

# 幾何圖形歸類判斷作業的認知行為表現 與神經活動區域\*

姜自強

國立中正大學  
心理學系

吳昭容

國立台灣師範大學  
教育心理與輔導學系

蕭世朗

國立中正大學  
心理學系

劉金昌

高雄醫學大學  
醫學系放射線學科

本研究藉由行為實驗與腦功能核磁造影探討幾何圖形歸類之判斷作業的認知行為表現與神經活動區域。結果發現，概念類別、正/非例，和典型性會交互作用地影響反應時間，不論哪一種變因的效果都不是跨情境一致的，即使典型例的反應時間也未必在所有情況下都較非典型例來得短，可能因資料分析限定在正確率達 98% 的「三角形」與「四邊形」概念類別所致。而正/非例和典型性都未顯現特定腦區的差異，僅從事「三角形」與「四邊形」判斷作業時，均會產生後側扣帶迴的抑制反應，且兩概念類別所涉及的後側扣帶迴區域有明顯地重疊，雖然兩者也有引發不同的腦區，如「四邊形」作業還會抑制上顳葉（BA41）與前運動皮質（BA6）的活動，而「三角形」作業則無。上述結果意味著，幾何圖形概念的提取與比對可能獨立於圖例的處理，但都涉及到後側扣帶迴。

**關鍵詞：**後側扣帶迴、幾何圖形、認知神經科學

幾何學習無法脫離幾何圖形。產生臆測、檢驗臆測、判斷論證的有效性、建構論證等活動，都必須建立在幾何圖形概念上。錯誤的幾何圖形概念會影響幾何論證的有效性，最基本的問題是圖形歸類上的錯誤，亦即無法正確判斷正例（positive example）與非例（negative example）。正例是指具備了該概念類別所有必要屬性的案例，當案例缺漏了至少一項屬性，就會是該概念的非例。例如小學生們可能將細長的平行四邊形歸類為長方形（誤認非例為正例），或是認為長方形不僅需要四個直角，也必須有不等長的兩邊（誤認正例為非例）（Clements & Battista, 1992）。此種錯誤反映了對幾何圖形屬性的錯誤認知。這些未能妥善處理的錯誤認知會持續地影響國中生的推理表現（Hoyle & Kuchemann, 2002），使其無法適切地啟動幾何論證。

此外，不同案例的典型性（typicality）不同，有些例子可以非常快速且正確地被判定為某概念的正例或非例，但有些例子不是錯誤率較高，就是得有較長的反應時間（Casey, 1992）。幾何圖形

\* 本篇論文獲國科會補助，計畫編號：NSC 98-2511-S-194-001-M，曾於 2011 年中華民國第 27 屆科學教育研討會發表。本文通訊作者：吳昭容；通訊方式：cjwu@ntnu.edu.tw。

的典型性不僅影響圖形歸類的正確性，甚至會影響六年級學生的論證（蔡正源，2005）。例如由於「四邊形」最常被提取的心像是正方形，底下兩則命題判斷的標準答案同為「錯」，但學生的正確率差異卻相當大。六年級學生有很高的比率能正確判斷「兩雙對邊平行且等長的四邊形，只有菱形」的敘述是「錯」的，因為學生們在讀到「四邊形」時主動提取到的心像以正方形圖例為主，進而發現正方形也符合命題的敘述，故能正確地判斷「只有菱形」的說法有誤；相反地，判斷「一個四邊形的圖案從對角線剪開，會得到兩個全等三角形」是「錯」的比率就不高，因為正方形恰巧符合所述，學生就不容易發現此一敘述的說法有誤。

由於概念的典型性現象非常普遍，任何概念理論都必須能解釋此一現象，幾何圖形概念也不例外。如果一名學生可以正確地指出三角形的定義是「三個直邊圍成的封閉圖形」，何以看到斜擺的、細長的鈍角三角形會判斷為不是三角形呢？數學教育學者 Vinner (Tall & Vinner, 1981; Vinner, 1983, 1991) 認為個體對特定圖形概念會形成某種概念心像 (concept image)，當圖例與其概念心像不相似時，就認為該圖例不屬於這個類別；Fischbein (1993) 提出圖形概念 (figural concept) 的主張，認為一個幾何概念，例如三角形，既是一個圖形 (空間的、知覺的表徵)，同時也是一個概念 (抽象的、一般的、理想的)，前者提供可以在心智上被操弄的物件，後者提供邏輯的意義和維持其一致性，而幾何推理的最高層次就是兩個成份產生完美的協調。然而，個體在學習幾何圖形的意義時，前述兩個成份常有很大的衝突。Fischbein 與 Nachlieli (1998) 要求 218 名 14-17 歲的學生定義平行四邊形，以及從一堆圖例中辨識平行四邊形，結果三種不同數學程度的學生都是定義的表現優於圖形辨識。Fischbein 解釋學生辨識圖形時是依據某一範型 (prototype)，當某一圖例明顯地不同於範型時，即使該圖與圖形類別之定義相符，學生還是會拒絕將此圖歸入這一類別。

學生在幾何圖形歸類上的表現和定義不一致，已有不少研究證據 (許歆宜，2005；Wilson, 1990)，假若整合良好的圖形概念只是一種理想 (Fischbein & Nachlieli, 1998, p. 1195)，那麼，我們會好奇幾何圖形歸類的認知作業所顯示的典型效果，是否代表該作業是一種與視覺心像 (visual imagery) 有關的認知活動，而與語意 (verbal) 或符號 (symbol) 相關的認知活動獨立？那麼，執行幾何圖形歸類作業的腦區又會在哪裡呢？

早期的研究發現判別兩個簡單的幾何圖例 (如三角形與四邊形) 的形狀是否相同，右視野佔有反應較快的優勢 (Umiltà, Bagnara, & Simion, 1978)，但若刺激是前後順序出現，則是呈現在左視野的反應較快 (Szatkowska, Grabowska, & Nowicka, 1993)，代表右腦處理幾何圖形比左腦快速，也意味著右腦可能是處理幾何圖形的機制所在。較近的研究如 Pernet 等人 (2004) 利用幾何圖形 (如正三角形)、拉丁文或韓文等三種類別刺激，兩兩配對呈現給受試者作物理屬性上的區辨或是類別上的歸類判斷作業，其結果雖發現左右兩側的腦區，如視覺皮質、前額葉、頂葉等，都會涉及區辨與歸類判斷兩作業，但是交集分析顯示出 (經由不同刺激產生共同的腦區) 右腦較左腦有一致規律的反應。此外，刺激與判斷作業的交互作用也顯示出右腦島迴 (insula) 對於數學幾何歸類判斷作業 (相對於拉丁文與韓文的歸類判斷) 有較高的反應，以及同樣在幾何圖形的刺激中，歸類作業 (相對於區辨作業) 也能引發較強烈的反應。這些結果意味著右腦相對於左腦涉及較多的幾何圖形作業。

