
心、眼與世界的連結—— 從認知神經科學看知覺與心像的關係

韓承靜^{1*} 洪蘭² 蔡介立³

¹ 國立臺灣師範大學 科學教育研究所

² 國立中央大學 認知神經科學所

³ 國立政治大學 心理系

在人類的許多認知活動中，如導航、記憶、創新的問題解決等等，心像(mental imagery)都扮演著重要的角色(Kosslyn, 1994; Kosslyn, Ganis, & Thompson, 2001)。心像不同於知覺，前者是一個純粹的內在歷程，是認知的一種基本形式。視覺心像(visual imagery)在許多歷史證據中，被認為在科學新發現或問題解決中扮演著重要的角色。長久以來我們對於視覺心像這個被認為是「高等」的認知功能瞭解的並不太多(Kosslyn et al., 2001; Kozhevnikov, Motes, & Hegarty, 2007)。過去實驗心理學行為研究上對於視覺知覺(visual perception)與視覺心像之間的關係曖昧不清。自從大腦造影技術發展和眼球運動追蹤技術進步後，認知神經科學在心像研究上有了與以往不同的發現，確立了知覺與心像共享有許多知覺系統的機制，並認為感官運動系統的記憶在提取內在影像上扮演重要角色。本文以下介紹認知神經科學近年來在視覺知覺與視覺心像的關係上的發現。

壹、從視知覺到視覺想像

過去 30 年來，認知神經心理學領域在視覺知覺的神經科學基礎的瞭解有極大的進步。從光線刺激進入視網膜開始經過一連串的特殊腦區，到刺激被認出和定位，認知神經科學已經能夠把這些視覺資訊傳遞過程一一解密。也因為這一部份研究的詳細與進步，認知心理學家將研究重心轉移到與視知覺相關的能力——「視覺心像」上，這個能力又稱「用心智之眼來看世界(seeing with the mind's eye)」。視覺心像是一個沒有視網膜訊號的視覺資訊處理過程，產生類似真實的知覺，而視覺心像不只單單是對曾看過的物體的記憶的提取，還可以用全新的角度組合或改變儲存的視覺資訊來創造出不同的影像。因此這種想像能力被認為是一種「高級」的認知功能。但直到現在我們對於這認知功能的理解還是很少(Farah, 2001)，且一直有許多爭議(Kosslyn et al., 2001; Pylyshyn, 2002)。最重要的爭議在於心像是否與知覺共享表徵。例如，視覺心像是否是視覺的？某一個刺激的視覺心像所利用的表徵是否就是知覺這個刺激的表徵？過去往往可以

*為本文通訊作者

有不同的解釋來滿足行為實驗資料得到的結果，因此不可能純粹由行為方法研究取得解答 (Farah, 1988)。

當實驗心理學家在研究心像的議題時，常常不可避免的發現在心像實驗中出現的各種效果(effects)與在知覺實驗上出現的各種效果非常類似。例如要求受試者想像自己從某地方走到另外一個地方所花的時間，與實際上真的在走時所需的時間接近(Chatterjee & Southwood, 1995; Farah, 1984)。遂產生「心像與知覺共享表徵」這個推論，但是不是所有的認知心理學家都同意這個推論。持否定態度的研究者，對類似上述類知覺效果的實驗結果，大多以內隱知識、實驗者的期待以及非視覺的空間表徵等三方面來解釋(Farah, 1988)。

以心像旋轉作業的相關理論為例。上述的爭議也是心像旋轉作業(mental rotation task)中一直存在的爭議。心像旋轉時的心像表徵是否是圖像式的(pictorial)? 當兩個物體角度差異，受試者確認它們是否相同所需的反應時間越長的意義是什麼? 人們如何完成心像旋轉這樣的作業? 有哪些更微小的認知歷程參與其中? 針對以上爭議，從內隱知識角度來看的研究者認為，人們在物理經驗上知道當一個物體旋轉的角度越大，就需要花越多的時間。有的研究者認為這樣的結果是實驗者期待所成的，受試者在參與實驗時不自覺地去符合實驗者的期待，在旋轉角度比較大時表現出反應時間比較長。有些研究者則不認為人們的腦海中存在著一個影

像在旋轉，而是其他非空間因素的歷程對圖形的空間相對關係做了一些運算，人們覺得腦海中有個影像在旋轉其實是假象(epiphenomenal)(Pylyshyn, 1973, 2002)。學界期待著大腦造影技術能對過去的爭議有所釐清。下面介紹關於大腦造影技術在視覺心像研究上的發現。

