

教育科學研究期刊 第五十五卷第四期

2010 年，55 (4)，39-68

## 眼球追蹤技術在學習與教育上的應用

陳學志

國立臺灣師範大學  
教育心理與輔導學系  
教授

賴惠德

佛光大學  
心理學系  
副教授

邱發忠

國防大學  
心理及社會工作學系  
副教授

### 摘要

本文目的為對眼球追蹤技術在學習與教育上的應用進行論述。人類的認知訊息處理歷程中有 80%以上的訊息是由視覺獲得，而眼球運動也是認知過程中最為重要的感官訊息來源，近來發展的眼球追蹤技術提供了自然且即時的測量來探討認知、情緒、動機等議題，因此，眼球追蹤技術已經被廣泛地使用在各個領域中。本文針對眼球追蹤與眼球追蹤儀的基本概念、眼動指標、操作方法、資料分析方法等進行介紹。並針對眼動與閱讀、眼動與教學、眼動與問題解決及眼動與情意特質的運用等議題進行論述。藉由本文的介紹將使讀者對眼動研究在學習與教育上的應用有基本的認識。

關鍵字：教育、眼球追蹤、跳視、學習、凝視時間

---

通訊作者：陳學志，E-mail: chcjyh@ntnu.edu.tw

收稿日期：2010/07/19；修正日期：2010/11/16、2010/12/23；接受日期：2010/12/24。

## 壹、前言

對於 1 位學生在學習當下的認知歷程，過去傳統方法是透過「晤談」(interview) 或「放聲思考」(think aloud) 等方法加以推測，然而，此種策略不但容易受記憶偏誤的影響，亦有可能無法真實反映出個體未意識到的內在認知歷程，此外，個體會傾向社會期許的方向反應。因此，內省的正確性、社會期許的問題等皆會限制測量的結果 (Perugini & Banse, 2007)。後來隨著速示器 (tachistoscope)、電腦實驗軟硬體的發達，學者開始使採用唸名作業 (Naming Task)、字彙判斷作業 (Lexical Decision Task, LDT) 等派典 (paradigm)，以「反應時間」(reaction time) 及「正確率」(correct rate) 的測量，來間接推論個體內在的心智表徵與歷程，研究獲致了相當豐碩的成果。然而，上述作業無法完整記錄個體的訊息處理歷程，故有其限制性。

學界近來發展的眼動追蹤 (eye movement monitoring) 技術則提供了自然且即時探討認知思考的重要工具，該方法廣泛地被應用在瞭解閱讀歷程等相關的議題 (如眼動的特性、知覺廣度及訊息整合等)，以及用眼動記錄的資料來檢驗不同認知作業下之認知歷程 (Rayner, 1998)。因此，以眼動記錄的方式來探討個體在閱讀、解題、教學材料的處理及問題解決時的認知歷程，應為可行之方法。

人類的認知訊息處理歷程中有 80% 以上的訊息是由視覺獲得，眼球運動也是認知過程中最為重要的感官訊息來源 (Sanders & McCormick, 1987)。雖然眼球運動資料如此重要，然而，過去只能透過人眼觀察來瞭解眼球運動的方式，不但有欠客觀且精確度低，也無法掌握眼動細微的變化，因此，很難累積及提供令人信服的研究。不過，二十世紀後，學界開始利用眼睛的各種特性來記錄眼球運動的方式，如電的特性、眼睛形狀、光的特性或直接接觸眼球的方式等。隨著科學的進步，使得追蹤眼球運動的技術更加先進、也更多元化。現今眼球追蹤技術為利用圖像處理技術，運用能夠鎖定眼睛的特殊迷你攝影機，透過捕捉從人的眼角膜和瞳孔反射出來的紅外線，連續記錄眼球變化，從而記錄並分析眼球追蹤過程。使得近幾十年眼動研究開始蓬勃發展，也累積相當可觀的成果。

目前眼球追蹤儀被廣泛使用在神經科學、心理學、工業工程、人因工程、行銷／廣告、電腦科學等領域 (Duchowski, 2002)，其中在心理學領域中，主要是用在閱讀 (reading) (柯華葳、陳明蕾、廖家寧，2005；蔡介立，2000；Radach, Inhoff, & Heller, 2002; Rayner, 1998)、圖像知覺 (scene perception) (Rayner, Smith, T., Malcolm, & Henderson, 2009)、問題解決 (problem solving) (Knoblich, Ohlsson, & Raney, 2001)、聽覺語言處理 (auditory language processing) (Sussman, Campana, Tanenhaus, & Carlson, 2002)、注意力 (attention) (Kowler, Anderson, Doshier, & Blaser, 1995) 及其他訊息處理主題上。其中使用最多的是在閱讀，也對人類閱讀學習提供相當多的貢獻。

在圖像認知處理的研究方面，Loftus（1981）發現凝視圖片可登錄圖片訊息，因此凝視愈久，愈多的訊息被登錄，對圖片的再認效果也較好。Rayner 與 Pollatsek（1992）也發現圖片的整體訊息在最初的凝視就已經被登錄，因此，我們對整體知覺再認會好於局部知覺再認。此外，也有研究開始蒐集及分析參與者在自然環境中的眼動資料，如在泡茶時、準備食物等（Land & Hayhoe, 2001; Land, Mennie, & Rusted, 1999），也就是傾向在自然環境下來研究參與者的眼動反應。此外，眼動儀在其他訊息處理的研究也相當多元及豐富，包括：一、數學、數字閱讀及問題解決；二、雙重任務情境；三、臉部知覺；四、腦傷；及五、動態情境，如開車、射籃、打高爾夫、桌球、棒球等。

綜合上述，國外透過眼動追蹤的技術，已經在各個領域累積相當多的成果，場域從實驗室到自然環境，感官從視覺到聽覺、聽覺雙重路徑，內容從文字到圖像，皆可包含在內。因此，若能應用眼動追蹤技術在學習與教育各不同主題上，將對教育與學習相關領域理論與實務的發展有相當多的助益。植基於以上認識，本文目的在回顧並介紹眼球追蹤技術的發展、原理以及其在學習與教育場域上的可能應用，俾利拋磚引玉，吸引更多的研究者與教學實務工作者共同參與，能有更多更好的研究開花結果，期能繼續提升我國的學習與教育品質。

## 貳、眼球追蹤的歷史發展與原理

眼睛是靈魂之窗，也是人類最重要的知覺器官。正常人的學習過程，主要是依賴經由眼球所進入大腦的訊息，故而眼睛的移動軌跡提供吾人瞭解學生學習歷程及困難的一個重要的途徑。從一個世紀以前，科學家便對人類的眼球移動產生高度的好奇。

依 Rayner（1998）的回顧，他認為眼球追蹤的研究，至二十一世紀前共經歷了三個階段。第一階段的研究可以追溯至 1879 年 Javal 等人對閱讀歷程中眼球移動基本現象的觀察，並延續至 1920 年左右，在此階段的眼球研究中已發現了閱讀中的「凝視」（fixation）及「跳視」（saccade）的現象，並發現眼球在快速「跳視」的過程中難以知覺到訊息的「跳視抑制」（saccadic suppression）現象。在第二階段中，由於行為主義的興起，人們將內在的認知運用歷程視為黑箱，故而大多數的研究均聚焦於探討眼球移動現象的本質，並未嘗試去推論內在的學習與認知的歷程，因此研究的數量相對地減少。但到了 1970 年代中期，由於認知心理學的濫觴，使得眼球的移動成為窺探大腦及認知系統的有力證據，故而相關的研究又受到學界的重視。再加上眼球追蹤技術科技的發達以及資訊科技的進步，使得眼球移動軌跡可以精確而容易取得，故相關的研究又如雨後春筍般地出現。此外，「伴隨眼視改變典範」（gaze-contingent display change paradigm）的發明，使得科學家不再只是被動地觀察參與者的眼動反應，而能夠即時追蹤其眼動的軌跡，並依其軌跡改變呈現的刺激內容。此一典範引進了很多有趣的研究策略，如「移動視窗」（moving window），並累積了豐富的成果。

二十一世紀以來，眼球追蹤技術最大的突破在於其逐漸的普及化及人性化，以往眼球追蹤技術僅屬於少數研究貴族的專利，不但設備昂貴且在實驗程式的撰寫及資料分析上均有很高的門檻。此外，眼球追蹤設備不易校正，以及會對參與者的正常作業造成困擾，使得使用上相對困難。然而，隨著資訊科技的發達，專門針對眼球追蹤所設計的實驗及資料分析套裝程式也陸續開發完成，使得沒有程式設計背景者也能進行眼動研究。此外，眼球追蹤設備已由早期的頭架式、頭戴式進步到遠端追蹤（remote eye tracking），該設備不但易於校正，在追蹤眼球軌跡的同時，參與者仍可以保持在最自然、方便的情況下進行實驗者的作業要求。上述的演變，也揭開了眼動研究的新紀元。

爲了瞭解眼動的本質，得從眼球的結構說起。爲何人的眼球會不斷地移動？基本上是爲了獲得最佳的敏銳度（acuity）。眼球最內側的視網膜（retina）中包含兩類的感光細胞：錐細胞（cone）及桿細胞（rod），其中桿細胞對光線相當敏感，能感受到相當微弱的光，但無法分辨各種色彩，而且敏銳度較低。所以桿細胞適合在夜晚光線不足下視物，只可惜那時我們多半無法看到豐富的色彩變化以及物體細緻的線條。反之，錐細胞具備色彩視覺的能力，也負責看清影像的細節，但必須在光線充足下方能順利運作。而大部分的錐細胞位於水晶體正後方的網膜上一點，此處是敏銳度最高的地方，我們稱之爲「中央小窩」（fovea）。我們在看物體時總是不停地轉動眼睛，目的就是要將注視的物體影像投射至中央小窩（Van Essen, Anderson, & Felleman, 1992）。

當吾人在觀看事物時，其凝視點左右各 1 度視角的視野內容將可直接落入中央小窩，其大小約等於正常成人伸直手臂後其拇指甲的大小（Haber & Hershenson, 1973）。從此視野向外延伸 5 度視角的範圍稱爲「窩邊」（parafoveal）視野，影像將變得較不清楚，若再往外側則其影像將變得模糊，其視野稱爲「周邊」（peripheral）視野。如果一般大小的文字或物體出現在中央小窩視野中，則個體不需要移動眼球即可成功辨識該物體。反之，若出現在周邊視野或更外圍區域，則個體就必須移動眼球甚至轉動頭部方能解析其內容（Rayner & Morrison, 1981）。

