

國立交通大學

應用藝術研究所視覺傳達設計組

碩士論文

幾何錯覺的分類：一個心理解剖學的觀點

Towards a classification of optical illusions with psychoanatomical criteria



指導教授：陳一平博士

研究生：陳上瑜

中華民國九十四年七月

中文摘要

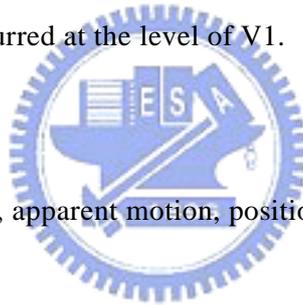
幾何錯視的發生，起因於物理上沒有扭曲的圖形透過視覺系統的處理，產生扭曲的視覺效果。幾何錯視的發生階段究竟為何？是在視覺處理過程中的視覺位置登錄系統（V1）階段，還是在更高層次辨識物體形狀的階段發生的？本研究的研究方法延續柯伊芳(2002)的基礎稍作修正，由於視覺處理過程中，視覺訊號經由下游的 V1 再傳到偵測物體運動現象的運動系統（MT），根據此順序，實驗設計將有錯視誘發框架的圖形和沒有框架的圖形（本研究選用 Müller-Lyer 向內向外兩種、Poggendorff、Caféwall、Ebbinghaus、Zöllner、Hering 錯視），在可以產生運動的時間差，作有位移的交替呈現，探討運動系統所接收到的圖形是否受到錯視誘發框架圖形影響，而產生形變的似動運動，若有形變的似動運動產生，則此錯視是因為 V1 的圖形位置訊息扭曲所造成，運動系統就會接收到已經扭曲的圖形來作交替呈現，也就代表此錯視是發生在 V1 階段；反之，若無形變似動運動產生，則此錯視在圖形位置訊息登錄時沒有被扭曲，沒有被扭曲的圖形在運動系統和另一個沒有被扭曲的圖形作交替呈現，也就代表此錯視的發生階段晚於 MT。利用此假設的推測，我們可以知道不同的幾何錯視的發生階段，並且若有發生階段的不同，也可藉此方式來分類幾何錯視。本研究的結果顯示我們無法用運動系統作為分類的依據，七種幾何錯視都發生在運動系統計算之前，可能也就是 V1 的階段。

關鍵字：幾何錯視、視覺登錄、運動知覺、錯視分類、似動運動

Abstract

We aimed to investigate the anatomical/functional level of shape distortion induced by optical illusions in the current study. Specifically, we tried to determine whether the illusion exerts its effect at the level of position encoding (V1) or at a later stage where the more abstract and global form information was derived. The extraction of both form and motion involved the computation of position information. If the optical illusion exerted its effect at level of V1 where the most accurate position was available, the induced shape change should affect both form and motion perception. If, on the other hand, the shape distortion occurred at a later stage, the motion system could be immune to optical illusions. We used Hering, Müller-Lyer, Poggendorff, Caféwall, Ebbinghaus and Zöllner illusion to create perceptually distorted figures, and tested if these figures could drive the motion system to produce transformational apparent motion. All of results showed that the motion system was influenced by the illusions, indicating that these illusions probably occurred at the level of V1.

Keywords: Geometrical illusion, apparent motion, position encoding, Classification of visual illusion, motion perception



誌謝

一直以來，有關於視覺方面的心理學問題，都能吸引我的興趣，尤其是許多不可思議的錯視效果，可以從中發現奇妙的視覺圖形與變化，著實有趣。在交通大學應用藝術研究所裡，陳一平老師的課讓我有機會能夠了解視覺相關的知識，知道錯視的起因和生理基礎，更進一步地使我想要作關於錯視的研究。

能夠完成這篇研究，最要感謝的是我的指導老師陳一平教授，從研究題目的發想、實驗設計到結果分析，甚至是學術研究精神的培養，都花費了相當多的時間與精力來指導。謝謝口試委員孫慶文老師、張恬君老師、莊明振老師提供寶貴的意見，讓我能有更完善的論文寫作。謝謝馮於懋學長協助實驗程式的編寫，謝翠如學姊論文寫作上的建議，以及辛苦的受測者，不厭其煩的被我找來重複作實驗。

感謝應藝所的所長張恬君老師，有了您的豐富思維引導，讓我可以的人生道路上，開拓自己的領域，作出正確的選擇。也要向我們全班同學們說一聲謝謝，有你們同在的研究生生涯，才能這麼的多采多姿，互相提拔、一起共同努力向上。

當然，更要感謝我的父母親，常常鼓勵我、開導我，讓我可以衣食無憂、心情開朗的情況下，順利的完成我的碩士學業。最後，謝謝我身邊所有的家人及朋友們，謝謝你們時常對我的關心與照顧，謝謝！

目錄

中文摘要.....	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	X
一、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機	1
1.1.1 錯視與視覺空間.....	1
1.1.2 錯視發生階段的現有理論.....	2
1.1.3 幾何錯覺的分類方式.....	3
1.1.4 視覺處理過程的利用.....	3
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究假設與問題	4
1.3.1 研究假設.....	4
1.3.2 研究問題.....	5
1.4 研究架構.....	5
二、文獻探討	7
2.1 視覺系統.....	7
2.1.1 視覺傳導.....	7
2.1.2 似動運動.....	10
2.2 錯視	11
2.2.1 錯視的定義.....	12
2.2.2 錯視的分類.....	12
2.2.3 幾何錯視的分類	16
2.3 本研究選用的錯視	20
2.3.1 Poggendorff illusion	20
2.3.2 Ebbinghaus illusion	21

2.3.3 Müller-Lyer illusion.....	21
2.3.4 Caféwall illusion.....	22
2.3.5 Zöllner illusion	22
2.3.6 Hering illusion.....	23
三、研究方法.....	24
3.1 心理物理學當中的調整法.....	24
3.2 閾值	24
3.3 本研究的實驗方法.....	25
四、實驗.....	27
4.1 基本實驗說明	27
4.1.1 受測人員.....	27
4.1.2 實驗設備.....	27
4.2 實驗一 A	27
4.2.1 刺激圖形.....	28
4.2.2 實驗流程.....	30
4.2.3 實驗結果.....	30
4.3 實驗一 B	31
4.3.1 刺激圖形.....	31
4.3.2 實驗流程.....	31
4.3.3 實驗結果與討論	32
4.4 實驗二 A	33
4.4.1 刺激圖形.....	33
4.4.2 實驗流程.....	39
4.4.3 實驗結果.....	41
4.5 實驗二 B	42
4.5.1 刺激圖形.....	43
4.5.2 實驗流程.....	47
4.5.3 實驗結果.....	47
五、綜合討論.....	56
5.1 錯視效果程度上的差異.....	56



5.2	關於曲度的錯視	57
5.3	關於長度的錯視	57
5.4	關於斜度的兩種錯視.....	59
5.5	幾何錯視的發生階段研究	59
5.6	幾何錯視的分類與未來發展	60
5.7	錯視的應用	60
參考文獻.....		64



圖目錄

圖 1-1	簡單的幾條線條，就可以被辨識成一個人臉.....	1
圖 1-2	視覺處理過程圖.....	4
圖 1-3	研究假設.....	5
圖 1-4	研究架構.....	6
圖 2-1	眼睛的結構.....	7
圖 2-2	視網膜內部細胞.....	8
圖 2-3	視神經的配線圖.....	8
圖 2-4	V1 模組內的柱狀結構.....	9
圖 2-5	IT 細胞對不同的形狀有不同的反應.....	9
圖 2-6	MT 細胞偵測物體運動走向的相關性.....	10
圖 2-7	產生似動運動的時間差.....	11
圖 2-8	平移運動和形變運動的差異.....	11
圖 2-9	近江源太郎的錯視分類.....	13
圖 2-10	垂直水平錯視.....	16
圖 2-11	EBBINGHAUS ILLUSION.....	16
圖 2-12	MÜLLER-LYER 錯視.....	17
圖 2-13	PONZO 錯視.....	17
圖 2-14	平行四邊形錯視.....	17
圖 2-15	透視錯視.....	17
圖 2-16	ZÖLLNER 錯視.....	18
圖 2-17	POGGENDORFF 錯視.....	18
圖 2-18	HERING 錯視.....	19
圖 2-19	DELBOEUF 錯視.....	19
圖 2-20	TITCHENER 錯視.....	19
圖 2-21	JASTROW 錯視.....	19
圖 2-22	POGGENDORFF 錯視的變化型.....	20
圖 2-23	POGGENDORFF 錯視中的斜線.....	21
圖 2-24	由 OPPEL 在 1855 年發表的 EBBINGHAUS 錯視造形.....	21
圖 2-25	三種 EBBINGHAUS 錯視效果程度的比較.....	21
圖 2-26	MÜLLER-LYER 錯視的變化型.....	22



圖 2-27	CAFÉWALL 錯視.....	22
圖 2-28	ZÖLLNER 錯視中斜線的密度、斜度不同時，錯視效果的程度也不同	23
圖 2-29	(A)爲 HERING ILLUSION，(B)爲 WUNDT ILLUSION.....	23
圖 3-1	受測者可自行調整錯視參考線的扭曲程度.....	25
圖 4-1	兩個研究實驗刺激的不同.....	28
圖 4-2	實驗一 A 的實驗流程圖.....	28
圖 4-3	實驗一 A 的兩種刺激圖形.....	29
圖 4-4	垂直線向外彎曲的程度示意圖.....	29
圖 4-5	實驗一 B 的實驗流程圖.....	31
圖 4-6	六位受測者實驗一 A 和 B 的統計圖表.....	32
圖 4-7	實驗二 A 中 POGGENDORFF 錯視的實驗流程圖.....	34
圖 4-8	POGGENDORFF ILLUSION 的兩種刺激圖形	34
圖 4-9	實驗二 A 中 EBBINGHAUS 錯視的實驗流程圖.....	35
圖 4-10	EBBINGHAUS ILLUSION 的兩種刺激圖形.....	35
圖 4-11	實驗二 A 中 MÜLLER-LYER 錯視的實驗流程圖.....	36
圖 4-12	MÜLLER-LYER ILLUSION 的兩種刺激圖形.....	36
圖 4-13	實驗二 A 中 CAFÉWALL 錯視的實驗流程圖.....	37
圖 4-14	CAFÉWALL ILLUSION 的兩種刺激圖形	38
圖 4-15	實驗二 A 中 ZÖLLNER 錯視的實驗流程圖.....	38
圖 4-16	ZÖLLNER ILLUSION 的兩種刺激圖形.....	39
圖 4-17	實驗二 B 中 POGGENDORFF 錯視的實驗流程圖.....	43
圖 4-18	實驗二 B 中 EBBINGHAUS 錯視的實驗流程圖	44
圖 4-19	實驗二 B 中 MÜLLER-LYER 錯視（箭頭指向內）的實驗流程圖.....	44
圖 4-20	實驗二 B 中 MÜLLER-LYER 錯視（箭頭指向外）的實驗流程圖.....	45
圖 4-21	實驗二 B 中 CAFÉWALL 錯視的實驗流程圖.....	46
圖 4-22	實驗二 B 中 ZÖLLNER 錯視的實驗流程圖	46
圖 4-23	六位受測者實驗二 A 中 POGGENDORFF ILLUSION 的統計圖表.....	47
圖 4-24	六位受測者實驗二 A 中 EBBINGHAUS ILLUSION 的統計圖表	49
圖 4-25	六位受測者實驗二 A 中 MÜLLER-LYER ILLUSION（箭頭指向內）的統計圖表.....	50
圖 4-26	六位受測者實驗二 A 中 MÜLLER-LYER ILLUSION（箭頭指向外）的統計圖表.....	51
圖 4-27	六位受測者實驗二 A 中 CAFÉWALL ILLUSION 的統計圖表.....	53
圖 4-28	六位受測者實驗二 A 中 ZÖLLNER ILLUSION 的統計圖表	54

圖 5-1	舞台的設計可改變牆壁的斜度製造深遠的效果	61
圖 5-2	SLAVE MARKET WITH DISAPPEARING BUST OF VOLTAIRE	61
圖 5-3	AMES ROOM 錯視	62
圖 5-4	不斷轉動的五個圓	62
圖 5-5	看起來向外膨脹的幾何圖形.....	63



表目錄

表 2-1	GREGORY 的錯視分類.....	14
表 2-2	GREGORY 的錯視分類，由 NINIO 重新編輯.....	15
表 2-3	JACQUES NINIO 的錯視分類.....	15
表 4-1	六位受測者實驗一 A 的下行、上行平均數據.....	30
表 4-2	六位受測者實驗一 B 的下行、上行平均數據.....	32
表 4-3	HERING ILLUSION 實驗組和控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	33
表 4-4	六位受測者實驗二 A 中 POGGENDORFF ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	41
表 4-5	六位受測者實驗二 A 中 EBBINGHAUS ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	41
表 4-6	六位受測者實驗二 A 中 MÜLLER-LYER ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	42
表 4-7	六位受測者實驗二 A 中 CAFÉWALL ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	42
表 4-8	六位受測者實驗二 A 中 ZÖLLNER ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	42
表 4-9	六位受測者實驗二 B 中 POGGENDORFF ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	47
表 4-10	POGGENDORFF ILLUSION 實驗組和控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	48
表 4-11	六位受測者實驗二 B 中 EBBINGHAUS ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	48
表 4-12	EBBINGHAUS ILLUSION 實驗組和控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	49
表 4-13	實驗二 B 中 MÜLLER-LYER ILLUSION (箭頭指向內) 的下行、上行平均數據.....	50
表 4-14	MÜLLER-LYER ILLUSION 實驗組和箭頭指向內的控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	51
表 4-15	實驗二 B 中 MÜLLER-LYER ILLUSION (箭頭指向外) 的下行、上行平均數據.....	51
表 4-16	MÜLLER-LYER ILLUSION 實驗組和箭頭指向外的控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	52
表 4-17	六位受測者實驗二 B 中 CAFÉWALL ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	52
表 4-18	CAFÉWALL ILLUSION 實驗組和控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	53
表 4-19	六位受測者實驗二 B 中 ZÖLLNER ILLUSION 的下行、上行平均數據.....	54
表 4-20	ZÖLLNER ILLUSION 實驗組和控制組的上下行配對比較 T 檢定結果.....	55
表 5-1	實驗中實驗組和控制組配對 T 檢定的結果，G 到 L 為受測者.....	56
表 5-2	實驗中每一種錯視實驗組平均數除以控制組平均數的倍率.....	57
表 5-3	關於長度的四種錯視的 ANOVA 分析結果.....	58
表 5-4	四種長度錯覺的下行 ANOVA TUKEY TEST.....	58
表 5-5	四種長度錯覺的上行 ANOVA TUKEY TEST.....	59

一、緒論

1.1 研究背景與動機

1.1.1 錯視與視覺空間

錯視之所以成立，最主要的要素就是視覺，沒有視覺就沒有產生錯視的可能。有關於視覺中光學的問題，可以從物理學家的研究中得到不少，但是視覺不僅僅是光學的問題而已，在過去的研究中，可以發現視覺並不只是像照相機一樣被動地記錄事物，它乃是一種十分主動的探索，是有選擇力的。觀看的行為包含於形成知覺概念的過程中，視覺是和經驗的原始質料之交互作用，並產生了一般形式的對應的樣式。根據經驗的判斷，只需掌握觀看的客體對象的特點，即可完成物體的辨別，例如簡單的幾筆線條，加上一個圓，不管大人或是小孩都可以認出此為一張人臉（如圖 1-1）。簡單來說，某些特徵能決定一個被觀察的物象之同一性，造成完整且可識別的形象，而不需要看到此物體的所有細節。反之，任何刺激物的形象也總是在其所給予之條件的許可下，以最單純的結構呈現出來。



圖 1-1 簡單的幾條線條，就可以被辨識成一個人臉

而造形是眼睛所把握的物體的主要特質之一，指的是物體空間上的的外貌，造形的要素包括了形態、色彩、質感等等，其中，形態乃是具體而微的造形，佔有最重要的地位，視覺常根據造形要素的綜合判斷，理解出物體的形象與空間狀態，例如在同一平面上的一大一小的兩個圓點，大腦的視覺判斷會認為是一前一後有深度差異的兩個圓形，而不需要有真實的前後差異。因此，形態的呈現對於視覺的判斷有很大的影響力，清楚明確的造形能讓大腦正確判斷物體形象，難以明確判斷的形態便會使大腦的知覺造成誤判，形成了錯視。

知覺的「力量」，有力點、有強度、有方向，就心理學來說，這些牽引力是在觀看的經驗中所產生，要判斷出物體的型態，在形式和位置有所抵觸而產生曖昧效果時，它的視覺形象便不能移除空間環境之結構來考慮，因為任何事物，都必須與一時空環境相比較，

才能顯出其性質 (Arnheim, 1985)。所以，我們可以知道知覺的力量很強，尤其在形態曖昧不清時，知覺更握有造形空間認知的最後決定權。

藝術作品中，亦常使用曖昧效果作空間的視覺錯覺，舉一個很好的例子，建築師博羅米尼 (Francesco Borromini) 於 1635 年在羅馬所設計的斯巴達皇宮 (Palazzo Spada) 時，想要有一種很深遠的拱形柱廊，像夾道林蔭一般的漸遠漸小的效果，當觀賞者站在庭院內向柱廊望去時，可以看到一個深長的隧道，兩側夾著列柱，引導至一個開放的空間，空間的最後，有一個巨大的戰士雕像，但是，實際上這個建築物的工地是很小的，柱廊的距離也不深，由最前面到最後面不過 28 呎而已，造成此深遠效果的重點在於，其前方的拱門有 19 呎高 10 呎寬，而後面的拱門只有 8 呎高 3 呎寬，兩旁的牆壁越向後方越靠近，地板越向後方越高，天花板則下降，而柱子和柱子之間的距離越靠後面越縮小，走廊盡頭的那尊戰士像，也做得很小。除了建築物的錯視作品之外，也有許多平面繪畫作品利用各種錯視，使畫面產生變化。由此可見，知覺上的錯視效果除了心理學界有許多研究之外，藝術界也應用的很多，不僅限於小範圍的學術研究。

利用視覺知覺的判斷，可以使物理上某些曖昧的造形，轉化為大腦認為合理的物體形態，形成與實際不同的造形與空間，這些錯視的現象種類有許多，除了心理上、視覺上的影響，生理上的成因也可深入探討。