病人的資料也支持右腦顳葉對於圖形大小的區辨能力佔有優勢 (Szatkowska, Szymanska, Bednarek, Skowronska, & Grabowska, 1996)。若將作業的要求加以分類，則會發現若涉及動手操弄幾何物體，則是與頂葉壁內溝 (intraparietal sulcus) 的神經細胞有關 (Sakata et al., 1999)。若是作業涉及幾何圖形的幻象 (hallucination) 則發現在初級視覺皮質 (V1) 有密切的關係 (Bressloff, Cowan, Golubitsky, Thomas, & Wiener, 2001)，其背後的神經基礎可能是初級視覺皮質區有涉及處理線條與邊界的神經細胞有關 (Ben-Shahar, Huggins, Izo, & Zucker, 2003; Hess, Hayes, & Field, 2003)。另一方面，側視覺皮質區 (lateral occipital cortex, LOC) 也被發現對於幾何形狀的處理非常重要 (Newman, Klatzky, Lederman, & Just, 2005)，因為該區也有涉及到由線條所形成的輪廓外型的訊息處理 (Kourtzi & Kanwisher, 2001)。有位名叫 D. F. 的病人毀損了側視覺皮質區 (LOC)，但保留了紡錘迴，她在辨識物體的外型與形狀有困難；但當物體包含了顏色與質地的線索時，D. F. 就能辨識出這個物體的材料與性質 (James, Humphrey, Gati, Menon, & Goodale, 2002)。這些結果意味著涉及到幾何圖形的腦區可能不是由一個單一區域來完成所有的處理，而是會涉及到作業屬性與作業刺激材料的不同而有所不同。因此學界尚在爭論，究竟幾何圖形是在腦區的何處被表徵或被操弄。

幾何圖形處理可以因為作業的要求不同，其認知處理的深度也有所不同，例如判斷兩個圖例是否形狀相同，屬於淺處理，而判斷兩個圖例是否歸類相同，則是屬於深處理（Bagnara, Roncato, Simion, & Umiltà, 1978）。本研究針對習得幾何圖形概念與推理已久的大學生，進行屬於深處理的歸類判斷作業，並對此作業進行腦功能核磁造影，企圖發現幾何圖形歸類判斷作業是在哪個腦區進行的，而不同的幾何圖形概念是否會在不同的區域進行？

所謂歸類判斷作業並不要求受試者對幾何圖形主動提出其所屬的類別，因為任一圖例可以在圖形分類的階層中有不同的名稱，例如一個直角等腰三角形，也可以稱為直角三角形或等腰三角形，也可以更籠統地稱為三角形，受試者會因此有命名上的困擾。本研究採用的作業方式是指定一個類別，例如三角形，再給一個圖例，若這個圖例是屬於這個類別的案例，則受試者按「是」的選項來表示，若不屬於這個類別，則按「否」，這樣的作業要求相對明確而無爭議。本研究以行為實驗和腦功能核磁造影回答幾何圖形的不同概念類別、正非例，和典型性的正確率、反應時間，與作用的腦區。

## 方法


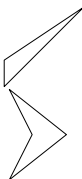
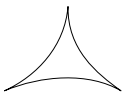
### 一、受試者

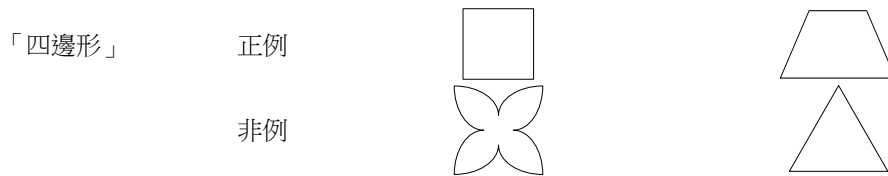
廿名大學生或研究生參與此一實驗，是由網路招募而來的，教育背景大多數為理工農醫科系，男性 13 位，女性 7 位，平均年齡為 23.1 歲，標準差為 4.01 歲。所有受試者均是正常或經過矯正後正常視力，而且同意參與此研究。每位受試者獲得新台幣 300 元的時間補償費。腦功能造影實驗並經過高雄醫學大學附設中和紀念醫院的人體試驗審查委員會會議通過（IRB 編號：KMUH-IRB-990020）。

### 二、實驗設計與作業刺激

本實驗的作業是圖形歸類的判斷作業。每組材料會在螢幕上方中間呈現一個圖形類別的名稱，例如「四邊形」，其下方會出現一個幾何圖例（其中部份材料見表 1），並在圖下呈現「Y」和「N」，用來指示受試者以按鍵來回答該圖例是否屬於上方的文字類別。依變項為正確率、反應時間，以及 fMRI 的腦造影。

表 1 「三角形」與「四邊形」的八個細格及其圖例

概念類別		典型	非典型
「三角形」	正例		
	非例		



實驗設計為概念類別 (12) × 正非例 (2) × 典型性 (2) 三因子完全受試者內設計。第一個變項為 12 個圖形的概念類別，包含四邊形、正方形、長方形、平行四邊形、菱形、梯形等六種四邊形的概念類別，與三角形、銳角三角形、鈍角三角形、直角三角形、等腰三角形、正三角形等六種三角形的概念類別。第二個變項為正例與非例，正例是指圖例具備概念類別所界定的必要條件，非例則是圖例至少有一個性質不符合概念類別所界定之必要條件。第三個變項為典型與非典型例，典型例意指在判斷作業所提供之圖例中能最快做出正確反應的一例，非典型例則是在所提供之圖例中做出正確反應最慢的一例，本實驗材料之典型與非典型例，是由另外 30 名大學生在一個前導實驗中的反應挑選出來的。例如「三角形」的典型正例是正擺的正三角形的圖案，「三角形」的非典型非例則是狀似迴旋鏢的圖案。這些圖形刺激除了「四邊形」非典型非例是正三角形，同時也是「三角形」典型正例之外，其餘沒有重覆。每組材料包括概念類別名稱、圖例、Y/N 三列資訊，其視角大小在左右為  $8.9^\circ$  寬與上下  $6.7^\circ$  長的視角範圍內。此實驗是由 COGENT Graphics ([www.vislab.ucl.ac.uk](http://www.vislab.ucl.ac.uk)) 工具箱在 Matlab 程式 (Mathworks Inc.) 與個人電腦 (PC) 之環境下撰寫與執行，並同步呈現在腦功能核磁共振掃描儀的護目鏡上。