除了靜止不動的凝視外，所有靈長類動物的眼球均包含至少五類的移動（Duchowski, 2007）：跳視、平滑追蹤（smooth pursuit）、前庭眼動（vestibular）輻輳作用（convergence）以及眼震（nystagmus）。其中輻輳作用爲的是取得立體知覺；而眼震則是爲了避免視細胞習慣化所自主產生的細微移動；平滑追蹤是一種慢速盯住移動目標物的現象；而前庭眼動則是爲了補償頭部或身體運動以維持注視於某物的眼動反應。上述四種眼動與認知及學習的關聯較低，故本文仍將重點置於跳視以及凝視兩個現象。

跳視一詞來自法語，其原義爲風帆的翻動（flick of a sail）（Gregory, 1990），現意指爲了使中央小窩注視某刺激所進行的快速眼球移動。跳視的平均速度通常高達每秒 500 度視角，由於是如此快速地移動，因此幾乎無法知覺到所經過的訊息，此即所謂的「跳視抑制」（Matin,

1974)。跳視的速度是其移動距離的單調函數，在起點及終點時的速度較慢，但中點時最快。跳視所持續的時間則與移動的距離有關，2 度視角的跳視約需 30 毫秒，而 5 度視角的跳視則需近 50 毫秒 (Abrams, Meyer, D. E., & Kornblum, 1989)。跳視的距離與作業的性質有關，在閱讀時約為 7-9 個英文字母，閱讀中文的研究則顯示，平均的移動距離為 2.5 至 3.3 個單字 (蔡介立, 2000)，但在觀看圖片時則可以長達四至五個視角 (Rayner, 2009)。

介於跳視間的眼球相對靜止的狀態即為「凝視」，在此時個體才能真正進行知覺辨識以及認知的處理。凝視的時間與作業的種類有關，在閱讀時約需 225-250 毫秒，在知覺圖片時則平均為 260-330 毫秒。值得注意的是，在此時間內，眼球並非完全靜止不動，而是包含了眼震以及微跳視 (microsaccades) 等細微的眼部活動。在連續的眼球追蹤過程中，研究者所觀察到的凝視時間，除了包含分析判斷當下刺激所需的時間，也包含了判斷及決定下一個凝視點的位置並且啟動下一個跳視所需的時間，此稱之為「跳視潛伏期」(saccade latency)，除非使用特別的實驗策略，否則觀察到的凝視時間包含處理當下刺激所需時間以及跳視潛伏期。

## 參、眼球軌跡的測量與分析

基本上，有四種不同的眼球追蹤方法 (Duchowski, 2007; Rayner, 1998)。第一種方法為「眼框電位測量法」(Electro-Oculography)，該方法以電極片記錄眼框周圍皮膚的電位反應，以判斷眼球的移動變化，此方法廣泛地在 1970 年代中期使用 (Young & Sheena, 1975)，該方法相當簡便，雖然適合測量「跳視」的潛伏期，但對凝視位置的測量較不精確。

第二種也是最精確的眼動測量法為「鞏膜搜尋線圈」(Scleral Search Coil)，該方法將一個裝有金屬線圈的隱型眼鏡戴在參與者的角膜與鞏膜之上，再使用電磁場框架來測量該線圈的運動情況 (Young & Sheena, 1975)。雖然該方法可能是最精準的眼球追蹤儀，但由於其屬於侵入式的測量方法，故此方法僅特殊情形下才會被使用。

第三種方法為「眼球影像分析法」(Photo-OculoGraphy or Video-Oculo Graphy)，該方法通常藉由一個紅外線的光源投射至參與者的眼球表面，再使用一個高倍數的攝影機來擷取參與者眼球的影像，最後經由電腦快速地分析眼球的瞳孔形狀、虹膜邊界的位置來推斷眼球的凝視位置及移動方向。由於此一方法得到的仍是眼球相對於頭部的相對位移，故通常需要將眼球追蹤儀戴在參與者頭上，或者是使用頭架或下巴架 (head rest or chin rest) 固定參與者頭部，以確保得到穩定的眼球位置，故而在使用上仍有諸多的限制與不便。

最後一種，也是目前最常被使用的方法稱為「瞳孔與角膜的影像合併分析法」(Video-Based Combined Pupil/Corneal Reflection)，該方法同時記錄及分析特定方向的遠紅外線在角膜上的反應點以及瞳孔中央位置的差異，來計算出眼球的位置以及頭部的移動位置。由於角膜的反應又被稱之為 Purkinje 反射 (Crane, 1994)，故而此方法又被稱之為「遠紅外線 Purkinje

影像追蹤法」(Infrared Purkinje Image Tracking)。此種技術經由簡單的校準 (calibration) 便可以獲得精確的頭部及眼球位置，故而參與者可以保持頭部的自由活動，而仍能有效地記錄眼球軌跡，可以說是目前最常被廣泛使用的方法。

除了上述測量方法，眼球追蹤儀依其放置的所在，可以分為「頭戴式」(head mounted)、「桌立式」(table mounted) (眼動儀設備如圖 1)，前者雖然較不方便，但卻適用於涉及行動的作業 (例如：開車或打球等活動的眼動記錄) 以及在真實情境中所進行的 3D 情境研究。後者的優點為使用方便，但卻僅能記錄參與者觀看 2D 螢幕刺激時的眼球軌跡變化。研究者可以依其目的選擇適合的眼動儀設備來進行研究。



圖1 眼動儀設備

雖然各家眼球追蹤儀有些許的特色差異，但其操作原理則大同小異，茲舉研究者實驗室所使用的眼球追蹤儀為例，說明其硬體的安裝及軟體的操作原則。如圖 2 所示，進行眼球追蹤實驗需要 2 臺個人電腦，其中 1 臺為主試電腦 (host PC)，該電腦與眼球追蹤儀連線，負責記錄及分析參與者的眼動軌跡資料，同時也供主試者設定各種實驗參數進行實驗的監控；另 1 臺則為參與者電腦 (display PC)，負責依實驗者設計的程序呈現實驗材料供參與者觀看。2 臺電腦間使用網路連線，俾能即時的將訊息傳送給另 1 臺電腦，經由此連線，可使主試電腦在偵測到參與者的特定眼動反應後，立即改變參與者電腦呈現的刺激材料，故而能夠進行「伴隨眼視改變典範」的相關研究 (McConkie & Rayner, 1975)。

當個體觀看一張視覺刺激 (文字或圖片) 時，眼球追蹤儀便會以一定的「取樣頻率」



圖2 眼動儀設備

註：進行實驗時需要 2 臺電腦，右側為主試電腦，左側則為參與者電腦

(sampling rate) 來記錄其當下的眼球凝視位置 (通常以 X 及 Y 座標來代表)。取樣頻率的高低決定眼動資料的精確程度，如果要能記錄到跳視的現象，最好能有 250 Hz 或以上的取樣頻率，若要能觀察到眼震的現象，則需要有接近 1000 Hz 的取樣頻率為宜。以目前的科技而言，眼球追蹤儀已能達到 2000 Hz 的取樣頻率，但以一般的教育心理學研究而言，500 Hz 已能滿足需求。

以 500 Hz 的取樣頻率而言，每秒鐘即可蒐集參與者  $500 \times 3$  筆資料，此即為眼動的原始資料。但在研究上較少直接使用此類繁瑣的細節資料，而係將其歸納整理成更上層的眼動現象，即「凝視」及「跳視」。每個凝視的資料包含其「凝視時間」(fixation duration) 以及「凝視位置」(fixation position) 等訊息。跳視的資料則包括「跳視時間」(saccade duration)、「跳視幅度」(saccade length/saccade amplitude)、「跳視方向」(saccade direction)、「跳視速度」(saccade velocity) 等資料。上述資料才是眼球追蹤所使用的基本元件。

針對任何一張視覺刺激，均可以使用整體或局部的方法來分析其眼動的現象。所謂的整體分析係指不考慮其觀看刺激的特定位置或時間點，而以呈現刺激的全體觀點來看眼動型態。從此一分析，可以看出不同作業對眼動的影響，例如，各種作業之平均凝視時間依序為：打字時 (400 ms)、讀樂譜 (375 ms)、觀看圖片 (330 ms)、閱讀 (225 ms)；而跳視長度則依序為：觀看圖片 (4 度視角)、閱讀 (2 度視角)、讀樂譜及打字 (均為 1 度視角) (Rayner, 1984)。從發展的方面觀之，亦可發現，相對於成人，學前小孩之平均凝視時間較長、跳視長度較短 (Kowler & Martins, 1985)。基本上，平均凝視時間可反應出作業對該參與者的難易程度 (或所需心智資源的程度)，愈困難的作業平均凝視時間就愈長；而跳視的長度則反應出訊息的密度程度，即訊息密度愈大，跳視的長度就愈短。

此外，陳學志、彭淑玲、曾千芝與邱皓政（2008）也發現，實驗參與者在自由觀看螢幕上的八張圖片時，其平均的跳視長度與該參與者在認知及情意取向的創造力測量指標均有顯著的相關。高創造力的參與者，其平均跳視長度明顯的大於低創造力的參與者。此一結果也符合高創造力者傾向以整體而非局部片面的方式來覺察世界的發現（Friedman, Fishbach, Förster, & Werth, 2003）。

除了上述以整體的角度來觀看眼球移動的資料外，研究者通常會從理論或假設出發，事先在觀看的刺激內容中定義出一些「興趣區域」（Area Of Interest, AOI），然後以區域為單位來分析其眼球移動的資料。例如，在探討單字的「偏好觀看位置」（preferred viewing position）的研究（McConkie, Kerr, Reddix, & Zola, 1988; Rayner, 1979）。想知道閱讀者最喜好將眼球凝視於單字前、中、後的哪個字母位置上，因此就得將每個字母設成興趣區域，結果發現，介於單字前四分之一的字母是閱讀者最為偏好的凝視位置。當然，吾人也可視需要將興趣區域設定成爲一個字、詞或是更大的單位（White, 2008; Yang, Wang, Chen, & Rayner, 2009）。