1.1.2 錯視發生階段的現有理論

各種錯視產生原因不盡相同，許多理論嘗試解釋錯視的發生原因，例如：視網膜相關機制理論 (theories which propose retinal mechanisms)、眼睛運動理論 (eye-movement theories)、皮亞傑理論 (Piaget's theory)、Gregory 理論等等 (Robinson, 1998)。

對於幾何錯視是在視覺處理過程中的哪一個階段產生的，此相關研究就顯得少許多。由於在視網膜和 V1 之間，有拓撲現象 (topographical organization) 的存在，拓撲現象可以讓視網膜上密度不均的空間偵測結果，轉換成密度相同的空間偵測 (李江山等，1999)，所以 V1 具有改變空間動態大小的能力。另外，由於幾何錯視是由幾何造形組織構成而產生，從視覺處理的歷程來看，前段的 V1 區當中的細胞具有偵測斜度、走向、移動、尺寸大小等基本造形特徵的特性，也是整個過程中細胞最密集、對視覺空間的表徵最精細的階段。過去的研究雖然傾向支持幾何錯視的扭曲是發生在 V1 階段，但是目前缺乏能支持所有的幾何錯視都是發生在 V1，而非發生在更高層次的形狀偵測階段的實驗證據。

1.1.3 幾何錯覺的分類方式

錯視研究已經有相當的歷史和累積成果，許多學者提出了不同的錯視分類方式（詳見本論文章節 2.2.2），其中大部分都是利用錯視的實驗刺激的外觀作為分類依據，僅有 Gregory（1997）以生理基礎作為分類的依據，將錯視分成 4 大類。

而對於範圍更小的幾何錯視，目前尚無以生理基礎作分類的研究提出。

1.1.4 視覺處理過程的利用

本研究利用視覺處理過程（圖 1-2）中不同的階段具有處理不同造形因素的特性，嘗試判斷數種幾何錯視的發生階段。視覺訊號經由下游的階段傳到處理斜度、方向、尺寸等訊號位置登錄的 V1 階段，之後再傳到 V2、V3、V4 等不同功能的階段，在此之後，兵分兩路到達更高階層的視覺處理階段：有關物體位置的訊號，透過 MT 階段偵測物體運動狀態，再傳到顳葉，此路徑稱為「知何方（where pathway）」；有關物體形狀的訊號，則傳到偵測形狀的 IT 階段，此路徑稱為「知何物（what pathway）」。由於 MT 接收到的訊號是由 V1、V2 或 V3 傳來的，若前面的幾個階段視覺訊號有扭曲，則 MT 階段收到的訊號也會是扭曲的，所以可以利用此流程的順序，嘗試 MT 階段作為區分錯視的發生階段的依據。

要測驗不同的幾何錯視是發生在 V1 或是更高層次的階段，可將靜態上有錯視效果的圖形和沒有錯視效果的圖形作交替呈現的運動，若此錯視發生在運動系統偵測之前，運動系統就會將已經產生錯視效果的圖形和沒有錯視效果的圖形作交替呈現，形成形變運動；若此錯視發生在更高層次階段，在 V1、V2、V3 則沒有產生錯視效果，沒有錯視效果的圖形在 MT 和另一個沒有錯視效果的圖形交替呈現，就沒有形變運動的產生。本研究使用此原則，嘗試分辨不同的幾何錯視是發生在視覺處理過程的哪一個階段，並且，若有不同發生階段的幾何錯視出現，可藉此提出以錯視的發生階段作分類幾何錯視的方式。

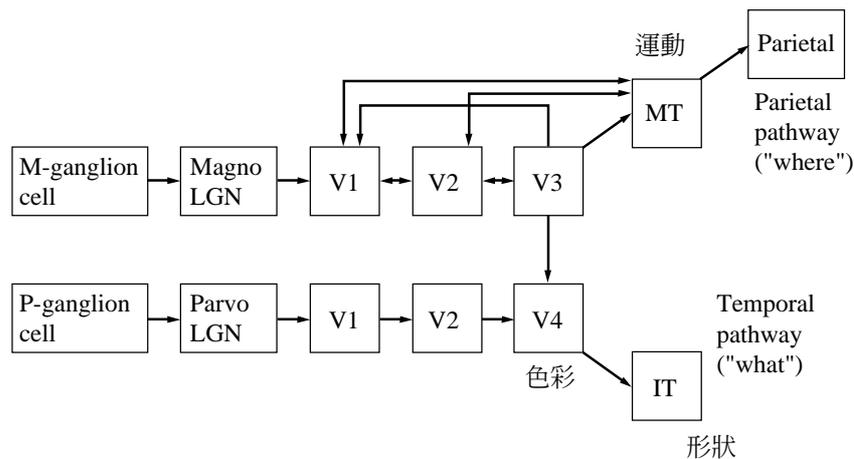


圖 1-2 視覺處理過程圖 (改自 Goldstein, 2002)

1.2 研究目的

此研究的研究目的有三：

- 一為藉實驗瞭解幾何錯視的可能發生階段。
- 二為了解不同的幾何錯視是否發生於不同的視覺處理階段。
- 三為探討以幾何錯視的發生階段，作為幾何錯視分類方式的可能性。

1.3 研究假設與問題

1.3.1 研究假設

如圖 1-3，假設一：錯視圖形的視覺訊號傳到 V1 時已經扭曲，MT 系統將被扭曲的錯視圖形和沒有扭曲的控制組圖形，以能產生似動運動的時間差作交替呈現運動（參照圖 4-2），所以受測者看到交替呈現的圖形是會扭動的。藉此，可以推測錯視的發生階段是在 MT 之前，也就是在 V1 的階段。

假設二：錯視圖形的視覺訊號傳到 V1 時，尚未有扭曲的情況發生，MT 將尚未扭曲的視覺訊號和沒有扭曲的控制組圖形，以能產生似動運動的時間差作交替呈現運動，所以受測者看到交替呈現的運動圖形是沒有扭動的。藉此，可以認定錯視的發生階段是在不同於

運動系統的路徑上，可能是更高層次的辨識物體階段。

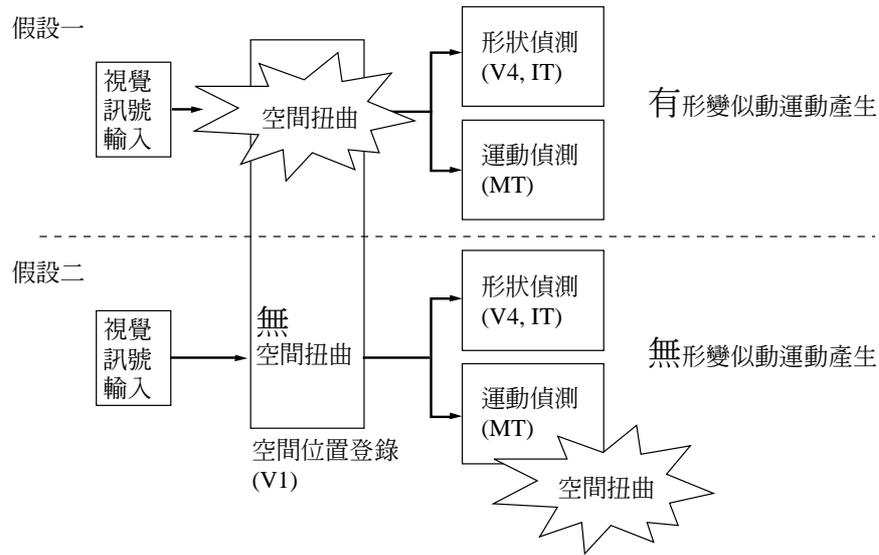


圖 1-3 研究假設

1.3.2 研究問題

1. 幾何錯視的發生階段為何？不同性質的錯視圖形是否有差異？
2. 幾何錯視造成的扭曲效果是否可透過實驗測量出程度上的差異？
3. 運動系統所接收到的是客觀的位置訊號，還是已經被扭曲的主觀訊號？
4. 能否以運動系統作為錯覺的分類依據？

1.4 研究架構

本研究的目的是以心理物理實驗法試圖探求幾何錯視的發生階段，以及利用發生階段作為幾何錯視分類的可能。

如圖 1-4，第一章緒論說明本研究的背景與動機，以及研究的目的與問題；第二章的文獻探討，對於視覺系統中與本研究相關的視覺傳導與似動運動作一說明，也對錯視的意義、背景、過去錯視的分類方式作一回顧，並將本研究中所使用到的錯視種類背景作詳細介紹；第三章的研究方法，簡單介紹本研究的方法從何而來，並對實驗中所使用的心理物理法以及閾值等名詞作一定程度的了解；第四章為實驗本身，分為兩部分，第一部分延續

柯伊芳的錯視研究對象（Hering illusion），在實驗方法上稍作調整，看是否有不同於柯依芳的結果出現，第二部分利用前面稍作調整的方法，對另外六種錯視作實驗，求得結果、進行討論；第五章為綜合討論，探討實驗中取得的結果有何共同的意義，針對第一章的研究問題作解答，並提出錯視未來的研究發展與建議。

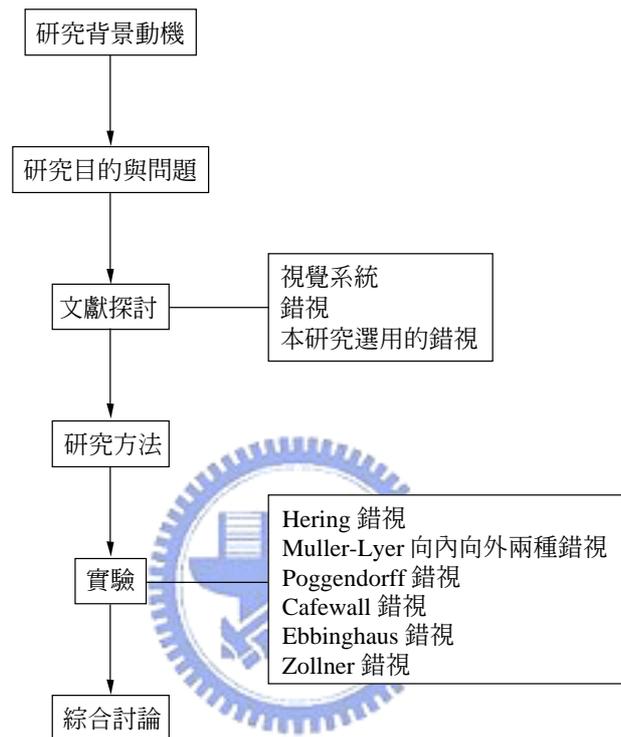


圖 1-4 研究架構

二、文獻探討

2.1 視覺系統

視覺是人類最重要的感覺，視覺系統將環境中的物件轉化為可以辨識的視覺影像，並且在轉換的歷程中產生某些物理上不相同的視覺訊號。

2.1.1 視覺傳導

透過眼睛的結構（圖 2-1），光線經由角膜（cornea）的折射，穿過瞳孔（pupil）以及水晶體（lens）後，落在視網膜上（retina），視網膜為一層光感受器（見圖 2-2），包含了層狀排列的數以百萬計的細胞，有兩種感光細胞和神經細胞。

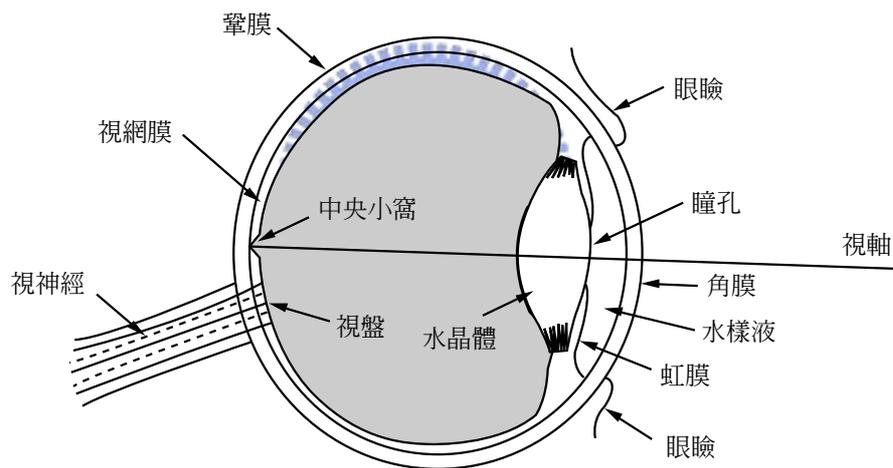


圖 2-1 眼睛的結構（改自 Rookes & Willson, 2003）

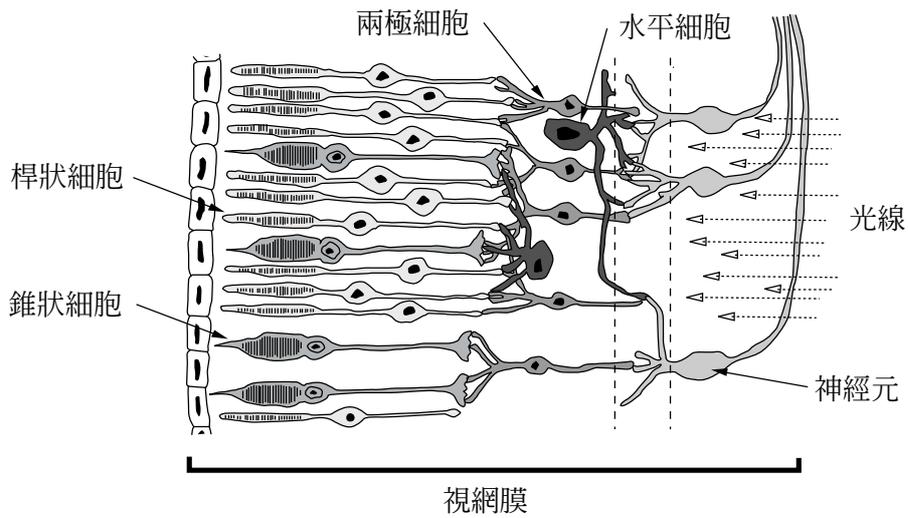


圖 2-2 視網膜內部細胞 (改自 Rookes & Willson, 2003)

視網膜上的感光細胞又稱為視覺接收器 (photoreceptor)，分為桿狀細胞 (rods) 和椎狀細胞 (cones)，從視覺處理流程圖 (圖 1-2) 中可以看到，視覺接受器將光的訊號轉化為電訊號後，傳送至大腦的 LGN (Lateral geniculate nucleus)，再傳到大腦的視覺皮質區 (圖 2-3)。

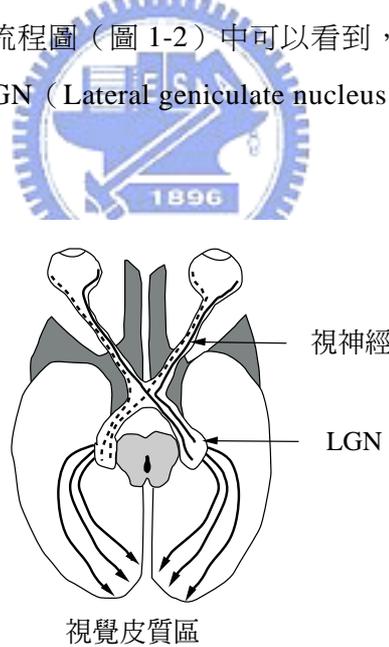


圖 2-3 視神經的配線圖 (改自王秀雄，1975)

抵達的第一個區域為第一視覺區 (V1，又稱為初級視覺皮層)，在 V1 的視覺地圖 (the retinotopic map) 上，神經元的分布反映了視網膜各部位所代表的空間訊息，不同種類的神經元反應偏好不同，譬如斜度走向、移動、尺寸大小等 (Goldstein, 2002)，如圖 2-4，一個 V1 的模組內，不同柱狀結構 (column) 結構的神經元接收不同的斜度。V1 也是視覺皮質中神經最密集的区域，比起有一百萬個神經元的 LGN，V1 有超過兩億五千萬個神

經元(Connolly & Van Essen, 1984; Spear et al., 1996)，可以精確的記錄每一個接收到的訊號狀態。

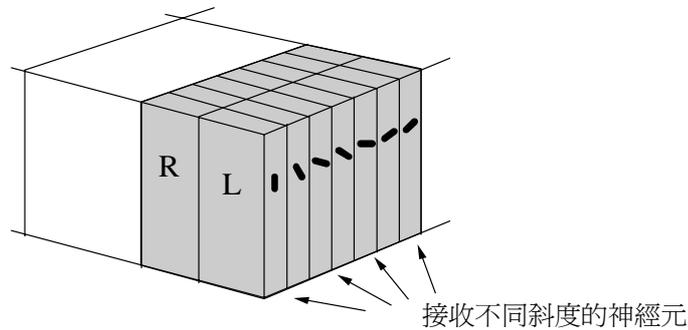


圖 2-4 V1 模組內的柱狀結構 (改自 Goldstein, 2002)

視覺訊號離開 V1 之後，在 V2、V3 進一步作更複雜的輪廓、方向與空間的分析。在更高的視覺處理 (higher-level visual processing) 階段中，V4 於 1977 年被神經生理學家 Semi Zeki 發現它是專司色彩反應的區域，有感應紅、綠、青的三種細胞。之後分為兩個路徑：where pathway 和 what pathway，而在 what pathway 的 IT (Inferotemporal Cortex) 專司形狀 (form)，其中的細胞被 Keiji Tanaka 發現對於不同的複雜形狀物件有不同的反應值 (如圖 2-5) (Tanaka et al., 1991)。

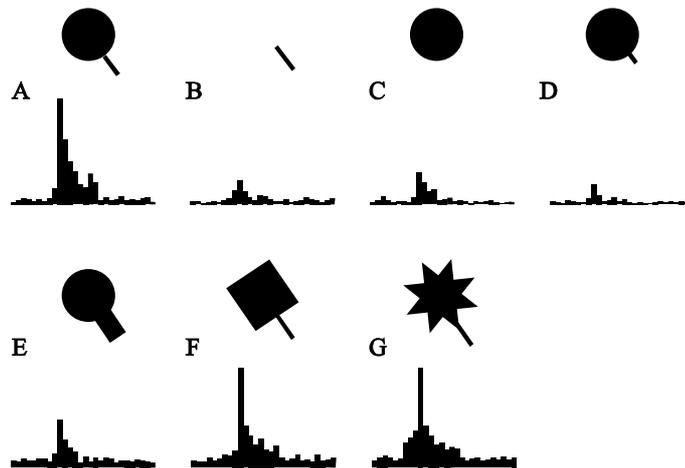


圖 2-5 IT 細胞對不同的形狀有不同的反應，如圖所示，A、D 雖然造形相近，但是反應值卻差異很大。(改自 Tanaka et al., 1991)

