀速度與語音速度做協調以方便整合文字的訊息，從而也減少了回視率，這點與實驗一的發現不同。

篇章層次的眼動行為結果並不符合假說 3.2 的預期：背景知識並無顯著的效果，而它與閱讀條件之間也無任何的交互作用。與實驗一不同的發現僅有兩處：（1）受試者在語音抑制與聽文章語音條件下的平均凝視時間也都比安靜閱讀條件下的長。由此可見，除了聽不相干語音的干擾較小外，受試者在其他閱讀條件下的平均凝視時間都比安靜閱讀時的長。語音抑制干擾語音轉碼，使得字詞處理和文意整合都變得困難，在文章難度較高的情況下，兩種背景受試者的凝視時間都顯著變長，但他們的眼跳距離仍然和實驗一一樣，顯著的比安靜閱讀時的長，表現出「放慢速度的瀏覽行為」。然而，聽不相干語音對閱讀歷程並非毫無干擾，而是顯現在目標詞的眼動行為上（請見下一段的討論）。（2）受試者在各閱讀條件下的回視率並無顯著差異。不過原因很明顯，因為文章困難度較高，不管受試者背景知識多寡，在各種閱讀條件下的平均回視率都在 47% 左右，明顯高於閱讀一般文章時的平均回視率（11.68%），足見文章難度對回視行為的影響遠大於閱讀條件的影響。

在目標詞的眼動行為方面，僅在首次凝視時間發現背景知識與閱讀條件的交互作用，其他的眼動指標測量都未發現背景知識有任何的效果，它與閱讀條件之間的交互作用也都不顯著，因此多數的結果不支持假說 3.2 和 3.3 的預測，但是有若干個與實驗一不同的發現：（1）閱讀條件和背景知識對受試者在目標詞上的首次凝視時間產生交互影響。聽不相干語音以及聽文章語音都使得沒有背景知識學生的首次凝視時間比有背景知識者的長，似乎當有外在語音介入時，沒有背景知識的學生在處理目標詞的初期比較會受外在語音干擾，此結果部分符合假說 3.3 的預期。（2）受試者在語音抑制條件下於目標詞的注視時間、重讀時間和總閱讀時間都顯著的比安靜閱讀時的短。語音抑制使所有的受試者於目標詞上的閱讀時間縮短，此現象並無在閱讀一般非專業性詞彙上出現，似乎語音轉碼對專業詞彙的辨識和理解並不重要。（3）受試者在逐字朗讀條件下的重讀時間與安靜閱讀條件下的差不多，但重讀率則顯著小於安靜閱讀條件下的，結果指向逐字朗讀對目標詞的處理有正向的幫助，可降低重讀率。（4）聽不相干語音條件下的重讀率顯著的比安靜閱讀條件下的高。實驗二的不相干語音內容仍是物理學的短文，只是與受試者正在閱讀的文章內容不同。似乎知識領域相同但內容不同的語音，比較容易干擾目標詞的處理，使得回視率增加。

綜合討論

本研究一共進行了兩個實驗，在 5 個閱讀條件下檢視語音對中文母語的大學生閱讀一般論說短文和專業物理學短文時的影響。在實驗一中，語音抑制使得閱讀理解表現明顯的比安靜閱讀時的差，而眼動行為也顯示語音抑制使受試者採取快速瀏覽策略，但伴隨較多的回視，顯示他們在語音轉碼被干擾的情形下，無法仔細閱讀理解文意，因此在最後的閱讀理解測驗表現較差。研究結果指向中文母語的大學生閱讀一般論說短文時需要語音轉碼的輔助來達成理解，此結果與丁錦紅與王麗燕（2006）的實驗觀察結果不一致，也不全然支持過往一些閱讀理論認為熟練的讀者不需要透過語音來達成字詞辨識和閱讀理解（Van Orden & Kloos, 2005）。筆者認為本研究使用的語音抑制方式比丁錦紅與王麗燕（2006）所用的方式較為徹底，受試者在每篇文章重複朗誦的雙字詞都不同，不容易形成慣性，因此觀察到顯著的干擾效果。而過往的閱讀理論很少取得閱讀理解層次的證據，多數