貳、視知覺與視覺心像共享機制

功能性核磁共振影像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、正子放射電腦斷層攝影(positron emission tomography, PET)和大腦事件相關電位(event-related potential, ERP)等大腦神經造影技術及其他的認知神經科學方法(如：跨顱磁刺激術(transcranial magnetic stimulation, TMS))引發了很多新的想法，這些新的想法或許可以釐清心像與知覺的關係以及心像的形式的爭議。

大腦造影研究提供我們心理運作中相關認知歷程處理的大腦活化資料，如哪一個運作活化哪些腦區；TMS的研究結果則能幫助我們建立不同腦區活化的因果關係，例如在某個時間點有哪個腦區參與了何種歷程。Farah(1988)與 Kosslyn、Ganis 及 Thompson 等人(2001)整理了關於心像的認知神經科學相關新發現，得到了三個重要的結論，確定了心像與知覺有共同的神經基礎：

- 一、心像時使用參與知覺與行動的腦部機制。
- 二、第一視覺皮質區(17 區及 18 區)在視

覺心像時的參與活化。

三、心跳或呼吸等控制生理過程的機制，在心像過程中如真實外在刺激存在時的參與運作。

而腦傷病人的研究亦得到同樣的結論。選擇性的知覺缺損通常伴隨相關心像上的選擇性缺損。

心像的產生是許多感官知覺系統的投入所形成的心智表徵集合，是多個能力的集合。以 Kosslyn、Thompson 與 Alpert 等人(1997)在 PET 的視覺心像實驗中發現有 14 個區域在兩個作業中同時有活動，只有一個區域在視覺過程中沒有活化，有兩個區域只在視知覺時活動，有五個區域只在視覺心像時活動。因此在視知覺作業中時被活化的腦區與視覺心像作業中時被活化的腦區，有三分之二是共同的(Kosslyn, Thompson, & Alpert, 1997)，這顯示視知覺與視覺心像時共用一組核心的心智歷程。

在視覺心像中有時亦包含其他可以分出類別的心像。例如心像轉換歷程或心像旋轉歷程中，除了視覺皮質區一定參與運作外，多個大腦區域也活化。最明顯可以區分出來的有運動皮質區(Parsons et al., 1995; Richter et al., 2000)。Richter 等人(2000)利用 Shepard-Metlzer 心像旋轉作業來實驗，觀察到受試者腦部雙側的上頂腦垂(superior parietal lobule)、後側前運動區(lateral premotor area)以及輔助運動區(supplementary motor area)的活化。顯示在 Shepard-Metlzer 心像旋轉作業中想像一個物體的旋轉，必須有運動皮質區來參與。

並發現當受試者想像物體在旋轉，跟想像親手去旋轉同樣的物體，雖然可以做出相同的判斷，但是腦部活化的區域並不太一樣。Parsons 等人(1995)的研究要求受試者去判斷所給的圖形刺激是左手還是右手，受試者在作業中必須想像自己的手旋轉並跟圖形配對來決定答案。可預期的是雙側輔助運動皮質有活化，但還發現與圖形刺激手相對的對側腦半球(例：左手 vs. 右半球)的前額區以及島前運動區(prefrontal and insular premotor area)有活化，顯示受試者在想像相對應的左右手移動。這些關於大腦運動系統參與了心像過程的研究發現，可以解釋過去在運動心理學上的「心像練習(mental practice)」為何可以幫助實際表現(Driskell, Copper, & Moran, 1994; Maring, 1990; Weinberg, 2008)，因為在想像某一個動作如何進行的過程中，會活化大腦實際上執行去做同樣的動作練習的神經元。

在時序上更為敏感的 ERP 研究上則發現時視覺心像過程中包含多個副歷程(subprocess)同時或序列運作，例如在心像旋轉過程中，包含形狀或顏色的判斷歷程(Heil & Rolke, 2002)；雙側額葉區的活化則顯示包含視覺空間記憶的參與(Yoshino, Inoue, & Suzuki, 2000)。Heil 及 Rolke(2002)研究心像旋轉中的 ERP 成分 P300 波，發現當心像旋轉中的物體比較模糊或困難時 P300 波偏負情況延遲，在心像旋轉執行的過程中，可能同時並行著形狀判斷歷程。Yoshino、Inoue 及