### 三、實驗程序

受試者帶著腦功能造影專用的護目鏡。每一個嘗試開始前在螢幕中央呈現加號 (「+」) 500 毫秒，作為凝視點。接著螢幕上呈現一組實驗材料 3 秒，亦即一個概念類別的名稱、一個要判斷的圖例，與 Y/N，靜待受試者用右手按鍵回答。Y/N 鍵在受試者間有左右位置的平衡 (counter-balanced)。在此 3 秒內，受試者可以隨時更改答案，俟 3 秒時間到，即使受試者沒有按鍵回答，下一個嘗試也立即開始。

12×2×2 共 48 個細格的材料均出現 10 次，這 480 個嘗試 (trials) 分成四個區塊 (sessions) 進行，每區塊約六分鐘，中間稍作休息。其中兩區塊為三角形判斷作業，內含 6×2×2 共 24 個細格材料各 5 次，另兩個區塊為四邊形判斷作業，也是 24 個細格材料各 5 次。三角形與四邊形的作業順序為交替式的，惟每位受試者是從三角形類別開始或從四邊形類別開始，則是隨機選擇。

### 四、核磁共振掃描

腦功能造影是在高雄醫學大學附設中和紀念醫院的放射線部進行，核磁共振掃描儀為奇異公司 (GE) 的 Signa HD×T 3-T scanner，配有標準的鳥巢式頭部線圈 (a standard birdcage head coil)。功能性腦部掃描利用 echo-planar imaging (EPI) 程序，echo time (TE) = 30 ms, repeat time (TR) = 3 sec。掃描順序為由下而上 (bottom-up sequence)，每位受試者的腦分成 35 張水平切面 (axial slices)，每張厚度為 3.75 公釐 (mm)，兩者之間沒有空隙 (no gap in between slices)。功能性掃描的立體像素解析度為  $3.75 \times 3.75 \times 3.75$  公釐，其觀看範圍 (field of view, FOV) 為 240 公釐。解剖性腦結構圖是利用 T1 加權水平程序 (T1 weighted sequence)，其立體像素解析度為  $0.9375 \times 0.9375 \times 3.75$  公釐。

## 五、資料分析

由於不確定錯誤反應的認知歷程與腦區是否和正確反應相同，而過短的反應時間（RT）可能是猜測，故本研究僅分析正確且反應時間大於 140 毫秒的反應嘗試。因為這個標準而刪除的嘗試佔了全部廿位受試者所有反應的 25.9%，高比例的刪除率顯示不少受試者的概念不同於數學上對幾何概念之界定，例如判斷「菱形」時，正擺的正方形被判斷為「否」，或判斷「正三角形」時，旋轉 45 度的正三角形被視為「否」。其中錯誤率最低的是「三角形」與「四邊形」，各佔 1.88% 與 1.88%。因此，隨後的行為反應與腦功能造影的結果分析只針對「三角形」與「四邊形」的資料。

腦功能造影影像分析是利用 SPM8 軟體(Welcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) 進行每位受試者的前處理 (preprocessing)。每張影像空間位置先對齊所有平均的影像，然後對應到自己的腦結構圖 (coregistration)。之後影像透過常模進行調整 (normalization)，最後去除雜訊 (smoothing, FWHM = 8 mm)。前處理過的影像資料，就可進行所謂地第一階段的一般線性模型 (1st-level analysis with voxel-wise GLM) 的建立與分析。迴歸變項有圖形類別，正反例與典型非典型例，正確與錯誤回答等變項組合而成。迴歸變項並經由 SPM 腦血流反應方程式 (haemodynamic response function, HRF) 加以轉換，並且附加時間與空間的衍生參數 (time derivative and spatial dispersion)。時間衍生參數是將標準 HRF 函數的時間往前或往後一秒鐘，空間衍生參數是將標準 HRF 的空間範圍擴大或縮小一定的程度。這些衍生參數設定可以從 SPM 的表單上直接點選。衍生參數會變成一般線性模型的迴歸變項。一般線性模型的迴歸參數是經由限定最大可能性 (restricted maximum likelihood, ReML) 推定。這些迴歸參數並用以統計檢定的對比 (contrast)。第一階段的對比，可以作為俗稱第二階段的群體分析 (the 2<sup>nd</sup>-level analysis)，利用三因子的變異數分析 (每個變項都含有時間與空間的衍生函數)，配合傳統的 ReML 方式推定迴歸係數，並進行母群體的參數推論。群體影像分析的結果是根據未調整的  $p$  value ( $p = .001$ ) 來挑選立體像素，當一個群聚 (cluster) 內的立體像素數目超過 5 以上，並且該群聚通過錯誤拒絕率校正後 (false discovery rate, FDR,  $p < .05$ )，才報告其結果。立體像素的坐標是根據蒙特利爾神經學學院 (Montreal Neurological Institute, MNI) 所制訂的座標。

交集分析 (conjunction analysis) 是透過 SPM 檢驗「三角形」與「四邊形」作業共同涉及的腦區域，是利用兩個作業交集的概念，而非聯集的概念 (conservative conjunction, not global conjunction)。交集分析的結果再經由縮小範圍搜尋 (small volume correction, SVC)，而非全腦搜尋，得出統計結果。SVC 是由「三角形」與「四邊形」各自作業所涉及的腦區 (各以  $p = .05$  為標準) 組合成一個較大範圍的過濾器 (mask)，作為  $p$  值校正的基礎。所採用的標準為家庭控制誤差概念 (family-wise error correction, FEW,  $p < .05$ )。所報告的交集分析結果，是經過該校正後的結果。

## 結果

「三角形」與「四邊形」判斷作業的平均正確率均分別為 98.13%，因為各細格正確率都很高，故不再呈現各細格結果，也無須對三個自變項進行變異數分析。而反應時間的各細格資料見表 2。

表 2 「三角形」與「四邊形」判斷作業的反應時間 ( 毫秒 )

概念類別	典型	非典型	平均
	平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	平均值

「三角形」						
正例	1174.4	(366.4)	1313.5	(427.4)	1243.1	
非例	1124.3	(431.0)	1139.5	(435.9)	1132.0	
平均	1149.6	(400.0)	1225.8	(439.9)	1187.6	
「四邊形」						
正例	1302.2	(396.9)	1319.5	(421.0)	1310.8	
非例	1052.1	(375.5)	1129.6	(359.9)	1090.7	
平均	1175.9	(405.6)	1223.1	(402.1)	1199.4	