在 where pathway 的 MT (Middle Temporal Cortex) 則與運動 (movement) 偵測有關。Newsome & Paré (1988) 做了偵測運動方向的實驗，以範圍內隨機移動的小點為偵測對

象(如圖 2-6)，對於 MT 功能正常的猴子而言，範圍中只要有 1%~2%的小點往相同方向，即可偵測出此穩定的運動相關性；但對於 MT 功能有損傷的猴子而言，需要 10%~20% 或更多的小點往相同方向移動，才可偵測出此運動相關性。

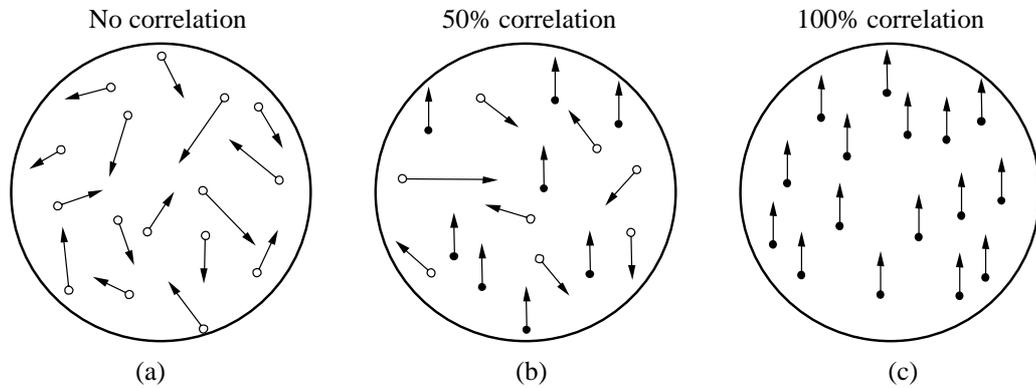


圖 2-6 MT 細胞偵測物體運動走向的相關性，(a) 範圍內的小點全部往不同的方向移動，(b) 範圍內的小點有 50%往相同方向移動，(c) 範圍內的小點 100%往相同方向移動(改自 Newsome & Paré, 1988)

在視覺傳導過程中要注意的是，視覺訊號不是只有單純的由下往上傳送，它也會在不同的階段與較低的階段作回饋。



2.1.2 似動運動

運動知覺 (motion perception) 是對物體在空間位移的知覺，它是多種感覺器官的協同活動的結果。產生運動知覺有兩個因素：一是物體位空間的位置變化而在視網膜上留下軌跡；二是觀察者自身的運動所提供的動覺訊息。但是在某些情況下，雖然沒有同一物體實際的空間位移，也能產生物體的運動知覺。概括而言，視覺的運動知覺包括三種現象：一種是真動知覺 (real motion)，物體有實際上的位移；第二種是似動運動 (apparent motion)，物體沒有實際位移，但是知覺感覺有位移；第三種是誘動運動 (induced motion) 或稱作運動幻覺，觀察者自己在動，他與客觀對象的相對空間關係改變(楊治良, 1997)。本研究中，受測者觀察的刺激圖形採用似動運動的播放方式，在此將似動運動的成因背景作一探討。

似動運動又稱作假象運動，是我們對實際上沒有空間位移的物體所產生的運動知覺現象，似動運動的應用很廣，例如動畫製作、霓虹燈廣告等，都是利用似動原理而產生出一種視覺上的連續、自然的運動效果。

似動運動的發現已經有一百六十年的歷史，Plateau 在 1833 年製造了第一個動景盤 (stroboscope)，轉的快，圖案會形成連續的變化，轉的慢只看到圖案的轉動。而學術上的研究，從最早期的 Exner (1875) 將左右的閃電圖片交替播放形成似動運動，到 1912 年之後，才有學者對似動運動現象作系統性的深入研究，Max Wertheimer 發表了一篇關於似動運動的文章，並且用完形心理學的方式來解釋此現象，並且探索了似動運動的最適條件，如圖 2-7，在合理的短距離中(約 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 視角)，將兩個圓點交替呈現，當 ISI(interstimulus interval，刺激間隔) 小於 30 ms 時，會被認為兩圓點同時存在，當介於 30~60 ms 時，會看到間隔之間部分的運動，當 60~200 m 時，會看到兩個點之間有平滑的運動，當 200~300 ms 時，會看到兩個不同的點在閃爍 (Goldstein, 2002)。

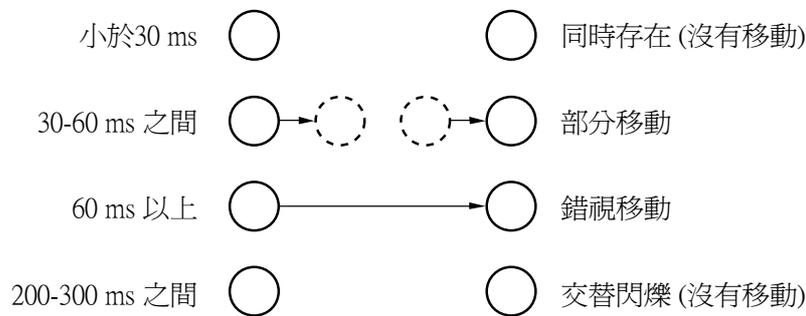


圖 2-7 產生似動運動的時間差 (改自 Goldstein, 2002)

似動運動的變化有很多種形式，本研究使用到的有「平移運動」和「形變運動」，平移運動為交替呈現的兩個刺激圖形中，物體形狀沒有變化，僅有位置上的移動(如圖 2-8a，畫面中黑色圓點形狀不變，位置左右移動)；形變運動為交替呈現的兩個刺激圖形中，物體位置大致不變，外形呈現大小、斜度、曲度或扭曲的變化(如圖 2-8b，畫面中圖形位置不變，但是有大小的差異)。

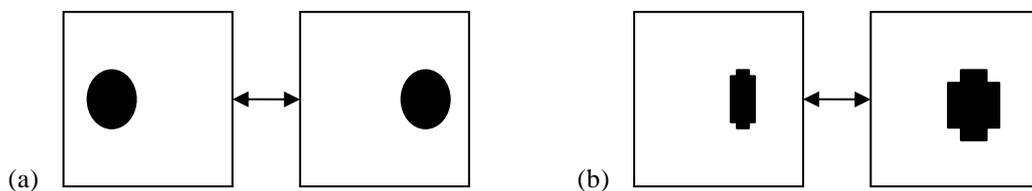


圖 2-8 平移運動和形變運動的差異

2.2 錯視

2.2.1 錯視的定義

何謂錯視？錯視就是我們的知識判斷與所觀察到的型態在現實特徵中間所具有矛盾的視覺經驗（Carraher & Thurston, 1991）。

我們的感覺器官不一定總是能對客觀事物作出正確的反應，知覺像解謎一般，必須把外界的許多線索綜合起來，視覺也是一樣，大部分的時候，視覺都能很正確的進行組合，但在某些情況下，我們會被一些線索所迷惑，看到的現象並不符合外部刺激，變產生了錯視（visual illusion 或 optical illusion）。

2.2.2 錯視的分類

本研究欲探討的目標為新的幾何錯視的分類方式，但錯視除了幾何錯視之外，尚有非常多種的錯視現象，以下探討錯視的分類以及分類的依據。

錯視的分類依據，目前比較常見的方式有兩種：

1. 依照性質的差異

今井省吾（1988）提出錯視的分類方法，分析不同的錯視中，有何不同的性質、指向意義，其分類方式較偏向主觀的直接感受，以錯視的外觀為主，將錯視分成了：

- 
- (1) 幾何學錯視之多種現象
 - (2) 多義圖形
 - (3) 逆理圖形
 - (4) 月亮錯視
 - (5) 對比錯視
 - (6) 運動錯視
 - (7) 傾斜錯視
 - (8) 方向判斷錯視

近江源太郎利用今井省吾的錯覺分類方式，作更進一步的垂直延伸和水平擴展，在圖 2-9 中，可以看到在每一個主分類的下方，另外又定義了更明確的分類意含。就分類的依據來說，仍然使用性質的差異，較主觀的方式來作分類。

這種較主觀的分類方式，可以使一般人較容易理解分類的內容，為多數藝術類學者、

書籍使用，例如楊清田（1997）就使用類似的分類的方法。

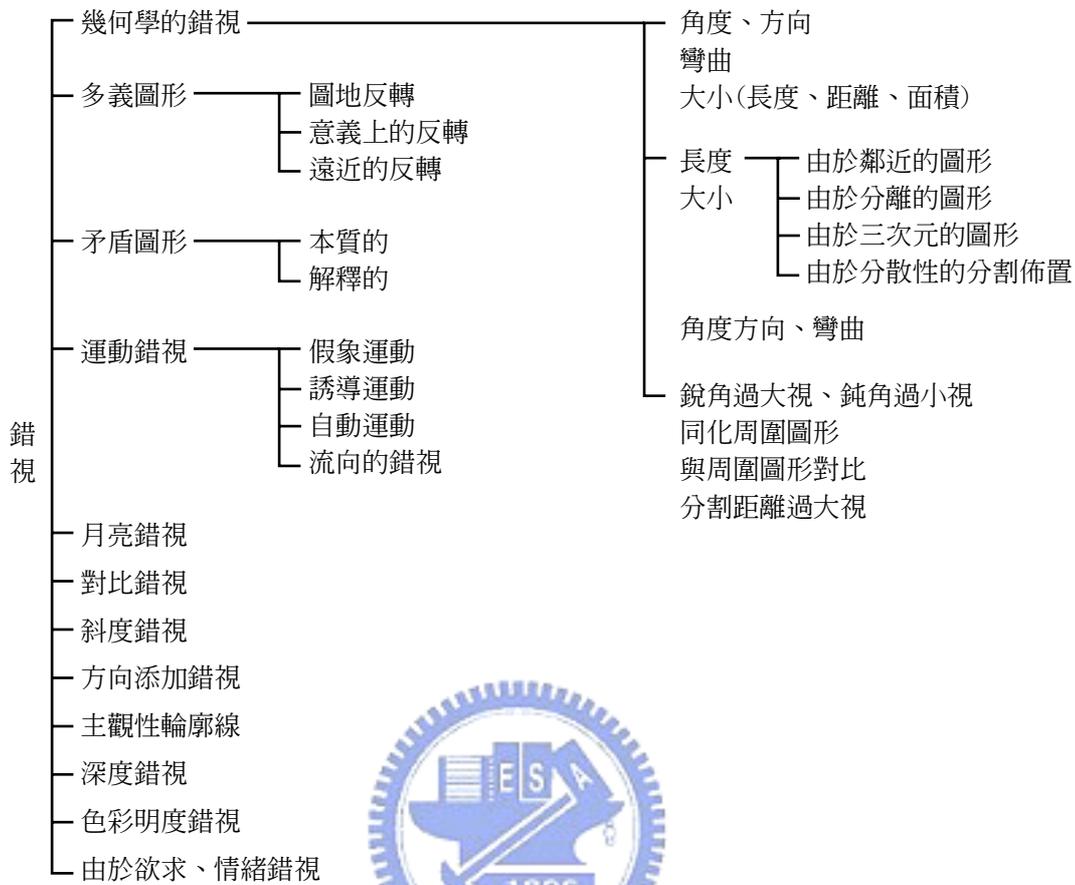


圖 2-9 近江源太郎的錯視分類

2. 依照知覺的感受

相較於「依照性質的分類」，Richard L. Gregory（1997）首先提出利用知覺的差異，以「認知實驗」作為錯視的分類依據，如表 2-1，他將錯視分類為物理上的（physical）和認知上的（cognitive）錯視，另外又將錯視分類為四類：多義性的（Ambiguities）、失真的（Distortions）、自相矛盾的（Paradoxes）、虛構的（Fictions），使所有的錯視依照大腦內認知的不同來分類，其中，失真的錯視包含了大部分的幾何錯視。Jacques Ninio（2001）在描述 Gregory 的分類方式時，細分了生理上反應的錯視種類，將錯視先分為（1）物理上的、（2）心理上的、（3）認知上的三種大類（表 2-2），再細分為四個類型。

表 2-1 Gregory 的錯視分類 (Gregory, 1997)

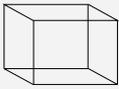
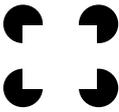
	Language errors	physical		Cognitive	
		Optics	Signals	Rules	Objects
Ambiguities 多義性的 	People like us	Cataract, mist, fog,(any loss of image quality)	Retinal rivalry, aberrant stimulation (e.g. pressure on eye)	Figure-ground (usually set by Gestalt Laws of closure, etc.)	Necker cube, face-vase, schroder staircase, Mach corner, hollow face
Distortions 失真的 	He's miles teller	Astigmatism, spoon-in-water, lateral inhibition effects (such as brightness and color contrast)	Fraser spiral, café wall, pulfrich pendulum (stereo-depth)	Ponzo, Moller-Lyer,Poggendorf, hering,vertical-horizontal(?), Moon-illusion?(perception-depth)	Size-weight(small object feeling heavier than larger object of same weight)
Paradoxes 自相矛盾的 	Dark haired blonde	Looking-glass(one's image in wrong place, self in two places at once)	Rotating spiral after-effect (expanding or contracting, yet staying same size)	Tri-bar, penrose triangle, Esher's 'belvedere', 'water fall', etc.	Magritte mirror (back of head seen reflected, instead of face)
Fictions 虛構的 	They live in a mirror	Rainbows, moiré, patterns	After-image, Mach's bends, Benham's disk (color)	Kanizsa triangle, Schumann (illusory contours and surfaces)	Faces-in-the-fire, man-in-the-moon, galleons in clouds, ink blots

表 2-2 Gregory 的錯視分類，由 Ninio 重新編輯（Ninio, 2001）

Type of illusion	Origin		
	physical	physiological	Cognitive
Ambiguities 多義性的	Hazes Shadows	Ames room Apparent motion	Necker cube Figure-ground reversals
Distortions 失真的	Stroboscopy Bending of light rays	Geometric adaptations Café wall (Munsterberg) Contrast effects	Geometric illusions
Paradoxes 自相矛盾的	Mirrors	Discrepancies between channels Motion aftereffects Constancies	Impossible figures
Fictions 虛構的	Rainbows Moirés	Afterimages Phosphenes	Subjective contours Filling in the blind spot

另外，Ninio 另外又根據認知特徵的常規來分類錯視（如表 2-3），將錯視分類為 8 種類行，舉出每一種的類型的範例，並且指出它們對照於 Gregory 的分類方法時，是屬於哪一主類型下的細分類型，例如在「分解、融合」的類型中，主要的範例就是奧奇錯視（Ouchi's illusion），而這一類型比對到 Gregory 的分類方法時，是屬於認知下的多義性的錯視。

表 2-3 Jacques Ninio 的錯視分類（Ninio, 2001）

category	Visual (V) and auditory (A) prototypes	Gregory's classification (P/ physiological, C/ cognitive)
Perceptual limits 知覺限制	V: Benham's disc A: Seashell sound	P/fictions idem
Contrast 對比	V: Mach bands A: Rawdon-smith effect	P/ fictions P/ distortion
Segregations, fusions 分解、融合	V: Ouchi's illusion A: Melody segregation	C/ ambiguities C/ ambiguities
Completions 完整	V: Subjective contours A: Auditory restoration	C/ fictions C/ fictions

Adaptations 適應作用	V: McCollough effect A: Zwichker effect	P/ fictions P/ fictions
Constancies 恆常	V: color of the moon A: phase neglect	P/ distortion C/ paradoxes
Reference points, localizations 參照點、局部化	V: the pigeon's head A: Deutsch's illusion	C/ paradoxes P/ paradoxes
Arbitrations between channels 領域仲裁	V: geometric illusions A: dominance of the image	C/ distortions C/ paradoxes

2.2.3 幾何錯視的分類

在錯視的大分類之下，幾何錯視幾乎都有被定義為一個獨立的類別，而幾何錯視指的是憑眼睛所見而構成失真的或扭曲事實的視覺經驗，到目前為止，所發現到的幾何錯視種類非常多，也有不同的分類方式。

最早在 1922 年，M. Luckiesh 將幾何錯視依照錯視的外形，分為五類（M. Luckiesh, 1965）：

1. 視野內影像位置的影響（The effect of the location in the visual field）：例如垂直水平錯視（Vertical-horizontal illusions，如圖 2-10）等。

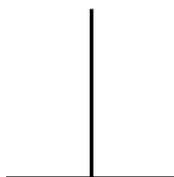


圖 2- 10 垂直水平錯視，雖然垂直和水平兩條線一樣長，但是看起來垂直的較水平長。

2. 範圍中被插入物件的錯視（Illusions of interrupted extent）：例如 Ebbinghaus 錯視（如圖 2-11）等。



圖 2- 11 Ebbinghaus illusion，有插入線段的間隔會看起來比較長。

3. 輪廓的錯視 (Illusions of contour)：例如 Müller-Lyer 錯視 (如圖 2-12) 等。

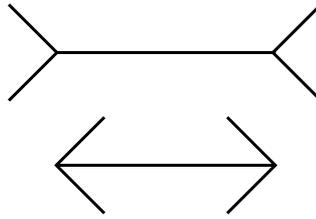


圖 2-12 Müller-lyer 錯視，兩圖形中間一樣長的水平線，受到兩側箭頭的影響，看起來不一樣長。

4. 對比的錯視 (Illusions of contrast)：例如 Ponzo 錯視 (如圖 2-13) 等。

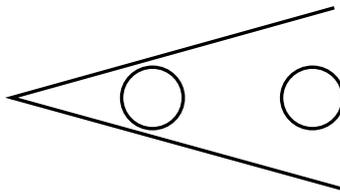


圖 2-13 Ponzo 錯視，兩個一樣大的圓，受到銳角線段的影響，看起來不一樣大。

5. 透視的錯視 (Illusions of perspective)：例如平行四邊形錯視 (The sander parallelogram，如圖 2-14)、後者顯得較大的透視錯視 (the striking illusion of perspective，如圖 2-15) 等。