Suzuki(2000)的研究則發現在心像旋轉中目標圖形出現後 485msec 時有一個負波，這個波會隨著前後兩圖形角度差異越大而越偏負，而這個波的出現的區域不只是在枕頂葉通路(occipitoparietal pathway)上亦包括雙側額葉區域。相對於枕頂葉通路而非枕顛葉通路(occipitotemporal pathway)的活化，顯示在這個時間點的心像旋轉歷程比較可能屬於轉換物體的空間安排而非辨識物體，同時雙側額葉區域的活化則被認為視覺空間記憶在此時參與其中。

除視覺心像與其他認知功能有關係外，研究者並發現在單純想像物體時，活化的腦區與想像的物體種類有關，當知覺某一物體所使用的腦區不同，在視覺心像時也會不同，知覺某物體與想像某物體幾乎使用同樣的腦區(Levine, Warach, & Farah, 1985; O'Craven & Kanwisher, 2000)。O' Craven 與 Kanwisher(2000)的研究顯示當想像人臉的時候，活化的區域就與知覺人臉的時候一樣在 fusiform face area(FFA)；當想像風景的空間位置安排時，活化的區域則在 parahippocampal place area(PPA)，與知覺人臉或知覺位置時相同。想像人臉的時候，PPA 無明顯活動，而想像位置時，FFA 亦無明顯活動。腦傷病人的研究中亦得到類似的結論，例如從枕葉到下顛葉的視覺通路是負責物體屬性處理的通路，若這通路損壞，將造成辨識形狀的困難，而這樣的病人往往在想像時也無法將物體的形狀具像化(visualization)。枕葉到後頂葉的視覺通

路則是處理空間屬性的通路，這部分的損壞，會使得病人無法在記憶中登錄某物件的位置，也無法想像空間裡某一個東西的位置(Levine et al., 1985)。

以上說明了知覺與心像共享非常特別且專門化的機制。雖然有了成堆的研究發現心像與知覺共享非常多的機制，還是有人認為這些發現無益於幫助我們理解心像的本質(Pylyshyn, 2002)，無法解釋心像裡所包含的概念的複雜度，並且認為關於心像的研究應該探討的研究問題是，知覺系統介入心像的方式是什麼，以及心像是如何產生及被利用。另有一些研究者則認為在研究視覺心像時，除了必須關注與視知覺的關連外，不可忽略跟其他認知功能的關係(Bartolomeo & Chokron, 2002)。Bartolomeo 及 Chokron(2002)在腦傷病人的研究中，發現視知覺與視覺心像上的多重不一致缺損。這顯示的是視覺心像需要的認知功能不只是在視知覺上「類知覺(quasi-perceptual)」表徵，還包括知覺的注意力及意圖面向上的認知活動。Ganis、Thompson 及 Kosslyn 等人(2004)年的 fMRI 研究有類似的發現，認為視知覺與視覺心像除了有廣泛的腦部活化區域重疊外，亦有不同面向上的認知運作，例如認知控制系統在兩者參與情形不同。不同與以往的研究，在計算了重疊變異量後，發現重疊變異是在額葉與頂葉區域比顛葉與枕葉區域多。在想像時，額葉與頂葉區域的活化較多，而這些區域在知覺時活化較少。額葉的活化被認為是在執行訊息分流，顯示

眾多的認知控制系統在視覺心像中的參與運作 (Ganis, Thompson, & Kosslyn, 2004)。例如把情節資訊與聽覺探針(probe)連結起來，在視覺掃視時將關於判斷的資訊維持在腦海中，執行視覺評估，並產生運動回應(motor response)。

在實驗上心像的研究是很難具體觀察或取得量化指標的。因此心理學家們雖然對於心像的研究非常感興趣也認為非常重要，但實際上投入的實驗與研究相對於知覺少非常多，而引發的爭議卻比知覺的研究多很多。例如，已知在視知覺時注意力的轉移常伴隨著眼球的移動去攫取外在刺激的訊息，但在想像時並無外在刺激去抓取注意力。那在此時的眼球移動所代表的意義是什麼？以下介紹眼球運動研究在視覺心像上的發現。

參、視覺想像中的眼球運動

對外在事物的認知活動，從來不是一個被動的接收，而是一個主動建構的過程，是兩個不同方向的認知歷程的總和，一個是從下而上(bottom-up)的過程，一個是從上而下(top-down)的過程。以視覺為例，知覺一個物體的存在需要內在的表徵與外在的刺激的配合，這被認為是一個內在原型與外在事物對照後的結果。如何釐清這兩個歷程之間的關係常是一個困難。一九七零年代眼球運動記錄系統的改善使得測量變得比較容易且比較精確(Rayner, 1998)。我們可以試著藉由精確的觀察眼球運動來研究一些認知活動。控制著眼睛移

