特殊教育季刊　民102年6月　第127期　第23-31頁
Doi: 10.6217/SEQ.2013.127.23-31

雙語字詞辨識：行為、發展、認知神經科學及特殊教育之整合性觀點

林昱成*
美國德州大學心理系博士候選人

林沛穎
加拿大薩斯卡其萬大學
教育心理暨特殊教育系助理教授

摘　要

本文旨在回顧與評析中、英文兒童字詞辨識的腦顯影與眼球移動研究，以期有系統的描繪出不同閱讀文字系統兒童的認知歷程與大腦運作情形。同時，本文也對未來研究的可行方向提出建言，並討論認知神經科學研究對教育上的意義。

關鍵詞：字詞辨識、雙語、認知神經科學、特殊教育

Bilingual Word Recognition: An Interdisciplinary View from Behavioral, Developmental, Cognitive Neuroscience, and Special Education Perspectives

Yu-Cheng Lin*
Doctoral Candidate,
University of Texas at El Paso,
USA

Pei-Ying Lin
Assistant Professor,
Department of Educational
Psychology and Special Education,
University of Saskatchewan, Canada

Abstract

The purpose of this review was to investigate the developmental changes in Chinese-English bilingual children's word recognition. Moreover, we provided some constructive suggestions and plausible research directions to future researchers. Educational implications for cognitive studies in bilingual reading were also discussed.

Keywords: word recognition, bilingual reading, cognitive neuroscience, special education

* 本文以林昱成(yclinpsy@gmail.com)為通訊作者。

壹、前言

閱讀，是人人必備的重要基本技能之一，在現今社會中，閱讀是個體的主要學習管道，舉凡食衣住行、課業學習、傳達訊息，無不依賴閱讀技能，也唯有透過閱讀理解，我們才能將書中文字或圖片所傳達的訊息與知識加以轉化和吸收，進而豐富我們的視野和觀念。閱讀也是一種複雜的心智活動，更是在這個社會中生存的必要條件(Rayner & Pollatsek, 1994)。缺乏閱讀能力，猶如魚離開水，實在難以適應現代生活。對於具有讀寫能力的成人而言，閱讀似乎是如此的簡單、自然、毫不費力與自動化，然而，對於許多兒童而言，閱讀是一種需要額外心力來學習的認知技能(Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky & Seidenberg, 2002)，特別是對有需要學習多種語言或兩種語言的學童而言，閱讀是一個需要長期努力學習的目標。

有鑒於現階段臺灣教育當局，為了落實國際化的政策與提高國際競爭力，正大力推動各個階段的英語教育，如教育部從九十學年度起，便將英語教學正式納為國小語文課程中的一部分。此外，更於九十四學年度起將英語教學提前至國小三年級開始實施（教育部，2004），其中也包含特殊教育學生。由此可知，從小實施英語教學將是我國未來語言學習的一種趨勢。如果說閱讀能力相當於一個國家未來的競爭力或反映出該國的教育品質，那麼瞭解雙語閱讀能力的本質與造成閱讀困難的認知致因與腦神經生理因素，藉以找出有效提升雙語閱讀能力的閱讀方式或教學，自然是當前教育研究者的重點工作。

過往學界對於探討閱讀認知歷程的研究方法很多，如採用晤談、放聲思考，或以行為實驗中常用的指標，如反應時間與反應正確率來推測或解釋讀者的內在歷程與語言處理的機制。目前在閱讀研究的領域中，越來越受到關注的是運用跨領域分進合擊的方式(converging methods)，以傳統行為與教育測驗搭配認知神經科學儀器，如：近紅外光腦血流分析儀（near infrared spectroscopy，簡稱NIRS）、眼睛移動追蹤儀(eye tracker)、腦電位波事件關聯電位(Electroencephalography, EEG/Event-Related Potential, ERP)、腦磁儀(Magnoencephalography, MEG)，及功能性腦磁振造影(Functional Magnetic Resonance Tomography, fMRI)來探究讀者內在的心智歷程。這些新技術使得研究者能夠捕捉人腦在從事閱讀時的線上(on-line)即時影像，檢視不同生理層次分析（如基因、神經元突觸或大腦皮質）的神經機制，並將語言功能對應於人類的大腦結構(Poldrack & Sandak, 2004; Tan & Siok, 2006)。同時，也使得研究者能夠更進一步去探究、描述與解釋影響正常閱讀和閱讀困難（或閱讀障礙）閱讀歷程的潛在致因(Breznitz, 2005; Shaywitz, Shaywitz, & Mody, 2006)。

