

國立台灣師範大學教育心理與輔導學系
教育心理學報，民 99，41 卷，3 期，551-578 頁

心像旋轉中之心智表徵特性—探討圖形 複雜度與整合性的影響*

韓承靜

國立台灣師範大學
科學教育研究所

洪蘭

國立中央大學
認知神經科學研究所

蔡介立

國立政治大學
心理學系
心智、大腦與學習研究中心

心像旋轉歷程中的心智表徵的本質始終存在著爭議。本研究藉由改變刺激材料的整合性（參考軸數目）及複雜度（方塊數目）重新探究這爭議。發現圖形整合性會影響心像旋轉中反應時間與角度差異的線性關係；圖形整合性高時圖形中部件相對空間位置明確，受試者可不依賴心像旋轉能力來完成心像旋轉作業。然而圖形複雜度只提高總反應時間，但不會改變反應時間與角度差異的斜率。最後，本實驗推論心像旋轉歷程可分為更細微的兩個歷程—參考軸的旋轉與部件結構的重建，這兩個歷程將隨著圖形刺激不同而調整。

關鍵詞：心像、心像旋轉、內在表徵、圖形整合性、圖形複雜度

心像，在許多認知歷程中被認為扮演著重要的角色，特別是視覺心像，向來被視為是創新的源頭，且是外在世界的內在表徵。早在希臘時代，柏拉圖相信心像就像是銘刻在蠟上的花樣，從蠟上的特有屬性就能瞭解不同人的差異，而資訊被表徵在心像中。但心像無法被直接觀察到，因此關於什麼是心像，眾說紛紜。

心像旋轉（mental rotation）被認為是一種在腦海中想像物體旋轉的一種能力。心像旋轉作業（mental rotation task）則是要求受試者去比較角度相異的兩物體是否為相同的物體。自從 Roger Shepard 成功地發展出心像旋轉作業後，關於心像的研究才開始有了雛形，而心像旋轉作業也被認為是第一個可以客觀量測心像的方法。但截至目前為止，相關的爭議，特別是在心像內在表徵形式上始終沒有一致的結論（Barba, Rosenthal, & Visetti, 2002; Kosslyn, 1980, 1994）。

有人覺得心像的內在表徵應該是一個類似圖像的形式，對應著外在事物的一切特徵；有人則覺得這個內在表徵可以是一個純粹抽象的編碼，所有的心智歷程皆可以非常抽象的形式運算來運

* 本篇論文通訊作者：蔡介立，通訊方式：jiltsai@nccu.edu.tw

作。另一群學者則認為，所有思考運作皆脫離不了生理感官知覺的限制，關於視覺的想像或思考，必然有視知覺（visual perception）上的生理運作的支援。

在個別差異上，我們發現每個人的心像旋轉能力亦天差地別，有些人可以不費吹灰之力的「轉動」腦海中的影像；有的人則在稍微複雜的圖形擺在眼前時，只要有點角度的不同，就分辨不出來。在學習上，如何幫助心像運作能力不足的學生，往往就成為教育者的考驗。過去對於這一類的學習，教育者多半仰賴反覆的練習以期學習者達到熟能生巧（Wiedenbauer, Schmid, & Jansen-Osmann, 2007）。但這並不是很有效率的方法，而且遷移的效果也只限於學習過的圖形，對於全新的圖形則無法表現良好。最主要的原因是，這樣的方法建立在不斷地嘗試上，而不是對心智運作歷程有所瞭解—像是如何適當的展現一個圖形，使學習者在處理圖形時減少心智運作上的負擔。這個缺乏效率而且效果不明確的教學方法，其實應歸因於教育者對於某些心智歷程的運作細節沒有足夠的理解與探究。因此，如果想要在學習上幫助心像旋轉能力不佳的人，我們需要在理論上釐清心像是以怎樣的形式在腦海中運作。

下面將敘述心像的重要性及其研究歷史，再討論關於心像旋轉的相關理論及實驗方式上的爭議，特別是在表徵的形式上；最後再介紹現今心像旋轉研究的方向與發展，點出本實驗之目的及重要性。

一、心像的重要性與心像研究的歷史

心像，被認為是想像力的來源，科學進步的源頭。心像不只被認為是認知的一個基本形式，在許多人類心智活動上，如方向辨識、記憶...甚至到問題解決，皆扮演著重要的角色（Kosslyn, 1994）。在心理學、哲學甚至教育領域中，心像亦被認為是思考的一部份。但心像在各種心智活動上的關係從未被釐清過，直到心理學界開始重視，心像才被以科學的方式認真探究。如同心理學研究般，心像的研究有長久的過去，但只有短暫的歷史。過去，科學家們一直苦於無法以量化的方法測量心像（Haberlandt, 1997）。即便當實驗心理學興起，企圖以可觀察可量測的資料來探索心理的各面向，想讓心像成為一個可公開演示的心智歷程，依然非常困難。

1971年 Roger Shepard 和他的同事發展出心像旋轉作業後，在心像研究上第一次成功地探究心像的過程，使視覺心像能力變為可測量（Shepard & Metzler, 1971; Haberlandt, 1997）。Shepard 等人著名的心像旋轉作業中，要求受試者判斷角度相異的兩物體是否為相同的物體，藉此來探究心像。他們發現受試者的反應時間跟兩物體之間「展示的角度差」呈現線性的增加（Cooper, 1975; Cooper & Shepard, 1973, 1975; Shepard & Cooper, 1982; Shepard & Metzler, 1971）。當兩物體展示的角度差越大，受試者辨識它們是否為相同圖形所需的反應時間則越長。他們認為這樣的結果，指出了人們具有想像物體轉動的能力，且這樣的想像過程需要一定的時間。他們據此認為受試者在心中轉動物體的過程，可能類似於物體在現實中轉動的方式（Wraga, Thompson, Alpert, & Kosslyn, 2003）。

發現心像旋轉有一個特殊的反應時間與角度差的線性關係後，截至目前為止，我們仍舊對於心像的本質以及心像旋轉的內在運作方式，沒能有更深的瞭解（Kosslyn, 1994）。甚至在有了許多可以直接看到腦部活動影像的技術與儀器後，依然對心像的表徵存在著巨大的爭議。這爭議多集中在「表徵的問題（the problem of representation）」。這些爭議可分成幾個層次，第一層次探究心像的心智表徵有多少不同的類型。第二層次的問題，則是集中在不同類型的心智表徵下可得到的經驗結果的本質，也就是在心理學實驗中的方法學上的問題。第三層次，則想要藉由目前對於腦部功能的瞭解，重新探討過去早期的實驗研究結果的方法學上及概念上的問題（Kosslyn, 1980）。

本研究的方向落在第一層次上的討論。我們要問的是：一個心像相對應的內在表徵是一個或是多個？目前對於心像的心智表徵的看法大致分為兩類（Thomas, 1999），一類被稱為「命題式的表徵（propositional representations）」，認為具體化的心像是知覺歷程的產品及命題的表達，用以描述相關知覺景色；各個命題是從記憶中被提取出來並重新組合建構出心像；其中命題是一個心智的句子，在意義的聲明（assertion）上是清楚且任意武斷的，表徵中含有一些關係，這些關係連結著幾個實體，因此又被稱為「類語言的表徵（language-like representations）」。另一類則是源自圖像理論（picture theory）的圖像式的表徵（depictive representation），認為心像是一種類似圖像的概念，這圖像中包含各部件在結構中的空間方位關係，是在大腦中的知覺印象的複本（copies），提取出來的影像就是一個類似外界實體的整體影像（whole image）。心像的內在表徵究竟是命題式的或圖像式的，或是一個混合著命題兼圖像的表徵？另外還有知覺系統與記憶系統之間的關係是如何，都是長久以來爭論不休的議題。表徵屬於何種形式往往與何種歷程可以運作有關，因此在論及內在表徵時，常不可避免地談到內在歷程；在研究內在歷程的運作時，也不得不探究內在表徵是什麼。

自從大腦造影技術投入實用後，我們已知心像的產生是許多感官知覺系統的作用所形成的的心智表徵集合。許多研究針對不同的知覺探索其表徵。關於心像的研究則大部分集中在視覺心像上，主要原因在於視覺想像的產生，似乎比其他知覺的想像容易察覺（Sternberg, 1999）及描述。而日常生活中我們也較常依賴視覺心像幫助我們解決問題（Kosslyn, 1980）。心像旋轉則是常被用來研究視覺心像的工具，下面將討論心像旋轉作業上的理論及爭議。

二、關於心像旋轉作業上心像旋轉過程的理論及爭議

過去，大部分的心像旋轉作業研究都會發現兩個準則（criteria）：（一）正向的斜率（positive slope criterion），指的是受試者在這項作業判斷兩個圖形是否為相同圖形的反應時間，與兩個圖形呈現時角度的差異是一個正向的關係；（二）有限速率（limit rate criterion），受試者表現出的心像旋轉速率不能無限制的加速，而大部分研究所得到的心像旋轉速率大致上相接近（Cohen & Kubovy, 1993）。對於人們如何完成心像旋轉作業，不同的研究者也有著不同的假設與理論。在心像如何表徵以及心像旋轉如何運作這兩部分，爭議也特別多。

目前關於心像旋轉作業其間的心智過程，大致可分為兩種理論。一方認為受試者在心中轉換物體的過程，類似於物體在現實中轉換的方式，這樣的主張以心像旋轉作業發明者 Roger Shepard 以及其同事們和後續研究者為主（Cooper, 1975; Cooper & Shepard, 1973a, 1973b, 1975; Kosslyn, 1994; Kosslyn, DiGirolamo, Thompson, & Alpert, 1998; Shepard & Metzler, 1971; Wraga, Thompson, Alpert, & Kosslyn, 2003）。另一種理論則以 Zenon Pylyshyn 等人的看法為代表，認為心像不過是個體以抽象思考為主的方式來模擬物理事件（Hochberg & Gellman, 1977; Pylyshyn, 1973; Pylyshyn, 1981）。

根據 Shepard 等人的研究，心像旋轉作業涉及的心智過程，大致分成四個階段，（一）圖像進行編碼；（二）在腦海中旋轉影像（假設有旋轉的話），或計算影像的轉換；（三）比對眼前的影像與腦海中轉換後的影像；（四）將比對的結果做出反應（Cooper, 1975）。研究者特別關心的是，影像在腦海旋轉時的心智過程。Shepard 及 Copper 等人依據他們的實驗結果，認為心像旋轉的過程中，影像是整體（holistic）被運作的，類似物理界的實體旋轉，旋轉角度越大，所需的旋轉時間越多，如自然界的「類比（analog）」（Cooper, 1975; Cooper & Shepard, 1973a, 1973b; Shepard & Cooper,

1982; Shepard & Metzler, 1971)。在心像旋轉階段，受試者的反應時間，只與欲判斷的圖形之間的角度呈現線性關係，而不會受到圖形複雜度的影響。