而在圖片觀看研究中，則可能將其中劃分爲不同的區域，例如：Chua、Boland 及 Nisbett（2005）發現，若將一張圖片劃分爲前景及背景兩部分，則使用中文的觀看者比使用英文的觀看者得花更多時間凝視背景的部分。另外，在臉孔辨識的研究中，研究者可以將臉孔的不同部位，例如：眼睛、鼻子、嘴巴、耳朵、頭髮等區域均設定成個別的興趣區域，分別觀察不同區域的凝視時間，來瞭解辨識能力不同者在眼動資料上的差異（邱郁秀，2009）。

除了以空間來切割出興趣區域，研究者也可以使用觀察的時間來分析不同的眼動資料，此即所謂的「興趣時段」（Period Of Interest, POI）。例如，Knoblich 等（2001）在探討參與者解決「火柴棒數學問題」（matchstick arithmetic problem）時，不但將每根火柴棒所組成的數字及運算符號均定義成爲一個興趣區域，更須將實驗參與者解題的時間切割成爲前、中、後三個興趣時段。結果發現，針對解題所需要的關鍵興趣區域而言，成功解題者凝視該區域的時間隨著前、中、後的時段顯著地上升；但解題失敗者，凝視於此區域的時間則不會隨著興趣時段改變。

分析眼球軌跡可以使用近百種不同的指標，然而，一般最常見的眼動指標不超過十個，底下僅就較常被使用的指標進行介紹。在進行教育及心理學研究時，較少針對單一個凝視或跳視進行分析，相反地，通常是以參與者注視某個興趣區域的時間來進行統計分析。參與者視線進入某個興趣區域至離開前的凝視時間總和稱爲「注視時間」（gaze duration），該時間可能包含一個或多個凝視時間的和，注視時間是閱讀中最常被使用的眼動指標之一。注視時間愈長，通常代表觀看者想要或需要花較多的時間處理該區域的訊息，也就反映出此區域的內容難度較高，正在進行較為耗時的認知處理或者是此區域較能引起觀看者的注意。

但當面對複雜的視覺刺激，參與者可能不只一次進出某個興趣區域，則注視時間又可以被分成「首次注視時間」（first past gaze duration/first run gaze duration），「第二次注視時間」



(second past gaze duration/second run gaze duration) 至「末次注視時間」(last past gaze duration/last run gaze duration)，而這些時間的總和則為「佇留時間」(dwell duration/dwell time)。「佇留時間」代表著完全理解該興趣區域所需的時間，也可能表示該興趣區域吸引個體欣賞或閱讀的時間。

當閱讀 1 篇文章時，閱讀者的眼球軌跡並非絕對是單向前進，由第一個字讀至最末一個字的。有時，閱讀者會在閱讀至某個字句後，將眼球的凝視點移回至先前已看過的文句，此一現象稱之為「回視」(regression)。回視通常發生在閱讀到令其困惑的文句時，而其所回視的位置則是被認為可以提供其解決困惑線索的文句所在。當觀看者的閱讀能力愈弱，文章的連貫性愈差或者閱讀的內容難度愈高時，其回視的次數以及回視的總時間也就會顯著地上升。

當一張圖片刺激出現時，在有限的觀看時間下，觀看者會優先將眼球移至最吸引其注意力、或者能獲取最重要訊息的位置。故而，經由測量刺激出現後至觀看者首次將眼球移入某興趣區域所需的時距，亦即「首次注視時間」(first fixation time)，即可以得知該區域吸引觀看者的程度。如果某個區域愈吸引觀看者，則該區域之首次注視時距也會愈短。

除了眼球的移動訊息外，眼動儀也可以記錄實驗參與者觀看刺激時之瞳孔大小和自發眨眼率 (spontaneous Eye Blink Rate, EBR)。瞳孔大小受兩種因素所影響：刺激的亮度以及刺激引起觀看者情緒激發的程度。如果某一刺激愈亮或者愈能引發觀看者的情緒波動時，則瞳孔也會變得愈大。由於同時有兩個因素能夠改變瞳孔的大小，故而通常實驗者會將其中一個（例如：亮度）設成恆定，以觀察另一者（引發個體激發的程度）的變化。而自發眨眼率則是最近才為研究者開始使用，雖然該指標已在臨床診斷使用多年 (Shukla, 1985)。根據 Karson (1983) 的研究指出，眨眼率是多巴胺水準指標，而多巴胺水準的提升與個體創意行為的發生有高度相關 (Ashby, Isen, & Turken, 1999)，Chermahini 與 Hommel (2010) 根據上述想法提出假設，即個體的創意能力與眨眼率有正相關，結果也的確發現個體的變通力與眨眼率有曲線相關，說明眨眼率也可為個體在進行問題解決時觀察的眼動指標之一。

當代眼動研究不只侷限於上述靜態的、被動地記錄觀看者的眼動情況，更可以動態地依據觀看者的眼動軌跡而即時改變呈現的刺激內容，此即所謂的「伴隨眼視改變典範」。此類典範包含很多創新有趣的研究策略，但限於篇幅，在此僅說明三類常見的典範供大家參考。

「移動視窗」以及「移動遮蔽」(moving masking) 是最常也最容易使用的伴隨眼視改變典範實驗。在移動視窗實驗中，眼球追蹤儀會先偵測參與者凝視的位置，並在參與者螢幕中，以凝視點為中心，呈現特定範圍內的文字或刺激，並遮蔽該範圍以外的其他內容。就參與者而言，感覺就像透過一個視窗來觀看刺激。由於移動視窗會限制個體處理周邊以及窩邊視野的內容，因此其表現與正常表現間的差異，即可以反映個體使用窩邊視野訊息的能力。

此外，使用移動視窗技術亦可以用來測量一個人的「知覺廣度」(perceptual span：在一次凝視中所能處理的空間範圍)。研究者動態地調整移動視窗的大小，如果移動視窗小於知覺廣

度，則參與者的閱讀或觀察速度會受到影響而降低；反之，如果移動視窗大於或等於個體的知覺廣度，則其閱讀或觀察的速度將不受影響。經由此一技術，可以發現對英文的閱讀者而言，知覺廣度約凝視點的左側 3-4 個字母延伸至右側 14-15 個字母 (McConkie & Rayner, 1975, 1976; Rayner & Bertera, 1979; Underwood & McConkie, 1985)。在中文方面，由於現代中文橫式的書寫亦是由左向右閱讀，故 Inhoff 與 Liu (1998) 發現，中文閱讀的知覺廣度約為左側 1 個漢字至右側 3 個漢字間。此一左右不對稱之知覺廣度反映出閱讀者依閱讀順序調整其注意力方向。

此外，閱讀知覺廣度的研究也發現，閱讀知覺廣度將會隨著閱讀經驗的累積而變大，例如：Rayner (1986) 發現閱讀新手的凝視點右側知覺廣度為 12 個字母，而精熟閱讀者的凝視點右側知覺廣度則為 14-15 個字母，可見閱讀知覺廣度並非天生不變的，而是反映個體學習成果的一個重要指標。

相對於文字閱讀，觀看圖片刺激時擁有較大的知覺廣度，Saida 與 Ikeda (1979) 使用移動視窗技術發現，觀看圖片時，其知覺廣度可以大至約半張圖片的內容，約大於  $14.4 \times 18.8$  度視角。然而，並非所有落入此範圍的訊息均可被正確辨識，研究顯示，只有落在約 4 度視角的內容才能清楚地被辨識與處理 (Henderson & Hollingworth, 1999; Henderson, Williams, Castelhana, & Falk, 2003)。

相對於移動視窗的是移動遮蔽技術，該技術將以凝視點為中央的一定範圍內容遮蔽住，而僅保留範圍以外的內容 (Rayner & Bertera, 1979)。由於此一技術限制了個體由中央小窩視野來獲取訊息，而僅能使用窩邊或周邊內容來閱讀或觀察，將會使得閱讀的難度大大提升。

經由調整移動遮蔽延後出現的時間，可以估計實驗參與者需要多少時間才能夠分析完成所凝視的內容。例如，Van Diepen、De Graef 及 d'Ydewalle (1995) 操弄移動遮蔽延後出現的時間，亦即凝視開始後的 15、45、75 或 120 ms 才出現遮蔽，結果發現，相對於無移動遮蔽的情況，如果當參與者凝視某位置後 15 ms 就出現遮蔽，將會使觀看的时间變長。其他的情況則不受影響，故知觀看者可能需要 45-75 ms 的時間來處理所凝視的圖形刺激。

另一個常見的伴隨眼視改變典範為「邊界技術」(boundary technique) (Rayner, 1975)，其係指當眼球追蹤儀偵測到觀看者的跳視跨過一個隱形的邊界或區域時，立即改變呈現刺激的技術。此一技術除了可用來判斷閱讀或觀看之知覺廣度外 (DenBuurman, Boersma, & Gerrissen, 1981; McConkie & Rayner, 1976; Rayner, Well, & Pollatsek, 1980; Underwood & McConkie, 1985)，也常被用來探討閱讀上的「預視助益」(preview benefit) 的議題。所謂的預視助益係指閱讀者用眼角餘光看到座落在窩邊視野中的某個單字後，對將來閱讀該單字效率的助益效果。

以 Rayner (1975) 的實驗為例，在正常的情境下呈現 “It is well know that readers can allocate attention.....” 的句子讓實驗參與者閱讀。但在使用邊界技術的情境中，一開始呈現 “It is well

know that hbgkrsk can allocate attention.....”給參與者閱讀，然一旦偵測到參與者的眼球跳視經過“that”（此即為該實驗的邊界）時，則立即將句子中的“hbgkrsk”改變成“readers”，由於其轉換的速度很快，以至於參與者會以為他閱讀的是正常情境下的句子。然而，Rayner 卻發現在使用邊界技術的情境中，由於失去了預視“readers”這個字的機會，故而其凝視該字所需的時間會比正常閱讀時增加了 30-50 ms。此一實驗巧妙地說明了眼角餘光的訊息並非不被處理的。

## 肆、學習與教育研究的應用

由於眼動追蹤技術具有不干擾學習者、更接近自然學習情境及即時記錄認知處理歷程等優點，因此逐漸成為受歡迎之測量技術。不過由於眼動追蹤技術在學習和教學研究的應用仍不多（van Gog, Jarodzka, Scheiter, Gerjets, & Paas, 2009），因此，以下有些引用的研究並非眼動技術在教育直接應用，而是由這些較為基礎性的研究提出應用在教育場域的可能性，希冀能引發讀者使用眼動儀器於教育學習與教學研究。以下即針對眼動與閱讀、眼動與教學、眼動與解題的認知歷程及眼動與情意特質等相關議題進行論述。

