

國立臺灣師範大學科學教育研究所博士班
博士論文

指導教授：洪 蘭博士 李田英博士

心像旋轉作業中的心智表徵

The Mental Representation during the Mental Rotation Task

研究生：韓 承 靜

中華民國九十七年七月

摘要

視覺影像的轉換在化學的學習上扮演重要的角色，但目前心理學界尚未清楚視覺影像轉換之相關運作的關係。心像旋轉是旋轉腦海中的圖像的能力，是視覺影像轉換能力的一種。本研究藉由探究心像旋轉作業中的心像旋轉階段的心智過程，以釐清心像旋轉此一視覺影像轉換過程的機制以及內在的心像表徵特性。本研究設計六個實驗以探究心像旋轉之內在表徵和心智歷程以及心像旋轉作業中的眼球運動掃瞄軌跡特性。研究結果發現心像旋轉歷程包含簡單架構的旋轉以及部件細節的重建兩個細微過程，且心像旋轉時的心像並不完整，並發現旋轉心像時眼球運動掃瞄軌跡與該影像編碼時的眼球運動掃瞄軌跡有關。在化學教育上要幫助學生視覺影像轉換，圖形中的空間關係要盡量明確且具有可以幫助重建部件空間關係的參考軸。這樣的圖形不但能幫助學生記憶與辨識，在轉換上也比較容易降低視覺空間記憶的負荷。為了有效的幫助學生化學學習，宜進一步利用化學領域使用的圖形或符號作為實驗刺激材料，探究化學常用圖形在視覺轉換時重要的線索，才能在教學上加強該線索的使用。

關鍵字：心像旋轉、心智表徵、眼球運動掃瞄軌跡、整體性、複雜度

Abstract

The transformation of visual images is very important during the learning of chemistry. It's not yet clear about the relationship of the visual imagery transformation in psychology. To rotate or transfer the mental image in the mind, mental rotation is one of abilities about visual transformations. The study tried to investigate the mental process during the mental rotation phase in the mental rotation task, to clarify the mechanism of mental rotation phenomenon and the nature of mental representation during mental rotation. The study included six experiments to explore the nature of mental representation, the mechanisms of mental rotation and the scanpaths of eye movement in the mental rotation. There are three findings in the study. First, there are two subtle processes in the mental process of mental rotation – rotation of a reference line and reconstruction of the image. Second, the mental image is incomplete during mental rotation. Third, the eye movement scanpaths are relative during the encoding of one visual image and the rotating that visual mental images. IF a figure has an obvious reference line to restructure the components in the figure, it might help students transfer visual image. These kinds of figures not only help students remember and recognize them easier, but also reduce the visual spatial working memory in the transformation. The stimuli used in these experiments are specific to investigating the study only and the findings are not inferred overly to all visual transformations in the chemistry learning. It's necessary to utilize the figures and symbols of the chemistry for stimuli of future experiments for searching the important index during any visual transformation in the chemistry learning.

Key words: complexity, eye movement scanpaths, integration, mental representation, mental rotation

目次

第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景與研究動機.....	1
第二節 研究目的與研究問題.....	6
第三節 名詞解釋.....	7
第四節 研究範圍與研究限制.....	8
第五節 研究假設.....	9
第貳章 文獻探討.....	11
第一節 視覺空間能力與化學的關係.....	11
第二節 資訊的表徵—人類如何儲存心像.....	14
第三節 心像旋轉作業之相關研究.....	19
第四節 資源有限的工作記憶能力.....	24
第參章 研究方法.....	29
第一節 研究設計.....	29
第二節 實驗方法.....	30
實驗一：圖形複雜度與整體性在心像旋轉作業中的影響.....	31
實驗二：不同判斷要求下圖形刺激材料的複雜度與整體性的影響.....	38
實驗三：方向線索對心像旋轉現象的影響.....	43
實驗四：心像旋轉作業中圖形刺激中部件對心像旋轉現象的影響.....	49
實驗五：心像旋轉作業中心像表徵的完整性測試.....	55

實驗六：心像旋轉作業中的眼球運動掃瞄軌跡特性.....	59
第肆章 研究結果與討論.....	71
第一節 研究結果.....	71
實驗一：圖形刺激材料的複雜度與整體性在心像旋轉作業中的影響.....	71
實驗結果.....	71
討論.....	76
實驗二：不同判斷要求下圖形刺激材料的複雜度與整體性的影響.....	76
實驗結果.....	76
討論.....	84
實驗三：方向線索對心像旋轉現象的影響.....	87
實驗結果.....	87
討論.....	92
實驗四：心像旋轉作業中圖形刺激之部件對心像旋轉現象的影響.....	93
實驗結果.....	93
討論.....	98
實驗五：心像旋轉作業中心像表徵的完整性測試.....	98
實驗結果.....	98
討論.....	112
實驗六：心像旋轉作業中的眼球運動掃瞄軌跡特性.....	112
實驗結果.....	112
討論.....	117
第二節 綜合討論.....	118

第伍章 總結、結論與建議.....	121
第一節 總結.....	121
第二節 結論.....	125
第三節 建議.....	126
參考文獻.....	128

表目次

表 4-1-1	實驗一結果各受試者正確的「Yes 嘗試」之平均反應時間(8 人).....	72
表 4-1-2	實驗一之正確的「Yes」嘗試平均反應時間與正確率結果(8 人).....	73
表 4-1-3	實驗一之三因子相依變異數分析摘要表(2x2x3 設計,8 人).....	74
表 4-1-4	實驗一之二因子相依變異數分析摘要表(2x2x2 設計,8 人).....	75
表 4-2-1	實驗二結果各受試者正確的「Yes 嘗試」平均反應時間(11 人).....	77
表 4-2-2	實驗二之正確「Yes」嘗試平均反應時間與正確率結果(11 人).....	78
表 4-2-3	實驗二之完全相依設計變異數分析摘要表(2x2x3 設計,11 人).....	79
表 4-2-4	實驗二之整體性變項與角度變項之單純主要效果表(11 人).....	80
表 4-2-5	實驗二之複雜度變項與角度變項之單純主要效果表(11 人).....	81
表 4-2-6	實驗二之統計摘要表(2x2x2 三因子設計,11 人).....	82
表 4-2-7	實驗二之整體性變項與角度變項之單純主要效果表(11 人).....	83
表 4-3-1	實驗三各受試者 RT1 平均反應時間(14 人).....	88
表 4-3-2	實驗三 RT1 平均反應時間之平均(14 人).....	88
表 4-3-3	實驗三各受試者 RT2 平均反應時間(14 人).....	89
表 4-3-4	實驗三 RT2 平均反應時間之平均(14 人).....	89
表 4-3-5	實驗三階段一 RT1 統計摘要表(2x2 二因子混合設計,14 人).....	90
表 4-3-6	實驗三階段一錯誤率之統計摘要表(2x2 二因子混合設計,14 人).....	92
表 4-4-1	實驗四結果各受試者之正確「Yes 嘗試」之平均反應時間(9 人).....	93
表 4-4-2	實驗四結果所有受試者平均反應時間與正確率(9 人).....	94
表 4-4-3	實驗四之統計摘要表(2x3 二因子設計,9 人).....	96
表 4-4-4	實驗四之部分部件圖變項與角度差異變項單純主要效果表(9 人).....	96

表 4-4-5 實驗四之統計摘要表(2x2 二因子設計,9 人).....	97
表 4-4-6 實驗四之 2x2 分析之單純主要效果表(9 人).....	97
表 4-5-1 實驗五之各受試者的正確「Yes 嘗試」平均反應時間(19 人).....	99
表 4-5-2 實驗五之各受試者的正確「No 嘗試」平均反應時間(19 人).....	99
表 4-5-3 實驗五之正確「Yes 嘗試」之平均反應時間與正確率(19 人).....	100
表 4-5-4 實驗五之正確「No 嘗試」之平均反應時間與正確率(19 人).....	101
表 4-5-5 實驗五之正確嘗試之平均反應時間與正確率(19 人).....	102
表 4-5-6 所有正確嘗試之反應時間統計摘要表(2x5x3 二因子設計,19 人).....	106
表 4-5-7 所有嘗試之錯誤率分析統計摘要表(2x5x3 二因子設計,19 人).....	107
表 4-5-8 錯誤率中嘗試判斷類型與角度差異單純主要效果表(19 人).....	107
表 4-5-9 角度差異 90 度之全部正確嘗試平均反應時間單一樣本檢定表.....	108
表 4-5-10 角度差異 180 度之全部正確嘗試平均反應時間單一樣本檢定表.....	108
表 4-5-11 角度差異 90 度之全部嘗試錯誤率單一樣本檢定表(19 人).....	109
表 4-5-12 角度差異 180 度之全部嘗試錯誤率單一樣本檢定表(19 人).....	109
表 4-5-13 角度差異 90 度之 No 嘗試錯誤率單一樣本檢定表(19 人).....	110
表 4-5-14 角度差異 180 度之 No 嘗試錯誤率單一樣本檢定表(19 人).....	111
表 4-6-1 實驗六結果平均反應時間與正確率(8 人).....	112
表 4-6-2 各受試者 xy、st、wv 凝視點位置變化及跳視向量變化之平均相關係數....	114
表 4-6-3 實驗六 xy、st、wv 凝視點位置變化與跳視變化相關係數平均值(8 人).....	116

圖目次

圖 1-1-1	化學課本中常用的鏡像異構物範例.....	2
圖 1-1-2	化學課本中常用來表示分子結構的圖形範例.....	3
圖 1-1-3	沙利竇邁的分子結構.....	3
圖 3-1-1	實驗一實驗刺激材料的四種圖形範例.....	33
圖 3-1-2	實驗一實驗刺激材料中「互為鏡像圖」之圖形範例.....	33
圖 3-1-3	實驗一之實驗程序.....	35
圖 3-2-1	實驗二之實驗刺激材料的相同圖與不同圖的圖形範例.....	39
圖 3-2-2	實驗二之實驗程序.....	40
圖 3-3-1	實驗三之實驗程序(以箭頭作為方向線索).....	46
圖 3-2-2	實驗三之實驗程序(以參考軸作為方向線索).....	47
圖 3-4-1	實驗四之實驗程序—部分部件圖為標的圖的線條部件.....	51
圖 3-4-2	實驗四之實驗程序—部分部件圖為標的圖的方塊部件.....	52
圖 3-5-1	實驗五之實驗程序.....	57
圖 3-6-1	眼動儀的基本系統設備.....	61
圖 3-6-2	實驗六之實驗程序.....	63
圖 3-6-3	眼動儀上位置變化方向之正負值意義說明.....	65
圖 3-6-4	位置變化及向量變化方向之數值意義說明.....	65
圖 3-6-5	位置變化之意義說明.....	66
圖 3-6-6	向量變化之意義說明.....	66
圖 3-6-7	刺激圖形上的位置代號.....	67
圖 3-6-8	刺激圖形上的 s 值與 t 值之位置代號.....	68

圖 3-6-9	刺激圖形上相對於參考軸的位置代號.....	69
圖 3-6-10	刺激圖形上的w值與v值之位置代號.....	69
圖 4-1-1	實驗一各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖.....	72
圖 4-1-2	實驗一所有嘗試在各條件下之錯誤率圖.....	73
圖 4-2-1	實驗二各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖.....	77
圖 4-2-2	實驗二各條件下所有反應之錯誤率圖.....	78
圖 4-3-1	實驗三各條件下的RT1反應時間圖.....	90
圖 4-3-2	實驗三各條件下的RT2反應時間圖.....	90
圖 4-3-3	實驗三各條件下的錯誤率圖.....	90
圖 4-4-1	實驗四各條件下的正確的Yes反應之平均反應時間對角度作圖.....	94
圖 4-4-2	實驗四各條件下的錯誤率對角度作圖.....	95
圖 4-5-1	實驗五各條件下的正確「Yes 嘗試」反應時間圖.....	100
圖 4-5-2	實驗五各條件下的正確「No 嘗試」反應時間圖.....	101
圖 4-5-3	實驗五各條件下所有正確的嘗試之反應時間圖.....	102
圖 4-5-4	實驗五各條件下的所有嘗試之錯誤率圖.....	103
圖 4-5-5	實驗五各條件下「Yes 嘗試」之錯誤率圖.....	104
圖 4-5-6	實驗五各條件下「No 嘗試」之錯誤率圖.....	105
圖 4-6-1	實驗六xy、st、vw凝視點位置變化與跳視變化相關係數平均.....	115
圖 4-6-2	實驗六xy、st、vw凝視點位置變化與跳視變化相關係數各別比較.....	115

第壹章 緒論

本章共分四節，分別敘述本研究之研究背景與研究動機、研究目的與研究問題、研究範圍與研究限制以及研究假說。

第一節 研究背景與研究動機

化學家利用不同的表徵與符號，來理解和描述化學世界的原子、分子的結構以及化學反應的過程。這些視覺化的表徵與符號形成了化學的概念，是化學家們彼此溝通的語言，讓化學家們可以有效地以視覺的形式交換資訊(Balaban, 1999; Habraken, 1996; Hoffmann & Laszlo, 1991; Kozma, Chin, Russell, & Marx, 2000; Mathewson, 1999; Nye, 1993)。比如在描述化學反應時，描繪反應物與生成物的結構，畫出符號、箭頭及方程式(Kozma et al., 2000)；用分子結構與原子模型被用來說明它們的組成及結構。這些視覺展示與化學概念並不是武斷的，也非異種同形(isomorphism)，不同的表徵展示著不同的概念，也顯示圖形與指示物的關係(Hegarty, Carpenter, & Just, 1991; Winn, 1991)。因此分子結構的視覺化對於化學領域上的新發現很重要。在化學學習上的研究上，顯示化學學習與視覺空間能力以及普通推理能力相關。學生在化學概念上的推理錯誤，常常是因操作分子結構的視覺空間表徵有困難(Wu & Shah, 2004)。因此在化學學習上，如何幫助學生視覺化分子結構是很重要的課題。

在化學教學上，利用視覺表徵使學生理解化學的概念。在課堂中、教科書上，使用不同的視覺表徵來介紹化學的基本概念(Noh & Scharmann, 1997)，以說明分子

式相同但結構不同的異構物為例，對學生而言最難以分辨的鏡像異構物，必須仰賴這些視覺空間表徵來說明。以圖 1-1-1 為例，左邊的分與右邊的分是鏡像異構物，當圖形以圖 1-1-1 的形式來呈現，且將兩個分子放在一起比較，學生通常比較能夠理解這兩個分子的不同。可是當這兩個分子分開呈現時，有的學生就已經分不出來後來看到的圖形與原來看到的有何不同了。

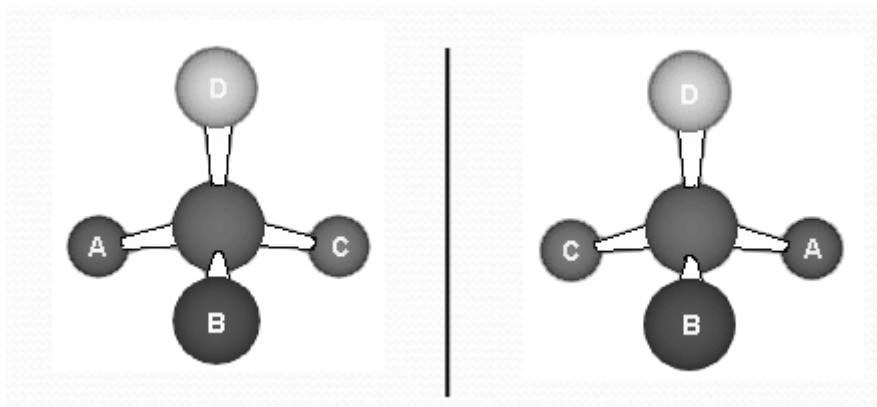


圖 1-1-1：化學課本中常用的鏡像異構物範例

圖中左邊的分與右邊的分在結構上屬於鏡像異構物。兩個分子無論怎麼樣旋轉，都沒有辦法剛剛好的互相重疊。

在化學學習上，特別是分子結構部分，學生常常必須從平面的符號來想像出分子的三度空間化學結構，並試著在腦海中從不同的角度來觀察它們。在化學領域上常用來表示分子結構的形式常如圖 1-1-2 所示，是一個在 2 維平面上來表現出分子結構中各組成原子的三度空間。同圖 1-1-1，圖 1-1-2 的左右兩邊的分也是鏡像異構物。圖 1-1-2 的左邊分子中組成原子之間空間關係同圖 1-1-1 的左圖，而右邊分子中的組成原子之空間關係則同圖 1-1-1 之右圖。其實圖 1-1-1 與圖 1-1-2 都是表示相同的分子結構空間關係概念。但往往以圖 1-1-2 的方式來呈現分子結構時，學生已經無法理解圖 1-1-2 與圖 1-1-1 的類同。就更不用說在理解圖 1-1-2 中，左邊分子與右邊分子在結構上的鏡像關係。而這只是鏡像異構物中最簡單的

形式，但實際上學生碰到的圖例會像是圖 1-1-3 這樣。

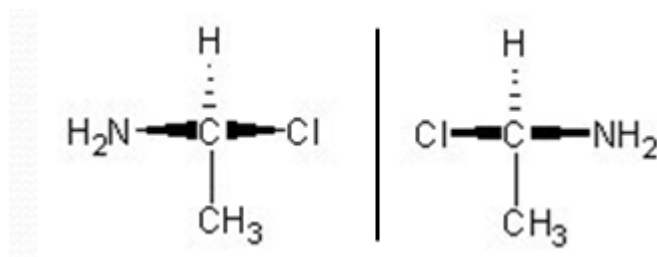


圖 1-1-2：化學課本中常用來表示分子結構的圖形範例

圖中左邊的分與右邊的分在結構上屬於鏡像異構物。化學課本中常用這樣的形式來表示分子中組成原子彼此之間的空間關係。

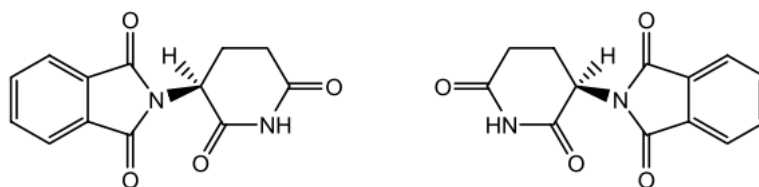


圖 1-1-3：沙利竇邁的分子結構

圖中左邊的分與右邊的分分別為 S-沙利竇邁(S-Thalidomide)及 R-沙利竇邁(R-Thalidomide)。當人服用後者時可得到鎮靜效果，但前者則會造成胎兒畸形。

學生若要瞭解和辨識出圖 1-1-1 或圖 1-1-2 中左右分子之間的不同，就得需要能夠在腦海中旋轉先前看到的影像的能力。這種在腦海中旋轉視覺影像的能力，類似於在心理學研究上之心像旋轉作業(mental rotation task)中所必須具備的能力。在心像旋轉作業中，受試者要判斷兩個方位不太相同的圖像，是否為相同的圖(Shepard & Metzler, 1971)。心理學的研究顯示，這個旋轉腦海中影像能力的個別差異非常大(Voyer & Saunders, 2004)。有些人有極好的視覺空間影像轉換能力，有些人則必須仰賴實體的操作才能理解空間結構上的不同。

學生在化學結構學習上常常表現出有兩方面的困難。一是無法將 2D 的化學

符號表徵在腦海中建立 3D 的分子結構概念，像是無法利用深度線索，以及無法確認分子結構中的軸與平面(Seddon & Eniaijeju, 1986; Seddon, Eniaijeju, & Chia, 1985; Seddon & Shubber, 1985; Shubber, 1990; Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991)；二是無法在腦海中旋轉已建立的影像來獲取相關的資訊(Seddon & Eniaijeju, 1986; Shubber, 1990)。而後者所需要的能力與心像旋轉作業中所需的能力相同，兩者都必須在腦海中轉換已知的影像，將心像與眼前的圖像做一個比對，判斷是否相同。

要幫助學生學習化學結構，就必須改善學生的視覺空間能力，像是視覺影像的轉換、旋轉以及相關的心智運作。在科學教育研究上用來瞭解學生學習的方法，例如放聲思考法(thinking aloud)、收集思考過程的紙筆資料以及測驗，無法藉以瞭解視覺影像轉換等相關心智運作，必須參考心理學領域在這部分相關的理論與發現。然而至目前為止，即使在心理學界，對於心像的本質以及心像旋轉的內在運作方式並未有比較徹底的瞭解(Kosslyn, 1994; Kosslyn, Ganis, & Thompson, 2001; Kozhevnikov, Motes, & Hegarty, 2007)。

在認知神經科學上，許多研究利用現在的技術與儀器，可以直接觀察正在活動的腦，但關於心像的研究，依然集中在發現何種認知活動時，腦區哪一部份活化(Parsons, 2003; Pylyshyn, 2003; Richter et al., 2000; Shenton, Schwoebel, & Coslett, 2004; Windischberger, Lamm, Bauer, & Moser, 2003; Yoshino, Inoue, & Suzuki, 2000)。對於心像產生後如何在腦海中轉換影像的細節，也就是相關的心智歷程，並沒有更進一步的瞭解。任何幫助心像以及心像旋轉能力的方法，由於缺乏對於心像本質的瞭解，以及對於心像轉換過程的理論，只能依賴機械性的訓練與練習，無法根本上地改善，也不清楚原因為何。

過去在改善人們的視覺空間能力上，多依賴著「熟能生巧」的方式，但是這經驗上得到的訓練方式，必須耗費非常多的練習時間。對學生而言，學習內容必

須花時間來理解，若視覺空間能力不足，則負擔加重，藉著多媒體幫助作視覺上的轉換，可以幫助學生理解化學，但是離開了多媒體的環境時，學生還是無法將所學用來解決化學學習上的困難。因為視覺空間能力還是不足以使其獨自運作，所以並沒有根本地解決學生在化學學習上的困難。在心像旋轉作業研究中就已發現，練習效果無法遷移到新的圖形的轉換(Jolicoeur, Snow, & Murray, 1987)。因此，有效地改善學生的視覺影像的轉換能力對於化學學習上是必要的。要做到這點，首先必須瞭解心像旋轉中心智歷程的細節，因此本研究無法直接由化學學習來探究視覺影像轉換能力，而必須探究更純粹的心理學歷程。

目前關於心像旋轉作業其間的心智過程的理論，大致可分為兩大類的理論。一方的理論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)。另一方的理論則以 Zenon Pylyshyn 等人的看法為代表，認為心像不過是個以抽象思考為主的方式來模擬實體事件(Hochberg & Gellman, 1977; Pylyshyn, 1973, 1981)。

不同的研究分別支持著不同的理論，但因不同的研究中所使用的圖形刺激材料並不一致，有些並未考慮到語意編碼的干擾，像是 1975 年 Palmer 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，例如 1975 年 Cooper 所使用的二維隨機形狀的圖形。關於心像旋轉運作的看法目前在心理學界依然呈現分歧的狀態。

為了能夠根本上地幫助學生的化學學習，有必要在視覺空間轉換能力的心智歷程與化學結構學習的關係上作深入的探究，以瞭解在更基本層次的視覺影像轉

換歷程。因此本研究將重新檢驗上述兩個心像旋轉理論的看法，試圖提出一個修正的解釋，將心像旋轉作業中旋轉過程的心智歷程作更進一步的分析，期待這樣的分析能幫助學生視覺影像轉換能力上有更具理論基礎的方法，使得化學學習上能針對理解化學結構的心智歷程有所助益。

第二節 研究目的與研究問題

爲了幫助化學結構的學習，必須瞭解心像旋轉能力的相關心智歷程。但因爲心像旋轉的歷程還有尚未釐清的分歧，本研究試圖重新釐清這個理論上的分歧，並探究在心像旋轉作業中心像旋轉階段之可能的心智歷程。

依據上述的研究目的，本研究之研究問題爲：

- 一、 心像旋轉作業中，心像旋轉時間是否隨著圖形刺激材料的複雜度與整體性發生變化？
- 二、 心像旋轉作業中的心像旋轉階段包含哪些心智歷程，即心像是如何轉換的？
- 三、 心像旋轉作業之心像旋轉階段之心像形式爲何？
- 四、 心像旋轉作業中，圖像編碼階段與心像轉換階段的眼動模式是否有關連？

第三節 名詞解釋

本研究之主要目的是在探討心像旋轉作業中，心像旋轉階段之可能的心智歷程，以下將說明各名詞在本研究所代表的意義：

- 一、 心像旋轉作業：本研究所指的心像旋轉作業(mental rotation task)是由 1971 年，Shepard 跟他的同事們為研究心像的本質，而發展出來的測試受試者反應的實驗典範。在心像旋轉作業中，受試者必須比較兩個方向不相同的物體或圖形，是否為相同的物體或圖形。
- 二、 心像旋轉現象(mental rotation phenomenon)：在 1971 年 Shepard 的心像旋轉作業研究中，發現受試者的反應時間與必須相互比對的兩物體之彼此展示的角度差有線性關係，當兩物體彼此之間的角度差異越大，則反應時間越長。這樣的現象稱為心像旋轉現象。
- 三、 心像旋轉階段(mental rotation stage)：本研究所指的心像旋轉階段，是指在心像旋轉作業中，受試者從看到圖形到反應這段期間內，四個階段之其中一個階段。心像旋轉作業中的心智過程，根據過去的研究，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。本研究所指的是上述的第二個階段。
- 四、 整體性：當一個物體中的部件之間相互連結形成一個在知覺上的特徵連續的情形時，稱之為有整體性。當圖形中的部件彼此連結成更少數量的件數時，稱之為整體性高。（詳細圖例見圖 3-1-1）
- 五、 嘗試(trial)：在實驗中受試者必須依照實驗指導語針對實驗中的問題做出回應，每回答一次問題稱為一次嘗試。通常在一個實驗中受試者必須回答的

問題只有一個，但同樣的問題必須回答很多次。例如，某一個實驗要求受試者在實驗中「判斷出現的兩張圖形是否相同？」若實驗中出現 100 次兩張圖形請受試者判斷，則該實驗中有 100 次嘗試。

六、 **No 反應嘗試(No-response-trial)**：在作業中，受試者必須針對固定要回答的問題對每一次嘗試做出回應。若在某一個實驗中這些嘗試的回應可分為兩種，一種是回答「是(Yes)」，另一種為「否(No)」。當受試者在某次嘗試中，必須作答的正確反應為「否」時，則該嘗試稱為「No 反應嘗試」，簡稱「No 嘗試」，但受試者在該嘗試中並不一定能夠正確作答。所有正確答案應為「否」的嘗試，都稱為「No 嘗試」。同理，「Yes 反應嘗試」表示正確答案應為「是」的嘗試。

七、 **反應時間(reaction time)**：任何形式的反應時間心理學實驗，皆要求受試者在正確反應的前提下儘快反應。並在實驗結果分析中只蒐集正確作答的反應時間時，剔除作答不正確的反應時間，以確保實驗結果有意義。

八、 「**速度—正確率相互抵銷(speed-accuracy trade-off)**」現象：因受試者的反應速度增加（反應時間變短）造成的正確率降低現象。

第四節 研究範圍與研究限制

本節將指出本研究研究對象及實驗之範圍以及研究限制。

一、研究範圍

- (一) 本研究並不探討心像旋轉上的「性別」、「年齡」、「優勢手」...等其他各種可能的個別差異因素與心像旋轉作業之間的關係，只探究心像旋轉階段可能的心智歷程。參與實驗的對象限制在大專院校裡就學的 18~35 歲之男性。
- (二) 爲了減少不同的圖形刺激材料對於心像旋轉可能的影響，本研究的實驗刺激材料限制在無意義之 2D 圖形，以減少圖形不同所造成的可能效應。

二、研究限制

- (一) 本研究之結果不可過度推論至 18~35 歲男性以外之對象。
- (二) 本實驗所採用的實驗刺激材料爲無意義之 2D 圖形，其他種類的圖形在心像旋轉作業中的各個過程，皆可能有不同於本實驗所採用圖形之效應。因此實驗結果不可過度推論至與本實驗圖形差異過大的圖形。

第五節 研究假說

本研究根據研究問題以及所採用的實驗，提出以下假說：

- 一、 受試者在心像旋轉作業中的反應時間隨角度變化之斜率不受刺激材料圖形之複雜度的影響。
- 二、 受試者在心像旋轉作業中的反應時間隨角度變化之斜率不受刺激材料圖形之整體性的影響。
- 三、 受試者在心像旋轉作業中的反應時間不受方向線索的影響。
- 四、 受試者在心像旋轉階段的心像表徵是完整的。

五、 心像旋轉作業中，受試者的在圖像編碼階段的眼動模式不與想像階段的眼動模式相關。

第貳章 文獻探討

本章第一節探討視覺空間能力與化學的關係，敘述化學領域使用的表徵所包含的視覺空間資訊以及視覺空間能力在化學學習上的重要性。第二節針對視覺空間資訊的儲存，探討心理學上對於人類如何儲存視覺空間資訊，也就是人類如何儲存心像的相關研究，其中包含資訊儲存的雙代碼理論、純命題表徵的理論以及強調心像與視知覺功能相當的假說，最後並探究眼動與心像儲存之間的關係。第三節則論及本研究欲探究之主要心理歷程—心像旋轉，探討心像旋轉研究過去的典範實驗—心像旋轉作業以及相關的解釋分歧。第四節討論人類在執行任何心智歷程時，都必須考慮到的工作資源有限的問題，也就是人類的工作記憶能力有限。本節探討過去在工作記憶上的主要理論之看法。

第一節 視覺空間能力與化學的關係

在化學教育上，我們對於學生的要求非常多，除了瞭解抽象的理論、一些必備的數學運算技巧、必須要有的實驗技術、還要能夠用口語或是寫作的方式互相溝通彼此的概念，以及從二維符號表徵中視覺化三維的資訊(Jones, Jordan, & Stillings, 2001)。化學領域的核心在於分子的空間結構與化學反應過程的瞭解。化學的許多概念本身包含了大量的視覺空間資訊，學生在學習中必須使用視覺空間能力來理解概念。像是視覺化分子或是晶體結構的三度空間分佈，在有機分子上確定官能基的位置。因此如何幫助學生視覺化及理解物質的分子層次上的資訊，

成了化學學習上的重點。

一、化學領域所使用的表徵包含的視覺空間資訊

化學家組合了三個不同但彼此相關的層次—巨觀的(macroscopic)、次微觀的(submicroscopic)及符號的(symbolic) 表徵來增進化學概念的解釋。巨觀表徵是對化學現象的觀察，包含日常生活中的經驗。爲了溝通巨觀現象的觀察，化學家使用許多符號，像是元素符號、方程式...來表示其概念。而亞微觀層次的表徵則以特殊的物質理論爲基礎，用來解釋巨觀現象，像是電子、分子、原子等概念。這些次微觀的實體是存在的，但是無法直接觀察到(Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003)。分子的表徵像是個具體空間敘述以及抽象視覺編碼的複雜混合體(Jones et al., 2001)，敘述著原子與原子之間的距離、結合方式以及角度，再加上應有的化學概念，甚至包含了可能產生何種反應的資訊。

二、化學學習需要視覺空間能力

視覺空間能力在化學學習中形成化學分子結構的表徵上非常重要。在化學學習當中，學生有時候必須從教科書上的二度平面圖形獲得資訊，在腦海中形成該物質的三度空間結構(Balaban, 1999; Habraken, 1996; Hoffmann & Laszlo, 1991; Kozma et al., 2000; Mathewson, 1999; Nye, 1993)，並旋轉這些結構來判斷鍵角以及是否有可能產生化學反應的活化位置。學生常常因爲無法在化學表徵上三個層次間轉換，以致於無法理解必要的化學概念，特別是在次微觀層次以及符號層次的表徵上，這兩個層次的表徵看不見且抽象，而學生的學習往往依賴著感官資訊(Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1987; Wu, Krajcik, & Soloway, 2000)。