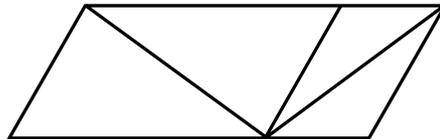


圖 2-14 平行四邊形錯視，圖形中的兩條對角斜線，實際上是一樣長的。

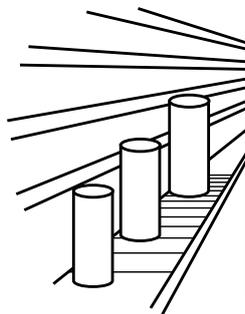


圖 2-15 透視錯視，受到透是參考線的影響，三個一樣大的圓柱，後方的看起來最大。

Boring 在 1942 年將幾何錯視分類成兩個群組：(1) 有關長度或大小的錯視 (illusions of extents) (2) 關於方向的錯視 (illusions of direction)：例如線條或圖形的斜度、走向被

誤判 (Robinson, 1999)，也是將錯視利用外形作分類。

在 Tolanski (1964) 的發表中，將同質性變化的錯視分為同一類，共分七類：

1. 弱的側翼影響 (The effect of weak wings)：例如垂直水平錯視等。
2. 聚合分離錯視 (Convergence-divergence)：例如 Muller-Lyer 錯視等。
3. Poggendorff 相關類型錯視
4. Zöllner 相關類型錯視
5. 輻射性錯視 (Irradiation illusion)
6. 月亮錯視 (The moon illusion)
7. 其他更進一步的錯視

Oyama (1960) 在日本的幾何錯視研究中，將錯視分類為三大項、數個小項：

1. 長度、距離錯視 (Illusions of length and distance)：
 - (1) Müller-lyer 錯視
 - (2) 超估或低估被插入物件範圍的長度、距離
 - (3) 超估或低估插入較大範圍的長度、距離
 - (4) 垂直水平錯視
2. 角度、方向、直線錯視 (Illusions of angle, direction, straightness)：
 - (1) 被直線貫穿、交叉的圖形，大部分都為 Zöllner 錯視(圖 2-16)或 Poggendorff 錯視(圖 2-17)的變化

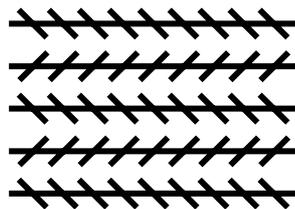


圖 2-16 Zöllner 錯視，平行的水平線受到斜線的影響，看起來歪歪扭扭的。

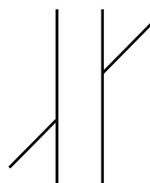


圖 2-17 Poggendorff 錯視，穿過兩條垂直線的一條斜線，看起來像是錯開的兩條線。

- (2) 分割區段的錯視 (The illusion of divided sectors)
- (3) 直線、曲線的錯視：例如 Hering 錯視 (圖 2-18)

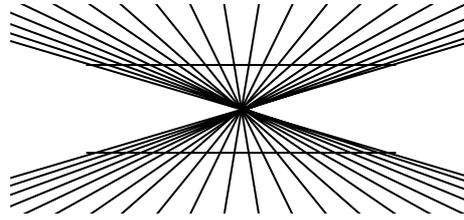


圖 2-18 Hering 錯視，受到放射狀的斜線影響，兩條水平線看起來向外膨脹，成為曲線。

3. 尺寸、區域錯視 (Illusions of size and area)

- (1) 同圓心或不同圓心的錯視 (illusions in concentric or eccentric circles)：例如 Delbœuf 圖形 (圖 2-19)、Titchener 圖形 (圖 2-20)



圖 2-19 Delbœuf 錯視，左邊的內圈圓，和右邊的外圈圓，實際上一樣大。

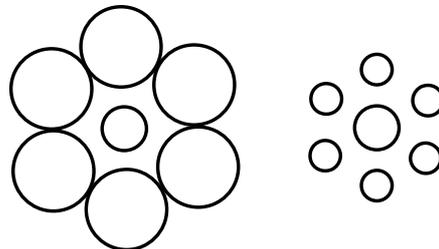


圖 2-20 Titchener 錯視，左右兩邊圖形中間的圓實際上一樣大。

- (2) Jastrow 圖形 (圖 2-21)

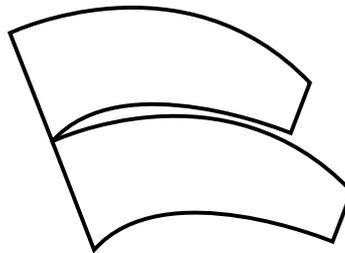


圖 2-21 Jastrow 錯視，上下兩個圖形實際上一樣大。

近江源太郎整理的幾何錯視細項（圖 2-8）也與 Oyama 的相似，都是利用錯視外形上的差異作為分類依據。

今井省吾（1988）除了全部錯視的分類外，也有分類幾何錯視，將幾何錯視分為三類：（1）角度、方向錯視（2）彎曲錯視（3）長度、距離、面積錯視。

朝倉直巳（1993）在介紹平面構成時，利用錯視的外觀將幾何錯視分類為：（1）有關形態扭曲的錯視（2）線或角對不起來的錯視（3）與垂直方向有關的錯覺扭曲（4）大小的錯視。

另外，Coren（1997）分析視錯覺的因子，將幾何錯視分類為：（1）形狀和方向的錯視（2）大小的對比錯視（3）過大錯視（4）過小錯視（5）框組錯視。

以上多種的分類方式，可以看出大部分研究錯視的學者對於幾何錯視的分類，是以錯視的外形或是視覺上變化的方式作為分類的依據，僅分類的種類數量不同。

2.3 本研究選用的錯視

本研究中，由於研究範圍的取樣，選用了 6 種幾何錯視當作實驗刺激圖形，以下探討這六種錯視的背景與特性。



2.3.1 Poggendorff illusion

此錯視在 1860 年被學者 Zöllner 發表，並且於 1896 年由 Burmester 命名（Robinson, 1999）。這種錯視會讓一條穿過平行線的斜的直線，看起來像是錯開的，無法連接成一條線（如圖 2-16）。此發表僅為這種錯視的辨別特徵，依照此特徵可以變化出很多形態的 Poggendorff 錯視（如圖 2-22）。

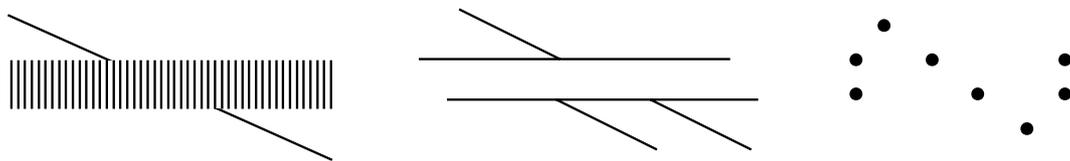


圖 2-22 Poggendorff 錯視的變化型

學者發現「走向（orientation）」對於這種錯視視很重要的，如圖 2-23（a），當斜線和平行線交叉的斜度為 45° 時，產生的錯視效果最大，角度約偏向 90° ，錯視的效果就會減低，

圖 2-23 (b) 當角度為 90°時，沒有產生錯視效果。

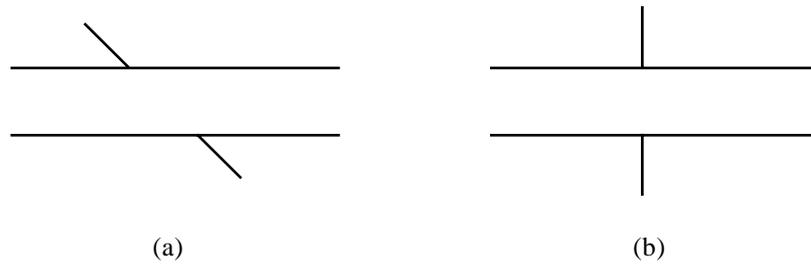


圖 2-23 Poggendorff 錯視中的斜線，不同角度有不同程度的錯視效果。

2.3.2 Ebbinghaus illusion

此錯視最早由 Oppel 在 1855 年發表出來，命名為 Oppel-Kundt illusion (如圖 2-24)，後來在 1902 年此種錯視被變化成三個比較並排的 Ebbinghaus illusion (如圖 2-11)。



圖 2-24 由 Oppel 在 1855 年發表的 Ebbinghaus 錯視造形。

此種錯視的特徵是，在相同距離的空間當中，插入了數量不同的平行線，造成有插入平行線的空間看起來比沒有插入平行線的空間來的大或長。以圖 2-25 為例，學者也發現插入平行線數量少 (a) 所引發的錯視效果，比插入平行線數量多 (b) 所引發的錯視效果來的大，也比整條全黑 (c) 的效果大。另外的實驗也發現，當插入的平行線的數量介於 9~14 條之間，會有最大的錯視效果，且當這些插入的平行線都平均分布時，錯視效果也會最大 (Robinson, 1999)。



圖 2-25 三種 Ebbinghaus 錯視效果程度的比較

2.3.3 Müller-Lyer illusion

此錯視在 1889 年被 Müller-Lyer 發表出來，它的特徵是兩段相同長度的距離或直線，在兩端加上向外或向內的箭頭或物件，會感覺兩條線段不一樣長。依照此特徵可以變化出很多形態的 Müller-Lyer 錯視 (如圖 2-26)。

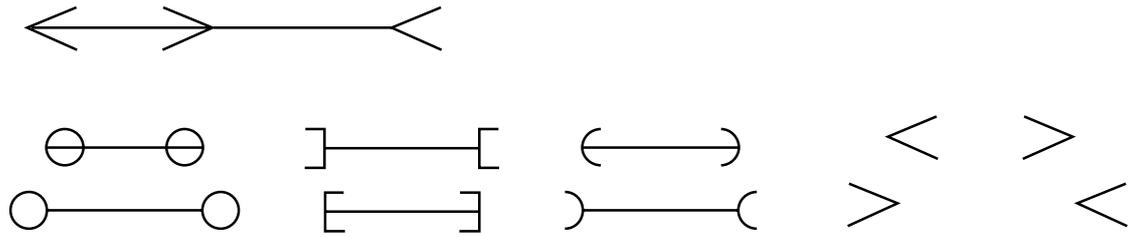


圖 2- 26 Müller-Lyer 錯視的變化型

過去的研究發現，箭頭的角度會影響錯視效果，當兩個線段組成的箭頭之間的角度為 20° 以上，會有較強的錯視效果，當角度為 180° 時，沒有產生錯視效果 (Lewis, 1909)， $40^\circ \sim 60^\circ$ 具有最大的錯視效果。

Nakagawa (1958) 發現中間線段長度和箭頭線段長度的比例，也會影響錯視效果，當兩種線段長度比例為 3 : 1 時，會有最大的效果。

2.3.4 Caféwall illusion

此錯覺在 1898 年被命名為「the illusion of Kindergarten patterns」，起因為幼稚園牆上的方形黑白瓷磚拼起來的效果讓人感覺到扭曲 (如圖 2-27)，後來此效果被應用在一家咖啡館內，廣為人知之後被稱為 Caféwall illusion。

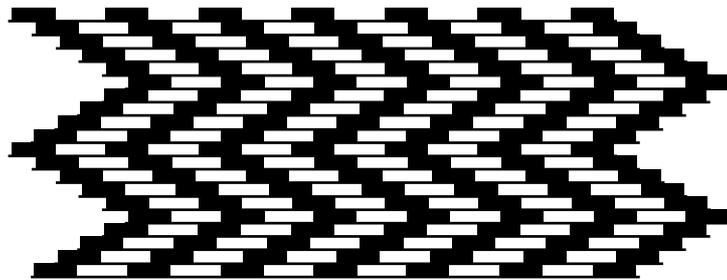


圖 2- 27 Caféwall 錯視

此錯視的特徵，為一黑一白的方塊排列在一起成為一橫排，每一橫排和下一橫排按照順序些微的向左錯開數排，再向右錯開數排，會感覺水平線有右傾或左傾的錯視效果。排數、來回數越多，看起來的扭曲效果越明顯。

2.3.5 Zöllner illusion

此錯視在 1860 年被 Zöllner 發表出來，為關於角度的最常見錯視版本，它的特徵是當

數條平行線上交叉許多短斜線，基數條和偶數條平行線上的斜線方向相反，會感覺平行線不再平行，有順或逆時針轉動的錯視效果。

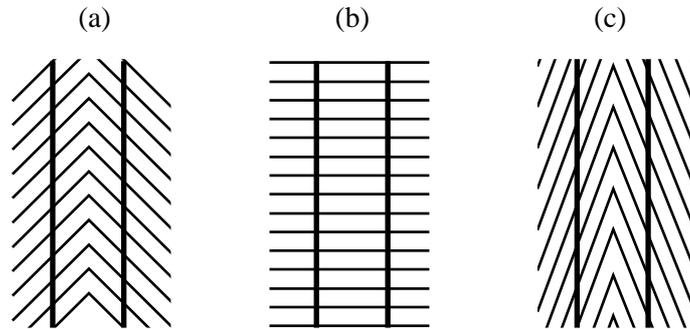


圖 2- 28 Zöllner 錯視中斜線的密度、斜度不同時，錯視效果的程度也不同。

Zöllner 發現當斜線和水平線交叉的角度為 45° 時，有最明顯的錯視效果(如圖 2-28a)，當角度為 90° 時，完全沒有錯視效果(如圖 2-28b)，而其他學者則發現更小的銳角 ($10^\circ \sim 20^\circ$) 會有更強烈的錯視效果 (Robinson, 1999)，如圖 2-27 (c) 交叉角度為 20° ，錯視效果較 (a) 明顯。



2.3.6 Hering illusion

此錯視於 1861 年被 Hering 發表出來，同樣利用直線和斜線之間的關係，成為知名的錯視圖形。

它的特徵是將兩條平行線置於相同圓心的輻射線上，平行線會看起來像是向外膨脹般的彎曲(如圖 2-29a)。利用相同模式變化，將輻射線的兩個圓心在平行線之外的錯視，叫做 Wundt illusion (如圖 2-29b)。

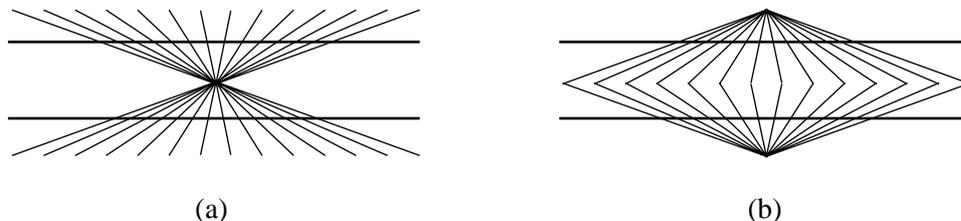


圖 2- 29 (a)為 Hering illusion，(b)為 Wundt illusion

三、研究方法

研究中採用實徵的研究方法來取得實驗結果，實驗程序遵循心理物理學中的調整法（method of adjustment）來測量錯視效果的閾值。

將在以下篇章說明心理物理學當中的調整法、閾值的內容及定義，並介紹本研究所採用的實驗方法。

3.1 心理物理學當中的調整法

心理物理學（Psychophysics）為研究心理現象和物理現象之間數量關係的科學，由 G. T. Fechner 在 1860 年的著作《心理物理學綱要》（Elements of Psychophysics）中提出（楊治良，1997）。經過眾多學者多年的努力，心理物理法（Psychophysical method）成為可以測量心理量和物理量間的函數關係以及製定達到正確測量的實驗方法，也是現代心理學最普遍使用的工具。

《心理物理學綱要》中提出三種測量閾值的基本實驗方法：極限法（method of limit）、調整法（method of adjustment）、定值刺激法（method of constant stimuli），研究者可根據實驗實際需求，選擇最適合的實驗方法。

為避免上行、下行實驗方向的刺激圖形順序影響受測者的主觀視覺感受，本實驗選擇使用調整法。調整法又稱平均差誤法（或均誤法 method of average error）、再造法（method of reproduction）、均等法（method of equation），是最古老且最基本的心理物理學方法之一。它的實驗方式是呈現一個標準刺激，和一個可以被調整的比較刺激，受測者可以自由調節比較刺激的大小，使其與標準刺激相等。調整法測量的是主觀相等點（point of subjective equality），也就是上閾值和下閾值的中點。調整法的刺激值最好是連續的，而且受測者在操作時，接近閾值附近可以反覆上下調整，確認主觀感覺。

3.2 閾值

前文提及在本研究中調整法被用來測量錯視效果的閾值（threshold），閾值可以分為兩種：絕對閾（absolute threshold）和差異閾（difference threshold）或最小可感覺差異（difference noticeable difference, JND），兩者都可以利用心理物理法測出。絕對閾所測得

的是能引起受測者產生感覺所需的最小刺激量，差異閾是能引起受測者感覺兩刺激之間有差別的刺激差異量。

根據實驗我們知道，某一特定數值的刺激，在重複作用於感官時，會有或高或低的變化，這種不穩定性往往與如何測量閾值、受測者對任務的注意程度及態度、受測者的感受性暫時出現搖擺有關（楊治良，1997）。而理論上這種隨機變化的差異在次數分配上呈現常態分布，因此我們可以將所測得的強度以算數平均數來表示，得到閾值。實驗的次數越多，求得的數據越接近真實閾值。

3.3 本研究的實驗方法

本研究延續柯伊芳（2002）的實驗方法，採用錯視圖形和參考圖形交替呈現而產生扭動效果的原理，來進行受試者的資料蒐集，在本研究當中，我們修正了實驗刺激，將有錯視誘發參考線的圖形和沒有錯視誘發參考線的圖形稍作平移的錯位安排，以防止受測者被靜止的圖形影響結果（參照圖 4-1）。