相對於 Shepard 及 Cooper 等人認為心像旋轉類似於實體在物理世界旋轉這樣的觀點，也就是心像旋轉的類比理論 (analog theory)，Pylyshyn (1981) 認為心像處理是一個抽象思考的物理事件模擬，因此反對心像旋轉的歷程類比實體在物理世界旋轉的觀點。Pylyshyn 認為人們在處理心像時，知道物體在空間移動時花的時間，不自覺地模擬著物理事件的變化 (Palmer, 1975; Pylyshyn, 1973; Pylyshyn, 1981)。他因此認為抽象的計算資料結構，比較適合作為視覺資訊的表徵形式。在實驗上發現心像旋轉所需時間隨著角度變化，只是因為人們知道物體在空間移動時消耗時間，而不自覺地做出符合現實情況的反應。語意記憶模型的網路結構，可以用來作為此類型的心智歷程的特殊表徵結構。其中，視覺物件的各個特徵與特徵之間的關係可以由網路中的節點與連結來代表 (Palmer, 1975; Pylyshyn, 1973; Pylyshyn, 1981)。甚至有研究者指出，心像旋轉中，根本不需要視覺想像的過程 (Marmor & Zaback, 1976)。所以影像表徵不可能是類似實體的影像在腦海中運作，而是抽象的概念與命題運算結合後的結果 (Pylyshyn, 2003)。

為了探究心像的表徵以及內在歷程，不同的研究者根據不同的研究問題，設計了各種不同的刺激圖形，試圖探討旋轉階段中不同的旋轉形式以及更深的意義 (周泰立、陸偉明、鄭秋瑾與吳瑞屯, 1996)，例如，心像的表徵究竟是描述式的 (depictive) 或命題式的 (propositional)？旋轉的歷程究竟是整體的 (holistic)、還是片段的 (piece-meal)？這部分的問題一直未能釐清 (Smith & Dror, 2001)。無論是探究旋轉階段的歷程，或是此階段的心像表徵形式，都無法擺脫歷程進行的方式與表徵形式相依的問題。也就是若認為旋轉階段的歷程是某一種方式，則此心像表徵很可能多為某一類型的表徵。像是持整體的旋轉歷程想法的研究者認為旋轉時的心像表徵為一個整體；片段式旋轉歷程的研究者則認為旋轉時的心像表徵為可分割成數個部件的形式，而不認為有「旋轉」歷程存在的研究者，則認為心像表徵根本只是一個或數個命題。

從整體的旋轉歷程概念來說，類比心像旋轉如同外界實體的旋轉。衍生出的想法亦即受試者是旋轉完整的心像，其反應時間不會受到圖形成份因素影響 (Cooper & Podgorny, 1976)。但研究者在命題式的概念下，衍生出片段的旋轉歷程這樣的想法，認為受試者是以片段的方式去旋轉刺激圖形，所以反應時間會受到圖形成分因素影響 (Pylyshyn, 1973; Pylyshyn, 1981; Pylyshyn, 2003)。關於心像旋轉歷程的看法，無論是持整體式或片段式的研究者們，皆同意心像旋轉階段所需要的反應時間會因為兩圖形呈現角度差而不同，認為角度是影響反應時間的一個因素。對於整體式旋轉理論而言，角度是唯一因素；片段式旋轉理論則認為圖形複雜度是另一個影響因素，且與角度有交互作用。當角度相差越大時，所需要的反應時間越多，換句話說，反應時間相對於角度的斜率會增加 (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Smith & Dror, 2001)。另外，從命題式的概念下衍生出片段的旋轉歷程理論對於心像旋轉是有些矛盾的。純粹就命題式的表徵來看心像旋轉歷程的話，理論上一個全然抽象的關係，呈現角度上的差異並不會影響到圖形中相對空間關係，也就是角度上的差異不會造成反應時間上的變化，至少並不會因為旋轉角度較多而變得更花時間。因此純命題式的表徵來說，心像旋轉的斜率應接近於 0。

三、關於心像旋轉作業理論上不一致的證據

目前檢驗這兩種理論的實驗，多半是操弄圖形的複雜度，來看心像旋轉階段時，受試者的反應時間變化，在兩相對陣營研究者的實驗中，各有各的實驗支持著雙方的理論，但總的來說結

果並不一致 (Cooper & Podgorny, 1976; Cooper & Shepard, 1975; Pylyshyn, 1979, 1981; Robertson & Plamer, 1983)。但這樣的不一致很可能是來自於使用的刺激材料彼此很不相同。

Cooper 及 Podgorny (1976) 在心像旋轉作業中使用複雜度不同的「無意義不規則多角圖形」做為刺激材料，並讓受試者事先學習「標準」的圖形。在要求受試者判斷接下來的圖形是否為標準圖前，先呈現標準圖形及旋轉資訊。標準圖形一律呈現 3000 毫秒，之後呈現旋轉資訊。受試者被要求以順時鐘方向「心像旋轉」先前看到的標準圖到指定的方向後，再呈現測試圖形要求受試者判斷。實驗結果發現受試者心像旋轉時所花的時間只和被要求心像旋轉的角度有關，與標準圖形的複雜度無關；而確認圖形是否與標準圖一致的判斷時間及錯誤率，與心像旋轉角度無關，也與圖形複雜度無關。因此認為心像旋轉速率及錯誤率皆不受圖形複雜度影響，並認為心像旋轉作業中的歷程與表徵皆非命題式的。

Pylyshyn (1979) 的實驗中則要求受試者區分三個部件是否包含在先前出現的多個部件圖形之中，發現在區分好的部件 (good parts) 上所花的時間比區分出差的部件 (bad parts) 短，因此主張這差異是因為旋轉速率的不同，以及在比較差的部件上片段式旋轉造成的結果 (Robertson & Plamer, 1983)。

Robertson 及 Palmer (1983) 則使用小字母 (local letters) 排列成大字母 (global letter) 兩種階層結構的圖形做為刺激材料，來測試心像旋轉歷程是整體的或分開的。結果發現旋轉速率不受階層的數目影響，局部與整體的旋轉傾向於同時執行而不是分開進行。並且發現無論是否需要旋轉，整體資訊處理速率較局部資訊快。因此認為即便是在有階層存在的結構中，心像旋轉依然是同時發生的。Kunde 及 Hoffmann (2000) 在視覺搜尋的實驗中得到類似的結論。他們發現大字母的方向會促進同方向的小字母處理歷程 (Kunde & Hoffmann, 2000)。

在 Cooper 及 Podgorny (1976) 的實驗中使用的是連續的不規則圖形，受試者的任務則是判斷圖形是否相同。在 Pylyshyn (1979) 的實驗中，圖形本身很容易分割成不同的部件，而受試者必須區分某些部件是否在原來的圖形中；Robertson 及 Palmer (1983) 的實驗中使用的是受試者早已熟悉的字母做為不同階層結構的材料。因此 Cooper 及 Podgorny (1976) 的結果，其實可能來自於實驗所使用的刺激材料「不易分割」，即便是複雜度提高，但是複雜圖形的表徵並不一定比較複雜，在物理向度上比較複雜多折點的圖形，很可能在心理向度上很容易被認為是某個熟悉的圖形的簡化形式，而容易被表徵，因此就算是圖形複雜度提高，也不一定造成難度上的增加，因此得到整體式旋轉的結果。Pylyshyn (1979) 的實驗中圖形本身就是「可分割形式」，並且要求受試者去確定局部結構的存在，因此得到片段式旋轉的結果並不意外。在 Robertson 及 Palmer (1983) 的實驗中則使用熟悉的圖形，受試者基本上只是要去旋轉局部圖形或整體圖形，結果發現一起運作是比較容易的。

除了整體式及片段式心像旋轉歷程的爭議外，另有研究者傾向以認知座標系 (cognitive coordinate system) 來解釋上述不同實驗結果上的不一致，認為受試者在心像旋轉上採取另一策略，旋轉認知座標系統與刺激配合，而非去旋轉出現在眼前的刺激。因此當認知座標系統與圖形的主軸相一致時，反應時間會比較快 (Just & Carpenter, 1985)，這樣的解釋雖然提供了可能的心像旋轉運作方式，也沒有解決關於心像表徵上的爭議，但點出了心像表徵的形式可能包含圖形的簡單架構與部件。

有些研究者則認為兩種的心像旋轉方式可能同時存在 (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Smith & Dror, 2001)，因而探討受試者在什麼樣的情況下會採取何種策略。例如，周泰立等人 (1996) 的研究，發現不同的呈現方式會對心像旋轉階段產生影響，並推論受試者在刺激圖時同時呈現的情況下；比較傾向採用片段的方式，而在分別呈現的情形，則多採用整體方式來處理。Smith 及 Dror

(2001) 利用操弄圖形複雜度以及是否具有意義之變項，發現若圖形刺激是有意義的時候，圖形複雜度提高，反應之錯誤率隨著角度差異增加而增加，而認為這是採用片段式旋轉造成的結果；而無意義的圖形的反應錯誤率則沒有隨著角度差異變大而增加的情況，而認為無意義的圖形會使得受試者選擇整體式旋轉。

在心像旋轉作業研究中，偏向多元編碼的研究者，用不同的圖形重複心像旋轉作業得到一致性的發現，也就是角度與反應時間的線性關係 (Jolicoeur, 1985; Jolicoeur, Snow, & Murray, 1987; Jordan & Huntsman, 1990; Just & Carpenter, 1985)，這也是為什麼在心像旋轉這個作業被稱為心像「旋轉」作業的原因。似乎在判別不同角度的兩圖形是否相同時，受試者得旋轉其中一個圖形來比對另外一個圖形，而產生反應時間與角度差異之間的關係。也發現圖形的差異對受試者的影響效應略有不同且結論不一，但多數研究者同意熟悉的圖形反應時間比較快 (Folk & Luce, 1987)，且發現心像旋轉作業有明顯的練習效果—多次練習後角度差異與反應時間的線性關係變得較為平緩 (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Jolicoeur et al., 1987)。因此有些研究者進一步探討這樣的練習效果的來源為何 (Heil, Rosler, Link, & Bajric, 1998)。

多數關於心像旋轉練習效果的實驗中發現，這些練習效果無法遷移至新的圖形上 (Jolicoeur, 1985)，並認為這樣的練習效果並不是在心像旋轉能力上的進步，而是圖形記憶的輔助造成的 (Heil et al., 1998)，已經學習過的圖形可以不經過心像旋轉歷程來完成心像旋轉的作業。

每個理論都有他們自己的實驗來支持。當分析不同研究群的實驗時，發現不同的研究所使用的刺激材料並不一致。Bethell-Fox 及 Shepard (1988) 就認為大部分研究並未考慮受試者對刺激圖形感知與相關背景知識之間的交互作用，像是使用文字，並未考慮到語意編碼的干擾，如 Palmer (1975) 的研究。有些則未能考慮到圖形本身可能與人們常用的符號類似而產生的可能效應，並未考慮不規則圖形可能類似於外界實體造成受試者對不同的圖形有熟悉感 (Folk & Luce, 1987) ... 等因素，如 Cooper (1975) 所使用的二維隨機形狀的圖形。Smith 及 Dror (2001) 就發現圖形有意義與否與複雜度高低之間的交互作用。因此要探究心像旋轉歷程時，圖形刺激材料的選擇皆需要謹慎考慮。若要重新檢驗圖形複雜度對心像旋轉歷程的影響，必須在圖形刺激材料的選擇上，排除上述影響並考慮其他因素的存在，以瞭解在心像旋轉時表徵的特性以及不同圖形對於心像旋轉歷程的影響。