三、化學解題依賴視覺空間能力

在化學解題上，過去的研究還發現學生的解題能力都與視覺空間能力呈現高相關，無論是與空間相關的問題或與空間不相關的問題 (Bodner & McMillen, 1986; Carter, LaRussa, & Bodner, 1987)。甚至在化學反應方程式的平衡，這類明顯地非空間相關的化學問題上，視覺空間能力與學生的表現也呈現高度相關(Staver & Jack, 1988)。同樣的情形出現在數學學習上，Pattison 及 Grieve(1984)發現學生的空間能力，同時與空間相關（幾何問題）及非空間相關（代數）的數學解題成就呈現高度相關(Wu, Krajcik, & Soloway, 2001)。這些顯示，視覺空間能力在科學的學習上非常重要，不只是化學學習而已。

目前並沒有很一致的結論來解釋視覺空間能力的改善為何可以幫助空間相關與非相關的科學學習及解題，大部分的研究認為視覺空間能力與化學問題解決表現顯著相關的主要原因，可能奠基於一般認知因素上(*general cognitive factor*)，但目前並沒有研究能有系統地分開視覺空間能力與一般認知因素（如智商或是學科能力）(Wu & Shah, 2004)。部分的研究認為這或許是因為這些運算能力是由類似的腦區來運作的關係(D'Esposito et al., 1998)。儘管不確定原因為何，我們還是發現學生接受訓練或是練習視覺空間的相關作業，可以有效地改善化學學習成就(Wu & Priti, 2004; Small & Morton, 1983; Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991)。因此僅能知道我們可以藉由訓練或是練習視覺空間能力來改善化學的學習，但如何有效地改善視覺空間能力，甚至直接幫助學生建構視覺表徵及轉換視覺表徵的能力，則需要更進一步的研究。

在化學教育上，我們無法直接地瞭解視覺空間能力所需要的心智歷程有哪些，必須藉助於心理學上關於視覺空間能力的研究。下一節將討論心理學上對於

資訊的表徵相關的理論，特別是人類如何儲存「心像」。

第二節 資訊的表徵—人類如何儲存心像

Allan Paivio 在 1969 年對於人類如何儲存資訊這樣的問題，主張人類是同時使用圖像以及語言的編碼來儲存資訊的，也就是所謂的雙代碼理論(dual-code theory)，他認為訊息的表徵與處理有兩個不同的系統存在，語言系統處理語言相關的訊息，非語言系統則是以影像為基礎執行處理與表徵(Haberlandt, 1997; Sternberg, 1999)。其中心像是屬於物理刺激的類比編碼(analogue code)，而符號編碼(symbolic code)則用來儲存語意資訊。當然不是所有的人都同意這樣的看法，John Anderson 及 Gordon Bower(1973)認為我們並非用影像的形式來儲存心像，而是用一種接近於命題的抽象形式來儲存心像，無論是影像或是口語陳述都是由命題來表徵的。在兩極端的主張中，一些學者針對這些看法做了些研究，發現類比編碼可能有些限制，有些圖形的資訊並非以影像的方式來儲存(Reed, 1974; Chambers & Reisberg, 1985, 1992)，而且圖形的語意資訊很容易扭曲了圖形視覺心像的回憶(Carmichael, Hogan, & Water, 1932)。而另一些研究則顯示心像比命題容易直接操作(Finke, Pinker, & Farah, 1989)，且心像與視知覺是功能上相同的((Kosslyn, 1994; Kosslyn et al., 2001; Laeng & Teodorescu, 2002)。兩方的研究中都有其支持的實驗證據存在著。以下針對著這兩極端的主張做一詳細的說明，並介紹了目前認知神經心理學中對於心像處理主流的理論。

一、Allan Paivio 雙代碼理論

Paivio 的雙代碼理論，認為訊息的表徵及處理有兩個不同的系統存在，這兩個系統分別為語文的及非語文的（影像的），兩個系統彼此獨立但互相關連。兩個系統負責不同類型的訊息編碼、組織、儲存以及提取。語文系統專門處理語言訊息，又因語言本身具有序列的特質，此系統又專司時序相關的處理。影像系統專門處理非語文的事件，像是空間上的訊息，諸如影像分析或心像產生...等類的作業。兩個系統都可以進一步分成好幾個感覺動作子系統（即視覺、聽覺、觸覺...），兩個系統都有其基本的表徵單位，在每一個感覺運動子系統皆以特定的感覺形式出現，使文字的產生以及影像的產生互相對應與連結。

Paivio 認為知覺和心像所行經的路線基本上相同的，對於這樣的看法，他提出了一個測試的方法。他假設兩個作業如果會使用到相同心智歷程的話，那這兩個作業在必須得同時執行的情況時，就會彼此互相干擾。因此，他認為如果可以證明知覺和心像作業之間有干擾存在，則可支持其看法。Lee Brooks(1968)做了這樣檢驗，證實了干擾的存在(Brooks, 1968; Sternberg, 1999)。只不過 Paivio 這樣的假設是認為視覺影像牽涉到視覺表徵而非空間表徵，但後續 Baddeley 及 Lieberman (1980)的研究則發現這樣的干擾其實是來自於空間歷程的共有，也就是是非語文系統內的知覺處理以及心像處理共有空間相關歷程，而非 Paivio 最初所主張的視覺表徵的緣故(Haberlandt, 1997)。

二、John Anderson 及 Gordon Bower 的命題理論

1973 年 John Anderson 及 Gordon Bower 提出知識表徵的另一理論，稱為概念命題假設(conceptual-propositional hypothesis)或命題假設(propositional hypothesis)，認為知

識的表徵是以命題為形式的關係網，概念與概念之間的關係，以命題來連接。他們兩人與其後繼者 Pylyshyn，皆認為人類不可能以影像的形式儲存心智表徵，主張人類的心像表徵應該比較接近於抽象形式的命題，因為命題可以被用來描述任何種類的關係(Palmer, 1975; Pylyshyn, 1973, 1981)。根據這樣的觀點，他們認為影像只是個附帶現象(epiphenomena)，是命題與其他認知過程交互作用的結果(Sternberg, 1999)。

不少研究支持著 Anderson 及 Pylyshyn 的看法，認為我們不可能是以影像的形式來儲存資訊，比較著名的 Reed(1974)的研究，發現受試者無法喚出影像來判斷一個複雜圖形中是否包含某些簡單特殊形狀(Reed, 1974; Sternberg, 1999)；Chambers 及 Reisberg(1985, 1992)則發現對於類似於鴨兔圖的模擬兩可圖案，受試者在不可再看的情況下，無法回憶出另外一種解釋(Chambers & Reisberg, 1985, 1992; Sternberg, 1999)。

亦有不少研究發現影像作為知識表徵的一種形式是必要的，在某些必須組合兩個圖來形成一個圖像時，心像是比較能夠直接運作的形式(Finke et al., 1989; Peterson, Kihlstrom, Rose, & Glisky, 1992)。因此有些研究者認為 Anderson 及 Pylyshyn 觀點的研究之實驗結果部分被支持的原因，可能是實驗過程中受試者的命題編碼壓倒了影像編碼，而扭曲了視覺影像的回憶，使得受試者無法提取出視覺影像的訊息，而並非表徵不能為影像的形式(Sternberg, 1999)。Peterson 等人甚至認為建構與操作心像的過程與知覺的過程非常類似(Peterson et al., 1992)，與 Kosslyn 等研究者認為心像跟視知覺是功能上地相等(functionally equivalent)(Kosslyn, 1994; Kosslyn et al., 2001; Laeng & Teodorescu, 2002; Mast & Kosslyn, 2002)。目前為止已發現的研究似乎顯示人類知識表徵屬於多元編碼的可能性大於單一編碼(Barsalou, 1994; Sternberg, 1999)。

三、Kosslyn 的心像計算機模式

不少研究者強烈地主張「心像類同於視知覺」的功能相等假說(functional-equivalence hypothesis)，認為視覺心像雖然不是視知覺，但是功能上是相等的，視覺心像就像是呈現在眼前的物理實體的視知覺(Farah, 1988a, 1988b; Jolicoeur & Kosslyn, 1985a, 1985b; Rumelhart & Norman, 1988; Shepard & Metzler, 1971)。

Kosslyn(1983)利用計算機的概念來比喻著影像的處理，這個計算機包括著中央處理機、長期記憶區、輸入裝置、輸出裝置以及影像終端機(video terminal)。影像終端機像是一個擁有緩衝區的陰極線管，保存著螢幕影像的資訊。Kosslyn 認為視覺影像是被呈現在一個特殊的空間媒介中，他又稱這個理論為視覺影像的 CRT(computer's cathode-ray tube)理論，把能力有限的心像看成是 CRT 螢幕一般有尺寸的限制，認為心像有兩個層次，緩衝層次(buffer level)及長期儲存層次(long-term store level)。在緩衝區中，是正在經歷的影像，這影像可能是現在正輸入視覺資訊，也可能是結合著從長期記憶過來的資訊。而這個緩衝區的能力有限，所以裡面的影像會受到其他影像的競爭，每個影像有停留時間，會衰退、褪色，因此需要不斷地更新。長期儲存層次則是包含一些對影像的架構，像是影像的尺寸、部件之間的關係以及與其他影像之間的關係(Haberlandt, 1997; Kosslyn, 1983)。

在 Kosslyn 的理論中，這個空間媒介有四種屬性：(一)保留自己所呈現物件的空間關係，且像是一個範圍有限物理空間，如果影像朝任何方向移動太遠，可能會溢出該媒介；(二)此媒介並非以一種統一的解析度來呈現影像；(三)此媒介表面有顆粒，像是數位相片的像素一般，如果點很大，能呈現的細節就有限，如果點很小，就能呈現比較細緻的影像；(四)任何影像一旦在媒介中被產生，立刻就會開始變淡，也就是說該影像如果要在媒介中被保留，必須重新產生或者

更新。Kosslyn 這樣的觀點，跟實際上在眼睛上的視知覺處理非常相似。因此 Pylyshyn 批判這樣的觀點並沒有說明到任何關於視覺影像的表徵(Pylyshyn, 2003)。

四、眼動模式與心像的關係

眼動在視覺心像中是否具有功能是長久以來的爭議。Laeng 及 Teodorescu(2002) 的研究顯示，眼動在視覺心像產生的時候具有重要的功能，眼動儲存著空間的索引(spatial index)，在視覺心像中安排影像的部件在正確的位置上(Laeng & Teodorescu, 2002; Mast & Kosslyn, 2002)。

許多因素控制著眼睛移動，這些因素大致可分為兩種，一種是從下而上(bottom-up)的過程，一個是從上而下(top-down)的過程。從下而上的過程回應著視域(visual field)上瞬間地變化，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，依賴著知識依序著驅動著我們的眼睛移動。在心像的過程中，很明顯地，並沒有感官視覺上的訊號輸入，也就是沒有從下而上的過程來影響眼動，也沒有可從上而下檢查的景色。所以在這樣的時候觀察到的眼動代表了什麼？這時候的眼動，其中一種可能的解釋是代表了想像過程中所儲存的記憶。如果這是正確的，則眼動在想像的視覺化的過程中可能扮演重要的角色，或許眼睛的移動牽引著記憶次序，幫助我們能夠正確地回憶影像中的相關部件的位置。另一種可能的解釋則是，想像過程中的眼動，是在搜尋已經視覺化影像的關鍵特性。如果是這樣的情況，那麼研究想像過程中的眼睛移動，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)。

Laeng 及 Teodorescu(2002)的實驗，對照了受試者在知覺情境中以及想像情境中的眼睛移動的模式，發現在想像過程中，受試者的眼動反映著受試者正在研究

著該刺激的情況，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。此外，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。這樣的實驗說明了，眼動無論在知覺上或是在想像中皆扮演著重要的角色。在知覺過程中的眼動，紀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動。換句話說，眼動過程中眼睛的肌肉感覺訊息可能紀錄著外在訊息的空間索引資訊。外在訊息進入腦海被處理時，眼動過程中肌肉感覺訊號一併被紀錄著，而回憶相關訊息時，必須仰賴著眼睛移動來觸發相關訊息的提取。

第三節 心像旋轉作業之相關研究

一、心像旋轉作業的歷史

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，科學家們一直苦於找不到可以量化的方法測量心像的能力(Haberlandt, 1997)。1971年，Roger Shepard 和他的同事利用心像旋轉的作業，使視覺心像能力變得可測量，在心像研究上第一次成功地探究心像的過程(Shepard & Metzler, 1971; Haberlandt, 1997)。而 Shepard 的心像旋轉作業也被認為是證明“功能相等假設”的標準古典實驗(Sternberg, 1999)。

心像旋轉(Mental rotation)被認為是一種想像物體在空間中旋轉的一種能力。然而至目前為止，我們尚未對於心像的本質以及心像旋轉的內在運作方式有比較徹底的瞭解(Kosslyn, 1994)。甚至在有了許多可以直接看到腦部活動的技術與儀器的

現代，我們依然沒有對更透徹的理解心像以及心像旋轉的現象。研究上發現，心像的產生依賴著許多感官知覺系統的投入來產生心智表徵，目前已經有許多研究針對不同的感覺表徵作詳細的研究，關於心像的研究大部分多集中在視覺心像上，原因可能在於人們對於視覺想像的產生比其他知覺的想像來得容易察覺(Sternberg, 1999)。而我們也依賴視覺心像幫助我們解決問題(Kosslyn, 1990)。

1971年，Shepard 跟他的同事們，要求受試者比較方向不相同的物體時，是否為相同的物體，也就是著名的心像旋轉作業(mental rotation task)，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)。這個結果指出了人們具有想像物體轉換的能力，並且發現心像旋轉過程需要時間，而認為受試者在心中轉換物體的過程，可能類似於物體在現實中轉換的方式(Wraga, Thompson, Alpert, & Kosslyn, 2003)。

二、關於心像旋轉作業上心像旋轉過程的理論及爭議

幾乎所有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)，指的是反應時間與兩個圖形間呈現時彼此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，大部分研究所得到的心像旋轉速率，大致上都差不多(D. J. Cohen & Kubovy, 1993)。

根據 Shepard 等人的研究，心像旋轉作業中的心智過程，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)。研究者們特別關心是影像在腦海中旋轉時那個階段的心智過

程。Shepard 及 Copper 等人依據他們的實驗結果，認為心像旋轉的過程，影像是整體(holistic)被運作的，像是物理界的實體般旋轉，旋轉角度越大，所需的旋轉時間越多(Cooper, 1975)。

在心像旋轉的研究上，人們如何完成心像旋轉作業的理論，如同心像如何表徵一般，不同的研究者也有著不同的看法。Shepard 等人主張心像旋轉的過程，是一個整體運作的(holistic)過程，像是個自然界實體的類比(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—心像旋轉的類比理論(analog theory)，Pylyshyn (1981)認為影像處理根本是一個奠基於抽象思考過程上的物理事件模擬，也就是這個心智過程是一個模擬物理運動的抽象思考，反對心像旋轉的歷程如同實體在物理世界類比現象的觀點，建議「抽象的計算的資料結構」比較適合作為視覺資訊的表徵形式。實驗上心像旋轉所需時間隨著角度變化，只是因為人們知道物理在空間移動時時間的變化。人們在影像處理時知道物體在空間移動時需要花時間的，且差距越多所需時間越多，因而不自覺地模擬著物理事件的變化。認為抽象的計算的資料結構比較適合作為視覺資訊的表徵形式。認為語意記憶模型的網路結構就可以用來作為此類型的特殊表徵結構。視覺物件的特徵與特徵(features)之間的關係可以由網路中的節點(nodes)與連結(links)來代表(Palmer, 1975; Pylyshyn, 1973, 1981, 2003)。也就是 Pylyshyn 認為影像是以特徵與特徵之間的關係來表徵的，影像的部件之間的關係可由少數參考點來計算，因此當心像旋轉時，則若圖形比較複雜時，參考點與各部件之間的關係比較多，必須分割處理，這樣的運算困難度增加造成反應時間增

加，當然角度增加反應時間亦增加。也就是說圖形越複雜的時候，反應時間隨著角度增加的「斜率」會增加(Pylyshyn, 1981)。

甚至有研究者指出，心像旋轉中的視覺心像的過程根本不需要(Marmor & Zaback, 1976)。在腦海中的影像表徵不可能類似於實體旋轉般有個影像存在並運作，而是一個抽象的概念與命題運算，結合其他概念運算後的結果(Pylyshyn, 2003)。

目前對於檢驗這兩種理論的實驗，多半是操弄著圖形的複雜度，探討心像旋轉階段時受試者的反應時間變化。在兩相對陣營的研究者的實驗中，目前的結果並不一致(Cooper, 1975; Cooper & Podgorny, 1976; Pylyshyn, 1981)。但大部分在心像旋轉作業中，傾向多元編碼的研究者，試圖使用不同的圖形重複這個作業，多半有一致性的發現—角度差與反應時間之間的線性關係(Jolicoeur, 1985; Jolicoeur et al., 1987; Jordan & Huntsman, 1990; Just & Carpenter, 1985)。但圖形的差異對受試者的影響效應略有不同，像是熟悉的圖形反應時間比較快，有練習效果(Jolicoeur et al., 1987)，但這練習效果無法遷移至新的圖形上(Jolicoeur, 1985)。

三、心像旋轉的性別差異以及困難

在空間認知能力上已被證明具有明顯的性別差異，具有男性優勢的心理作業包括 3D 圖形的心像旋轉、空間視覺化、空間知覺、迷途導航以及追蹤攔截物體等多像空間相關的能力(Kimura, 1999; Rahman, Abrahams, & Jussab, 2005; Rahman & Wilson, 2003; Voyer & Saunders, 2004; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995)。在許多空間相關心理作業中，心像旋轉作業的性別差異是最大的(Kimura, 1999; Linn & Petersen, 1985)。在不同的心像旋轉測驗中，大部分研究都會發現男女生的表現有差異，目前差異的起源還不清楚，但推測可能與大腦皮質的側化差異以及睪固酮組織活化的影響

有關(Collaer & Hines, 1995; Hines, 2004)。

在 Roberts 及 Bell(2003)的研究中，我們就發現在 2D 及 3D 的心像旋轉作業中，男女生的表現以及腦部活動區域並不太相同，在 2D 的心像旋轉作業中，男生女生的表現並沒有差異，但是活化區域的表現情況卻不太相同，男生的左頂葉活化大於右頂葉，而女生則相反，右頂葉活化大於左頂葉。但在 3D 的心像旋轉作業中，男女生的表現有差異，男生表現較女生好，但是在腦部活化情況，兩者卻非常類似，皆是右頂葉活化大於左頂葉。

無論使用何種認知神經科學大腦造影技術，都會發現這樣活化區域以及表現在男女生上的差異(Dietrich et al., 2001; Jordan, Wustenberg, Heinze, Peters, & Jancke, 2002; Tagaris et al., 1996; Weiss et al., 2003)。這樣的結果可能暗示著男女生在心像旋轉作業上的策略以及心智過程細節略有不同。因此，在研究有關心像旋轉作業上，必須考慮男女生的差異，不宜將兩者的資料混在一起分析。

四、心像旋轉在認知神經科學上的發現

在認知神經科學的研究上，多半發現空間相關的任務在右半大腦半球上活化情況大於左半球(Banich & Heller, 1998; Roberts & Bell, 2003)，特別是在頂葉的區域(parietal area)。在幾乎所有的空間任務中，受試者右頂葉區域活化情況遠大於左頂葉區域。研究發現許多區域參與心像旋轉作業中的心智活動(Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998)，除了頂葉區域外，還有聯合視覺(associative visual)、初級視覺(primary visual)、前運動(premotor)、額葉(frontal)、身體運動區(somatomotor area)、以及基底核(basal ganglia)(Ark, 2002; Weiss et al., 2003)。Kosslyn 等人則發現無論是使用不同的實驗方法及大腦造影技術都有一致的結果，運動皮質區在心像旋轉作業中參與運作(Barnes et al., 2000; M. S. Cohen et al., 1996; Kosslyn et al., 1998; Richter et al., 2000)。

不同的活化區域在心像旋轉作業中，可能代表著不同細節的心智運作，像是前運動區就被認為可能與動作的準備有關(Weiss et al., 2003)；枕葉區域則被認為與影像處理有關，枕葉顛葉通道(occipitotemporal pathway)與物體辨識有關，枕葉頂葉通道(occipitoparietal pathway)則與空間安排的判斷有關；前額葉區的活化可能與視覺空間工作記憶有關，特別是中額葉迴(middle frontal gyrus)被相信是儲存視覺空間工作記憶的區域；右頂葉區則與空間轉換有強烈的關係(Yoshino et al., 2000)；部分研究發現左前頂葉區的活化(Alivisatos & Petrides, 1997)，但這樣的發現被認為可能是使用了字母作為刺激材料的關係。

這些在心智旋轉任務中活化區域的分佈，或許可以告訴在心像旋轉作業中可能參與的心智活動有哪些，但是我們還是需要更進一步的研究在時間的向度上將這些細節釐清。

第四節 資源有限的視覺空間工作記憶能力

過去研究記憶的學者，有的將記憶系統的基本結構分成兩個部分：初級記憶及二級記憶(Waugh & Norman, 1965)。有的研究者則分成三個部分，感覺儲存(sensory stores)、短期儲存(a short-term store)以及長期儲存(a long-term store)(Atkinson & Shiffrin, 1968)。這樣的記憶系統結構認為環境訊息由感覺儲存接收，有不同的形式，而感覺儲存持有訊息的時間非常短暫，有些訊息被注意到後，進一步被短期儲存所處理，而在短期儲存的一些訊息最後會進入長期儲存(Eysenck & Keane, 2000)。這記憶系統的觀點似乎暗示著短期記憶在感覺儲存與長期記憶之間扮演出入口的角色，所有進入長期記憶的訊息必須先經過短期記憶的處理，但我們往往發現在處

理短期記憶的訊息前，必須先與長期記憶連結(Logie, 1999)。短期記憶除了負責資訊處理的規則外，還控制著進入長期記憶的資訊。

1974 年 Baddeley 及 Hitch 提出了工作記憶這樣的概念來取代短期儲存的想法。而這工作記憶系統主要具有三個組成成分：(1)視覺空間拍紙板(a visuospatial scratch)，主要在維持著視覺影像；(2)構音迴路(a phonological loop)，在語言理解上保留內在的言語(inner speech)，聽覺訊息可以維持約兩秒鐘；(3)中央執行單位(a central executive)，將注意力的活動與反應的管理結合；除了以上三個成分外，或許還包括了一些次要的子系統(slave system)表現其他的認知或知覺任務。工作記憶的主要組成成分是中央執行單位，其容量有限，負責處理任何被要求的認知作業，視覺空間拍紙板與語音迴路則是中央執行單位的子系統，複雜執行中央系統指定的特殊認知作業，例如視覺空間拍紙板儲存和操弄空間及視覺訊息，而語音迴路則保留著單字被呈現的順序(Eysenck & Keane, 2000; Sternberg, 1999)。

利用雙作業的實驗可以很容易地將視覺空間拍紙板與語音迴路分開，但至今對於視覺儲存特性的細節還在探索當中(Wesenick, 2003)。Philips(1974)利用在 4x4、6x6 及 8x8 的矩陣構成的黑白方塊圖區分出視覺空間短期記憶與感覺儲存(sensory store)，發現視覺空間短期記憶不受空間位置束縛、不會被遮蔽(mask)干擾，而且在一開始的前 600 毫秒內並不會流失資訊，這些資訊要超過 9 秒鐘以後才會慢慢地漏失。如果依序呈現不同的圖形時，受試者只能記住最後一次出現的圖形，視覺空間短期記憶只能夠負荷一個視覺顯示(visual display)，當新的圖形出現則覆蓋舊的資訊。

改變盲(change blindness)則是人類視覺上的另一個特殊現象。在改變盲的實驗中，前後出現的兩張圖可能會有一個物體或一個特徵發生改變，受試者的任務是要偵測這樣的改變。假如兩個圖形依序呈現中間沒有出現間隔，則任何圖形上的

改變很容易被發現。然而當前後出現的兩圖形中間有一個明顯的中斷或分心甚至只是個眨眼，則這個改變很難被受試者察覺。此外實驗還發現人們在眼球運動過程、眨眼或者電影剪接…等這些的干擾情況下，不只是無法偵測一個物體或特徵的改變，甚至無法看到視覺影像(visual scenes)上的大幅度變化，顯示著人類能從環境中有意識地接收到的視覺訊息非常有限(Rensink, 2000; Rensink, O'Regan, & Clark, 1997)。

人們一次到底可以儲存多少資訊量直到 1997 年 Luck 和 Vogel 的研究才引起學界廣泛的注意，這兩個的研究引發了另一個重要的議題：儲存在視覺空間工作記憶中的資訊的形式是什麼(Luck & Vogel, 1997; Wesenick, 2003)，儲存在視覺空間短期記憶中的資訊是數個特徵還是一個整合的物件。「能儲存多少資訊」與「資訊儲存的形式」兩問題是什麼相關。在能儲存多少資訊上，Luck 和 Vogel(1997)的研究發現視覺短期記憶無論是尺寸、顏色或方向…等特徵如何組成一個物件上，受試者的視覺短期記憶大約可以儲存四個物件。顯示儲存的資訊形式應為一個整合的物件。Wheeler 及 Treisman(2002)進一步提出雙重儲存機制假設(dual-storage mechanism hypothesis)，認為物體的儲存資訊應該包含特徵以及特徵與特徵如何組合(binding)的資訊，不同的特徵系統有自己獨有的儲存區，組合關係的儲存並不耗費各別特徵的容量(Wheeler & Treisman, 2002)。

比較在心像上的 Kosslyn 的 CRT 理論中的空間媒介(the spatial medium)與 Baddeley 視覺空間短期記憶理論上的視覺空間拍紙板的概念的關連。雖然 Kosslyn 談論的主要是在心像上的理論，但他所主張的空間媒介是被用來操弄視覺影像的，與 Baddeley 的概念類似。此外兩者維持視覺影像存在的時間都非常的短，也都需要「更新」。因此在研究心像時，視知覺上的發現也同樣必須重視。若在視覺知覺上維持視覺影像在腦海中的時間是這樣的短，當圖形的特徵複雜時，想要

在腦海中維持影像的存在同時又需要做影像的轉換，我們如何在有限的視覺空間記憶能力下完成需要的任務？因此，任何關於視覺空間能力轉換的理論除了必須要考慮視覺空間的心智表徵的形式外，還必須考慮這樣的形式在有限工作記憶能力下是否能夠執行轉換的歷程，或者是視覺空間轉換的心智歷程必須配合工作記憶能力而再分割成更小的單位來執行。

第參章 研究方法

本章分四節，分別為研究設計、研究流程、實驗方法及資料收集與分析進行說明。其中實驗方法及資料收集與分析部分，將詳細敘述本研究進行的每一個實驗之實驗設計理念，實驗過程及步驟，及實驗數據分析方法。

第一節 研究設計

本研究採實驗研究法，受試者皆為 18~35 歲大專院校之大學部或研究所男學生，不同的實驗的受試者並未重複，且皆以刊登廣告（BBS 或是網頁上）的方式徵求自願者，實驗完成後，依實驗性質考量，給予測試費 100~250 元新台幣。依據不同的研究問題，共設計了六個實驗。

第一個實驗試圖回答第一個研究問題，探究圖形刺激材料的複雜度與整體性是否會影響受試者在心像旋轉階段的反應時間。參考過去相關研究的實驗，發現過去研究的實驗刺激材料可能並未考慮更細微的因素，因此本實驗重新設計了不同的實驗刺激圖，再次探討圖形複雜度在心像旋轉作業中的作用，並另行探討圖形整體性與心像旋轉現象的關係。

第二個實驗同實驗一回答第一個研究問題，探究圖形的複雜度與整體性在不同的判斷要求下，是否會影響受試者在心像旋轉階段的反應時間。

第三個實驗結果試圖回答第二個研究問題，探究心像旋轉階段是否具有更細微的心智歷程。本實驗利用方向線索的不同的實驗設計，企圖將心像旋轉階段可

能的心智歷程分開。

第四個實驗同實驗三回答第二個研究問題，探究心像旋轉過程中更細微的心智歷程的特質。本實驗利用圖形部分部件作為方向線索，探究不同方向線索對於心像旋轉的影響。

第五個實驗則探討第三個研究問題，也就是心像旋轉階段的視覺空間圖形的心智表徵在動態的轉換中可能的形式，測試受試者心像旋轉時視覺表徵是否是完整的。

第六個實驗則回答第四個研究問題，也就是探究心像旋轉作業中，第一個階段圖形視覺資訊進入眼中的眼動型態，是否與心像旋轉作業中的眼動型態有關連。

第二節 實驗方法

本研究設計了六個實驗分別來探究不同的研究問題。以下將詳細說明。

實驗一

圖形複雜度與整體性在心像旋轉作業中的影響

實驗說明

由前述文獻得知，Shepard 及 Cooper 等人依據他們的實驗結果，主張心像旋轉作業中，是一個整體的(holistic)運作過程，像是個自然界的類比(analog)(Cooper,

1975; Cooper & Podgorny, 1976; Cooper & Shepard, 1973a, 1973b, 1975)。Palmer 及 Pylyshyn 等人則認為影像處理的根本，是模擬物理事件的抽象思考過程，認為影像是以特徵與特徵之間的關係來表徵的，影像的部件之間的關係可由少數參考點來計算，當圖形越複雜的時候，反應時間隨著角度增加的「斜率」會增加(Pylyshyn, 1981)。

分割觀點與整體觀點都認為反應時間會隨著角度增加而增加，但分割論者認為圖形複雜度也會影響心像旋轉的過程，而整體論者則不這樣認為。前者預測反應時間與角度變化的斜率會隨著圖形複雜度而改變，後者則認為斜率不會隨著圖形複雜度改變。但這些觀點各自有不同的實驗支持，這很可能是因為不同實驗使用的刺激材料本身特性的差異造成的，因此本實驗重新設計圖形刺激重新探究圖形刺激特性對心像旋轉現象的影響。

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，採用較不具有任何意義的隨機方塊組成的抽象圖形作為實驗材料。企圖藉由操弄圖形的複雜度 (complexity) 及圖形的整體感(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。在整體感上，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體性圖形與低整體性圖形。

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，讓受試者不自覺地模擬圖形在物理世界的旋轉。

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。測試費為新台幣 100 元。

實驗刺激材料

依據圖形複雜度與整體感，本實驗之圖形材料分為以下四類（見圖 3-1-1）。圖形中包含線條與方塊，線條有一條線或三條線兩種，可作為圖形的參考軸；方塊數目則有兩個方塊或五個方塊兩種。因此本實驗中的圖形種類可以分成「一條線與兩個方塊」、「一條線與五個方塊」、「三條線與兩個方塊」和「三條線與五個方塊」四類，每一類各有 16 種圖形，每一種圖形中的方塊不相同。

當圖形中的有三條線時，相較於只有一條線的圖形，線條與方塊比較容易連結在一起，因此擁有三條線的圖形在本實驗中定義為整體性較高的圖形。而五個方塊的圖形相較於兩個方塊的圖形多，因此定義為複雜度較高的圖形。因此，圖 3-1-1 之 a、b、c 及 d 圖分別為一條線兩個方塊（低整體性低複雜度）、一條線五個方塊（低整體性高複雜度）、三條線兩個方塊（高整體性低複雜度）以及（高整體性高複雜度）之圖形。

為了避免一條線且五個方塊的圖形因方塊分佈產生兩兩相連結，造成視知覺上差異過大，因此控制此類圖形中的「線條與方塊的分佈」皆為四件(one line and five squares, but four pieces)。以圖 3-1-1 之 b 圖為例，圖形中有一條線與五個方塊，但是當方塊與方塊連接時就形成一件(one piece)，當方塊與線條連接時也形成一件，整個圖形中雖有一個線條與五個方塊，但是圖形部件的分佈為四件。