### 一、眼動與閱讀

閱讀是學校學習相當重要的議題，不僅是語文領域學習，其他如數學、社會、物理及音樂等學科學習亦需要閱讀技能。因此，學界已累積了數量相當可觀的眼動與閱讀研究，包括主題閱讀的眼動基本特性、字詞處理及個別差異等。

在閱讀眼動基本特性方面，其中重要指標有文字平均凝視時間、移動距離及知覺廣度。蔡介立（2000）的研究顯示，中文使用者閱讀文句時，文字平均凝視時間約為 220-230 毫秒，平均移動距離為 2.5 至 3.3 個單字，不同於英文文字凝視時間的 250 毫秒，及每次移動距離的 7-9 個字母。顯示中、英文字的特色會稍微影響閱讀的凝視時間及移動距離等眼動特性。

然而，在知覺廣度指標方面，蔡介立（2000）發現，中文知覺廣度為凝視點右方 3 個單字，左方 1 個單字，相較英文研究的右側 15 個字母，換算成視角都是仰角 5 度，因此知覺廣度在不同語言系統大致是相同的。上述這些眼動基本特性指標的確立，將有助於後續文句或篇章閱讀時研究的發展。

由於閱讀的目的在於獲取文本所要表達的意義，因此字詞處理扮演了相關重要角色，而這也是為什麼這方面的眼動研究是最豐富的原因。以國內眼動字詞處理研究來說，範圍有字形、聲旁、字頻、詞頻、詞性（如實詞和虛詞）、語意（如語意透明度）等，如李培榮（2008）探討不同語意透明度、詞彙詞頻如何影響閱讀的眼動歷程。結果發現，在有凝視時間的指標上，出現顯著的語意透明度效果和詞頻效果。所謂的語意透明度即是詞彙意義是否可由組成字直接獲得，如「雨衣」，即為透明度較高的詞彙，然而，如「杯葛」，則為透明度較低的詞彙，而該研究顯示，低語意透明度詞彙的凝視時間顯著大於高語意透明度詞彙，說明語

意透明度具有心理實質性；另外，詞頻效果則遍及所有眼動指標，說明詞頻是影響閱讀相當重要的因素。

除了從上述字詞特性來探討外，也有研究者從語句、標題、主題句或文章類型角度切入，如柯華葳等（2005）認為詞頻和詞彙類型可能因不同文章類型而有差異，結果發現，個體閱讀說明文時，詞頻愈高的詞被凝視的時間愈短；然在故事體，詞頻高低不影響讀者對該詞彙的凝視時間。在「跳讀率」的部分則發現：說明文有52%的詞未被凝視，故事體則有67%的詞未被凝視。至於詞性與凝視狀態，在說明文中，讀者凝視實詞的比率高於凝視虛詞的比率；在故事體中，讀者凝視實詞與虛詞的比率則沒有差異。由這個研究可以發現閱讀的平均字數、詞頻及跳讀率等在說明文與故事體文章類別間的型態不同，即故事體對於閱讀者而言是較容易的，因此，有些學習材料可以運用故事體呈現，俾提升學習者的理解度。

此外，在說明文的閱讀材料狀況下，閱讀者對低頻詞的凝視時間較長，而在故事體中，不同詞頻沒有顯著差異。此顯示影響閱讀眼動行為的因素可能不是文體結構或是詞頻，而是詞彙所指涉的概念難易度。因此，若將本研究結果應用在教學實務，老師是否需要在教導課文內容外，也考量不同文體呈現的內容，其概念難易度是否需要額外適量的概念補充說明，使學生更易於理解其內容知識，不過，這個想法仍有待後續研究釐清之。

在一個較為特殊的幽默語句閱讀的眼動研究上，其使用瞳孔大小作為測量指標。陳學志、鄭昭明、曾千芝、蘇雅靜與詹雨臻（2010）將包含失諧及解困歷程的原始笑話，改編成不包含失諧版本及失諧但無法解困的版本。並觀察受試者在三種不同版本笑話營造敘述（鋪陳笑話的部分）及關鍵語句（笑話最後引發笑點的部分）上的瞳孔大小。結果發現，受試者之瞳孔大小只在最後關鍵語句有顯著差異，原始包含失諧解困之笑話的關鍵語句之瞳孔顯著大於其他兩種版本，顯示瞳孔大小代表了個體閱讀笑話關鍵語句的反應，由此可知，瞳孔大小也表徵了閱讀的心理歷程。

接下來，要說明的是眼動和個別差異的研究，主要包括發展性變化和閱讀能力差或閱讀困難者。其中，在發展性變化議題上，雖然國外發展研究進行比較早，例如 Taylor（1965）的研究發現，隨著年齡的增長，其閱讀技巧日益成熟之後，兒童閱讀時的眼動行為也會有所變化，包括凝視時間逐漸變短、移動的距離也會慢慢變長、回視的比率會慢慢減少，顯示了閱讀技能因為年齡的發展而漸趨成熟。該文揭示了隨著兒童年齡增長，閱讀行為會反映在眼動指標上而有不同變化。而在國內 Chen 與 Ko（2010）研究建基在這些基礎所探討的議題，對於瞭解兒童閱讀發展的「由下往上」與「由上往下」歷程的交互消長也有重要貢獻。她們採用前述柯華葳等（2005）的實驗材料，以 72 名國小二至六年級學童為對象，進一步探討文體難易度對不同年齡學童在線上閱讀時的眼動歷程指標變化情形。研究結果顯示：對國小二、三年級學童而言，文體難易度最主要的影響是發生在命題建構階段，其閱讀處理機制是以「由下往上」（bottom-up）的處理為主；至於對國小四年級以上學童而言，文體難易度則是對詞義

觸接階段以及命題建構階段都有影響，「由上往下」(top-down)的處理歷程逐漸扮演更為重要的角色。該研究對於瞭解兒童閱讀發展的「由下往上」與「由上往下」歷程的交互消長有重要貢獻。由此眼動的閱讀證據顯示不同發展時期的個體，其閱讀的模式是不同的，因此，在閱讀教導上，對於二、三年級的教導即要重視文字概念，而四年級以上學童則除了教導文字概念外，亦要重視文字學習的脈絡、基模及推論等。由這個研究可引發出一個教育應用的想法，即傳統上使用紙筆測驗來測量學習者的閱讀能力，但是，其並無法觀察到整個閱讀的認知歷程 (Kaakinen, Hyönä, & Keenan, 2003)，以利診斷個體的閱讀型態。因此，運用眼動指標除了可以測量出學習者的凝視、移動的距離、回視的比率等指標外，亦可診斷個體的閱讀缺失，而教育者即可針對閱讀問題提出個別化的教導策略，俾提升閱讀的教育效能。

在閱讀能力較差或閱讀困難者上，國內尚無以眼動技術來進行系統性的研究，因此以國外研究發展說明之。閱讀能力較差或閱讀困難者與一般閱讀能力者的差異在於前者有較長的凝視時間、較短的掃視、較多的凝視次數、較多的回視等 (Rayner, 1998)。在此議題上，值得讓研究者思考的是眼動技術是否能探究出閱讀困難的原因。當然，我們可以從眼動技術看出視力差者、先天性眼球震顫者 (congenital nystagmus) 與一般閱讀能力者的差異，但是，是否能以眼動技術將那些沒有明顯動眼神經問題 (oculomotor problem) 的閱讀困難者與一般閱讀能力者區分開來則是較為關鍵的議題。Pavlidis (1981) 的研究發現，讓一般閱讀能力和閱讀困難者去追蹤點的位置，結果發現當點是從左到右時，閱讀困難者有較多右到左的移動。不過，這個研究結果無法被後續研究複製成功 (Olson, Conners, & Rack, 1991; Stanley, 1994)，因此，有些研究根本無法以眼動技術區分兩者的差異 (Fields, Wright, & Newman, 1993; Olson et al., 1991)。不過，以上問題原因可能是不同閱讀困難者有不同的成因 (例如是來自視覺空間缺陷，或是來自語言處理缺陷所造成的閱讀困難)，因此，要從眼動去區分閱讀困難者與一般能力者，目前仍有一定難度及待處理的問題需要被克服。

雖然上述的研究屬於閱讀的基礎研究，然而，卻可得到一些教育與學習上的應用啟發。尤其目前國內眼動研究仍偏向使用被動觀察，較少使用伴隨眼動改變典範，以利即時追蹤眼動軌跡，並改變刺激呈現內容。其次，在未來電子書在教育上將成為趨勢，然而，在電子書眼動歷程研究也不多，若能如 Blair、Watson、Walshe 及 Maj (2009) 的研究，同時整合參與者在觀看電腦螢幕刺激時的按滑鼠或按鍵盤的動作，這些綜合的資料將可對學習效能的提升提供參考。此外，未來更可針對文言文閱讀、文章標點符號、中文斷詞、文章字體、文章連接詞、繁簡體等變項進行眼動的研究，相信這些議題將對實際的閱讀教學工作提供更多的幫助。

## 二、眼動與教學

在教育場域裡，教學與學習是相當重要的議題，因此，有許多的研究者針對教學變項進

行研究。在傳統研究上，可能會使用主觀的問卷來評定學習者的狀況或認知歷程（De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2010）。然而，使用主觀問卷無法克服內省的正確性及社會期許偏誤的問題（Perugini & Banse, 2007），而眼動儀卻可克服上述問題。眼動儀除了以上優勢外，Mayer（2010）認為其也提供了瞭解學習者在學習期間的知識處理狀況，因此，當使用眼動儀作為教學研究工具時，將能瞭解什麼教學材料產生效用？何時發生作用？更重要的是能瞭解個體學習知覺與認知處理的歷程。

在眼動研究上，可以運用眼睛凝視時間的指標來加以探究，例如，De Koning 等（2010）以眼睛凝視時間發現了信號提示學習的效果，看適切提示動畫區域時間較多者與看非示意動畫較多者比較起來，前者的學習表現較佳。眼球追蹤也可應用於教學設計中，尤其是多媒體學習材料的教學。例如，學習材料各為口語、文字和圖形的訊息，或者為多元表徵呈現的訊息。眼球追蹤可以提供關於學生注意什麼型態的訊息、什麼順序及注意多長的時間（Holsanova, Holmberg, & Holmqvist, 2009; Louwerse, Graesser, McNamara, & Lu, 2009; Schwonke, Berthold, & Renkl, 2009），這些訊息對教學與學習均有重要的參考價值。此外，K. Meyer、Rasch 及 Schnotz（2010）研究學習的步調效果（pacing effect），以眼動和學習結果指標來看，發現學生在呈現慢的動畫後呈現快的動畫，其學習表現將大於先呈現快，後續呈現慢的狀況。以上研究即顯示了眼動追蹤技術可探究教學材料呈現的歷程效果議題，這是傳統的行爲研究方法無法進行的。