誠如學者Uta Frith (2001)所言，研究兒童的閱讀除了從行為層面來探討外，也應該從認知、發展、神經科學、特殊教育等多元的觀點來研究。有鑒於此，本文將從行為、發展以及認知神經科學的整合性角度出發，對兒童雙語閱讀的認知歷程進行探索，並討論中、英文雙語的神經機制，同時闡述認知神經學研究對教育上的意義，便有其必要性。過往研究對於閱讀的大腦神經機制與眼動行為，已經累積了相當豐碩的實徵研究成果（特別是在字詞辨識方面），故以下茲對中、英字詞辨識的功能性磁振造影與眼動研究作個概述。

貳、閱讀的神經機制

一、英文閱讀的神經機制

近年來，研究者對於拼音文字字詞辨識

的腦顯影研究指出，英文讀者在進行閱讀時主要運用到三個特定左半腦區(Shaywitz, Shaywitz, & Mody, 2006)：前端的額下葉（inferior frontal gyrus，即Broca區，主要負責字音處理）、後端的顳頂葉（parieto-temporal，主要負責字義的分析）與顳枕葉（occipito-temporal，又可稱為視覺字形區visual word form area，簡稱VWFA，主要負責字形辨識）。又從先前的英文腦造影研究中已得知，局部特化功能較為確定的區域為左顳枕葉(Bolger, Perfetti, & Schneider, 2005; Cohen, Dehaene, Naccache, Lehericy, Dehaene-Lambertz, Henaff, & Michel, 2000)。此區主要功能是在辨識字詞與似字的字母串(Perfetti, Liu, & Tan, 2005)。Pugh等人（2001）更進一步將左顳枕葉稱為「閱讀中樞」(reading skill area)，因為相較於正常閱讀者，閱讀障礙者(dyslexics)於此區域出現較弱的活化現象。除左顳枕葉外，左顳頂葉也被認為在英文兒童的閱讀習得中扮演了一個相當重要的角色，即與音韻處理（如音素分析）以及字形對應至語音的音韻單位（形音轉換）等兩大認知過程有關。

二、中文閱讀的神經機制

過去已有許多研究，試著找尋對中文字詞辨識有貢獻的皮質區域，並加以推論中文閱讀所涉及的神經機制。其中所得到的一個普遍的結論是：中文讀者與英文讀者存在一個共通的生理基礎，即不同語言文字閱讀活化的大腦區域有高度重疊性。儘管如此，現今仍有部份學者認為此大同之中存有小異。例如：Tan等人（2001）探究中文語意神經基礎的fMRI研究發現：語意判斷作業所激發的腦血流活化高峰(peak)位於左額中葉(BA9)，而次級活化的腦區則位於左前額下葉雙側溝(BA45/47)和雙側額葉(BA10)。在同一研究中，Tan等人（2001）對中文讀者的語音神經機制進一步探究也發現：同音字判斷作業所激發的活化高峰同樣位於左中額葉(BA9)，而雙側中下額葉(bilateral infero-middle prefrontal cortex，BA44/45和BA47/10)與左中額葉(left medial prefrontal, BA11)則產生較弱的活化，並明顯地呈現左腦側化的現象。因此，上述的研究者推論：閱讀中文字時大腦的活動高峰可能位於左中額葉回（即left middle frontal gyrus，簡稱LMFG）(Tan et al., 2000; Tan et al., 2001)，此外，此腦區的功能也被認為與讀者進行中文字詞閱讀時必須運用大量的認知資源和工作記憶有關(Siok, Niu, Jin, Perfetti, & Tan, 2008)。然而，有趣的是LMFG區對於英文母語者而言，無論是在語音或語意判斷等英文字詞辨識作業上，均沒有涉及高度活化的現象(Tan & Siok, 2006)。