實驗中所有「No 反應嘗試」的圖形與原圖（又稱「標準圖」）互為鏡像（圖

3-1-2)。

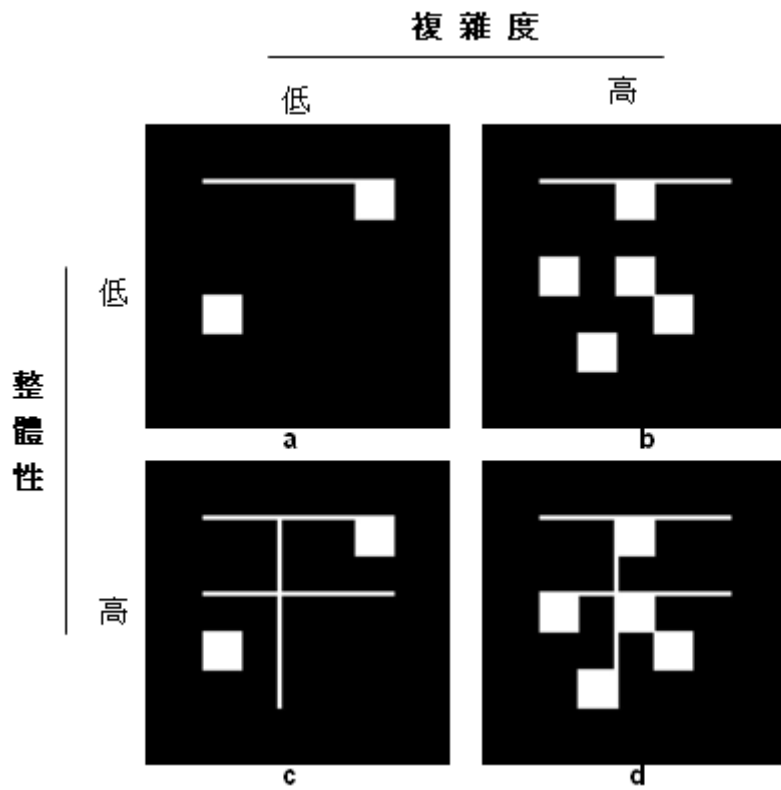


圖 3-1-1：實驗一實驗刺激材料的四種圖形範例

圖中由左至右因為圖形複雜度增加（方塊數由 2 變成 5），由上至下圖形整體性增加（參考軸線由 1 變成 3）。



圖 3-1-2：實驗一實驗刺激材料中「互為鏡像圖」之圖形範例

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 window XP 環境下執行實驗及記錄數據。

實驗設計

本實驗設計為依據整體性（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 128 個嘗試作答後受試者可以休息約 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相同的圖形。

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(trial)皆先呈現一個十字符號 500 毫秒，告知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 毫秒至第二張圖形（標的圖）出現，第二張圖形呈現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 3-1-3）：

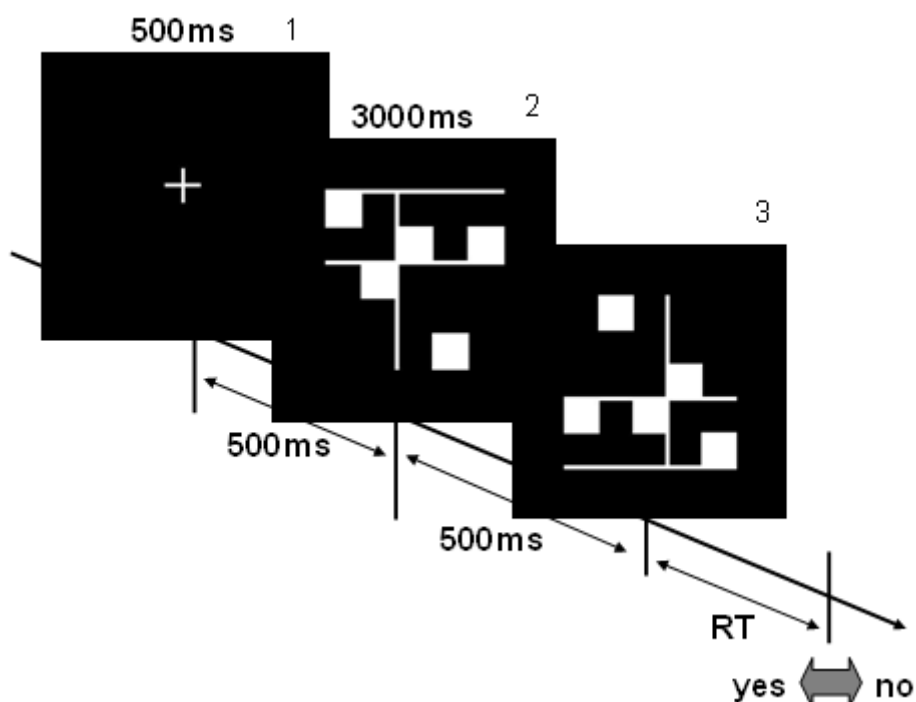


圖 3-1-3 實驗一之實驗程序

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 3-1-3 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 3-1-3 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 3-1-3 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。

實驗資料收集與分析

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（正確率計算是包含已被剔除反應

時間之該筆資料)

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，平均反應時間進行相依樣本變異數統計分析，執行 2（整體性：一個線條或三個線條）x 2（複雜度：兩個方塊或五個方塊）x 3（角度差異：0 度、90 度或 180 度）三因子變異數分析，以及 2（整體性：一個線條或三個線條）x 2（複雜度：兩個方塊或五個方塊）x 2（角度差異：90 度或 180 度）變異數分析。

實驗二

不同判斷要求下圖形刺激材料的複雜度與整體性的影響

實驗說明

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，有可能是因為在作業中採用的判斷要求不同，因此受試者不需要轉換部分部件即可作答，本實驗改變作業中的要求，請受試者判斷依序出現的兩張圖形是否為相同的圖，讓受試者必須做更精確的轉換與判斷。

受試者

12 名 18~35 歲國立陽明大學以及國立台灣師範大學之大學部或研究所男生，均具有矯正後的視力正常（實驗二與實驗一之受試者並無重疊）。其中一位受試者因正確率不到 70%，故該受試者資料整筆刪除。實驗中進行資料分析的人數為 11 人。

實驗材料

本實驗之圖形材料種類同實驗一。另外製作「No 嘗試」的圖形（相對於「Yes 反應」的「相同圖」，這裡簡稱「不同圖」）。所有「不同圖」與原圖只有一個方塊位置不同的差異（圖 3-2-1）。



圖 3-2-1：實驗二之實驗刺激材料的相同圖與不同圖的圖形範例

實驗設備

同實驗一。

實驗設計

同實驗一，本實驗設計為依據整體性（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 128 個嘗試作答後受試者可以休息約 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相同的圖形。

本實驗與實驗一不同的地方，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。因此相對於「Yes 嘗試」的圖的相同圖，在此稱為「不

同圖」。

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 3-2-2 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）。

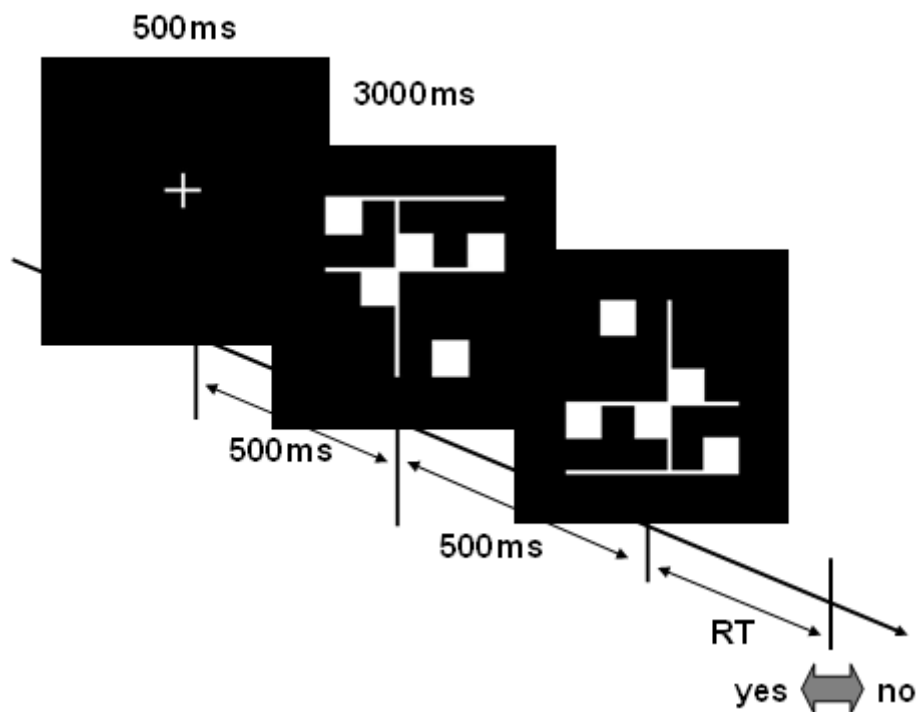


圖 3-2-2 實驗二之實驗程序

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。

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，螢幕的背景皆為黑色，實驗中每個嘗試(trial)皆先呈現一個十字符號 500 毫秒，告知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 毫秒至第二張圖形（標的圖）出現，第二張圖形呈現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 3-2-2）：

1. 一個十字符號出現在黑色的背景螢幕中央 500 毫秒（圖 3-2-2 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 3-2-2 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 3-2-2 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。

實驗資料收集與分析

類同實驗一之資料收集及分析方式。因為本實驗對於圖形判斷的精準度要求較實驗一高，因此資料處理時（見資料處理步驟之第 4 點）刪除極端值的標準比較高。

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 1.5 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
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，平均反應時間進行相依樣本變異數統計分析，執行 2（整體性：一個線條或三個線條）x 2（複雜度：兩個方塊或五個方塊）x 3（角度差異：0 度、90 度或 180 度）三因子變異數分析，以及 2（整體性：一個線條或三個線條）x 2（複雜度：兩個方塊或五個方塊）x 2（角度差異：90 度或 180 度）變異數分析。

實驗三

方向線索對心像旋轉現象的影響

實驗說明

根據視覺工作記憶能力有限的概念，人類似乎不太可能維持住複雜圖形的所有特徵作為心像旋轉的表徵。人類或許具有心像旋轉的能力，但是這個能力是有限的。因此，本實驗要探討當圖形複雜度高時，心像旋轉的運作是如何達到目的。依據有限工作記憶能力的概念，在圖形複雜度高時，心像旋轉的歷程可能分成兩個階段，第一個階段是先旋轉一個參考軸或是一個簡單的圖形（複雜圖形的大致輪廓或是架構），第二個階段再把圖形的細節添加上去。

因此本實驗首先操弄不同的方向線索(orientation cue)來觀察心像旋轉的過程是否有上述兩個階段。我們認為當方向線索可以作為一個參考軸時，則初步的參考軸的旋轉已經完成，受試者在判斷兩張圖是否相同時，不再需要旋轉參考軸。因參考軸已經旋轉好了呈現在螢幕上了，受試者只需要在參考軸上把圖形的細節添加上去，就能判斷兩個圖形是否相同，也就是說受試者的反應時間將不隨著角度變化。

本實驗企圖回答，在 Shepard 及 Cooper 等人在心像旋轉作業的中發現的「反應時間不受圖形複雜度影響，只隨著角度變化的結果」是否是因為方向線索造成。因此本實驗操弄不同的方向線索來回答這個問題。

受試者

15 名 18~35 歲自願參與的國立陽明大學大學部及研究所之男同學，矯正後的

視力均正常（其中 1 位受試者曾參與實驗一之實驗，但時間間隔已超過半年）。受試者費 200 元。15 名參加實驗的受試者中有一位因正確率太低，故整筆資料刪除。因此本實驗最後進行資料分析之人數為 14 人。

實驗材料

取實驗一中所使用的「一個參考軸且五個方塊」的 16 種圖形，作為本實驗之實驗刺激圖形。未避免受試者重複看到太多次相同的圖形，另外製作 16 種的同為「一個參考軸且五個方塊」的圖形以增加圖形的種類。總共有 32 種圖形。

實驗設備

同實驗一。

實驗設計

為探討不同的方向線索在心像旋轉作業中的影響。本實驗採用了兩種方向線索，一個是過去研究常使用的箭頭符號作為線索，另一個則是以本實驗刺激材料特有的參考軸作為方向線索。並使用區組設計(block design)，在實驗中以箭頭為線索的嘗試與以參考軸為線索的嘗試分屬兩個不同的區組。受試者必須完成兩種區組的實驗。受試者先進行哪一個區組，則隨機分配。

本實驗設計依據不同的方向線索、判斷標準與標的圖的角度差異，共計有 8 種情境。每一種情境各有 64 個嘗試(trials)，其中 Yes 反應與 No 反應嘗試各半。每一個受試者在實驗中的兩個區組中分別完成 256 個嘗試，共 512 個嘗試。本實驗不同的圖形刺激材料在每個嘗試中隨機呈現。

實驗指導語皆告知受試者記憶第一張圖形，當方向線索出現時，該方向線索表示隨後出現的第二張圖的方向，請受試者盡快地想像第一張圖形在此方向線索表示的方向的樣子。受試者儘快想像完成後按鍵，此時電腦螢幕立刻出現第二張圖，受試者儘快判斷第二張圖是否與第一張圖相同，並再次按鍵反應，若相同，則按滑鼠左鍵，若不同，則按滑鼠右鍵。因此實驗中，受試者要回答的問題同實驗一與實驗二，依然是「判斷第二張圖與第一張圖是否相同？」。

實驗程序

實驗進行時，螢幕正中央距離受試者眼睛約 60cm，受試者可自行調整座位。

實驗過程中，螢幕的背景皆為黑色，實驗中每個嘗試(trial)皆先呈現一個十字符號 100 毫秒，告知受試者實驗圖形即將出現，十字符號消失後，黑色背景持續 100 毫秒，接著呈現第一張圖形，第一張圖圖形在螢幕呈現 3000 毫秒後圖形消失（受試者必須在這段期間內記憶這張圖形），圖形消失後間隔 50 毫秒呈現方向線索，方向線索持續呈現直到受試者按鍵反應（以左手按鍵盤的空白鍵）。當受試者認為自己已經想出第一張圖在方向線索所表示的方向下的樣子時按空白鍵，按鍵後螢幕將立刻呈現第二張圖（標的圖），同時受試者要儘快判斷該圖是不是與他所想像的樣子相同，若相同，則按左鍵，若不同則按右鍵。

每一次嘗試中若受試者未在 3 秒內做出第二次按鍵反應，第二張圖即消失，並開始下一個嘗試。圖 3-3-1 及 3-3-2 分別為兩種方向線索情境的區組實驗程序。

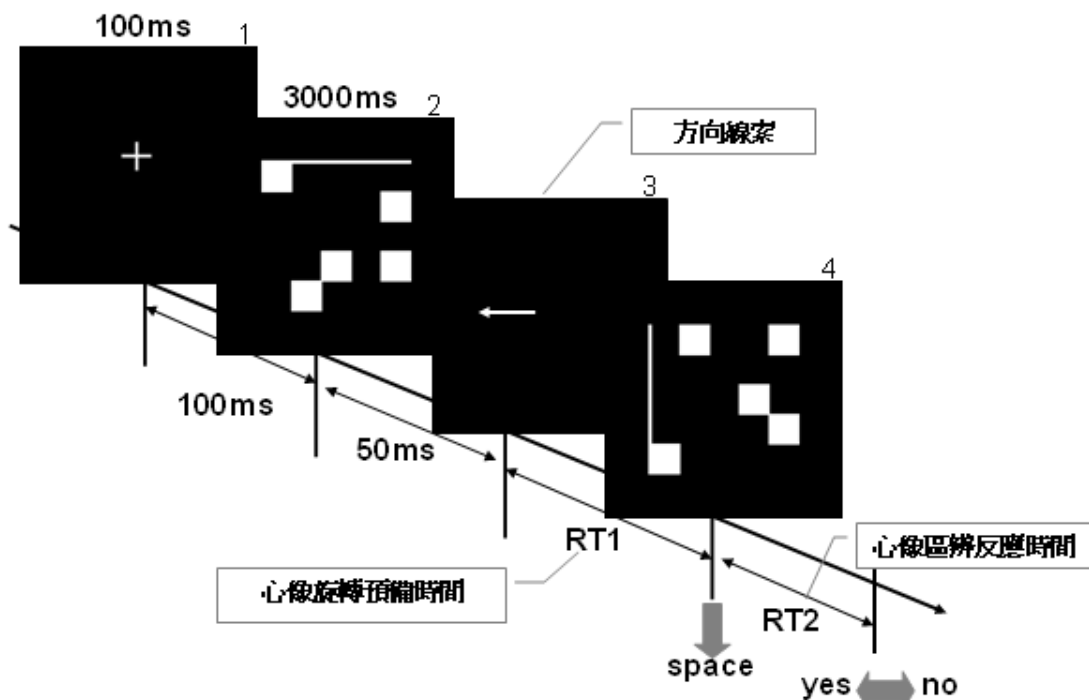


圖 3-3-1 實驗三之實驗程序 (以箭頭作為方向線索)

RT1 表示第一個反應時間；RT2 表示第二個反應時間。space 表示當受試者在心像旋轉好第一個圖形時，按鍵盤空白鍵(space)。yes/no 表示受試者作答時，如果認為答案是「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。

實驗中每一個嘗試的圖形出現程序以下分點敘述：

1. 十字符號出現在螢幕上持續 100 毫秒後消失 (圖 3-3-1 及圖 3-3-2 的 1)。十字消失後螢幕呈現黑色的背景 100 毫秒。
2. 標準圖出現在螢幕上持續呈現 3000 毫秒後消失(圖 3-3-1 及圖 3-3-2 的 2)。圖消失後螢幕呈現黑色背景 50 毫秒。(記錄標準圖出現的時間點)
3. 方向線索出現在螢幕上直到受試者按鍵才消失(圖 3-3-1 及圖 3-3-2 的 3)。(記錄方線線索出現的時間點)
4. 記錄受試者第一個反應的按鍵類型與時間點。
5. 標的圖出現在螢幕上持續至受試者按鍵後消失(圖 3-3-1 及圖 3-3-2 的 4)。

若受試者在 3 秒內未作答則標的圖消失，實驗準備進行下一個嘗試。(記錄標的圖出現的時間點)

6. 記錄受試者第二個反應的按鍵類型與時間點

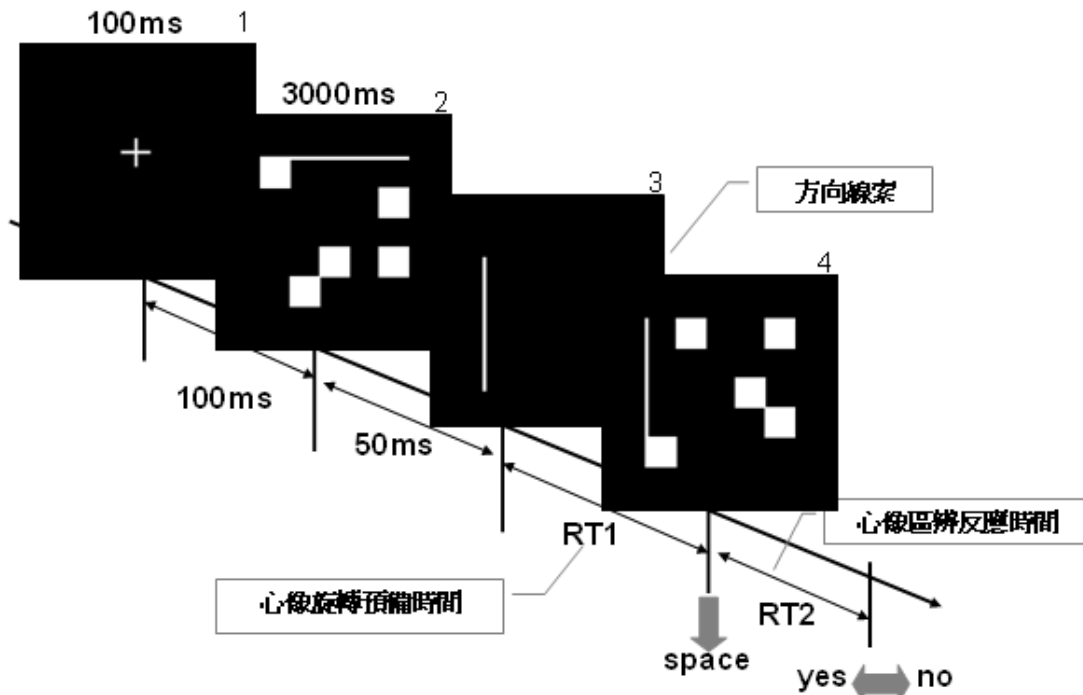


圖 3-3-2 實驗三之實驗程序 (以參考軸作為方向線索)

RT1 表示第一個反應時間；RT2 表示第二個反應時間。space 表示當受試者在心像旋轉好第一個圖形時，按鍵盤空白鍵(space)。yes/no 表示受試者作答時，如果認為答案是「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。

實驗資料收集及分析

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：200（毫秒）
3. 記錄方向線索出現的時間點：3250（毫秒）。
4. 記錄受試者第一個反應之按鍵類型及時間點：3250+RT1（毫秒）。記錄標的圖的圖形代號，以及標的圖出現的時間點：3250+RT1（毫秒）。
5. 記錄受試者第二個反應的按鍵類型，以及按鍵時間點：3250+RT1+RT2（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. 計算受試者第一個反應的按鍵時間點與方向線索出現時間點之間隔，這個時間間隔為該嘗試的第一個反應時間(RT1)。
2. 計算受試者第二個反應時間點與標的圖出現的時間點之時間間隔，為該嘗試之第二個反應時間(RT2)。
3. 判斷受試者在該嘗試中第二個反應作答正確與否，若該作答不正確，剔除該筆數據之所有反應時間資料
4. 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
5. 當 RT1 反應時間高於或低於平均值 1.5 個標準差，或 RT2 大於平均值 2 個標準差之數據時，該筆嘗試之反應時間資料整筆刪除
6. 計算剔除上述第 5 點數據後之每一個情境的平均反應時間
7. 計算每一情境中的所有嘗試之正確率
8. 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，將 14 位受試者之第一個區組（階段一）RT1 之平均反應時間及錯誤率，分別執行兩次變異數分析，一次是反應時間的，一次是錯誤率的。組間 2（方向線索：箭頭或線條）x 組內 2（角度差異：90 度與 180 度）二因子混合變異數分析。

實驗四

心像旋轉作業中圖形刺激的部件對心像旋轉現象的影響

實驗說明

同實驗三，根據視覺工作記憶能力有限的概念下，測試心像旋轉階段可能的歷程。也就是心像旋轉的歷程分成兩個階段，第一個階段是先旋轉一個參考軸或是一個簡單的圖形（複雜圖形的大致輪廓或是架構），第二個階段再把圖形的細節添加上去。本實驗企圖回答「心像旋轉歷程中是否包含細微的兩歷程存在？」這個研究問題。

因此本實驗首先操弄不同的圖形刺激部件呈現作為來觀察心像旋轉的過程是否有上述兩個階段。我們認為當可以做為參考軸的部件先出現時，可以幫助受試者完成初步的參考軸的旋轉，當完整的圖形隨後出現，受試者只要重構圖形的細節即可完成心像旋轉歷程。若先出現的是不適合作為參考軸的部件，會使受試者在心像旋轉中的參考軸旋轉歷程受到干擾，影響受試者的反應時間。

指導與同實驗一，要求受試者儘快回答標地圖（第二張圖）與標準圖（第一張圖）是否相同。

受試者

10 名 18~28 歲國立台灣師範大學理學院之大學部或研究所的男學生，均具有矯正後的視力正常。一名受試者之正確率未超過 7 成，故該受試者資料整筆刪除。最後有 9 名受試者資料進行實驗分析。

實驗材料

本實驗的標準圖與標的圖與實驗三相同。圖形部件的呈現則分成，「標的圖的參考軸部件」以及「標的圖的方塊部件」兩種。

實驗設備

同實驗一。

實驗設計

為探討圖形刺激材料的部件呈現在心像旋轉作業中的影響。本實驗在第二張圖形出現前，閃過一個受試者可以讓受試者知覺到的標的圖圖形部件。

本實驗設計依據圖形部件呈現種類、標準圖與標的圖(target)的角度差異以及旋轉角度變化，共計有 8 種情境。每一種情境各有 32 個嘗試（涵蓋 32 種圖形），其中 Yes 反應與 No 反應嘗試各半。每一個受試者在實驗中完成 256 個嘗試。實驗中不同的圖形刺激材料在每個嘗試中隨機呈現。

實驗指導語要求受試者對依次出現的圖形做判斷，判斷兩個圖形是否為相同圖或不同圖，並忽略每一個嘗試中（因圖形部件圖出現時）的閃爍。

實驗程序

實驗過程中，螢幕的背景皆為黑色，實驗中每個嘗試(trial)皆先呈現一個十字符號 500 毫秒，告知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，接著呈現第一張圖形，圖形在螢幕呈現 3000 毫秒後圖形消失，受試者必須在這段期間內記憶這張圖形，圖形立即呈現第二張圖形的部分部件（參考軸或方塊）200 毫秒，部分部件圖消失後立刻呈現標的圖至受試者作答。受試者儘快地判斷標的圖是否為相同圖，若是則按左鍵，若不是則按右鍵。

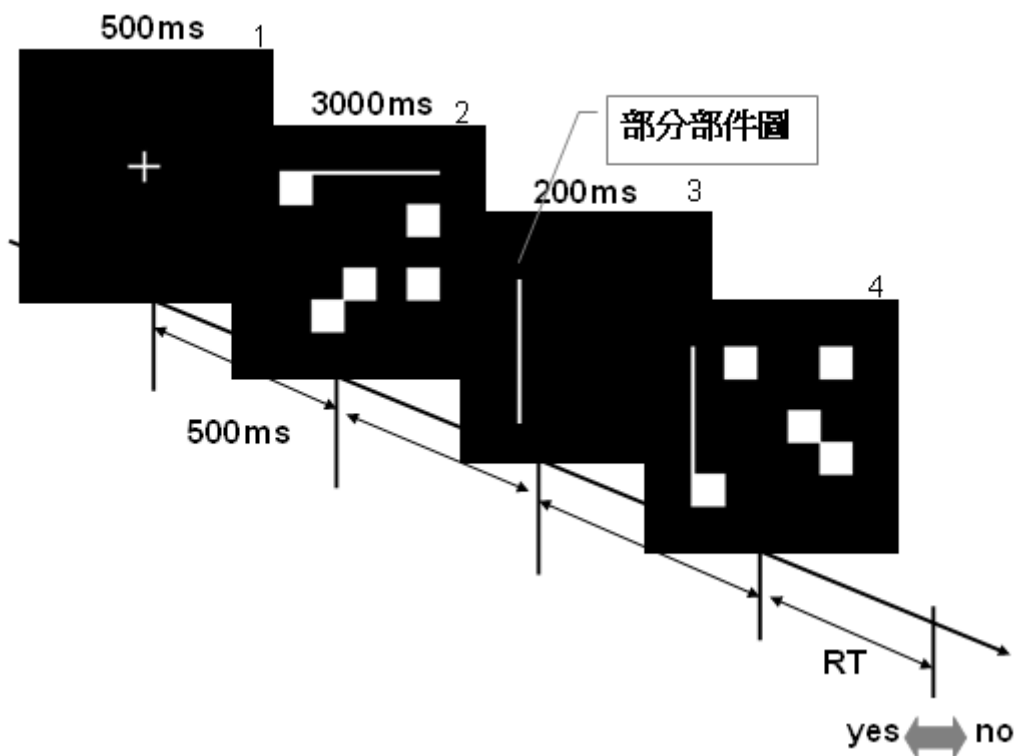


圖 3-4-1 實驗四之實驗程序—部分部件圖為標的圖的線條部件

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

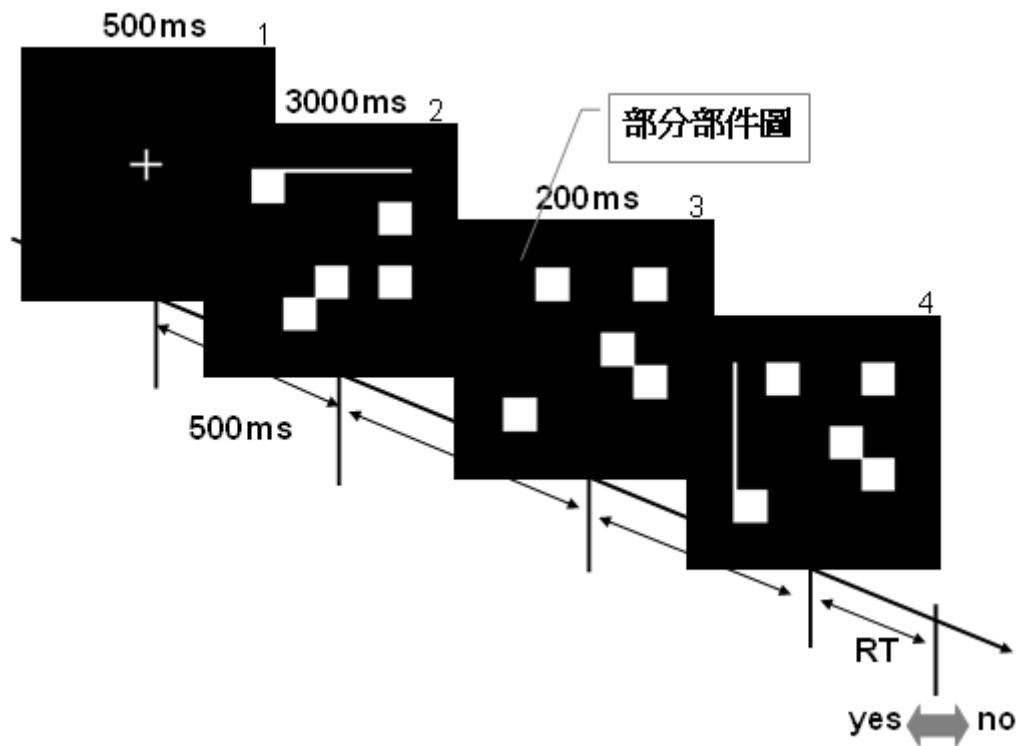


圖 3-4-2 實驗四之實驗程序—部分部件圖為標的圖的方塊部件

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

實驗中每一個嘗試的圖形出現程序以下分點敘述：

1. 十字符號出現在螢幕上持續 500 毫秒後消失（圖 3-4-1 及圖 3-4-2 的 1）。十字消失後螢幕呈現黑色的背景 500 毫秒。
2. 標準圖出現在螢幕上持續呈現 3000 毫秒後消失（圖 3-4-1 及圖 3-4-2 的 2）。（記錄標準圖出現的時間點）
3. 部分部件圖出現在螢幕上呈現 200 毫秒後消失（圖 3-4-1 及圖 3-4-2 的 3）。（記錄部分部件圖出現的時間點）
4. 標的圖出現在螢幕上持續至受試者按鍵後消失（圖 3-4-1 及圖 3-4-2 的 4）。若受試者在 3 秒內未作答則標的圖消失，實驗準備進行下一個嘗試。（記

錄標的圖出現的時間點)

6. 記錄受試者反應的按鍵類型與時間點

實驗資料收集及分析

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. 記錄部分部件圖出現之時間點：4000（毫秒）
3. 記錄標的圖之圖形代號，以及標的圖出現的時間點：4200（毫秒）
4. 記錄受試者按鍵類型，以及按鍵時間點：4200+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 1.5 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
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，平均反應時間進行相依樣本變異數統計分析，執行 2（圖形部件：方塊部件或參考軸部件）x 3（角度差異：0 度、90 度或 180 度）二因子變異數分析。

實驗五

心像旋轉作業中心像表徵的完整性測試

實驗說明

因人類視覺工作記憶能力有限，若想要瞭解心像旋轉時的視覺表徵是怎樣的情況，我們必須試圖檢測受試者在心像旋轉中的視覺表徵的完整性。若要檢測受試者在旋轉影像時的表徵是否完整，則必須要降低受試者在記憶圖形上的負擔，所以本實驗事先告知受試者要檢測的圖形方向，操弄第一張圖形的呈現時間，要求受試者儘快的去旋轉第一張圖至該方向。然後標的圖只出現旋轉結果的部分方格，請受試者確定該方格是不是在該方向的圖形正確位置上。

本實驗探究在心像旋轉階段，受試者在腦海中旋轉一個影像時，該影像表徵是否是完整的？也就是說，圖形旋轉是整體的(holistic)或分割的(piece-meal)?