集中在字詞辨識的探討，比較的對象多為大人和小孩。過往許多使用語音抑制法的研究，有些可以看到顯著的干擾效應，有些沒有，或許與實驗材料的難度、實驗任務、受試者人數與特質以及測驗的方法不同有關，但不管干擾效應是否顯著，許多研究都觀察到語音抑制有降低閱讀理解的作用。

在實驗二文章較難的情況下，語音抑制卻未使閱讀理解表現顯著的比安靜閱讀的差，似乎中文母語的大學生閱讀專業物理學短文時並不太需要語音轉碼的輔助來達成理解，此結果也與過往一些研究主張困難文章比簡單文章更需要語音轉碼輔助來達成理解的論點相抵觸（Sadoski & Paivio, 2013）。這個看似也與實驗一抵觸的結果，可以從受試者答題正確率獲得一些解釋：兩種背景的受試者在語音抑制條件下的答題正確率（無背景：71%；有背景：78%）其實仍低於安靜閱讀時的（無背景：76%；有背景：83%），只是差距未達統計顯著性。由於文章較為困難，使得實驗二受試者的答題正確率也不如實驗一受試者在語音抑制（79%）和安靜閱讀條件下的答題正確率（85%）。從答題正確率可看出在實驗二安靜閱讀條件下的閱讀理解表現變差的程度較大，因此縮小了語音抑制和安靜閱讀之間在實驗二的差異。但語音抑制為何沒在文章困難時造成更大的負面效果呢？筆者認為與實驗一不同之處在於實驗二受試者沒能採取快速瀏覽的方式閱讀。雖然他們的眼跳距離仍然較長，但平均凝視時間也比安靜閱讀的長，而回視率則跟安靜閱讀時的一樣（都高達 47%），顯示文章難度較高時，他們無法短暫凝視一處就能理解文意，所以一樣需要經常回視，並且因為語音較難激活，必須在凝視點停留比較久的時間才能達成理解。值得注意的是，對照受試者在語音抑制條件下於專有名詞上的注視時間、重讀時間和總閱讀時間，發現不管他們是否有背景知識，這三個眼動指標測量值都比安靜閱讀條件下的短。有背景知識的受試者因為大多熟悉這些名詞，當然不必特別關注這些名詞，但為何沒知識背景者也沒花較多時間閱讀這些不熟悉專有名詞呢？這樣結果與其他學者觀察的現象並不一致（Jian & Ko, 2014; McCusker et al., 1981; Sadoski & Paivio, 2013）。首先，過往學者的觀察是在安靜情況下進行的，與本實驗的語音抑制條件不同。而筆者認為此現象合理的解釋是因為他們對專有名詞感到陌生，在語音抑制干擾下，注視這些專有名詞本身再久也無法理解它們的意義，畢竟真正相關的訊息其實存在於上下文中，所以那些受試者寧可專注閱讀上下文以求理解，故而使得整體的平均凝視時間還是比安靜閱讀時的長。

逐字朗讀雖可確保受試者閱讀時都進行了語音轉碼歷程，然而不管文章難度和受試者是否有背景知識，本研究結果顯示逐字朗讀都不能有效提升閱讀理解表現，僅對字詞辨識有些許的好處，此結果與官英華（2015）和 Guan（2020）的發現一致。筆者認為逐字朗讀不能提升困難文章的理解是因為閱讀理解不單是辨識字詞而已，更重要的是能整合文章中各句子的意義。遇到涉及專業知識的文章時，語音固然有利於字詞辨識和維持所讀訊息暫存於工作記憶中，但若沒有足夠的背景知識，單靠朗讀仍不足以顯著的提升理解。