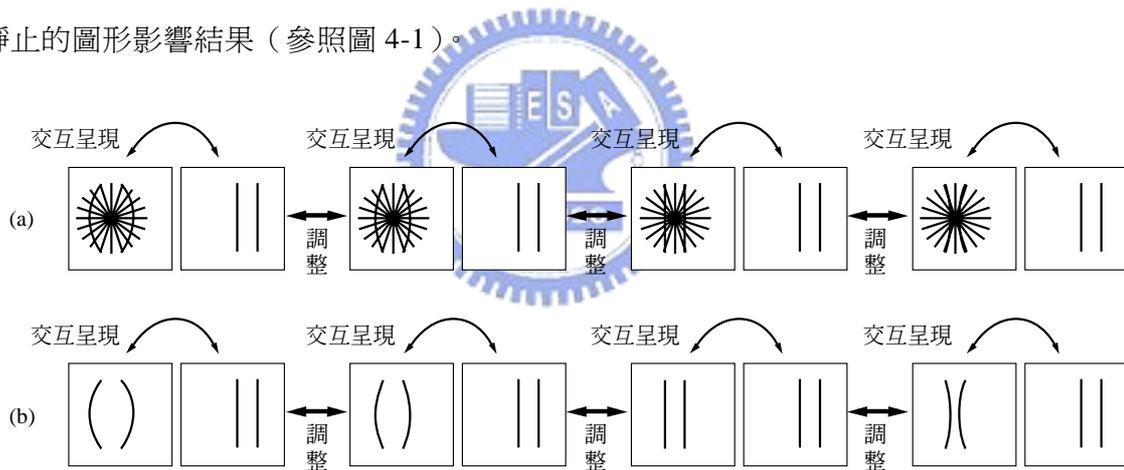


圖 3-1 以 Hering 錯視為例，(a)為實驗組、(b)為控制組，受測者可自行調整錯視參考線的扭曲程度，直到感覺沒有扭動為止。

實驗分為實驗組和控制組，實驗組中，有兩種刺激圖形，錯視刺激圖形會先以物理上極度扭曲的狀態，和沒有錯視誘發參考線的刺激圖形，以可以產生似動運動的時間差做交替呈現，受測者可自由調整錯視刺激圖形中的扭曲狀態（如圖 3-1a），若調整到無感覺扭動（形變運動）的產生，則按下輸入鍵，紀錄受測者主觀上認為沒有扭動時，錯覺圖形物理上扭曲的程度。控制組和實驗組大致相同，但移除了刺激圖形中會引發錯視的參考線，讓受測者自由調整圖形的扭曲程度，直到感覺不到扭動為止（如圖 3-1b）。每一種錯視從兩端極度扭曲的狀態開始調整，一端 12 次隨機出現，共調整 24 次。另外，為了避免受測

者有固定調整的次數，每一次實驗開始呈現的圖形的扭曲程度都是隨機的。

在本研究中，利用調整法求得的實驗組數值，為受測者在主觀視覺上沒有感覺到扭曲的錯視效果的閾值，控制組的數值為沒有錯視影響的閾值，將兩種數值的所有次數的結果求得算數平均數作比較分析，其結果可作為本研究的討論對象。



四、實驗

4.1 基本實驗說明

本研究共有兩組實驗，有共同的受測人員 (subjects) 以及實驗設備，一併說明如下。

4.1.1 受測人員

受測者共六位，G、H、I、J、K 和 L，男性 4 人，女性 2 人，皆為國立交通大學之研究生，均視力正常或矯正後達到 1.0 正常視力水準。

4.1.2 實驗設備

1. 硬體：以 IBM X24 筆記型電腦進行實驗，電腦的 CPU 為 Intel Pentium III 1.06G，顯示設備連接在經由 Gamma 校正後的 ViewSonic 19 吋 CRT 顯示器(1024*768 pixel)上。受測者利用鍵盤上的左鍵、右鍵以及 Enter 鍵，調整及確認刺激圖形，軟體程式作記錄。
2. 軟體：在作業系統 Window XP 之下，以『Presentation』軟體製作實驗程式，流程步驟每一實驗不同，於各小節另作描述。
3. 觀測距離：受測者眼睛到 CRT 螢幕之距離，為受測者對於刺激圖形的觀測距離，本實驗的觀測距離為 70 公分長，以刺激圖形長度 212.4 pixel 為例，呈現於螢幕之長度約為 8 公分，視角大小為 6.54° 。

4.2 實驗一 A

本實驗延伸了柯伊芳 (2002) 使用的實驗方法，Hering 錯視的兩種刺激圖形位於相同位置交替呈現 (如圖 4-1a)，受測者的主要工作是偵測有無「形變」的似動運動，實驗結果沒有顯著差異。

而本研究中，為了檢驗是否因為兩種刺激圖形位於相同位置交替呈現，造成實驗結果無顯著差異，除了 Hering 錯視的兩種刺激圖形有「形變」之外，另外作了「平移」的變化 (如圖 4-1b)，受測者被要求無需理會平移的變化，偵測重點放在有無「形變」的似

動運動上。此實驗的結果將被拿來和柯伊芳的實驗結果做比較，判斷兩種刺激圖形有無平移，是否會對結果造成影響，並且此比較結果可供實驗二的實驗設計作為參考。

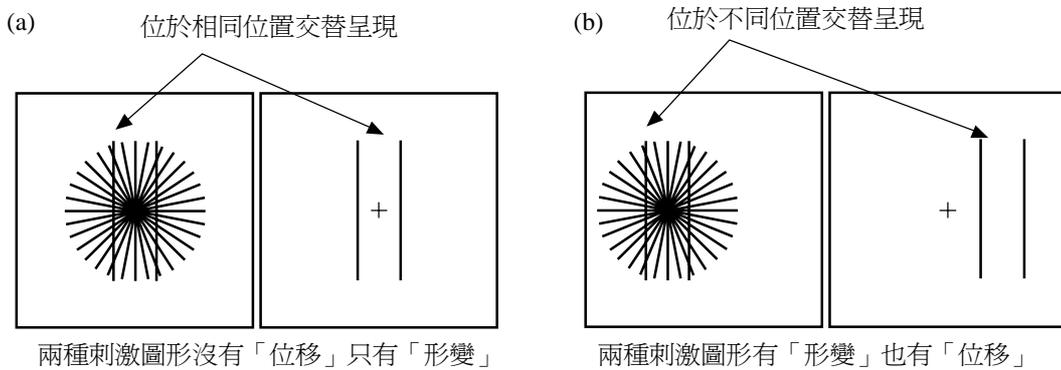


圖 4-1 兩個研究實驗刺激的不同，(a) 為柯伊芳的實驗刺激 (b) 為本研究的實驗刺激

4.2.1 刺激圖形

本實驗中，一個似動運動的刺激，由兩種圖形交替呈現（圖 4-2），形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。

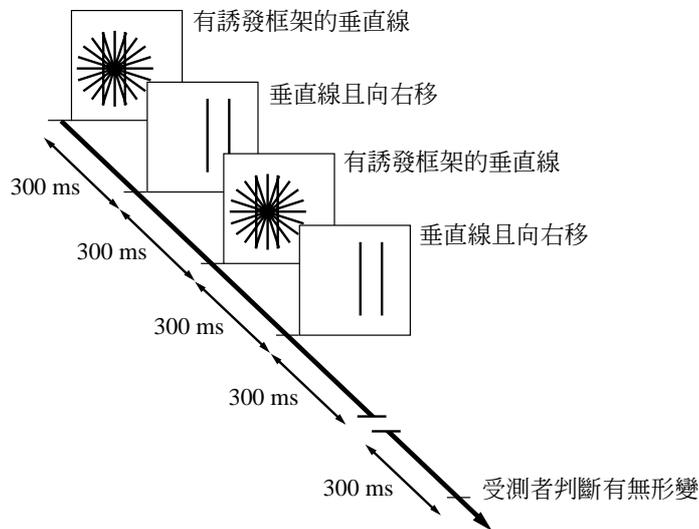


圖 4-2 實驗一 A 的實驗流程圖

延續之前的論文，以 Hering illusion 作為刺激圖形的基礎，兩種刺激圖形中：

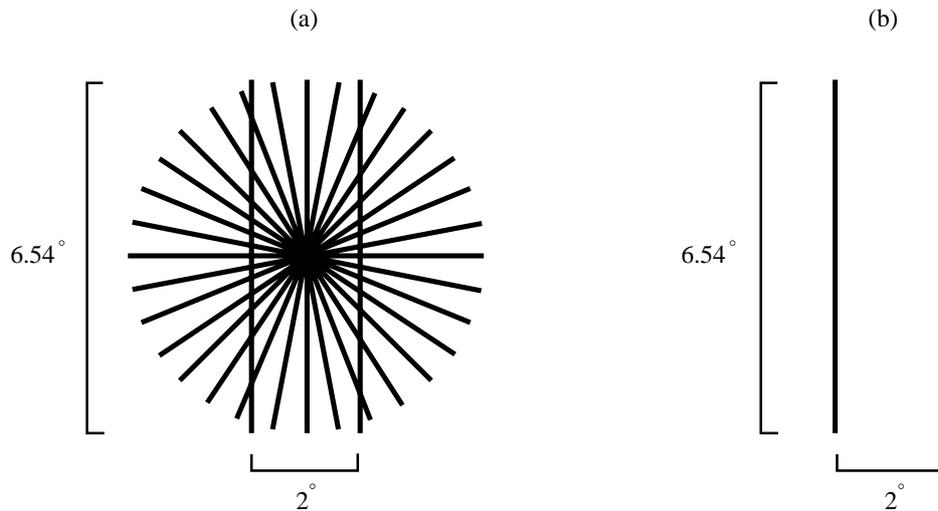


圖 4-3 實驗一 A 的兩種刺激圖形

第一種（圖 4-3a）狀似 Hering illusion，包含了放射狀線條和平行的兩條垂直線，放射狀線條為誘發圖形（inducing pattern），共 16 條，以相同角度交叉，形成一個圓，每一條長度為 6.54° ，寬度為 $332.54 \text{ sec of arc}$ 。兩條平行的垂直線為被調整圖形（judging pattern），也是 6.54° 長， 332.54 sec 粗，兩條線之間的距離為 2° ，以放射狀線段的圓心作為中心點。另外為了受測者調整之用，平行的垂直線會呈現向外或向內的彎曲，彎曲的方式是將兩條垂直線的中點，拉到實驗設計的位置上，以圖 4-4 為例，移動的位置分為三個層級，每一次的彎曲均由直線的中點向外或向內移動 55.42 sec of arc 、 $110.84 \text{ sec of arc}$ 或 $221.68 \text{ sec of arc}$ ，一種數次，共有 51 個不同的彎曲程度。

第二種(圖 4-3b)為兩條平行的垂直線，和第一種刺激圖形中的尺寸相同，但是整體的中心點向右位移了 0.44° 。位移距離的考量，乃因為此仍然可以形成似動運動的效果。

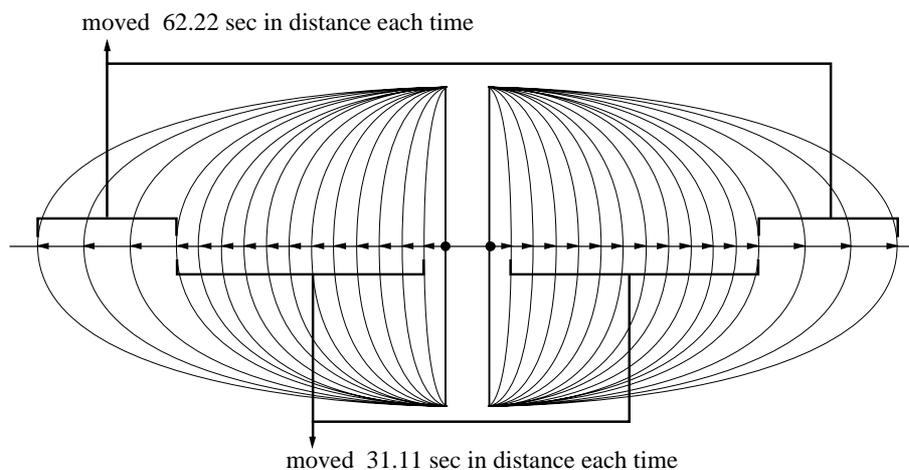


圖 4-4 垂直線向外彎曲的程度示意圖，每一次的彎曲都以垂直線的中點，向外移動 31.11 sec of arc 或

4.2.2 實驗流程

我們使用調整法進行實驗，受測者可以自行調整刺激圖形中線條的彎曲程度，直到受測者認為他們所看到的刺激圖形，沒有產生形變的似動運動，就可以進行下一個刺激的調整。為了要避免受測者都由同一個彎曲方向的曲線開始調整，實驗中有下行（descending series）以及上行（ascending series）的兩種試驗（trials）方向，順序隨機出現。

本實驗中，根據實驗設計，隨機播放了 24 趟的試驗，12 趟下行、12 趟上行，下行的試驗方向從最向外彎曲的圖形到最向內彎曲的圖形，上行的方向從最向內彎曲的圖形到最向外彎曲的圖形。

受測者在實驗之前，會先被告知：「當你感覺此一刺激有形變的似動運動時，可以按下左鍵或右鍵數次，去調整有誘發圖形背景的兩條線段的曲度，當你感覺這兩條線段在左右跳動時，沒有扭曲的形變似動運動時，按下 Enter 鍵，可以進行下一個試驗的調整。」每當受測者按下一次左鍵或右鍵，兩條直線會如同圖 4-3 的向內或向外彎一個單位距離。當受測者按下 Enter 鍵時，螢幕會保持黑色，讓受測者的眼睛休息，直到受測者再按下任意鍵，繼續下一回試驗。



4.2.3 實驗結果

本實驗中，下行的線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 376.856 sec of arc，上行的平均值為 456.328 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-1），下行、上行平均值為 416.537 sec of arc，六個受測者的下行、上行數據作配對 t 檢定，得到的結果顯示兩者沒有顯著差異（ $t=-1.973$, $df=5$, $p>.05$ ）。這也表示我們可以接受此線段形變似動運動的曲率偵測閾為 416.537 sec of arc。

表 4-1 六位受測者實驗一 A 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	203.207	480.307	471.070	309.428	420.268	383.322
上行平均值	267.863	364.848	665.040	443.360	540.345	503.398
平均值	235.535	422.578	568.055	376.394	480.307	443.360

4.3 實驗一 B

本實驗為實驗一 A 的控制組，去掉了會產生錯視的誘發圖形背景，此實驗結果可以和實驗一 A 的結果作比較，判斷是否有顯著的差異，藉以理解 Hering illusion 的發生階段，並且和柯伊芳論文中的結果作比較。

4.3.1 刺激圖形

本實驗中，似動運動的刺激呈現順序與實驗一 A 相同，由兩種圖形交替呈現(圖 4-5)，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第一種的圖形去掉了被當成誘發圖形的放射狀線條，其他都和實驗一 A 相同。

爲了讓受測者可以調整曲率，兩條線段也設計了彎曲的狀態，分爲三個階層，都與實驗一 A 相同。

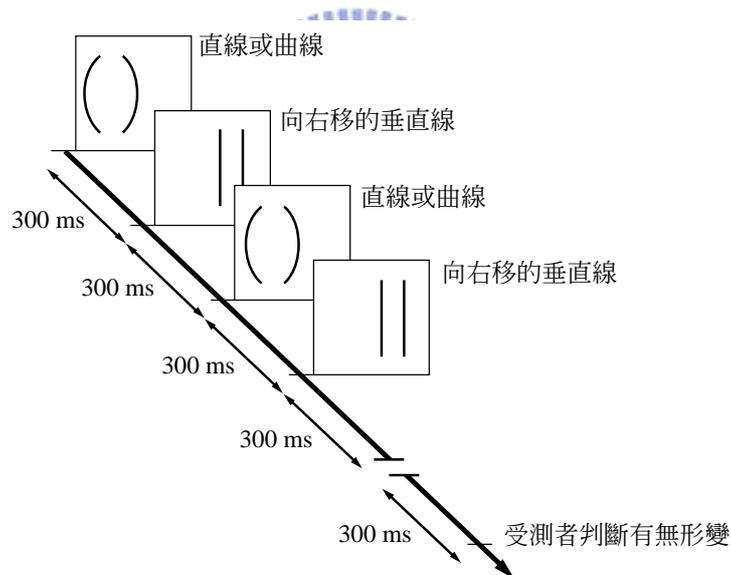


圖 4-5 實驗一 B 的實驗流程圖

4.3.2 實驗流程

實驗流程和實驗一 A 相同，受測者利用左鍵或右鍵調整線段的曲率，感覺沒有形變的似動運動時，就按下 Enter 鍵，繼續下一個試驗。

4.3.3 實驗結果與討論

本實驗中，下行的線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 101.640 sec of arc，上行的平均值為 6.650 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-2），下行、上行平均值為 54.089 sec of arc，六個受測者的下行、上行數據作配對 t 檢定，得到的結果顯示兩者沒有顯著差異（ $t=-1.925, df=5, p >.05$ ）。這也表示我們可以接受此線段形變似動運動的曲率偵測閾為 54.089 sec of arc。

表 4-2 六位受測者實驗一 B 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	55.420	230.917	83.130	106.222	32.328	-18.473
上行平均值	-18.473	-13.855	18.473	0.924	46.183	0.924
平均值	18.473	108.531	50.802	53.573	39.256	-8.775

將本實驗的結果與實驗一 A 的結果作比較，在統計圖 4-6 中，黑色代表實驗一 A 的各受測者數據，灰色代表實驗一 B 各受測者數據，比較實驗一 AB 的平均值，實驗一 A 的數值為實驗一 B 的 7.696 倍。另外，將這兩組實驗中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異（ $t=8.309, df=5, p <.001$ ）。因此我們可以看出，當兩種刺激圖形不在相同位置交替呈現時，會有相當大的形變似動運動產生。

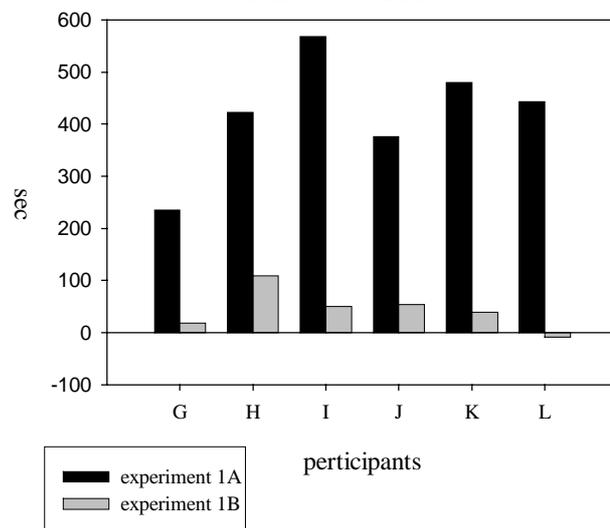


圖 4-6 六位受測者實驗一 A 和 B 的統計圖表，黑色代表實驗一 A，灰色代表實驗一 B。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-3。可以看出下行的試驗方向中，有五位受測者感覺有非常顯著的差異（ p