本實驗操弄刺激圖形的呈現時間，測試受試者在心像旋轉後是否能分辨圖形表徵的部分部件位置。

受試者

21 名 18~35 歲男性，均具有矯正後的視力正常（其中 3 位受試者曾參與實驗一之實驗，但時間間隔已超過半年）。其中一位在某些情境中的作答完全不正確，無正確的反應時間結果可以分析，故整筆資料刪除。本實驗最後分析 20 位受試者之實驗資料。

實驗材料

標準圖同實驗三之實驗刺激圖形，每一個圖形有一個參考軸與五個方塊，共 32 種。標的圖呈現標準圖中的一個方塊，方塊位置可能與標準圖的某一方塊位置相同或不同。

實驗設備

同實驗一。

實驗設計

為探究心像旋轉作業中的視覺表徵完整性。本實驗將操弄刺激圖形的呈現時間，觀察受試者在不同呈現時間下的正確率變化。刺激圖形呈現時間(display time, DT)分別為 500 毫秒、1000 毫秒、1500 毫秒、2000 毫秒以及 2500ms 五種。依據呈現時間變化及旋轉角度變化，共 20 種情境。每個情境有 64 個嘗試（涵蓋 32 種圖形），其中 Yes 反應與 No 反應各半。因一個受試者無法做完全的可能性，所以每四個受試者配對完成一整組嘗試。每一個受試者在 20 情境中，每一個情境完成 16 個嘗試（涵蓋 32 種圖形），其中 Yes 反應與 No 反應各半，共 320 個嘗試。每完成 160 個嘗試後休息約 5~10 分鐘。

實驗指導語要求受試者在看到標準圖時，儘可能快速地「旋轉」標準圖至方向線索所表示的方向的樣子，再看到標的圖時判斷標的圖上的方塊位置在不在正確的位置上。

實驗程序

實驗中每個嘗試(trial)皆先呈現一個十字符號 500 毫秒，告知受試者實驗圖形即將出現，十字符號消失後，黑色背景持續 100 毫秒，接著呈現方向線索 300 毫秒後消失。當方向線索消失後，立刻呈現第一張圖，這張圖呈現的時間在每一個嘗試中不同，受試者必須在這段期間內盡可能迅速地旋轉這張圖形至方向線索的方向，第一張圖形消失後立即呈現第二張圖（標的圖），受試者儘快判斷該圖中的方塊是不是在他心像旋轉後的圖形內（位置是否正確），按鍵反應，若方塊位置正確，則按左鍵，若錯誤則按右鍵。若受試者一直未做出反應，則第二張圖將持續呈現三秒鐘後消失，開始下一個嘗試（見圖 3-5-1）。

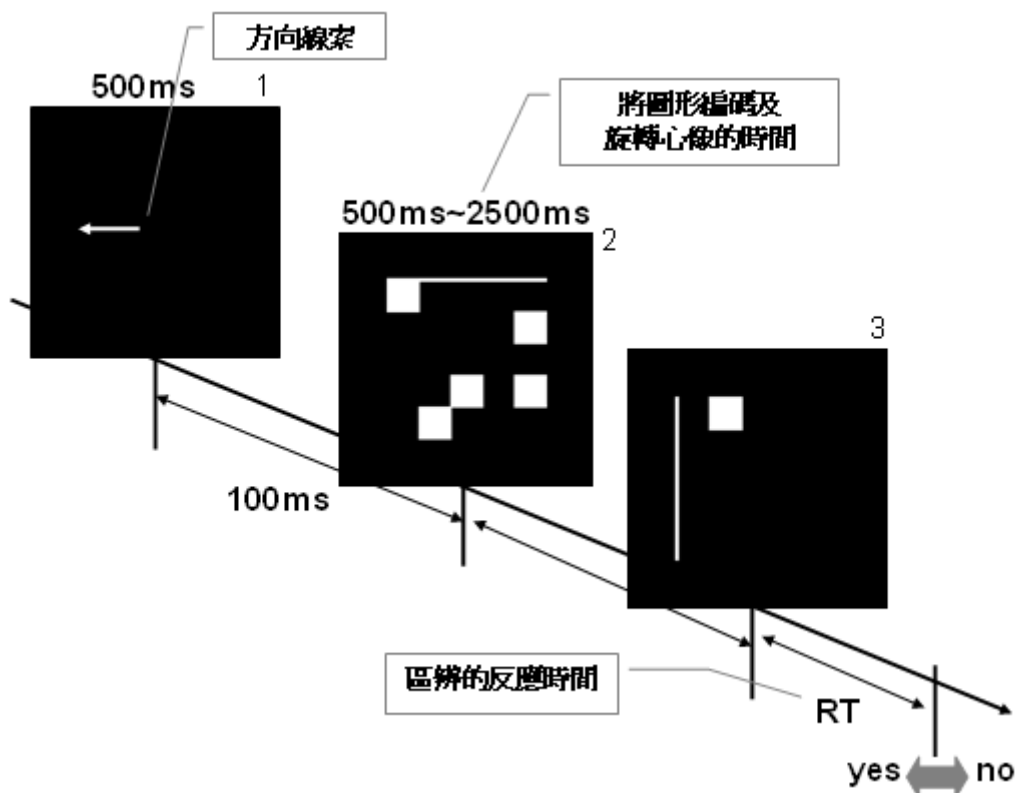


圖 3-5-1 實驗五之實驗程序

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

實驗中每一個嘗試的圖形出現程序以下分點敘述：

1. 方向線索出現在螢幕上持續 500 毫秒後消失（圖 3-5-1 的 1），方向線索消失後螢幕呈現黑色的背景 100 毫秒
2. 標準圖出現在螢幕上（圖 3-5-1 的 2）持續呈現 500 至 2500 毫秒不等（依據「呈現時間變項」共五種）後消失。（記錄標準圖出現的時間點）
3. 標的圖出現在螢幕上持續至受試者按鍵後消失（圖 3-5-1 的 3）
4. 記錄受試者反應的按鍵類型與時間點。

實驗資料收集及分析

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. 每一個嘗試中方向線索出現的時間點標為 0
2. 記錄標準圖之圖形代號，以及標準圖出現的時間點：600（毫秒）
3. 記錄標準圖之呈現時間：DT（毫秒）
3. 記錄標的圖之圖形代號，以及標的圖出現的時間點：600+DT（毫秒）
4. 記錄受試者按鍵類型，以及按鍵時間點：600+DT+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 1.5 個標準差之數據
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
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，平均反應時間進行相依樣本變異數統計分析，執行 5（圖形呈現時間：500 毫秒、1000 毫秒、1500 毫秒、2000 毫秒或 2500 毫秒）x 3（角度差異）二因子變異數分析。進行 90 度時與 180 度時各呈現時間的平均值的 t 檢定。

實驗六

心像旋轉作業中的眼睛運動掃瞄軌跡

實驗說明

根據 Kosslyn 的研究發現，我們在注視視覺圖形時的，眼動的型態紀錄著圖形的空間訊息，在知覺圖形時的眼動型態與想像同一圖形時的眼動型態類似。這暗示著眼動的肌肉知覺紀錄著視覺表徵的空間索引。

本實驗試圖找尋在心像旋轉作業中，可以量化「圖形知覺時的訊息輸入編碼

的眼動型態」與「心像旋轉時的眼動型態」的相關性指標，探索「圖形知覺時的訊息輸入編碼的眼動型態」與「心像旋轉時的眼動型態」是否相關？心像旋轉作業中的眼動型態可否得知圖形的參考軸的重要性？

受試者

9 名 18~35 歲國立政治大學文、理及商學院之大學部以及研究所男學生，矯正後的視力皆正常。受試者費 150 元。其中 1 名受試者的眼球運動位置常常跑出呈現刺激的電腦螢幕之外造成實驗資料無法處理，故刪除整筆資料。

實驗材料

圖形刺激材料方塊分佈同實驗三中一條參考軸且五個方塊的圖形，共 32 種。圖形刺激的範圍為 520x520 pixel，呈現在 1024x768 pixel 的黑色背景螢幕中央。

實驗設備

iView X Hi-speed 眼球運動軌跡追蹤系統，每分鐘可取得 500 次眼球移動位置的資料。系統由兩台個人電腦分別為實驗者電腦(Operator PC)與受試者電腦(Subject PC)，及含攝影機的框架所組成。

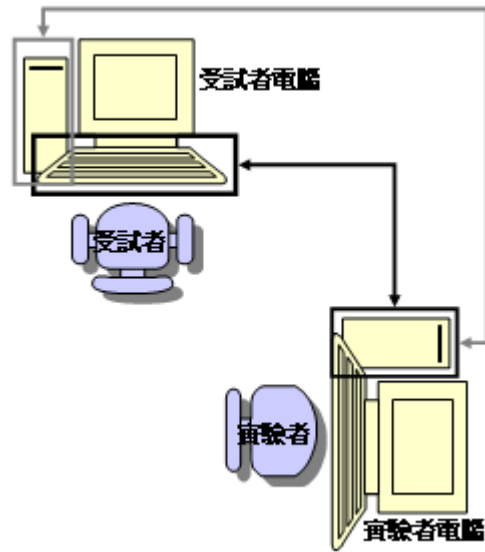


圖 3-6-1：眼動儀的基本系統設備

眼動儀的基本系統設備包含實驗者電腦以及受試者電腦。實驗者電腦的主機與受試者電腦的主機以網路線連接溝通，受試者電腦會傳遞刺激呈現及受試者反應的資訊至實驗者電腦)

實驗者電腦負責監看並記錄眼動資料，受試者則負責呈現實驗的刺激材料（圖 3-6-1）。兩台電腦以乙太網路現連接，互相傳送眼球位置與實驗資訊。呈現刺激的電腦使用 ViewSonic G90FB-CRT19”之 19 吋螢幕，螢幕呈現畫面之實際寬度為 365mm，實際長度為 275mm，螢幕與頭部的距離為 740mm。實驗刺激呈現程式由 matlab 軟體（2006b 版）編譯，在 window XP 環境下執行。

實驗設計

本實驗操弄參考軸呈現方位，分別在參考軸在上方或下方。實驗設計為 2(參考軸方位變化) x 4 (旋轉角度：0 度、左 90 度、180 度、右 90 度)，共計有 8 種情境。每一種情境各有 64 個嘗試(trials)，其中 Yes 反應嘗試與 No 反應嘗試各半。

因眼動實驗對於受試者的體能狀況負擔較大，一個受試者不可能完成所有的嘗試。因此將 512 嘗試隨機分配到 8 組中，其中每一組的 8 種情境各有 8 個嘗試，其中 yes 反應與 no 反應嘗試各半。每一組實驗中 32 種圖形種類等量隨機出現。每個受試者在實驗中完成 64 個嘗試。

實驗指導語要求受試者對依次出現的圖形做判斷，判斷前後出現的兩張圖為相同的圖形或不同圖形。實驗過程中，即時記錄每個嘗試中圖形出現時間以及受試者按鍵時間。

實驗程序

實驗進行前先測量受試者的優勢眼，實驗中僅記錄優勢眼的資訊。實驗開始前先告知受試者指導語，然後由實驗者引導受試者就實驗位置，調整至適當位置，進行九點眼動位置校正程序。完成後開始正式實驗。實驗中每一個嘗試一開始，眼球定位標會出現在螢幕的左方，經實驗者確認 iView X Hi-speed 計算受試者觀看螢幕的位置正確後，呈現第一張圖直到受試者認為他已經記憶了這張圖後，按鍵反應。按鍵後，受試者 PC 螢幕呈現第二張圖。受試者判斷第二張圖與第一張圖是否相同。每一個嘗試的圖形程序請見圖 3-6-2。

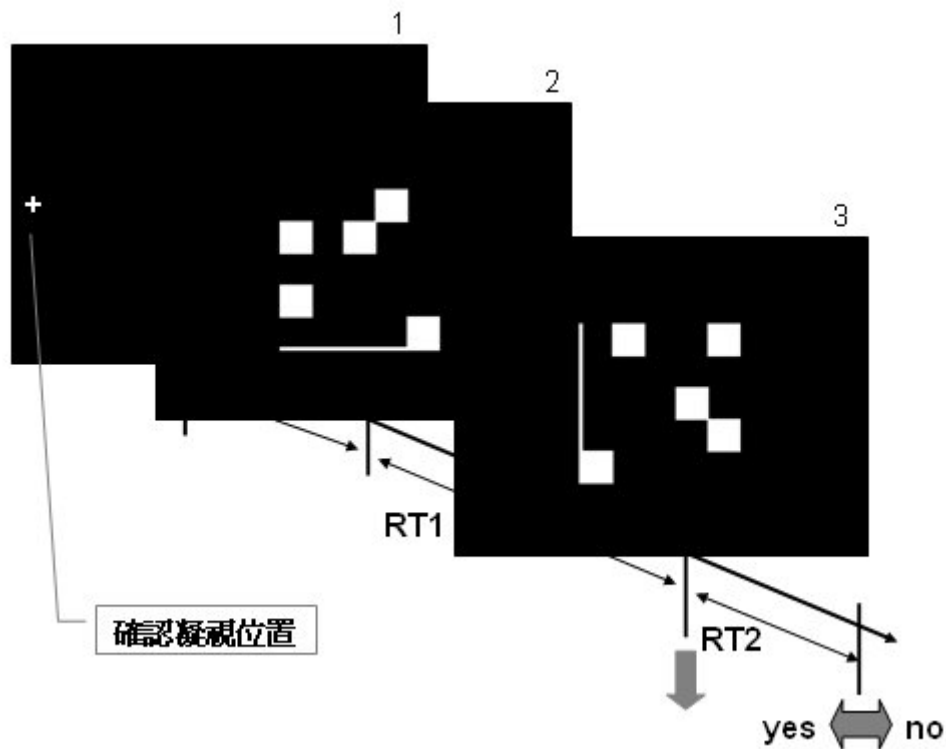


圖 3-6-2 實驗六之實驗程序

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

每一個嘗試中圖形出現順序以下分點敘述：

1. 眼球位置定位標出現在螢幕的左方。受試者的眼睛在此時必須盯住螢幕上出現的十字。實驗者確定眼動儀計算之眼球凝視位置正確後，按鍵來呈現標準圖。若不正確的話，重新進行眼動校正程序，直到凝視位置正確為止
2. 標準圖出現在螢幕中央持續到受試者按鍵反應為止，在這過程中記錄受試者的眼球運動
3. 標的圖出現在螢幕中央持續到受試者按鍵作答為止，同時記錄受試者的眼球運動。

實驗資料收集及分析

實驗過程中，每 500 毫秒記錄一次受試者的眼球位置，並記錄每一刺的按鍵反應及按鍵反應時間。

實驗資料處理過程步驟如下：

1. 計算每一張圖的每一個眼球運動凝視位置移動到下一個凝視位置的向量值。
2. 計算該向量之 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值，得到凝視位置變化的方向與角度。在此的數值可代表凝視點的位置變化（見圖 3-6-3、圖 3-6-4 及圖 3-6-5）。

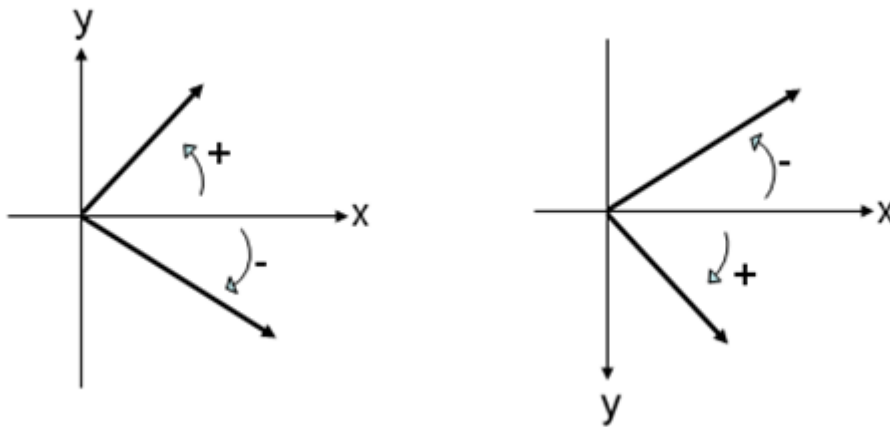


圖 3-6-3 眼動儀上位置變化方向之正負值意義說明

左圖為正常 x 軸與 y 軸方向。右圖為眼動儀記錄之眼球運動位置的 x 軸與 y 軸方向。「+」表變化量的方向的正值，「-」表變化量的方向的負值。

3. 計算前一向量與後一向量的變化，取兩向量之 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值以得到向量變化（眼動軌跡）的旋轉方向與角度，此時得到的值代表跳視的向量變化（圖 3-6-6）。
4. 計算標準圖與標的張圖凝視位置變化量之方向正負號（此後簡稱凝視位置變化量）的平均值，以及跳視向量變化量之方向正負號（此後簡稱跳視向量變化量）的平均值。
5. 計算在個別情境中正確嘗試之前後凝視位置變化量平均值相關，以及跳視向量變化量平均值之相關。
6. 將眼動儀記錄之 X 值與 Y 值換算成在刺激圖形上的座標位置 s 值與 t 值（見圖 3-6-7 及圖 3-6-8），在圖形外的凝視點剔除不列入。
7. 計算 s、t 值之向量 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值，得到在刺激圖形上凝視位置變化的方向與角度。在此的數值代表在刺激圖形內的凝視點的位置變化。

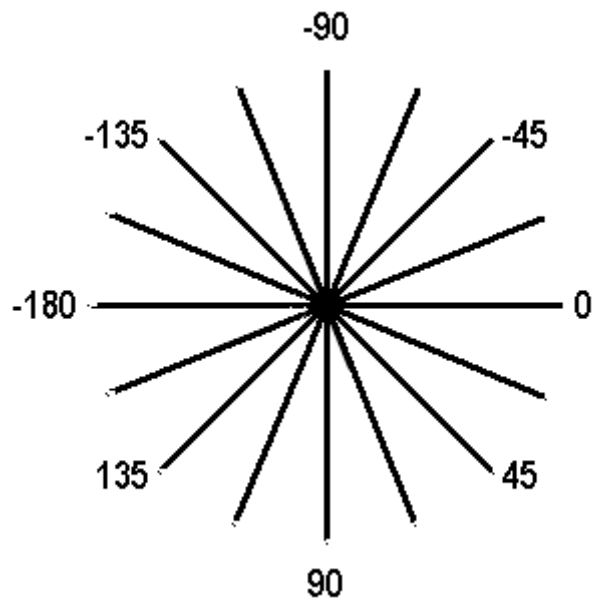


圖 3-6-4 位置變化及向量變化方向之數值意義說明

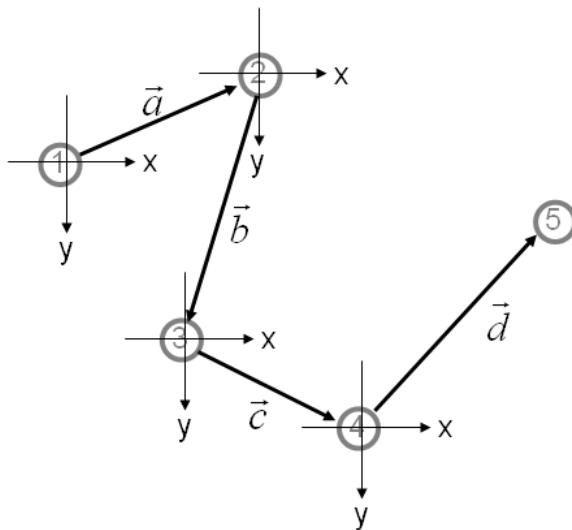


圖 3-6-5 位置變化之意義說明

x/y 為眼動位置座標軸； \vec{a} 、 \vec{b} 、 \vec{c} 、 \vec{d} 為凝視點與凝視點位置變化，又可稱跳視的向量。

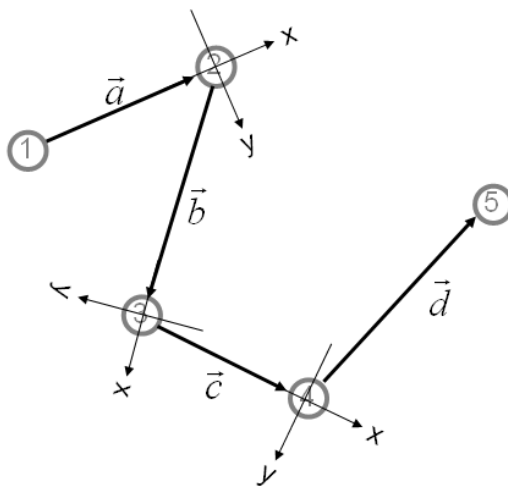


圖 3-6-6 向量變化之意義說明

x/y 為跳視向量的座標軸； \vec{a} 、 \vec{b} 、 \vec{c} 、 \vec{d} 為跳視的向量。計算跳視向量的變化量時，是以前一個跳視的向量為 x 軸。

8. 計算 s 、 t 值中前一向量與後一向量的變化，取兩向量之 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值以得到在刺激圖形上的向量變化（眼動軌跡）的旋轉方向與角度。此時數值可代表在刺激圖形內的跳視向量變化
9. 計算標準圖與標的圖 s 、 t 凝視位置變化量的平均值，以及跳視向量變化量的平均值。

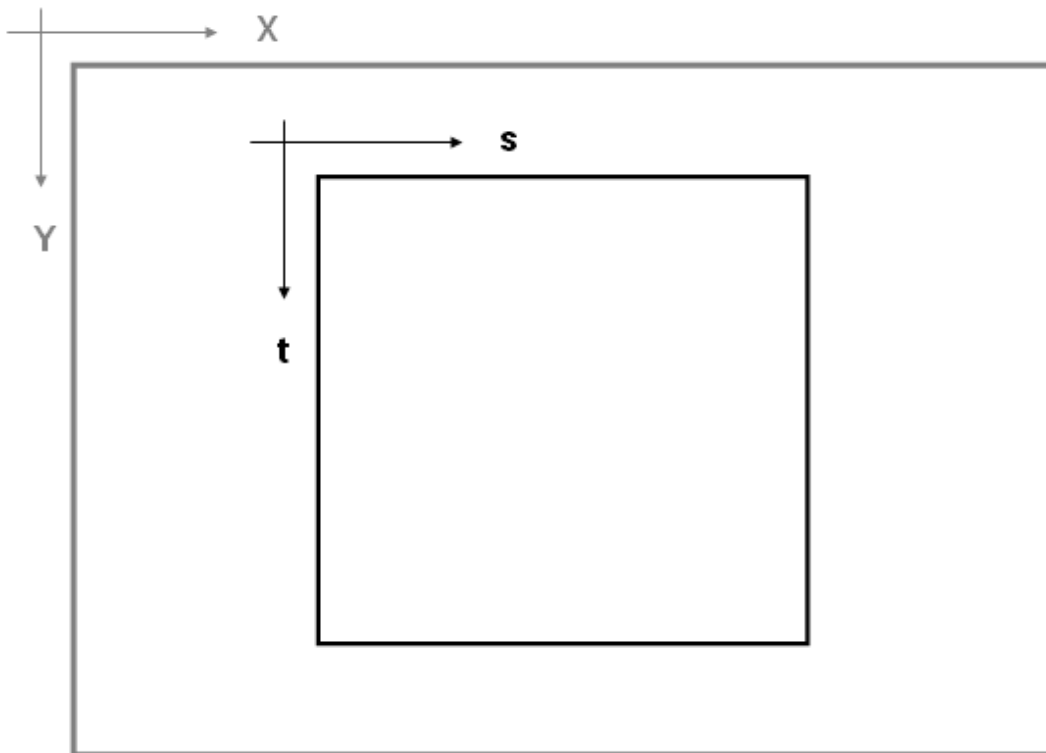


圖 3-6-7 刺激圖形上的位置代號

X/Y 表眼動儀記錄眼球運動凝視點之座標軸， s/t 表刺激圖形上的座標軸。兩者的原點與單位皆不相同。 X/Y 值為電腦螢幕的刺激實際物理位置，單位為毫米 (mm)； s/t 值為以刺激圖形中一個方塊的長度作為一個單位。

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5

圖 3-6-8 刺激圖形上的 s 值與 t 值之位置代號

10. 計算在個別情境中正確嘗試之標準圖與標的圖之 s、t 凝視位置變化量之方向正負號平均值相關，以及跳視向量變化量之方向正負號平均值之相關。
11. 將眼動儀記錄之 X 值與 Y 值換算成在「以刺激圖形上參考軸位置為參考點」的座標位置 w 值與 v 值（見圖 3-6-9 及圖 3-6-10），在圖形外的凝視點剔除不列入。
12. 計算 w、v 值之向量 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值，得到「以刺激圖形上參考軸位置為參考點」上的凝視位置變化方向與角度。在此的數值代表在刺激圖形內相對於參考軸的凝視點位置變化。
13. 計算 w、v 值中前一向量與後一向量的變化，取兩向量之 $\sin\theta$ 值與 $\cos\theta$ 值以得到在刺激圖形上的向量變化（眼動軌跡）的旋轉方向與角度。此時數值可代表在刺激圖形內相對於參考軸的跳視向量變化

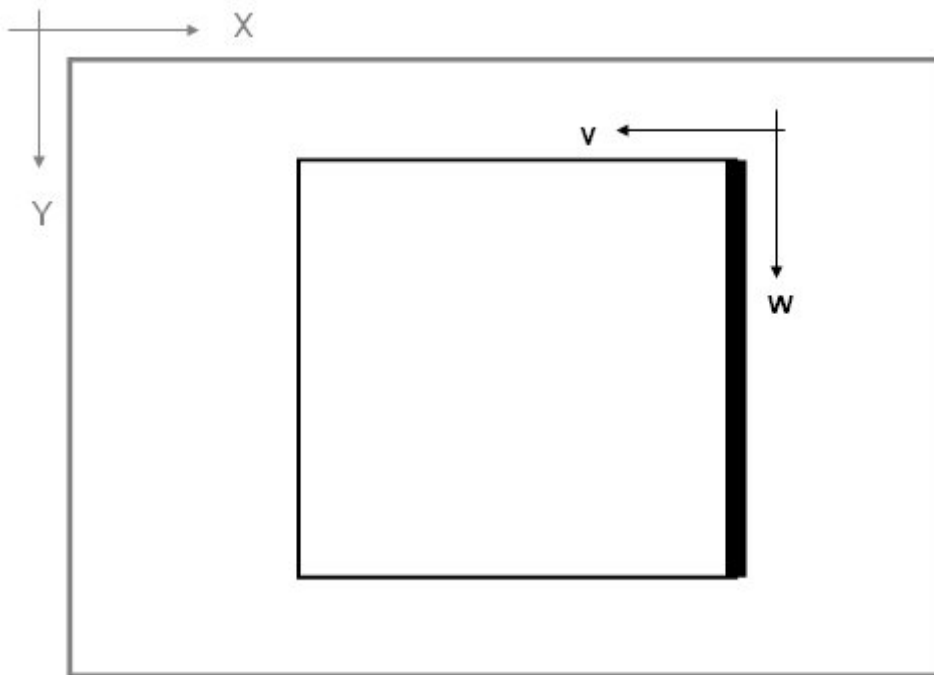


圖 3-6-9 刺激圖形上相對於參考軸的位置代號

X/Y 表眼動儀記錄眼球運動凝視點之座標軸， w/v 為以刺激圖形上的線條為參考的座標軸。兩者的原點與單位皆不相同。 X/Y 值為電腦螢幕的刺激實際物理位置，單位為毫米(mm)； w/v 值為以刺激圖形中一個方塊的長度作為一個單位。

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5

1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
3,5	3,4	3,3	3,2	3,1
4,5	4,4	4,3	4,2	4,1
5,5	5,4	5,3	5,2	5,1

圖 3-6-10 刺激圖形上的 w 值與 v 值之位置代號

當參考軸的位置不同時， w 值與 v 值會因參考軸變化而隨之改變。圖上標示的數值為 (w, v) 。

14.計算標準圖與標的圖 w 、 v 凝視位置變化量的平均值，以及跳視向量變化量的平均值。

15.計算在個別情境中正確嘗試之標準圖與標的圖之 w 、 v 凝視位置變化量平均值相關，以及跳視向量變化量平均值之相關。

資料處理完後進行分析，比較 X 、 Y 值、 s 、 t 值與 w 、 v 值上在標準圖與標的圖之間的凝視點變化的相關性以及跳視向量變化上的相關性。

第肆章 研究結果與討論

本章分兩節，第一節為六個實驗的個別實驗結果與討論；第二節為前述六個實驗的綜合討論。

第一節 研究結果

以下依序呈現第一至第六個實驗的實驗結果與該實驗的討論。

實驗一

圖形複雜度與整體性在心像旋轉作業中的影響

實驗結果

本實驗共有八個受試者資料。其各條件下的各受試者之正確的「Yes 嘗試」平均反應時間見表 4-1-1 以及所有受試者之正確的「Yes 嘗試」平均反應時間再平均之反應時間以及所有反應在各條件下的正確率之結果請看表 4-1-1。正確的「Yes 嘗試」的反應時間與角度差異作圖結果請看圖 4-1-1，而所有反應在各條件下的錯誤率與角度差異作圖結果請看圖 4-1-2。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 4-1-1 實驗一結果各受試者正確的「Yes 嘗試」之平均反應時間（8 人）

受試者\角度	1L2S			1L5S			3L2S			3L5S		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	631	943	1192	649	893	1044	566	720	771	702	782	1054
2	444	626	909	462	727	851	447	652	718	494	769	883
3	576	1011	900	711	1187	1104	792	1043	1078	664	1202	1254
4	830	1318	1591	883	1466	2028	973	1379	1694	794	1258	1422
5	610	794	940	613	1033	854	621	847	993	657	982	1137
6	581	951	1212	835	1367	1411	651	921	1248	762	1430	1378
7	656	923	1493	488	954	1094	559	1016	1132	594	941	1517
8	671	905	1053	680	901	1479	600	811	925	595	922	904