另一方面，由眼動追蹤技術也可觀察到個體學習差異的議題，Jarodzka、Scheiter、Gerjets 及 van Gog（2010）發現了個體先備知識效果（prior knowledge effect），即知識較豐富的學生會花費較多時間觀看教學圖解的相關區域，而且，在學習成果上得到較高分。張格瑜（2009）探究細胞擴散和滲透作用的概念學習（以圖示方式），研究發現理工和生物學科相關背景大學生注視關鍵區凝視點平均時間較長，生物學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看關鍵區，有時候會觀看文字區；理工學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫區和關鍵區；人文學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看文字區和關鍵區的文字部分。該研究證實了不同學科背景的大學生其眼球注意力分布與其概念之建構有密切關係。此外，在樂譜的教學上，戴聖耀（2010）發現高視譜能力者在初始階段中有較多的凝視點，而低視譜能力者則在晚期階段使用較多的回視擷取樂譜訊息。

也有研究發現，受過訓練的參與者，在觀看變形的圖畫時，多樣性探索（diversive exploration）的凝視花費時間比特定性探索（specific exploration）更多，而未受過訓練者則呈現相反的型態。此外，受過藝術訓練的學習者，傾向凝視創作元素以發現主題，未受過藝術訓練者，則凝視圖像元素與語意之運用部分（Nodine, Locher, & Krupinski, 1993）。由此可以觀察到個體的特性會影響到學習型態，而這些現象可以由眼動資料觀察出來。此外，Blair、Watson 及 Meier（2009）使用眼球追蹤儀記錄參與者在學習複雜分類作業（categorization task）

時，對於有關和無關特徵的注意力分配狀況進行分析，結果發現，當參與者精熟分類作業或經過數次嘗試後，參與者的注意力分配會變的較為優化（optimization）。

由前述可知，專家或生手在處理訊息的型態是不同的，即學習的專家較會將注意力投注於關鍵訊息上。因此，研究者除了可以使用眼動的軌跡來判斷及區分不同先備知識的個體，也可以在教學上去引導學生注意學習的關鍵部分，以對學習效能產生助益。例如，可以比較生手、專家在經學習材料關鍵區域注意訓練和未經訓練過後的作業表現，假若生手可經由關鍵區域注意訓練而以較少時間內達到與專家等同的學習水平，那作業關鍵區域的訓練即是可行的。當然，這又引導出一個議題，即教育實務者可以編撰作業關鍵區域學習教材或課程，這或許是未來一個新的教學模式。

眼動研究對於教學實務的啟發顯而易見，除了可延續上述議題外，在目前教學簡報媒體盛行下，也可針對不同型態的媒體內容、媒體管道、簡報版面配置等進行探究，以及探究不同優勢智能的學生在面對不同類型學習材料的眼動差異。未來，更可運用可攜式眼動儀探究教師在教室不同位置、不同服裝、教師表情等的眼動型態與學習的關係進行探究。而這些研究的成果也將對教學效能的提升有相當大的助益。

### 三、眼動與問題索解歷程

過去的問題解決研究通常是從個體解決問題所耗費的時間或在一定時間內回答的正確百分比來推論其問題索解歷程，要不然就是使用放聲思考，然而即使是後者，也不見得能反映個體即時的問題解決歷程（Schooler, Ohlsson, & Brooks, 1993），因此，Knoblich 等（2001）建議使用眼球追蹤儀器，因為它不僅能透過高取樣率（每秒取樣 120 次到 2000 次都有）精確測量個體觀看題目時的細微變化，也能將研究者有興趣的問題區域（可能是文字區、圖形區、或某一能成功解答的關鍵區域）之眼動指標從其他資料區分開來特別探究。以下將以頓悟性問題索解歷程一系列的研究說明之。

Knoblich 等（2001）使用火柴棒算術問題，來探討頓悟（insight）產生之機制。以凝視時間當作指標，結果發現：（一）所有參與者在解題的初期階段，注意力多放置在對解題沒有幫助的數字，而較少放在關鍵的運算符號，支持了困境來自於不適當問題表徵之假設；（二）研究者觀察解題的關鍵元素，發現成功的問題解決者會隨解題歷程增加關鍵元素的注意力，並可視之為重建表徵的結果，而這些是在失敗解題者身上沒有看到的。

Grant 與 Spivey（2003）在一項眼動軌跡與問題解決的研究中，採用 Duncker（1945）的「腫瘤與雷射放射」問題（見圖 4），操弄關鍵區域的知覺導引注意，結果發現可有效幫助問題解決。他們的研究包含兩個實驗，在實驗一，研究者先讓 14 位大學生解一道雷射問題，並觀察他們在開始後 30 秒與結束的前 30 秒凝視雷射問題的四個區域（腫瘤、內部、皮膚、外部）的時間百分比。實驗結果發現，在結束前 30 秒，成功組凝視「皮膚」區域時間之百分比

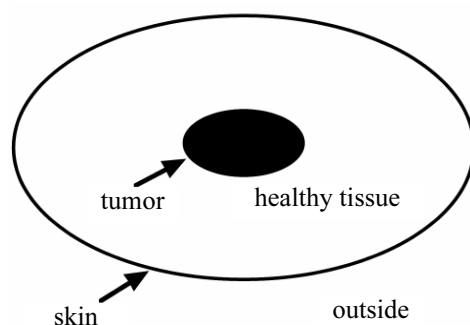


圖4 腫瘤與雷射放射

資料來源：Grant 與 Spivey (2003)

高於不成功組。因此 Grant 與 Spivey 認為：「皮膚」是解題關鍵區域，而其他區域包括「腫瘤」、「內部」與「外部」則是非關鍵區域。

此外，曾千芝（2009）系列的二個實驗採 Knoblich 等（2001）的火柴棒算術問題及注意引導操弄，以檢驗頓悟是否來自於轉換了無效的問題表徵。在實驗一比較成功與不成功組在不同問題元素區域與不同解題時段之凝視時間百分比，結果支持了表徵轉換理論的主張，亦即轉換問題表徵是解決頓悟性問題的特徵。植基於實驗一的研究結果，為了進一步確認個體無效問題表徵的固著程度與表徵轉換之因果關係，在實驗二是採注意引導的實驗操弄方式，將參與者分派至閃爍固著區域組、閃爍關鍵區域組及無處理的控制組。研究結果發現，第一，發現解題成功組有發生無效問題表徵的轉換，而不成功組則無，並且不成功組於初期形成無效問題表徵，成功組則無。第二，發現在解題困境時期，成功組於無效問題表徵之固著程度高於不成功組，並且閃爍固著區域組之答題表現較閃爍關鍵區域組差。亦即，反過來利用閃爍關鍵區域與固著區域以引導受試者對有效關鍵區域的注意，可促進解題者的有效問題表徵。該一研究結果顯示，無效問題表徵的轉換為解決頓悟性問題解題的關鍵特徵，並支持無效問題表徵之固著程度與頓悟性問題表徵轉換的因果關係，因此，本研究結果支持了頓悟思考的表徵轉換理論。

此外，也有研究探究眼球平均掃視幅度與創造力兩者的關係（陳學志等，2008），陳學志等（2008）以 Martindale（1981, 1995）依據 Mednick（1962）的連結論觀點提出「概念注意力廣度」（the scope of conceptual attention）觀點為基礎，其亦稱內在注意力選擇（attentional selection of internal）或概念表徵（conceptual representations）。該理論主張當個體持有較為陡峭的連結坡度時，會傾向聚焦於較窄的概念注意力，若給予某一刺激輸入（如 table），其只能強烈地活化少數幾個近側的節點（如 chair、cloth 等）；反之，若個體擁有較為平坦的連結坡度時，也許會被視為傾向著重於較寬的概念注意力，進而產生更多微弱的活化，因此在記憶中有更多的連結節點產出（如 leg、table 等）。因此，陳學志等人主張眼球追蹤儀器蒐集的「平均掃



視幅度大小」(the Average Saccade Amplitude, ASA)與知覺注意廣度概念相似，並假設 ASA 較大者，會促使較寬的概念注意廣度，進而產生較佳的創造力表現。在其研究中讓參與者觀看由八張圖片所組成的刺激材料以獲得 ASA 指標分數，蒐集參與者創造力人格特質、威廉斯創造性傾向量表與中文遠距聯想作業等分數的關係。結果發現：ASA 分別與擴散性思考特質、好奇心特質與中文遠距聯想作業的通過率有接近顯著或達顯著的正相關。因此，眼球運動的平均掃視幅度大小與創造力有關。

綜上所述可知，藉由眼動研究可以對學生的解題歷程或解題機制更為瞭解。傳統上使用放聲思考法來探究學生解題的歷程，然而，這種研究方法的缺失是會干擾到個體的解題歷程，例如，Schooler 等 (1993) 實徵研究發現，以語言來描述頓悟性問題時，會妨礙頓悟性問題的索解表現。因此，使用眼動研究來探究問題解決的歷程即可解決放聲思考法妨礙問題解決歷程的問題。

眼動的問題解決歷程資料可以提供教學上的應用，使學生的學習更有效能。例如，在以上論述中可知，在問題解決教學上可以引導學生多思考解題關鍵部分。或者，藉由問題解決歷程的眼動資料可以區分好與不好的問題解決者；對於不好的問題解決者可以教導他較為適切的問題解決模式。因此，在未來更能進一步地針對不同類型的問題，利用眼動儀將其解題的歷程進行解析，可以找出學生的學習問題，而有利於學習的診斷，來提升學生的問題解決能力。

#### 四、眼動與情意特質

在學校教育裡，不單只強調認知因素，其實學生的情意變項也會影響學生的學習和適應，例如：興趣、動機、自我效能及生氣特質等。在這個部分將針對學生的情意變項的眼動研究進行論述。