三、中英雙語的神經機制

雖然過去已有許多研究探討中英雙語者的中文閱讀的大腦機制，但實際上，較少數研究針對第二語言（英文）不同閱讀能力的雙語者進行探究。例如：Cao, Tao, Liu, Perfetti和Booth (in press)針對北京的中英雙語成人讀者進行研究發現：中、英文雙語讀者在閱讀英文字詞時，仍運用中文字詞閱讀的神經迴路來處理英文。而英文閱讀能力越高的讀者，其中文字詞的閱讀神經迴路產生越大的活化。對雙語兒童讀者而言，Tan (2011)對十歲的中英雙語兒童進行縱貫性追蹤研究發現，左腦視覺字形—尾狀核區(fusiform-caudate)的活化程度可有效地預測一年後英文的閱讀能力。然而，美中不足的是，這個研究無法告訴我們此閱讀中心(visual word form area)不同程度的激發是否取決於年齡增長或是不同閱讀能力的影響，迄今這個問題，目前還沒有得到一個明確的答案。此外，在形音對應方面，由於英文和中文文字系統表徵口語語言中語音各有明顯不同。例如：

每個中文字對應的是音節的層次，英文中音素的部份，因此對於中英雙語讀者而言，此形音的對應關係究竟置於哪個語言層次單位上，以及跨語言文字系統的共同生物基礎為何，都有待進一步探究。

就個別差異的角度來看，Siok等人（2004）與Siok等人（2008）究中文閱讀障礙兒童在左腦額中葉回(left middle frontal gyrus)結構（中文閱讀障礙兒童該區的灰質量相對於正常閱讀能力兒童較少）與功能上（進行閱讀作業時的活化程度）發現異常的結果，進而主張左腦額中葉是中文兒童閱讀中心(fluent readingcenter)，在近來引起了學界的一些爭議與質疑。例如：左腦額中葉在中文閱讀的神經迴路中真有其獨特性嗎？若中文閱讀缺陷主要是與額中葉功能受損有關，那西方研究普遍認同的英文閱讀中樞：左顳頂葉與顳枕葉，又在中文閱讀中扮演甚麼樣的角色呢？從雙語閱讀的角度而言，中文閱讀的大腦生理機制真的有別於英文閱讀的神經迴路嗎？無法找到閱讀共同的腦區會不會只是跟實驗者使用不同語文作業的語言層次（例如：中文著重音節結構而英文著重音素）或作業負荷(task demand)有關，而非真實反映出雙語閱讀的共同本質？因此，近年來，雖然學界對中文閱讀障礙的認知成份的研究大有進展，但是對於中文閱讀障礙的神經心理成因，迄今仍無一致性的解釋。

參、閱讀歷程中的眼球運動

一、眼動追蹤技術在教育研究上的應用

近年來，隨著眼動追蹤技術的日漸成熟，如今研究者已可透過蒐集閱讀歷程的眼球運動資料，直接觀察與推論讀者在閱讀時的內在訊息處理歷程(Just & Carpenter, 1980)。也由於眼動追蹤技術具有不會干擾到讀者正常閱讀的優勢，已漸受心理語言學界的青睞(Kaakinen, Hyona, & Keenan, 2003)。此外，由於眼動追蹤技術擷取資料的時間點與空間性，相較其他同是擷取閱讀資料的研究技術來得精細，而使研究者能更詳實與精準紀錄讀者的眼球運動資料（柯華葳、陳明蕾、廖家寧，2005）。再者，以傳統紙筆測驗來進行的閱讀研究，通常僅記錄到讀者閱讀該篇文章所需要的時間和理解程度，研究者要對於讀者在閱讀當下所發生的訊息處理進行研究，實屬不易。相對地，眼動技術的優點在於不僅能夠讓研究者持續記錄讀者在理解文句時的眼球運動軌跡與形態，且能藉由分析多樣化的眼動指標（如：眼球在字詞上的凝視次數、時間、位置等細部資訊）來推論不同時間點的訊息處理歷程。正因如此，眼動技術已成為研究者用來了解讀者閱讀能力表現與個體間的差異的另一種重要方式(Rayner & Juhasz, 2004)；如早期的研究指出眼動型態上的差異可被用來區別國小四級年級和五年級的學童，小學生與大學生、閱讀障礙與正常閱讀能力的學童，甚至是研究生與大學教授(Dixon, 1948; Eurich, 1933a, 1933b; Miles & Bell, 1929; Robinson, 1932)。