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。表中之反應時間單位為毫秒。

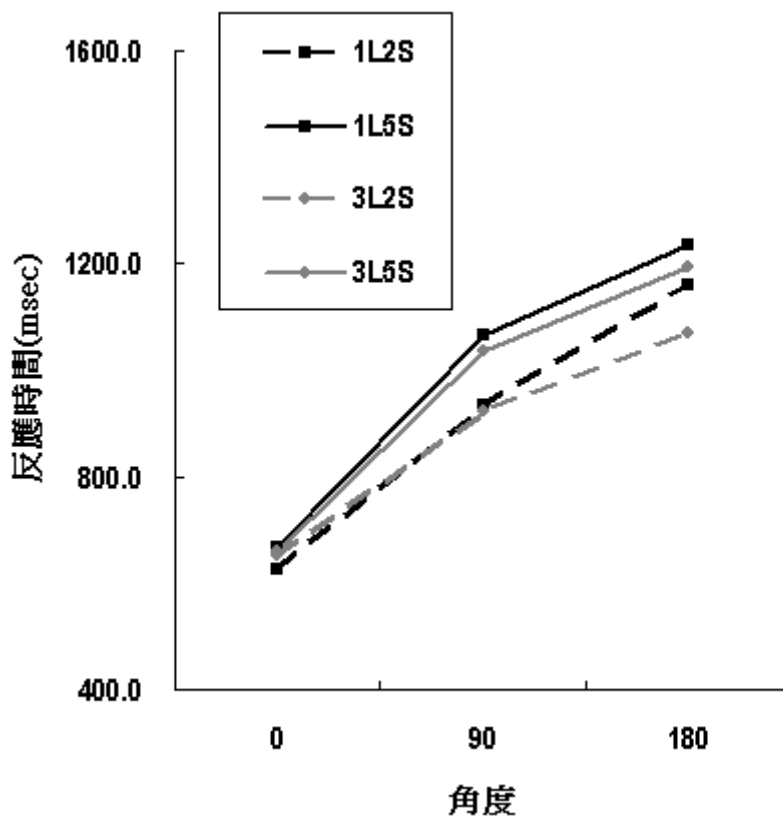


圖 4-1-1 實驗一各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖

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。

表 4-1-2 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。

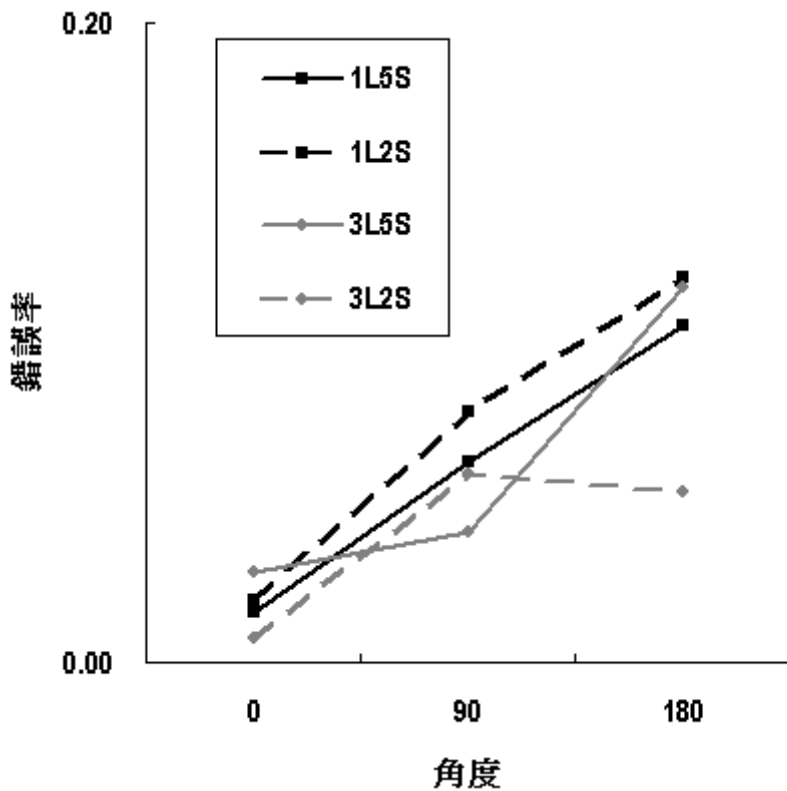


圖 4-1-2 實驗一所有嘗試在各條件下之錯誤率圖

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。縱軸為各反應之錯誤率，橫軸為前後兩張圖相差的角度，單位為度。

實驗分析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)。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，在實驗統計分析上，此實驗為 $2 \times 2 \times 3$ 三因子設計。

本實驗結果發現兩種變異數分析上在 3 階及 2 階的交互作用上，亦皆無顯著效果（表 4-1-3 及表 4-1-4）。在整體性變項、複雜度的變項及角度的變項之主要效果上。複雜度變項上之 $F_s(1,7)=6.692$ ， $p < .05$ ，達顯著差異。在角度變項上亦有顯著差異， $F_s(2,14)=54.457$ ， $p < .001$ ；其中 0 度與 90 度、180 度有差異，0 度之反應時間明顯較短， $p < .01$ ；90 度之反應時間較 180 度短， $p < .01$ 。

表 4-1-3 實驗一之三因子相依變異數分析摘要表（ $2 \times 2 \times 3$ 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	0.455
	square (S之主要效果)	158283.163	1	158,283.16	6.592	0.037 **
	angle (a之主要效果)	4,386,365.94	2	2,193,182.97	54.457	- **
	line*square (交互作用)	2.905	1	2.91	0.000	1.000
	line*angle (交互作用)	22794.131	2	11,397.07	1.202	0.332
	square*angle (交互作用)	42210.553	2	21,105.28	3.208	0.071
	line*square*angle (交互作用)	8337.578	2	4,168.79	0.257	0.777
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)	563833.781	14	40,273.84		
	殘差(LSxs)	250361.734	7	35,765.96		
	殘差(LAxs)	132776.185	14	9,484.01		
	殘差 (Saxs)	92117.404	14	6,579.81		
	殘差 (LSaxs)	226655.896	14	16,189.71		
全體	total	9,236,443.61	95			

表中 L 表示整體性因子，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。

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，我們發現在 3 階及 2 階的交互作用上亦無效果。但在複雜度變項上達顯著差異， $F_s(1,7)=9.435$ ， $p < .05$ ，複雜度高時反應時間長；角度變項依然也有顯著差異， $F_s(1,7)=15.642$ ， $p < .001$ ，角度差異 180 度時比 90 度時反應時間長。

表 4-1-4 實驗一之二因子相依變異數分析摘要表（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	29,421	1.009	0.3488
	square (S之主要效果)	193688.01	1	193,688	9.435	0.018 *
	angle (a之主要效果)	488,705.86	1	488,706	15.642	0.0055 **
	line*square (交互作用)	1001.723	1	1,002	0.030	0.8681
	line*angle (交互作用)	8212.891	1	8,213	0.649	0.4468
	square*angle (交互作用)	2357.103	1	2,357	0.230	0.646
	line*square*angle (交互作用)	5062.322	1	5,062	0.184	0.681
組內		4,115,690.63	56			
	受試者間s	2,959,816.00	7	422,831		
	殘差(L_s)	204,198.85	7	29,171		
	殘差(S_s)	143,706.84	7	20,530		
	殘差(a_s)	218697.202	7	31,242		
	殘差(LS_s)	236218.49	7	33,745		
	殘差(La_s)	88528.757	7	12,647		
	殘差(Sa_s)	71678.755	7	10,240		
	殘差(LSa_s)	192845.735	7	27,549		
全體	total	4,844,139.36	63			

表中 L 表示整體性因子，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。

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。複雜度與整體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，因此本研究在下一個實驗再次詳細探討圖形複雜度與整體性在心像旋轉中的影響。

實驗二

不同判斷要求下圖形刺激材料的複雜度與整體性的影響

實驗結果

本實驗結果有 11 位受試者的資料。各受試者在不同條件下正確的「Yes 反應」平均時間見表 4-2-1。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 4-2-2。正確的「Yes 嘗試」的反應時間與角度差異作圖（見圖 4-2-1），而所有反應在各條件下的錯誤率與角度差異作圖結果請看圖 4-2-2。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 4-2-1 實驗二結果各受試者正確的「Yes 嘗試」平均反應時間 (11 人)

受試者\角度	1L2S			1L5S			3L2S			3L5S		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	652	1144	961	662	1175	1361	694	1128	1131	846	1507	1508
2	654	1164	1339	714	1759	1819	598	1084	1284	854	2087	1895
3	778	1173	1340	766	1435	1630	728	1454	1759	724	1547	1894
4	552	699	892	567	973	923	641	896	774	597	1075	937
5	579	886	1064	728	1280	1558	701	1257	1210	873	1544	1600
6	479	1112	1788	545	1158	1555	510	1254	1137	577	1249	1419
7	791	1871	1839	952	1750	2454	849	1719	1911	953	2007	1900
8	773	1097	1271	828	1058	1135	799	1065	1145	877	1270	1214
9	857	1280	1914	886	1716	1555	909	1651	1639	827	1956	1890
10	1158	1621	1597	1475	2178	2444	1096	2082	1953	1202	2118	2564
12	503	709	714	543	746	738	556	792	894	557	935	881

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。表中之反應時間單位為毫秒。

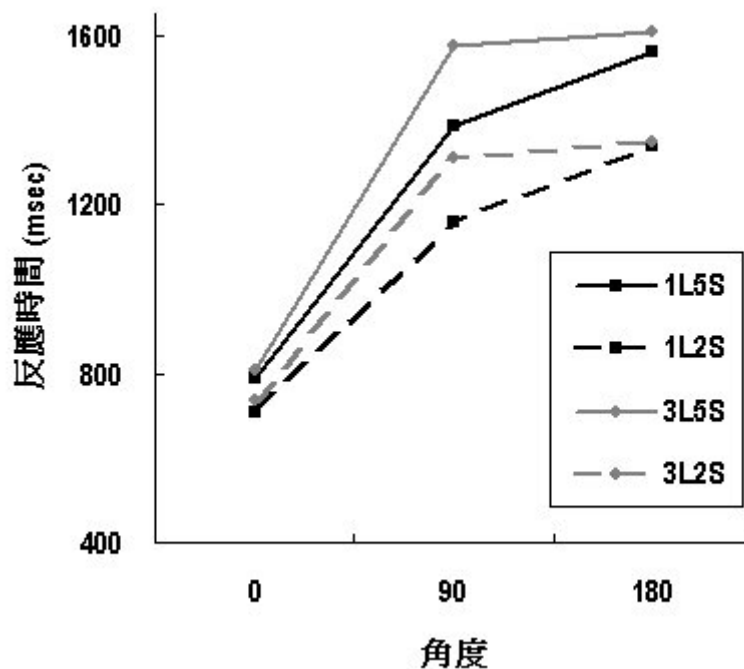


圖 4-2-1 實驗二各條件下正確的「Yes 嘗試」之反應時間圖

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。

表 4-2-2 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	707 ± 195 (0.94)	1160 ± 351 (0.80)	1338 ± 408 (0.81)
一條線五個方塊	788 ± 265 (0.94)	1384 ± 425 (0.79)	1561 ± 544 (0.80)
三條線兩個方塊	735 ± 171 (0.92)	1307 ± 386 (0.81)	1349 ± 404 (0.79)
三條線五個方塊	808 ± 139 (0.90)	1572 ± 419 (0.75)	1609 ± 492 (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。

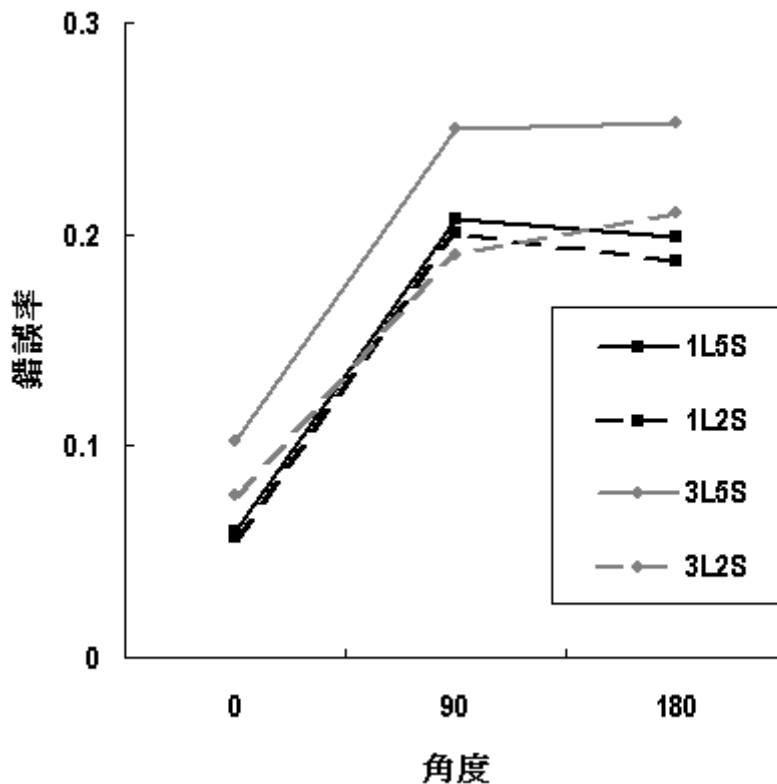


圖 4-2-2 實驗二各條件下所有反應之錯誤率圖

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。縱軸為各反應之錯誤率，橫軸為前後兩張圖相差的角度，單位為度。

實驗分析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)。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，在實驗統計分析上，此實驗為 $2 \times 2 \times 3$ 三因子設計。

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，複雜度變項與角度變項的交互作用，發現有顯著效果， $F_s(2,20)=4.421$ ， $p < .05$ 。整體性變項與角度變項的交互作用上，亦發現顯著效果， $F_s(2,20)=4.025$ ， $p < .05$ 。整體性變項與方塊變項之間無交互作用， $F_s(1,10)=0.221$ ， $p = .648$ 。

表 4-2-3 實驗二之完全相依設計變異數分析摘要表（ $2 \times 2 \times 3$ 設計，11 人）

變異來源		SS	df	MS	F	P	
組間		14,383,972.63	11				
	line(L之主要效果)	179,452.19	1	179,452.19	8.537	0.015	*
	square (S之主要效果)	1164660.614	1	1,164,660.61	15.385	0.003	**
	angle (a之主要效果)	12,682,566.38	2	6,341,283.19	61.938	-	**
	line*square (交互作用)	4480.008	1	4,480.01	0.221	0.648	
	line*angle (交互作用)	146339.379	2	73,169.69	4.025	0.034	*
	square*angle (交互作用)	202515.864	2	101,257.93	4.421	0.026	*
	line*square*angle (交互作用)	3958.197	2	1,979.10	0.118	0.890	
組內		16,680,985.64	120				
	受試者間s	12,305,703.85	10	1,230,570.38			
	殘差(Lxs)	210,199.06	10	21,019.91			
	殘差(Sxs)	757,021.97	10	75,702.20			
	殘差(aks)	2047632.288	20	102,381.61			
	殘差(LSxs)	202305.909	10	20,230.59			
	殘差(LAxs)	363540.621	20	18,177.03			
	殘差(Saxs)	458100.803	20	22,905.04			
	殘差(LSaxs)	336481.136	20	16,824.06			
全體	total	31,064,958.27	131				

表中 L 表示整體性因子，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)，發現在圖形整體性較低（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， $F_s(2,40)=48.657$ ， p

<.001。其中 0 度的反應時間與 90、180 度的反應時間有差異， $p < .001$ ，而 90 度與 180 度的反應時間彼此之間則沒有差異。在圖形整體性較高時（圖形中有三條線條），角度的操弄亦有顯著效果， $F_s(2,40)=57.756$ ， $p < .001$ 。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，圖形整體性變項的操弄沒有顯著效果， $F_s(1,30)=0.329$ ， $p = .571$ 。前後兩圖相差 90 度的情況下，整體性的變化之反應時間變化有顯著差異，整體性較高時反應時間較長， $F_s(1,30)=16.207$ ， $p < .001$ 。兩圖相差 180 度時，圖形整體性效果不顯著， $F_s(1,30)= 0.499$ ， $p = .485$ 。

表 4-2-4 實驗二之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
整體性line(L)因子					
在0度角度差異條件下 L[a1]	6,288.091	1.000	6,288.091	0.329	0.571
在90度角度差異條件下 L[a2]	309,960.205	1.000	309,960.205	16.207	0.000 **
在180度角度差異條件下 L[a3]	9,543.273	1.000	9,543.273	0.499	0.485
誤差(L+La*block)	573,739.682	30.000	19,124.656		
angle(a)因子					
在整體性低條件下 a[L1]	5,865,969.909	2.000	2,932,984.955	48.657	0.000 **
在整體性高條件下 a[L2]	6,962,935.848	2.000	3,481,467.924	57.756	0.000 **
誤差(a+La*block)	2,411,172.909	40.000	60,279.323		

表中 L 表示整體性因子，a 為角度差異因子，s 為受試者因子。

圖形複雜度較低（圖形中只有兩個方塊）的情形下，角度的操弄有極顯著的效果， $F_s(2,40)=38.792$ ， $p < .001$ 。其中 90 與 180 度的反應時間與 0 度的反應時間有差異，0 度的反應速率顯著較快， $p < .001$ ，而 90 度與 180 度的反應時間彼此之間則沒有差異。在圖形複雜度較高時（五個方塊數），角度的操弄亦有顯著效果， $F_s(2,40)=64.053$ ， $p < .001$ 。0 度與 90、180 度有差異，90 與 180 度之間無差異。而在兩圖形沒有角度差異情況下，圖形複雜度變項的操弄無效果， $F_s(1,30)=1.614$ ，

$p=.215$ 。前後兩圖相差 90 度的情況下，複雜度的變化之反應時間變化有顯著差異，複雜度高反應時間長， $F_s(1,30)=16.271$ ， $p<.001$ 。兩圖相差 180 度時，圖形複雜度效果顯著，複雜度高時反應時間長， $F_s(1,30)= 15.869$ ， $p<.001$ 。

表 4-2-5 實驗二之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
複雜度 square(S)因子					
在0度角度差異條件下 S[a1]	65,373.091	1.000	65,373.091	1.614	0.215
在90度角度差異條件下 S[a2]	659,050.568	1.000	659,050.568	16.271	0.000 **
在180度角度差異條件下 S[a3]	642,752.818	1.000	642,752.818	15.869	0.000 **
誤差(S+S _a *block)	1,215,122.773	30.000	40,504.092		
angle(a)因子					
在複雜度低條件下 a[S1]	4,860,155.848	2.000	2,430,077.924	38.792	0.000 **
在複雜度高條件下 a[S2]	8,024,926.394	2.000	4,012,463.197	64.053	0.000 **
誤差(a+S _a *block)	2,505,733.091	40.000	62,643.327		

表中 S 為複雜度因子，a 為角度差異因子，s 為受試者因子。

總結上述結果，無論整體性變項、複雜度的變項及角度的變項等自變項主效果上皆顯著。整體性（線條數目）的變項上， $F_s(1,10)=8.537$ ， $p<.05$ 。複雜度變項之 $F_s(1,10)=15.385$ ， $p<.01$ ；角度變項之 $F_s(2,20)=61.938$ ， $p<.001$ 。

同實驗一實驗分析之理由，考慮視覺暫留之影響，另只取角度相差 90 度與 180 度的實驗數據來做同樣的上述兩種變異數統計分析，我們發現在 3 階的交互作用上無效果。在 2 階的交互作用上整體性變項與角度變項的交互作用則具顯著效果， $F_s(1,10)=6.007$ ， $p<.05$ 。複雜度變項與角度變項的交互作用，無顯著效果， $F_s(1,10)=0.002$ ， $p=.967$ 。

表 4-2-6 實驗二之統計摘要表 (2x2x2 三因子設計, 11 人)

變異來源		SS	df	MS	F	p
組間		1,888,031.99	7			
	line(L之主要效果)	214,139.56	1	214,140	6.409	0.0298 *
	square (S之主要效果)	1301752.375	1	1,301,752	14.967	0.003 **
	angle (a之主要效果)	258,447.28	1	258,447	12.633	0.0052 **
	line*square (交互作用)	8268.284	1	8,268	0.378	0.5527
	line*angle (交互作用)	105363.92	1	105,364	6.007	0.0342 *
	square*angle (交互作用)	51.011	1	51	0.002	0.9668
	line*square*angle (交互作用)	9.557	1	10	0.000	1
組內		14,947,417.64	80			
	受試者間s	12,574,842.75	10	1,257,484		
	殘差(L_s)	334,149.07	10	33,415		
	殘差(S_s)	869,752.25	10	86,975		
	殘差(a_s)	204588.841	10	20,459		
	殘差(LS_s)	219012.841	10	21,901		
	殘差(La_s)	175407.705	10	17,541		
	殘差(Sa_s)	280928.614	10	28,093		
	殘差(LSa_s)	288735.568	10	28,874		
全體	total	16,835,449.63	87			

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

再次進一步分析單純主要效果(simple main effect), 發現在圖形整體性較低(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, 180 度之反應時間顯著較 90 度的高, $F_s(1,20)=18.259, p < .001$ 。在圖形整體性較高時(圖形中有三條線條), 角度的操弄無效果, $F_s(1,20)=0.889, p=.357$ 。在前後兩圖相差 90 度的情況下, 整體性變項之操弄對受試者的反應時間造成顯著差異, 整體性較高時反應較慢, $F_s(1,20)=12.166, p < .005$ 。兩圖相差 180 度時, 圖形整體性效果不顯著, $F_s(1,20)=0.375, p=.547$ 。

因此在整個實驗三個自變項上, 圖形整體性變項上之差異達顯著, $F_s(1,10)=6.409, p < .05$ 、複雜度變項亦達顯著差異, $F_s(1,10)=14.967, p < .005$; 角度變項依然也有顯著差異, $F_s(1,10)=12.633, p < .01$ 。

表 4-2-7 實驗二之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
整體性line(L)因子					
在0度角度差異條件下 L[a1]	6,288.091	1.000	6,288.091	0.329	0.571
在90度角度差異條件下 L[a2]	309,960.205	1.000	309,960.205	16.207	0.000 **
在180度角度差異條件下 L[a3]	9,543.273	1.000	9,543.273	0.499	0.485
誤差(L+La*block)	573,739.682	30.000	19,124.656		
angle(a)因子					
在整體性低條件下 a[L1]	5,865,969.909	2.000	2,932,984.955	48.657	0.000 **
在整體性高條件下 a[L2]	6,962,935.848	2.000	3,481,467.924	57.756	0.000 **
誤差(a+La*block)	2,411,172.909	40.000	60,279.323		

表中 L 表示整體性因子， 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)，“整體性變項與角度變項”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，只發現圖形的整體性變項與角度變項具有交互作用，且圖形整體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，圖形的整體性(圖形中線條的數目)皆是重要的變項，且整體性變項與角度差變項有交互作用，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，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，前人的研究結果大致相同。

討論

本研究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。

從圖形複雜度來談，在圖形複雜度增加的情況下，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），這與過去 Cooper(1975)的研究結果一致即心像旋轉時以整體方式來運作，圖形複雜度並不影響旋轉的速率。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)在本實驗中並未發現(Folk & Luce, 1987; Yuille & Steiger, 1982)。

這個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。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。

在整體性變項上，實驗結果顯示在心像旋轉作業中的圖形部件相對空間關係明確時，受試者可以不依賴心像旋轉歷程來完成作業。從實驗結果得知，圖形整體性變項（參考軸的操弄）與角度差異變項有顯著的交互作用，且整體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，當圖形整體性較高時，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。我們認為圖形整體性增加時，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明顯的線條作為相對參考軸，直接重建剩餘的部件細節。因此在整體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。我們推論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。

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)。

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。在複雜度高整體性高圖形（三條線五個方塊圖形）的較低正確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。在整體性較低的圖形中，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。在整體性較高的圖形中，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，都沒有心像旋轉的效果。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，當整體性低時，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。

實驗三

心像旋轉作業中方向線索對心像旋轉現象的影響

實驗結果

本實驗有 14 個受試者的資料結果。各受試者之第一個反應時間(RT1)與第二個反應時間(RT2)的正確反應時間平均值。見表 4-3-1 及 4-3-3。

所有受試者之各條件之 RT1 平均反應時間結果見表 4-3-2，以及各條件下之 RT2 平均反應時間與正確率之結果請看表 4-3-4。直接取第一階段之有角度差異的反應時間與錯誤率數據進行相異樣本統計分析，比較各條件下的差異。RT1 反應時間與角度差異作圖（見圖 4-3-1），RT2 反應時間與角度差異作圖（見圖 4-3-2），而所有反應在各條件下的錯誤率與角度差異作圖結果請看圖 4-3-3。實驗結果在各條件的反應中並無「速度—正確率相互抵銷」(speed-accuracy trade-off)的現象。

表 4-3-1 實驗三各受試者 RT1 平均反應時間 (14 人)

區組順序 受試者角度	先以箭頭當索引			再以線條當索引		
	0	90	180	0	90	180
2	871	1442	983	522	495	524
3	875	2364	2334	680	1703	2096
5	1155	2177	2635	929	1514	1385
8	1597	2848	3104	1451	1971	2094
10	1538	3019	3771	936	1612	3311
11	1443	1838	2037	770	1287	1054
14	656	1324	1473	946	1646	1677

區組順序 受試者角度	先以線條當索引			再以箭頭當索引		
	0	90	180	0	90	180
1	483	426	447	458	444	473
4	1229	2649	3014	1174	1996	2312
6	722	1747	2085	611	833	1104
7	1202	2767	2903	1047	1814	2144
9	1466	2324	2669	1388	1845	2053
13	1112	2162	2197	891	1673	1852
15	1072	1912	2045	668	1366	1404

表中之反應時間單位為毫秒。

表 4-3-2 實驗三 RT1 平均反應時間之平均 (14 人)

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
Phase 1_AC	1162 ± 345	2145 ± 606	2334 ± 878
Phase2_LC	890 ± 271	1461 ± 438	1734 ± 828
Phase1_LC	1041 ± 307	1998 ± 726	2194 ± 801
Phase2_AC	891 ± 309	1424 ± 539	1620 ± 612

各條件下的 RT1 正確反應之平均反應時間±標準差 (單位：毫秒)

表 4-3-3 實驗三各受試者 RT2 平均反應時間 (14 人)

區組順序	先以箭頭當索引			再以線條當索引		
受試者角度	0	90	180	0	90	180
2	583	876	861	627	814	835
3	898	1156	1222	865	1048	1112
5	754	930	1092	730	933	1001
8	747	941	993	713	924	892
10	666	782	817	614	783	800
11	828	1134	1135	793	1115	1126
14	782	854	852	747	963	1028

區組順序	先以線條當索引			再以箭頭當索引		
受試者角度	0	90	180	0	90	180
1	552	919	933	565	765	808
4	692	974	984	734	969	1058
6	668	874	963	651	892	925
7	664	874	971	768	835	881
9	813	1012	1011	927	1022	1023
13	699	929	830	615	886	895
15	569	756	786	577	751	818

表中之反應時間單位為毫秒。

表 4-3-4 實驗三 RT2 平均反應時間之平均 (14 人)

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
Phase 1_AC	751 ± 96 (0.85)	953 ± 131 (0.70)	996 ± 147 (0.67)
Phase2_LC	727 ± 82 (0.92)	940 ± 109 (0.75)	971 ± 121 (0.73)
Phase1_LC	665 ± 81 (0.87)	905 ± 76 (0.73)	926 ± 78 (0.71)
Phase2_AC	691 ± 119 (0.92)	874 ± 93 (0.76)	915 ± 88 (0.72)

各條件下的 RT2 正確反應之平均反應時間±標準差 (單位：毫秒) 及各條件下所有反應的正確率 (括號內)

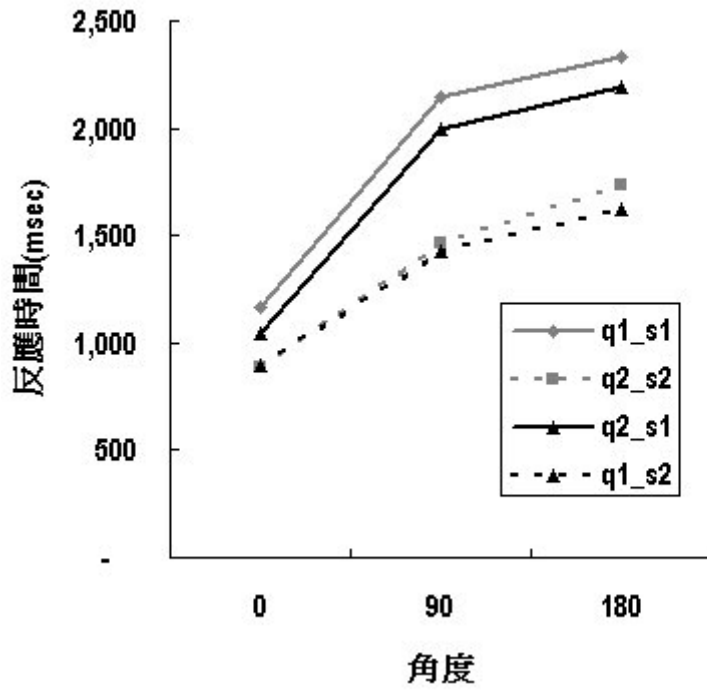


圖 4-3-1 實驗三各條件下的 RT1 反應時間圖

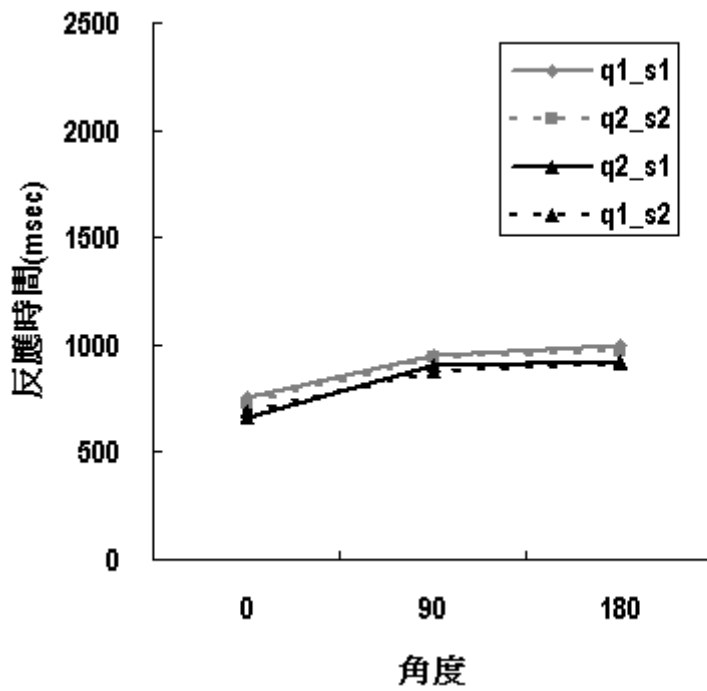


圖 4-3-2 實驗三各條件下的 RT2 反應時間圖

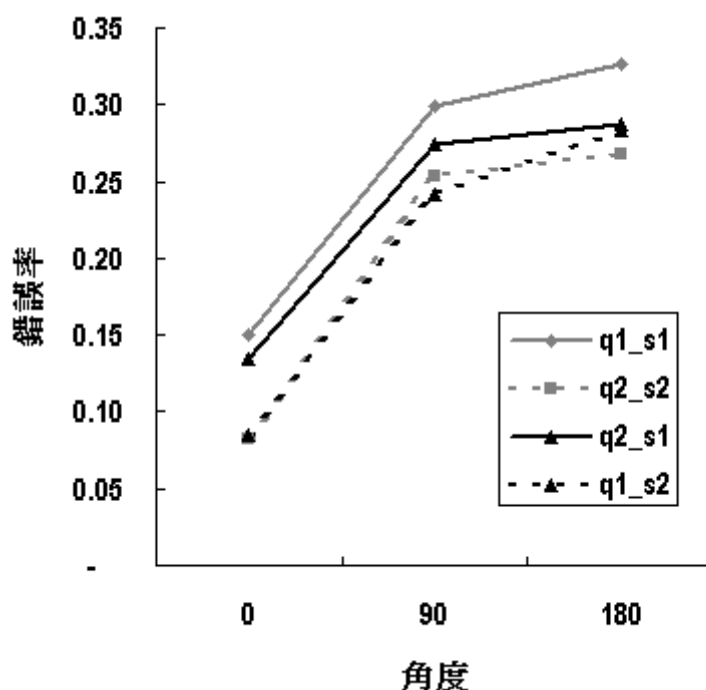


圖 4-3-3 實驗三各條件下的錯誤率圖

表 4-3-5 實驗三階段一 RT1 統計摘要表 (2x2 二因子混合設計, 14 人)