反應時間在類別(2) × 正/非例(2) × 典型性(2)的三因子變異數分析結果顯示，正/非例和典型性兩個主要效果顯著， $F(1, 19) = 42.91, p < .001$ ； $F(1, 19) = 10.79, p = .004$ ，類別 × 正/非例二因子交互作用和三個因子的交互作用亦達顯著， $F(1, 19) = 10.69, p = .004$ ； $F(1, 19) = 5.70, p = .028$ 。類別的主要效果與其餘的交互作用未達顯著差異。由於，反應時間的三因子交互作用達顯著，進行單純交互作用的結果顯示：(1) 三角形作業下正/非例 × 典型性的交互作用達顯著， $F(1, 19) = 5.77, p = .027$ ，觀其細格平均數，此一結果代表非典型正例的反應時間(1313.5 毫秒)較其它三個細格來得長；(2) 四邊形作業下正/非例 × 典型性的交互作用未達顯著，由正/非例的主要效果與典型性主要效果均達顯著可知，四邊形正例的平均反應時間(1310.8 毫秒)顯著較非例(1090.7 毫秒)來得長，而四邊形非典型例的平均反應時間(1223.1 毫秒)較典型例(1175.9 毫秒)來得長；(3) 正例中類別 × 典型性的交互作用為邊緣顯著， $F(1, 19) = 3.98, p = .061$ ，三角形的典型正例的反應時間(1174.4 毫秒)較其它三個細格相對地短；(4) 非例中類別 × 典型性的交互作用未達顯著，由類別主要效果不顯著、典型性主要效果達顯著可知，非例的四個細格中兩類別的典型例的平均反應時間(1088.2 毫秒)顯著較非典型例(1134.6 毫秒)來得短；(5) 典型例中類別 × 正/非例交互作用達顯著， $F(1, 19) = 20.30, p < .001$ ，四邊形正例的反應時間(1302.2 毫秒)較其它三個細格來得長；(6) 非典型例中類別 × 正/非例未達顯著，由類別主要效果不顯著、正/非例主要效果達顯著可知，兩個類別的正例平均反應時間(1316.5 毫秒)較非例的平均反應時間(1134.6 毫秒)。上述反應時間的結果顯示，幾何圖形歸類的判斷作業會因概念類別、正/非例、典型與否而有反應速度上的差異，且此一差異並非普遍成立，而視其三者交互關係而定。

腦功能造影的結果，其顯著水準均小於校正後  $p$  值檢定 ( $FDR p \text{ value} = .05$ )，結果呈現在圖 1 與表 3。

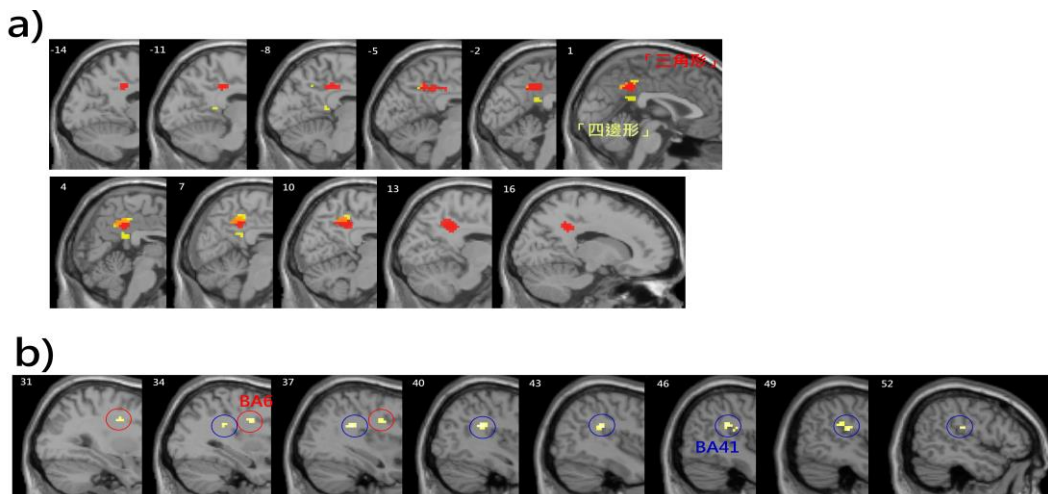


圖 1 腦功能造影的實驗結果

- 註：(a)「三角形」判斷作業所引發的後側扣帶迴區域 (BA23) 以紅色標記。而「四邊形」判斷作業引發的區域則以黃色標記。圖上顯示兩個作業在中線附近有較多的重疊。在圖形右方呈現的直方圖表示特定腦區在不同情況下的反應係數 (beta value)。絕對數值越大表示反應越強烈，其正負號表示興奮或抑制。上直方圖是「三角形」判斷作業的一個腦區，下直方圖是「四邊形」判斷作業的一個腦區。
- (b)「四邊形」判斷作業亦涉及右腦前運動皮質 (BA6) 與上顳葉 (BA41) 的活動，分別以紅色與藍色圓圈標示。圖形上的數字是表示腦縱切 (sagittal section) 的座標，是根據蒙特利爾神經學學院 (Montreal Neurological Institute, MNI) 所制訂，負數表示左腦，正數表示右腦，數字越大表示切片越靠近側邊 (離正中線越遠，正中線座標 = 0)。

表 3 腦功能造影結果摘要表

對比(Contrast)	腦區位置(Location)	No. of voxels in a cluster	最大 $t$ 值 (peak $t$ value)	最大 $t$ 值座標(MNI coordiante)		
				$x$	$y$	$z$
「三角形」	Posterior cingulate cortex (BA 23/31)	196	-4.19	0	-49	40
「四邊形」	Posterior cingulate cortex (BA 23/31)	98	-4.11	0	-43	25
	BA41	38	-4.29	48	-25	19
	BA6	6	-3.69	33	-7	34
交集分析	Posterior cingulate cortex (BA 23/31)	19	5.32	-7	8	48

註：所有結果是根據第二階段的群體分析，總共有三個對比的 $\alpha$ 機率低於校正後的水準，分別為「三角形」，「四邊形」，與兩者的交集分析。 $t$  檢定值為正表示該區域在此對比下為相對興奮的狀態，負值則表示相對抑制的狀態。 $x y z$  坐標是根據蒙特利爾神經學學院所制訂的座標。

結果顯示只有不同圖形類別的判斷作業有顯著的差異，而對於正例與非例的比較、典型例與非典型例的比較、兩兩變項的交互作用，以及三階交互作用，都沒有達到顯著差異。當受試者從事「三角形」判斷作業時，大腦中的後側扣帶迴 (posterior cingulate cortex [PCC], Brodmann area 23/31 [BA23/31]) 的反應呈現抑制的活動，而無發現興奮性的腦區。另一方面，當受試者從事「四邊形」判斷作業時，大腦中的後側扣帶迴也發現有抑制的活動，惟位置偏向腹側；以及右腦上顳葉 (BA 41) 與前運動區 (BA6) 亦呈現抑制活動。