聽文章語音不能有效提升閱讀理解，此結果與官英華（2015）和 Guan（2020）的發現也一致。由於文章語音的速度雖符合一般人說話的速度，但仍比安靜閱讀時的眼動速度慢很多，為了減少內部語音轉碼和外語音速度不協調造成的干擾，因此可以觀察到受試者為了配合外在語音速度而調慢眼動的行為。而聽文章語音不能有效提升理解的原因則與前段所述，逐字朗讀未能提升理解的原因相同。聽不相干語音的干擾較不明顯，此結果也與官英華（2015）和 Guan（2020）的發現一致。在本研究中，不相干語音的干擾作用僅出現在閱讀專業短文時的詞層次眼動行為中，對閱讀理解並無任何影響力。

總結來說，在閱讀一般不需專業背景知識的文章時，語音對中文母語者的字詞辨識和閱讀理解有積極輔助的作用，倘若語音轉碼歷程被強烈地干擾，讀者仍可在降低語音轉碼使用的情況下達成一定程度的閱讀理解，但是理解表現通常較差。而閱讀涉及專業知識的文章時，讀者的背景知識才是影響閱讀理解表現的關鍵因素。畢竟影響閱讀理解的因素有很多，語音對閱讀理解的影響主要侷限在由下往上的訊息處理歷程，但對閱讀理解來說，背景知識則是由上往下地主導了專業文章的閱讀理解表現。

筆者認為語音轉碼的使用並非是全有全無，讀者在閱讀時，隨著閱讀目的和注意力的分配可以自主調控語音轉碼使用的多寡。未來的研究如果能結合腦神經科學技術觀察人們在閱讀不同文體的文章以及在速讀、聽讀和語音抑制等閱讀理解歷程中語音激活的情況有何不同，相信可以更加釐清語音在閱讀理解中的作用。

參考文獻

- 丁錦紅、王麗燕 (2006) : 語音回路與閱讀理解關係的眼動研究。心理學報, 38(5), 694–701。[Ding, J.-H., & Wang, L.-Y. (2006). Relations between phonological loop and reading comprehension: An eye movements study. *Acta Psychologica Sinica*, 38(5), 694–701.]
- 李俊仁、柯華葳 (2009) : 台灣學生聲韻覺識作業之聲韻表徵運作單位。教育心理學報, 41(1), 111–124。https://doi.org/10.6251/bep.20081117 [Lee, J.-R., & Ko, H.-W. (2009). Phonological representation unit in the phonological awareness task among Taiwanese students. *Bulletin of Educational Psychology*, 41(1), 111–124. https://doi.org/10.6251/bep.20081117]
- 官英華 (2015) : 檢視語音轉碼在英語為外語閱讀歷程中扮演的角色。英語教學期刊, 39(3), 107–140。https://doi.org/10.6330/etl.2015.39.3.05 [Guan, Y.-H. (2015). Investigating the role of phonological recoding in English-as-a-foreign-language reading processes. *English Teaching & Learning*, 39(5), 107–140. https://doi.org/10.6330/etl.2015.39.3.05]
- 官英華 (2020) : 以眼動實驗探索歐美、日本與臺灣大學生閱讀漢字詞時, 利用字形、字音線索的差異。華語文教學研究, 17(2), 91–129。[Guan, Y.-H. (2020). Using eye-tracking experiment to explore European, Japanese and Taiwanese students' processing of phonological and orthographic cues in Chinese disyllabic morphemes. *Journal of Chinese Language Teaching*, 17(2), 91–129.]
- 陳惠茹、張鑑如 (2011) : 指讀及文字討論之共讀方式對幼兒認字的影響。教育心理學報, 43(2), 377–396。https://doi.org/10.6251/bep.20100611 [Chen, H.-J., & Chang, C.-J. (2011). Effects of print referencing in joint storybook reading on preschoolers' word recognition. *Bulletin of Educational Psychology*, 43(2), 377–396. https://doi.org/10.6251/bep.20100611]
- 魯忠義、張亞靜 (2007) : 工作記憶中的語音回路對漢語閱讀理解的影響。心理學報, 39(5), 768–776。[Lu, Z.-Y., & Zhang, Y.-J. (2007). The effects of phonological loop of the working memory in Chinese reading. *Acta Psychologica Sinica*, 39(5), 768–776.]
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390–412. https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005
- Baddeley, A. D. (1997). *Human memory: Theory and practice* (Rev. ed.). Psychology Press.
- Baddeley, A., & Salamé, P. (1986). The unattended speech effect: Perception or memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(4), 525–529. https://doi.org/10.1037/0278-7393.12.4.525
- Barron, R. W. (1986). Word recognition in early reading: A review of the direct and indirect access hypotheses. *Cognition*, 24(1–2), 93–119. https://doi.org/10.1016/0010-0277(86)90006-5
- Beck, I. L., & McKeown, M. G. (2001). Text talk: Capturing the benefits of read aloud experiences for young children. *The Reading Teacher*, 55(1), 10–20.
- Bernhart, E. B. (1983). Three approaches to reading comprehension in intermediate German. *The Modern Language Journal*, 67(2), 111–115. https://doi.org/10.1111/j.1540-4781.1983.tb01478.x

- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 26(2), 211–243. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- Chen, H.-C., d'Arcais, G. B. F., & Cheung, S.-L. (1995). Orthographic and phonological activation in recognizing Chinese characters. *Psychological Research*, 58(2), 144–153. <https://doi.org/10.1007/BF00571102>
- Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 15(1), 17–31. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(76\)90003-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(76)90003-7)
- Coltheart, M. (2000). Dual routes from print to speech and dual routes from print to meaning: Some theoretical issues. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 475–490). Elsevier Science Ltd.
- Coltheart, M., & Coltheart, V. (1997). Reading comprehension is not exclusively reliant upon phonological representation. *Cognitive Neuropsychology*, 14(1), 167–175. <https://doi.org/10.1080/026432997381655>
- Coltheart, V., Avons, S. E., & Trollope, J. (1990). Articulatory suppression and phonological codes in reading for meaning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 42(2), 375–399. <https://doi.org/10.1080/14640749008401227>
- Cook, V., & Bassetti, B. (2005). An introduction to researching second language writing systems. In V. Cook & B. Bassetti (Eds.), *Second language writing systems* (pp. 1–70). Multilingual Matters Ltd.
- Cunnings, I. (2012). An overview of mixed-effects statistical models for second language researchers. *Second Language Research*, 28(3), 369–382. <https://doi.org/10.1177/0267658312443651>
- Daneman, M., & Newson, M. (1992). Assessing the importance of subvocalization during normal silent reading. *Reading and Writing*, 4(1), 55–77. <https://doi.org/10.1007/BF01027072>
- Diao, Y., & Sweller, J. (2007). Redundancy in foreign language reading comprehension instruction: Concurrent written and spoken presentations. *Learning and Instruction*, 17(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.11.007>
- Dwyer, M. A. (1983). Some strategies for improving reading efficiency. *FORUM*, 12(3), 5–10.
- Eiter, B. M., & Inhoff, A. W. (2010). Visual word recognition during reading is followed by subvocal articulation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 457–470. <https://doi.org/10.1037/a0018278>
- Elbro, C. (2018). Knowledge-based inference making for reading comprehension: what to teach and what not. *Bulletin of Educational Psychology*, 49(4), 701–713. [https://doi.org/10.6251/bep.201806_49\(4\).0009](https://doi.org/10.6251/bep.201806_49(4).0009)
- Elliott, E., Barrilleaux, K., & Cowan, N. (2006). Individual differences in the ability to avoid distracting sounds. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18(1), 90–108. <https://doi.org/10.1080/09541440500216044>
- Fabozzi, F. J., Focardi, S. M., Rachev, S. T., & Arshanapalli, B. G. (2014). Appendix E: Model selection criterion: AIC and BIC. *The basics of financial econometrics: Tools, concepts, and asset management*