變異來源		SS	df	MS	F	p
組間		403,196.86	3			
	cue (獨立因子)	143,143.00	1	143,143.00	0.110	0.7461
	angle (相依因子)	259,971.57	1	259,972	6.249	0.0279 **
	cue*angle	82.286	1	0.002	0.000	0.965
組內		16,149,488.86	24			
	受試者間s	15,650,276.71	12	1,304,190		
	殘差(Qaxs)	499212.143	12	41,601		
全體	total	16,552,685.71	27			

表中 Q 為方向線索因子，a 為角度差異因子。

實驗分析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)。實驗分析共 14 名受試者的 RT1 反應時間資料在組間 (方向線索變項) 以及組內 (角度差異) 變項之間的關係。在實驗統計分析上, 此實

驗為 2x2 二因子設計。本實驗結果發現反應時間部分只有在角度差異變項上有差異，90 度與 180 度之反應時間不同。在錯誤率上則無顯著差異。

表 4-3-6 實驗三階段一錯誤率之統計摘要表 (2x2 二因子混合設計，14 人)

	變異來源	SS	df	MS	F	p
組間		0.01	3			
	cue (獨立因子)	0.00	1	0.00	0.874	0.3684
	angle (相依因子)	0.00	1	0	4.112	0.0652
	cue*angle	0	1	-	0.336	0.573
組內		0.06	24			
	受試者間s	0.05	12	0		
	殘差(Qaxs)	0.008	12	0		
全體	total	0.07	27			

表中 Q 為方向線索因子，a 為角度差異因子。

討論

第三個實驗結果顯示，本實驗操弄之變項造成的影響遠小於受試者參與實驗中兩個區組間之練習效果。雖然在反應時間與錯誤率上，以參考軸做為方向線索的嘗試上表現較佳，反應時間短且錯誤率低，但在統計分析上皆無法得到顯著，因此無法明確得知參考軸在心像旋轉中的影響。本實驗應採用受試者內設計重新探討操弄變項上的效果，或另外設計其他實驗來探究本實驗欲研究的問題。

實驗四

心像旋轉作業中圖形之部件對心像旋轉現象的影響

實驗結果

本實驗結果有 9 個受試者資料，各受試者正確「Yes 嘗試」之平均反應時間見表 4-4-1。所有受試者之正確「Yes 嘗試」之平均反應時間與正確率之結果請看表 4-4-2。正確的「Yes 嘗試」反應時間與角度差異作圖見圖 4-4-1，所有反應在各條件下的錯誤率與角度差異圖看圖 4-2-2。本實驗結果除 180 度角度差異條件之結果有「速度—正確率相互抵銷」(speed-accuracy trade-off)的現象。

表 4-4-1 實驗四結果各受試者之正確「Yes 嘗試」之平均反應時間 (9 人)

區組順序 受試者\角度	線條部件			方塊部件		
	0	90	180	0	90	180
1	999	2140	2359	885	2307	1671
2	898	2014	2103	613	2078	1684
3	503	1047	1020	436	984	926
4	660	1196	1828	706	1870	1435
5	936	1063	1580	655	1402	1354
7	832	1860	2192	727	2434	1645
8	804	1755	1341	533	1546	1520
9	964	1839	2269	836	2293	2551
10	842	1624	1880	680	1899	1655

表中之反應時間單位為毫秒。

表 4-4-2 實驗四結果所有受試者平均反應時間與正確率（9 人）

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
部件圖為線條	826 ± 149 (0.89)	1615 ± 427 (0.73)	1841 ± 427 (0.71)
部件圖為方塊	674 ± 131 (0.99)	1868 ± 452 (0.73)	1605 ± 404 (0.66)

各條件下的正確的「Yes 反應」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）

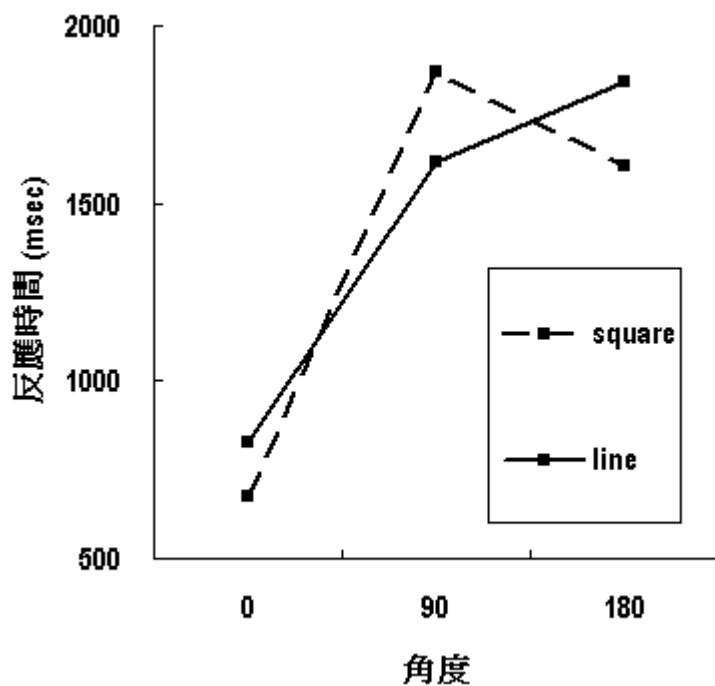


圖 4-4-1 實驗四各條件下的正確的 Yes 反應之平均反應時間對角度作圖

「line」及「square」分別指部分部件圖為線條及方塊的情境。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。

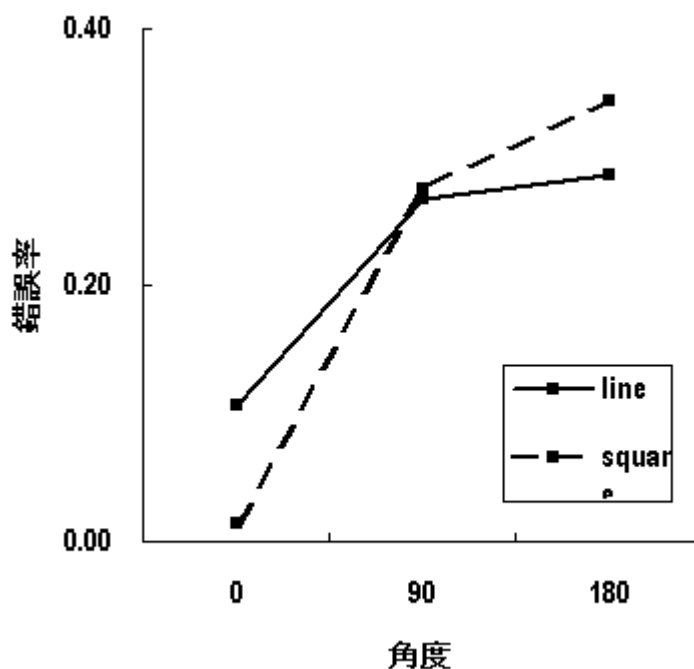


圖 4-4-2 實驗四各條件下的錯誤率對角度作圖

「line」及「square」分別指部分部件圖為線條及方塊的情境。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)。實驗分析共 9 名受試者的反應時間資料在部分部件呈現變項、以及角度差異變化變項之間的關係。在實驗結果統計分析上，此實驗為 2x3 三因子設計。

本實驗結果在變異數分析上發現 2 階的交互作用。部分部件圖呈現變項與角度差異有交互作用， $F_s(2,16)= 8.442$ ， $p<.005$ （見表 4-4-3）。進一步分析單純主要效果（表 4-4-4），發現在以參考軸做部分部件圖時，角度操弄有顯著效果， $F_s(2,32)= 43.697$ ， $p<.001$ ；以方塊作部分部件圖時，角度操弄亦有顯著效果， $F_s(2,32)=60.513$ ， $p<.001$ 。前後圖形角度差異 0 度時，部分部件變項無顯著差異， $F_s(1,24)=3.106$ ， $p=.09$ ，部分部件圖無論是參考軸部件或方塊部件之反應時間沒有差異；前後兩圖形角度差異 90 時，部分部件呈現效果達顯著，部分部件圖為參考軸者反應時間

較短， $F_s(1,24)=8.603$ ， $p<.005$ ；當角度差異為 180 時，部分部件呈現效果亦達顯著，部分部件圖為方塊者之反應時間明顯較部分部件圖為參考軸者來的短， $F_s(1,24)=7.548$ ， $p<.05$ 。以上的分析結果看起來似乎部分部件圖在角度差異 90 度時與角度差異 180 度時造成的影響不同。反應時間對角度差異作圖呈現交叉的結果，又因為 0 度的反應時間變異度向來都比較小，可能造成統計結果上的顯著，因此進一步只統計分析在 90 度與 180 度上的數據。

表 4-4-3 實驗四之統計摘要表 (2x3 二因子設計，9 人)

變異來源		SS	df	MS	F	P
組間		12,214,771.28	5			
	cue(Q之主要效果)	27,698.69	1	27,698.69	1.014	0.344
	angle (a之主要效果)	11571133.78	2	5,785,566.89	71.899	- **
	cue*angle (交互作用)	615938.815	2	307,969.41	8.442	0.003 **
組內		6,669,795.56	48			
	受試者間s	4,580,154.33	8	572,519.29		
	殘差(Qxs)	218,475.82	8	27,309.48		
	殘差 (axs)	1287481.222	16	80,467.58		
	殘差(Qaxs)	583684.185	16	36,480.26		
全體	total	18,884,566.83	53			

表中 Q 為方向線索因子，a 為角度差異因子。

表 4-4-4 實驗四之部分部件圖變項與角度差異變項單純主要效果表 (9 人)

單純主要效果	SS	df	MS	F	P
partial cue(Q)因子					
在0度角度差異條件下 Q[a1]	103,816.056	1.000	103,816.056	3.106	0.090
在90度角度差異條件下 Q[a2]	287,534.722	1.000	287,534.722	8.603	0.007 **
在180度角度差異條件下 Q[a3]	252,286.722	1.000	252,286.722	7.548	0.011 *
誤差(Q+Qa*block)	802,160.000	24.000	33,423.333		
angle(a)因子					
在參考軸為方向線索下 a[Q1]	5,110,263.407	2.000	2,555,131.704	43.697	0.000 **
在方塊為方向線索下 a[Q2]	7,076,809.185	2.000	3,538,404.593	60.513	0.000 **
誤差(a+Qa*block)	1,871,165.407	32.000	58,473.919		

表中 Q 為方向線索因子，Q1、Q2 分別表示部分部件圖為標的圖之參考軸及方塊，a 為角度差異因子，a1、a2 及 a3 分別表示角度差異為 0 度、90 度及 180 度。

在 2x2 變異數分析下，部分部件圖呈現變項與角度差異有交互作用， $F_s(1,8)=6.329$ ， $p<.05$ （見表 4-4-5）。在角度差異 90 度時，先呈現部分部件圖為參考軸時的反應時間較方塊部件圖來得快， $F_s(1,16)=6.280$ ， $p<.05$ （見表 4-4-6）。而在 180 度時，先呈現哪一種部分部件圖在反應時間上沒有差異， $F_s(1,16)=5.896$ ， $p=.134$ 。

表 4-4-5 實驗四之統計摘要表（2x2 二因子設計，9 人）

變異來源		SS	df	MS	F	P
組間		860,328.22	3			
	cue(Q之主要效果)	36,353.78	1	36,353.78	0.591	0.464
	angle (a之主要效果)	12173.444	1	12,173.44	0.269	0.618
	cue*angle (交互作用)	811801	1	811,801.00	6.329	0.036 *
組內		6,715,196.67	32			
	受試者間s	4,835,456.39	8	604,432.05		
	殘差(Qxs)	492,063.72	8	61,507.97		
	殘差 (axs)	361538.056	8	45,192.26		
	殘差(Qaxs)	1026138.5	8	128,267.31		
全體	total	7,575,524.89	35			

表中 Q 為方向線索因子，a 為角度差異因子。

表 4-4-6 實驗四之 2x2 分析之單純主要效果表（9 人）

單純主要效果	SS	df	MS	F	P
partial cue(Q)因子					
在90度角度差異條件下 Q[a1]	595,868.056	1	595,868.056	6.280	0.023 *
在180度角度差異條件下 Q[a2]	252,286.722	1	252,286.722	2.659	0.134
誤差(Q+Qa*block)	1,518,202.222	16	94,887.639		
angle(a)因子					
在參考軸為方向線索下 a[Q1]	511,397.556	1	511,397.556	5.896	0.027 *
在方塊為方向線索下 a[Q2]	312,576.889	1	312,576.889	3.604	0.076
誤差(a+Qa*block)	1,387,676.556	16	86,729.785		

表中 Q 為方向線索因子，Q1、Q2 分別表示部分部件圖為標的圖之參考軸及方塊，a 為角度差異因子，a1 及 a2 分別表示角度差異為 90 度及 180 度。

討論

第四個實驗結果發現，刺激圖形中的參考架構在前後兩圖形角度差異 90 度時能幫助受試者心像旋轉，反應時間明顯較快。但在角度差異 180 度時，從反應時間對角度差異圖上看起來雖然效果反過來，疑似有交互作用，但經過了只考慮「有角度差異情況」下的統計分析並未達到顯著。也就是在 180 度時，先呈現方塊部分部件圖並未使反應時間變得比較快，經過相依樣本 t 考驗分析後，也無「速度—正確率相互抵銷」的現象，相關係數值雖達.278，但未達顯著 $p = .486$ 。因此整體來說，部分部件圖為參考軸時，較能幫助心像旋轉，減少反應時間。

實驗五

心像旋轉作業中心像表徵的完整性測試

實驗結果

本實驗有 19 個受試者資料。各受試者正確的「Yes 嘗試」與「No 嘗試」之反應時間見表 4-5-1 及表 4-5-2，所有受試者之平均反應時間與正確率表見表 4-5-1，正確的「Yes 嘗試」反應時間與角度差異圖見圖 4-5-3。正確之「Yes 嘗試」、「No 嘗試」與所有嘗試之反應時間對角度作圖分別見圖 4-5-1、圖 4-5-2 及圖 4-5-3。所有條件之錯誤率對角度差異圖見圖 4-5-4；「Yes 嘗試」錯誤率與角度差異圖見圖 4-5-5；「no 嘗試」錯誤率與角度差異圖見圖 4-5-6。

表 4-5-1 實驗五之各受試者的正確「Yes 嘗試」平均反應時間 (19 人)

圖形呈現時間 受試者\角度	500ms			1000ms			1500ms			2000ms			2500ms		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	1323	1754	1267	944	1605	2028	1078	1327	1207	1402	1130	1360	1105	1445	958
3	500	796	892	631	885	957	597	1021	1121	676	962	1317	565	909	1070
4	1290	2096	3067	1369	2884	3904	1479	1787	4943	1857	3820	3819	2093	2822	4619
5	2548	2153	3064	1286	3249	3445	2469	2272	2257	2721	2599	2347	1643	2392	4337
6	1086	1303	1743	973	1367	1673	981	1512	1233	1464	1353	1092	1183	1241	1853
7	741	1733	1514	731	1480	1237	781	1292	1304	817	1407	1240	693	951	1309
8	2092	1811	1379	1720	1396	2286	2074	1550	1560	2136	2541	2593	1998	3029	1995
9	952	1000	1453	652	1013	1214	929	1481	1892	676	1414	1353	990	952	872
10	1675	1670	2122	2164	1872	2653	1413	2114	2039	1457	3591	4052	1753	1880	2381
11	786	892	924	950	1110	1070	697	816	955	863	971	937	692	943	1630
12	858	1089	1214	880	1251	1384	776	913	1480	855	854	1357	816	1361	1237
13	925	1080	1445	1169	948	1282	1149	1157	1015	849	1470	1428	1154	1285	1447
14	1020	836	891	1061	808	1247	951	1092	917	781	1104	1383	1201	915	647
15	1370	2692	1971	2010	2521	1853	1388	2266	3178	1529	2444	1833	1523	2177	2735
16	8999	6181	5698	6267	6145	7882	7734	5610	4054	6460	6599	5732	4870	8038	6086
17	1864	1981	1579	1168	1834	1565	1396	1917	1494	930	1409	1248	1231	1596	1490
18	1047	1811	1528	1265	1898	1806	1422	2050	2572	1150	1069	828	1250	1367	2642
19	1098	1612	1383	1296	1178	1652	1045	1231	1652	972	1649	2014	990	1503	1211
20	888	1557	1171	762	1682	1464	821	1646	1667	738	1466	2175	819	1352	1513

表 4-5-2 實驗五之各受試者的正確「No 嘗試」平均反應時間 (19 人)

圖形呈現時間 受試者\角度	500ms			1000ms			1500ms			2000ms			2500ms		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	1317	1735	1789	1769	1346	1412	1617	1341	1167	1367	1908	1420	1472	1155	2004
3	1050	1056	1043	779	1250	1287	853	1098	1126	1073	1409	1000	865	1156	1348
4	1136	2471	2289	2021	3217	2731	2054	3643	2834	2061	3240	4756	2661	3189	2653
5	2226	2538	3334	2252	3063	4813	2184	3479	5004	1802	3025	4400	1526	3228	2789
6	1225	1122	1775	1328	1314	1183	983	2284	1533	867	1426	1880	1333	1667	2175
7	1175	2203	2031	1403	1698	1617	961	1821	1903	862	1377	1186	895	2137	1703
8	1370	3521	4091	1913	2561	3720	1717	2960	3365	2500	4835	2774	2553	2475	2303
9	1161	1438	1842	819	1664	1611	1252	1645	2704	1055	2634	1806	983	1167	1656
10	1681	2934	3384	1817	2237	883	1808	3696	2317	1546	2630	3117	2686	2857	3242
11	858	1425	1240	755	1817	1750	775	1298	1483	752	1342	1367	863	1241	1425
12	1092	1367	1550	1021	1327	1296	1005	1211	1828	1042	1295	881	813	1456	1448
13	1578	2185	1313	1126	2482	1429	1495	1253	2220	1229	1483	2376	1314	1266	1180
14	1123	1686	898	1462	1231	1254	1583	1271	841	1418	1643	1436	980	1088	1375
15	1579	2594	2810	1989	2870	1376	1350	1938	1698	1308	2608	2065	1695	2265	2588
16	6740	6265	9679	6643	6974	7347	4149	7895	7520	4649	8731	7976	8538	7329	6790
17	1410	1836	1705	1946	1234	1469	1632	1742	2234	905	1773	1539	1098	1698	2176
18	1406	1552	1336	1139	1568	2737	1100	1283	4128	1475	1752	1125	1152	2188	2288
19	1048	1865	2312	1202	1644	2247	1372	1740	2550	1355	1857	2253	991	1986	1595
20	783	2020	1590	770	1632	1957	860	1938	1814	881	1481	2307	869	1956	1837

表 4-5-3 實驗五之正確「Yes 嘗試」之平均反應時間與正確率（19 人）

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
500msec	1635 ± 1804 (0.81)	1792 ± 1148 (0.71)	1806 ± 1095 (0.66)
1000msec	1437 ± 1211 (0.86)	1849 ± 1203 (0.74)	2137 ± 1553 (0.70)
1500msec	1536 ± 1531 (0.80)	1740 ± 1011 (0.75)	1923 ± 1057 (0.72)
2000msec	1491 ± 1288 (0.85)	1992 ± 1374 (0.78)	2006 ± 1233 (0.66)
2500msec	1398 ± 920 (0.84)	1903 ± 1572 (0.72)	2107 ± 1407 (0.68)

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「Yes 嘗試」的正確率（括號內）

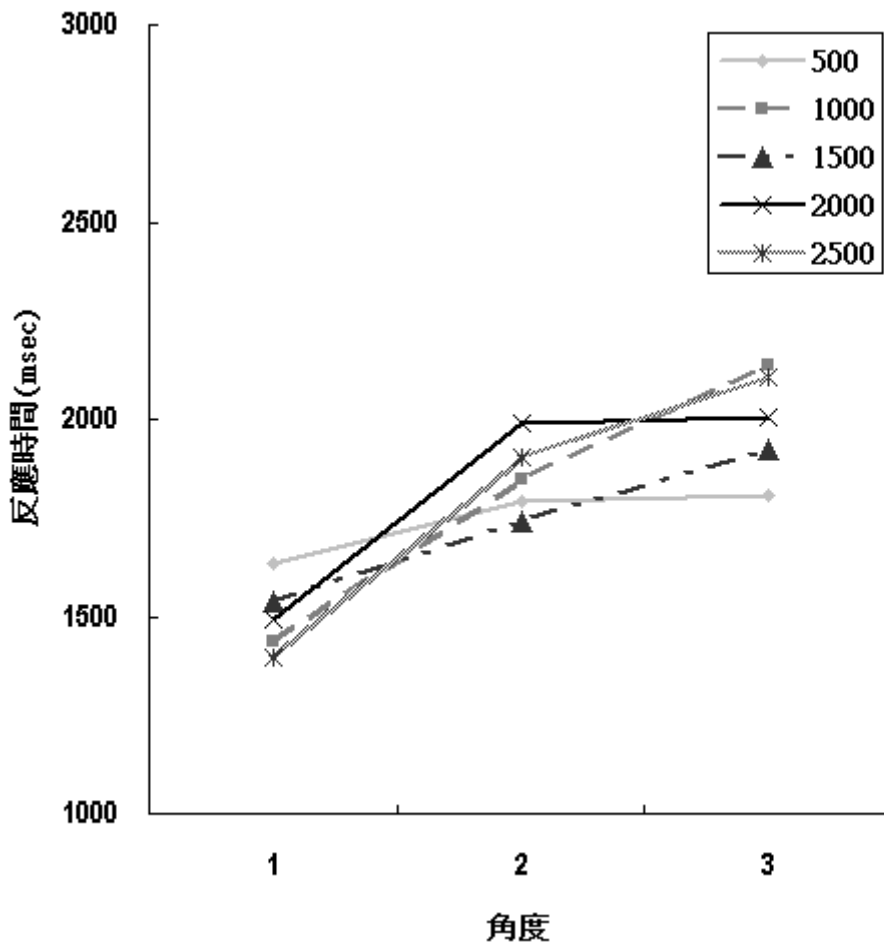


圖 4-5-1 實驗五各條件下的正確「Yes 嘗試」反應時間圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500msec、2000msec 以及 2500msec。

表 4-5-4 實驗五之正確「No 嘗試」之平均反應時間與正確率 (19 人)

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
500msec	1577 ± 1258 (0.73)	2201 ± 1140 (0.56)	2422 ± 1901 (0.66)
1000msec	1692 ± 1258 (0.83)	2165 ± 1297 (0.59)	2217 ± 1537 (0.60)
1500msec	1513 ± 739 (0.78)	2291 ± 1559 (0.61)	2540 ± 1547 (0.64)
2000msec	1481 ± 864 (0.81)	2445 ± 1719 (0.66)	2403 ± 1672 (0.62)
2500msec	1752 ± 1708 (0.86)	2184 ± 1383 (0.67)	2241 ± 1204 (0.63)

各條件下的正確的「No 嘗試」之平均反應時間±標準差 (單位：毫秒) 及各條件下「No 嘗試」反應的正確率 (括號內)

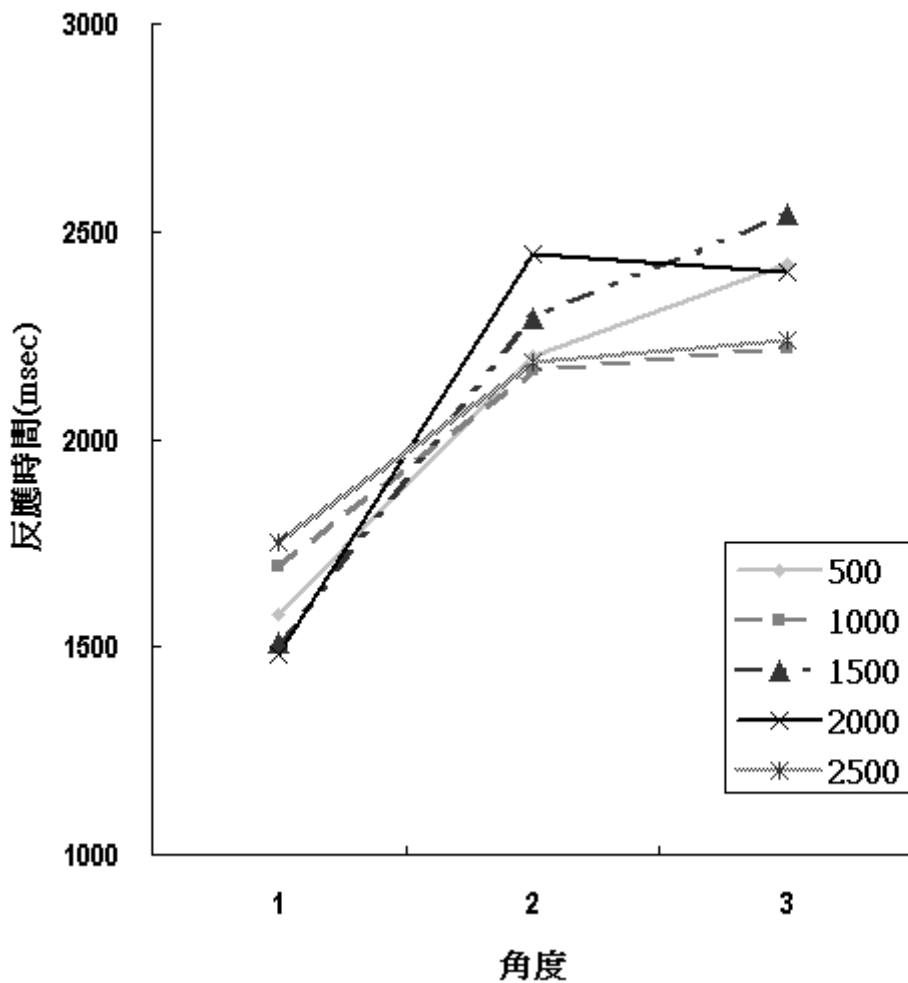


圖 4-5-2 實驗五各條件下的正確「No 嘗試」反應時間圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500msec、2000msec 以及 2500msec。

表 4-5-5 實驗五之正確嘗試之平均反應時間與正確率（19 人）

	兩圖形之間的角度差異		
	0	90	180
500msec	1606 ± 1525 (0.77)	1996 ± 1115 (0.63)	2114 ± 1460 (0.66)
1000msec	1565 ± 1221 (0.84)	2007 ± 1225 (0.67)	2177 ± 1494 (0.65)
1500msec	1524 ± 1118 (0.79)	2015 ± 1257 (0.68)	2232 ± 1172 (0.68)
2000msec	1486 ± 1061 (0.832)	2218 ± 1509 (0.72)	2205 ± 1421 (0.64)
2500msec	1575 ± 1308 (0.85)	2044 ± 1461 (0.70)	2174 ± 1254 (0.65)

各條件下的所有正確的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）

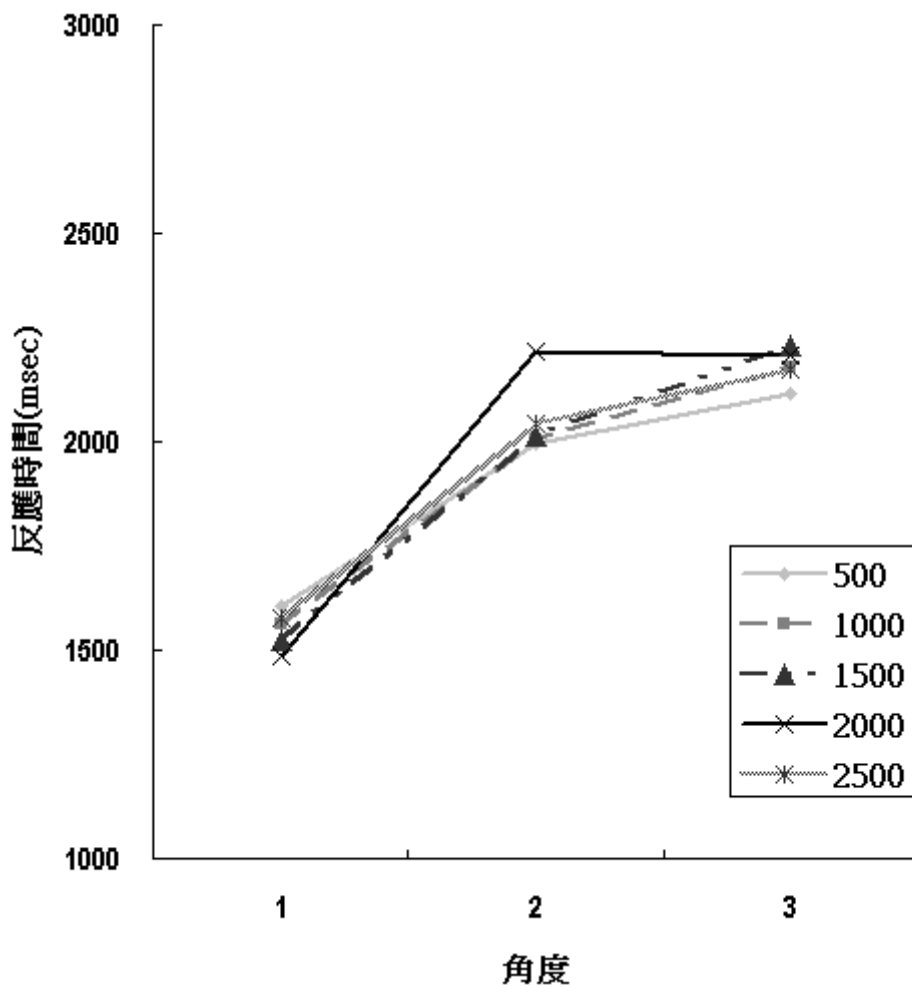


圖 4-5-3 實驗五各條件下所有正確的嘗試之反應時間圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500msec、2000msec 以及 2500msec。

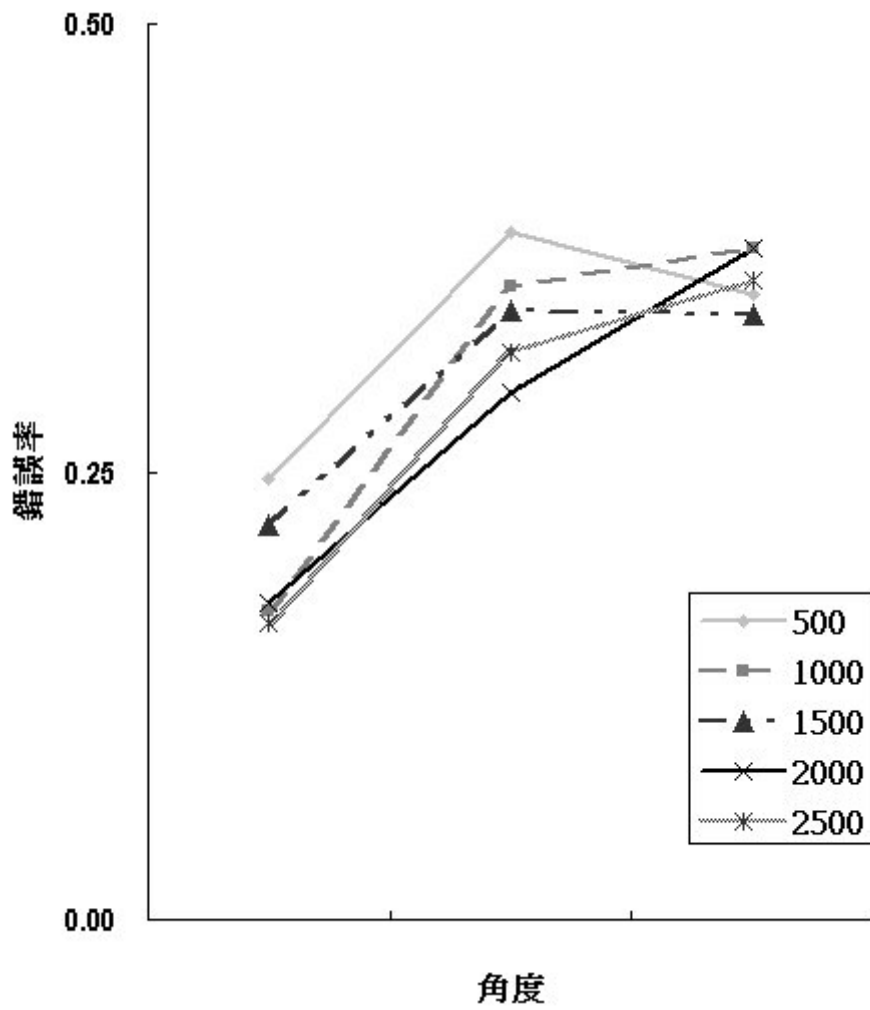


圖 4-5-4 實驗五各條件下的所有嘗試之錯誤率圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500msec、2000msec 以及 2500msec。