Pekrun (2005) 認為學習興趣與學習的情緒、動機、意願和努力有著密切的關係，這些都是動機所探討的重要變項。興趣其意指正向的感覺、人格特質，涵蓋了吸引力、偏愛、對事物的熱情等 (Valsiner, 1992)。在教育研究領域中，常使用的字眼如：好奇、對學習的愛好、慣常的偏愛、動機信念 (Ainley, Hillman, & Hidi, 2002; Renninger, Sansone, & Smith, J. L., 2004) 等。此外，興趣更是一領域特定之變項，且能夠解釋個體在學習過程中如何被教學材料引起注意與記憶學習內容 (Boekaerts, 1999; Meyer, D. K. & Turner, 2002)。準此，學習興趣是相當重要的教育心理的研究變項，而學習興趣即為對某事物的偏好和喜愛。

許多研究者假設對於喜歡的物品會多看兩眼 (李繼勉, 2001; Adams, 1987)，即對於偏好、有興趣的事物的凝視時間較長。Strachan 等 (2007) 運用觀看蜘蛛的時間來當作蜘蛛恐懼症 (spider-phobia) 的指標，研究發現，蜘蛛恐懼症者對於蜘蛛產生較大的威脅知覺，因此，看蜘蛛的時間較短。在這個研究裡，觀看時間被操作化為在圖片出現後，參與者按鍵看下一

個圖片前的時間。這個方法雖然被廣泛地使用，然而，參與者對圖片凝視時間的測量卻太粗略，並無法確定參與者是否直接地觀看螢幕上的圖片。因此，在只測量反應時間的狀況下，參與者可能直接觀看引發刺激的圖片，或者可能只是看了螢幕的周圍，或者凝視離開了螢幕，而反應時間的研究典範無法解決以上的問題；然而，眼動追蹤技術即可處理這個問題（Hirschberger, Ein-Dor, Caspi, Arzouan, & Zivotofsky, 2010）。由此，也可看出使用眼動追蹤技術來研究偏好、興趣議題的優勢性。

在偏好研究上，S. Shimojo、Simion、E. Shimojo 及 Scheier（2003）要求參與者在兩張人臉中，選擇較吸引人注意的那張時，首先視線會平均地分布在兩張人臉圖片上，但是，在做出決策前的 2 秒鐘，眼睛凝視才開始偏向被選擇的那張圖片，由這樣的現象可知，個體的偏好行為與眼動型態有關，這是對偏好凝視認知型態的研究。而內容偏好的研究上，Strick、Holland、Barren 及 Knippenberg（2010）呈現幽默、正向及控制組刺激，並記錄參與者的眼睛注視時間，結果發現，參與者對於幽默刺激的注視時間較久，可見，參與者對於幽默刺激登錄投入較大的處理，因此，在教學上可適度地運用幽默材料，俾增進學習。

此外，在另一個議題上，即是學校同儕間的攻擊問題，例如關係攻擊（relational aggression）（Carpenter & Nangle, 2006; MacKay, 2003; Merrell, Buchanan, & Tran, 2006）與霸凌（bullying）（Olweus, 1994）等，研究發現，長期的呈現高度水平的生氣狀態（具生氣特質）與上述攻擊行為的機率有關（Deffenbacher, 1992）。先前研究發現，與生氣特質相關的認知歷程為選擇性注意的偏誤（selective attention biases）（Smith, P. & Waterman, 2003），即具有生氣特質的參與者，會偏向注意具敵意的刺激，因此，其對敵意刺激的凝視時間較長，此為「注意為先」（attention-first）的論點。相反地，也有研究者指出，個體在看敵意模糊刺激時會以整體圖畫結構來抽取要旨概念，而且這個認知歷程發生於對圖片的注意力分配前（Venturino & Gagnon, 1992），而且，經由要旨式意義抽取處理後，個體後續會增加對非和諧視覺線索的處理（Hastie, 1980; Zwaan & Radvansky, 1998）。此主要因為個體在解讀和推論刺激上是非常自動化的（Carlston & Skowronski, 1994; Gilbert & Malone, 1995），而且，在注意力分配前就已完成自動化的處理。因此，當個體做早期的快速處理時，與解釋基模不合諧的訊息將會被處理較長的時間（Zwaan & Radvansky, 1998），因為個體企圖去整合與早期訊息解釋不一致的訊息，以增加對刺激的瞭解。由這樣的論點就推論出了「解釋為先」的模式（interpretation-first）。

注意為先的模式主張高度生氣特質的參與者比較偏向注意敵意性線索（Smith, P. & Waterman, 2003），然而，解釋為先的模式則主張，高度生氣特質的參與者比較偏向非敵意的線索（Wilkowski, Robinson, Gordon, & Troop-Gordon, 2007）。為了處理到底是注意為先或解釋為先的爭論，眼動追蹤技術即是有效克服爭論的研究工具，尤其眼睛凝視資料可以區分早期解釋（如首次凝視時間）和選擇性的注意歷程（興趣區域凝視時間）（Henderson & Hollingworth, 1999），而且眼動追蹤技術可以精確地記錄注意力分配的時間（Henderson et al.,

2003; Rayner, 1998)。因此，其在探究生氣敵意等認知歷程上是較佳的研究工具。而 Wilkowski 等（2007）的研究結果即支持高度生氣特質的受試者比較偏向注意非敵意線索，此即支持解釋為先的假設。

最後，要討論的是自閉症研究，自閉症是因腦部功能異常而引致的一種發展障礙，患有自閉症的學生在日常生活中可能出現有三方面的障礙：人際關係障礙、語言表達障礙及行為障礙。由於自閉症學生的個別差異極大，在學校又多缺乏客觀的評量工具，如能透過眼動追蹤儀進行比較分析，亦可有助於瞭解自閉症學生在其注意力機制、認知解題及社會功能等之障礙類型，而有助學生紓緩自閉症帶來的障礙，或提供更適切的教育協助。

Klin、Jones、Schultz 及 Volkmar（2003）透過比較自閉症患者和正常人的眼動路徑與眼睛凝視位置顯示：正常人可正確注視影片中演員的眼睛以決定其情緒狀態，並且能去注視及遵循其所指示的方向，然後去看應該做回應的那個人的臉部表情；但是，自閉症的觀察者注視的則是在這些情境中社會無關的刺激。亦即，在一社會情境中，自閉症個體的注意力投注可能導致其對世界做出不同的知覺。結果如圖 5 所示，在觀看電影 *Who's Afraid of Virginia Woolf?* 中一幕時，正常觀察者的掃描路徑（白色路徑），和自閉症觀察者的掃描路徑（黑色路徑）。



圖5 正常人和自閉症的社交刺激掃描路徑

資料來源：Klin 等（2003）

即自閉症個體注視自然的社交情境時，和控制組相比較之下，會表現出異常的凝視型態。參與者的掃視路徑顯現出，自閉症患者會較少注視人物刺激的眼部與嘴部。在眼神追蹤方面，相對於控制組觀看刺激的方式，多會依循影片主角的眼神與手勢的方向掃視圖片，但自閉症組卻呈現出紊亂、無組織的掃視路徑。由這個研究成果即可引發教育的實務價值，即在特教領域上，或許可以訓練自閉症學生如何進行適切的眼睛掃描，或者將眼動儀與電腦結合，經由眼動的訊息回饋，引導自閉症的學生學習適當的眼動型態。

雖然眼動追蹤技術可以對參與者的偏好歷程做有效的記錄，然而，對呈現刺激中特定區域的更多注視，可能代表參與者特別喜歡或具有高度興趣，但也有可能是參與者覺得該特定

區域特別奇怪，或可能是實驗者指導語有意無意地暗示作用，因此，單就眼動數據並無法作為「偏好」的絕對指標。目前比較可行的方式，是採不同方法交互佐證，在眼動實驗後施以問卷法或訪問法進行認知檢核，以確切瞭解參與者的偏好。

在未來眼動追蹤技術可以探究相當多的教育與學習的情意變項議題，例如，學習動機議題上，有可能對某領域較具學習動機的學生，其對該領域的刺激將有較長的凝視時間。或者在自我效能研究議題上，面對困難的作業，高自我效能的個體較不會呈現視覺的迴避等。因此，不只在教育、學習議題的認知變項可使用眼動追蹤技術來研究，在教育場域研究相關的情意變項上，眼動追蹤技術亦是超越現存研究限制的可能工具。

## 伍、結論與建議

經由以上論述，可以瞭解眼動技術在學習與教育應用的可能性，以下提供數點結論與建議，說明如後：

### 一、眼動技術的特點具備在學習與教育上的高應用價值

眼動技術相較於上述其他的即時測量技術，它可提供高時間解析度、眼動歷程的紀錄等，並可測得多項指標用以推論學習時內在的認知歷程。眼動測量可在更貼近自然學習情境的情況下，用以探討創造力、學習、閱讀、教學、情意變項及問題解決等議題。而且由於國內眼動研究目前尚屬起步階段，有相當多的重要議題亟待探討，相當值得學習與教育領域相關學者投入。

### 二、語言理解中視聽雙管道的跨模研究

利用眼動技術可記錄多種指標，並且可在更接近真實學習場景的情境下，探討教育與學習的相關課題。而在眼動技術下的兩種派典，一是視覺派典，主要用於測量閱讀或認知解題等過程的眼動模式，國內眼動領域主要學者柯華葳等（2005）已做了很好的開端；另一是視覺聽覺跨模派典，用於測量參與者，主要用於測量參與者在聽到一段與視覺圖像有關的語音訊息時，其視覺在面對圖像區域的眼動歷程；據研究者檢視國內眼動相關研究，目前仍未有這一方面的探討發表；由於在教學情境，教師講授配合投影片或黑板板書仍是主要的教學方式之一，因此，跨越視覺聽覺雙模的眼動研究，相當值得應用於探討在教學情境中有效能學習者與無效能學習者等議題。

### 三、教學場域的情意變項亦值得擴展

不只是像問題解決、閱讀及學習等的教育場域的認知議題可使用眼球追蹤技術加以探究，其實像動機、自我效能、同儕關係等議題也適合使用眼動技術來予以研究。或許使用眼

動儀將能克服之前研究的難題，對過去的議題有所啟發，而重新開啓新的研究趨勢。

#### 四、將眼動測量由依變項改爲自變項

過去的眼動研究，大多是操弄文字、圖形、影片等刺激材料作爲自變項，而將所測量記錄到的眼動相關資料作爲依變項。未來除了可延續此一取向繼續累積更豐碩的成果之外，建議未來研究亦可將眼動作爲自變項；例如，自閉症患者的不適切掃視路徑型態（Lucs-kho, 2007），未來有可能透過引導或改變自閉症患者的掃視路徑，來改善自閉症患者的問題，即可以操弄參與者的眼動型態，並檢視其產生的效果。在此實驗脈絡下，眼動即從傳統的依變項變成了可操弄的自變項，這是未來可以進行的眼動研究新方向。

