

以眼動型態和閱讀測驗表現探討箭頭 在科學圖文閱讀中的圖示效果

簡郁芬 吳昭容

國立台灣師範大學教育心理與輔導學系

前人的研究顯示箭頭在讀圖理解上扮演重要角色。從功能性的角度來看，箭頭提供部件之間的方向關係與序列訊息，使得讀者能形成較佳的圖像表徵，對閱讀產生助益；相反的，在圖上呈現多個箭頭也可能使得知覺複雜性太高，以致於分散讀者的注意力而得到反效果。本研究藉由眼球追蹤技術記錄大學生閱讀圖文並置的科學文章，探討箭頭對讀者在科學圖文整合認知歷程的影響，並以閱讀測驗檢視箭頭的圖示效益。實驗操弄圖示箭頭的有無，兩種版本的圖都搭配相同的文章。受試者被隨機分派去讀其中一種版本，讀完文章後須回答閱讀測驗題。研究結果顯示：一、在測驗題的表現上，有箭頭組在序列題與統整題的答題正確率都高於無箭頭組；二、在眼動資料的分析上，有箭頭組僅在圖上的平均跳視距離較無箭頭組短，其餘包括總凝視時間、圖凝視時間、圖佔總凝視時間比、圖文之間移動次數均無差異；三、兩組在三種閱讀軌跡的比率差異僅邊緣顯著。本研究的閱讀測驗結果雖然支持箭頭的正向功能，但眼動指標上並無一致的效果，本文透過與文獻的比較，以閱讀材料特性與測驗性質來討論兩類結果不一致的可能意義。文末討論眼動指標即使未顯現兩組的差異，仍提供了圖文閱讀歷程的訊息及指出未來可能的研究方向。

關鍵詞：科學閱讀、眼動型態、圖文整合、箭頭

科學文章常見圖文並置的形式，文本敘述知識概念，而圖則被使用來輔助解釋科學文本概念（Carney & Levin, 2002; Hannus & Hyönä, 1999; Mayer & Gallini, 1990），兩種類型的訊息對讀者形成科學文章知識表徵都相當重要。其中，圖所呈現的內容和形式會影響讀圖理解，而讀圖理解是圖文整合歷程的其中一環（Mayer & Moreno, 2003; Shah, Mayer, & Hegarty, 1999），如何在圖上呈現有效增進讀圖理解與記憶的元素，進而幫助讀者形成較佳的科學概念表徵，是認知心理學與相關學習領域皆關心的議題（de Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2007, 2010; Hegarty, Canham, & Fabrikant, 2010; Kriz & Hegarty, 2007; Mayer, 2005）。

在各領域的科學文章圖片裡，「箭頭」是常被使用來說明科學概念中的部件關係或序列方向的圖示

法之一（Boucheix & Lowe, 2010; Heiser & Tversky, 2006; Mayer & Gallini, 1990）。這些研究指出，箭頭能提供外在視知覺線索給讀者，引導其內在注意力，讀者跟隨箭頭所指示的連續路徑來閱讀，進而能對圖上的表徵建立較完整的心智模式。抱持箭頭對讀圖理解有正向效果說法的學者，主要是從箭頭具有上述功能的角度切入，而若箭頭有助於讀圖理解，使得讀者能建立較佳的圖像表徵，理論上應該也會影響更高層次的圖文整合認知歷程與效益。借用「雙碼理論」（dual-coding theory; Paivio, 1990）和「多媒體學習的認知理論」（the cognitive theory of multimedia learning; Mayer, 2001, 2005），這兩個理論中「編碼雙重表徵能使讀者建立較完整的心智模型」的說法為基礎，亦即若同時提供「口語／文字」表徵（verbal

初稿收件：2011/05/29；一修：2011/08/03；二修：2011/10/11；正式接受：2011/10/30

通訊作者：吳昭容（cjwu@ntnu.edu.tw）10610台北市大安區和平東路一段162號 國立台灣師範大學教育心理與輔導學系

致謝：本研究感謝國科會專題研究計畫（99-2511-S-003-023-MY2）的經費補助，以及兩位審查委員與葉協同主編對資料解釋的意見。

representations) 和「視覺／圖像」表徵 (pictorial representations)，有助於讀者將刺激做雙重編碼與整合，形成連貫性的心智表徵，以利於記憶和提取所編碼的訊息。筆者據此推論，若在圖上呈現箭頭標示文本中部件關係或序列功能，應有助於科學閱讀的理解和記憶，因為這類文章同時具有文本的「文字表徵」與語意相對應的「圖像表徵」。

然而，仔細檢視科學文章中的圖，發現也有不少科學圖並沒有畫出箭頭來表示文章中所提及的部件關係或序列訊息。或許這類文章的作者認為在圖中標示箭頭並不會有助於讀者理解科學文章，甚至是干擾效果。若借用「認知負荷理論」(cognitive load theory) (Sweller, 2005; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998) 的概念，在工作記憶容量有限的前提下，讀者要同時編碼視覺文字和圖像，會產生認知資源互相競爭的情形，而讀者需在讀文和讀圖的行為中做轉換，注意力也會有分散 (split-attention) 的狀況，對於低背景知識的讀者影響尤甚。因此，若同時在圖與文出現重複的訊息，會產生多餘效果 (redundancy effect)，不利於讀者形成文章的知識概念 (Chandler & Sweller, 1996; Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1998; Mayer, 2001)。況且，如果圖上呈現多個箭頭，讀者必須整合所有箭頭在圖上的空間位置與聯繫部件的關係，才能成為具連貫性的心智表徵，對低空間能力的讀者而言，要在單張圖上保留住這麼多的空間訊息有其困難 (Boucheix & Lowe, 2010; Lowe, 2003)。綜合上述，從視覺複雜性可能增加讀者的知覺和認知負荷的角度來看，筆者合理的懷疑，在圖上呈現箭頭也可能產生干擾效果，因為讀者必須耗費心智資源從數個箭頭中找尋文本語意對應的正確箭頭引導路徑，並抑制不適當的箭頭引導，在工作記憶容量有限的前提下，選擇刺激編碼的歷程會耗費讀者的認知資源，因而能分配給處理深度概念理解的資源就會減少，進而降低讀者形成文章概念表徵或記憶的表現。

因此，對於背景知識不多的一般成人讀者而言，在科學閱讀的素材上，究竟圖示要採用箭頭或是不呈現箭頭對閱讀記憶和閱讀理解是比較有利的？且有無箭頭對於讀者在科學圖文閱讀的認知歷程有何影響？目前文獻上有持正向 (Mayer & Gallini, 1990) 與負向效果的說法 (Sweller, 2005; Sweller et al., 1998)，尚無明確的結論，因此有必要以更進一步的實徵研究來回答此問題。

國內外有許多研究利用眼球追蹤技術探討個體在閱讀時的認知歷程，當前的技術已能擷取到較為精細

的眼動資料，例如，記錄讀者在閱讀歷程中對字詞、圖、圖文搭配的凝視時間、回視率、跳讀情形、凝視順序以及眼球落點位置等精細的資料，藉以反映時序和空間的認知處理歷程。眼球追蹤技術已大量應用在文本閱讀研究 (柯華葳、陳明蕾、廖家寧, 2005; Chen & Ko, 2011; Inhoff & Wu, 2005; Jian & Ko, 2007; Just & Carpenter, 1980; Rayner & Juhasz, 2004; Rayner & Pollatsek, 1987; Yen, Tsai, Tzeng, & Hung, 2008) 和讀圖的研究 (Canham & Hegarty, 2010; Carpenter & Shah, 1998; Evans, Rotello, Li, & Rayner, 2009; Hegarty et al., 2010; Rayner, Smith, Malcolm, & Henderson, 2009)；然而，雖然人們日常生活接觸到的知識素材多半同時含有圖與文的訊息，像是報章雜誌、教科書、科普書籍等，卻鮮少研究應用此技術探討圖文整合歷程 (簡郁芬、吳昭容, 2011; Hegarty & Just, 1993; Holsanova, Holmberg, & Holmqvist, 2009; Jian, Wu, & Su, 2011; Rayner, Rotello, Stewart, Keir, & Duffy, 2001)。因此，以眼球追蹤技術探討複雜的圖文閱讀歷程的研究有其必要性。

目前，在同一研究中同時蒐集線上 (on-line) (例如：眼動資料) 和離線 (off-line) (例如：閱讀測驗) 的資料，以更完整回答閱讀研究的議題是時代所趨 (Boucheix & Lowe, 2010; Hegarty et al., 2010; Hyönä, 2010; Kriz & Hegarty, 2007; Sanchez & Wiley, 2006)。本研究基於研究目的，蒐集上述兩類資料分別探討兩個研究問題：(1)圖示箭頭對於科學圖文閱讀認知歷程有何影響；(2)圖示箭頭對於科學圖文閱讀理解與記憶是否有促進的效益。