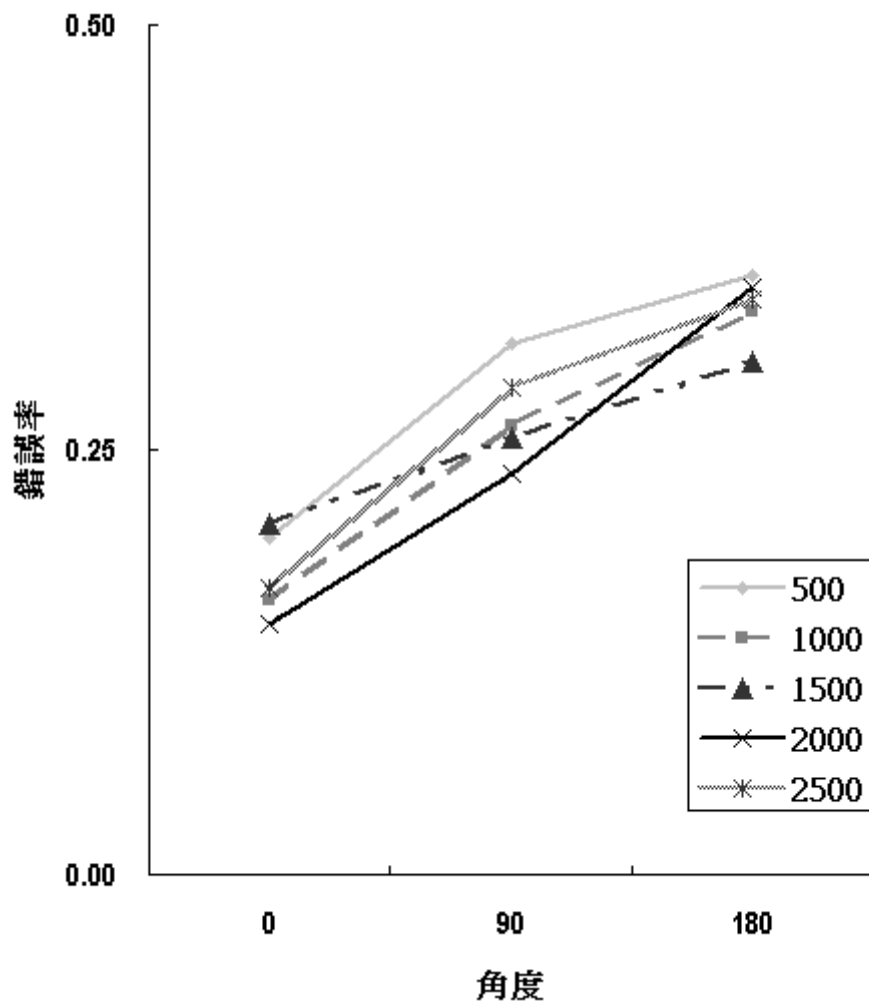


圖 4-5-5 實驗五各條件下「Yes 嘗試」之錯誤率圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500mesc、2000msec 以及 2500msec。

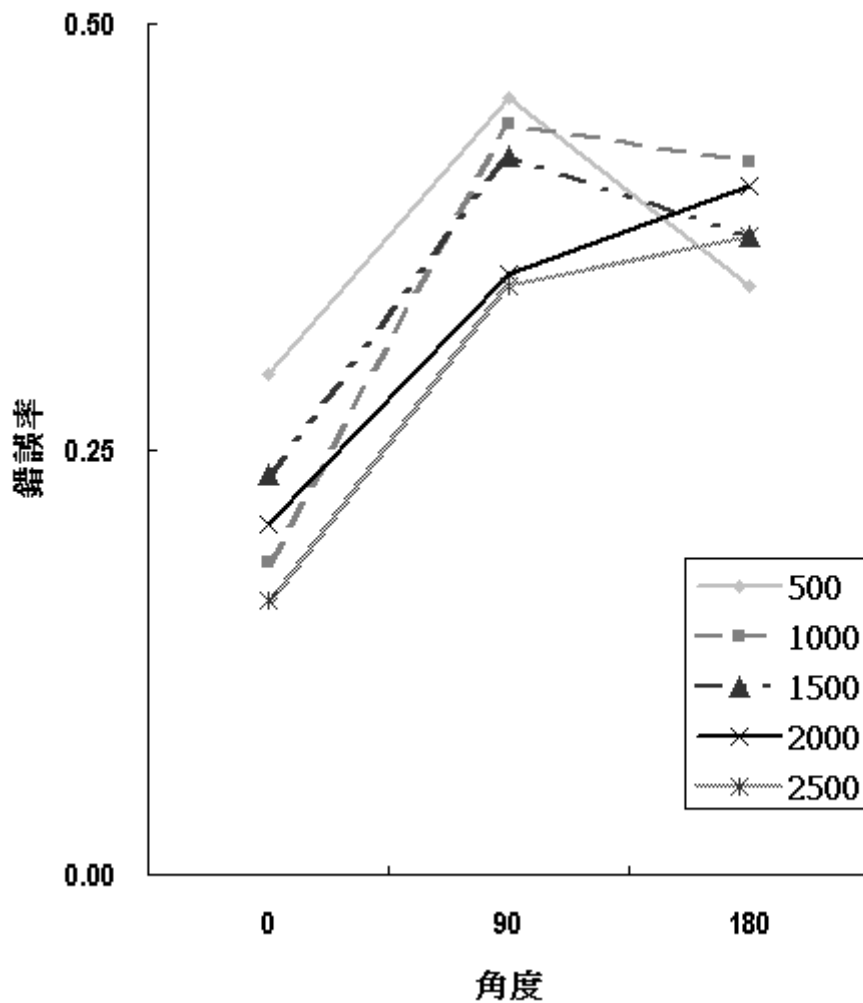


圖 4-5-6 實驗五各條件下「No 嘗試」之錯誤率圖

圖中線條之代號 500、1000、1500、2000、2500 分別指圖形呈現時間變項 500msec、1000msec、1500msec、2000msec 以及 2500msec。

實驗分析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)。實驗分析共 19 名受試者的正確「Yes/No 嘗試」之反應時間資料在嘗試判斷類型、圖形刺激呈現時間變項以及角度差異變化變項之間的關係。在統計分析上為 $2 \times 5 \times 3$ 三因子設計。

在反應速率上的分析上，沒有 3 階或 2 階的交互作用（見表 4-5-6）。在自變項主要效果部分，「Yes 嘗試」與「No 嘗試」之反應速率有差異， $F_s(1,18)=31.882$ ，

$p < .001$ 。圖形呈現時間變項無顯著效果， $F_s(4,72)=0.245$ ， $p=.912$ 。角度變項則有差異， $F_s(2,36)=37.673$ ， $p < .001$ ；其中 0 度與 90 度、180 度有顯著差異， $F_s(1,36)=67.140$ ， $p < .001$ 。

表 4-5-6 所有正確嘗試之反應時間統計摘要表 (2x5x3 二因子設計，19 人)

變異來源		SS	df	MS	F	P
組間		63,012,882.54	29			
	yes&no trial_RT(T之主要效果)	12,115,676.58	1	12,115,676.58	31.882	- **
	display time (D之主要效果)	276371.941	4	69,092.99	0.245	0.912
	angle (a之主要效果)	42,163,366.71	2	21,081,683.36	37.673	- **
	T*D (交互作用)	457062.411	4	114,265.60	0.820	0.519
	T*a (交互作用)	2539277.854	2	1,269,638.93	2.695	0.081
	D*a (交互作用)	1645104.464	8	205,638.06	0.895	0.534
	T*D*a (交互作用)	3816022.579	8	477,002.82	1.441	0.181
組內		1,067,987,519.21	540			
	受試者間s	912,931,523.46	18	50,718,417.97		
	殘差(Txs)	6,840,340.52	18	380,018.92		
	殘差(Dxs)	20,325,852.78	72	282,303.51		
	殘差(axs)	20145686.4	36	559,601.84		
	殘差(TDxs)	10034450.02	72	139,367.36		
	殘差(Taxs)	16961916.22	36	471,164.34		
	殘差(Daxs)	33068172.46	144	229,640.09		
	殘差(TDaxs)	47679597.35	144	331,108.31		
全體	total	1,131,000,401.75	569			

表中 T 為嘗試判斷類型因子，D 為呈現時間因子，a 為角度差異因子。表中「-」表示該數值小於 0.000。

在錯誤率的統計分析上，同反應速率分析無 3 階之交互作用（見表 4-5-7）。在 2 階交互作用上，嘗試的判斷類型變項與呈現時間變項無交互作用， $F_s(4,72)=0.818$ ， $p=.517$ ；在嘗試的判斷類型與角度變項上有交互作用， $F_s(2,36)=3.640$ ， $p < .05$ ；在呈現時間與角度變項上無交互作用， $F_s(8,144)=1.849$ ， $p=.072$ 。

進一步分析嘗試的判斷類型變項與角度差異變項交互作用的單純主要效果（見表 4-5-8）。發現角度差異變項因子的影響在「Yes 嘗試」判斷類型條件下達顯著， $F_s(2,72)=15.339$ ， $p < .001$ ；0 度之錯誤率顯著較與 90 度、180 度低， $F_s(1,72)=30.127$ ， $p < .001$ ；在「No 嘗試」判斷類型條件下亦達顯著， $F_s(2,72)=29.468$ ， $p < .001$ ，

0 度較 90 度、180 度錯誤率低， $F_s(1,72)=41.324$ ， $p<.001$ 。嘗試的判斷類型因子的影響在角度差異 0 度時無差異， $F_s(1,54)=0.477$ ， $p=.493$ ；在角度差異 90 度時有顯著差異， $F_s(1,54)=7.312$ ， $p<.01$ ，「no 嘗試」的錯誤率顯著較「Yes 嘗試」高，在 180 度時則無差異，

表 4-5-7 所有嘗試之錯誤率分析統計摘要表 (2x5x3 二因子設計，19 人)

變異來源		SS	df	MS	F	P
組間		4.26	29			
	yes&no trial_mistake(T之主要效果)	0.71	1	0.71	2.978	0.101
	displaytime (D之主要效果)	0.139	4	0.03	1.730	0.152
	angle (a之主要效果)	2.80	2	1.40	37.224	- **
	T*D (交互作用)	0.064	4	0.02	0.818	0.517
	T*a (交互作用)	0.216	2	0.11	3.640	0.037 *
	D*a (交互作用)	0.245	8	0.03	1.849	0.072
	T*D*a (交互作用)	0.087	8	0.01	0.572	0.801
組內		20.46	540			
	受訪者間s	5.76	18	0.32		
	殘差(Txs)	4.30	18	0.24		
	殘差(Dxs)	1.45	72	0.02		
	殘差(ags)	1.353	36	0.04		
	殘差(TDxs)	1.408	72	0.02		
	殘差(Taxs)	1.068	36	0.03		
	殘差(Daxs)	2.385	144	0.02		
	殘差(TDaxs)	2.739	144	0.02		
全體	total	24.72	569			

表中 T 為嘗試判斷類型因子，D 為呈現時間因子，a 為角度差異因子。表中「-」表示該數值小於 0.000。

表 4-5-8 錯誤率中嘗試判斷類型與角度差異單純主要效果表 (19 人)

單純主要效果內容	SS	df	MS	F	P
yes/no trial(T)因子					
在0度條件下 T(a1)	0.047	1	0.047	0.477	0.493
在90度條件下 T(a2)	0.727	1	0.727	7.312	0.009 *
在180度條件下 T(a3)	0.152	1	0.152	1.530	0.223
誤差(T+Ta*block)	5.366	54	0.099		
angle(a)因子					
在Yes嘗試條件下 a(T1)	1.032	2	0.516	15.339	0.000 **
在No嘗試條件下 a(T2)	1.982	2	0.991	29.468	0.000 **
誤差(a+Ta*block)	2.42	72	0.034		

表中 T 為嘗試判斷類型因子，T1、T2 分別表示「Yes 嘗試」條件與「No 嘗試」條件。a 為角度差異因子，a1、a2 及 a3 則表示 0 度、90 度及 180 度。

在自變項主要效果部分，「Yes 嘗試」與「No 嘗試」之錯誤率無差異， $F_s(1,18)=2.978$ ， $p=.101$ 。圖形呈現時間變項無顯著效果， $F_s(4,72)=1.730$ ， $p=.152$ 。角度變項則有差異， $F_s(2,36)=37.224$ ， $p<.001$ ；其中 0 度與 90 度、180 度有顯著差異，錯誤率較低， $F_s(1,36)=67.140$ ， $p<.001$ 。

表 4-5-9 角度差異 90 度之全部正確嘗試平均反應時間單一様本檢定表 (19 人)

角度差異90度	成對變數差異							顯著性 (雙尾)
	平均值	標準差	平均數的 標準誤	差異的95%信賴區間		t	df	
				下界	上界			
Pair 1 500ms – 1000ms	-10.26316	379.11913	86.97589	-192.99273	172.46641	-.118	18	.907
Pair 2 500ms – 1500ms	-19.21053	394.75486	90.56298	-209.47628	171.05522	-.212	18	.834
Pair 3 500ms – 2000ms	-222.10526	581.54640	133.41589	-502.40165	58.19113	-1.665	18	.113
Pair 4 500ms – 2500ms	-47.31579	460.56114	105.65997	-269.29915	174.66757	-.448	18	.660
Pair 5 1000ms – 1500ms	-8.94737	363.56330	83.40714	-184.17927	166.28453	-.107	18	.916
Pair 6 1000ms – 2000ms	-211.84211	572.25230	131.28368	-487.65889	63.97467	-1.614	18	.124
Pair 7 1000ms – 2500ms	-37.05263	399.81947	91.72488	-229.75945	155.65418	-.404	18	.691
Pair 8 1500ms – 2000ms	-202.89474	469.09735	107.61831	-428.99242	23.20295	-1.885	18	.076
Pair 9 1500ms – 2500ms	-28.10526	352.35649	80.83612	-197.93566	141.72513	-.348	18	.732
Pair 10 2000ms – 2500ms	174.78947	388.16628	89.05145	-12.30069	361.87963	1.963	18	.065

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

表 4-5-10 角度差異 180 度之全部正確嘗試平均反應時間單一様本檢定表 (19 人)

角度差異180度	成對變數差異							顯著性 (雙尾)
	平均值	標準差	平均數的 標準誤	差異的95%信賴區間		t	df	
				下界	下界			
Pair 1 500ms – 1000ms	-63.31579	486.84347	111.68955	-297.96683	171.33525	-.567	18	.578
Pair 2 500ms – 1500ms	-118.26316	753.20049	172.79604	-481.29417	244.76786	-.684	18	.502
Pair 3 500ms – 2000ms	-90.89474	586.99299	134.66543	-373.81630	192.02683	-.675	18	.508
Pair 4 500ms – 2500ms	-60.31579	522.51444	119.87303	-312.15969	191.52811	-.503	18	.621
Pair 5 1000ms – 1500ms	-54.94737	655.78396	150.44716	-371.02512	261.13038	-.365	18	.719
Pair 6 1000ms – 2000ms	-27.57895	676.05788	155.09831	-353.42842	298.27052	-.178	18	.861
Pair 7 1000ms – 2500ms	3.00000	561.11734	128.72915	-267.44990	273.44990	.023	18	.982
Pair 8 1500ms – 2000ms	27.36842	785.39404	180.18175	-351.17939	405.91623	.152	18	.881
Pair 9 1500ms – 2500ms	57.94737	478.87025	109.86037	-172.86071	288.75544	.527	18	.604
Pair 10 2000ms – 2500ms	30.57895	598.30244	137.25999	-257.79360	318.95149	.223	18	.826

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

為確定是否有某一個圖形刺激呈現時間可以讓受試者完成心像旋轉作業，另進行平均數考驗。角度差異 90 度與 180 度時，不同圖形刺激呈現時間的受試者

正確嘗試平均反應時間進行單一樣本平均數 t 考驗結果如下（表 4-5-8 及 4-5-9）。

表 4-5-11 角度差異 90 度之全部嘗試錯誤率單一樣本檢定表（19 人）

角度差異90度	成對變數差異						t	df	顯著性 (雙尾)
	平均值	標準差	平均數的 標準誤	差異的95%信賴區間					
				下界	下界				
Pair 1	500ms - 1000ms	.03125	.11315	.02596	-.02329	.08579	1.204	18	.244
Pair 2	500ms - 1500ms	.04441	.11567	.02654	-.01135	.10016	1.673	18	.112
Pair 3	500ms - 2000ms	.08717	.09748	.02236	.04019	.13416	3.898	18	.001 **
Pair 4	500ms - 2500ms	.06086	.11481	.02634	.00552	.11619	2.310	18	.033 *
Pair 5	1000ms - 1500ms	.01316	.08858	.02032	-.02954	.05585	.647	18	.526
Pair 6	1000ms - 2000ms	.05592	.08689	.01993	.01404	.09780	2.805	18	.012 *
Pair 7	1000ms - 2500ms	.02961	.05844	.01341	.00144	.05777	2.208	18	.040 *
Pair 8	1500ms - 2000ms	.04276	.10735	.02463	-.00898	.09451	1.736	18	.100
Pair 9	1500ms - 2500ms	.01645	.11894	.02729	-.04088	.07377	.603	18	.554
Pair 10	2000ms - 2500ms	-.02632	.10220	.02345	-.07558	.02294	-1.122	18	.276

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

表 4-5-12 角度差異 180 度之全部嘗試錯誤率單一樣本檢定表（19 人）

角度差異180度	成對變數差異						t	df	顯著性 (雙尾)
	平均值	標準差	平均數的 標準誤	差異的95%信賴區間					
				下界	下界				
Pair 1	500ms - 1000ms	-.01316	.15391	.03531	-.08734	.06103	-.373	18	.714
Pair 2	500ms - 1500ms	.02303	.15620	.03583	-.05226	.09831	.643	18	.529
Pair 3	500ms - 2000ms	-.01974	.14739	.03381	-.09078	.05130	-.584	18	.567
Pair 4	500ms - 2500ms	-.00987	.18431	.04228	-.09870	.07896	-.233	18	.818
Pair 5	1000ms - 1500ms	.03618	.12381	.02840	-.02349	.09586	1.274	18	.219
Pair 6	1000ms - 2000ms	-.00658	.14418	.03308	-.07607	.06291	-.199	18	.845
Pair 7	1000ms - 2500ms	.00329	.16986	.03897	-.07858	.08516	.084	18	.934
Pair 8	1500ms - 2000ms	-.04276	.16674	.03825	-.12313	.03760	-1.118	18	.278
Pair 9	1500ms - 2500ms	-.03289	.18443	.04231	-.12179	.05600	-.777	18	.447
Pair 10	2000ms - 2500ms	.00987	.16701	.03831	-.07063	.09036	.258	18	.800

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

雖然各呈現時間之平均反應時間沒有差異，但呈現時間為 2000ms 與其它呈現時間成對比較的顯著性數值較低。另比對所有嘗試錯誤率之平均數考驗（表 4-5-10 及 4-5-11），發現在角度差異 90 度下，圖形刺激呈現時間為 2000ms 時，與 500ms、1000ms 有顯著差異。呈現時間為 2000ms 時的錯誤率顯著較呈現時間為 500ms 時低， $t(18)=3.898$ ， $p<.005$ ；也較呈現時間 1000ms 低， $t(18)=2.805$ ， $p<.05$ 。

圖形刺激呈現時間為 2500ms 時，與 500ms、1000ms 也有顯著差異。呈現時間為 2500ms 時的錯誤率顯著較呈現時間為 500ms 時低， $t(18)=2.310$ ， $p<.05$ ；也較呈現時間 1000ms 低， $t(18)=2.208$ ， $p<.05$ 。呈現時間 1500ms、2000ms 與 2500ms 彼此之間無顯著差異。

在角度差異 180 下，各呈現時間之全部正確嘗試的平均反應時間及所有嘗試的平均錯誤率也沒有差異。

表 4-5-13 角度差異 90 度之 No 嘗試錯誤率單一樣本檢定表 (19 人)

角度差異 90 度		成對變數差異					t	df	顯著性 (雙尾)	
		平均值	標準差	平均數的		差異的 95% 信賴區間				
				標準誤	下界	下界				
Pair 1	500ms - 1000ms	.02632	.14481	.03322	-.04348	.09611	.792	18	.439	
Pair 2	500ms - 1500ms	.04276	.16543	.03795	-.03697	.12250	1.127	18	.275	
Pair 3	500ms - 2000ms	.10197	.17206	.03947	.01904	.18490	2.583	18	.019 *	
Pair 4	500ms - 2500ms	.10526	.21046	.04828	.00382	.20670	2.180	18	.043 *	
Pair 5	1000ms - 1500ms	.01645	.11570	.02654	-.03932	.07221	.620	18	.543	
Pair 6	1000ms - 2000ms	.07566	.12771	.02930	.01410	.13721	2.582	18	.019 *	
Pair 7	1000ms - 2500ms	.07895	.15568	.03572	.00391	.15398	2.210	18	.040 *	
Pair 8	1500ms - 2000ms	.05921	.13254	.03041	-.00467	.12309	1.947	18	.067	
Pair 9	1500ms - 2500ms	.06250	.17305	.03970	-.02091	.14591	1.574	18	.133	
Pair 10	2000ms - 2500ms	.00329	.15656	.03592	-.07217	.07875	.092	18	.928	

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

爲了確認受試者是否在某一個圖形刺激呈現時間內能夠正確地回答心像旋轉作業中的問題，檢測受試者在作業中的心像表徵完整性，檢定 No 嘗試 90 度與 180 度的錯誤率平均值表現，結果見表 4-5-12 及表 4-5-13。顯示在角度差異 90 度時，圖形刺激呈現時間在 2000ms 與 2500ms 時，與 500ms 及 1000ms 之間 No 嘗試之錯誤率有顯著差異。2000ms 的錯誤率相較 500ms 時低， $t(18)=2.583$ ， $p<.05$ ；也較 1000ms 低， $t(18)=2.582$ ， $p<.05$ 。2500ms 之錯誤率比 500ms 低， $t(18)=2.180$ ， $p<.05$ ；也比 1000ms 低， $t(18)=2.210$ ， $p<.05$ 。而 1500ms 與 2000ms、2500ms 彼此之間無顯著差異，但 1500ms 與 2500ms 之間的 No 嘗試錯誤率平均值差異雖未達顯著，但

非常接近， $t(18)=1.947$ ， $p=.067$ 。

在角度差異 180 下，No 嘗試的錯誤率平均值未達顯著。

表 4-5-14 角度差異 180 度之 No 嘗試錯誤率單一標本檢定表 (19 人)

角度差異180度	成對變數差異						t	df	顯著性 (雙尾)
	平均值	標準差	平均數的 標準誤	差異的95%信賴區間					
				下界	上界				
Pair 1	500ms - 1000ms	.05921	.23706	.05438	-.17347	.05505	-1.089	18	.291
Pair 2	500ms - 1500ms	-.01316	.22006	.05049	-.11923	.09291	-.261	18	.797
Pair 3	500ms - 2000ms	-.03947	.21267	.04879	-.14198	.06303	-.809	18	.429
Pair 4	500ms - 2500ms	-.03289	.26300	.06034	-.15966	.09387	-.545	18	.592
Pair 5	1000ms - 1500ms	.04605	.22131	.05077	-.06061	.15272	.907	18	.376
Pair 6	1000ms - 2000ms	.01974	.18756	.04303	-.07066	.11014	.459	18	.652
Pair 7	1000ms - 2500ms	.02632	.23415	.05372	-.08654	.13917	.490	18	.630
Pair 8	1500ms - 2000ms	-.02632	.22275	.05110	-.13368	.08104	-.515	18	.613
Pair 9	1500ms - 2500ms	-.01974	.21756	.04991	-.12460	.08512	-.395	18	.697
Pair 10	2000ms - 2500ms	.00658	.25507	.05852	-.11636	.12952	.112	18	.912

表中 500ms-1000ms 是指圖形刺激呈現時間 500ms 與 1000ms 之反應時間成對檢定，其餘以此類推。

討論

從上述實驗結果得知，「Yes 嘗試」之表現較快但錯誤率也較高，受試者傾向認為標的圖之圖形部件位置在正確的位置上，但實際上受試者的判斷並不正確。這顯示受試者並不太能確定圖形部件是否在旋轉過後的正確位置上。當圖形呈現 2000msec 時，受試者之反應時間無論是在「Yes 嘗試」或「No 嘗試」上並無隨著角度差異變化而改變，且此時的「No 嘗試」以及所有嘗試的錯誤率相對於其它較短呈現時間比較低，顯示當圖形呈現 2000msec 以上，受試者至少已能完成 90 度或 180 度之旋轉，且重建不同角度時部件的空間位置。

實驗六

心像旋轉作業中的眼球掃瞄軌跡特性

實驗結果

本實驗結果有 8 個人實驗資料。8 名受試者之平均反應時間見表 4-6-1。1。實驗處理主要計算凝視點位置的平均旋轉量，以及跳視軌跡之平均方向旋轉量。計算各條件下前後兩張圖形之平均方位旋轉量的相關係數。所有受試者在各條件下時的標準圖與標的圖之相關係數見表 4-6-2。凝視點位置變化與跳視向量變化之在各條件之相關係數見表 4-6-3，與見圖 4-6-2 及圖 4-6-3。

表 4-6-1 實驗六結果平均反應時間與正確率（8 人）

	兩圖形之間的角度差異			
	0	r90	180	l90
反應時間	1961 ± 924	3807 ± 1872	3327 ± 1254	3475 ± 1663
（正確率）	(0.96)	(0.80)	(0.80)	(0.84)

各條件下的正確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 4-6-2

各受試者 xy、st、wv 凝視點位置變化及跳視向量變化之平均相關係數 (8 人)

受試者	r_xyroA+				r_cr3+			
	0	r90	180	190	0	r90	180	190
4	0.032	0.536	0.171	0.302	0.139	0.212	0.341	0.228
5	0.206	0.203	0.444	-0.621	0.374	-0.799	0.705	-0.162
7	0.243	0.351	-0.196	-0.843	0.357	-0.648	0.510	0.197
8	-0.062	0.728	-0.082	-0.118	0.149	-0.384	-0.484	-0.511
9	0.313	0.089	-0.149	0.155	-0.349	0.109	0.066	-0.371
10	-0.272	-0.286	-0.405	0.191	0.176	-0.272	-0.216	0.052
12	0.256	0.067	-0.622	0.006	0.457	0.047	0.288	0.112
13	-0.006	0.021	0.666	-0.157	0.603	0.426	-0.374	0.059
	r_stRoA+				r_stCroA+			
	0	r90	180	190	0	r90	180	190
4	0.165	0.274	-0.226	-0.492	0.158	-0.030	-0.411	0.060
5	-0.197	0.663	0.125	0.378	0.741	-0.852	0.065	0.276
7	0.014	0.297	0.261	-0.213	0.822	-0.620	0.481	0.404
8	0.080	-0.250	0.023	-0.115	0.062	0.096	-0.366	-0.301
9	0.365	-0.119	0.282	-0.199	-0.048	0.395	0.806	0.526
10	0.034	0.040	-0.101	0.401	0.367	0.281	-0.028	0.225
12	0.682	-0.197	-0.154	-0.408	0.289	-0.238	0.183	0.073
13	0.214	-0.543	0.158	-0.203	0.456	0.263	-0.156	-0.398
	r_wvroA+				r_wvCro+			
	0	r90	180	190	0	r90	180	190
4	0.247	0.408	0.179	0.082	0.314	-0.016	-0.528	0.299
5	0.015	-0.201	-0.238	-0.336	0.600	-0.699	0.210	0.320
7	-0.121	0.200	-0.184	-0.565	0.821	-0.597	0.782	0.431
8	-0.090	0.144	-0.072	-0.012	-0.011	0.699	-0.472	-0.288
9	0.263	0.069	-0.423	-0.084	-0.263	0.566	0.610	0.425
10	-0.281	0.087	0.093	0.280	0.233	-0.098	-0.154	0.341
12	0.400	0.172	0.117	0.331	0.052	0.335	0.014	0.611
13	0.332	0.498	0.105	0.246	0.400	0.404	-0.488	0.030

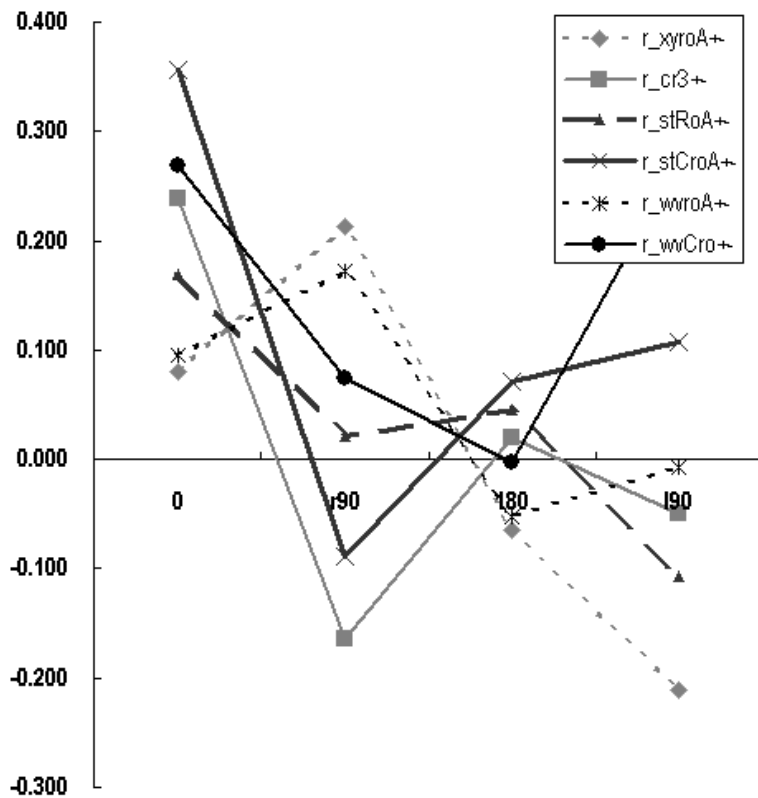


圖 4-6-1 實驗六 xy、st、wv 凝視點位置變化與跳視變化相關係數平均 (8 人)

代號 r_xyroA+ 表 x、y 值凝視點位置變化，r_cr3+ 表 x、y 值跳視向量變化。代號 r_stRoA+ 表 s、t 值凝視點位置變化，r_CroA+ 表 s、t 值跳視向量變化。代號 r_wvroA+ 表 w、v 值凝視點位置變化，r_wvCro+ 表 w、v 值跳視向量變化。