動的過程也和認知活動一樣可分為兩種，「從下而上」以及「從上而下」的過程。從下而上的過程回應著視域(visual field)上瞬間地變化，它使我們的眼睛移動到某些位置上。從上而下的過程，則是一個主動的過程，依賴著腦中已有的知識體系驅動眼睛移動。在心像研究中眼球運動在視覺心像中是否具有功能，是個長久以來就有的爭議(Mast & Kosslyn, 2002)。

心像被認為是一個想像中的影像，是從記憶中被提取甚至被重新組合的內在影像。掃瞄內在影像時並沒有外在刺激，既沒有外在刺激的訊息，那眼睛為何要移動呢？有些研究者認為視覺心像時，眼球運動是無用的(Pylyshyn, 2002)。在注意力的研究中發現注意力的轉移總是伴隨著眼睛移動，這眼球的運動被認為是注意力轉移後必有的現象。當視覺想像時想像者在掃瞄內在影像會將注意力會放在內在影像的不同位置上，因此連帶著影響著眼睛注視的位置。所以在產生心像過程中的眼球運動被認為是一個因注意力轉移而造成的假象。這樣的看法使得心像的研究中關於眼球運動研究相對上少了許多，且不被重視。

在想像的過程中，很明顯地，並沒有感官視覺上的訊號輸入，沒有從下而上的過程來影響眼動，從上而下要求去檢視的景色(scence)亦無。這引發了「除了注意力的轉移外，所觀察到的眼動還可以代表什麼」的討論。有些研究者不認為眼動只是一個附帶現象，反而認為想像時的眼動代表了想像過程中所儲存的記憶。如果這是

正確的，那麼眼動在心像的視覺化的過程中可能扮演重要的角色。眼球運動牽引著記憶次序，幫助我們能夠正確地回憶影像中的相關部件的位置，想像是視覺記憶與眼球運動模式協同運作的結果(Sheehan & Neisser, 1969)。另一種可能的解釋是，想像過程中的眼球運動，是在搜尋已經視覺化的影像的關鍵特性(Brandt & Stark, 1997)，反映著原始視覺影像的內容與空間安排。如果以上兩種的看法正確，那麼研究想像過程中的眼動，並對照著發生在知覺情況時的眼動，可以提供一些重要的訊息讓我們能瞭解從上而下的心智過程(Mast & Kosslyn, 2002)。

Hebb(1968)是第一個明確地提出視知覺與視覺心像過程中的內在眼球運動成分，認為若「想像是知覺過程的還原(reinstatement)」，那麼想像的過程就必須包含眼球運動。眼動模式在想像過程中不但不是無關，而且還是必要的(Hebb, 1968; Laeng & Teodorescu, 2002)。Laeng 及 Teodorescu(2002)的研究顯示，眼球運動對視覺心像的產生有重要的功能，眼動模式儲存著空間的索引(spatial index)，在視覺心像過程中將想像的物體部件(parts)帶至正確的位置(Laeng & Teodorescu, 2002; Mast & Kosslyn, 2002)。Laeng 及 Teodorescu 的實驗，對照了受試者在知覺情境中以及想像情境中的眼球運動的模式，發現在想像過程中，受試者的眼動模式反映著受試者正在提取的該刺激的情況，也就是他們發現受試者在想像某圖像

的過程中的眼動，與他們最初在知覺該圖形時有「非常類似而且一致」的眼動模式。如果抑制了受試者在想像過程中的眼動，會干擾受試者想像的過程，影響受試者回憶的表現。

Laeng 及 Teodorescu(2002)實驗清楚地說明了眼動無論在知覺上，或是在心像中皆扮演著重要的角色。在知覺過程中的眼睛移動記錄著外在訊息的空間索引，在想像的過程中提取相關的訊息必須仰賴著眼睛移動。換句話說，眼動過程中眼球的肌肉感覺訊息可能記錄著外在訊息的空間索引資訊。當外在訊息進入腦海處理時，眼動過程中肌肉感覺訊號一併被記錄著，而回憶相關訊息時，必須仰賴著眼球運動來觸發相關訊息的提取。知覺不僅僅只是儲存描述和圖像，還包括「程序性」的內容，包含如何導引注意力去檢查或探索一個物體的資訊。在心像產生的過程中的眼動，並不是一個假象（即內在影像被掃描的鏡像活動），而是幫助心像的產生。它不只是記憶著外在世界的資訊，還記憶著如何認識它的資訊。