文獻探討

(一) 圖文閱讀的眼動研究

雖然近年已有幾位學者提出圖文閱讀的相關理論 (Mayer, 2005; Schnotz, 2005; Schnotz & Bannert, 2003)，但實徵研究的證據仍很缺乏。讀者如何從文本獲取訊息、如何讀懂圖所指涉的意義，並如何結合不同類型的訊息，形成一連貫性的概念表徵，仍未有清楚的了解。而如前述所言，眼球追蹤技術是探討圖文閱讀歷程一個很適切的工具，因此，本文先回顧相關圖文閱讀的眼動研究，整理比較其發現與異同，以作為本研究結果解釋與推論之參照基礎。

目前文獻上探討圖文並置的眼動研究大致分為兩個取向，一個是工商心理學取向，主要探討人們在看廣告或瀏覽網頁時有無特定的眼動路徑、注意力容易

被哪些物件吸引等等。這類研究大多分析整體性的資料，例如：讀圖和讀文的比重各為多少，讀標題、內文和圖片的順序為何。研究大致上發現讀者在文字區瀏覽介紹廣告商品的時間比在圖區還長；在圖上平均跳視距離（saccade length）比在文區長；閱讀順序則是先看標題再看文字說明，最後看圖（Rayner et al., 2001）。

另一個是認知學習取向，主要探討讀者在科學圖文閱讀中的認知歷程，例如：讀者的閱讀路徑為何、在何時與何處會進行圖文對照、如何做訊息處理等；另外，也探討圖是否能幫助圖文整合的效益問題，例如：附圖是否能增加圖文概念的理解、圖上哪些重要訊息的標示能幫助讀圖理解等。綜合言之，認知學習取向所探討的議題大致可分以下兩類。

1. 圖文配置形態對於閱讀行為的影響

文獻上有一些探討圖文配置型態的研究（Goldberg & Kotval, 1999; Holsanova et al., 2009; Schmidt-Weigand, Kohnert, & Glowalla, 2009），例如Holsanova等人（2009）給大學生觀看報導科普知識的報紙，並操弄圖文配置的不同形態，同時記錄大學生在閱讀歷程中的眼動軌跡。研究結果發現若在空間配置上，使圖文語意對應的區域靠近，相較於分開的圖文配置形式，受試者讀前項實驗材料時，眼球在圖文語意相對應區來回移動的行為較頻繁。研究者對此結果的解釋是，圖文靠近的配置可以幫助讀者的注意力不被分散，進而能整合相關訊息，對於實驗材料有較深的語意處理。另外，受試者對於無序列性的圖片沒有偏好的閱讀路徑；但對於有序列性的圖片，則會產生跟隨圖片方向順序的閱讀路徑，且在語意對應圖文區的眼球移動比例佔所有眼球移動次數的14.1%，是讀無序列性的圖片（7.9%）的將近兩倍。該研究者對此結果的解釋是圖片的序列有導引和尋找訊息的功能，因而影響受試者的眼動行為。整體而言，這類研究凸顯文章配置的視覺特徵對讀者的閱讀行為會產生影響。

2. 圖文閱讀的認知歷程

在此研究領域中，研究者多半以科學文章為閱讀材料，藉由讀者的眼動型態探討科學圖文閱讀的認知歷程。例如，Hegarty（1992）請大學生閱讀滑輪系統的圖，圖的左方有一個描述滑輪系統的句子，受試者必須判斷該句子對圖上滑輪系統運作方式的描述是否

正確。藉由分析眼球移動順序與凝視時間兩個眼動指標，研究結果發現受試者的眼球會在幾個相關連續圖區以及圖文之間來回移動，也有重新凝視的情形。這說明了人的心智活動無法同時模擬或處理看滑輪系統圖作業所需的所有細節，而是逐步漸進的，需要對滑輪系統各部分做解構，再產生表徵。該研究者認為個體的工作記憶容量有限與背景知識缺乏，可能是限制此項心智活動歷程的兩個原因。因為看滑輪運動的各個部件，以及滑輪繩索拉動的操作步驟等，都會佔據工作記憶容量；加上若缺乏背景知識，則無法有效率地將這些小單位的訊息集結成大單位來處理，而儲存和執行這些工作若超過認知負荷，就會影響原本保留在工作記憶中文區句子的概念表徵，一旦句子概念的概念表徵消退，讀者就必須重新讀這些句子來形成表徵，所以就產生了圖文語意概念對應區的眼球來回移動的軌跡。

Hegarty與Just（1993）延續Hegarty（1992）所關注的研究問題並做進一步的實驗操弄。他們採用相同的滑輪系統圖，但文區的內容與前一研究不同，並非採用判斷滑輪系統運作正確與否的句子，而是描述滑輪系統部件與動力學的文句。實驗操弄單純讀圖、單純讀文，以及讀圖文三個組別，並加入受試者背景知識高低這個變項，進一步探討背景知識高低的讀者，在圖和文兩種不同媒體（media）內以及兩種媒體之間如何建立表徵，且增加圖或文是否能影響讀者對滑輪系統動態概念表徵的形成，反映在眼動型態和閱讀理解測驗表現上又有何異同。研究結果發現無論背景知識高低的讀者，圖文組在閱讀理解測驗上的分數都顯著高於單純讀圖或單純讀文的組別。研究結果也發現，低機械背景知識的讀者較難建構滑輪系統的心智模型，他們的閱讀測驗分數較低、整體閱讀時間較長、圖文之間移動次數較多、在圖上局部審視的時間較長。該文研究者的解釋是低背景知識的讀者無法單獨從讀文本來建構滑輪系統運作的知識概念，而較須仰賴圖的輔助來幫助理解。另外，該研究分析讀者在句中或者句末參照圖的次數或百分比，來回答讀者如何整合圖文訊息的研究問題。研究結果顯示與Hegarty（1992）的實驗結果一致：讀者在圖文閱讀的歷程主要由文所引導。在出現對照圖區閱讀行為之前，讀者會先在文區來回整合訊息，到句子結束時再對照語意相關的圖區。而在處理圖區訊息時，讀者會先檢視圖上局部的訊息，解碼少數部件之間的關係，再逐漸整合多個部件之間的關係，形成整體的知識表徵。這樣

的結果也複製了該文作者與其同事在之前研究的部份結果 (Hegarty, Carpenter, & Just, 1991)，他們以眼球追蹤技術記錄大學生讀圖文並置的科學文章，發現讀者同樣會先讀句子，讀到句末再轉向語意相關的圖區，顯示圖文閱讀主要是以文來主導讀者的注意力並建構心智表徵。

上述的幾個研究都是以成人讀者為受試者，文獻上也有少數研究以兒童為受試者，探討圖文整合的認知歷程以及圖對閱讀理解和記憶的影響。Hannus與Hyönä (1999) 的眼動研究顯示瑞典文氏測驗的高能力國小學童比低能力的學童，在生物教科書中圖文語意對應區域有較多眼球移動行為，且在回憶測驗與理解測驗的表現都較好。而該研究也發現兒童在讀圖文並置的生物教科書也是以文為導向，以文為建立知識表徵的主要來源，這和成人讀者的眼動型態類似 (Hegarty, 1992; Hegarty et al., 1991; Hegarty & Just, 1993)。但令人驚訝的是，眼動資料顯示無論高或低能力的兒童，讀圖的時間都相當短，只佔總閱讀時間的6%。該研究所用的實驗材料是圖文並置的生物教科書，圖片所佔的版面比例很高（每篇文章有3到6張彩色或黑白的圖片），圖的訊息量也不低，但兒童讀圖的時間卻很短。該文作者認為可能的解釋是相較於純文本的閱讀，讀圖能力和技巧在發展上可能更晚成熟，以至於國小兒童讀圖文並置的科學文章並不會細部地看圖所提供的科學概念。這也是圖文閱讀的相關研究後續可再進一步探討的議題。

由上述圖文閱讀眼動研究的文獻回顧可知，在該領域所使用的眼動指標，主要有以下幾個：(1) 眼球移動順序 (sequence of fixations, SOF)，以此指標反映閱讀路徑，包括是先讀圖再讀文或先讀文再讀圖等，整體審視的路徑；亦可反映讀圖或讀文內部本身，局部審視的路徑 (Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993; Holsanova et al., 2009; Rayner et al., 2001)。(2) 總凝視時間 (total fixation durations, TFD)，以此指標反應讀者處理閱讀材料所耗費心力的程度，一般而言，總凝視時間越長，表示需要越多心力和認知資源去處理閱讀的訊息 (Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993; Holsanova et al., 2009)。(3) 圖文之間移動次數 (the number of saccades)，以此指標反映圖文整合的認知歷程 (Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993; Holsanova et al., 2009)。其中，Holsanova等人 (2009) 對此指標多寡的解釋有正反兩種說法，他們認為圖文之間轉換的