- applications* (pp. 399–403). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118856406.app5>
- Gerbier, E., Bailly, G., & Bosse, M.-L. (2018). Audio-visual synchronization in reading while listening to texts: Effects on visual behavior and verbal learning. *Computer Speech and Language, 47*, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2017.07.003>
- Gibson, S. (2008). Reading aloud: A useful learning tool? *ELT Journal, 62*(1), 29–36. <https://doi.org/10.1093/elt/ccm075>
- Glen, S. (2015, July 14). *Box Cox transformation*. <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/box-cox-transformation/>
- Guan, Y.-H. (2020). Exploring the effects of phonological processing on foreign-language reading: An eye-tracking study for Chinese learners of Japanese-as-a-foreign-language. *Bulletin of Educational Psychology, 51*(3), 483–504. [https://doi.org/10.6251/bep.202003_51\(3\).0007](https://doi.org/10.6251/bep.202003_51(3).0007)
- Guo, T., Peng, D., & Liu, Y. (2005). The role of phonological activation in the visual semantic retrieval of Chinese characters. *Cognition, 98*(2), B21–B34. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.02.004>
- Hanley, J. R., & Bakopoulou, E. (2003). Irrelevant speech, articulatory suppression, and phonological similarity: A test of the phonological loop model and the feature model. *Psychon Bull Rev, 10*(2), 435–444. <https://doi.org/10.3758/bf03196503>
- Holmes, B. C. (1985). The effect of four different modes of reading on comprehension. *Reading Research Quarterly, 20*(5), 575–585. <https://doi.org/10.2307/747944>
- Huang, L. (2010). Reading aloud in the foreign language teaching. *Asian Social Science, 6*(4), 148–150. <https://doi.org/10.5539/ass.v6n4p148>
- Inhoff, A. W., Connie, C., Eiter, B., Radach, R., & Heller, D. (2004). Phonological representation of words in working memory during sentence reading. *Psychon Bull Rev, 11*(2), 320–325. <https://doi.org/10.3758/bf03196577>
- Jared, D., Levy, B. A., & Rayner, K. (1999). The role of phonology in the activation of word meanings during reading: Evidence from proofreading and eye movements. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 219–264. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.128.3.219>
- Jian, Y.-C., & Ko, H.-W. (2014). Investigating the effects of background knowledge on Chinese word processing during text reading: Evidence from eye movements. *Journal of Research in Reading, 37*(S1), S71–S86. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2012.01534.x>
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1993). Irrelevant tones produce an irrelevant speech effect: Implications for phonological coding in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*(2), 369–381. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.2.369>
- Kailani, Z. (1998). Reading aloud in EFL revisited. *Reading in a Foreign Language, 12*(1), 281–294. <https://doi.org/10.125/66963>
- Lane, H. B., & Wright, T. L. (2007). Maximizing the Effectiveness of Reading Aloud. *The Reading Teacher, 60*(7), 668–675. <https://doi.org/10.1598/rt.60.7.7>
- Larsen, J. D., & Baddeley, A. (2003). Disruption of verbal STM by irrelevant speech, articulatory