當我們想要深入瞭解心像旋轉時的表徵運作形式，需承襲既有的實驗典範並排除過去研究可能的混淆因素之影響，才能有效澄清理論或歷程上的爭議。因此實驗刺激材料設計必須排除某些選擇，特別是關於圖形刺激材料與各種其他因素之交互作用、實驗典範選擇造成的影響。某些實驗圖形可能會產生語意表徵，將某些連續不規則圖形看成大象、椅子、溜滑梯、蝴蝶，或圖形本身即帶有語意表徵，例如使用英文字母或數字作為材料。無論使用何者，這兩類在實驗中就不太可能確認受試者心像的精確度。因此本研究重新設計較不具有意義的隨機方塊組成的不連續抽象圖形作為實驗材料。

研究方法

為了探討圖形複雜度與整體性在心像旋轉作業中的影響，本實驗設計兩個實驗來釐清心像旋轉作業中圖形複雜度與整合性對反應時間的影響。根據過去研究發現，實驗圖形可能會產生語意表徵，本研究為了避免影像可能同時產生語意表徵及視覺表徵，以及彼此之間的交互作用，採用

較不具意義的隨機方塊組成的抽象圖形作為實驗材料，這是與過去研究特別不同之處。並企圖藉由操弄圖形的複雜度 (complexity) 及圖形的整合性 (integration) 來測試關於心像旋轉中影像表徵之整體 (holistic) 與分割 (piece-meal) 假設。

在複雜度上，利用物理特徵的增加，來界定高複雜圖形與低複雜度圖形；在整合性上，則以圖形部件中的連結程度產生的知覺連續性來定義高整合性圖形與低整合性圖形。在複雜度操弄上重新測試過去心像旋轉作業中的圖形複雜度效應的變化；在整合性操弄上測試知覺連續性在心像旋轉作業中的影響。

兩個實驗中使用的「標準圖」是相同的，不同的地方則是在「標的圖」上。實驗一的測試圖使用的是與標準圖鏡像的「鏡像圖」，而實驗二使用的是與標準圖有些微差異「干擾圖 (distractor)」。過去在心像旋轉作業上所觀察到的反應時間與旋轉角度之間的線性關係，有可能是因為要求受試者旋轉影像造成的結果。因此本實驗同時控制指導語，要求受試者迅速比較兩個圖形是否相同，避免給予受試者任何「旋轉」暗示，而讓受試者不自覺地模擬圖形在物理世界的旋轉。

實驗一

(一) 受試者

8 名 18~35 歲自願受試之國立陽明大學之理學院或醫學院的男學生，矯正後視力均正常，皆以右手為慣用手。實驗完給予測試費新台幣 100 元。

(二) 實驗材料

依據圖形複雜度與整合性，本實驗之圖形材料大致可分為以下四種 (見圖 1)。圖形中包含一條線或三條線，作為圖形的參考軸，有三條線的圖形因線條較容易與方塊連接，相較於只有一條線的圖形，方塊之間相對位置較易辨識，方塊之間彼此感覺較有連結，在知覺上前景的連續性較高，定義為整合性較高的圖形。圖形中的方塊數目分別為二個及五個，五個方塊的圖形相較於兩個方塊的圖形複雜度高。

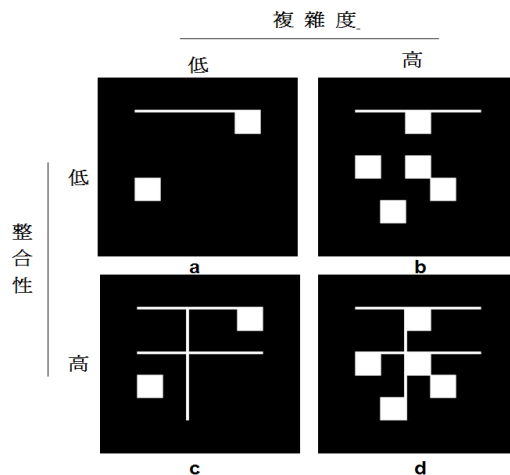


圖 1 實驗中各情境的刺激圖形範例

圖形中的線條數目為參考軸，當參考軸數目較多時，部件彼此容易連結在一起且空間位置相對明顯，因此整合性較高。圖形中的方塊數目較多，圖形部件相對較多，複雜度高。因此圖中，a 圖整合性低且複雜度低，b 圖整合性低但複雜度高，c 圖整合性高但複雜度低，d 圖為整合性高且複雜度高。

圖形產生的方式，是在 5x5 的矩陣上，亂數隨機抽取五個位置填上白色方塊形成刺激圖形，然後人工選擇方塊較為分散（排除方塊隔壁相連者）且無特殊形式（如排列成 L 或 Z 字形）的圖形作為實驗刺激材料。因五個方塊的圖形中，方塊隨機出現易造成分佈種類差異過大。實驗圖形控制五個方塊數的圖形樣式，限制一條線且五個方塊的圖形為分佈成四塊的形式（5 squares, but 4 pieces），當線條與方塊連在一起時，稱為一塊，當方塊與方塊連在一起也稱做一塊；也就是雖然圖形中有一條線與五個方塊，但是在知覺上的分佈是「四塊」。最後作為實驗刺激的兩個方塊與五個方塊的圖形各有 16 種。實驗中所有「No 反應嘗試 (trial)」的圖形（測試圖）與原圖（又稱「標準圖」）互為鏡像（圖 2）。



圖 2 實驗一實驗刺激材料中「互為鏡像圖」之圖形範例

（三）實驗設備

硬體：Pentium III 12.1 吋液晶螢幕 X24 筆記型電腦一台，外接穩定電源並使用有線滑鼠。

軟體：實驗刺激呈現程式以 Neurobehavioral Systems Presentation (version 0.71 Build 09.24.03) 編譯，並用此軟體在 Windows® XP 環境下執行實驗及記錄數據。

（四）實驗設計

本實驗設計為依據整合性（參考軸數目變化：兩種）、複雜度（方塊數目變化：兩種）與旋轉角度（0 度、左 90 度、180 度、右 90 度：四種），共計有 16 種情境。每一種情境各有 32 個嘗試，其中 Yes 嘗試與 No 嘗試各半。

實驗中不同的圖形在每個嘗試中隨機呈現，每一個受試者要完成 512 個嘗試，每作答完 128 個嘗試受試者可以休息約 5~10 分鐘，休息時間長短由受試者自行決定。

實驗指導語要求受試者在每一次嘗試中，對依序出現的兩張圖形做判斷，判斷前後出現的兩張圖是否為相同的圖形（回答「是 (Yes)」) 或非相同圖—鏡像圖（回答「否 (No)」)。

（五）實驗程序

實驗進行時，螢幕正中央距離受試者眼睛約 60cm（受試者可自行調控桌椅的遠近）。受試者以右手做反應，若受試者認為第二張圖（標的圖）與第一張圖（標準圖）為相同圖，則按滑鼠左鍵，若為鏡像圖，則按右鍵。

實驗過程中，螢幕的背景皆為黑色，實驗中每個嘗試皆先呈現一個十字符號 500 毫秒，提示受試者實驗圖形即將出現，十字符號消失後，黑色背景持續 500 毫秒，接著呈現第一張圖（標準圖），標準圖在螢幕呈現 3000 毫秒，受試者必須在這段期間內記憶這張圖形，然後圖形消失，螢幕呈現黑色背景 500 毫秒後第二張圖形（標的圖）出現，第二張圖形呈现在螢幕上直到試者做出反應，若受試者在三秒內，未做出反應，圖形自動消失，開始進行下一個嘗試。每一個嘗試中的圖形出現順序說明（見圖 3）：

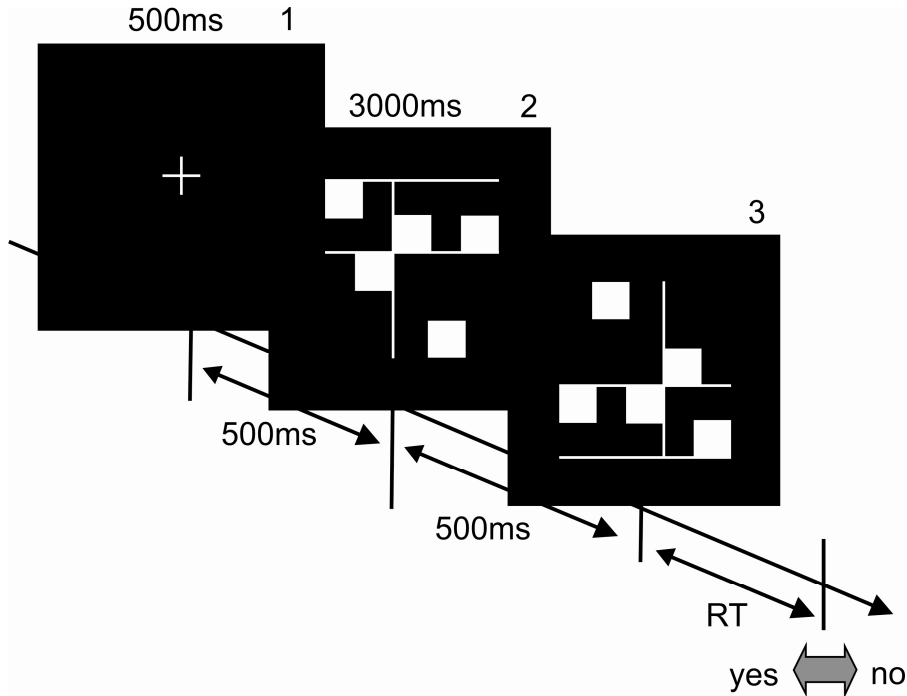


圖 3 實驗一之實驗程序

圖中RT表示反應時間 (reaction time)。「yes/no」表示受試者作答之選擇，如果受試者認為答案是「是」則按滑鼠左鍵，如果認為答案是「否」則按右鍵。ms為時間單位：毫秒。

1. 一個十字符號出現在黑色的背景螢幕中央 500 毫秒（圖 3 的 1）。十字符號消失後，電腦螢幕持續呈現黑色背景畫面 500 毫秒。
2. 標準圖出現在電腦螢幕上 3000 毫秒（圖 3 的 2）。標準圖消失後，電腦螢幕持續再度呈現黑色背景畫面 500 毫秒。（記錄標的圖出現的時間點）
3. 標的圖出現在電腦螢幕上直到受試者作答後才消失（圖 3 的 3）。若受試者在 3 秒內未做出反應，圖形即消失並進入下一個嘗試。
4. 記錄受試者作答之時間點以及作答的按鍵反應類型。