肆、結語

創造力在人類文明的發展上扮演重要的角色，而想像力是創造力表現上的根本。創造力常被認為是一個發散性思考(divergent thinking)遠重於收斂性思考(convergent thinking)的過程。但巧婦難為無米之炊，想像力需要豐富的材料來解構再建構。如何得到豐富的資訊並一一分解再重新

建構卻是我們尚未釐清之處。過去在傳統的行爲實驗研究上，認爲知覺資訊進入大腦以後，就不再是外在世界的樣子，影像不再是影像，聲音不再是聲音，而是轉變成意義、命題以及命題與命題之間的關係。任何創新的過程只要重新組合命題與命題之間的關係就可以有新的不同組合，它與任何感官知覺系統再也沒有任何關係，需要的只是提取已經儲存的資訊。現在大腦造影技術的發展與其他認知神經科學研究工具的進步，發現想像與知覺有密不可分的關係。抑制知覺系統的感官運動運作會不利心像的產生。知覺過程的任何資訊，即便是微小的幾乎無意識的眼球掃描程序都被記錄在我們的記憶系統中，且在資訊的提取過程中參與運作。大量的資訊被儲存在幾乎沒有意識到的感官運動系統之中，卻可以影響著思考過程。因無意識的資訊難以有意識的改變，因此研究上需要更多關於知覺與心像的研究來釐清「形成創意的材料」與「創意產品」之間的關係。

伍、參考文獻

- Bartolomeo, P., & Chokron, S. (2002). Orienting of attention in left unilateral neglect. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(2), 217-234.
- Brandt, S. A., & Stark, L. W. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 27-38.
- Chatterjee, A., & Southwood, M. H. (1995). Cortical blindness and visual imagery. *Neurology*, 45, 2189-2195.
- Driskell, J. E., Copper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*, 79(4), 481-492.
- Farah, M. J. (1984). The neurological basis of mental imagery: a componential analysis. *Cognition*, 18, 245-272.
- Farah, M. J. (1988). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology. *Psychological Review*, 95(307-317).
- Farah, M. J. (2001). The neuropsychology of mental imagery. In M. Behrmann (Ed.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 4, pp. 239-248). Amsterdam: Elsevier.
- Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20, 226-241.
- Hebb, D. O. (1968). Concerning imagery. *Psychological Review*, 75, 466-477.
- Heil, M., & Rolke, B. (2002). Toward a chronopsychophysiology of mental rotation. *Psychophysiology*, 39, 414-422.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge: MIT press.
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Review Neuroscience*, 9, 635-642.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1997). Neural systems shared by visual imagery and visual perception: a positron emission tomography study. *NeuroImage*, 6, 320-334.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31, 549-579.
- Laeng, B., & Teodorescu, D.-S. (2002). Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science*, 26, 207-231.
- Levine, D. N., Warach, J., & Farah, M. J. (1985). Two visual systems in mental imagery: dissociation of 'what' and 'where' in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions.

- Neurology*, 35, 1010-1018.
- Maring, J. R. (1990). Effects of mental practice on rate of skill acquisition. *Physical Therapy*, 70, 165-172.
- Mast, F. W., & Kosslyn, S. M. (2002). Eye movements during visual mental imagery. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6(7), 271-272.
- O'Craven, K. M., & Kanwisher, N. (2000). Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1013-1023.
- Parsons, L. M., Fox, P. T., Downs, J. H., Glass, T., Hirsch, T. B., Martin, C. C., Jerabek, P. A., & Lancaster, J. L. (1995). Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*, 375, 54-58.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: in search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 157-237.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Richter, W., Somorjai, R., Summers, R., Jarmasz, M., Menon, R. S., Gati, J. S., Geogopoulos, A. P., Tegeler, C., Ugurbil, K., & Kim, S. (2000). Motor area activity during mental rotation studied by time-resolved single-trial fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 310-320.
- Sheehan, P. W., & Neisser, U. (1969). Some variables affecting the vividness of imagery in recall. *British Journal of Psychology*, 60, 71-80.
- Weinberg, R. (2008). Does imagery work? Effects on performance and mental skills. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 3(1), 481-492.
- Yoshino, A., Inoue, M., & Suzuki, A. (2000). A topographic electrophysiologic study of mental rotation. *Cognitive Brain Research*, 9, 121-124.