眼動行為，可能反映能促進對圖文材料成功整合的版置效果，但也可能是整合有困難以致於不斷嘗試的指標，而Hegarty與Just (1993) 則採取後一種說法。(4) 圖佔圖文凝視時間比例 (the ratio of total fixation durations)，文獻上對此指標並無清楚定義其所反映的歷程，有研究以此指標顯示讀者注意力分配在圖上的多寡 (Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993; Rayner et al., 2001)；但亦有研究採用此指標解釋更深層的意義，例如，Hegarty與Just (1993) 將低背景知識的讀者閱讀滑輪系統的圖文時，該指標顯著高於高背景知識讀者的研究結果，解釋為低背景知識的讀者無法仰賴文本形成系統表徵，因此發展出補償策略，仰賴圖的訊息來形成知識表徵，因此讀圖的比例顯著提升。(5) 平均跳視距離 (mean saccade length)，僅有Rayner等人 (2001) 的廣告圖文眼動研究以此指標反映訊息量負荷的結果，他們的研究顯示受試者讀圖比讀文有較長的平均跳視距離，原因是廣告圖的訊息量較低，而文本字句的訊息量密度較高。

由以上文獻的回顧與整理可知，圖文閱讀眼動研究常用的指標中，目前已有共識的指標為凝視順序、總凝視時間；而有不同解釋或未定義清楚的指標為圖文之間移動次數、圖佔圖文凝視時間比例、平均跳視距離。顯示在圖文閱讀眼動研究上需要更多研究者的投入，建立可反映圖文閱讀基礎認知歷程的眼動指標。

(二) 科學文章附圖示箭頭的功能

上節回顧了圖文閱讀的眼動實徵研究，以下將縮小範疇，回顧圖示箭頭對於閱讀認知歷程影響的相關實徵研究，以作為本研究結果的解釋與討論之參照。

科學文章的圖片經常使用箭頭這種圖示法，其主要導引讀者注意力以及協助表徵建構兩個功能。從注意力導引的觀點來看，箭頭的視覺線索有助於讀者將注意力和認知資源放置在圖上主要訊息或相關訊息的區域 (Kriz & Hegarty, 2007; Mautone & Mayer, 2007; Tversky, Heiser, MacKenzie, Lozano, & Morrison, 2008)；而從對表徵建構的功能來看，箭頭能表示文章的序列訊息或指示部件關係的方向性，對圖上訊息提供知覺的連續性、對刺激輸入的表徵形成，以及讀者組織刺激表徵後所形成的心理模型，提供重要的功能 (Boucheix & Lowe, 2010; Heiser & Tversky, 2006；

Mayer, 2001, 2005; Mayer & Gallini, 1990)。

早期，Mayer與Gallini（1990）以箭頭標示機械系統在啟動或靜止時，內部構造有哪些依序的步驟。該研究發現，相較於只讀文本或雖有圖文但圖上沒有用箭頭標示步驟的文章，低背景知識的讀者讀有箭頭標示步驟的圖文，在回憶與遷移作業表現上都最好。表示讀者在理解複雜概念時，圖示箭頭能提供有用的知識表徵幫助讀者理解與記憶文章訊息。Heiser與Tversky（2006）進一步採用上述兩位學者（Mayer & Gallini, 1990）的實驗材料，探討有無箭頭的機械圖對於讀者形成哪一種表徵是有利的。受試者首先被隨機分派閱讀有無箭頭的機械圖，隨後以紙筆測驗方式對機械系統圖寫出解釋。研究結果發現，有箭頭組會描述較多系統的功能性訊息，也就是系統如何運作以及運作結果，代表箭頭能幫助讀者編碼部件之間運作關係的訊息，形成機械系統的動態表徵與知識概念。

近年來，研究科學文章中箭頭的功能更是從單張靜態圖片轉向動畫，爲了探討讀圖理解歷程以及理解效益，研究者多半蒐集讀者的眼動型態和閱讀測驗表現兩種類型的資料。例如，Kriz與Hegarty（2007）以眼球追蹤技術記錄讀者閱讀馬桶的儲水槽動畫的眼動型態，探討在動畫中有無標示箭頭，對於讀者理解儲水槽的水如何流動與停止的過程是否有所助益，且讀者會如何分配視覺注意力在動畫中的哪些區域、停留多久的時間。有趣的是，研究結果顯示，雖然箭頭會引導讀者將注意力導向相關的訊息，有較多的凝視時間和凝視次數，但是相較於無箭頭的情況，讀有箭頭動畫組在概念理解上並未較佳，也就是眼動型態和測驗結果呈現分離（dissociation）的情況，顯示僅僅提升對重要區域的注意與知覺並不能增進理解。Kriz與Hegarty（2007）經由質性分析受試者對馬桶儲水槽系統所建構的知識表徵，發現不管觀看有無箭頭的動畫，兩組讀者對於該系統所建構的許多知識表徵是錯誤的，我們推測此一結果也可能顯示該實驗材料對於受試者而言太困難，因此在測驗結果上顯現「地板效應」（floor effect），兩組讀者表現皆差，使得兩組人的表現在統計分析上未達顯著差異。

Boucheix與Lowe（2010）則是以眼球追蹤技術記錄讀者觀看鋼琴內部運作的動畫，探討以箭頭或顏色標示出知覺連續性的特徵時，對讀者形成心智表徵的影響。實驗材料是電腦控制且可由受試者啟動的動畫，當受試者用滑鼠按下螢幕上的鋼琴鍵，螢幕上會出現鋼琴內部運作的動畫，整個動畫沒有文本或口白

的說明，但可藉由點選而跳出鋼琴部件的名稱。學習鋼琴內部動態運作的概念有一定程度的困難度，鋼琴內部構造有許多部件，按鍵發出琴聲須由知覺上顯眼的部件（例如：音錘和製音器），以及知覺上不顯眼但是重要的部件（例如：動力桿），共同或連續運作才行。而隨著按鍵發出琴聲，鋼琴內部運作有時序上的變化，不同時間點由不同的重要部件來擔綱。受試者要能了解鋼琴的內部運作，需要抽取相關運作的時間點有哪些部件涉入。因此，學習者首先必須將注意力放置在連續步驟一開始會涉入的部件上，再轉移到運作的下一個部件，藉由被連續性地引導其注意力，來建立鋼琴發出琴聲時內部運作的心智表徵。也就是視覺線索必須能同時滿足時間跟空間的精確性引導，在正確的時間引導到正確的位置上，才能產生動態概念的理解效益。該研究操弄三個組別，箭頭組是以兩個畫面上呈現琴鍵被按下與回復的狀態，其中所有部件同時移動，且在各部件外以箭頭標示各自移動的方向；顏色組是分成多個畫面，每次提供在某一部件移動的方向，並在部件內部以著色的箭頭指示牽引的相關部件，同時著色的箭頭分藍色和紅色，用來指出內部機制中的兩個不同的子系統；控制組呈現所有部件同時移動，但沒有外部箭頭也沒有內部的著色箭頭。研究結果發現，在測驗題的表現上，三組在內部結構位置測驗題表現相當，而涉及鋼琴內部運作的動力學和功能統整測驗題的表現上，顏色組顯著優於箭頭組，而箭頭組與控制組則無統計上的顯著差異。搭配眼動型態的歷程性資料，可以解釋顏色組表現較箭頭組以及控制組在閱讀理解測驗表現較佳的原因。在眼動分析上，研究者先標示鋼琴內部結構的九個部分當作分析區域（areas of interest, AOI），再計算每個分析區域內的全部凝視時間和全部凝視次數。研究結果發現，箭頭組和顏色組雖然在總閱讀時間無顯著差異，但是分配在各個分析區域的比重卻不相同，顏色組在低知覺連續性但高主題相關區域，有較多凝視時間和凝視次數。顯示顏色組能掌握時序和正確位置的同步關係，而箭頭組雖然學習時間也很長，但是較少注意低知覺連續性但高主題相關的區域。該文作者認爲，在視覺上藉由顏色顯示動態連結特定區域，提供讀者視覺連續性，因此讀者對鋼琴內部運作的動態概念掌握的較好。此外，我們認爲箭頭組在閱讀理解測驗表現與控制組無異的可能原因之一是，在同一個畫面上同時出現所有箭頭，又無文本說明，讀者若無法自行解析箭頭的時序關係，箭頭就不會顯現正向效果。