然而，目前利用眼動追蹤技術來探討閱讀認知歷程的研究，大多以成熟的成人讀者（如：大學生）(Rayner, Chace, Slattery, & Ashby, 2006)，而較少以學齡兒童為主要研究對象(Evans & Sanit-Aubin, 2005; Justice, Skibbe, Canning, & Lankfor, 2005; Rayner, 1999)。尤其，過去大部份的研究主要投入於單語閱讀的探討，較少研究著重雙語閱讀，因此不容易讓研究者瞭解單語兒童在不同認知訊息處理上與雙語兒童的同與異。此外，在個別差異方面，大部份的閱讀研究主要還是集中在一般兒童身上，對於特殊兒童的閱讀認知歷程所知有限。迄今仍鮮少有研究以眼動技術對不同閱讀發展階段的特殊學童的眼動特徵進行全面性探索(Chen & Ko, in press; Radach, Schmitten, Glover, & Huestegge, 2009)。

二、中英文兒童閱讀發展的眼動研究

Taylor (1965)研究英文學童的眼動資料發現：隨著年齡的增加，兒童的眼動形態會跟著變化，包括閱讀每個字詞時的平均凝視時間會漸漸縮短、眼球的移動距離慢慢拉長，回視比率會慢慢減少。同樣地，Taylor, Frackenpohl和Petee (1960)對一萬兩千位國小英文學生進行短文閱讀的眼動研究也發現：在國小階段（開始就學的前六年），其閱讀短文的平均凝視時間與凝視次數會隨著閱讀能力與閱讀技巧的進步而顯著地減少。同時，學者認為這些眼動形態的變化實際上反映出閱讀技巧與年齡的成熟因素，以及語言文字系統的特性(Feng, Miller, Shu, & Zhang, 2009)。故深入瞭解成熟發展因素與不同語言文字組字規則(orthography)(在中文裡，orthography稱為組字規則，中文字(character)由部件組成，而拼音文字由字母組成詞(word))對雙語閱讀的影響，將有利於探究跨語言閱讀的本質與基本認知歷程。

從發展的角度來看：在拼音文字研究方面，早期較有規模的眼動研究主要是以縱貫性研究為主，如McConkie等人（1991）針對200位國小一年級至五年級英文單語學童進行的眼動研究指出：小學一年級的平均凝視時間(Mean Fixation Duration)會從原先的304毫秒降低為五年級的243毫秒，而平均移動的距離(average saccade length)從小學一年級的3.6個字母增加到五年級6.3個字母長度。此外，隨著年齡的增長，學童的回視比率(regression rate)會逐漸減少，而每個詞的未凝視比率(word skipping rate)則有逐漸增加的發展趨勢。Rayner (1986)研究也發現，英文單語國小學生的閱讀知覺廣度(perceptual span)確實比成人讀者小，但已發展出與成人讀者相同，即左窄右寬不對稱的周邊視野訊號處理(parafoveal processing)能力。Haikio, Bertram, Hyona和Niemi (2009)同樣發現閱讀速度較快的讀者其字母辨識廣度(letter identity span)相較於閱讀慢的讀者來的較小。