- suppression, and manual tapping: Do they have a common source? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 56(8), 1249–1268. <https://doi.org/10.1080/02724980244000765>
- Leinenger, M. (2014). Phonological coding during reading. *Psychological Bulletin*, 140(6), 1534–1555. <https://doi.org/10.1037/a0037830>
- Linck, J. A., & Cunnings, I. (2015). The utility and application of mixed-effects models in second language research. *Language Learning*, 65(S1), 185–207. <https://doi.org/10.1111/lang.12117>
- Lukatela, G., & Turvey, M. T. (1994). Visual lexical access is initially phonological: I. Evidence from associative priming by words, homophones, and pseudo-homophones. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 107–128. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.2.107>
- Martin, R. C., Wogalter, M. S., & Forlano, J. G. (1988). Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of Memory and Language*, 27, 382–398. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(88\)90063-0](https://doi.org/10.1016/0749-596X(88)90063-0)
- McCusker, L. X., Hillinger, M. L., & Bias, R. G. (1981). Phonological recoding and reading. *Psychological Bulletin*, 89, 217–245. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.2.217>
- Norris, D., Butterfield, S., Hall, J., & Page, M. P. A. (2018). Phonological recoding under articulatory suppression. *Memory & Cognition*, 46(2), 173–180. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0754-8>
- Oswald, C. J., Tremblay, S., & Jones, D. M. (2000). Disruption of comprehension by the meaning of irrelevant sound. *Memory*, 8(5), 345–350. <https://doi.org/10.1080/09658210050117762>
- Paap, K. R., Noel, R. W., & Johansen, L. S. (1992). Dual-route models of print to sound: Red herrings and real horses. In R. Frost & L. Katz (Eds.), *Orthography, phonology, morphology, and meaning* (pp. 293–318). North Holland.
- Pan, J., Yan, M., Laubrock, J., & Shu, H. (2019). Lexical and sublexical phonological effects in Chinese silent and oral reading. *Scientific Studies of Reading*, 23(5), 403–418. <https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1583232>
- Perfetti, C. A., Zhang, S., & Berent, I. (1992). Reading in English and Chinese: Evidence for a “universal” phonological principle. In R. Frost & L. Katz (Eds.), *Orthography, phonology, morphology, and meaning* (Vol. 94, pp. 227–248). Elsevier Science.
- Perfetti, C. A., Cao, F., & Booth, J. (2013). Specialization and universals in the development of reading skill: How Chinese research informs a universal science of reading. *Scientific Studies of Reading*, 17(1), 5–21. <https://doi.org/10.1080/10888438.2012.689786>
- Perfetti, C. A., Liu, Y., & Tan, L. H. (2005). The lexical constituency model: Some implications of research on Chinese for general theories of reading. *Psychol Rev*, 112(1), 43–59. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.112.1.43>
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T. J., & Ashby, J. (2006). Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. *Scientific Studies of Reading*, 10(3), 241–255. <https://doi.org/10.1080/10888438.2006.10855555>

- org/10.1207/s1532799xssr1003_3
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton, C., Jr. (2012). *Psychology of reading* (2nd ed.). Psychology Press.
- Rayner, K., Pollatsek, A., & Binder, K. S. (1998). Phonological codes and eye movements in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(2), 476–497. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.2.476>
- Sadoski, M., & Paivio, A. (2013). *Imagery and text: A dual coding theory of reading and writing* (2nd ed.). Routledge.
- Shen, D., & Forster, K. I. (1999). Masked phonological priming in reading Chinese words depends on the task. *Language and Cognitive Processes*, 14(5–6), 429–459. <https://doi.org/10.1080/016909699386149>
- Sörqvist, P., Halin, N., & Hygge, S. (2010). Individual differences in susceptibility to the effects of speech on reading comprehension. *Applied Cognitive Psychology*, 24(1), 67–76. <https://doi.org/10.1002/acp.1543>
- Swanson, E., Wanzek, J., Petscher, Y., Vaughn, S., Heckert, J., Cavanaugh, C., Kraft, G., Tackett, K. (2011). A synthesis of read-aloud interventions on early reading outcomes among preschool through third graders at risk for reading difficulties. *J Learn Disabil*, 44(3), 258–275. <https://doi.org/10.1177/0022219410378444>
- Taft, M., & Van Graan, F. (1998). Lack of phonological mediation in a semantic categorization task. *Journal of Memory and Language*, 38(2), 203–224. <https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2538>
- Takeuchi, O., Ikeda, M., & Mizumoto, A. (2012). Reading aloud activity in L2 and cerebral activation. *RELC Journal*, 43(2), 151–167. <https://doi.org/10.1177/0033688212450496>
- Tan, L.-H., Hoosain, R., & Peng, D.-L. (1995). Role of early presemantic phonological code in Chinese character identification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 43–54. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.1.43>
- Toh, S. C., Munassar, W. A., & Yahaya, W. A. (2010). Redundancy effect in multimedia learning: A closer look. In C. H. Steel, M. J. Keppell, P. Gerbic, & S. Housego (Eds.), *Proceedings ascilite Sydney 2010* (pp. 988–998). The University of Queensland.
- Traxler, M. J., & Gernsbacher, M. A. (Eds.). (2006). *Handbook of psycholinguistics* (2nd ed.). Elsevier.
- Van Orden, G. C., Johnston, J. C., & Hale, B. L. (1988). Word identification in reading proceeds from spelling to sound to meaning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(3), 371–386. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.14.3.371>
- Van Orden, G. C., & Kloos, H. (2005). The question of phonology and reading. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The science of reading: A handbook* (pp. 61–78). Blackwell.
- Verlaan, W., & Ortlieb, E. (2012). Improving struggling adolescent readers' comprehension through the use of digital audio recordings. In J. Cassidy, S. Grote-Garcia, E. Martinez, & R. Garcia (Eds.), *What's hot in literacy 2012 yearbook: A combined yearbook of the specialized literacy professionals*