（六）資料收集與分析

在實驗進行中同時記錄每一個嘗試中圖形呈現時的時間點及受試者作答時間點及按鍵反應。以下分點敘述資料記錄過程以及內容：

1. 每一個嘗試中十字出現的時間點標為 0

2. 記錄標準圖之圖形代號，以及標準圖出現的時間點：1000（毫秒）
3. 記錄標的圖之圖形代號，以及標的圖出現的時間點：4500（毫秒）
4. 記錄受試者按鍵類型，以及按鍵時間點：4500+RT（毫秒）

在每一個受試者完成實驗後，進行實驗數據處理，步驟如下：

1. 計算受試者按鍵時間點與標的圖出現時間點之間隔，這個時間間隔為該嘗試的反應時間
2. 判斷受試者在該嘗試之作答正確與否，若該嘗試作答不正確，剔除該筆數據之反應時間資料
3. 依據各情境，計算受試者在該情境中正確作答之所有嘗試的平均反應時間及標準差
4. 刪除每一情境中，反應時間高於或低於平均值 2 個標準差之數據（刪除極端值）
5. 計算剔除極端值後之每一個情境的平均反應時間
6. 計算每一情境中的所有嘗試之正確率（不同於計算平均反應時間，正確率計算包含所有資料，並未剔除反應時間為極端值的資料）
7. 將同類圖形之旋轉角度「左 90 度」及「右 90 度」之平均反應時間相加除以二，以得到角度差異 90 度之平均反應時間。

每一個受試者的資料在進行資料處理後，平均反應時間進行變異數統計分析。

（七）實驗結果

各條件下的 8 個受試者之正確的「Yes 嘗試」平均反應時間再平均以及所有反應的錯誤率之結果請看表 1。正確的「Yes 嘗試」的反應時間與角度差異作圖結果請看圖 4。本實驗結果在各條件的反應中並無「速度-正確率相互抵銷」的現象。

表 1 實驗一之正確的「Yes」嘗試平均反應時間與正確率結果（8 人）

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
1L2S	625 ± 101 (0.98)	934 ± 184 (0.92)	1161 ± 248 (0.88)
1L5S	665 ± 139 (0.98)	1066 ± 238 (0.94)	1233 ± 368 (0.89)
3L2S	651 ± 152 (0.99)	923 ± 213 (0.94)	1070 ± 288 (0.95)
3L5S	658 ± 91 (0.97)	1036 ± 222 (0.96)	1194 ± 223 (0.88)

各條件下的正確的「Yes反應」八個受試者的平均反應時間±標準差（單位：毫秒）及各條件下所有反應的正確率（括號內）。表中之反應時間單位為毫秒。

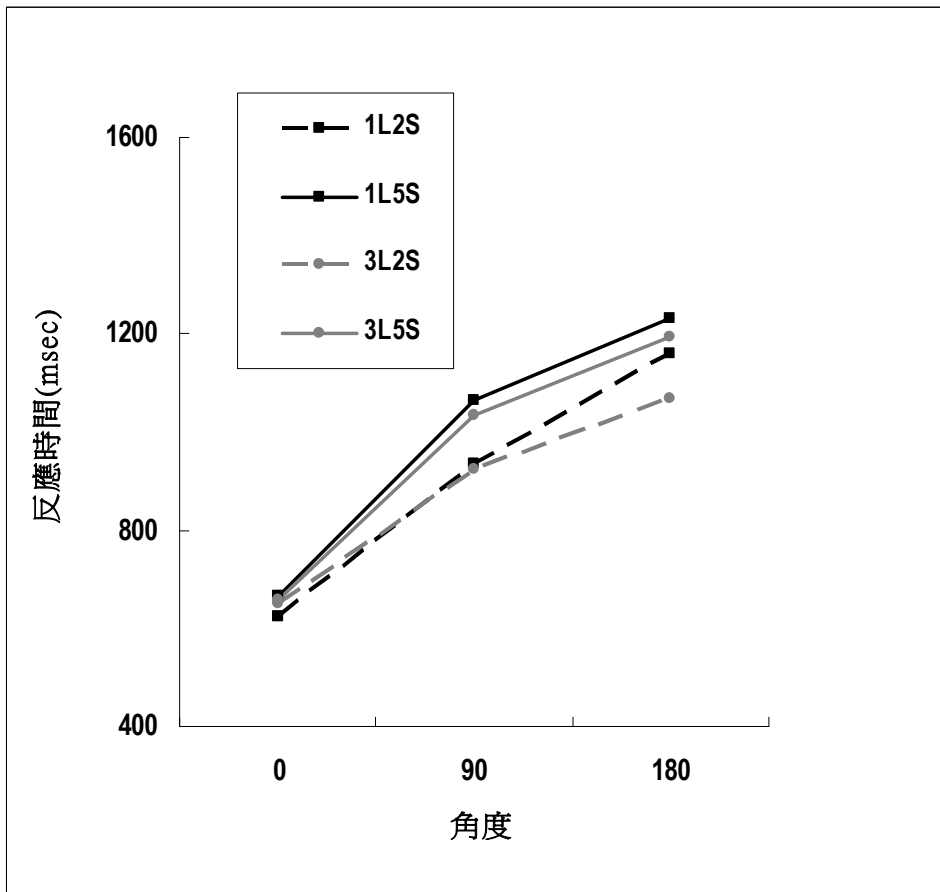


圖 4 實驗一各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖

註：1L2S、1L5S、3L2S及3L5S分別指圖形中有一條線兩個方塊、一條線五個方塊、三條線兩個方塊以及三條線五個方塊的圖形。縱軸為八個受試者之平均反應時間，單位為毫秒，橫軸為前後兩張圖相差的角度，單位為度。

實驗分析進行兩種變異數分析，一種以受試者為唯一隨機效應因子的變異數分析（by-subject ANOVA，以 F_s 為代表），另一種以項目為唯一隨機效應因子的變異數分析（by-item ANOVA，以 F_i 代表）。實驗分析共 8 名受試者的反應時間資料在複雜度（方塊數目）變項、整體性（參考軸數目）變項以及角度差異變化變項之間的關係，在 F_s 統計分析上為 $2 \times 2 \times 3$ 三因子完全設計，在 F_i 統計分析上為 2 （組間） $\times 2$ （組間） $\times 3$ 混合設計。

本實驗結果發現無論在 F_s 或 F_i 變異數分析上，3 階及 2 階的交互作用上皆無顯著效果（表 2 及表 3）。在整合性變項、複雜度的變項及角度的變項之主要效果上，整合性變項無顯著差異，複雜度變項及角度變項上有顯著差異。在整合性變項上， $F_s(1,7)=0.625, p=.455$ ； $F_i(1,60)=1.600, p=.212$ ，無顯著差異。複雜度變項上之 $F_s(1,7)=6.592, p<.05$ ； $F_i(1,60)=5.569, p<.05$ ，達顯著差異。在角度變項上亦有顯著差異， $F_s(2,14)=54.457, p<.001$ ； $F_i(2,120)=200.035, p<.001$ ；其中 0 度與 90 度、180 度有差異，0 度之反應時間明顯較短， $p<.001$ ；90 度之反應時間較 180 度短， $p<.001$ 。

表 2 實驗一之三因子相依 F_s 變異數分析摘要表 (2x2x3 設計, 8 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
組間	4,633,541.67	11			
line (L 之主要效果)	15,547.41	1	15,547.41	0.625	.455
square (S 之主要效果)	158,283.16	1	158,283.16	6.592	.037**
angle (a 之主要效果)	4,386,365.94	2	2,193,182.97	54.457	.000**
line*square (交互作用)	2.91	1	2.91	0.000	1.000
line*angle (交互作用)	22,794.13	2	11,397.07	1.202	.332
square*angle (交互作用)	42,210.55	2	21,105.28	3.208	.071
line*square*angle (交互作用)	8,337.58	2	4,168.79	0.257	.777
組內	4,602,901.93	84			
受試者間 s	2,994,805.44	7	427,829.35		
殘差 (Lxs)	174,261.07	7	24,894.44		
殘差 (Sxs)	168,090.42	7	24,012.92		
殘差 (axs)	563,833.78	14	40,273.84		
殘差 (LSxs)	250,361.73	7	35,765.96		
殘差 (LAXs)	132,776.19	14	9,484.01		
殘差 (Saxs)	92,117.40	14	6,579.81		
殘差 (LSaxs)	226,655.90	14	16,189.71		
全體 total	9,236,443.61	95			

表中 L 表示整合性因子, S 為複雜度因子, a 為角度差異因子, s 為受試者因子。

表 3 實驗一之三因子相依 F_i 變異數分析摘要表 (2x2x3 設計, 8 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
受試者間	9,925,289.99	63			
line (L 之主要效果)	234,430.63	1	234,430.63	1.600	.212
square (S 之主要效果)	815,756.38	1	815,756.38	5.569	.022*
line*square (LS 交互作用)	86,487.63	1	86,487.63	0.590	.445
LSxs (群內受試)	8,788,615.35	60	146,476.92		
受試者內					
angle (a 之主要效果)	44,523,562.16	2	22,261,781.08	200.035	.000**
line*angle (La 交互作用)	398,025.39	2	199,012.69	1.788	.199
square*angle (Sa 交互作用)	496,595.51	2	248,297.76	2.231	.112
line*square*angle (LSa 交互作用)	53,278.57	2	26,639.29	0.239	.788
LSaxs	13,354,727.71	120	111,289.40		
整體	23,280,017.70	183			

表中 L 表示整合性因子, S 為複雜度因子, a 為角度差異因子, s 為受試者因子。

由於在前後圖形角度相差 0 度時，受試者的反應時間非常接近，這可能只是反映著利用著視覺暫留來比較前後圖形。因此，進一步統計分析在前後圖形相差 90 度與 180 度的反應時間比較能確定不同種類圖形在心像旋轉作業上的效果。

表 4 實驗一之三因子相依 F_s 變異數分析摘要表 (2x2x2 設計, 8 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
組間	728,448.73	7			
line (L 之主要效果)	29,420.83	1	29,420.83	1.009	.349
square (S 之主要效果)	193,688.01	1	193,688.01	9.435	.018*
angle (a 之主要效果)	488,705.86	1	488,705.86	15.642	.006**
line*square (交互作用)	1,001.72	1	1,001.72	0.030	.868
line*angle (交互作用)	8,212.89	1	8,212.89	0.649	.447
square*angle (交互作用)	2,357.10	1	2,357.10	0.230	.646
line*square*angle (交互作用)	5,062.32	1	5,062.32	0.184	.681
組內	4,115,690.63	56			
受試者間 s	2,959,816.00	7	422,830.86		
殘差 (L_s)	204,198.85	7	29,171.26		
殘差 (S_s)	143,706.84	7	20,529.55		
殘差 (a_s)	218,697.20	7	31,242.46		
殘差 (LS_s)	236,218.49	7	33,745.50		
殘差 (La_s)	88,528.76	7	12,646.97		
殘差 (Sa_s)	71,678.76	7	10,239.82		
殘差 (LSa_s)	192,845.74	7	27,549.39		
全體 total	4,844,139.36	63			