綜合上述圖示箭頭相關的研究可知，目前研究視覺線索對於讀圖或圖文的認知歷程以及效益的作用，尚無一致的結論。我們認為可能的原因至少有兩個：其一，實驗材料概念難易度的不同，若材料太難，會產生「地板效應」，使得實驗操弄的效果不易顯著（如Kriz & Hegarty, 2007）。其二，圖的呈現方式不同，靜態圖和動畫對於讀者的認知負荷程度不同，文獻上顯示學習者在動畫呈現的素材上，常常無法有效學習，造成和靜態視覺表徵呈現的方式相較，並無優勢效果（Lowe & Schnotz, 2008; Tversky, Morrison, & Betrancourt, 2002），可能的理由是，動畫對於讀者在知覺和認知處理的負荷過重，因此學習效益不佳（Lowe, 1999）。

從上述文獻整理可知，同時採用眼動資料和閱讀測驗的研究，多半僅單純地探討讀圖認知歷程以及圖示箭頭的效益（Boucheix & Lowe, 2010; Kriz & Hegarty, 2007），若材料同時包含文本與圖片，則僅有閱讀測驗（Mayer & Gallini, 1990）。文獻上缺乏同時採用眼動資料和閱讀測驗，即線上和離線的資料，探討圖文閱讀的認知歷程和圖示箭頭的效益，而這正是本文的研究問題與所採用的方法。

（三）研究預期

基於文獻探討中諸位學者的理論與研究，本研究推論箭頭可能對圖文閱讀理解與記憶產生促進效果，但也可能產生干擾效果。以下將對上述兩種可能的效果分別預測實驗結果。由於文獻上對於讀圖或圖文閱讀眼動指標所反映的歷程尚未有完全清楚的了解，因此，本研究的預測基礎為，若文獻上已有清楚的指標反映歷程，逕採用之，包括：總凝視時間、凝視順序。若無，則依據相關理論做出可能的推論，包括：圖文之間移動次數、圖佔圖文凝視時間比例、平均跳視距離。

若以Paivio（1990）的「雙碼理論」和Mayer（2005）的「多媒體學習的認知理論」為基礎，亦即提供文字和圖像兩種表徵有助於讀者儲存和提取記憶的說法，本研究推論在圖上呈現箭頭對於實驗材料的記憶和提取有正效果，因為圖文都提供相似的序列訊息，讀者有雙重表徵可使用。基於上述兩個理論的主張，本研究預期有箭頭組回答與序列訊息相關的測驗題表現應較佳。而在眼動指標上則有以下四個眼動指標的預期：第一，圖上總凝視時間。依據Mayer

（2005）「多媒體學習的認知理論」所言，若圖符合好的設計原則，那麼讀者讀圖的時間會縮短，因此若本研究所操弄的箭頭符合能增進圖理解的原則，則預期有箭頭組在圖上的總凝視時間較短。第二，圖文之間移動次數。該指標反映讀者的注意力在圖文之間轉移（Hyönä, 2010; Schmidt-Weigand, Kohnert, & Glowalla, 2010），並嘗試做圖文整合（Holsanova et al., 2009）。因為有箭頭組所讀的圖訊息較豐富，成熟讀者應會善用對照圖文語意相關區域的策略（Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993），因此本研究預期有箭頭組在圖文之間移動次數比無箭頭組多。第三，圖佔圖文凝視時間比例。本研究在此指標尚無法預期，因為箭頭可能提高但也可能降低讀者讀圖的時間。若箭頭產生正效果，可能使得有箭頭組仰賴圖的程度較高，預測基礎是有箭頭的圖提供較為豐富的訊息，除了文中指涉部件的空間位置之外，箭頭還提供部件之間關係的訊息（Heiser & Tversky, 2006）；而無箭頭的圖因為圖上並未提供序列或部件之間的訊息，讀者僅能仰賴文本來理解和記憶相關概念，因此，有箭頭組的圖佔圖文凝視時間比例較可能無箭頭組高。然而，若以Mayer（2001）認為好的圖的設計原則會降低讀者讀圖時間的立論基礎來預測，箭頭符合好的圖的設計原則，那麼有箭頭組在此眼動指標的比例可能低於無箭頭組。第四，圖上平均跳視距離。本研究以此指標反映讀者尋找圖上語意相對應訊息的容易度。因為箭頭有指引方向的功能（Boucheix & Lowe, 2010; Heiser & Tversky, 2006），能有效的將視覺注意力導引到正確位置，使得讀者的眼睛能依循箭頭指示的方向讀圖，不會產生太多試誤性的搜尋行為，因此，預期有箭頭組在圖上的平均跳視距離應較無箭頭組短。

相反的，本實驗在圖上操弄箭頭也可能產生干擾的負效果。基於「認知負荷理論」（Sweller, 2005; Sweller et al., 1998）所主張，在工作記憶容量有限的前提下，讀者要同時處理文字表徵和圖像表徵，會競爭認知資源，可能會產生注意力分散的情形，使得兩種表徵都無法深入處理。因此，當本研究的實驗材料同時呈現有箭頭的圖以及表徵同樣序列概念的文，箭頭有可能會產生負向效果。此外，在圖上呈現多個箭頭也使得視知覺複雜度增加，讀者必須抑制不當箭頭的誤導，並將注意力導向正確指引的箭頭路徑，這樣的行為必須仰賴工作記憶中的中央執行系統的運作，使得殘存的認知資源才能用來處理圖上訊息，因而無法形成完整的知識表徵，導致讀圖理解較差。若持上

述的理論觀點，本研究預期在閱讀測驗的表現上，有箭頭組在回答與序列訊息相關的題目上，表現應較無箭頭組差。而在眼動指標上則與上述促進效果的預測相反，亦即有箭頭組的圖上總凝視時間較長、圖文之間移動次數較少、圖上平均跳視距離較長或無差異，而圖佔圖文凝視時間比例則無法預期，理由同前文。

研究方法

本研究基於探討對於背景知識不多的成人讀者而言，圖示箭頭在科學圖文閱讀認知歷程與閱讀效益有何影響，以眼動型態與閱讀測驗兩種方式來回答研究問題。在眼動指標的選擇上，本研究參考文獻上圖文閱讀與讀圖的眼動實徵研究中常被使用的指標（Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty, 1992; Hegarty & Just, 1993; Kriz & Hegarty, 2007; Rayner et al., 2001; Sanchez & Wiley, 2006），包括四個眼動指標：圖上平均跳視距離、圖上的總凝視時間、圖文之間移動次數，和圖佔圖文凝視時間比例。另外，我們也對受試者的眼動軌跡做分類。

而在閱讀測驗的部分，包含三類題型：「文本題」測量讀者的閱讀記憶、「序列題」測量讀者對文章概念中事件發生先後順序的掌握、「統整題」測量讀者統合文章語意與抽取文章主旨的表現。前兩類型的題目雖非複製文本的語句，但其內涵均出現在文章的敘述中，而統整題的內容則超越文字的表面敘述，讀者需抽取文章概念並加以整合。

（一）受試者

透過網路徵募受試者，受試者來自台灣北部大學文學院、管學院、教育學院、理工學院的大學生或研究生，共50位。排除心理相關科系，包括認知神經科學所、心輔系、生命科學系、醫護學相關科系，這些可能對實驗材料（認知神經系統）有高背景知識的受試者。

（二）實驗材料

從《Scientific American》找圖文並置的腦神經科學文章一篇（LeDoux, 1994），文章內容描述「大腦恐懼反應與意識的相關路徑」，經研究者另外參考李寶（1996/2001）另一文章，改編成中文後，含標點符號共428字。文章排版方式為文字在左、圖在右，其

中，文字是黑色、圖為彩色；由一個螢幕畫面呈現該篇文章，無捲軸下拉功能，亦無接續頁。

實驗操弄兩個文章版本，其中一個版本的圖有文本中指涉的大腦專有名詞，以及箭頭指示序列訊息（部件和步驟的圖，見附錄一）。例如：「當個體無意間看見一條蛇，這個視覺刺激會先從眼球將訊息往後送到大腦的視丘處理，再直接送到大腦皮質下的杏仁核。」該版本在圖上會呈現「視丘」和「杏仁核」兩個專有名詞的文字以及圖示位置，且從眼球到視丘，以及視丘到杏仁核之間，分別有一個箭頭指涉訊息傳遞路徑的方向。另一個版本的圖除了沒有標示箭頭（只有部件，沒有步驟，見附錄二），其餘的圖文內容與編排方式與前一個版本相同。