- and Texas association for literacy education (TALE) (pp. 30–36). http://www.texasreaders.org/uploads/8/6/6/5/8665759/literacy_summit_yearbook_2012_-_final.pdf
- Woodall, B. (2010). Simultaneous listening and reading in ESL: Helping second language learners read (and enjoy reading) more efficiently. *TESOL Journal*, 1(2), 186–205. <https://doi.org/10.5054/tj.2010.220151>
- Zhang, S., & Perfetti, C. A. (1993). The tongue-twister effect in reading Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1082–1093. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.5.1082>
- Zhou, X., & Marslen-Wilson, W. (2000). The relative time course of semantic and phonological activation in reading Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1245–1265. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.5.1245>

收稿日期：2020年04月29日
一稿修訂日期：2020年06月29日
二稿修訂日期：2020年07月22日
三稿修訂日期：2020年08月10日
四稿修訂日期：2020年08月13日
接受刊登日期：2020年08月17日

Bulletin of Educational Psychology, 2020, 52(2), 459–488
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R O.C.

The Effects of Phonological Recoding on Taiwanese Students' Reading Processes: Evidence from Eye-Tracking Experiments

Ying-Hua Guan

Department of Chinese as a Second Language
National Taiwan Normal University

Phonological recoding is a psychological process in which readers convert printed words into sounds (i.e., phonological codes) during silent reading. The role of phonological recoding in reading has long been debated in the field of psycholinguistics. Most relevant studies have mainly focused on examining the role of phonological recoding in word recognition. Three major theoretical approaches have been proposed for lexical access. First, the phonological mediation model assumes that the meaning of a word is accessed through its phonology; that is, the sequence of the word recognition process is orthography phonology semantics. Phonological recoding of a word occurs prior to the access of its meaning (Lukatela & Turvey, 1994; Rayner, Pollatsek, & Binder, 1998; Van Orden, Johnston, & Hale, 1988). Second, the direct access route model assumes that the meaning of a word can be directly accessed through the transition from orthography to semantics without the mediation of phonology (M. Coltheart & Coltheart, 1997; Taft & Van Graan, 1998). The model, however, does not deny the possibility of phonological activation. Rather, it assumes that phonological recoding occurs concurrently to or later than the access of the word's meaning. Third, the dual route model suggests that two parallel running routes can achieve lexical access: one is the phonologically mediated route, and the other is the direct access route (M. Coltheart, 2000). The route that achieves lexical access depends on the route that runs the fastest (Barron, 1986; Paap, Noel, & Johansen, 1992). McCusker, Hillinger, and Bias (1981) indicated that the difficulty of material, subjects' reading fluency, the frequency of occurrence of items, and task demands can determine the use of phonological recoding.

Chinese is a logographic language and is also regarded as a phonologically opaque one. Nevertheless, studies investigating the time course of phonological activation in Chinese word recognition have yielded inconsistent results. Although some evidence has suggested that phonology can be activated very early in the word recognition process when Chinese readers read Chinese words or sentences (Guo, Peng, & Liu, 2005; Tan, Hoosain, & Peng, 1995; Zhang & Perfetti, 1993), it remains controversial whether phonological recoding plays a crucial role in word recognition and text comprehension. Few studies have measured Chinese subjects' reading comprehension under the condition of articulatory suppression, which has been proven to interfere with phonological recoding (Lu & Zhang, 2007; Ding & Wang, 2006). However, the results of such studies have been inconsistent, and whether phonological recoding is important for Chinese text comprehension remains unclear.