由於「四邊形」判斷作業中，正三角形圖例作為非典型非例的刺激圖，正三角形圖例有可能會引發三角形的概念，並與「四邊形」判斷作業相衝突，一方面導致較長的行為反應時間，也影響腦區對「四邊形」判斷作業的激發。因此將「四邊形」的非典型非例的嘗試剔除後，重新檢視「四邊形」判斷作業時的腦區活動。結果與未剔除的情況一樣，仍然發現後側扣帶迴與上顳葉呈現抑制的反應，此外，BA6 區域也呈現抑制的反應，亦即「四邊形」判斷作業不會受到正三角形圖例的干擾與衝突，這也暗示著受試者在執行作業時，可能是以判斷作業所指定之概念類別引發的概念心像或概念定義為主，而由刺激圖例所引發的概念定義或心像並不強烈。

後側扣帶迴同時對「三角形」與「四邊形」判斷作業都呈現抑制的反應，而且區域有所重疊，因此進行交集分析 (conjunction analysis)，當「四邊形」判斷作業的非典型反例的嘗試去除後，「三角形」與「四邊形」判斷作業重疊的區域較多，並達到校正後的顯著水準 (corrected FEW,  $p = .037$ ，見圖 1a)。這意味著不同圖形的「判斷作業」都會涉及到共同的腦區。接著進行「三角形」對「四

邊形」判斷作業的對比分析 (contrast)，結果未達顯著水準，符合上述交集分析的結果，因為兩個判斷作業都涉及類似的腦區，若進行對比分析 (差異相減比較)，則自然不會有結果。最後，若針對「三角形」與「四邊形」判斷作業下提供正三角形圖例的資料，抽離出來獨立進行比較，結果也未達顯著水準。這結果也符合交集分析的結論，意味著「三角形」與「四邊形」的判斷作業的確是涉及類似的腦區，並且是以判斷作業指定之概念類別所引發的機制為主，而受到刺激圖例的影響較小。

## 討論

本研究先以 30 名大學生進行前導實驗，實驗材料為三角形與四邊形的概念類別各六類的正例與非例，各細格依據受試者的反應時間挑出正確反應最快的為典型例、正確反應最慢的為非典型例，正式實驗以此 12x2x2 的圖例與 12 個概念類別的名詞進行另外廿位受試者的行為實驗與腦功能造影。結果錯誤反應或反應時間過短、可能為猜測的嘗試佔全部嘗試的 25.9%，顯示不少受試者的概念不同於數學上對幾何概念之界定，例如判斷「菱形」時，正擺的正方形被判斷為「否」，或判斷「正三角形」時，旋轉 45 度的正三角形被視為「否」。由於不確定錯誤反應的認知歷程與腦區是否和正確反應相同，所以本文僅分析正確率達 98% 的概念類別—「三角形」與「四邊形」。反應時間的分析顯示，兩種概念類別、正例或非例、典型與否三者的交互作用會影響其反應時間的長短，但在腦造影的結果上未顯現正/非例或典型性的效果，只在兩種概念類別上發現腦區活動上的些許差異，顯示三種變項在反應時間與腦神經活動上的效果未必一致。

從反應時間的類別、正/非例、典型性三因子交互作用達顯著可知，不論哪一種變因的效果都不是跨情境一致的，例如，雖然多數情況下正例的反應時間較非例長，但三角形典型的正例就和非例的反應時間差不多；又如，即使典型例和非典型例的材料是以前導實驗受試者的作答反應時間來挑選的，亦即典型例的反應時間應比非典型例來得短，結果多數情況下雖然的確如此，但正式實驗之受試者在三角形非例的情況下，典型例的反應時間就和非典型例差不多。此一結果顯示對成人受試者而言，幾何圖例是否為「三角形」或「四邊形」概念類別的典型例，跨受試者未必一致，可能因為此二類別是案例範疇相當大的幾何圖形概念，所以對某些受試者而言是三角形或四邊形之典型例、可以很快正確判斷的圖形，對另一群受試者可能不是典型例、反應時間會較長。而且文獻上探討概念典型性不止反映在較長的反應時間，也可能出現較高的錯誤率 (Casey, 1992)，本研究因配合神經活動的分析而鎖定正確率較高的概念類別，也可能造成研究結果的侷限性。

腦造影的資料分析未發現正/非例或典型性的效果，僅在兩種概念類別的判斷作業上發現「三角形」與「四邊形」均能引發後側扣帶迴的抑制活動，雖然「四邊形」作業還會抑制上顳葉 (BA41) 與前運動皮質 (BA6) 等腦區的活動。進一步利用交集分析發現兩作業所引發的後側扣帶迴重疊區域已經達到統計的顯著水準，顯示判斷圖例是否可被歸類為三角形或四邊形，不論該圖例是正例或非例、是典型例或非典型例，都一致地與後側扣帶迴的腦區活動有關。

後側扣帶迴在基礎的解剖生理與認知功能上已經有廣泛的研究。在神經解剖的研究上已經發現後側扣帶迴跟前側扣帶迴 (anterior cingulate cortex)、海馬迴 (hippocampus)、前額葉 (prefrontal cortex)、頂葉 (parietal cortex)、視丘 (thalamus) 與視覺皮質區 (occipital areas) 等都有連結 (Hedberg, Simpson, & Stanton, 1993; Kobayashi & Amaral, 2007; Olson & Musil, 1992; Sanderson, Dreher, & Gayer, 1991; Shibata, Kondo, & Naito, 2004; Shibata & Naito, 2008; Vogt & Miller, 1983)。這些連結背後隱含著後側扣帶迴涉及相關的認知功能，包括學習與記憶、事件記憶、想像、空間導航，與注意力等 (Gabriel & Sparenborg, 1987; Leung & Boon, 1990; McCoy, Crowley, Haghghian, Dean, &



Platt, 2003; Ng, Noblejas, Rodefer, Smith, & Poremba, 2007; Radwanska et al., 2010; Vann, Aggleton, & Maguire, 2009)。而後側扣帶迴的毀除（尤其是壓後皮質 retrosplenial cortex）會損害傳統條件制約的學習（Gabriel, Kubota, Sparenborg, Straube, & Vogt, 1991; Gabriel & Sparenborg, 1987; Radwanska et al., 2010），與損害空間記憶或導航行為（Harker & Whishaw, 2002, 2004; Pothuizen, Davies, Aggleton, & Vann, 2010）。此外，後側扣帶迴也有所謂長期增益（long-term potentiation, LTP）與長期壓抑（long-term depression, LTD）的現象。類似這種現象—訊息在大腦中被組織在一個較大的範圍下，但是每一個較小區域又能夠專一的處理獨特的認知作業（distinct but broadly defined domain-specific systems），在其他的認知功能與腦結構的關係中亦有發現（Caramazza & Shelton, 1998），例如腹側顳葉（ventral temporal cortex）會涉及到臉孔的辨認（Atkinson & Adolphs, 2011; Berman et al., 2010; Yovel & Kanwisher, 2004），字形與字義的處理（McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003; Pernet, Celsis, & Demonet, 2005; Price & Devlin, 2003, 2004），動物辨認（Chao, Martin, & Haxby, 1999），工具辨認（Chao, Haxby, & Martin, 1999）與環境的風景辨識（Epstein, 2008）等。雖然以上這些研究沒有直接與幾何圖形有關，但仍意味著幾何圖形的記憶或概念的提取歷程可能與後側扣帶迴與壓後皮質有關。