在中文兒童閱讀發展的眼動研究方面，Feng等人（2009）的研究指出，中國大陸小學三年級與五年級的中文單語學生，其每個詞的平均凝視次數由三年級的2.00次降至五年級1.56次；而平均凝視時間也隨著年級的增加而變短，從三年級的265毫秒減為五年級238毫秒。同樣地，Chen, Song, Lau, Wong和Tang (2003)的研究也發現香港的小學二年級、四年級和六年級的中文兒童其眼球的第一個凝視點的平均凝視時間（First Fixation Duration，即反應讀者提取詞彙意義所需的時間），會隨著年齡的增加與閱讀經驗而逐漸增少，如平均凝視時間由原先的280毫秒（二年級）、253毫秒（四年級）、232毫秒（六年級）逐漸縮短；而順向移動的平均距離(Forward Saccade Length)將由原先的二年級的2.3個字元漸增加至四年級2.6個字元的長度。隨著年齡的增長，除了讀者閱讀能力「量」的改變外，也會影響其「質」的變化，例如：Chen等人（2003）同一研究也發現，字頻(character frequency)相較於詞頻(word frequency)，對小學六年級中文學童產生較大的效應。相反地，詞頻對二年級學童產生的效應卻大過於字頻。相反地，詞頻對二年級學童產生的效應卻大過於字頻。根據這項結果，研究者認為國小六年級學童應以「字」為主要的閱讀單位，而二年級學童應以「詞」為主要的閱讀單位。然而，Rayner (1986)的研究指出，國小四年級的英文單語學童已經發展出與成熟讀者相同的閱讀能力，「詞」是成熟讀者在進行閱讀理解時的基本處理單位。因此，目前的研究仍無法解釋Chen等人（2003）研究結果：為何中文的成熟讀者並不以詞為閱讀的主要單位。再者，雖然Feng等人（2009）與Chen等人（2003）的研究已經大略的描繪出中文單語兒童閱讀的眼動變化型態，但是他們的研究並沒有進一步探討中英雙語兒童的眼動變化情形，以及比較不同語言文字系統間（中文與英文）眼動型態的異同之處，值得將來進一步深入探究。

肆、對未來研究的建議

放眼華語社會，過去對於中英雙語兒童字詞辨識的研究為數不多，尤其對特殊學生為進行的雙語閱讀研究又是屈指可數，多半研究僅是針對一般學童的雙語閱讀能力進行相關研究，或是利用統計迴歸方式來探討何種認知能力能夠有效預測閱讀成就。其中，真正的困難點在於這些認知能力本身，每一項均涵蓋含了多重的認知歷程，因此可能造成研究者無法了解字詞辨識背後所涉及真正的認知歷程，以及不同語言文字系統在閱讀發展過程中大腦運作的模式與特性。基於上述的背景，未來研究也許可以考慮朝以下三大方向繼續努力：（1）利用行為、發展以及認知神經科學跨領域整合的取向探究中英文雙語兒童的閱讀歷程，並分析大腦血流變化與眼動資料，以建立形、音、義表徵能力跟雙語閱讀發展的關係。（2）探討中文、英文字詞辨識處理時，不同閱讀能力對雙語者大腦的形塑，腦中各活化部位對於雙語字詞辨識的必要性，以及這些部位彼此在處理此項功能的時間上及空間上的交互作用。（3）比較不同閱讀能力雙語兒童在進行字詞辨識實驗典範時的眼動變化型態，並找出跨語言閱讀機制與閱讀困難的神經指標，並期盼進一步建立適合中英雙語者的字詞辨識模型。透過這些指標的建立，將可對閱讀發展的大腦運作模式，有重大影響。