受試者讀完文章後須回答十題是非題的閱讀測驗（附錄三），其中三題為文本題（題1~3），四題為序列題（大腦各個部件之間的序列關係）（題4、5、6、10），三題統整題（題7~9）。呈現試題時，並無原文章的附圖可供參考。

（三）儀器設備

本研究使用眼球追蹤系統Eyelink1000，取樣率為1,000HZ。以下巴架固定受試者頭部，使其盡量不移動。呈現實驗材料的螢幕是19吋的LCD，解析度設定為1,024 × 768個像素（pixels）。實驗材料為全螢幕呈現，其中文區約為19公分 × 23公分，圖區為19公分 × 14公分。螢幕距離受試者約65公分，整個實驗材料約涵蓋水平視角43度，垂直視角32度。

（四）研究程序

研究者參考受試者所屬科系，在分派時使讀兩個文章版本的受試者的學科背景盡量平均，除此之外採隨機分派，兩組都有25位受試者。本研究採取個別實驗，經眼球校正與確認程序確定無明顯偏移後，先讓受試者閱讀圖文並置練習文章一篇，隨後做閱讀測驗。螢幕上一次呈現一題閱讀測驗，在受試者按鍵作答後自動出現下一題。正式實驗同練習程序。本研究考量提供近似自然閱讀的情境，且文獻上的閱讀研究也多半不設限閱讀時間（Canham & Hegarty, 2010; Chen & Ko, 2011; Inhoff & Wu, 2005; Jian & Ko, 2007; Just & Carpenter, 1980; Rayner & Juhasz, 2004; Rayner et al., 2009），因此，在本實驗中閱讀文章與作答時間皆由受試者自行決定。整個實驗約20~30分鐘完成。

（五）資料選擇與分析

眼動資料分析排除8位受試者，包括1位沒有讀圖的眼動資料紀錄、1位在資料傳輸過程中電腦當機、1位事後訪談中表示怕蛇，基於可能對實驗結果有混淆因素的產生所以排除、2位未通過眼球校正與確認程序，還有3位受試者的眼球明顯偏移。42位有效樣本中，讀圖上有無箭頭的文章版本，分別有20位和22位，在本文分別稱為「有箭頭組」與「無箭頭組」。接著，依據文獻上的標準，排除凝視點低於100毫秒的眼動資料，大約排除3%的眼動資料。

閱讀測驗未有漏失資料或隨意亂答的受試者，前述42名眼動資料有效的受試者均納入分析。測驗總題數答對率的計算方式為答對題數除以總題數，而測驗中的三類題目答對率也以同樣方法計算。

研究結果

（一）閱讀測驗結果

兩組受試者在各測驗的平均答對率和標準差如表1。在整份測驗題的答對率顯示，有箭頭組顯著高於無箭頭組， $t(40) = 3.03, p < .05$ 。個別看三種題型的表現，兩組人在「文本題」的答對率沒有顯著差異， $t(40) = 1.61, p > .05$ ；有箭頭組在「序列題」與「統整題」的答對率都顯著地高於無箭頭組， $t(40) = 2.57$ ； $t(40) = 2.08, ps < .05$ 。其中值得注意的是，無箭頭組在「序列題」的答對率接近猜測率（50%），亦即他們的回答與猜測表現類似。

閱讀測驗結果顯示，兩組讀者在測量非關序列的事實性記憶題目（文本題）表現未達顯著差異，表示兩組讀者掌握語意的基本訊息並將之記住的表現相當。兩組人在「序列題」與「統整題」答題表現的差異，則顯示圖示箭頭的有無，造成兩組讀者形成與記憶文章中的序列關係表徵以及統整文章概念的不同。

（二）眼動資料分析結果

1. 眼動指標整體分析

基於對受試者在圖文閱讀的行為有概括性的瞭解，首先呈現兩組讀者在以下四個指標的眼動型態：總閱讀時間、圖文的總凝視時間（TFD）、文區總凝視時間（Text-TFD）、圖區總凝視時間（Picture-TFD）。這四個眼動指標的平均數與標準差如表2上半所示。從表2可推算，兩組讀者在文圖凝視時間的比率

約為80%：20%，顯示讀者都花較多的時間處理文本，較少的時間處理圖。

比較兩組讀者在這四個眼動指標的 t 考驗都沒有顯著差異， $t(40) = 0.23$ ； $t(40) = 0.14$ ； $t(40) = 0.13$ ； $t(40) = 1.17, ps > .05$ 。兩組讀者在整體閱讀時間、圖文以及分別讀文或圖的總凝視時間都沒有顯著差異，表示閱讀時間不是造成兩組讀者在閱讀理解測驗表現上有差異的原因。目前的眼動指標整體分析無法說明有箭頭組在「序列題」與「統整題」的表現較無箭頭組好的原因，因此，我們進一步分析細部的眼動資料。

2. 眼動指標細部分析

本小節以四個眼動指標探討兩組讀者可能在那些閱讀的歷程上有差異，指標包括：文上平均跳視距離、圖上平均跳視距離、圖文之間移動次數，和圖佔圖文凝視時間比例。兩組人在這些眼動指標的平均數與標準差如表2下半所示。

研究結果發現有箭頭組僅在圖上的平均跳視距離比無箭頭組短， $t(40) = -3.58, p < .01$ ，表示箭頭能引導讀者將其注意力落至較精確的圖區，減少讀者搜尋圖上對應文中敘述恐懼反應路徑所涉及的腦區順序。其餘指標均無顯著差異，顯示兩組在圖文之間的移動次數與圖佔圖文凝視時間都沒有差別。

3. 眼動軌跡分類

研究者先逐一檢視所有受試者的眼動軌跡，發現大約可歸納為三種類型：第一類是一開始閱讀就有文圖參照行為；第二類是一開始先讀完整個文本，接著再文圖參照；第三類是先讀圖，隨後再文圖參照。研究者在簡述這三種閱讀軌跡類型後，請三位心輔所碩、博班的研究生逐一觀看所有受試者的眼動影片，並主觀地做上述閱讀軌跡的分類。三個評分者獨立分類的結果完全一致，見表3。

兩組的多數讀者都是一開始就出現文圖參照的閱讀型態，有箭頭組是60%（12位），無箭頭組是73%（16位），而文圖參照的型態多半是在讀了二或三個句子之後，才去對應語意相關的圖；而兩組讀者在第二類先將整個文本閱讀一次再參照圖進行第二次閱讀的類型則都是少數，有箭頭組是5%（1位），無箭頭組是18%（4位）；第三類先讀圖再文圖參照的類型也不多，有箭頭組有35%（7位），無箭頭組只有9%（2位），先讀圖的凝視總時間約3到15秒不等。雖然兩

表1 有無箭頭組在各測驗題型上的平均答對率(%)、標準差，與*t*考驗

類型(題數)	有箭頭組(N=20)		無箭頭組(N=22)		<i>t</i> 值
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
文本題(3)	90	16	79	28	1.61
序列題(4)	78	24	55	33	2.57*
統整題(3)	83	23	68	24	2.08*
總測驗(10)	83	16	66	20	3.03**

p* < .05. *p* < .01.表2 有無箭頭組在各眼動指標的平均數、標準差，與*t*考驗

	有箭頭組(N=20)		無箭頭組(N=22)		<i>t</i> 值
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
眼動整體分析					
總閱讀時間(秒)	167.30	83.64	162.36	53.91	0.23
圖文總凝視時間(秒)	163.41	81.68	154.77	51.28	0.42
文總凝視時間(秒)	129.13	62.31	126.63	41.05	0.16
圖總凝視時間(秒)	34.28	21.96	28.15	15.15	1.06
眼動細部分析					
文跳視距離(像素)	101.16	14.44	102.70	17.94	0.41
圖跳視距離(像素)	77.67	12.34	91.15	12.03	-3.58**
圖文之間移動次數	39.05	23.58	35.14	15.49	0.64
圖佔圖文凝視時間比%	21.37	7.21	18.64	5.40	1.40

***p* < .01.

表3 有無箭頭組在三種眼動軌跡類型的人數

	有箭頭組	無箭頭組	合計
圖文對照	12	16	18
先文再圖	1	4	5
先圖再文	7	2	9
合計	20	22	42

組都有超過60%的受試者一開始就出現文圖參照的閱讀方式，但在其他兩類的閱讀軌跡類型上，兩組讀者似乎有不同的偏好傾向：先看文的比率以無箭頭組較多，而先看圖的比率則以有箭頭組較多，故進一步以兩組與三種閱讀順序進行 χ^2 考驗，結果 $\chi^2(2, N = 42) = 5.07$ ， $p = .08$ ，為邊緣顯著。