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

在只取角度相差 90 度與 180 度的實驗數據來做同樣的上述變異數統計分析 (見表 4 及表 5)，我們發現在 3 階及 2 階的交互作用上亦無效果。在整合性變項上， $F_s(1,7) = 1.009$ ， $p = .349$ ； $F_i(1,60) = 1.824$ ， $p = .185$ ，無效果。但在複雜度變項上達顯著差異， $F_s(1,7) = 9.435$ ， $p < .05$ ； $F_i(1,60) = 4.658$ ， $p < .05$ ，複雜度高時反應時間較長。角度變項依然也有顯著差異， $F_s(1,7) = 15.642$ ， $p < .001$ ； $F_i(1,60) = 27,536$ ， $p < .001$ ，角度差異 180 度時的反應時間比 90 度時長。

表 5 實驗一之三因子相依 *Fi* 變異數分析摘要表 (2x2x2 設計, 8 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
受試者間	13,878,682.43	63			
line (L 之主要效果)	378,776.32	1	378,776.32	1.824	.185
square (S 之主要效果)	967,614.38	1	967,614.38	4.658	.035*
line* <i>square</i> (LS 交互作用)	69,424.70	1	69,424.70	0.334	.565
LSxs (群內受試)	12,462,867.03	60	207,714.45		
受試者內	14,128,668.50	64			
angle (a 之主要效果)	4,249,705.70	1	4,249,705.70	27.536	.000**
line* <i>angle</i> (La 交互作用)	252,671.63	1	252,671.63	1.637	.208
square* <i>angle</i> (Sa 交互作用)	314,721.95	1	314,721.95	2.039	.164
line* <i>square</i> * <i>angle</i> (LSa 交互作用)	51,640.95	1	51,640.95	0.335	.565
Lsaxs (angleX 群內受試)	9,259,928.28	60	154,332.14		
整體	28,007,350.93	127			

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

實驗結果發現，無論在分析三種或兩種角度變項水準下，刺激圖形複雜度（圖形中方塊的數目）是重要的變項，顯示圖形複雜度變化會影響受試者的在心像旋轉作業中的反應。

（八）實驗討論

本實驗結果發現，圖形複雜度對心像旋轉的反應時間有影響，當圖形複雜度越高時，心像旋轉的反應時間越長，但並不影響心像旋轉速度，也就是當前後兩圖形角度差異越大時，反應時間並不會隨著角度變化而增加，反應時間對角度之斜率並因圖形複雜度變高而未攀升，這個發現符合 Copper (1975) 的研究發現。而圖形整體性對心像旋轉反應時間則無明顯影響。本實驗中顯示出來圖形複雜度與整合性皆不影響反應時間對角度變化之斜率的結果，很可能是因為受試者並不需要真正的旋轉全部的心像就能完成作業要求。在只判斷圖形是相同或是鏡像的作業中，受試者只要旋轉部分架構或部分的圖形，也不用辨識全部的圖形，就能從圖形中的一部份就可以得知圖形是相同或鏡像，所以無論在圖形的整合性或複雜度上的操弄上，都不會影響心像旋轉的反應速率。因此本研究在實驗二中利用改變作業判斷難度再次詳細探討圖形複雜度與整合性在心像旋轉中的影響。

實驗二

（一）實驗說明

實驗一所觀察到的的反應時間與旋轉角度之間的線性關係，有可能是因為實驗一中受試者不需要完全轉換圖形即可作答，因此實驗二改變作業中標的圖的難度，讓受試者必須做更精確的轉換與判斷才能回答問題。

(二) 受試者

12 名 18~35 歲自願參與實驗之國立陽明大學大學部或研究所男學生，矯正後視力均正常，皆以右手為慣用手。每人給予受試者費 150 元新台幣。12 名受試者，最後只分析 11 名受試者之實驗數據，有 1 名受試者的反應正確率不及七成（約 57%），故刪除該受試者整筆數據。

(三) 實驗材料

實驗二所使用的標準圖與實驗一相同，標的則與實驗一不同。本實驗所使用的測試圖中，所有「No 反應嘗試」的圖形與原圖只有一個方塊位置不同的差異（圖 5）。

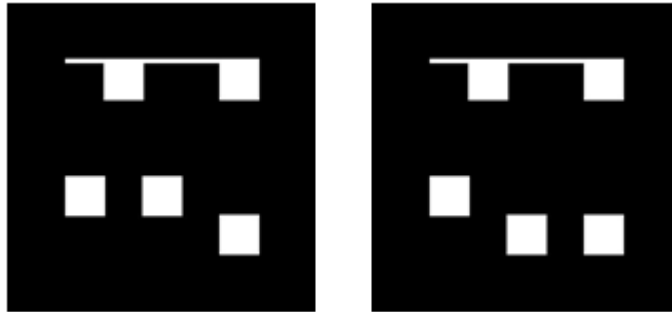


圖 5 實驗二之實驗刺激材料的相同圖與不同圖的圖形範例

在實驗二中，目標圖與標的圖很相似，只有一個方塊位置不同的差異。

(四) 實驗設備

本實驗之實驗設備同實驗一。

(五) 實驗設計

本實驗設計與實驗一大部分相同。唯一不同的地方，只在於第二張圖的「No 嘗試」圖形不同。實驗一的「No 嘗試」圖形為「標準圖的鏡像圖」，而實驗二的「No 嘗試」圖形與標準圖有一個方塊位置不同，與標準圖差異些微，為「標準圖的干擾圖」。因此在這個實驗中相對於「Yes 嘗試」中的的相同圖，「No 嘗試」圖形在此稱為「不同圖」。

(六) 實驗程序

實驗程序類同於實驗一，唯一不同的地方在於，第二張圖（圖 6 中的 3）與第一張圖是相同圖或不同圖（實驗一中的第二張圖是相同圖或鏡像圖）。

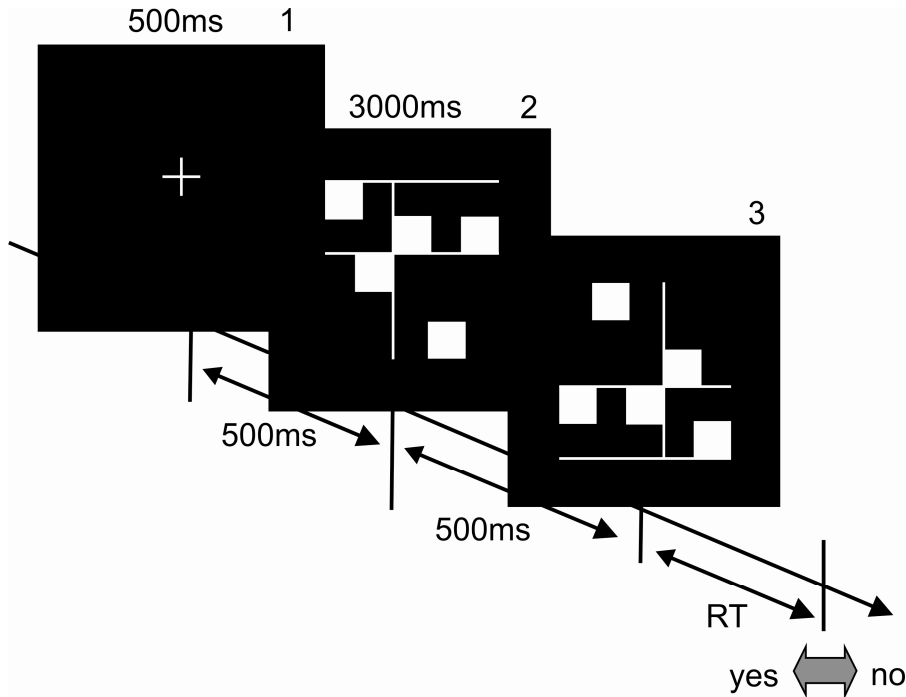


圖 6 實驗二之實驗程序

圖中RT表示反應時間。「yes/no」表示受試者作答之選擇，如果受試者認為答案是「是」則按滑鼠左鍵，如果認為答案是「否」則按右鍵。ms為時間單位：毫秒。

實驗進行時，螢幕正中央距離受試者眼睛約 60cm（受試者可自行調控桌椅的遠近）。受試者以右手做反應，若受試者認為第二張圖（標的圖）與第一張圖（標準圖）為相同圖，則按滑鼠左鍵，若為不同圖，則按右鍵。實驗過程中的程序與實驗一相同。

（七）資料收集與分析

類同實驗一之資料收集及分析方式。

（八）實驗結果

本實驗結果有 11 位受試者的資料。各條件下的全部受試者正確的「Yes 反應」之平均反應時間以及各條件下的正確率之結果請看表 6。正確的「Yes 嘗試」的反應時間與角度差異作圖（見圖 7）。本實驗結果在各條件的反應中並無「速度-正確率相互抵銷」的現象。

表 6 實驗二之正確「Yes」嘗試平均反應時間與正確率結果 (11 人)

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
一條線兩個方塊	732 ± 287 (0.94)	1195 ± 484 (0.80)	1415 ± 612 (0.81)
一條線五個方塊	794 ± 326 (0.94)	1433 ± 580 (0.79)	1613 ± 710 (0.80)
三條線兩個方塊	746 ± 263 (0.92)	1348 ± 543 (0.81)	1374 ± 540 (0.79)
三條線五個方塊	827 ± 303 (0.90)	1583 ± 591 (0.75)	1621 ± 649 (0.75)

各條件下的正確的「Yes」嘗試之平均反應時間 標準差 (單位：毫秒) 及各條件下所有反應的正確率 (括號內) 表中之反應時間單位為毫秒。

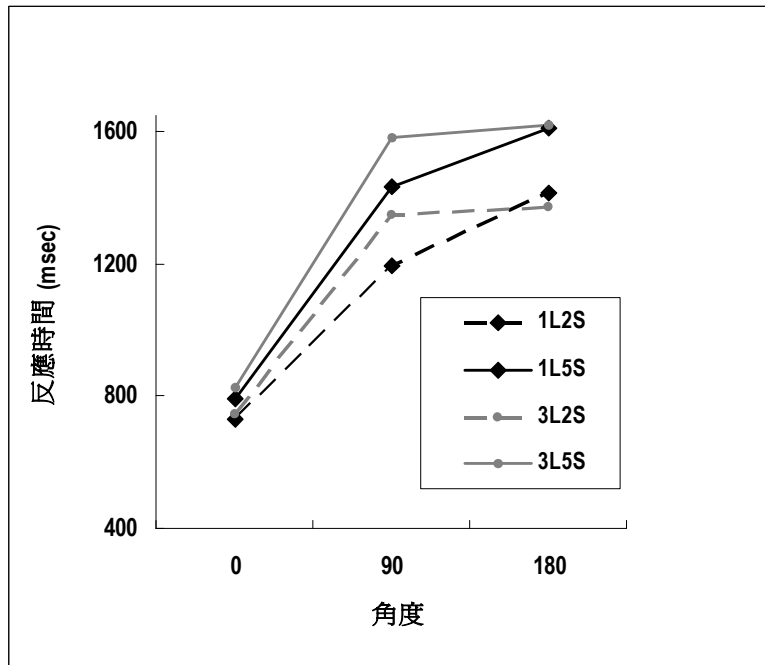


圖 7 實驗二各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖

1L2S、1L5S、3L2S及3L5S分別指圖形中有一條線兩個方塊、一條線五個方塊、三條線兩個方塊以及三條線五個方塊的圖形。縱軸為反應時間，單位為毫秒，橫軸為前後兩張圖相差的角度，單位為度。