直接與我們研究有相關的證據是來自 Pernet 等人（2004）的進一步分析。他們利用熟知的幾何圖形、拉丁文與韓文等三種類別兩兩配對出現，要求受試者對類別做判斷或是對物理刺激的屬性做判斷，結果發現右腦島迴涉及幾何圖形的處理。此外，從他們的結果列表中發現（Pernet et al., p. 1569, Table3）右側接近中線的後側扣帶迴（BA31）對於幾何圖形的刺激有強烈的血流反應，而韓文與拉丁文則無此現象。這與我們的交集結果是互相呼應的（因為都在同一區域內），意味著幾何圖形的類別判斷的確是涉及到後側扣帶迴。

然而作業所引發腦區的抑制活動，其中之一的可能性就是大腦預設組態網路（default network or default mode）（Mazoyer et al., 2001; Raichle et al., 2001），其概念是指大腦平時就在進行多項的內部活動（intrinsic activities），因為大腦只佔全部身體重量的 2%，卻消耗了身體的能量 20%，因此在受試者沒有作任何事情的時候就可以觀察到大腦預設組態的活化。預設組態網路所涉及的大腦區域最主要包括了背腹測中線前額葉（dorsolateral & ventral medial prefrontal cortex）、後側扣帶迴與壓後皮質、下端頂葉小葉（inferior parietal lobule）、顳葉外側（lateral temporal cortex）、海馬迴（hippocampal formation）（Buckner, Andrews-Hanna, & Schacter, 2008）。預設組態網路的特性之一就是當受試者必須進行一項目標導向作業時（goal-directed task），其相關的大腦區域活動會被抑制，因此實驗常被發現某些大腦區域的活化是與作業表現呈現負相關的結果（Shulman et al., 1997）。也因為如此，預設組態網路被認為是跟內在認知活動有關，如回憶事件記憶（episodic memory）與從外在注意力轉移至內在的認知活動（Smallwood & Schooler, 2006）。而後者是跟後側扣帶迴與壓後皮質有直接的關聯。這意味著本實驗受試者在判斷圖例是否屬於概念類別時，可能會集中精神作該圖例與概念的比對及判斷，而不用去注意所呈現的圖例（因為呈現的幾何圖形是非常簡單，不需要長時間的關注）。果真如此的話，我們的結果就會與過去的研究一致，並且延伸出概念的提取與比對可能與記憶的提取與回憶有關。這觀點與上段認為後側扣帶迴涉及幾何圖形的訊息處理互相呼應。

簡言之，從事幾何圖形歸類的判斷時，需要提取指定的幾何圖形類別的概念，並與實驗所呈現的圖例進行比對，我們的結果發現，這歷程涉及大腦的後側扣帶迴，顯示此一腦區可能與圖形概念的記憶提取與比對有關。因為文獻上並未顯示後側扣帶迴與視覺心像或語意、符號的功能有關，所以，幾何圖形的分類作業是否與視覺心像有關，而與語意、符號無關的問題，還沒有答案。

另一方面，實驗結果同時顯示出上顳葉（BA41）與前運動區（BA6）與「四邊形」判斷作業有關。前運動區傳統上被認為跟視覺與手部反應的準備與選擇有關（Passingham, 1988; Romo, Hernandez, & Zaino, 2004; Wise, Di Pellegrino, & Boussaoud, 1992; Jenkins, Jahanshahi, Jueptner, Passingham, & Brooks, 2000）。此外，亦有研究指出前運動區參與了工作記憶的神經網路，但並不是針對特定的物件保存（Mecklinger, Bosch, Gruenewald, Bentin, & von Cramon, 2000）。只有少數的研究指出前運動區會與心中不變的概念圖形有關，其中包括了幾何圖形（Schubotz & von Cramon, 2004）。von Cramon 的實驗室進一步發現前運動區只會跟對稱的圖形有關，並不會對這刺激是否具有美感反應（Jacobsen, Schubotz, Hofel, & Cramon, 2006）。這或許可以解釋為何前運動區會在「四

邊形」判斷作業上出現。但為何沒有出現在「三角形」判斷作業上？當我們回頭檢視刺激圖形時，發現「四邊形」作業的圖形全部是對稱的。「三角形」的圖形刺激一方面有些類別（如非典型正例）並非對稱，另一方面，其他類別的對稱性並非像四邊形刺激這麼容易達到上下左右都對稱的情況。由此發現，我們的實驗結果是跟過去的研究互相呼應。

針對上顳葉（BA41）的結果，我們目前找不到任何文獻說明 BA41 單獨與視覺刺激有關，因為 BA41 主要與聽覺刺激有密切的關係。而且我們也無法假設幾何圖形的判斷會直接或間接引發聽覺腦區的反應。我們暫時擱置此項結果的解釋，俟將來實驗設計與資料分析上，能夠解答未知的疑惑。

本研究進行的 12 個概念類別的歸類判斷，目前僅就正確率達 98% 的兩個類別進行分析，後續將以另外 10 個概念類別中錯誤率較高的數個類別，進行錯誤反應和正確反應的腦功能分析。假若同一個概念類別的正確反應與錯誤反應所涉及的腦區與活動型態並無差異，則我們可以合併正確與錯誤的反應進行資料分析。如果其它 10 個概念類別之歸類判斷作業的腦區與活動型態和「三角形」、「四邊形」相同，則我們對後側扣帶迴涉及幾何圖形的歸類判斷，會更有信心。反之，若其它 10 個概念類別之歸類判斷作業的神經活動區位與型態不同於「三角形」、「四邊形」，一則我們可以從這些結果重新檢查圖形歸類作業是視覺心像或語意符號的問題，再則我們也可以從幾何圖形概念階層的角度討論分歧的結果。例如三角形和四邊形是幾何圖形階層中屬於較為上位的概念，相對地，正三角形、直角三角形、長方形、菱形……等則是較為下位的概念。前者包含各類的後者，亦即上位概念之正例的涵蓋範圍較大，歧異性較高，是否因此較不易形成穩定的概念心像，而與其它下位概念有不同的神經活動型態？本研究的結果只是一個起步，尚須更多的研究來釐清其中的疑問，期能有助於瞭解幾何圖形概念的認知及其相關的認知神經歷程。