討論與建議

本研究以閱讀技巧純熟但背景知識不多的成人受試者為對象，探討兩個研究問題：(1)圖示箭頭對科學圖文閱讀有何效益？(2)圖示箭頭對科學圖文閱讀認知

歷程有何影響？簡言之，同時在圖文上提供語意相似的兩種表徵，對訊息處理有促進效果或干擾效果？學者們對此持兩個對立的觀點。持雙重表徵有助讀者在訊息輸入時編碼兩種刺激以利於後續訊息提取說法的學者(Mayer, 2001, 2005; Paivio, 1990)，認為上述問題的答案是促進效果；相反的，持圖文呈現相同訊息會使得工作記憶在轉換不同表徵時造成認知負擔，因而產生多餘效果的學者(Sweller, 2005)，認為上述問題的答案是干擾效果。本研究在閱讀測驗的結果上支持前者，亦即有箭頭組在序列題與統整題的答對率顯著高於無箭頭組，而兩組在與箭頭標示的序列關係較無關的文本題上則無顯著差異，顯示圖上有箭頭具有

促進理解與記憶的效果。然而，眼動指標上箭頭組僅在圖上跳視距離比無箭頭組短，其餘所有指標與軌跡類型均無顯著差異，與測驗結果並未一致。

本文在文獻回顧處曾指出，Kriz與Hegarty（2007）探討儲水槽動畫中的箭頭效果也在線上的眼動指標與離線的測驗上呈現了分離狀態，但與本研究結果不同的是，他們的發現是，箭頭使關鍵的分析區域有較多的凝視時間與凝視次數，卻不能使兩組的概念理解顯現差異。Kriz與Hegarty（2007）指出圖上凸顯的視覺特徵（如箭頭）可以引導注意力到正確的位置，但這並不是建構正確理解的充分條件。他們在同文的下一個實驗以高低領域知識學習者為對象，並讓他們看完動畫後先完成第一次測驗，接著再看一次相同的動畫，最後做第二次的測驗。發現不論高低領域知識的學習者，第一次測驗所建構的心智模型多半是錯誤的，但高領域知識且看有箭頭動畫的學習者，在第二次測驗上能顯著修正自己的心智模型。該文作者以此提出區分知覺歷程與編碼歷程的重要性，後者由知識主導（knowledge-driven）的歷程影響知覺特徵的選擇與內在表徵的建構，最後形成系統性的心智表徵。

本研究眼動指標和閱讀理解測驗分離的方式與Kriz與Hegarty（2007）的結果不同，這可以從閱讀材料與測驗性質來加以比較。本研究的閱讀材料介紹的是四個與情緒有關的神經路徑，要理解這四個路徑，必須掌握這四個路徑各自相關的部件名稱、部件的空間位置，以及路徑序列方向，但不像理解儲水槽運作機制還涉及部件移動的方向及其後續的影響方式；此外，本研究同時提供文本說明與圖示，不像Kriz與Hegarty（2007）的受試者得自行解讀動畫上的訊息。相較之下，理解本研究四個神經路徑的困難度不高。那麼，何以無箭頭組在部份類型的試題上會顯現僅為猜測率的表現，而有箭頭組則顯著較佳呢？其差異可能不在理解的水準上，而是記憶保存與提取的差異。本研究在閱讀理解測驗時並未保留附圖，即使試題分為文本題、序列題、統整題，要能正確回答問題仍相當倚賴對神經路徑之各部件名稱、空間關係，以及序列關係的記憶。有箭頭組的受試者因為附圖的心像有助於保存與提取重要的訊息，其測驗表現較無箭頭組來得好，並非因為閱讀時編碼與理解上的差異，而是記憶與提取上的優勢。因此在本研究的結果上，反映編碼與理解的眼動指標差異有限，而反映記憶與提取的閱讀理解測驗有箭頭效應。亦即箭頭的效果不一致，除了前文所提的兩種可能的原因（閱讀材料過

難、靜態與動態視覺表徵之差異）之外，也與閱讀理解測驗的性質有關。

如果把Boucheix與Lowe（2010）的文獻一起納入討論，該研究不僅在眼動指標有著色箭頭的效應，也在測驗顯示著色箭頭效應，到底該研究與Kriz與Hegarty（2007）之間的異同為何呢？Boucheix與Lowe（2010）採用鋼琴內部發聲機制的動畫為素材，其性質與Kriz與Hegarty（2007）的儲水槽運作機制相近，且兩者都是單純觀看動畫來學習機械系統的運作方式，沒有文本或口白的協助，學習者不只要認識系統中各部件的名稱、空間配置，同時要自行剖析運作時各部件移動的方向、任一部件移動的後續效應等等，建構這樣一個複雜的動態心智模式有其難度，如果動畫設計時未能提供適當的協助，就只能仰賴學習者個人的背景知識了。Boucheix與Lowe（2010）在顏色組的動畫中，設計了著色的箭頭來指示部件牽引的時序變化，顏色組的測驗表現顯著較箭頭組與控制組來得好，而眼動指標也顯示較箭頭組在低知覺連續性但高主題相關區域有較多的凝視時間和凝視次數，而箭頭組則在測驗上與控制組無異。此一結果或許可以提供Kriz與Hegarty（2007）之箭頭組與控制組測驗表現無差異的另一種解釋，亦即Kriz與Hegarty（2007）所設計的箭頭組動畫還不夠細緻，受試者的注意力雖然被箭頭引導到相關的部件，但由於動畫未提供部件之間的牽引方式，受試者必須是高領域知識才有機會透過再學習而調整出正確的理解方式，否則有箭頭並不比無箭頭的動畫更具正向效果。Boucheix與Lowe（2010）的顏色組之正向效果說明了，如果學習材料設計得當，由下往上的刺激屬性也可能影響建構一個困難的動態心智模型之歷程，並非只能仰賴領域知識由上往下的作用。

本研究的發現不同於Boucheix與Lowe（2010）的結果，可能仍是閱讀材料與測驗性質上的差異，其解釋方式類似本研究與Kriz與Hegarty（2007）間的比較。亦即本研究閱讀材料建構的是一個複雜但靜態的神經路徑體系，加上有文本說明，其理解的難度不高，故有無箭頭對於閱讀時的編碼與理解的影響差異不大；本研究的測驗仰賴記憶與提取的成分較多，箭頭組的圖示心像較易於保留重要的序列訊息，而產生測驗結果較佳的表現。此一結果與Mayer（2001, 2005）的多媒體學習的認知理論一致，顯示同時有語文和圖像兩種表徵，有利於記憶和提取。

由於讀圖的眼動指標和事後測驗之間可以不一致，而作為閱讀效益較有共識的指標是測驗表現，那麼，眼動指標是否就僅供參考？眼動指標雖然不能作為閱讀效益的最佳指標，但卻能提供閱讀歷程與策略的可能線索。例如，本研究分析兩組受試者的閱讀軌跡，發現幾乎所有的讀者都有文圖參照的閱讀行為，且都是讀了二或三個句子之後，才去對應語意相關的圖區。這樣的結果與前人研究一致，顯示讀者閱讀科學圖文是以文為主導（Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty, 1992; Schmidt-Weigand et al., 2010），先在句中形成局部的知識表徵再擴大範圍，之後才作文圖語意參照的轉換和連結，最後形成整體知識表徵（Hegarty & Just, 1993）。

另外，本研究考驗三類閱讀軌跡在有無箭頭兩組的分佈上，雖然差異未達顯著，但 $p = .08$ 的結果顯示一個可能的趨勢：有一類讀者會先讀圖，再文圖參照，而這類讀者以有箭頭組（佔其35%）的受試者較無箭頭組的（佔其7%）有更多的趨勢；另一類讀者是先讀完整個文本，再文圖參照，這類讀者以無箭頭組（佔其18%）較有箭頭組（佔其5%）有更多的傾向。兩組讀者呈現不同偏好的閱讀軌跡，其中一種可能的解釋是，色彩鮮豔的箭頭使附圖的刺激更為豐富，更會吸引受試者的視覺注意力，而增加了先讀圖的機率，但效果僅止於此。另一種解釋是，箭頭在科學文章中不純然只提供知覺屬性的吸引力，同時也提供了語意訊息（Unsworth, 2001），和部件之間的功能性訊息（Heiser & Tversky, 2006）。由於閱讀經驗顯示箭頭具有獨特的功能，當螢幕呈現閱讀材料的那一剎那，箭頭會擷取讀者的注意力，使得讀者先讀圖的機率提高，並協助讀者形成初步的空間表徵以及序列性的語意表徵，雖然最終在文圖參照的狀態下，有無箭頭未必產生理解效益上的差異，但圖示箭頭仍對閱讀歷程產生影響。