實驗分析同樣採用以受試者為唯一隨機效應因子的變異數分析 (by-subject ANOVA, 以 F_s 為代表), 以及以項目為唯一隨機效應因子的變異數分析 (by-item ANOVA, 以 F_i 代表)。實驗分析共 11 名受試者的反應時間資料在複雜度 (方塊數目) 變項、整體性 (參考軸數目) 變項以及角度差異變化變項之間的關係, 在 F_s 分析上, 此實驗為 $2 \times 2 \times 3$ 三因子完全設計, 在 F_i 分析上為 $2 \times 2 \times 3$ 混合設計。

本實驗結果在變異數分析上無 3 階的交互作用。在 2 階的交互作用上, 整合性變項與角度變項的交互作用, 發現有顯著效果, $F_s(2,20) = 4.108, p < .05$; $F_i(2,120) = 4.520, p < .05$ 。複雜度

變項與角度變項的交互作用上，發現無穩定之顯著效果，但接近達顯著， $F_s(2,20)=2.740, p=.089$ ； $F_i(7.238), p<.0$ 。整合性變項與複雜度變項之間無交互作用， $F_s(1,10)=0.171, p=.688$ ； $F_i(1,60)=.001, p=.970$ 。

表 7 實驗二之 F_s 完全相依設計變異數分析摘要表 (2x2x3 設計, 11 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
組間	15,064,317.48	11			
line (L 之主要效果)	92,538.07	1	92,538.07	3.650	.085
square (S 之主要效果)	1,030,496.74	1	1,030,496.74	11.722	.007**
angle (a 之主要效果)	13,580,457.59	2	6,790,228.80	65.696	.000**
line* <i>square</i> (交互作用)	4,070.37	1	4,070.37	0.171	.688
line* <i>angle</i> (交互作用)	169,617.32	2	84,808.66	4.108	.032*
square* <i>angle</i> (交互作用)	183,452.74	2	91,726.37	2.740	.089
line* <i>square</i> * <i>angle</i> (交互作用)	3,684.65	2	1,842.33	0.078	.925
組內	17,724,980.91	120			
受試者間 s	12,734,254.14	10	1,273,425.41		
殘差 (Lxs)	253,499.02	10	25,349.90		
殘差 (Sxs)	879,129.68	10	87,912.97		
殘差 (axs)	2,067,162.41	20	103,358.12		
殘差 (LSxs)	237,817.71	10	23,781.77		
殘差 (LAsx)	412,900.35	20	20,645.02		
殘差 (Saxs)	669,603.59	20	33,480.18		
殘差 (LSaxs)	470,614.02	20	23,530.70		
全體 total	32,789,298.39	131			

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

表 8 實驗二之 F_s 複雜度變項與角度變項之單純主要效果表 (11 人)

單純主要效果	SS	df	MS	F	p
整合性 line (L) 因子					
在 0 度角度差異條件下 L[a1]	6,288.09	1.000	6,288.09	0.329	.571
在 90 度角度差異條件下 L[a2]	309,960.21	1.000	309,960.21	16.207	.000**
在 180 度角度差異條件下 L[a3]	9,543.27	1.000	9,543.27	0.499	.485
誤差 (L+La*block)	666,399.36	30.000	22,213.31		
angle (a) 因子					
在整合性低條件下 a[L1]	6,645,238.46	2.000	3,322,619.23	53.589	.000**
在整合性高條件下 a[L2]	7,104,836.46	2.000	3,552,418.23	57.296	.000**
誤差 (a+La*block)	2,480,062.76	40.000	62,001.57		

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

表 9 實驗二之 $F_i 2 \times 2 \times 3$ 統計摘要表 (11 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
受試者間	3,122,777.81	63			
line (L 之主要效果)	128,340.08	1	128,340.08	5.344	.024*
square (S 之主要效果)	1,553,400.52	1	1,553,400.52	64.680	.000**
line*square (LS 交互作用)	33.33	1	33.33	0.001	.970
LSxs (群內受試)	1,441,003.88	60	24,016.73		
受試者內	21,916,570.67	128			
angle (a 之主要效果)	19,023,475.01	2	9,511,737.51	472.019	.000**
line*angle (La 交互作用)	182,160.95	2	91,080.47	4.520	.013*
square*angle (Sa 交互作用)	291,713.14	2	145,856.57	7.238	.001**
line*square*angle (LSa 交互作用)	1,079.20	2	539.60	0.027	.974
LSaxs (angleX 群內受試)	2,418,142.38	120	20,151.19		
整體	25,039,348.48	191			

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

表 10 實驗二之 F_i 之單純主要效果表 (11 人)

單純主要效果	SS	df	MS	F	p
整合性 line (L) 因子					
在 0 度角度差異條件下 L[a1]	5,094.39	1	5,094.39	0.238	.627
在 90 度角度差異條件下 L[a2]	305,394.39	1	305,394.39	14.244	.000**
在 180 度角度差異條件下 L[a3]	12.25	1	12.25	0.001	1.000
誤差 (s/LS+axs/LS)	3,859,146.25	180	21,439.70		
複雜度 square (S) 因子					
在 0 度角度差異條件下 S[a1]	77,910.77	1	77,910.77	3.634	.058
在 90 度角度差異條件下 S[a2]	918,961.89	1	918,961.89	42.863	.000**
在 180 度角度差異條件下 S[a3]	848,241.00	1	848,241.00	39.564	.000**
誤差 (s/LS+axs/LS)	3,859,146.25	180	21,439.70		
angle (a) 因子					
在整合性低條件下 a[L1]	9,078,212.27	2	4,539,106.14	225.253	.000**
在整合性高條件下 a[L2]	10,127,423.69	2	5,063,711.84	251.286	.000**
在複雜度低條件下 a[S1]	7,333,036.58	2	3,666,518.29	181.950	.000**
在複雜度高條件下 a[S2]	11,982,151.56	2	5,991,075.78	297.306	.000**
誤差 (axs/LS)	2,418,142.38	120	20,151.19		

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

進一步分析單純主要效果 (simple main effect)，發現在圖形整合性較低 (圖形中只有一條線條) 的情形下，角度的操弄有極顯著的效果， $F_s(2,40) = 53.589$ ， $p < .001$ ； $F_i(2,120) = 225.253$ ， $p < .001$ 。其中 0 度的反應時間明顯與 90、180 度的反應時間快， $p < .001$ ，而角度差異 180 度的反

應時間比 90 度時慢, $p < .05$ 。在圖形整合性較高時 (圖形中有三條線條), 角度的操弄亦有顯著效果, $F_s(2,40) = 57.296, p < .001$; $F_i(2,120) = 251.286, p < .001$ 。0 度與 90、180 度有差異, 反應時間較短, $p < .01$; 90 與 180 度之間無差異。而在兩圖形沒有角度差異情況下, 圖形整合性變項的操弄沒有顯著效果, $F_s(1,30) = 0.329, p = .571$; $F_i(1,180) = 0.238, p = .627$ 。前後兩圖相差 90 度的情況下, 整合性的變化之反應時間變化有顯著差異, 整合性較高時反應時間較長, $F_s(1,30) = 16.207, p < .001$; $F_i(1,180) = 14.244, p < .001$ 。兩圖相差 180 度時, 圖形整合性效果不顯著, $F_s(1,30) = 0.499, p = .485$; $F_i(1,180) = 0.001, p = 1.000$ 。

若只考慮有角度差異的情況進行變異數分析, 只發現整合性變項與角度差異變項之間之交互作用達顯著, $F_s(1,10) = 6.626, p < .05$; $F_i(1,60) = 6.272, p < .05$ 。複雜度變項與角度差異變項上無效果, $F_s(1,10) = 0.020, p = .891$; $F_i(1,60) = 0.029, p = .866$ 。整合性變項與複雜度變項之間亦無效果, $F_s(1,10) = 0.087, p = .744$; $F_i(1,60) = 0.015, p = .904$ 。

進一步分析單純主要效果, 發現在圖形整合性較低的情形下, 角度的操弄有極顯著的效果, $F_s(1,20) = 21.532, p < .001$; $F_i(1,60) = 15.970, p < .001$, 角度差異 180 度的反應時間比 90 度時慢。在圖形整合性較高時, 角度差異的操弄無效果, 90 度與 180 之反應時間無差異, $F_s(1,20) = 0.550, p = .467$; $F_i(1,60) = 0.207, p < .651$ 。前後兩圖相差 90 度的情況下, 整合性的變化之反應時間變化有顯著差異, 整合性較高時反應時間較長, $F_s(1,20) = 8.252, p < .001$; $F_i(1,60) = 10.262, p < .001$ 。兩圖相差 180 度時, 圖形整體性效果不顯著, $F_s(1,20) = 0.091, p = .766$; $F_i(1,60) = 0.000, p = 1.000$ 。

表 11 實驗二之 F_s 統計摘要表 (2x2x2 三因子設計, 11 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
組間	1,715,682.71	7			
line (L 之主要效果)	101,524.10	1	101,524.10	2.666	.133
square (S 之主要效果)	1,156,680.92	1	1,156,680.92	11.595	.007**
angle (a 之主要效果)	294,988.92	1	294,988.92	16.978	.002**
line*square (交互作用)	3,060.92	1	3,060.92	0.087	.774
line*angle (交互作用)	154,812.28	1	154,812.28	6.626	.028*
square*angle (交互作用)	962.28	1	962.28	0.020	.891
line*square*angle (交互作用)	3,653.28	1	3,653.28	0.107	.750
組內	15,946,791.28	80			
受試者間 s	12,986,753.11	10	1,298,675.31		
殘差 (L_s)	380,821.52	10	38,082.15		
殘差 (S_s)	997,589.21	10	99,758.92		
殘差 (a_s)	173,750.21	10	17,375.02		
殘差 (LS_s)	350,226.71	10	35,022.67		
殘差 (La_s)	233,638.34	10	23,363.83		
殘差 (Sa_s)	483,479.84	10	48,347.98		
殘差 (LSa_s)	340,532.34	10	34,053.23		
全體 total	17,662,473.99	87			

表中L表示整合性因子, S為複雜度因子, a為角度差異因子, s為受試者因子。

表 12 實驗二之 F_s 2x2x2 整體性變項與角度變項之單純主要效果表 (11 人)