伍、認知神經科學研究在特殊教育上的意義

雖然過去許多雙語研究指出（見Bialystok, Craik, Green, & Gollan, 2009文獻回顧），相較於單語者而言，雙語者在執行功能相關的非語言作業上（如Simon作業）有較佳的行為表現（即「雙語者執行功能優勢」，又根據Miyake、Friedman、Emerson、Witzki、Howerter和Wager (2000)研究指出，執行功能主要包含可三種認知功能：工作記憶、抑制功能與心智轉移能力。在Simon作業中，雙語者相對於單語者而言，更能有效率地處理具有衝突屬性的實驗刺激（如迅速化解實驗刺激的空間位置與顏色指示的相互衝突，進而降低受試者的混淆反應）），以及較大的前額葉血氧濃度變化(blood oxygenation level dependent，BOLD)變化。例如：Hernandez, Martinez和Kohnert (2000) fMRI研究發現，相對於英語單語者，英文、西班牙文雙語者在進行不同語言圖片唸名作業轉換時，與執行功能相關的前額背側(dorsolateral prefrontal cortex)產生顯著的活化。然而，有鑒於過往學界對於雙語執行功能的研究仍著重於西方拼音文字的探討（如西班牙文和英文），且較少以不同語系的雙語者（如中、英雙語者）進行研究，而研究對象也多集中於正常受試者，因此，探究雙語閱讀者在執行功能與前額葉上的處理優勢是否也存在於身心障礙者（如中、英雙語閱讀障礙者）身上，即有其研究的重要性。目前，對於英文閱讀障礙者在進行字詞閱讀時所產生大腦血氧變化與眼動型態的探討，雖然已有文獻可供參考，但根據我們的瞭解，中文閱讀障礙者的大腦顯影仍屬少數，特別是針對中、英文雙語閱讀的大腦運作模式，仍付之闕如。因此，如何強化研究者對認知神經科學實驗技術的瞭解，以及提升神經造影實驗設計與資料分析的能力，將成為有心投身於此領域的研究者在進行研究時，不可或缺的能力之一。

另一個與認知神經科學相關的議題，則是這些中、英文閱讀的科學研究成果，是否能深化至閱讀教學實務上，並被用來當成篩選或鑑定閱讀障礙高危險群的工具，仍有待不同領域的研究者進一步檢視與討論。然而，就現階段的研究發現來看，認知神經科學的研究成果也許在某種程度上可以提供教學者及研究人員等在評估不同教學方案成效和使用評量工具時的一個參考依據。在教學實務方面，James (2009) fMRI研究指出，儘

管使用相同的識字教材，不同教育取向的英文字母教學方式可能會對學習者的閱讀神經迴路產生不同的影響。此研究發現，感覺動作組與唸名朗讀組的學前幼兒（約4至5歲），在接受一個月不同取向的字母閱讀教學後，不同組別的幼兒，其梭狀回(fusiform gyrus)血氧濃度明顯產生不同的改變。其中，感覺動作組幼兒的左、右半腦梭狀回血氧濃度明顯提昇，而唸名朗讀組則無顯著的血氧濃度變化。此外，Simos, Fletcher, Sarkari, Billingsley, Denton和Papanicolaou (2007)也運用認知神經科學工具（如腦磁儀）來瞭解閱讀障礙兒童在接受聲韻補救教學前後的大腦神經反應。他們的研究發現，相較於傳統的教育心理測驗，腦磁儀有助於反映出對補救教學「有良好反應」、「無良好反應」閱讀障礙兒童和「正常」兒童等三類在接受教學前後，閱讀神經活化上的差異。例如，在接受聲韻補救教學後，對教學「有良好反應」閱障兒童會在左中額葉(left middle)、左上顳葉(superior temporal)、左腹顳枕葉(ventralloccipitotemporal)及右顳葉(right temporal)等區出現較強的神經活化。然而，對教學「無良好反應」的閱障兒童則在上述神經迴路出現微弱的神經活化。

在閱讀評量工具方面，Desroches, Joanisse和Robertson (2006)英文眼動研究則指出，閱讀障礙兒童在聲韻覺識(phonological awareness)行為測驗上的表現與其在眼動儀的量測上大不相同。例如：閱讀障礙學童在韻母(rime)處理的缺陷無法在行為測驗上被偵測出來，而在眼動儀測得的正常音首(onset)處理能力也在行為測驗上有所低估。因此，此研究指出，心理與教育上的音韻測驗可能是因為受到短期記憶和注意力的影響，而使得傳統測驗效能受到侷限，傳統的行為測驗僅能測得學生表面的音韻知識，而卻無法測得內在真正的音韻處理能力。

總言之，關於中、英雙語兒童閱讀發展的大腦研究成果將可能提供臺灣和其他使用華語國家的教師在進行雙語教學與評量學生閱讀能力時的一個依據。它山之石，可以攻錯，當前世界各國以認知神經科學儀器探討雙語閱讀的認知神經科學研究正如雨後春筍般蓬勃發展，美國與歐盟對於雙語閱讀的大腦研究更是卯足全力，投入大量的資金與人力，廣設研究中心，如美國賓州州立大學語言科學中心(Center for Language Science, PSU)，雙語研究成果斐然，獨步全球，值得我國借鏡效法。