然而，前述「由下而上」（bottom-up）知覺處理的觀點和「從上而下」（top-down）的認知主導觀點，何者更能解釋箭頭對圖文整合歷程的影響？這仍需要進一步以實徵資料來驗證哪一種說法正確。例如文獻上（Carroll, Young, & Guertin, 1992; Underwood, Jebbett, & Roberts, 2004）以在圖文一併呈現之前，先呈現附圖一段時間，用以回答附圖究竟提供了讀者什麼訊息。如果有箭頭組先讀圖的比率較高，純粹是知覺性的吸引力，而不具建構整體性空間表徵的功能，則先呈現有箭頭圖示或先呈現無箭頭圖示的兩組受試

者，在其後同時呈現文與圖的文區閱讀行為上將不會顯現眼動指標上的差異；反之，若箭頭具有提供序列關係的語意訊息，那麼，文圖參照階段在閱讀與序列關係有關的文區語句時，有箭頭組的受試者在該分析區域的回視時間或回視次數上將比無箭頭組來得少，顯示先前閱讀有箭頭的圖示提供了序列關係的訊息，而提升了閱讀文本相關區域的流暢度。假若考量靜態神經路徑的材料偏重記憶，可能無法展現有無圖示箭頭對相同文本閱讀行為的影響，那麼，文獻上的儲水槽或琴鍵等需要建構動態心智模型的研究材料，可能更為適當。

本研究以眼動儀上機的閱讀方式或許和一般紙本閱讀方式有些許不同，例如：讀者無法以筆或手直接在圖上比畫，也無法做註記，但研究者發現本研究的部分受試者在閱讀過程中，會以手指在空中比劃，此行為與紙本閱讀的部分行為相似。此外，目前閱讀習慣的改變，包括電子書或在平板電腦上閱讀的趨勢，都與本研究的閱讀形式類似。因此，本研究探討圖文閱讀與整合歷程的結果在應用層次上，仍具有一定程度的推論度，亦具有以資訊科技做為閱讀介面，探討閱讀認知歷程與行為等相關研究的參考價值。

最後，本研究認為以眼球追蹤技術探討圖文閱讀能力的發展是一值得關注的議題，也是後續可行的研究方向。Hannus與Hyönä（1999）的研究顯示雖然兒童與成人讀者都是以文為主導，來閱讀圖文並置的科學文章，但是兒童讀圖的時間比例出乎意料之外的少。相較於本研究以大學生為受試者的實驗結果，讀圖閱讀時間比例約佔全文的20%，上述以國小學童為受試者閱讀生物教科書的研究顯示他們讀圖的時間比例只佔全文的6%。雖然兩個研究在圖文版面的比例上並未有相同的控制，但是兩者的圖都是訊息量豐富的科學圖，且圖的版面在文章中的比例都不低，Hannus與Hyönä（1999）的實驗材料甚至在一篇文章中有3至6個圖，讀圖時間比例何以會如此地低，未來可以從發展的觀點探討科學圖文的閱讀能力。

參考文獻

李寶（LeDoux, J., 1996/2001）：《腦中有情——奧妙的理性與感性》（*The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*，洪蘭譯）。台北：遠流。[LeDoux, J. (1996/2001). *The emotional brain: The mysterious underpinnings*

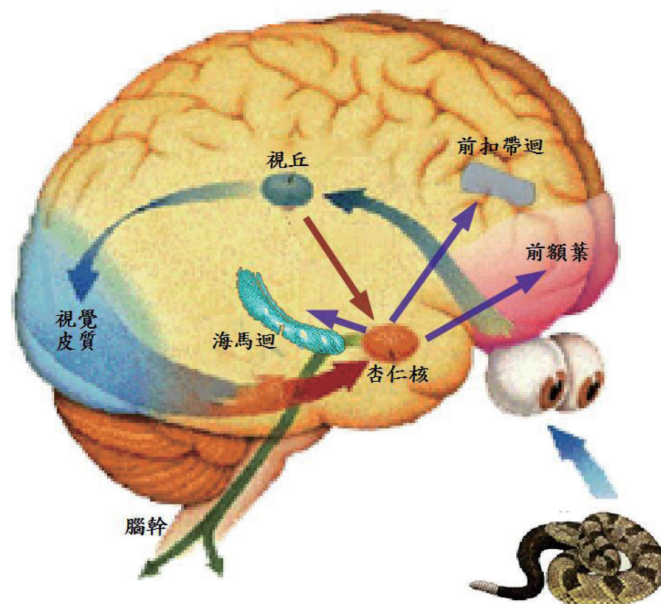
- of emotional life* (L. Hung, Trans.). Taipei: Yuan-Liou.]
- 柯華葳、陳明蕾、廖家寧 (2005) : 〈詞頻、詞彙類型與眼球運動型態：來自篇章閱讀的證據〉。《中華心理學刊》，47，381-398。[Ko, H.-W., Chen, M.-L., & Liao, C.-N. (2005). Frequency effect, word class and eye movements: Evidence from text reading. *Chinese Journal of Psychology*, 47, 381-398.]
- 簡郁芬、吳昭容 (2011, 12月) : 〈以眼球追蹤技術探討科學文章閱讀中圖的功能〉。中華民國第二十七屆科學教育學術研討會發表，國立中山大學，高雄市。[Jian, Y.-C., & Wu, C.-J. (2011, December). *Investigating the function of a graph in the scientific reading by eye-tracker*. Paper presented at the 27th Annual Conference of Science Education, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan.]
- Boucheix, J.-M., & Lowe, R. K. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and Instruction*, 20, 123-135.
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction*, 20, 155-166.
- Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14, 5-26.
- Carpenter, P. A., & Shah, P. (1998). A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 4, 75-100.
- Carroll, P. J., Young, J. R., & Guertin, M. S. (1992). Visual analysis of cartoons: A view from the far side. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 444-461). New York: Springer-Verlag.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 151-170.
- Chen, M. L., & Ko, H. W. (2011). Exploring the eye-movement patterns as Chinese children reading texts: A developmental perspective. *Journal of Research in Reading*, 34, 232-246.
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 731-746.
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010). Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction*, 20, 111-122.
- Evans, K., Rotello, C. M., Li, X., & Rayner, K. (2009). Scene perception and memory revealed by eye movements and receiver-operating characteristic analyses: Does a cultural difference truly exist? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 276-285.
- Goldberg, J. H., & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 631-645.
- Hannus, M., & Hyönä, J. (1999). Utilization of illustrations during learning of science textbook passages among low- and high-ability children. *Contemporary Educational Psychology*, 24, 95-123.
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 1084-1102.
- Hegarty, M., Canham, M. S., & Fabrikant, S. I. (2010). Thinking about the weather: How display salience and knowledge affect performance in a graphic inference task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36, 37-53.
- Hegarty, M., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1991). Diagrams in the comprehension of scientific texts. In R. Barr, M. L. Kamil, P. B. Mosenthal, & P. D. Pearson (Eds.), *Handbook of reading research: Volume II* (pp. 641-668). New York: Longman.
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32, 717-742.
- Heiser, J., & Tversky, B. (2006). Arrows in comprehending and producing mechanical diagrams. *Cognitive Science*, 30, 581-592.