<.01)，一位受測者感覺有顯著差異 ($p <.05$)。上行的試驗方向中，六位都感覺有非常顯著的差異 ($p <.01$)。

表 4-3 Hering illusion 實驗組和控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行	*	**	**	**	**	**
上行	**	**	**	**	**	**

* $p <0.05$, ** $p <0.01$

柯伊芳的研究所作的結果顯示，兩種刺激圖形不平移，作交替呈現，得到的結果為沒有顯著差異，沒有產生形變似動運動，和此實驗一的結果作比較，可以發現當兩種刺激圖形的位置有錯開時，和沒有錯開的實驗結果是相反的。此相對的比較結果，是可以被解釋的，當視網膜上的物理的物體位置固定不變，會形成更強大的規範，使得物體登錄訊息不會受到錯覺的誘發圖形影響，造成扭曲，運動系統也不會接收到扭曲過後的圖形，產生沒有形變的似動運動。這個現象也被先前的研究提出過：當我們持續注視著某些幾何錯視時，錯視的效果會消失一段時間 (e.g. Ramachandran et al., 1994; Pos & Zambianchi, 1996; Fischer, 1999; Fischer et al., 2003)。

因此，我們可以合理地認為，在實驗中，將似動運動中的兩種刺激圖形錯開交替呈現，能得到更為準確的結果。

4.4 實驗二 A

根據實驗一的結果，我們利用兩種位置有「平移」的刺激圖形交替呈現，請受測者判斷 5 種錯覺圖形在此交替呈現之下，是否會產生形變的似動運動，並可提供參考的基準給控制組作為對照之用。

4.4.1 刺激圖形

1. Poggendorff illusion

一個似動運動的刺激，由兩種圖形交替呈現(圖 4-7)，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。

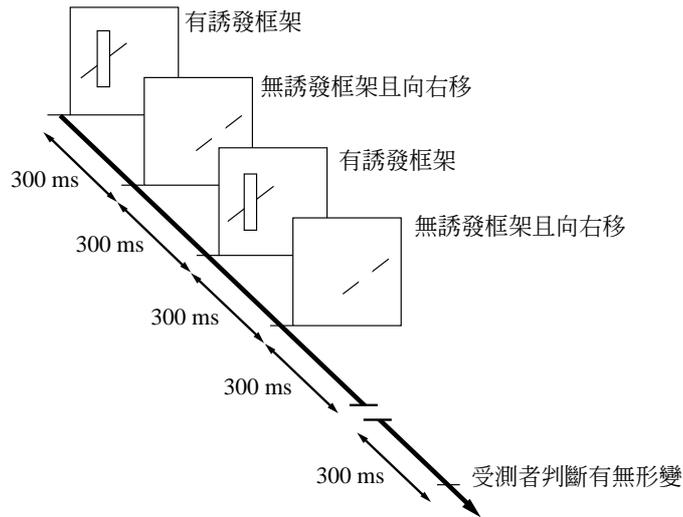


圖 4-7 實驗二 A 中 Poggendorff 錯視的實驗流程圖

第一種（圖 4-8a）狀似 Poggendorff illusion，包含了一個長方形的方塊和穿越長方形的 45 度斜線，方塊的長度為 7.67° ，寬度為 1.69° ，左右兩邊的斜線長度各為 2.46° ，線段的粗細為 554.2 sec of arc 。為了受測者調整之用，左邊的斜線會向上或是向下移動，分為三種層級，各移動 $110.84 \text{ sec of arc}$ 、 $221.68 \text{ sec of arc}$ 或 $443.36 \text{ sec of arc}$ 數次，共有 43 個不同的高低位置。

第二種（圖 4-8b）圖形為第一種減去中間的長方形，剩下兩條斜線，若斜線延伸，會形成一條直線，第二種圖形的位置比第一種整體向右移動 1.91° ，移動之後仍然可以交替呈現形成似動運動。

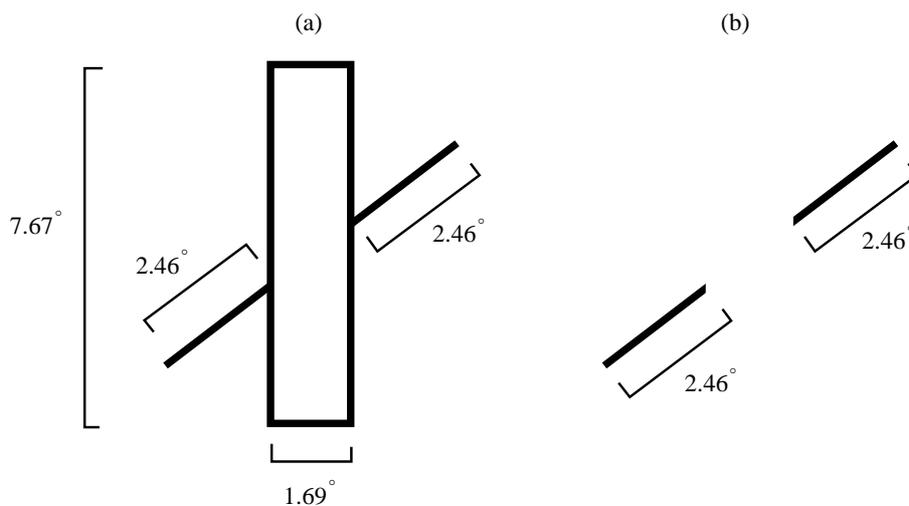


圖 4-8 Poggendorff illusion 的兩種刺激圖形

2. Ebbinghaus illusion

一個似動運動的刺激，由兩種圖形交替呈現，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動，順序如同圖 4-9。

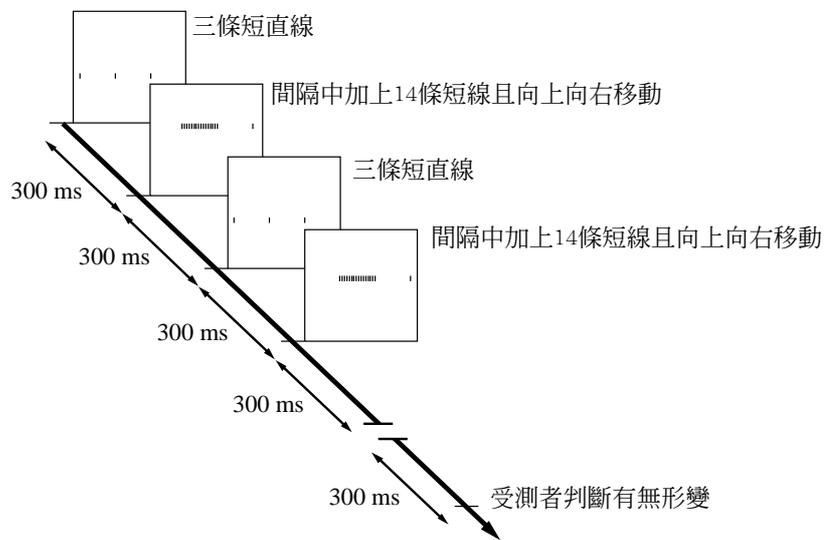


圖 4-9 實驗二 A 中 Ebbinghaus 錯視的實驗流程圖

第一種刺激圖形（圖 4-10a）有三條垂直的短線，長度為 0.44° ，之間的時間隔各為 2.79° 。為了受測者調整之用，最左邊的短線會向左或是向右移動，分為三種層級，各移動 55.42 sec of arc、110.84 sec of arc 或 221.68 sec of arc 數次，共有 54 個不同的左右位置。

第二種（圖 4-10b）圖形狀似 Ebbinghaus illusion，為第一種圖形在左邊兩條短線的時間隔中，以平均的時間隔加上一樣長度的 14 條短線，第二種圖形的位置比第一種整體向右移動 0.27° ，向上移動 1.87° ，移動之後，此距離仍然可以被交替呈現形成似動運動。

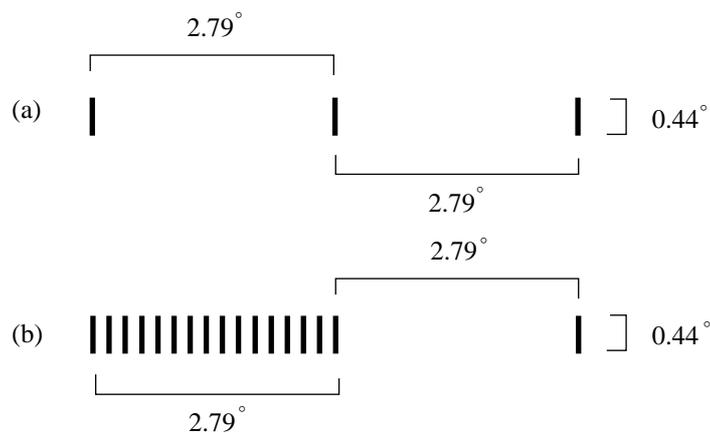


圖 4-10 Ebbinghaus illusion 的兩種刺激圖形

3. Müller-Lyer illusion

此錯覺因有向外以及向內的箭頭，在控制組時分成兩種錯覺計算，但在此實驗二 A 中，使用同一種的實驗組取得數據。此錯覺的刺激，由兩種圖形交替呈現，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動，順序如同圖 4-11。

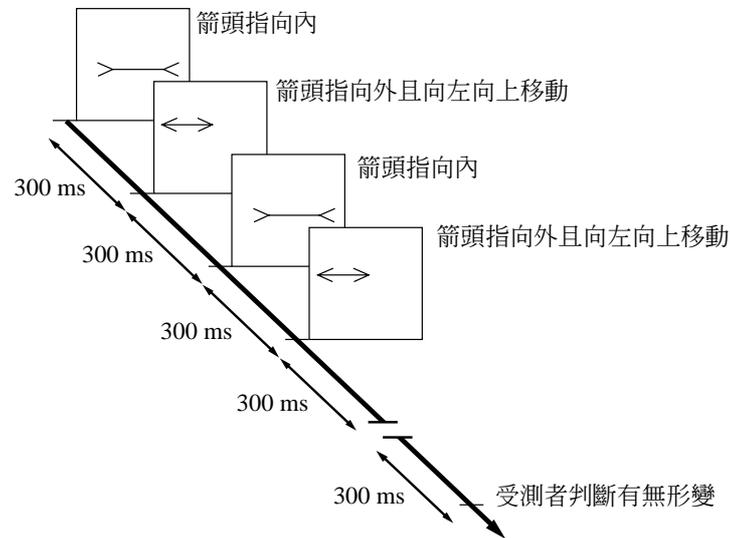


圖 4-11 實驗二 A 中 Müller-Lyer 錯視的實驗流程圖

第一種刺激圖形（圖 4-12a）為兩邊箭頭指向內的圖形，中間的橫線長度為 4.36° ，左右箭頭線段長度皆為 1.35° ，線條寬度都是 $443.36 \text{ sec of arc}$ ，箭頭的角度為 50° 。為了受測者調整之用，中間的橫線會由左端開始縮短或加長，分為三種層級，各增減 $110.84 \text{ sec of arc}$ 、 $443.36 \text{ sec of arc}$ 或 $886.72 \text{ sec of arc}$ 數次，共有 80 個不同的線段長度。

第二種刺激圖形（圖 4-12b），除了兩邊箭頭改為向外，其餘都一樣，並且整體向上移動 0.87° ，向左移動 2.62° ，和第一種刺激圖形交替呈現。

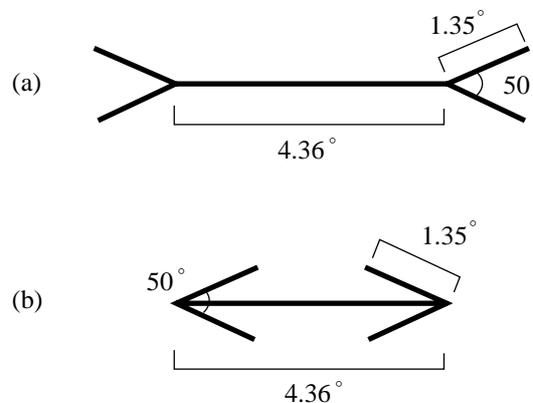


圖 4-12 Müller-lyer illusion 的兩種刺激圖形

4. Caféwall illusion

一個似動運動的刺激，由兩種圖形交替呈現，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動，順序如同圖 4-13。

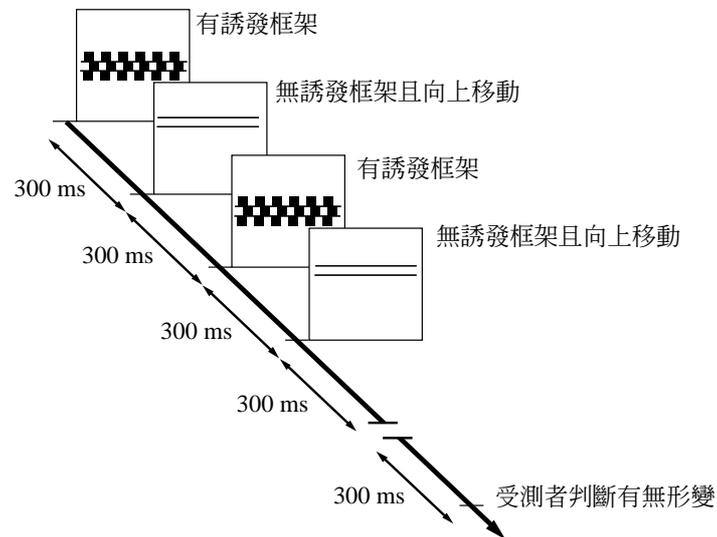


圖 4-13 實驗二 A 中 Caféwall 錯視的實驗流程圖

第一種刺激圖形（圖 4-14a）包括了兩條水平的橫線以及 18 個正方形，兩條水平的橫線長度為 11.82° ，寬度為 $166.26 \text{ sec of arc}$ ，兩條線之間的距離為 1.08° 。每一橫排有 6 個正方形，所有的正方形邊長都為 1.07° ，兩個正方形的橫向距離為 0.82° ，第一排和第三排的正方形位置相同，第二排較第一排向右移了 0.52° 。為了受測者調整之用，兩條水平的橫線，會以自身的中點當圓心，上方線條順時針旋轉、下方線條逆時針旋轉，或上方線條逆時針旋轉、下方線條順時針旋轉，分為兩種層級，各旋轉 0.1° 或 0.2° 數次，共有 22 個不同的旋轉角度。

第二種（圖 4-14b），為第一種圖形去掉了所有的正方形，位置上比第一種整體向上移動 0.81° ，交替呈現形成似動運動。

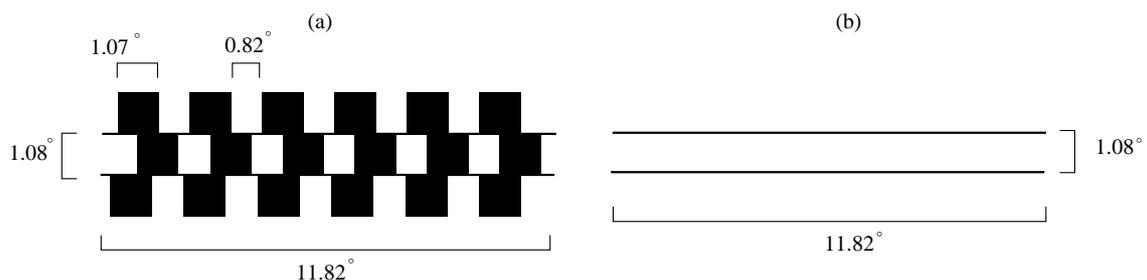


圖 4-14 Caféwall illusion 的兩種刺激圖形

5. Zöllner illusion

一個似動運動的刺激，由兩種圖形交替呈現，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動，順序如同圖 4-15。

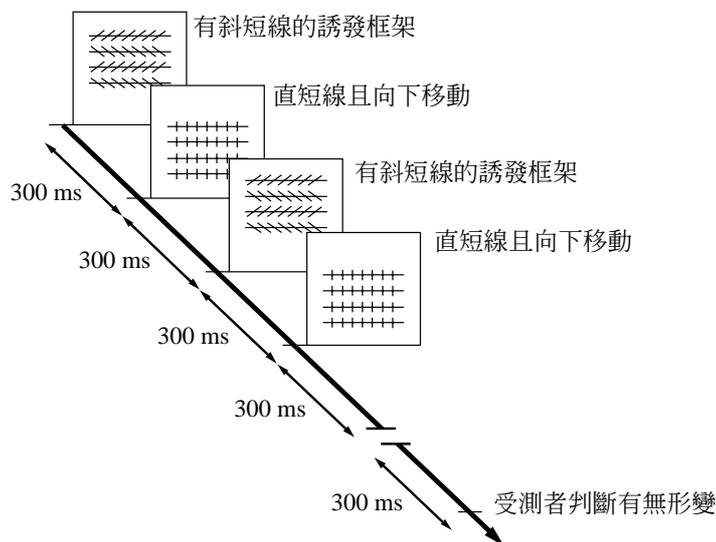


圖 4-15 實驗二 A 中 Zöllner 錯視的實驗流程圖

第一種刺激圖形（圖 4-16a）中，所有的線條寬度都是 554.2 sec of arc，四條水平的橫線長度為 7.94° ，各相距 1.55° ，第一、第三條橫線上，平均分布右上到左下的 7 條 45° 斜線，第二、第四條橫線上，平均分布左上到右下的 7 條 45° 斜線。為了受測者調整之用，四條水平的橫線，會以自己的右端為圓心，第一三條順時針旋轉、第二四條逆時針旋轉，或第一三條逆時針旋轉、第二四條順時針旋轉，分為三種層級，各旋轉 0.1° 、 0.2° 或 0.4° 數次，共有 46 個不同的旋轉角度。