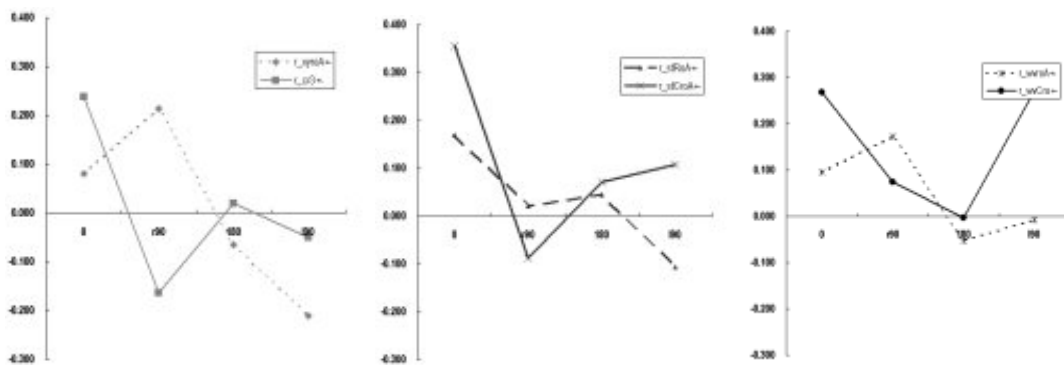


圖 4-6-2 實驗六 xy、st、wv 凝視點位置變化與跳視變化相關係數各別比較 (8 人)

代號 r_xyroA+ 表 x、y 值凝視點位置變化，r_cr3+ 表 x、y 值跳視向量變化。代號 r_stRoA+ 表 s、t 值凝視點位置變化，r_CroA+ 表 s、t 值跳視向量變化。代號 r_wvroA+ 表 w、v 值凝視點位置變化，r_wvCro+ 表 w、v 值跳視向量變化。

表 4-6-3 實驗六 xy、st、wv 凝視點位置變化與跳視變化相關係數平均值（8 人）

	0	R90	180	L90
r_xyroA+-	.081 (p=.300)	.213 (p=.100)	-.064 (p=.680)	-.211 (p=.145)
r_Cr3+-	.238 (p=.052)	-.164 (p=.320)	.019 (p=.906)	-.050 (p=.622)
r_stRoA+-	.170 (p=.112)	.021 (p=.882)	.046 (p=.519)	-.106(p=.392)
r_stCroA+-	.356 (p=.014)*	-.088 (p=.597)	.072 (p=.640)	-.108(p=.376)
r_wvroA+-	.096 (p=.311)	.172 (p=.057)	-.053 (p=.505)	-.007 (p=.950)
r_wvCro+-	.268 (p=.065)	.074 (p=.699)	-.003(p=.986)	.271(p=.028)*

代號 r_xyroA+- 表 x、y 值凝視點位置變化，r_cr3+- 表 x、y 值跳視向量變化。代號 r_stRoA+- 表 s、t 值凝視點位置變化，r_CroA+- 表 s、t 值跳視向量變化。代號 r_wvroA+- 表 w、v 值凝視點位置變化，r_wvCro+- 表 w、v 值跳視向量變化。括號內為該條件下之單一
樣本雙尾 t 考驗的顯著性。

在 0 度的時候因為前後圖形並沒有角度差異，如果受試者在前後圖形的眼球運動軌跡有相關，則理論上無論使用何種座標系統來表示凝視點位置，都可以看到這樣子的相關。在凝視點位置變化量與跳視向量變化量的意義上，兩者所代表的前後眼球運動變化也不太相同。凝視位置變化量只能看到前後兩點之間的關係，也就是某一個凝視點跳至下一個凝視點的方向；而跳視向量變化量可以得到兩個跳視之間的變化（由三個凝視點位置得到的關係），相較於凝視位置變化量較能夠表示眼球運動是否依循著某一個型態來移動。如果受試者在第一個圖形中以某一個旋轉角度來掃視圖形，且在第二個圖形也依循類似的旋轉角度來掃視，則前後圖形的跳視向量變化量平均值會接近；如果受試者在某一對的前後圖形都偏好左右掃視圖形，一下子順時鐘移動一下子逆時鐘移動，則跳視向量平均就會接近於 0。因此，如果前後圖形掃視的眼球運動軌跡有接近的型態，則前後圖形的平均跳視向量變化量就會有相關性，而且是正相關。

從表 4-6-3 之 XY 值、st 值與 wv 值的在各條件下凝視點位置變化與跳視向量變化量的平均相關係數可以看出上述的推論存在。在 0 度的時候，無論使用何種

座標系統來表示凝視點位置所得平均相關係數皆大於零。雖然單一樣本雙尾 t 考驗的顯著性只有 st 的跳視向量變化量平均相關係數($r_{stCroA+}$)達顯著，但是在 XY 的跳視向量變化量平均相關係數(r_{Cr3+})及 ww 值的跳視向量變化量平均相關係數上(r_{wvCro+})的顯著性 p 值也非常接近於.5，這可能是因為實驗人數略少，不容易達到統計上的顯著的關係。而 0 度時各座標系統所得到的跳視向量變化相關都高於凝視位置變化量的相關，若要前後圖形的眼球運動軌跡型態的關係以跳視向量變化量較為適合。

在不同的座標系統意義上，因 st 值計算的是不考慮參考軸方向的絕對位置關係，ww 值得到的相對於參考軸的位置關係。因此若要探討心像旋轉作業中不同角度圖形的眼動型態是否是依據參考軸線來變化，則相對於參考軸的位置關係所得到的座標值來計算前後圖形眼動型態的相關應比未考慮參考軸方向所得到的座標值來得高，實驗結果也看出這樣的趨勢。

因此除了用來表示凝視點位置座標系統可以比較出前後圖形眼動型態外，跳視向量變化可以看出受試者的眼球運動軌跡是否循著某一個方向旋轉，或是來回移動。因此跳視向量變化量相對於凝視點位置變化量在兩張圖形角度不同時，相對於凝視點位置變化量較為適合作為眼球運動軌跡是否相關的指標。

最後 ww 值之跳視向量變化相關係數平均值為 .1526，在進行單一樣本雙尾平均數 t 考驗顯著性大於 0， $t(31)=2.043$ ， $p<.05$ 。其它部分無論是 XY 值或 st 值上的眼球運動位置變化或跳視向量變化在單一樣本平均數 t 考驗檢定中都沒有達到顯著。因此，在心像旋轉作業中，先前記憶圖形時與後來辨識圖形時的眼球運動跳視向量變化是有關的。

討論

本實驗利用計算凝視點位置變化量及跳視向量變化量，發現受試者在前後圖形眼球運動時，相對於參考軸的跳視向量變化量有相關。這結果顯示受試者在提取與比對心像與眼前的圖形時，眼球運動空間相對關係記憶扮演某種角色，且這樣的空間關係重建是以參考軸作為指標。

過去的研究很難尋找適合的量化方式來比較這兩者的關係，本實驗利用跳視向量變化量來計算記憶圖形時與提取心像時眼睛運動軌跡之間的關係，確定跳視向量變化量可以作為前後圖形眼睛運動軌跡關係的指標，亦發現心像旋轉中的互相配對的圖形之眼動軌跡的確有關。

第二節 綜合討論

第一個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未因圖形複雜度變高而攀升。而圖形整體性對心像旋轉反應時間則無明顯影響。這個發現符合 Cooper(1973)的研究發現。但這樣的結果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，因此在第二個實驗中，改變作業的要求，讓受試者精確地回答心像旋轉的問題。

第二個實驗結果發現，當改變心像旋轉作業要求時，圖形整體性的改變會影響心像旋轉中反應時間對角度之斜率變化，而圖形複雜度不會改變這個斜率變化。這個結果顯示心像旋轉階段有兩個細微歷程。這兩個細微歷程還可以同時說明過去其他研究者彼此之間不一致的實驗結果。Cooper 和 Shepard(1973)所言之「心像旋轉階段」的心智運作，其實可以分成兩個更細微的歷程：

1. 先旋轉一個簡單的參考軸或架構；
2. 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。

當需要旋轉的圖形不同時，這兩個細微歷程將有不同比重的微調，造成心像旋轉速率的變化。

第三個實驗結果顯示，當受試者參與心像旋轉作業時間越長，圖形中的參考軸在前後兩圖形角度差異 180 度時能夠幫助心像旋轉。但因實驗中受試者之練習效果大於本實驗操弄效果，所以無法明確得知參考軸在心像旋轉中的影響。

第四個實驗結果發現，刺激圖形中的參考架構在比較困難的角度上（前後兩圖形角度差異 90 度時）能幫助受試者心像旋轉，但在角度差異 180 度時，效果

不明確。

第五個實驗結果顯示，心像旋轉時受試者之心像並不完整，無論時間是否足夠受試者傾向猜測前後兩張圖形為相同圖，並不容易分辨出前後兩圖形的細微差異。並且發現前後兩圖形角度差異 90 度時，所需要的反應時間約 2000msec，前後角度差異 180 度時，所需要的反應時間約 2500msec。此心像旋轉速率與過去研究之結果大致相符。

第六個實驗顯示，心像旋轉時的眼球運動掃瞄軌跡與刺激圖形編碼時的眼球運動掃瞄軌跡有關連。圖形編碼時的眼球運動掃瞄軌跡包含著圖形中部件的相對空間訊息，且重建圖形時依賴著圖形中的參考軸來建立相對空間關係。

總結，依據以上實驗結果發現，心像旋轉作業中的心像旋轉階段應可分成兩個細微歷程，包含一個簡單的參考軸的旋轉及圖形部件的重建，且心像旋轉歷程中的心像並不完整，而心像轉換階段與圖像編碼階段的眼球運動掃瞄軌跡有關連。

這心像旋轉階段的兩細微歷程，可以說明過去許多研究者在不同的心像旋轉實驗上的不一致結果。在 Copper(1973)的研究中，因為使用不規則連續圖形，且只判斷標準圖及鏡像圖，受試者不需要仔細的重建圖形部件空間位置架構即可作答。因此其整體式旋轉的結果其實只是來自於簡單架構的旋轉效果。在 Folk 與 Luce(1987)的研究中同樣操弄圖形複雜度，依然使用不規則連續圖形，因要求受試者判斷相同或不同，受試者需要重建圖形空間部件架構才能作判斷，所以得到片段式旋轉結果。這兩個歷程是否會因為心像旋轉作業中的要求或刺激圖形的特性，而做不同比重的微調，值得進一步探討。另，這兩個歷程是同時並行或依序執行在本研究中並未探討，也需要相關其他實驗加以研究。

本研究證明在心像旋轉階段的兩個歷程存在，暗示心像旋轉作業表現的優劣關鍵，是在圖形刺激材料的編碼與重建上，以及視覺空間記憶上，而不是那個旋

轉歷程。這個看法可以說何以練習效果總是無法遷移到新圖形上。因為我們訓練到的並不式旋轉歷程而是對某圖形的編碼與記憶。

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。

在化學學習上，因為化學領域使用的化學符號表徵了化學結構。學生學習時除了要知道哪一個化學式代表了哪一個化學物質，還得要知道那個化學物質中原子與原子之間的二維及三維相對空間關係。從本研究的實驗結果顯示，複雜圖形在執行視覺影像轉換時，必須依賴著容易對應出其它部件的參考軸來重建整個圖像的結構。因此，當圖形中有許多部件存在時，部件與部件的空間關係依賴著一個可做為參考軸的部件來建立相對空間關係，沒有一個適合作為參考軸的部件在其中時，執行其它空間視覺轉換時，就很容易出現失誤或錯認。

第五章 總結、結論與建議

本章依序總結本研究之研究結果，並針對未來研究方向提出可能的建議。

第一節 總結

關於心像旋轉作業的理論解釋分歧，本研究為瞭解心像旋轉作業中心像旋轉階段的細微歷程，以實驗研究法設計了六個實驗探究四個研究問題。研究問題如下：

1. 心像旋轉作業中圖形複雜度與整體性對心像旋轉之反應時間的影響
2. 心像旋轉作業中心像旋轉階段的細微歷程
3. 心像旋轉歷程中心像的完整性
4. 心像旋轉作業中圖像編碼階段的心像轉換階段的眼球運動掃瞄軌跡的
關連

其中，第一、二個實驗探究第一個研究問題，第三、四個實驗探究第二個問題，第五個實驗瞭解第三個問題，第六個實驗探索第四個問題。

第一、二個實驗藉由設計的圖形刺激材料，操弄圖形中的複雜度及整體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。第一個實驗使用與 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，與他們實驗相同的結果，也就是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。此實驗中增加的圖形特性變項—整體性變項，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。但是這「心像旋轉速率不受圖形複雜度與整體性影響」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。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。但在圖形整體性變項上，則發現當圖形整體性變高時，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。

小結第一、二個實驗的結果，顯示心像旋轉作業中的圖形複雜度與整體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。而在整體性的變化上，當整體性提高，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。

若心像旋轉階段的歷程可以分為先旋轉一個簡單架構再依據圖形的簡單架構重建部件的話，則可以藉由操弄簡單架構的呈現與否來看反應時間是否發生變化，也就是先呈現一個簡單架構是否會減少反應時間。實驗三、四皆是改變心像

旋轉作業中的方向線索的不同，來探究這兩歷程的存在。

實驗三因為採用的是區組設計，造成受試者在前後區組的實驗結果反映出來方向線索影響遠不如練習效果的影響，而無法確定方向線索造成的影響。在實驗四中則利用本研究設計的圖形特有的特徵做為方向線索，發現若先呈現圖形中的參考軸特徵可以縮短反應時間。

在本研究的實驗三中的第二個反應時間的平均結果上，0 度與 90 度、180 度並非完全的水平，90 度與 180 度之間的反應時間雖沒有差異，但都較 0 度之反應時間長，顯示在 0 度上的直接比對過程與在 90 度與 180 度時的比對過程並不全完相同。這樣的結果暗示這兩個細微歷程與隨後的比對歷程並無法明顯地分開。因此在心像旋轉作業中各階段的心智歷程是依序進行還是同行並行還需要進一步探討。如果各階段的心智歷程是可分開進行時，這表示在教育上可以針對不同的歷程進行必要的協助。反之，若各階段的心智歷程不可避免地屬於同時並行時，則顯示降低視覺轉換時的心智負荷是比較重要的。

在實驗四中 180 度的反應時間差異並沒有得到顯著差異，且發現受試者間在 180 度時的反應時間變異度相較於 90 度時的反應時間變異度大，顯示在 180 度時各受試者所執行的歷程很可能不同。

第五個實驗則是探究心像旋轉歷程中的心智表徵完整性。實驗發現心像旋轉歷程中的心像表徵在轉換時並不完整。受試者無法很精確地辨識出前後角度有差異的圖形變化，且在大部分情況下受試者傾向猜測後圖與前圖相同。這樣的結果暗示著受試者若非在辨識圖形時就漏失了圖形細節的資訊（根本沒有編碼成功），就是在心像旋轉運作中重建過程遺失了細節資訊（短期記憶不堪負荷將細節遺漏了）。實驗三的錯誤率顯示以上兩種情況的可能性。在高整體性且低複雜度（三個線條兩個方塊）的圖形中，圖形部件相對明顯但在 0 度時錯誤率並沒有比較低，顯示空間資訊較多時編碼並不一定完全，反而不如將圖形視作為一個影

像時錯誤率較低。任何種類的圖形中在 90 度與 180 度時的錯誤率都明顯高於 0 度，則顯示在心像旋轉運作時要處理的歷程越多則遺失的資訊就越多。實驗四的結果則顯示，當利用比較適當的參考軸做為線索時，反應時間較短且錯誤率較低。

本研究最重要的結果則是發現心像旋轉作業中的眼球運動掃瞄軌跡與該圖形一開始編碼時的眼動掃瞄軌跡有關係。實驗中檢視了以各種座標系統表示凝視點位置的凝視位置變化量及跳視向量變化量在前後圖形中的眼球運動的相關性。一如預期的以任何座標系統中的所表示凝視位置，在前後圖形沒有角度差異時(0 度)所得到的前後圖形眼球運動相關性相對於有角度變化的情況下來得高。以跳視向量變化量得到的前後圖形眼球運動相關性也較單純表示凝視點位置變化量得到的相關性高。而表現最高相關性的則是，以參考軸為相對座標系統來表示的凝視點位置所得到的跳視向量變化量相關性最高。

這樣的結果顯示檢視圖形的眼動掃瞄軌跡會循著最初的看到同一圖形時的眼動掃瞄軌跡進行，但略微簡化。眼睛凝視的位置並不一定落在相同的地方，但是跳視軌跡會依循類似的方向與角度進行。在前後圖形角度相同時(0 度)，無論以哪一種空間座標標示凝視點，在凝視點位置變化量及跳視向量變化的指標上表示都顯示出前後圖形眼動軌跡的相關。但是當前後圖形角度不一致時，只有依據參考軸編碼的座標系統標示出的凝視點位置跳視向量變化量才能顯示出前後圖形眼球運動軌跡的關係。綜合以上結果，顯示圖形的編碼與檢視時圖形中的參考架構很重要。受試者會先參照參考架構的位置進行掃瞄，且掃瞄軌跡彼此相關。還確認眼球運動軌跡中的跳視向量變化可以做為檢視兩圖形之眼動掃瞄軌跡相似性的指標。

總結，本研究確定心像旋轉作業中的心像旋轉階段可以分為兩個細微的歷程，且心像旋轉中的心智表徵並不完整。圖形編碼時的眼球運動掃瞄軌跡與心像旋轉時的眼球運動掃瞄軌跡有關。

第二節 結論

本研究設計了六個實驗探究心像旋轉中的心智表徵，得到四個重要的發現：一、心像旋轉運作有兩個細微歷程存在；二、圖形中的參考軸對於心像旋轉是重要的；三、心像旋轉的心智表徵是不完整的；四、心像旋轉中的眼動型態與記憶該圖形時的眼動型態相關。

在化學中使用了許多帶有空間訊息意義的符號與表徵來代表分子結構的空間關係。學生學習化學時除了必須從 2 維的化學符號表徵建立 3 維的分子結構關係，還常常必須在腦海中旋轉視覺影像以獲得分子結構的空間資訊。但在化學學習困難的研究上，卻發現學生在這兩方面都有困難。要幫助學生在化學學習分子結構認識上的困難得從上述兩方面著手，前者 2 維資訊與 3 維訊息的轉換屬於視覺辨識的一環，後者在腦海中旋轉影像則屬於視覺空間能力轉換的一種。本研究針對後者的心智歷程設計了六個實驗來探究其運作。

根據本研究的四個發現，若要幫助學生在化學上的分子結構概念學習，在執行任何包含空間資訊的視覺圖形在表徵或轉換時，必須給予明確的參考軸，以幫助學生在認識圖形時就能瞭解分子結構上各組成部件之間的空間關係。當分子結構複雜時，將參考軸以外的部件拆開來分開認識，不要讓太多細節一次呈現在眼前。等學生熟悉了各部件的結構後，再將整個圖形合併起來呈現，複雜的分子結構看起來不再是複雜的分子結構，而是幾個簡單的模組組成的分子。即便是再怎麼複雜的分子結構，各模組裡表示的結構可以非常複雜，但是主要參考軸的結構依然是簡單的，這使得辨識上變得比較容易，在轉換上也不會花費太多視覺空間工作記憶的資源。

在執行視覺影像轉換時，則可以分段處理轉換的歷程，例如標示輔助線確定

適當的參考軸位置與結構。當分子結構複雜時，將視覺轉換中暫時不需要注意的複雜的官能基直接以簡單的代號表示，降低必須記憶的部件數量。這除了可以減低視覺空間記憶的負荷外，或許還可將多餘資源投入在必要的運作歷程中。

第三節 建議

本研究依據實驗發現，針對心像旋轉理論、實驗設計上提出未來研究上以及在化學教學上的建議。

- 一、本研究發現心像旋轉階段的運作可以分為兩個細微的歷程，但這兩個歷程或許會依據圖形種類或細節不同可能有不同比重的微調。因此若要將本研究的結果應用在不同的圖形轉換上，還需要根據所需應用的圖形種類設計不同的刺激圖形材料進行實驗，以確定該圖形種類中是否有某些特性在視覺轉換中是重要的。
- 二、本實驗中，因為採用的刺激圖形種類特殊，旋轉角度只能限制在 90 度及 180 度上，無法在角度差異變項上做更多水準的操弄，但從各實驗的反應時間以及錯誤率表現，顯示部分受試者在 180 度時的反應時間較短，推測 180 度相對於其它旋轉角度是比較熟悉的、在日常生活比較容易有機會執行，但這樣的反應時間較佳的情況增加實驗操弄結果的判斷與解釋的困難，建議未來研究心像旋轉作業相關歷程時，儘量不要採用旋轉 180 度的角度做為角度差異變項。或者是專門研究不同旋轉角度上的效應，例如 30 度相對於 60 度是否較為容易，而在 150 度旋轉上比較接近於日常生活中較容易遇到的 180 度旋轉，因此相對於 120 度雖然旋轉角度較小，但反而反應時間較快。本研究所採用的圖形因受限於螢幕解析度的關係，在非 90 度及非 180 度的條件下圖

形會略有變形造成知覺上的明顯不同，而無法進行其它角度的實驗。但在未來的研究上，其它角度的重新探究還是必要的，除了可以確定本研究之實驗結果外，還可以探索當角度差異 180 度時是否真的具有特殊的效應存在。

三、本研究爲了探討比較基本的心智表徵形式與心智歷程，不得不採用比較抽象的無意義的圖形來控制圖形上造成的變異。若要將本研究結果應用到化學教育上，建議採用化學領域上用來表徵化學結構的符號或圖形來測試，找尋在化學領域上常用的圖形在視覺空間轉換時的重要「線索」，才能真正有效幫助學生的學習。

四、本研究雖然發現在記憶圖形時與辨識圖形時的眼動型態的相關，但因為在實驗中辨識圖形時的圖片是呈現在螢幕上的，在知覺上是存在著實體影像。因此若要推及至心像旋轉階段的眼動型態是否相關，則必須另行設計實驗排除實體影像出現的干擾進行探究。

五、在分子結構教學上以幫助學生降低心智負荷是首要選擇；其次則是避開學生本身能力較爲不足的歷程。例如對於視覺空間編碼能力不佳及視覺空間記憶能力較弱的學生，可考慮給予適當的提示或直接指出分子結構中可做爲參考軸的結構，這可以幫助學生整合分子結構中部件，將複雜的分子結構簡化。對於視覺空間記憶不佳但多半語意記憶能力較佳的學生，則建議在分子結構圖中提供一些輔助，將部分組成原子以官能基代號顯示，這除了提高部件彼此之間的相對空間關係，亦可降低學生知覺上的負擔。將教學上必須呈現的分子結構圖以固定的方向呈現，例如軸線都以 X 軸方向排列。

參考文獻

- Alivisatos, B., & Petrides, M. (1997). Functional activation of the human brain during mental rotation. *Neuropsychologia*, *35*, 111-118.
- Ark, W. S. (2002). Neuroimaging studies give new insight to mental rotation. In R. Sprague (Ed.), *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1-7). Los Alamitos, CA: IEEE Computing Society Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory : A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Vol. 2. Advances in research and theory*. New York: Academic Press.
- Balaban, A. T. (1999). Visual Chemistry: Three-dimensional perception of chemical structures. *Journal of the Science Education and Technology*, *8*(4), 251-255.
- Banich, M. T., & Heller, W. (1998). Evolving perspectives on lateralization of function. *Current Directions in Psychological Science*, *7*, 1-2.
- Barnes, J., Howard, R. J., Senior, C., Brammer, M., Bullmore, E. T., Simmons, A., Woodruff, R., & David, A. S. (2000). Cortical activity during rotational and linear transformations. *Neuropsychologia*, *38*, 1148-1156.
- Barsalou, L. W. (1994). Flexibility, structure, and linguistic vagary in concepts: Manifestations of a compositional system of perceptual symbols. In A. F. Collins, S. E. Gathercole, M. A. Conway & P. E. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 29-101). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry, July*, 117-120.
- Brooks, L. R. (1968). Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*, *22*(5), 349-368.
- Chambers, D., & Reisberg, D. (1985). Can mental images be ambiguous? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & performance*, *11*(3), 317-328.
- Chambers, D., & Reisberg, D. (1992). What an image depicts depends on what an image means. *Cognitive Psychology*, *24*(2), 145-174.
- Cohen, D. J., & Kubovy, M. (1993). Mental rotation, mental representation and flat slopes. *Cognitive Psychology*, *25*(3), 351-382.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., Brookheimer, S. Y., Rosen, B. R., & Belliveau, J. W. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation: A mapping study using

- functional MRI. *Brain*, 119, 89-100.
- Collaer, M. L., & Hines, M. (1995). Human behavioral sex differences: A role for gonadal hormones during early development? *Psychological Bulletin*, 118, 55-107.
- 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*. New York: 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.
- Dietrich, T., Krings, T., Neulen, J., Willmes, K., Erberich, S., Thron, A., & Sturm, W. (2001). Effects of blood estrogen level on cortical activation patterns during cognitive activation as measured by functional MRI. *NeuroImage*, 13, 425-432.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2000). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook* (4th ed.). Hove, UK: Psychology Press.
- Farah, M. J. (1988a). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology. *Psychological Review*, 95(3), 307-317.
- Farah, M. J. (1988b). The neuropsychology of mental imagery: Converging evidence from brain-damaged and normal subjects. In J. Stiles-Davis, M. Kritchevsky & U. Bellugi (Eds.), *Spatial cognition: Brain bases and development* (pp. 33-56). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Finke, R. A., Pinker, S., & Farah, M. J. (1989). Reinterpreting visual patterns in mental imagery. *Cognitive Science*, 13(3), 252-257.
- Haberlandt, K. (1997). *Cognitive Psychology* (2nd ed.). Boston: Allyn and Bacon.
- Habraken, C. L. (1996). Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted? *Journal of the Science*

- Education and Technology*, 7, 205-214.
- Hegarty, M., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1991). Diagrams in the comprehension of scientific texts. In R. Barr, M. L. Kamil & P. D. Person (Eds.), *Handbook of Reading Research* (Vol. II, pp. 641-668). New York: Longman.
- Hines, M. (2004). *Brain gender*. New York: Oxford University Press.
- Hochberg, J., & Gellman, L. (1977). The effect of landmark features on mental rotation times. *Memory and Cognition*, 5, 23-26.
- Hoffmann, R., & Laszlo, R. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie*, 30, 1-16.
- Jolicoeur, P. (1985). The time to name disoriented natural objects. *Memory and Cognition*, 13(4), 289-303.
- Jolicoeur, P., & Kosslyn, S. M. (1985a). Demand characteristic in image scanning experiments. *Journal of Mental Imagery*, 9(2), 41-49.
- Jolicoeur, P., & Kosslyn, S. M. (1985b). Is time to scan visual images due to demand characteristics? *Memory & Cognition*, 13(4), 320-332.
- 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.
- Jones, L., Jordan, K., & Stillings, N. (2001). *Molecular visualization in science education*. VA: Arlington: NCSA Access Center.
- 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.
- Jordan, K., Wustenberg, T., Heinze, H.-J., Peters, M., & Jancke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation task. *Neuropsychologia*, 40, 2397-2408.
- 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.
- Kimura, D. (1999). *Sex and cognition*. Massachusetts: MIT Press.
- Kosslyn, S. M. (1983). *Ghosts in the mind's machine: Creating and using images in the brain*. New York: W. W. Norton.
- 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.
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Review Neuroscience*, 9, 635-642.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31, 549-579.
- Kozma, R. B., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry instruction. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.
- 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.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterisation of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Logie, R. H. (1999). State of the art: Working memory. *The Psychologist*, 12, 174-178.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Marnor, 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.
- Mast, F. W., & Kosslyn, S. M. (2002). Eye movements during visual mental imagery. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6(7), 271-272.
- Mathewson, J. H. (1999). Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 32(1), 33-54.
- Noh, T., & Scharmann, L. C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 199-217.
- Nye, M. J. (1993). *From Chemical Philosophy to theoretical chemistry*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Palmer, S. E. (1975). *Visual perception and world knowledge: Notes on a model of sensory-cognitive interaction*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Parsons, L. M. (2003). Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(12), 515-517.

- Peterson, M. A., Kihlstrom, J. E., Rose, P. M., & Glisky, M. L. (1992). Mental images can be ambiguous: Reconstruals and reference-frame reversals. *Memory & Cognition*, 20(2), 107-123.
- 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. (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.
- Rahman, Q., Abrahams, S., & Jussab, F. (2005). Sex differences in a human analogue of the Radial Arm Maze: The "17-Box Maze Test". *Brain and Cognition*, 58, 312-317.
- Rahman, Q., & Wilson, G. D. (2003). Large sexual orientation related differences in performance on mental rotation and judgment of line orientation. *Neuropsychology*, 17, 25-31.
- Reed, S. (1974). Structural descriptions and the limitations of visual images. *Memory & Cognition*, 2(2), 329-336.
- Rensink, R. A. (2000). The dynamic representation of scenes. *Visual Cognition*, 7(1-3), 17-42.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.
- 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.
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2003). Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 235-246.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology. Vol. 2. Learning and cognition* (2 ed., pp. 511-587). New York: Wiley.
- Seddon, G. M., & Eniaiyaju, P. A. (1986). The understanding of pictorial depth cues,

- and the ability to visualise the rotation of three-dimensional structures in diagrams. *Research in Science and Technological Education*, 4(1), 29-37.
- Seddon, G. M., Eniaiyaju, P. A., & Chia, L. H. L. (1985). The factor structure for mental rotations of three-dimensional structures represented in diagrams. *Research in Science and Technological Education*, 3(1), 29-42.
- Seddon, G. M., & Shubber, K. E. (1985). Learning the visualization of three-dimensional spatial relationships in diagrams at different ages in Bahrain. *Research in Science and Technological Education*, 3(2), 97-108.
- Shenton, J. T., Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience Letters*, 370, 19-24.
- 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.
- Shubber, K. E. (1990). Learning the visualization of rotations in diagrams of three dimensional structures. *Research in Science and Technological Education*, 8(2), 145-154.
- Sternberg, R. J. (1999). *Cognitive Psychology*. Fort Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Tagaris, G. A., Kim, S. G., Strupp, J. P., Anderson, P., Ugurbil, K., & Geogopoulos, A. P. (1996). Quantitative relations between parietal activation and performance in mental rotation. *NeuroReport*, 7, 773-776.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International of Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. *Journal of Chemistry Education*, 68(6), 460-464.
- Voyer, D., & Saunders, K. A. (2004). Gender differences on the mental rotations test: a factor analysis. *Acta Psychologica*, 117, 79-94.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.

- Waugh, N. C., & Norman, D. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, 89-104.
- Weiss, E., Siegentopf, C. M., Deisenhammer, E. A., Hoptman, M. J., Kremser, C., Golaszewski, S., Felber, S., Fleischhacker, W. W., & Delazer, M. (2003). Sex differences in brain activation pattern during a visuospatial cognitive task: a functional magnetic resonance imaging study in healthy volunteers. *Neuroscience Letters*, 344, 169-172.
- Wesenick, M.-B. (2003). *Limitations of human visual working memory*. Unpublished Dissertation, Ludwig-Maximilians University, Munchen.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68, 77-94.
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental psychology : General*, 131(1), 48-64.
- Windischberger, C., Lamm, C., Bauer, H., & Moser, E. (2003). Human motor cortex activity during mental rotation. *NeuroImage*, 20, 225-232.
- Winn, W. (1991). Learning from maps and diagrams. *Educational Psychology Review*, 3, 211-247.
- 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.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2000). Using technology to support the development of conceptual understanding of chemical representations. In B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), *Fourth International Conference of the Learning Sciences* (pp. 121-128). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821.
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry thinking learning. *Science Education*, 88, 465-492.
- Yoshino, A., Inoue, M., & Suzuki, A. (2000). A topographic electrophysiologic study of mental rotation. *Cognitive Brain Research*, 9, 121-124.