參考文獻

柯華葳、陳明蕾、廖家寧（2005）：詞頻、詞彙類型與眼球運動型態：來自篇章閱讀的證據。**中華心理學刊**，**47**，381-398。

教育部國教司（2004）：**國民小學英語教學向下延伸至三年級之課程綱要**。取自http://www.edu.tw/EDU_WEB/Web/publicFun/dynamicdefault.php

Breznitz, Z. (2005). Introduction to the special issue: Understanding dyslexia. *Journal of Neurolinguistics*, *18*, 89-92.

Bolger, D. J., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2005). A cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Journal of Human Brain Mapping*, *25*(1), 83-91.

Cao, F., Tao, R., Liu, L., Perfetti, C. A., Booth, J. R. (in press). High proficiency in a second language is characterized by greater involvement of the first language network Evidence from Chinese learners of English. *Journal of Cognitive Neuroscience*.

Chen, H. C., Song, H., Lau, W. Y., Wong, K. F. E., & Tang, S. L. (2003). Developmental characteristics of eye movements in reading Chinese. In C. McBride-Chang & H.-C. Chen (Eds.), *Reading development in Chinese children* (pp. 150-170). Westport, CT: Praeger.

Chen, M., & Ko, H. (in press). Exploring the eye movement patterns as Chinese children reading texts: A developmental perspective. *Journal of Research in Reading*.

Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Dehaene-Lambertz, G., Henaff, M., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and

temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain, 123,* 291-307.

Desroches, A. S., Joanisse, M. F., & Robertson, E. K. (2006). Specific phonological impairments in dyslexia revealed by eyetracking. *Cognition*, *100*, 32-42.

Dixon, W. R. (1948). Studies of the eye-movements in reading of university professors and graduate students. *Microfilm Abstracts*.

Eurich, A. C. (1933a). Fourth-and fifth-grade standards for photographic eye-movement records. *Journal of Genetic Psychology*.

Eurich, A. C. (1933b). The photographic eye-movement records of successful and unsuccessful college students. *Journal of Applied Psychology*.

Hernandez, A. E., Martinez, A., & Kohnert, K. (2000). In search of the language switch: An fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals. *Brain and Language, 73*(3), 421-431.

Miyake, A., Freidman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41,* 49-100.

Miles, W. R., & Bell, H. M. (1929). Eye-movement records in the investigation of study habits. *Journal of Experimental Psychology*.

Evans, M. A., & Saint-Aubi, J. (2005). What children are looking at during shared storybook reading. *Psychological Science, 16*, 913-920.

Feng, G., Miller, K. F., Shu, H., & Zhang, H.-C. (2009). Orthography and the Development of Reading Processes: An Eye Movement Study of Chinese and English, *Child Development, 80 (3)*, 720-735.

Frith, U. (2001). What framework should we use for understanding developmental disorders? *Developmental Neuropsychology, 20*, 555-563.

Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J., & Niemi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology, 102,* 167-181.

James, K. H. (2009). Sensori-motor experience leads to changes in visual processing in the developing brain. *Developmental Science, 13*, 279-288.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*(4), 329-354.

Justice, L. M., Skibbe, L., Canning, A., &Lnakford, C. (2005). Pre-schoolers, print and storybooks: an observation study using eye movement analysis. *Journal of Research in Reading*, *28*, 229-243.

Kaakinen, J. K., Hyona, J., & Keenan, J. M. (2003). How prior knowledge, WMC, and relevance of information affect eye fixation in expository text. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 29,* 447-457.

McConkie, G. W., Zola, D., Grimes, J., Kerr, P. W., Bryant, N. R., & Wolff, P. M. (1991). Children's eye movements during reading. In J.F. Stein (Ed.), *Vision and visual dyslexia* (pp. 251-262). London: Macmillian Press.