- Holsanova, J., Holmberg, N., & Holmqvist, K. (2009). Reading information graphics: The role of spatial contiguity and dual attentional guidance. *Applied Cognitive Psychology, 23*, 1215-1226.
- Hyönä, J. (2010). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction, 20*, 172-176.
- Inhoff, A. W., & Wu, C. (2005). Eye movements and the identification of spatially ambiguous words during Chinese sentence reading. *Memory & Cognition, 33*, 1345-1356.
- Jian, Y.-C., & Ko, H. W. (2007, August). *Investigating the effects of background knowledge on Chinese word recognition: Evidence from eye movements*. Paper presented at ECEM 14th European Conference on Eye Movements, Potsdam, Germany.
- Jian, Y.-C., Wu, C.-J., & Su, J.-H. (2011, August). *Eye movements when integrating scientific text and graphics information: The effect of sequential layouts on graphics*. Poster session presented at the 16th European Conference on Eye Movements, Marseille, France.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review, 87*, 329-354.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 40*, 1-17.
- Kriz, S., & Hegarty, M. (2007). Top-down and bottom-up influences on learning from animations. *International Journal of Human-Computer Studies, 65*, 911-930.
- LeDoux, J. E. (1994). Emotion, memory and the brain. *Scientific American, 270*, 50-57.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education, 14*, 225-244.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction, 13*, 157-176.
- Lowe, R. K., & Schnotz, W. (2008). *Learning with animation: Research implications for design*. New York: Cambridge University Press.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology, 99*, 640-652.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 183-200). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology, 82*, 715-726.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*, 43-52.
- Paivio, A. (1990). Dual coding theory. In A. Paivio (Ed.), *Mental representations: A dual coding approach* (pp. 53-83). New York: Oxford University Press.
- 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., & Pollatsek, A. (1987). Eye movements in reading: A tutorial review. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp. 327-362). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rayner, K., Rotello, C. M., Stewart, A. J., Keir, J., & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information: Eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 7*, 219-226.
- Rayner, K., Smith, T. J., Malcolm, G. L., & Henderson, J. M. (2009). Eye movements and visual encoding during scene perception. *Psychological Science, 20*, 6-10.
- Sanchez, C. A., & Wiley, J. (2006). An examination of the seductive details effect in terms of working memory capacity. *Memory and Cognition, 34*, 344-355.
- Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2009). Explaining the modality and contiguity effects: New

- insights from investigating students' viewing behaviour. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 226-237.
- Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2010). A closer look at split visual attention in system- and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20, 100-110.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Shah, P., Mayer, R. E., & Hegarty, M. (1999). Graphs as aids to knowledge construction: Signaling techniques for guiding the process of graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 91, 690-702.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tversky, B., Heiser, J., MacKenzie, R., Lozano, S., & Morrison, J. (2008). Enriching animations. In R. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation: Research implications for design* (pp. 263-285). New York: Cambridge University Press.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
- Underwood, G., Jebbett, L., & Roberts, K. (2004). Inspecting pictures for information to verify a sentence: Eye movements in general encoding and in focused search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 57, 165-182.
- Unsworth, L. (2001). *Teaching multiliteracies across the curriculum: Changing contexts of text and image in classroom practice*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Yen, M.-H., Tsai, J.-L., Tzeng, O. J.-L., & Hung, D. L. (2008). Eye movements and parafoveal word processing in reading Chinese. *Memory & Cognition*, 36, 1033-1045.

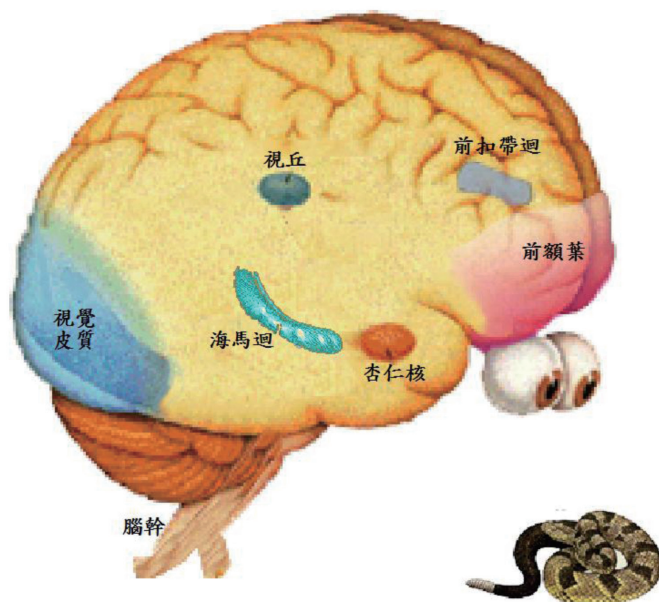
附錄一：圖示箭頭的實驗材料

生物對環境中危險的刺激會感到恐懼，因為這與生存息息相關。李賓教授指出有機體的大腦有一個恐懼反應系統，它是一個平行處理的系統。當個體無意間看見一條蛇，這個視覺刺激會先從眼球將訊息往後送到大腦的視丘處理，再直接送到大腦皮質下的杏仁核。這條皮質下路徑傳遞的訊息是較粗糙的表徵，但可讓大腦立刻對危險訊號展開反應，所以它是個快而馬虎的通路。同時，視丘也將同樣的視覺影像往後送到視覺皮質作處理，之後再送到杏仁核。這條皮質上路徑雖較長且耗時，但是會對刺激形成比較精確的表徵。兩條通路的訊息都會匯集到杏仁核，經由內部通路並做處理，再連接腦幹，釋放出各種防禦反應，像是自主神經系統的改變與驚嚇反射反應。除了上述恐懼反應，個體能意識到危險情境並做情緒處理，是因為杏仁核也會將接收到的刺激投射到皮質各區，包括執行工作記憶時會激發的前扣帶迴、與長期記憶有關的海馬迴、和注意力與認知評估有關的前額葉，而大腦皮質各區也會傳送訊息到杏仁核。綜合這些訊息，個體會決定下一步所要採取的行動。



附錄二：圖上無箭頭的實驗材料

生物對環境中危險的刺激會感到恐懼，因為這與生存息息相關。李寶教授指出有機體的大腦有一個恐懼反應系統，它是一個平行處理的系統。當個體無意間看見一條蛇，這個視覺刺激會先從眼球將訊息往後送到大腦的視丘處理，再直接送到大腦皮質下的杏仁核。這條皮質下路徑傳遞的訊息是較粗糙的表徵，但可讓大腦立刻對危險訊號展開反應，所以它是個快而馬虎的通路。同時，視丘也將同樣的視覺影像往後送到視覺皮質作處理，之後再送到杏仁核。這條皮質上路徑雖較長且耗時，但是會對刺激形成比較精確的表徵。兩條通路的訊息都會匯集到杏仁核，經由內部通路並做處理，再連接腦幹，釋放出各種防禦反應，像是自主神經系統的改變與驚嚇反射反應。除了上述恐懼反應，個體能意識到危險情境並做情緒處理，是因為杏仁核也會將接收到的刺激投射到皮質各區，包括執行工作記憶時會激發的前扣帶迴、與長期記憶有關的海馬迴、和注意力與認知評估有關的前額葉，而大腦皮質各區也會傳送訊息到杏仁核。綜合這些訊息，個體會決定下一步所要採取的行動。



附錄三：閱讀測驗

- () 1. 令個體感到恐懼的刺激會匯集到視丘，在此作出各種防禦反應。
- () 2. 大腦中的海馬迴與注意力的執行有關。
- () 3. 大腦中的前扣帶迴與工作記憶的運作有關。
- () 4. 能對蛇形成較精確的影像的路徑，是外界刺激經眼球將訊息先往後送到視覺皮質，再送到視丘。
- () 5. 恐懼系統中的皮質下路徑是指外界刺激先經視丘，直接送到杏仁核，再送到腦幹產生驚嚇反射反應。
- () 6. 個體能意識到危險情境並做評估的神經路徑上，視丘是在前額葉之前。
- () 7. 杏仁核和大腦皮質之間有些路徑是雙向的，因為有此雙向通道的互動，個體才能意識到危險並做處理。
- () 8. 在恐懼反應系統中，杏仁核需等待大腦皮質作整體評估與解釋後，才決定回應外界危險的方式。
- () 9. 本文討論的是恐懼的反應系統與對危險意識的神經機制。
- () 10. 在情緒意識系統涉及工作記憶處理的神經路徑上，前扣帶迴是在視丘之前。

The Effect of Arrows in an Illustration When Reading Scientific Text: Evidence from Eye Movements and Reading Tests

Yu-Cin Jian and Chao-Jung Wu

Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University

Previous researches have shown that the use of arrows can aid the comprehension of graphical information. From the functional perspective, arrows can provide useful information about sequential relations between graphical components and indicate pathway directions. However, the presence of excessive arrows in an illustration may produce negative effects related to perceptual complexity and division of attention. In this study we investigated the effect of using arrows in an illustration when reading scientific text by recording viewers' eye movements and obtaining their reading test scores. The participants first read a scientific text that included an illustration either with or without arrows (arrow group versus nonarrow group), and then they completed a reading test. The accuracy on the "sequential items" and "integrative items" was higher and the mean saccade length on an illustration was shorter for the arrow group than for the nonarrow group, but there were no differences between the groups in total fixation duration, fixation duration on an illustration, the ratio of the total fixation duration on an illustration, and the number of saccades between text and an illustration. Although the results of the reading test supported that arrows have a positive effect on the reading of illustrations, the results for eye movements were inconsistent. Alternative explanations are discussed based on comparing the types of materials and reading tests between our and previous studies. The indicators of eye movements that reflect possible processes involved when reading illustrations and text are also discussed.

Keywords: *arrow, eye movements, integration of illustration and text, scientific reading*