#### 五、眼球追蹤儀可當作學習的促進工具

眼動追蹤技術不只是單純在自然環境下記錄眼動，在未來更可與電腦視覺化裝置連結，並將眼動資料回饋給學習者。例如，在學習問題解決時，經由眼動教學回饋系統，電腦即要引導學習者觀看問題的關鍵區域，由此，來促進學習者的問題解決能力。

#### 六、眼動資料與其他技術的結合

眼動資料具有即時性、時間的精確標定性及歷程性等優勢。若與其他裝置結合將能發揮整合的效果，例如，以現今的技術可以將眼球追蹤系統與事件關聯電位（Event Related Potentials, ERP）、生理回饋儀等同時蒐集資料，並進行資料的整合。由不同的資料間的交互檢證，除了可加深對眼動追蹤資料性質的瞭解外，也可進行不同資料間的聚斂策略驗證，將對眼動追蹤的研究提供更爲強韌的效能證據。

未來，眼動追蹤技術在現代科技的助益下，在操作上將更爲便利，功能將更爲提升，因此，將來眼動追蹤技術將更廣泛應用於教育與學習研究上，預期也將更進一步增進我們對學習與教育相關認知歷程的瞭解。眼球追蹤技術不只提供了教育與學習研究工具的功能，將來也有可能變成教學的工具之一，眼球追蹤領域的理論與應用議題值得探究。然而，必須注意的是眼動型態底下的心理實質涵義，例如，眼睛凝視時間其代表的是偏好、困難處理歷程、刺激怪異、有趣？即同個眼動型態在不同的實驗脈絡下所代表的意涵即不同。因此，眼動研究者實有必要針對眼動的心理實質意涵進行深入瞭解，由此，才能對眼動資料進行有意義與精確的解釋，而對教育、學習的理論與實務產生實質性的貢獻。

## 參考文獻

### 一、中文文獻

- 李培榮 (2008)。由眼動資料探討中文成語詞及組合詞在心理辭典中的表徵方式。國立政治大學心理學研究所碩士論文，未出版，臺北市。
- 【Li, P.-J. (2008). *Eye-movement study on the representation Chinese idiomatic and compositional words in mental lexicon*. Unpublished master's thesis, National Chengchi University, Taipei, Taiwan.】
- 李繼勉 (2001)。景觀構圖類型與視覺評估模式之關係。逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士論文，未出版，臺中市。
- 【Li, J.-M. (2001). *The relationship between landscape composition types and visual assessment model*. Unpublished master's thesis, Feng Chia University, Taichung, Taiwan.】
- 邱郁秀 (2009)。目擊證人辨認臉孔之眼動分析。國立臺灣師範大學教育心理與輔導研究所碩士論文，未出版，臺北市。
- 【Chiou, Y.-S. (2009). *Eyewitness: Face-recognizing process investigation by eye movement analysis*. Unpublished master's thesis, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】
- 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 (4)，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(4), 381-398.】
- 張格瑜 (2009)。運用眼動儀探討不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用的心智表徵建構。國立交通大學教育研究所碩士論文，未出版，新竹市。
- 【Chang, G.-Y. (2009). *Explore the effects of different background undergraduate student's construction of mental representation on diffusion and osmosis through the use of eye-tracker*. Unpublished master's thesis, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.】
- 陳學志、彭淑玲、曾千芝、邱皓政 (2008)。藉由眼動追蹤儀器探討平均掃視幅度大小與創造力之關係。教育心理學報，39，127-149。
- 【Chen, H.-C., Peng, S.-L., Tseng, C.-C., & Chiou, H.-J. (2008). An exploratory study of the relation between the average saccade amplitude and creativity under the eye tracker mechanism. *Bulletin of Educational Psychology*, 39, 127-149.】
- 陳學志、鄭昭明、曾千芝、蘇雅靜、詹雨臻 (2010，11月)。幽默文句中逆溯推論步驟對眼動軌跡之影響。論文發表於國立中正大學舉辦之「臺灣心理學會第四十九屆年會」，嘉義縣。
- 【Chen, H.-C., Cheng, C.-M., Tseng, C.-C., Sue, Y.-J., & Chan, Y.-C. (2010, November). *The influence of backward inference on eye movement: A case of humor sentence*. Paper presented at Oral presented at the 49<sup>th</sup> Annual Meeting of Taiwanese Psychological Association, Jiayi County, Taiwan.】
- 曾千芝 (2009)。頓悟性問題解題歷程之眼動分析。國立臺灣師範大學教育心理與輔導研究所碩士論文，未出版，臺北市。

【Tseng, C.-C. (2009). *An eye movement study of insight problem solving process*. Unpublished master's thesis, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】

蔡介立 (2000)。從眼動控制探討中文閱讀的訊息處理歷程：應用眼動誘發呈現技術之系列研究。國立政治大學心理學研究所博士論文，未出版，臺北市。

【Tsai, J.-L. (2000). *The reading processing of eye movements in Chinese: Serial studies with eye movement contingent display technique*. Unpublished doctoral dissertation, National Chengchi University, Taipei, Taiwan.】

戴聖耀 (2010)。視譜能力與樂譜難度對樂譜時眼動型態的影響。亞洲大學心理學研究所碩士論文，未出版，臺中市。

【Tai, S.-Y. (2010). *Effect of sight reading ability and score difficulty level on eye movement pattern*. Unpublished master's thesis, Asia University, Taichung, Taiwan.】

## 二、外文文獻

Abrams, R. A., Meyer, D. E., & Kornblum, S. (1989). Speed and accuracy of saccadic eye movements: Characteristics of impulse variability in the oculomotor system. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 529-543.

Adams, R. J. (1987). An evaluation of color preference in early infancy. *Infant Behavior & Development*, 10(2), 143-150.

Ainley, M., Hillman, K., & Hidi, S. (2002). Gender and interest processes in response to literary texts: Situational and individual interest. *Learning and Instruction*, 12(4), 411-428.

Ashby, F., Isen, A., & Turken, A. (1999). A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. *Psychological Review*, 106(3), 529-550.

Blair, M., Watson, M., & Meier, K. (2009). Errors, efficiency, and the interplay between attention and category learning. *Cognition*, 112(2), 330-336.

Blair, M., Watson, M., Walshe, R., & Maj, F. (2009). Extremely selective attention: Eye-tracking studies of the dynamic allocation of attention to stimulus features in categorization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(5), 1196-1206.

Boekaerts, M. (1999). Motivated learning: Studying student situation transactional units. *European Journal of Psychology of Education*, 14(1), 41-55.

Carlston, D. E., & Skowronski, J. J. (1994). Saving in the relearning of trait information as evidence for spontaneous inference generation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(5), 840-856.

Carpenter, E. M., & Nangle, D. W. (2006). Caught between stages: Relational aggression emerging as a developmental advance in at-risk preschoolers. *Journal of Research in Childhood Education*, 21(2), 177-188.

Chen, M., & Ko, H. (2010). Exploring the eye movement patterns as Chinese children read texts: A

- developmental perspective. *Journal of Research in Reading*, 3(1), 1-15.
- Chermahini, S. A., & Hommel, B. (2010). The (B)link between creativity and dopamine: Spontaneous eye blink rates predict and dissociate divergent and convergent thinking. *Cognition*, 115(3), 458-465.
- Chua, H. F., Boland, J. E., & Nisbett, R. E. (2005). Cultural variation in eye movements during scene perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(35), 12629-12633.
- Crane, H. D. (1994). The Purkinje image eye tracker, image stabilization, and related forms of stimulus manipulation. In D. H. Kelley (Ed.), *Visual science and engineering: Models and applications* (pp. 15-89). New York: Macel Dekker.
- De Koning, B., Tabbers, H., Rikers, R., & Paas, F. (2010). Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction*, 20(2), 111-122.
- Deffenbacher, J. L. (1992). Trait anger: Theory, findings, and implications. In C. D. Spielberger & J. N. Butcher (Eds.), *Advances in personality assessment* (Vol. 9; pp. 177-201). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- DenBuurman, R., Boersma, T., & Gerrissen, J. E. (1981). Eye movements and the perceptual span in reading. *Reading Research Quarterly*, 16(2), 227-235.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods Instruments and Computers*, 34(4), 455-470.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (2nd ed.). New York: Springer.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, 58, 1-110.
- Fields, H., Wright, S., & Newman, S. (1993). Saccadic eye movement while reading and tracking in dyslexics, reading-matched, and IQ matched children. In G. d'Ydewalle & J. Van Rensbergen (Eds.), *Perception and cognition: Advances in eye movement research* (pp. 309-319). Amsterdam, the Netherlands: North Holland.
- Friedman, R. S., Fishbach, A., Förster, J., & Werth, L. (2003). Attentional priming effects on creativity. *Creativity Research Journal*, 15(2&3), 277-286.
- Gilbert, D. T., & Malone, P. S. (1995). The correspondence bias. *Psychological Bulletin*, 117(1), 21-38.
- Grant, E. R., & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14(5), 462-466.
- Gregory, R. L. (1990). *Eye and brain: The psychology of seeing* (4th ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.