第二種（圖 4-16b），為第一種圖形將所有的短斜線轉成垂直線，長度為 0.99° ，位置上比第一種整體向下位移 1.07° ，交替呈現形成似動運動。

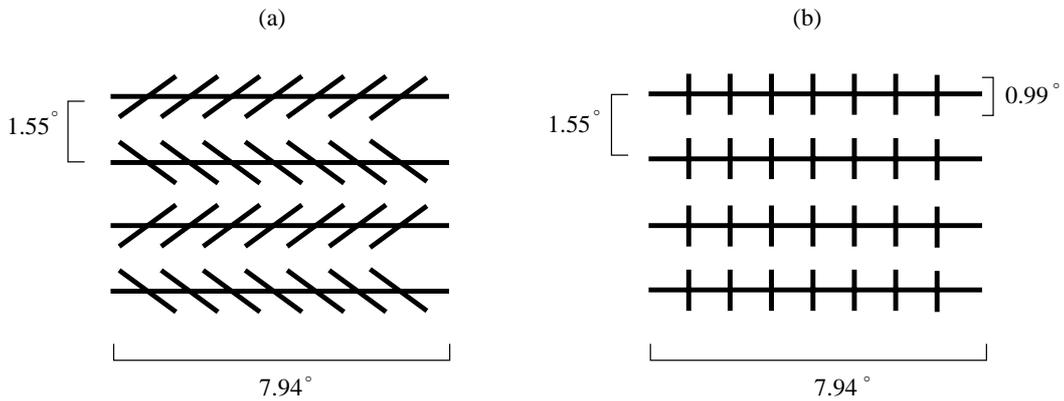


圖 4-16 Zöllner illusion 的兩種刺激圖形

4.4.2 實驗流程

我們使用調整法進行實驗，受測者可以自行調整每一種的刺激圖形，直到受測者認為他們所看到的刺激圖形，沒有產生形變的似動運動，就可以進行下一個刺激的調整。爲了要避免受測者都由同一個扭曲形變方向開始調整，實驗中有下行（descending series）以及上行（ascending series）的兩種試驗方向，順序隨機出現。根據實驗設計，每一種錯覺都隨機播放了 24 趟的試驗，12 趟下行、12 趟上行。

受測者在每一次實驗之前，會被提醒：「請先看閃動的圖片，在有似動運動的前提下，才開始調整作答，每次做完一個試驗，請作適當的休息在繼續下一個試驗。」受測者並不知道調整物的精確數值，僅就是視覺上看到的爲準。

1. Poggendorff illusion

此錯覺中，下行的試驗方向從斜線位於最上方的圖形到位於最下方的圖形，上行的方向則相反。爲了讓受測者不會記憶按鈕的次數，每一次斜線出現的位置都是隨機的。

受測者的任務是以左或右鍵，調整在閃動的刺激中第一種刺激圖形（圖 4-10a）的的左邊斜線，讓斜線向上或是向下移動，按下左或右鍵一次會讓斜線增加或減少一個實驗設計的距離。當左方斜線透過長方形和右邊的斜線，在似動運動的前提下，沒有產生形變的扭動時，便按下 Enter 鍵，下一個試驗的刺激物會出現，共調整 24 次。

2. Ebbinghaus illusion

此錯覺中，下行的試驗方向是將左方的間隔距離從最長到最短，上行的方向則相反。爲了讓受測者不會記憶按鈕的次數，每一次左方間隔出現的長度都是隨機的。

受測者的任務是使用左鍵或右鍵，調整閃動的刺激中，第一種刺激圖形（圖 4-12a）的最左邊的線段，按下左或右鍵一下，此線段會左移或是右移一個實驗設計的距離。當受測者在感覺有似動運動的前提之下，上下移動的刺激物中，左邊兩條線段之間的距離沒有長度差異的扭動時，按下 Enter 鍵，下一個試驗的刺激物會出現，共調整 24 次。

3. Müller-Lyer illusion

此錯覺中，下行的試驗方向是箭頭中的橫線從最長到最短，上行的方向則相反。為了讓受測者不會記憶按鈕的次數，每一次橫線出現的長度都是隨機的。

受測者利用左或右鍵，調整閃動中的刺激中，第一種刺激圖形（圖 4-14a）的橫線長度，每按下按鈕一下，橫線會往左側縮短或增長一個實驗設計的長度，上面的箭頭也會跟著移動。當受測者在似動運動的前提之下，感覺上下移動的水平線沒有長短的扭動，按下 Enter 鍵，繼續做下一個刺激，共調整 24 次。

4. Caféwall illusion

此錯覺中，下行的試驗方向是上方線條從最左下右上傾斜，順時針旋轉到最右下左上傾斜，下方線條從最右下左上傾斜，逆時針旋轉到最左下右上傾斜，上行的方向則相反。為了讓受測者不會記憶按鈕的次數，每一次橫線出現的斜度都是隨機的。

受測者的任務是，以左或右鍵自由調整閃動中的刺激裡，第一種刺激圖形（圖 4-16a）中的兩條橫線的斜度，讓橫線以自身的中點當圓心，每按一下旋轉一個實驗設計的斜度，受測者在有感覺到平移的似動運動的前提之下，兩條橫線上下移動時，沒有歪曲扭動的感覺（形變運動），按下 Enter 鍵，下一個刺激物便會出現，共調整 24 次。

5. Zöllner illusion

此錯覺中，下行的試驗方向是第一三條橫線從最左上右下傾斜，順時針旋轉到最右上左下傾斜，第二四條橫線從最右上左下傾斜，逆時針旋轉到最左上右上下傾斜，上行的方向則相反。為了讓受測者不會記憶按鈕的次數，每一次橫線出現的斜度都是隨機的。

受測者的任務是利用左鍵或右鍵，調整閃動的刺激中，第一種的刺激圖形（圖 4-18a）裡的四條橫線的斜度，每按一下右鍵，第一條第三條橫線會以自己的右端為圓心，順時針旋轉一個實驗設計的斜度，第二條第四條逆時針旋轉，按下左鍵則相反。受測者在感覺有似動運動的前提之下，橫線感覺沒有歪曲扭動的上下移動時，按下 Enter 鍵，並繼續進行

下一個刺激，共 24 個調整。

4.4.3 實驗結果

本實驗二 A 中，每一種錯視都各取得每一個受測者的平均數據，此數據可以和實驗二 B 的控制組實驗結果作對照，個別結果數據如下。

1. Poggendorff illusion

本錯視中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 1107.630 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-4）。

表 4-4 六位受測者實驗二 A 中 Poggendorff illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	517.253	775.880	932.903	1459.393	1246.950	1099.163
上行平均值	1163.820	600.383	1099.163	1838.097	1126.873	1431.683
平均值	840.537	688.132	1016.033	1648.745	1186.912	1265.423

2. Ebbinghaus illusion

本錯視中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 684.738 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-5）。

表 4-5 六位受測者實驗二 A 中 Ebbinghaus illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	785.956	863.628	350.993	452.597	614.238	817.445
上行平均值	942.140	554.200	360.230	720.460	766.643	988.323
平均值	864.048	708.914	355.612	586.528	690.441	902.884

3. Müller-Lyer illusion

本錯視中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 3040.403 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-6）。

表 4-6 六位受測者實驗二 A 中 Müller-lyer illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	1727.257	4101.080	1865.807	3962.530	360.230	1551.760
上行平均值	4655.280	2928.023	4572.150	5578.947	2447.717	2734.053
平均值	3191.268	3514.552	3218.978	4770.738	1403.973	2142.907

4. Caféwall illusion

本錯視中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 36.023 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-7）。

表 4-7 六位受測者實驗二 A 中 Caféwall illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	16.626	60.962	27.710	23.092	44.336	42.489
上行平均值	60.038	26.786	35.099	26.786	58.191	10.160
平均值	38.332	43.874	31.405	24.939	51.264	26.325

5. Zöllner illusion

本錯視中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 131.623 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-8）。

表 4-8 六位受測者實驗二 A 中 Zöllner illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	112.687	181.039	180.115	101.603	118.229	73.893
上行平均值	122.848	90.519	173.649	113.611	133.008	178.268
平均值	117.768	135.779	176.882	107.607	125.619	126.081

4.5 實驗二 B

本實驗為實驗二 A 的控制組，取得每一個受測者的不同錯視的數據，可與實驗組實驗二 A 的數據作檢定。由於 Müller-Lyer 錯視的箭頭有向內以及向外的兩種差異，在控制組內，當成兩種錯視分開試驗。

4.5.1 刺激圖形

1. Poggendorff illusion

本錯視中，似動運動的刺激呈現順序與實驗二 A 的 Poggendorff illusion 相同，由兩種圖形交替呈現（圖 4-17），形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第一種的圖形去掉了被當成誘發圖形的長方形方塊，其他都和實驗二 A 相同。爲了讓受測者可以調整第一種刺激圖形中的左邊斜線的高度，左邊斜線也設計了不同的高度狀態，分爲三個階層，都與實驗二 A 相同。

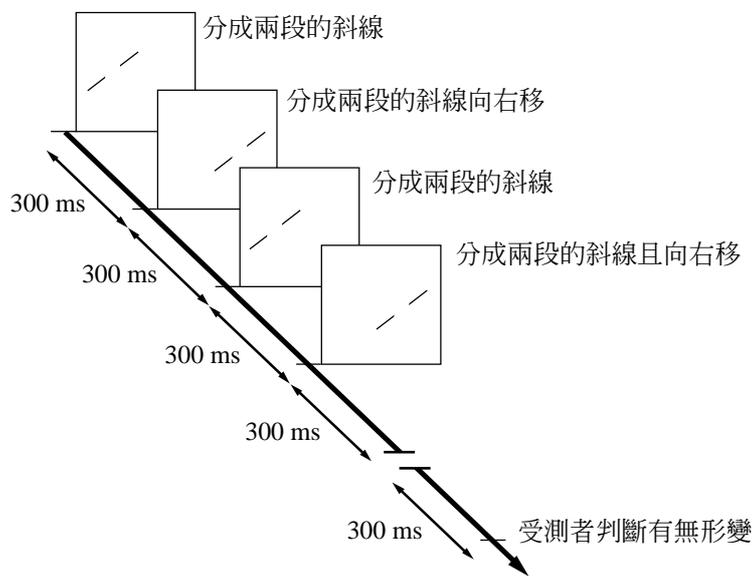


圖 4-17 實驗二 B 中 Poggendorff 錯視的實驗流程圖

2. Ebbinghaus illusion

本錯視中，似動運動的刺激呈現順序與實驗二 A 的 Ebbinghaus illusion 相同，由兩種圖形交替呈現（圖 4-18），形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第一種的圖形去掉了左邊兩條直線中的 14 條短直線，其他都和實驗二 A 相同。爲了讓受測者可以調整第一種刺激圖形中的左邊間隔的距離，最左邊的直線也設計了不同的左右位置，分爲三個階層，都與實驗二 A 相同。

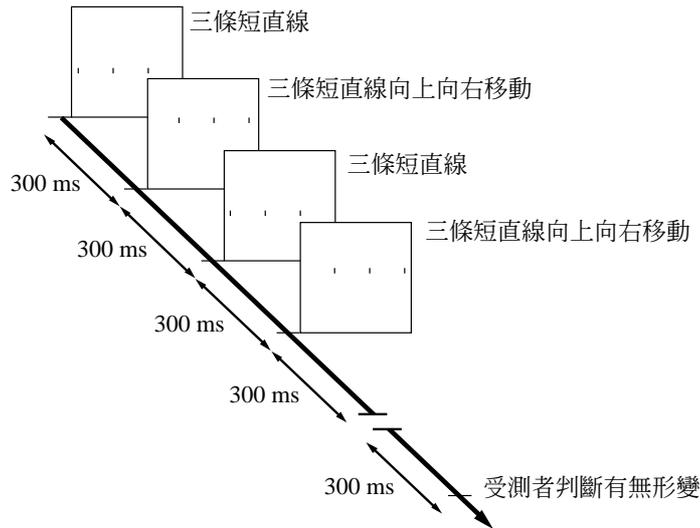


圖 4-18 實驗二 B 中 Ebbinghaus 錯視的實驗流程圖

3. Müller-Lyer illusion (箭頭指向內)

本錯視中，似動運動的刺激呈現順序與實驗二 A 的 Müller-Lyer illusion 相同，由兩種圖形交替呈現（圖 4-19），形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第二種的圖形改成箭頭指向外之外，其他都和實驗二 A 相同。爲了讓受測者可以調整第一種刺激圖形中的橫線的長度，橫線也設計了不同的長度大小，分爲三個階層，都與實驗二 A 相同。

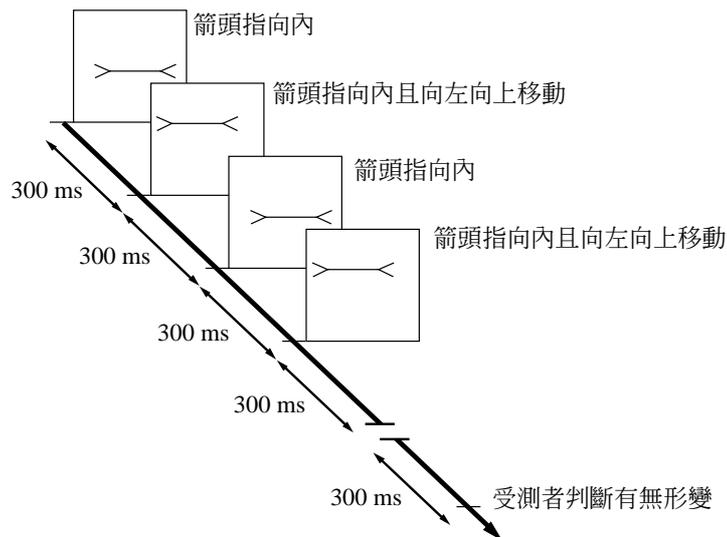


圖 4-19 實驗二 B 中 Müller-Lyer 錯視（箭頭指向內）的實驗流程圖

4. Müller-Lyer illusion (箭頭指向外)

本錯視中，除了第一、二種的圖形都改成箭頭指向外之外，都和上一組箭頭指向內的 Müller-Lyer illusion 相同。(順序圖形可參考圖 4-20)

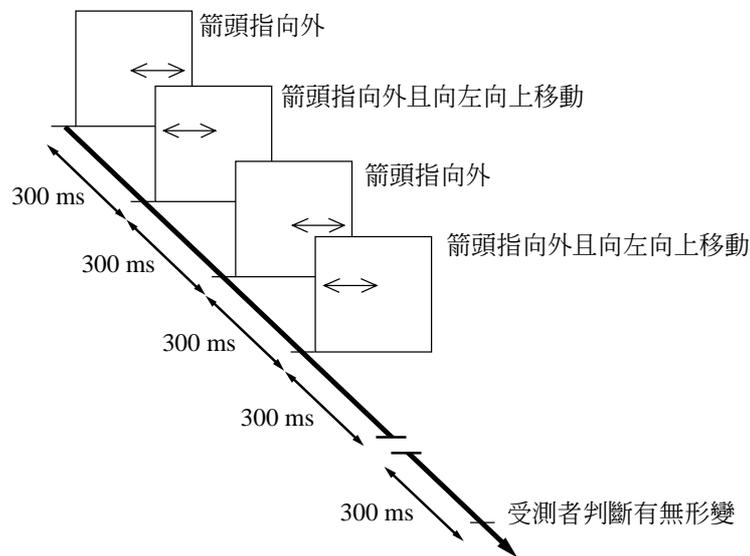


圖 4-20 實驗二 B 中 Müller-Lyer 錯視 (箭頭指向外) 的實驗流程圖

5. Caféwall illusion

本錯視中，似動運動的刺激呈現順序與實驗二 A 的 Caféwall illusion 相同，由兩種圖形交替呈現 (圖 4-21)，形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第一種的圖形去掉了所有的正方形方塊之外，其他都和實驗二 A 相同。爲了讓受測者可以調整第一種刺激圖形中的兩條橫線的斜度，橫線也設計了不同的斜度，分爲兩個階層，都與實驗二 A 相同。

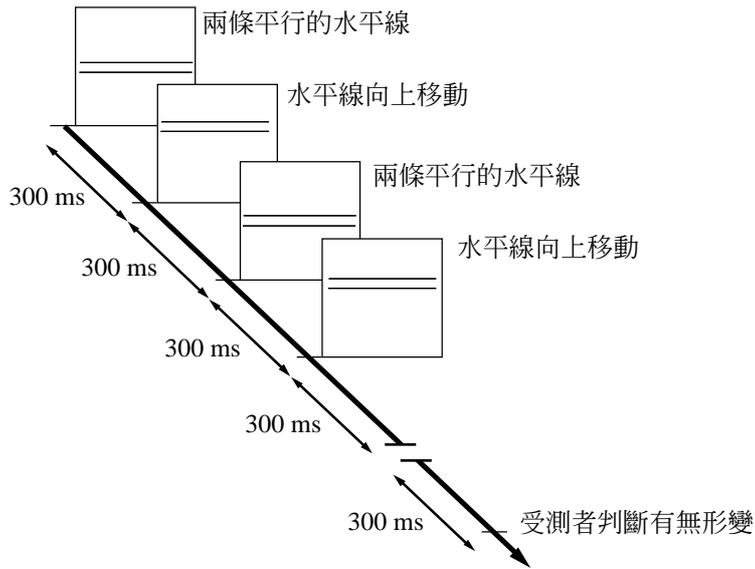


圖 4-21 實驗二 B 中 Caféwall 錯視的實驗流程圖

6. Zöllner illusion

本錯視中，似動運動的刺激呈現順序與實驗二 A 的 Zöllner illusion 相同，由兩種圖形交替呈現（圖 4-22），形成似動運動，各呈現 300 ms，直到受測者調整完畢才停止運動。兩種刺激圖形中，除了第一、第二種圖形去掉了所有的交叉短直線或斜線之外，其他都和實驗二 A 相同。爲了讓受測者可以調整第一種刺激圖形中的四條橫線的斜度，橫線也設計了不同的斜度，分爲三個階層，都與實驗二 A 相同。