單純主要效果	SS	df	MS	F	p
整合性 line (L) 因子					
在 90 度角度差異條件下 L[a1]	253,536.36	1	253,536.36	8.252	.009**
在 180 度角度差異條件下 L[a2]	2,800.02	1	2,800.02	0.091	.766
誤差 (L+La*block)	614,459.86	20	30,722.99		
angle (a) 因子					
在整合性低條件下 a[L1]	438,601.11	1	438,601.11	21.532	.000**
在整合性高條件下 a[L2]	11,200.09		11,200.09	0.550	.467
誤差 (a+La*block)	407,388.55	20	20,369.43		

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

表 13 實驗二之 F_i 統計摘要表 (2x2x2 三因子設計，11 人)

變異來源	SS	df	MS	F	p
受試者間	4,009,656.12	63			
line (L 之主要效果)	150,769.13	1	150,769.13	4.324	.042*
square (S 之主要效果)	1,766,495.07	1	1,766,495.07	50.667	.000**
line*square (LS 交互作用)	508.01	1	508.01	0.015	.904
LSxs (群內受試)	2,091,883.91	60	34,864.73		
受試者內	1,879,055.50	64			
angle (a 之主要效果)	244,213.13	1	244,213.13	9.905	.003**
line*angle (La 交互作用)	154,637.51	1	154,637.51	6.272	.015*
square*angle (Sa 交互作用)	707.82	1	707.82	0.029	.866
line*square*angle (LSa 交互作用)	126.01	1	126.01	0.005	.943
LSaxs	1,479,371.03	60	24,656.18		
整體	5,888,711.62	127			

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

表 14 實驗二之 F_i 之單純主要效果表 (11 人)

單純主要效果	SS	df	MS	F	p
整合性 line (L) 因子					
在 90 度角度差異條件下 L[a1]	305,394.39	1	305,394.39	10.262	.002**
在 180 度角度差異條件下 L[a2]	12.25	1	12.25	0.000	1.000
誤差 (s/LS+axs/LS)	3,571,254.94	120	29,760.46		
angle (a) 因子					
在整合性低條件下 a[L1]	393,756.25	1	393,756.25	15.970	.000**
在整合性高條件下 a[L2]	5,094.39	1	5,094.39	0.207	.651
誤差 (axs/LS)	1,479,371.03	60	24,656.18		

表中L表示整合性因子，S為複雜度因子，a為角度差異因子，s為受試者因子。

綜合前述我們發現，兩個角度的分析與三個角度在交互作用上的分析結果略有不同。若考慮前後兩張圖沒有角度差異的情況（包含角度變項 0 度的水準），「整合性變項與角度變項」以及「複雜度與角度變項」之間有交互作用，其中複雜度變項上與角度變項上的主要效果主要集中在角度相差 0 度與另兩個角度差異（相差 90 度與 180 度）的不同上，而非 90 與 180 度彼此之間。若只考慮前後兩圖形有角度差異時（角度變項只有 90 度與 180 度兩個水準），也就是理論上認為受試者必須利用心像旋轉這一心智歷程時，只發現圖形的整合性變項與角度變項具有交互作用，且圖形整合性的變化會影響反應時間與角度差異的線性關係，也就是我們發現當圖形中的整體性提高（圖形刺激中的參考線條數目增加）會使得反應時間對角度差異的斜率變得平緩。而在複雜度上，複雜度提高都會增加反應時間，但不會影響反應時間對角度的斜率變化。

實驗結果分析發現，無論在三種或兩種角度變項水準下，圖形的整合性（圖形中線條的數目）皆是重要的變項，且整合性變項與角度差異變項有交互作用，顯示圖形中的線條數目改變會影響受試者在心像旋轉作業中的反應。圖形中只是增加了部分線條，使得方塊部件之間的相對關係變得比較明顯，且因為線條產生知覺的連續性，使得受試者在心像旋轉作業中的反應不同，這在過去的研究中，並無人仔細探討過，為本實驗新發現。至於圖形複雜度部分，圖形複雜度增加皆會影響受試者的反應時間，這在前後兩圖形有角度差異時最為明顯，但這影響並沒有隨著角度增加而變大，反應時間與角度差的斜率並沒有改變，與前人的研究結果大致相同，圖形複雜度的增減不會影響心像旋轉的反應速率。

（九）實驗討論

本實驗發現在心像旋轉作業中，圖形複雜度影響受試者的反應時間，圖形複雜度越高，受試者反應時間越長。圖形複雜度增加時，反應時間並不隨著前後兩圖形角度相差越大而增大（也就是圖形複雜度增加時，反應時間與角度之間的斜率並無發生明顯變化）。這樣的實驗結果與過去 Cooper（1975）的研究結果一致，而他認為這樣的結果即表示心像旋轉時是以整體方式來運作，所以圖形複雜度並不影響旋轉的速率。而本實驗結果與 Folk 和 Luce（1987）及 Tuille 和 Steiger（1982）等人的結果不同，他們研究中的心像旋轉作業之複雜度效應（effect of complexity）在本實驗中並無發現（Folk & Luce, 1987; Yuille & Steiger, 1982）。

此實驗特別之處在於使用的刺激材料部件是分散的，且作業中要求受試者判斷前後兩張圖是相同或不同，而非標準圖與鏡像圖判斷。為達成本實驗作業的要求，受試者要能夠辨識出前後圖形微小的部件差異，因此受試者不能如同要求辨識是否為鏡像圖那般容易判斷出答案。但在這樣的作業要求下，依然得到與前人研究相同的結果，未發現圖形複雜度對反應時間對角度變化之斜率造成影響，顯示圖形複雜度的確不影響心像旋轉速率。

在整合性變項上，實驗結果顯示當圖形部件相對空間關係明確時，在心像旋轉作業中受試者可以不依賴心像旋轉歷程來完成作業。從結果得知，圖形整合性變項（參考軸的操弄）與角度差異變項有顯著的交互作用，且整合性的增減影響受試者在此作業中的反應時間對角度差異的斜率。明顯地，當圖形整合性較高時，受試者之反應時間與角度的斜率變平緩，過去在心像作業中常看到的反應時間隨著旋轉角度變大而攀升之現象消失。我們認為圖形整合性增加時，因圖形部件相對位置明確，受試者在心像旋轉作業中，並不一定使用到過去文獻中所謂的「旋轉」歷程，而更可能的歷程是以圖中的線條或主要結構作為相對參考軸，直接重建剩餘的部件細節。因此在整合性較高的刺激圖形中，當兩圖形相差 90 度及 180 度時，受試者的反應時間幾乎沒有改變，斜率接近於水平。這平緩的斜率並不是因為 180 度的反應時間較快產生，而是 90 度的反應時間攀升。這樣的受試者表現，顯示當圖形中部件的相對空間關係顯著的時候心像「旋轉」歷程不明顯，無

論是在 90 度或 180 度時，皆不依賴心像旋轉歷程，而是直接依據參考軸來重建圖形，且因為是依據參考軸重建圖形，所以相對於整合性低圖形的整體式旋轉，處理較多的細節而顯得更花時間。

若從圖形部件空間相對關係來看，本實驗結果與 Smith 與 Dror (2001) 的研究結果不同。他們認為當圖形的部件相對空間關係明確時，受試者傾向使用片段式心像旋轉，而依據片段式心像旋轉理論，受試者的反應時間會因旋轉角度差變大時而增加，也就是斜率會變得更為傾斜 (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Pylyshyn, 1973, 1981, 2003; Smith & Dror, 2001)，本實驗沒有發現這樣的現象，但本實驗卻發現當圖形的部分相對空間關係明確時，受試者會花比較多的時間來處理這個圖形的轉換。

針對本實驗與過去不同的發現，以及過去研究上不一致的發現結果，我們對於心像旋轉理論有以下兩個推論。

首先，從心像旋轉理論來看，這斜率接近於 0 的結果，既不是片段式旋轉，也不是整體式旋轉，而是接近於命題式心像表徵論者的看法—表徵純粹是各部件之間相對的關係，心像旋轉的反應時間與旋轉角度無關，只與圖形的複雜度有關，且圖形越複雜，需要越多的時間來重建表徵的部件，反應時間只隨著圖形複雜度增加，但不會隨著旋轉角度變大而增加，所以反應時間對角度變化之作圖結果只會因複雜度做平行移動，斜率並不會改變。當圖形中部件之相對關係非常明確時，甚至不需要心像旋轉，即可就部件相對空間關係重建該圖形。在整合性高且複雜度高圖形（三條線五個方塊圖形）的較高錯誤率可說明此解釋之合理性，以命題的概念儲存相對多的訊息時，重建時失誤率會比較高。

而另外一個可行的解釋是，「心像旋轉階段」有兩個更細微的歷程存在。這個解釋可以同時說明本實驗各種操弄的實驗結果及過去其他研究者們彼此不一致的結果。過去 Shepard (1971) 及 Copper (1973) 等人所言之「心像旋轉階段」的心智運作，應該分成更細微的兩歷程：一、受試者先旋轉一個簡單的參考軸；二、再將圖形部件依照各部件相對於參考軸的相對空間關係重建出來。在我們的實驗當中，因為受試者必須判斷前後圖形是否相同或不同，必須仔細地重建旋轉後的圖形才能進行比對以判斷是相同的圖或不同的圖。在整合性較低的圖形中，受試者會盡可能地在圖形中連接最多部件形成參考軸來旋轉，旋轉的心像接近於原圖形的整體，所以反應時間對旋轉角度變化表現出整體式旋轉論者所論述的情況，表現出心像旋轉的傾斜斜率，但這斜率不隨複雜度而增加。在整合性較高的圖形中，部件相對空間關係明確，不需要旋轉參考軸就可以直接進行重建，斜率表現出命題式表徵理論的結果，無論外在圖形如何旋轉，都沒有明顯的心像旋轉效果。因此當實驗者選擇不同的圖形作為心像旋轉作業的材料時，受試者很容易因圖形刺激的不同，在這兩個細微歷程做不同比重的微調。當受試者被要求的精確度不同，也影響這兩個歷程。在作業要求簡單時（例如鏡像判斷），表現出整體式旋轉特性；當圖形中部件非常明確時，反應時間表現出接近於命題式表徵特性；當要求受試者判斷微小差異時，表現出類似於片段式心像旋轉特性，而這其實是簡單結構旋轉（隨角度而反應時間增加）與命題多（複雜度增加而反應時間增加）共同形成。

這樣的看法可以解釋為何在 Copper (1973) 的研究中得到整體式旋轉的結果。因為他使用的是不規則連續圖形，只判斷標準還是鏡像，不需要很仔細的重建結構，即可完成作業，整體式旋轉的結果其實只是來自於參考軸旋轉的效果。也可以解釋為何 Folk 與 Luce (1987) 同樣操弄圖形複雜度，使用的圖形依然是不規則的連續圖形，卻得到片段式旋轉的結果。因為他們要受試者判斷相同或不同，受試者得要重建出結構出來才能作判斷，而圖形越複雜需要越多時間重建，片段式旋轉的結論其實重建來自於重建過程的效果。而在本實驗中，當整合性低時，圖形中的線條只有一條，並不足以作為整個圖形合適的參考軸，而分散的方塊組成的部件，卻表現出整體式心像