- Haber, R., & Hershenson, M. (1973). *The psychology of visual perception*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Hastie, R. (1980). Memory for behavioral information that confirms or contradicts a personality impression. In R. Hastie, T. M. Ostrom, E. B. Ebbeson, R. S. Wyer, Jr., D. L. Hamilton, & D. E. Carlston (Eds.), *Person memory: The cognitive basis of social perception* (pp. 155-177). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50(1), 243-271.
- Henderson, J. M., Williams, C. C., Castelano, M. S., & Falk, R. J. (2003). Eye movements and picture processing during recognition. *Perception & Psychophysics*, 65(5), 725-734.
- Hirschberger, G., Ein-Dor, T., Caspi, A., Arzouan, Y., & Zivotofsky, A. (2010). Looking away from death: Defensive attention as a form of terror management. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46(1), 172-178.
- Holsanova, J., Holmberg, N., & Holmqvist, K. (2009). Reading information graphics: The role of spatial contiguity and dual attentional guidance. *Applied Cognitive Psychology*, 23(9), 1215-1226.
- Inhoff, A. W., & Liu, W. (1998). The perceptual span and oculomotor activity during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24(1), 20-34.
- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & van Gog, T. (2010). In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli. *Learning and Instruction*, 20(2), 146-154.
- Kaakinen, J. K., Hyönä, J., & Keenan, J. M. (2003). How prior knowledge, working memory capacity, and relevance of information affect eye-fixations in expository text. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(3), 447-457.
- Karson, C. N. (1983). Spontaneous eye-blink rates and dopaminergic systems. *Brain*, 106, 643-653.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., & Volkmar, F. (2003). The enactive mind, or from actions to cognition: Lessons from autism. *Philosophical Transactions*, 358(1430), 345-360.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., & Raney, G. E. (2001). An eye movement study of insight problem solving. *Memory & Cognition*, 29(7), 1000-1009.
- Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B., & Blaser, E. (1995). The role of attention in the programming of saccade. *Vision Research*, 35(13), 1897-1916.
- Kowler, E., & Martins, A. J. (1985). Eye movements of preschool children. *Science*, 215(4535), 997-999.
- Land, M. F., & Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday

- activities? *Vision Research*, 41(25-26), 3559-3565.
- Land, M. F., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 28(11), 1311-1328.
- Loftus, G. R. (1981). Tachistoscopic simulations of eye fixations on pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7(5), 369-376.
- Louwerse, M. M., Graesser, A. C., McNamara, D. S., & Lu, S. (2009). Embodied conversational agents as conversational partners. *Applied Cognitive Psychology*, 23(9), 1244-1255.
- Lucs-kho. (2007). *File: Yabus the visitor.jpg*. Retrieved June 11, 2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Yabus\\_The\\_Visitor.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Yabus_The_Visitor.jpg)
- MacKay, M. (2003). Playground injuries: Recent attempts to begin to address what we don't know. *Injury Prevention*, 9, 194-197.
- Martindale, C. (1981). *Cognition and consciousness*. Homewood, IL: Dorsey.
- Martindale, C. (1995). Creativity and connectionism. In S. M. Smith, T. B. Ward, & R. A. Finke (Eds.), *The creative cognition approach* (pp. 249-268). Cambridge, MA: MIT Press.
- Matin, E. (1974). Saccadic suppression: A review and analysis. *Psychological Bulletin*, 81(12), 899-917.
- Mayer, R. E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction*, 20(2), 167-171.
- McConkie, G. W., Kerr, E. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations in words. *Vision Research*, 28(10), 1107-1118.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17(6), 578-586.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1976). Asymmetry of the perceptual span in reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 8(5), 365-368.
- Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69(3), 220-232.
- Merrell, K. W., Buchanan, R., & Tran, O. K. (2006). Relational aggression in children and adolescents: A review with implications for school settings. *Psychology in the Schools*, 43(3), 345-360.
- Meyer, D. K., & Turner, J. C. (2002). Discovering emotion in classroom motivation research. *Educational Psychologist*, 37(2), 107-114.
- Meyer, K., Rasch, T., & Schnotz, W. (2010). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 136-145.

- Nodine, C. F., Locher, P. J., & Krupinski, E. A. (1993). The role of formal art training on perception and aesthetic judgment of art compositions. *Leonardo*, 26(3), 219-227.
- Olson, R. K., Conners, F. A., & Rack, J. P. (1991). Eye movements in dyslexia and normal readers. In J. F. Stein (Ed.), *Vision and visual dyslexia* (pp. 243-250). London: Macmillan.
- Olweus, D. (1994). Annotation: Bullying at school: Basic facts and effects of a school based intervention program. *Journal of Psychology and Psychiatry*, 35(7), 1171-1190.
- Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19(1), 57-64.
- Pekrun, R. (2005). Progress and open problems in educational emotion research. *Learning and Instruction*, 15(5), 497-506.
- Perugini, M., & Banse, R. (2007). Personality, implicit self-concept and automaticity. *European Journal of Personality*, 21(3), 257-261.
- Radach, R., Inhoff, A., & Heller, D. (2002). The role of attention and spatial selection in fluent reading. In E. Witruk, A. D. Friederici, & T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading, and reading disability* (pp. 137-153). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7(1), 65-81.
- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: Fixation locations within words. *Perception*, 8(1), 21-30.
- Rayner, K. (1984). Visual selection in reading, picture perception, and visual search: A tutorial review. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance* (Vol. 10; pp. 67-96). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 41(2), 211-236.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, 206(4417), 468-469.
- Rayner, K., & Morrison, R. M. (1981). Eye movements and identifying words in parafoveal vision. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 17(1), 135-138.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1992). Eye movements and scene perception. *Canadian Journal of Psychology*, 46(3), 342-376.

- Rayner, K., Smith, T., Malcolm, G. L., & Henderson, J. M. (2009). Eye movements and visual encoding during scene perception. *Psychological Science, 20*(1), 6-10.
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception & Psychophysics, 27*(6), 537-544.
- Renninger, K. A., Sansone, C., & Smith, J. L. (2004). Love of learning. In C. Peterson & M. E. P. Seligman (Eds.), *Character strengths and virtues: A classification and handbook* (pp. 161-179). New York: Oxford University Press.
- Saida, S., & Ikeda, M. (1979). Useful visual field size for pattern perception. *Perception & Psychophysics, 25*(2), 119-125.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). *Human factors in engineering and design*. New York: McGraw-Hill.
- Schooler, J., Ohlson, S., & Brooks, K. (1993). Thoughts beyond words: When language overshadows insight. *Journal of Experimental Psychology General, 122*(2), 166-183.
- Schwonke, R., Berthold, K., & Renkl, A. (2009). How multiple external representations are used and how they can be made more useful. *Applied Cognitive Psychology, 23*(9), 1227-1243.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., & Scheier, C. (2003). Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature Neuroscience, 10*(1), 1-6.
- Shukla, D. (1985). Blink rate as clinical indicator. *Neurology, 35*(2), 286.
- Smith, P., & Waterman, M. (2003). Processing bias for aggression words in forensic and nonforensic samples. *Cognition and Emotion, 17*(5), 681-701.
- Stanley, G. (1994). Eye movements in dyslexic and normal children. In J. Ygge & G. Lennerstrand (Eds.), *Eye movements in reading* (pp. 261-271). Oxford, England: Pergamon Press.
- Strachan, E., Schimel, J., Arndt, J., Williams, T., Solomon, S., Pyszczynski, T. et al. (2007). Terror mismanagement: Evidence that mortality salience exacerbates phobic and compulsive behaviors. *Personality and Social Psychology Bulletin, 33*(8), 1137-1151.
- Strick, M., Holland, R. W., Barren, R. V., & Knippenberg, A. V. (2010). Humor in the eye tracker: Attention capture and distraction from context cues. *The Journal of General Psychology, 137*(1), 37-48.
- Sussman, R. S., Campana, E., Tanenhaus, M. K., & Carlson, G. M. (2002, September). *Verb-based access to instrument roles: Evidence from eye movements*. Poster presented at the 8th annual Architectures and Mechanisms of Language Processing Conference, Tenerife, Canary Islands, Spain.
- Taylor, S. E. (1965). Eye movements while reading: Facts and fallacies. *American Educational*

- Research Journal*, 2(2), 187-202.
- Underwood, N. R., & McConkie, G. W. (1985). Perceptual span for letter distinctions during reading. *Reading Research Quarterly*, 20(2), 153-162.
- Valsiner, J. (1992). Interest: A metatheoretical perspective. In K. A. Renninger, S. Hidi, & A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 27-41). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Van Diepen, E. M. J., De Graef, P., & d'Ydewalle, G. (1995). Chronometry of foveal information extraction during scene perception. In J. M. Findlay, R. Walker, & R.W. Kentridge (Eds.), *Eye movement research: Mechanisms, processes and applications* (pp. 349-362). Amsterdam, the Netherlands: North Holland.
- Van Essen, D. C., Anderson, C. H., & Felleman, D. J. (1992). Information processing in the primate visual system: An integrated systems perspective. *Science*, 255(5043), 419-423.
- van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25(3), 785-791.
- Venturino, M., & Gagnon, D. A. (1992). Information tradeoffs in complex stimulus structure: Local and global levels in naturalistic scenes. *Perception & Psychophysics*, 52(4), 425-436.
- White, S. J. (2008). Eye movement control during reading: Effects of word frequency and orthographic familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 205-223.
- Wilkowski, B., Robinson, M., Gordon, R., & Troop-Gordon, W. (2007). Tracking the evil eye: Trait anger and selective attention within ambiguously hostile scenes. *Journal of Research in Personality*, 41(3), 650-666.
- Yang, J., Wang, S., Chen, H.-S., & Rayner, K. (2009). The time course of semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from eye movements. *Memory & Cognition*, 37(8), 1164-1176.
- Young, L. R., & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods and Instrumentation*, 7(5), 397-429.
- Zwaan, R. A., & Radvansky, G. A. (1998). Situation models in language comprehension and memory. *Psychological Bulletin*, 123(2), 162-185.

Journal of Research in Education Sciences

2010, 55(4), 39-68

# Eye Tracking Technology for Learning and Education

Hsueh-Chih Chen

Department of Educational Psychology and  
Counseling,  
National Taiwan Normal University  
Professor

Hwei-Der Lai

Department of Psychology,  
Fo Guang University  
Associate Professor

Fa-Chung Chiu

Department of Psychology and Social Work,  
National Defense University  
Associate Professor

## Abstract

The purpose of this article is to canvass the advantages of using eye-tracking technologies for applications in learning and education. More than 80% of the course of human cognitive processing is based on information acquired from visual modals. Eye movement plays an unrivaled role in inferring a given individual internal state. Recent developments in eye tracking technology have shown a powerful natural and real-time measuring for cognition, emotion, and motivation. This is evidenced from a wide range of reported studies and researches. We reviewed the representative research of reading, problem-solving, teaching, affect disposition, and other issues by displaying how eye-tracking technology can support advanced studies on mental processes. In addition, basic mechanical concepts, indicators, operation methods, and data analysis for the use of eye-tracking technology were introduced and discussed.

**Keywords:** education, eye tracking, saccade, learning, fixation time