Perfetti, C. A., Liu, Y., & Tan, L. H. (2005). The lexical constituency model: Some implications of research on Chinese for general theories of reading. *Psychological Review, 12*(11), 43-59.

Poldrack, R. A., & Sandak, R. (2004). Introduction to special issue: The cognitive neuroscience of reading. *Scientific Studies of Reading, 8*, 199-202.

Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders, 39*, 479-492.

Radach, R., Schmitten, C., Glover, L., & Huestegge, L. (2009). How children read for comprehension: Eye movements in developing readers. In R. K. Wagner, C. Schatschneider & C. Phythian-Sence (Eds.), *Beyond Decoding:* The *Bilogical and Behavioral Foundations of Reading Comprehension.* (pp. 75-106). New York: Guildford.

Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology, 41,* 211-236.

Rayner, K. (1999). What have we learning about *eye* movements during reading? In R. M. Klein & P. A. McMullen (Eds.), *Converging methods for understanding reading and dyslexia. Language, speech, and communication*. (pp. 23-56). Cambridge, MA, US: The MIT.

Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T. J., & Asyby, J. (2006). Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. *Scientific Studies of Reading, 10*(3), 241-255.

Rayner, K., & Juhasz, B. J. (2004). Eye movement in

reading: Old questions and new directions. *European Journal of Cognitive Psychology, 16*, 340-352.

Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C., Pesetsky, D. & Seidenberg, M. S. (2002). How should reading be taught? *Scientific American, 286*(3), 84-91.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1994). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Robinson, F. P. (1932). The role of eye movement habits in determining reading efficiency. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*.

Shaywitz, S., Shaywitz, B., & Mody, M. (2006). Neural mechanisms in dyslexia. *Current Directions in Psychological Science, 15(6)*, 278-281.

Simos, P. G., Fletcher, J. M., Sarkari, S., Billingsley, R. L., Denton, C., & Papanicolaou, A. C. (2007). Altering the brain circuits for reading through intervention: A magnetic source imaging study. *Neuropsychology, 21*, 485-496.

Siok, W. T., Perfetti, C. A., Jin, Z., & Tan, L. H. (2004). Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature, 431*, 71-76.

Siok, W. T., Niu, Z., Jin, Z., Perfetti, C. A., & Tan, L. H. (2008). A structural-functional basis for dyslexia in the cortex of Chinese readers. *Proceedings of The National Academy of Sciences, 105*(14), 5561-5566.

Tan, L. H., Chen, L., Yip, V., Chan, A. H. D., Yang, J., Gao, J. H. & Siok, W. T. (2011). Activity levels in the left hemisphere caudate–fusiform circuit predict how well a second language will be learned. *Proceedings of The National Academy of Sciences, 108*(6), 2540-2544.

Tan, L. H., Liu, H. L., Perfetti, C. A., Spinks, J. A., Fox, P. T., & Gao, J. H. (2001). The neural system underlying Chinese logograph reading. *NeuroImage, 13*, 836-846.

Tan, L. H., & Siok, W. T. (2006). How the brain reads the Chinese language: Recent neuroimaging findings. In P. Li, L. H. Tan, E. Bates & O. Tzeng (Eds.), *The Handbook of East Asian Psycholinguistics* (Volume 1: Chinese, pp. 58-371). Cambridge, UK: Cambridge University.

Tan, L. H., Spinks, J. A., Gao, J. H., Liu, A., Perfetti, C. A., Xiong, J., Pu, Y., Liu, Y., Stofer, K. A., & Fox, P. T. (2000). Brain activation in the processing of Chinese characters and words: A functional MRI study. *Humman Brain Mapping. 10*, 27-39.

Taylor, S. E., (1965). Eye movements while reading: Facts and fallacies. *American Educutional Research Journal, 2,* 187-202.

Taylor, S. E., Frackenpohl, H., & Petee, J. L. (1960). Grade level norms for the components of the fundamental reading skill. *Research and Information Bulletin, 3*, Huntington, NY: Educational Developmental Labs, Inc.

來稿日期：2013.01.16
接受日期：2013.09.17