## 參考文獻

- 許歆宜 (2005)：國小高年級學童面對幾何圖形反例的概念改變方式。國立台北教育大學教育心理與諮商研究所碩士論文。[Sheu, H. I. (2005). *The conceptual change of geometric counter-examples for senior elementary pupils*. Unpublished master's thesis, National Taipei University of Education, Taipei, Taiwan.]
- 蔡正源 (2005)：命題型式與案例典型性對國小六年級學童幾何論證之影響。國立台北教育大學數學教育研究所碩士論文。[Tsai, C. Y. (2005). *Effects of proposition pattern and typicality of example on argumentation of sixth graders*. Unpublished master's thesis, National Taipei University of Education, Taipei, Taiwan.]
- Atkinson, A. P., & Adolphs, R. (2011). The neuropsychology of face perception: Beyond simple dissociations and functional selectivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 366(1571), 1726-1738.
- Bagnara, S., Roncato, S., Simion, F., & Umiltà, C. (1978). Different levels in processing simple geometrical figures. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 511-514.
- Ben-Shahar, O., Huggins, P. S., Izo, T., & Zucker, S. W. (2003). Cortical connections and early visual function: intra-and inter-columnar processing. *Journal of Physiology-Paris*, 97, 191-208.

- Berman, M. G., Park, J., Gonzalez, R., Polk, T. A., Gehrke, A., Knaffla, S., & Jonides, J. (2010). Evaluating functional localizers: The case of the FFA. *Neuroimage*, *50*(1), 56-71.
- Bressloff, P. C., Cowan, J. D., Golubitsky, M., Thomas, P. J., & Wiener, M. C. (2001). Geometric visual hallucinations, Euclidean symmetry and the functional architecture of striate cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, *356*(1407), 299-330.
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *The Year in Cognitive Neuroscience 2008*, *1124*, 1-38.
- Casey, P. J. (1992). A reexamination of the roles of typicality and category dominance in verifying category membership. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *18*(4), 823-834.
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(1), 1-34.
- Chao, L. L., Haxby, J. V., & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience*, *2*(10), 913- 919.
- Chao, L. L., Martin, A., & Haxby, J. V. (1999). Are face-responsive regions selective only for faces? *Neuroreport*, *10*(14), 2945-2950.
- Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 420-464). New York, NY: Macmillan.
- Epstein, R. A. (2008). Parahippocampal and retrosplenial contributions to human spatial navigation. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(10), 388-396.
- Fischbein, E. (1993). The theory of figural concepts. *Educational Studies in Mathematics*, *24*, 139-162.
- Fischbein, E., & Nachlieli, T. (1998). Concepts and figures in geometrical reasoning. *International Journal of Science Education*, *20*(10), 1193-1211.
- Gabriel, M., Kubota, Y., Sparenborg, S., Straube, K., & Vogt, B. A. (1991). Effects of cingulate cortical-lesions on avoidance-learning and training-induced unit-activity in rabbits. *Experimental Brain Research*, *86*(3), 585-600.
- Gabriel, M., & Sparenborg, S. (1987). Posterior cingulate cortical-lesions eliminate learning-related unit-activity in the anterior cingulate cortex. *Brain Research*, *409*(1), 151-157.
- Harker, K. T., & Whishaw, I. Q. (2002). Impaired spatial performance in rats with retrosplenial lesions: Importance of the spatial problem and the rat strain in identifying lesion effects in a swimming pool. *Journal of Neuroscience*, *22*(3), 1155-1164.

- Harker, K. T., & Wishaw, I. Q. (2004). Impaired place navigation in place and matching-to-place swimming pool tasks follows both retrosplenial cortex lesions and cingulum bundle lesions in rats. *Hippocampus, 14*(2), 224-231.
- Hedberg, T. G., Simpson, G. V., & Stanton, P. K. (1993). Microcircuitry of posterior cingulate cortex in-vitro-electrophysiology and laminar analysis using the current source density method. *Brain Research, 632*(1-2), 239-248.
- Hess, R. F., Hayes, A., & Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *Journal of Physiology-Paris, 97*(2-3), 105-119.
- Hoyles, C., & Kuchemann, D. (2002). *Students' explanations in geometry: Insights from a large-scale longitudinal survey*. Presented at International Conference on Mathematics: Understanding proving and proving to understand, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.
- James, T. W., Humphrey, G. K., Gati, J. S., Menon, R. S., & Goodale, M. A. (2002). Differential effects of viewpoint on object-driven activation in dorsal and ventral streams. *Neuron, 35*(4), 793-801.
- Jacobsen, T., Schubotz, R. I., Hofel, L., & Cramon, D. Y. (2006). Brain correlates of aesthetic judgment of beauty. *Neuroimage, 29*(1), 276-285.
- Jenkins, I. H., Jahanshahi, M., Jueptner, M., Passingham, R. E., & Brooks, D. J. (2000). Self-initiated versus externally triggered movements: II. The effect of movement predictability on regional cerebral blood flow. *Brain, 123*(Pt. 6), 1216-1228.
- Kobayashi, Y., & Amaral, D. G. (2007). Macaque monkey retrosplenial cortex: III. Cortical efferents. *Journal of Comparative Neurology, 502*(5), 810-833.
- Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2001). Representation of perceived object shape by the human lateral occipital complex. *Science, 293*(5534), 1506-1509.
- Leung, L. S., & Boon, K. A. (1990). Kindling in the posterior cingulate cortex-electrographic and behavioral-characteristics. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 76*(2), 177-186.
- Mazoyer, B., Zago, L., Mellet, E., Bricogne, S., Etard, O., Houde, O.,...Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Cortical networks for working memory and executive functions sustain the conscious resting state in man. *Brain Research Bulletin, 54*(3), 287-298.
- Mecklinger, A., Bosch, V., Gruenewald, C., Bentin, S., & von Cramon, D. Y. (2000). What have Klingon letters and faces in common? An fMRI study on content-specific working memory systems. *Human Brain Mapping, 11*(3), 146-161.
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(7), 293-299.