旋轉的結果，推測受試者可能將某些部件結合成一個部件來執行，複雜度的提高只略微表現在較低一點的正確率上以及攀升的反應時間，但並未影響斜率。

綜合討論

本研究的兩個實驗藉由重新設計的圖形刺激材料，操弄圖形中的複雜度及整合性來探討當圖形中的特性不同時對於心像旋轉現象的影響。實驗一使用與 Cooper 和 Shepard (1973) 實驗中相同的判斷要求，請受試者判斷前後圖形是否是相同圖與鏡像圖。實驗結果亦與他們實驗相同，圖形的複雜度並不會影響心像旋轉作業中的反應時間對角度之斜率變化。而實驗中增加的圖形特性變項—整合性變項，也不影響該斜率。顯示在相同圖與鏡像圖的判斷要求下的心像旋轉作業中，圖形的特徵改變並不會影響心像旋轉速率。但是此「心像旋轉速率不受圖形整合性與複雜度影響」的結果，很可能是因為判斷兩個圖形是否互為鏡像時，可以只以圖形中一兩個特徵來判斷，並不需要使用到圖形中的全部特徵，造成作業中圖形特徵的操弄沒有效果。

因此在第二個實驗中改變了使用的心像旋轉作業的判斷要求，受試者必須判斷前後圖形是否是相同圖或不同圖。在不同圖的設計上特地讓圖形之間的差異很小，只有一個方塊的位置不同，是差異些微的干擾圖。受試者在第二個實驗中必須記住圖形中所有的特徵，且判斷時不可能只依賴一兩個特徵就做出決定，因此比較能夠得到圖形特徵變化對反應時間的影響。結果顯示圖形複雜度改變並不會影響反應時間對角度的斜率變化，只能單純地增加反應時間，這結果與過去研究的發現一致，Cooper 及 Podgorny (1976) 使用干擾圖做為標的圖，亦發現圖形複雜度並不影響心像旋轉速率，且不影響正確率，因此他們結論心像旋轉是一個整體式的旋轉歷程，心智表徵為一個整體。

但在本研究之實驗二的圖形整合性變項上，發現當圖形整合性變高時，反應時間對角度的斜率趨近於 0，所謂的心像旋轉現象消失，心像旋轉歷程表現出類似於命題式視覺轉換的特性，前後圖形呈現角度不同完全不影響反應時間對角度的斜率，與過去的研究不同。

小結這兩個實驗的結果，顯示心像旋轉作業中的圖形複雜度與整合性對心像旋轉的反應時間產生影響，但影響的方式不同。複雜度的變化只是單純的增加反應時間，並不會改變反應時間對角度的斜率，複雜度提高時並不會使得反應速率變慢。而在整合性的變化上，當整合性提高，圖形中的部件之間相對空間位置明確時，反應時間對角度變化的斜率不但不攀升，反而接近於零，顯示這時候受試者可能並不依賴心像旋轉歷程完成心像旋轉作業。因而推測心像旋轉作業中的 Cooper 和 Shepard (1973) 所稱的心像旋轉階段可以分為兩個更細微的歷程，分別是先旋轉一個簡單的架構，然後針對部件與簡單架構之間的空間相對關係重建出圖形。

若心像旋轉階段可以分為兩個更細微的歷程存在的話。在實驗中將參考軸或部分部件及全部部件先後呈現是否會促進或干擾反應，可以進一步檢驗這兩細微的歷程是否存在。若這兩個歷程存在，「先呈現參考軸部件」的情況相對於「先呈現方塊部件」的情況，前者會促進心像旋轉造成反應時間降低。

若這細微歷程存在，則暗示著心像旋轉作業表現優劣的關鍵，是在於刺激材料的編碼與重建以及視覺空間記憶上，而不是那個旋轉歷程。也可說明過去研究中所發現的「練習效果無法遷移到新圖形上」的情況，因為我們訓練到的並不是旋轉歷程而是對某圖形的編碼與記憶，而每個人都有旋轉基本簡單架構的能力，差異則在於對圖形編碼、記憶與重建的過程。

就教育上的意義而言，本實驗顯示圖形本身的複雜度會影響著學生對於圖形的反應，當圖形越複雜，反應時間就越長，而命題關係越多，難度則增加正確率下降。當圖形中部件相對空間關係不易確定時，學生就越依賴著本身擁有的心像旋轉能力來處理以不同角度呈現的圖形。因此，當圖形越複雜且空間關係不明確時，對心像旋轉能力不足的學生，常造成過重的心智負荷以致於表現下降。

因此老師在教學上，可以因應學生能力的不同，給予不同的指導語指示學生圖形中的可做為參考軸的部件，以幫助學生降低心智負荷；其次則是避開學生本身能力較為不足的歷程，視覺空間編碼能力不佳及視覺空間記憶能力較弱的人，考慮給予適當的提示，使圖形部件整合；視覺空間記憶不佳者多半語意記憶能力較佳，則建議在圖形中提供一些輔助，提高部件彼此之間的相對空間關係，利用語意編碼來替代純視覺空間的編碼。從這兩方面可以幫助學生對於複雜圖形的辨識與轉換，而不依賴本身的心像旋轉能力來完成同樣的作業。或許這樣抽象的建議不夠提供教師們去想像如何幫助學生，這裡提供 Amorim、Isableu 及 Jarraya (2006) 的研究上有趣的發現做一個類比。Amorim 等人發現將 3D 多角度方塊圖比擬成扭曲的人體時，可以讓原本很困難的 3D 多角度方塊心像旋轉作業的反應速度及正確率增加。從這樣的觀點來看，在教學上或者是任何想要促進類似作業的表現，使用與自身命題關係較大的熟悉物件來替代陌生抽象的複雜圖形是個替代的選擇。

參考文獻

- 周泰立、陸偉明、鄭秋瑾、吳瑞屯 (1996)。刺激複雜度與呈現方式對心象旋轉之不同階段的影響。
中華心理學刊, 38(1), 31-40。
- Barba, G. D., Rosenthal, V., & Visetti, Y. M. (2002). The nature of mental imagery: How is the "null hypothesis"?
Behavioral and Brain Sciences, 25(2), 187-188.
- Bethell-Fox, C. E., & Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Environmental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 12-23.
- Cohen, D. J., & Kubovy, M. (1993). Mental rotation, mental representation and flat slopes. *Cognitive Psychology*, 25(3), 351-382.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L. A., & Podgorny, P. (1976). Mental transformation and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental psychology: Human perception and performance*, 2, 503-514.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973a). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. NY: Academic Press.

- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973b). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory and Cognition*, 1, 246-250.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1975). Mental transformations in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental psychology : Human perception and performance*, 104, 48-56.
- Folk, M. D., & Luce, R. D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental psychology : Human perception and performance*, 13(3), 395-404.
- Haberlandt, K. (1997). *Cognitive Psychology* (2nd ed.). Boston: Allyn and Bacon.
- Heil, M., Rosler, F., Link, M., & Bajric, J. (1998). What is improved if a mental rotation task is repeated - the efficiency of memory access, or the speed of a transformation routine? *Psychological Research*, 61, 99-106.
- Hochberg, J., & Gellman, L. (1977). The effect of landmark features on mental rotation times. *Memory and Cognition*, 5, 23-26.
- Jolicoeur, P. (1985). The time to name disoriented natural objects. *Memory and Cognition*, 13(4), 289-303.
- Jolicoeur, P., Snow, D., & Murray, J. (1987). The time to identify disoriented letters: Effects of practice and font. *Canadian Journal of Psychology*, 41(3), 303-316.
- Jordan, K., & Huntsman, L. A. (1990). Image rotation of misoriented letter strings: Effects of orientation cuing and repetition. *Perception and Psychophysics*, 48(4), 363-374.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate system: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, 92(2), 137-172.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge: MIT press.
- Kosslyn, S. M., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35, 151-161.
- Kunde, W., & Hoffmann, J. (2000). Global-local orientation congruency effects in visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53(2), 537-548.
- Marmor, G. S., & Zaback, L. A. (1976). Mental rotation by the blind? Does mental rotation depend on visual imagery? *Journal of Experimental psychology : Human perception and performance*, 2(4), 515-521.
- Palmer, S. E. (1975). *Visual perception and world knowledge: Notes on a model of sensory-cognitive interaction*. San Francisco: W. H. Freeman.

- 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. (1979). The rate of "mental rotation" of images: A test of holistic analogue hypothesis. *Memory and Cognition*, 7, 19-28.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88(1), 16-45.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). Return of the mental images: are there really pictures in the brain? *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(3), 111-112.
- Robertson, L. C., & Plamer, S. E. (1983). Holistic processes in the perception and transformation of disorientated figures. *Journal of Experimental psychology : Human perception and performance*, 9, 203-214.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA: MIT press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Smith, W., & Dror, I. E. (2001). The role of meaning and familiarity in mental transformations. *Psychonomic Bulletin and Review*, 8(4), 732-741.
- Sternberg, R. J. (1999). *Cognitive Psychology*. Fort Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Thomas, N. J. T. (1999). Are theories of imagery theories of imagination? An active perception approach to conscious mental content. *Cognitive Science*, 23, 207-245.
- Wiedenbauer, G., Schmid, J., & Jansen-Osmann, P. (2007). Manual training of mental rotation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19 (1), 17-36.
- Wraga, M., Thompson, W. L., Alpert, N. M., & Kosslyn, S. M. (2003). Implicit transfer of motor strategies in mental rotation. *Brain and Cognition*, 52, 135-143.
- Yuille, J. C., & Steiger, J. H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception and Psychophysics*, 31, 201-209.

收稿日期：2008年01月04日

一稿修訂日期：2008年05月15日

二稿修訂日期：2008年05月02日

三稿修訂日期：2008年07月07日

四稿修訂日期：2009年01月12日

接受刊登日期：2009年01月13日

Bulletin of Educational Psychology, 2010, 41 (3), 551-578

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

The mental representation during the mental rotation task- explore the complexity and integrity effects

Cheng-Ching Han

Institute of Science Education
National Taiwan Normal University

Daisy L. Hung

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central University

Jie-Li Tsai

Department of Psychology
Research Center of Mind
Brain and Learning
National Chengchi University

The nature of the mental representation during the mental rotation process is controversial. In the present experiment, this issue was investigated by manipulating the integrity (reference lines) and complexity (square numbers) of the stimuli. The monotonic relation between transformation time and angular difference was found and interacted with the integrity of the stimuli. As reference lines in a picture specified relative spatial relation among the picture's components which have clear space relation, participants did not rely on the ability of mental rotation to achieve this task. However, there were individual differences in the perception of spatial relations in the pictures. Nevertheless, stimulus complexity increased the overall reaction time but did not affect the linear relationship. We inferred there are two subtle processes in the mental process of mental rotation – rotation of a reference line and reconstruction of the image. The degree to which participants relied on each process was modulated by the characteristics of the stimuli.

KEY WORDS: complexity, integrity, mental imagery, mental representation, mental rotation