This study conducted two eye-tracking experiments by using the same experimental paradigm implemented by Guan (2015, 2020) to investigate whether adult Chinese readers need to rely on phonological recoding to understand short expository texts and also whether readers without the background knowledge relevant to domain-specific texts must rely more on phonological recoding to comprehend them. In Experiment 1, 30 university students in Taipei were recruited whose mother tongue was Mandarin Chinese. They were asked to read 20 short expository texts (each one was 350 characters in length) under five

different reading conditions: articulatory suppression, reading aloud, concurrent reading and listening to an irrelevant text (IRS), reading while listening to the same text (RWL), and silent reading. The topics of the texts included, for example, “advice for new graduates when entering workforce,” “the impact of 3C products on human cognition,” “water pollution,” “the color of eggs,” “the crisis of water resources,” “the function of sun light,” “the philosopher and the frog,” “Mr. thought,” “experiment with monkeys,” “the stereotypes of teachers in Taiwan,” and “the influences of watching TV on small children.” Subjects’ reading time and comprehension score for each text as well as their eye movements were recorded, which were then analyzed by several linear or generalized linear mixed models to find the best fitting model for each dependent variable. The results revealed that articulatory suppression significantly impaired reading comprehension and caused a larger regression ratio in text reading as well as a higher rereading rate on target words, whereas the effects of the other reading conditions on comprehension did not differ from each other. These results suggest that phonological recoding is essential for Chinese expository text comprehension and word recognition. Reading aloud, compared with silent reading, significantly increased the overall reading time, mean fixation duration, and number of fixations in a text but substantially reduced the mean saccade length and regression ratio. In word-level processing, reading aloud led to a much longer first fixation duration, gaze duration, rereading time, and total reading time on target words selected in the texts. Through word-by-word reading, reading aloud seemed to facilitate integrated sentence meaning, but it failed to significantly enhance overall reading comprehension. Moreover, RWL caused higher rereading rates on target words than did silent reading, and it did not improve reading comprehension. In line with results found under the reading aloud condition, the null effects of reading aloud and RWL on reading comprehension could indicate that both reading conditions make the covert phonological recoding during silent reading overt and therefore imposed similar effects on reading comprehension to those exerted by the phonological recoding in silent reading.

Experiment 2 was conducted to further examine whether subjects’ background knowledge regarding the text content would moderate their reliance on phonological recoding in understanding domain-specific texts, such that subjects without much background knowledge would rely more on phonological recoding in the processing of unfamiliar terms and text content. To this end, 15 excerpts from journal articles in *Scientific American* were used as experimental materials. The topics of these texts were all about physics, such as the Higgs boson, quantum computing, loop quantum gravity, antimatter, charge-coupled devices, and 3He superfluid. The same experimental paradigm as in Experiment 1 was used in Experiment 2, and a different sample of 30 university students in Taipei were recruited as participants. Half majored in humanities and social sciences and had no background knowledge in physics. The other half of the students majored in natural sciences, such as physics, atmospheric physics, and materials science; therefore, they had background knowledge in physics.

Participants were asked to read the texts and answer four comprehension questions after reading each text. The results revealed that only background knowledge had a significant effect on reading comprehension, whereas reading conditions and their interaction with background knowledge did not exhibit any significant effects. Participants with relevant background knowledge performed significantly better than did their counterparts. However, background knowledge did not moderate participants’ dependency on phonological recoding in reading comprehension. It seems that phonological recoding did not play a crucial role in understanding short domain-specific texts. Analysis of participants’ eye movements indicated that reading aloud could slow their reading speed and reduce their regression ratio, but it did not enhance reading comprehension. RWL increased the rereading rate on target words in short expository texts, and it increased reading time and the mean fixation duration in domain specific texts. IRS did not affect comprehension performance; it only increased the rereading rate on domain-specific target words and prolonged the first fixation duration for participants without relevant background knowledge.

In sum, the results of this study suggest that phonological recoding provides critical support for Chinese adult readers to comprehend short expository texts, but it only plays a minor role in understanding domain-specific texts. When participants read domain-specific texts, it was their background knowledge that dominated their reading comprehension performance.

Keywords: Chinese reading, eye-movement experiments, phonological recoding