- McCoy, A. N., Crowley, J. C., Haghghian, G., Dean, H. L., & Platt, M. L. (2003). Saccade reward signals in posterior cingulate cortex. *Neuron*, *40*(5), 1031-1040.
- Newman, S. D., Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Just, M. A. (2005). Imagining material versus geometric properties of objects: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, *23*(2-3), 235-246.
- Ng, C. W., Noblejas, M. I., Rodefer, J. S., Smith, C. B., & Poremba, A. (2007). Double dissociation of attentional resources: Prefrontal versus Cingulate cortices. *Journal of Neuroscience*, *27*(45), 12123-12131.
- Olson, C. R., & Musil, S. Y. (1992). Topographic organization of cortical and subcortical projections to posterior cingulate cortex in the cat-evidence for somatic, ocular, and complex subregions. *Journal of Comparative Neurology*, *324*(2), 237-260.
- Passingham, R. E. (1988). Premotor cortex and preparation for movement. *Experimental Brain Research*, *70*, 590-596.
- Pernet, C., Celsis, P., & Demonet, J. F. (2005). Selective response to letter categorization within the left fusiform gyrus. *Neuroimage*, *28*(3), 738-744.
- Pernet, C., Franceries, X., Basan, S., Cassol, E., Demonet, J. F., & Celsis, P. (2004). Anatomy and time course of discrimination and categorization processes in vision: An fMRI study. *Neuroimage*, *22*(4), 1563-1577.
- Pothuizen, H. H. J., Davies, M., Aggleton, J. P., & Vann, S. D. (2010). Effects of selective granular retrosplenial cortex lesions on spatial working memory in rats. *Behavioural Brain Research*, *208*(2), 566-575.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage*, *19*(3), 473-481.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2004). The pro and cons of labelling a left occipitotemporal region: The visual word form area. *Neuroimage*, *22*(1), 477-479.
- Radwanska, A., Debowska, W., Liguz-Leczmar, M., Brzezicka, A., Kossut, M., & Cybulska-Klosowicz, A. (2010). Involvement of retrosplenial cortex in classical conditioning. *Behavioural Brain Research*, *214*(2), 231-239.
- Romo, R., Hernandez, A., Zainos, A. (2004). Neuronal correlates of a perceptual decision in ventral premotor cortex. *Neuron*, *41*, 165-173.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(2), 676-682.

- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., Tsutsui, K., Tanaka, Y.,... Miyashita, Y. (1999). Neural representation of three-dimensional features of manipulation objects with stereopsis. *Experimental Brain Research*, 128(1-2), 160-169.
- Sanderson, K. J., Dreher, B., & Gayer, N. (1991). Proencephalic connections of striate and extrastriate areas of rat visual-cortex. *Experimental Brain Research*, 85(2), 324-334.
- Schubotz, R. I., & von Cramon, D. Y. (2004). Sequences of abstract nonbiological stimuli share ventral premotor cortex with action observation and imagery. *Journal of Neuroscience*, 24(24), 5467-5474.
- Shibata, H., Kondo, S., & Naito, J. (2004). Organization of retrosplenial cortical projections to the anterior cingulate, motor, and prefrontal cortices in the rat. *Neuroscience Research*, 49(1), 1-11.
- Shibata, H., & Naito, J. (2008). Organization of anterior Cingulate and frontal cortical projections to the retrosplenial cortex in the rat. *Journal of Comparative Neurology*, 506(1), 30-45.
- Shulman, G. L., Fiez, J. A., Corbetta, M., Buckner, R. L., Miezin, F. M., Raichle, M. E., Steven, E. P. (1997). Common blood flow changes across visual tasks 2. Decreases in cerebral cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(5), 648-663.
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, 132(6), 946-958.
- Szatkowska, I., Grabowska, A., & Nowicka, A. (1993). Hemispheric-asymmetry in stimulus size evaluation. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 53(1), 257-262.
- Szatkowska, I., Szymanska, O., Bednarek, D., Skowronska, R., & Grabowska, A. (1996). Disturbances in time limited storage of sensory information after right temporal lobectomy. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 56(1), 259-262.
- Tall, D., & Vinner, S. (1981). Concept images and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational studies in mathematics*, 12, 151-169.
- Umiltà, C., Bagnara, S., & Simion, F. (1978). Laterality effects for simple and complex geometrical figures, and nonsense patterns. *Neuropsychologia*, 16(1), 43-49.
- Vann, S. D., Aggleton, J. P., & Maguire, E. A. (2009). What does the retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience*, 10(11), 792-802.
- Vinner, S. (1991). The role of definitions in the teaching and learning of mathematics. In D. Tall (Ed.), *Advanced mathematical thinking* (pp. 65-81). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Vinner, S. (1983). Concept definition, concept image and the notion of function. *International Journal of Mathematics Education in Science and Technology*, 14, 293-305.
- Vogt, B. A., & Miller, M. W. (1983). Cortical connetions between rat cingulate crtex and visual, motor, and postubicular cortices. *Journal of Comparative Neurology*, 216(2), 192-210.

- Wise, S. P., Di Pellegrino, G., & Boussaoud, D. (1992). Primate premotor cortex: Dissociation of visuomotor from sensory signals. *Journal of Neurophysiology*, 68, 969-972.
- Wilson, P. S. (1990). Inconsistent ideas related to definitions and examples. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 12 (3 & 4), 31-47.
- Yovel, G., & Kanwisher, N. (2004). Face perception: Domain specific, not process specific. *Neuron*, 44(5), 889-898.

收稿日期：2012年05月12日

一稿修訂日期：2013年02月07日

二稿修訂日期：2013年02月22日

接受刊登日期：2013年02月22日

Bulletin of Educational Psychology, 2013, 45(2), 141-156  
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

## **Cognitive Behaviors and Neural Bases of Geometrical Categorization**

**Tzu-Ching Chiang**

Department of Psychology  
National Chung Cheng University

**Chao-Jung Wu**

Department of Educational Psychology and  
Counseling, National Taiwan Normal University

**Sigmund Hsiao**

Department of Psychology  
National Chung Cheng University

**Gin-Chung Liu**

Department of Medical Imaging  
Kaohsiung Medical University Chung-Ho Memorial  
Hospital

The study aimed to examine cognitive behaviors and the corresponding brain areas via functional magnetic resonance imaging (fMRI) while people categorize geometrical figures. The results showed categorization tasks, positive/negative examples, and typicality interactively influenced reaction times. It indicates that the effects of one variable were not constant across different variables. For instance, the reaction times (RTs) in the typical examples were not quicker, in all conditions, than that in the atypical examples. It may be the results of filtering out the accuracy below 98%. However, the corresponding brain areas were only found for the categorization tasks. Both “Triangles” and “Quadrangles” categorization tasks deactivated the posterior cingulate cortex and there were significantly overlapped areas in BA31. “Quadrangles” categorization task additionally deactivated superior temporal lobes (BA41) and premotor areas (BA6) but “Triangles” did not. The results suggested the retrieval of geometrical concepts and the comparison to the stimuli examples would be associated with the posterior cingulate cortex, which may be independent from the processing of stimuli examples.



**KEY WORDS:** cognitive neuroscience, geometrical figures, posterior cingulated cortex