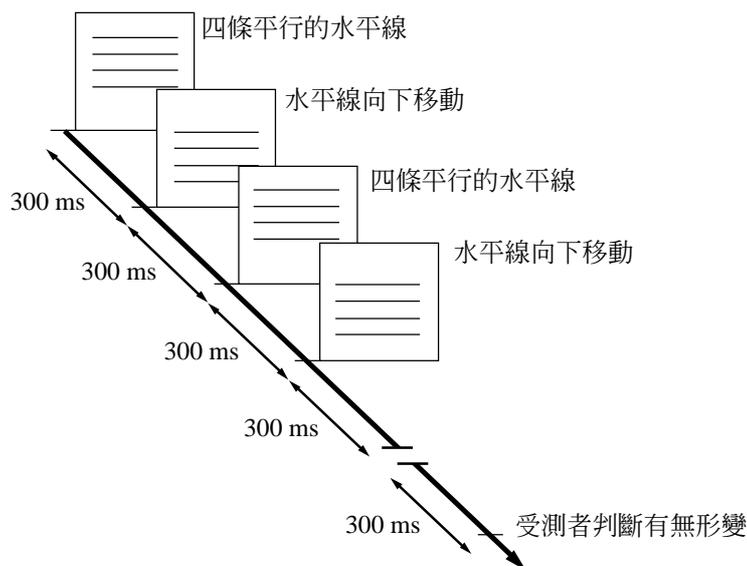


圖 4-22 實驗二 B 中 Zöllner 錯視的實驗流程圖

4.5.2 實驗流程

實驗的流程和實驗二 A 相同，受測者利用左鍵或右鍵作調整，感覺沒有形變的似動運動時，就按下 Enter 鍵，繼續下一個試驗。

4.5.3 實驗結果

本實驗二 B 中，每一種錯視都各取得每一個受測者的平均數據，此數據可以和實驗二 B 的實驗組實驗結果作配對 t 檢定，看是否有顯著的差異，個別結果數據如下。

1. Poggendorff illusion

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 423.347 sec of arc（受測者詳細數據請見表 4-9）。

表 4-9 六位受測者實驗二 B 中 Poggendorff illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	-27.710	221.680	-212.443	914.430	914.430	461.833
上行平均值	683.513	-64.657	350.993	775.880	775.880	286.337
平均值	327.902	78.512	69.275	845.155	845.155	374.085

將本結果與實驗二 A 中的 Poggendorff illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-23 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 2.616 倍。

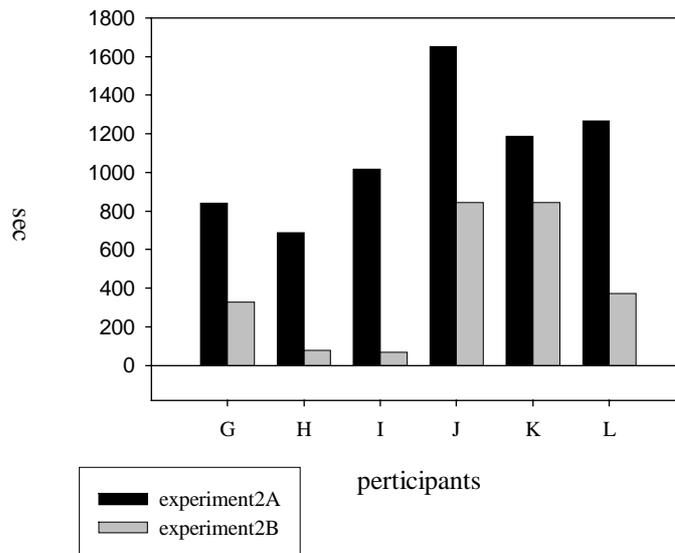


圖 4-23 六位受測者實驗二 A 中 Poggendorff illusion 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 T 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異 ($t=7.103, df=5, p < .01$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-10。可以看出下行的試驗方向中，有兩位受測者感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，三位受測者感覺有顯著差異 ($p < .05$)，一位覺得沒有顯著差異 ($p > .05$)。上行的試驗方向中，有五位感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位感覺沒有顯著差異 ($p > .05$)。

表 4-10 Poggendorff illusion 實驗組和控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行	**	*	**	*		*
上行	**	**	**	**		**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

2. Ebbinghaus illusion

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 182.424 sec of arc (受測者詳細數據請見表 4-11)。



表 4-11 六位受測者實驗二 B 中 Ebbinghaus illusion 的下行、上行平均數據 (單位: sec of arc)

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	581.910	868.247	193.970	-341.757	203.207	-267.863
上行平均值	267.863	-498.780	129.313	138.550	526.490	387.940
平均值	424.887	184.733	161.642	-101.603	364.848	60.038

將本結果與實驗二 A 中的 Ebbinghaus illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-24 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 3.754 倍。

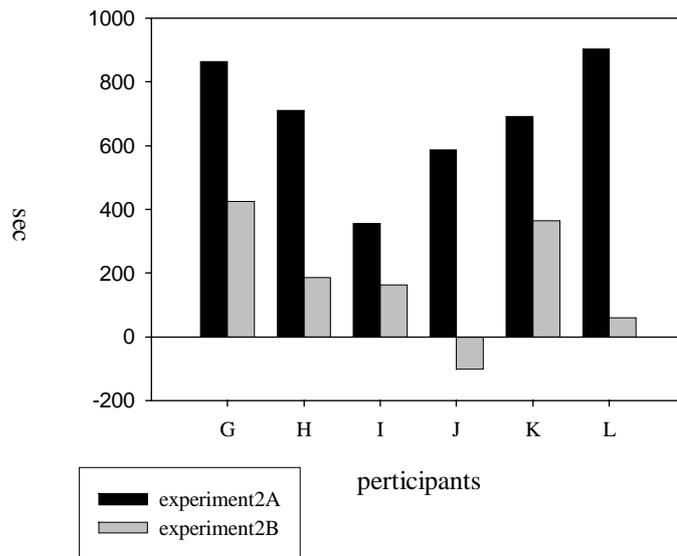


圖 4-24 六位受測者實驗二 A 中 Ebbinghaus illusion 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異($t=5.187, df=5, p<.01$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-12。可以看出下行的試驗方向中，有兩位受測者感覺有非常顯著的差異 ($p <.01$)，一位受測者感覺有顯著差異 ($p <.05$)，三位覺得沒有顯著差異 ($p >.05$)。上行的試驗方向中，有四位感覺有非常顯著的差異 ($p <.01$)，兩位感覺沒有顯著差異 ($p >.05$)。

表 4-12 Ebbinghaus illusion 實驗組和控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行				**	*	**
上行	**	**		**		**

* $p <.05$, ** $p <.01$

3. Müller-Lyer illusion (箭頭指向內)

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 134.701 sec of arc (受測者詳細數據請見表 4-13)。

表 4- 13 六位受測者實驗二 B 中 Müller-lyer illusion (箭頭指向內) 的下行、上行平均數據 (單位 : sec of arc)

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	-674.277	581.910	-9.237	18.473	-748.170	175.497
上行平均值	2059.777	-868.247	378.703	387.940	157.023	157.023
平均值	692.750	-143.168	184.733	203.207	-295.573	166.260

將本結果與實驗二 A 中的 Müller-Lyer illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-25 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 22.571 倍。

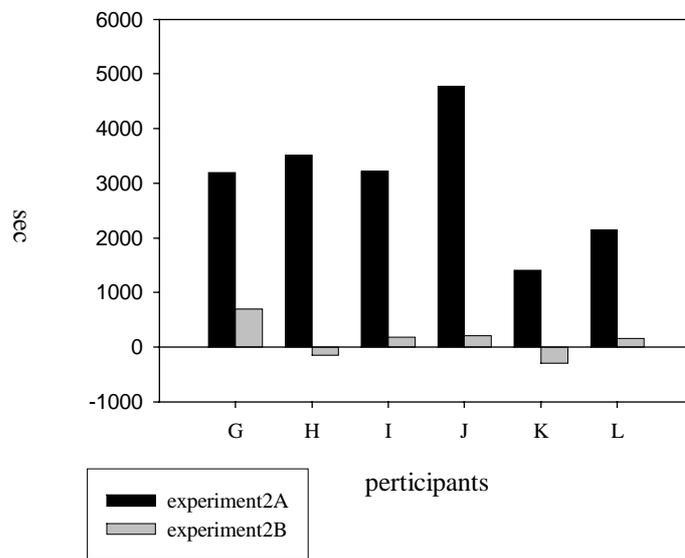


圖 4- 25 六位受測者實驗二 A 中 Müller-Lyer illusion (箭頭指向內) 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異 ($t=6.593, df=5, p < .01$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-14。可以看出下行的試驗方向中，有五位受測者感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位受測者感覺有顯著差異 ($p < .05$)。上行的試驗方向中，有五位感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位受測者感覺有顯著差異 ($p < .05$)。

表 4- 14 Müller-Lyer illusion 實驗組和箭頭指向內的控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行	**	**	**	**	*	**
上行	*	**	**	**	**	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

4. Müller-Lyer illusion (箭頭指向外)

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值絕對值之後為 173.957 sec of arc (受測者詳細數據請見表 4-15)。

表 4- 15 六位受測者實驗二 B 中 Müller-Lyer illusion (箭頭指向外) 的下行、上行平均數據 (單位: sec of arc)

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	-794.353	221.680	-240.153	-221.680	9.237	-230.917
上行平均值	193.970	-1570.233	387.940	175.497	27.710	-46.183
平均值	-300.192	-674.277	73.893	-23.092	18.473	-138.550

將本結果與實驗二 A 中的 Müller-Lyer illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-26 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 17.478 倍。

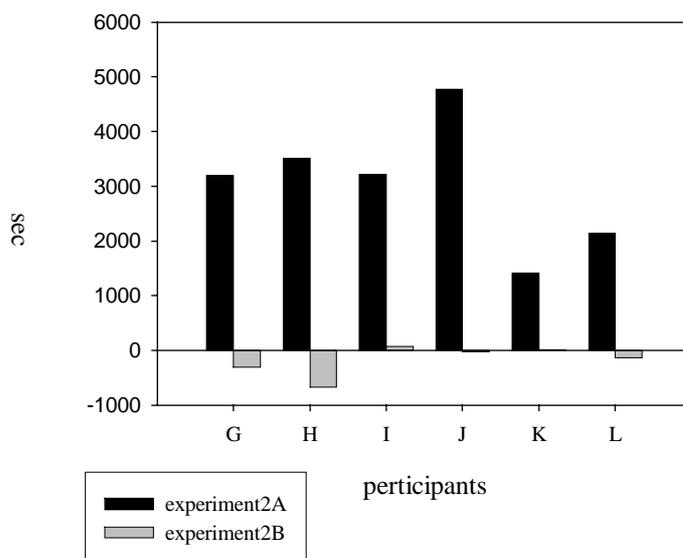


圖 4- 26 六位受測者實驗二 A 中 Müller-Lyer illusion (箭頭指向外) 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰

色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異 ($t=6.328, df=5, p < .01$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-16。可以看出下行的試驗方向中，有五位受測者感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位受測者感覺沒有顯著差異 ($p > .05$)。上行的試驗方向中，六位都感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)。

表 4-16 Müller-Lyer illusion 實驗組和箭頭指向外的控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行	**	**	**	**		**
上行	**	**	**	**	**	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

5. Caféwall illusion

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 4.849 sec of arc (受測者詳細數據請見表 4-17)。

表 4-17 六位受測者實驗二 B 中 Caféwall illusion 的下行、上行平均數據 (單位: sec of arc)

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	11.084	38.794	-5.542	1.847	2.771	22.168
上行平均值	-21.244	-0.924	-2.771	-2.771	12.008	2.771
平均值	-5.080	18.935	-4.157	-0.462	7.389	12.470

將本結果與實驗二 A 中的 Caféwall illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-27 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 7.429 倍。

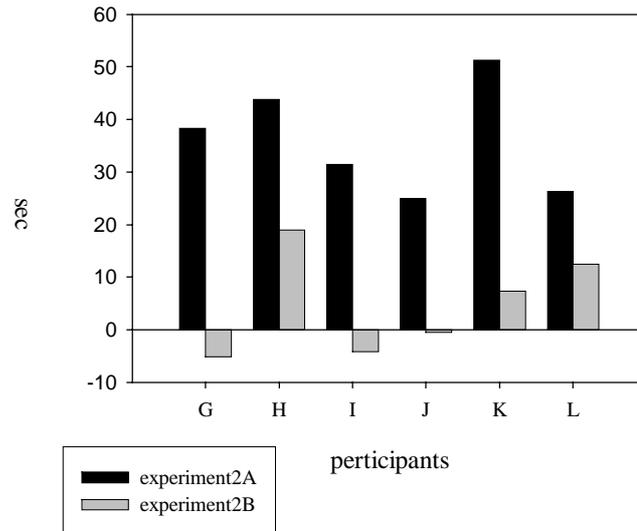


圖 4-27 六位受測者實驗二 A 中 Caféwall illusion 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異 ($t=6.436, df=5, p < .01$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-18。可以看出下行的試驗方向中，有四位受測者感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位受測者感覺有顯著差異 ($p < .05$)，一位覺得沒有顯著差異 ($p > .05$)。上行的試驗方向中，有五位感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)，一位感覺沒有顯著差異 ($p > .05$)。

表 4-18 Caféwall illusion 實驗組和控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行		*	**	**	**	**
上行	**	**	**	**	**	

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

6. Zöllner illusion

本控制組中，線段形變運動的曲率偵測閾平均值為 0.385 sec of arc (受測者詳細數據請見表 4-19)。

表 4-19 六位受測者實驗二 B 中 Zöllner illusion 的下行、上行平均數據（單位：sec of arc）

受測者	G	H	I	J	K	L
下行平均值	-8.313	20.321	-12.008	-10.160	-8.313	2.771
上行平均值	21.244	-30.481	3.695	-15.702	13.855	27.710
平均值	6.466	-5.080	-4.157	-12.931	2.771	15.241

將本結果與實驗二 A 中的 Zöllner illusion 實驗組結果作比較，在統計圖 4-28 中，黑色代表實驗二 A 的各受測者數據，灰色代表實驗二 B 此錯視各受測者數據，比較實驗二 AB 的平均值，實驗二 A 的平均值為實驗二 B 的 342 倍。

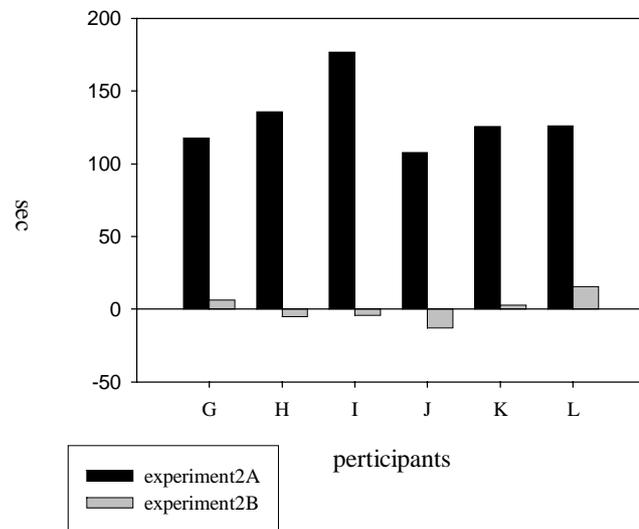


圖 4-28 六位受測者實驗二 A 中 Zöllner illusion 的統計圖表，黑色代表實驗二 A，灰色代表實驗二 B。

將實驗組和控制組數據中的各受測者平均值作配對比較 t 檢定，得到的結果表示這兩組實驗數據有顯著的差異 ($t=12.026, df=5, p < .001$)，表示此似動運動中，有相當大的形變扭動產生。

另外，將受測者每一次調整的數值，分成下行、上行，作實驗組和控制組的配對比較 t 檢定，如表 4-20。可以看出下行和上行的試驗方向中，六位受測者都感覺有非常顯著的差異 ($p < .01$)。

表 4- 20 Zöllner illusion 實驗組和控制組的上下行配對比較 t 檢定結果

受測者	G	H	I	J	K	L
下行	**	**	**	**	**	**
上行	**	**	**	**	**	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$



五、綜合討論

5.1 錯視效果程度上的差異

本研究中，包括 Hering 錯視的七種錯視，用配對 t 檢定計算實驗組和控制組的差異（如表 5-1），一個 * 代表 p 值小於 0.05 有顯著差異，兩個 * 代表 p 值小於 0.01 有非常顯著的差異，G 到 L 為六位受測者，分上行、下行，一種錯視共有 12 個檢定值，以每一種錯視的 * 號數量來比較，可以看出受測者認為最沒有顯著差異的錯視是 Ebbinghaus illusion，其次是 Poggendorff illusion、Caféwall illusion、Müller-Lyer（箭頭指向外）、Müller-Lyer（箭頭指向內）、Hering illusion、Zöllner illusion。

另外，從每一種錯視實驗組平均數除以控制組平均數的倍率（表 5-2）來看，Zöllner 是差異最大的錯視，其次是 Müller-Lyer（箭頭指向內）、Müller-Lyer（箭頭指向外）、Hering illusion、Caféwall illusion、Poggendorff illusion、Ebbinghaus illusion。

由以上兩種的排列顯示，我們可以推論此七種錯視中的效果最大的是 Zöllner 錯視，其次是 Müller-Lyer（箭頭指向內）、Müller-Lyer（箭頭指向外）和 Hering 錯視，效果最小的為 Poggendorff illusion、Ebbinghaus illusion。根據效果的數據大小比較，我們也可以說幾何錯視的效果是可以比較、有大小之分的。

表 5-1 實驗中實驗組和控制組配對 t 檢定的結果，G 到 L 為受測者

錯視/受測者		G	H	I	J	K	L
Poggendorff	下行	**	*	**	*		*
	上行	**	**	**	**		**
Caféwall	下行		*	**	**	**	**
	上行	**	**	**	**	**	
Hering	下行	*	**	**	**	**	**
	上行	**	**	**	**	**	**
Müller-Lyer 箭頭指向內	下行	**	**	**	**	*	**
	上行	*	**	**	**	**	**
Müller-lyer	下行	**	**	**	**		**

箭頭指向外	上行	**	**	**	**	**	**
Ebbinghaus	下行				**	*	**
	上行	**	**		**		**
Zöllner	下行	**	**	**	**	**	**
	上行	**	**	**	**	**	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表 5-2 實驗中每一種錯視實驗組平均數除以控制組平均數的倍率

錯視種類	Poggendorff	Caféwall	Hering	Müller-Lyer 箭頭指向內	Müller-Lyer 箭頭指向外	Ebbinghaus	Zöllner
倍率	2.616	7.429	7.779	22.571	17.478	3.754	342.00

5.2 關於曲度的錯視

本研究中，關於曲度的錯視只有 Hering 錯視一種，研究出來的結果主要是要和柯伊芳的結果作比較，看似動運動中的兩張圖形是否錯開會不會影響實驗的結果，而兩者的實驗結果有顯著的差異，錯開的有顯著的扭動效果，沒有錯開的幾乎沒有扭動效果產生（造成此差異的原因，見文 4.4.3）。

由於錯開圖形可以避免受到物體固定位置規範的影響，取得較為準確的結果，因此我們可以依照本實驗得到的結果，合理地相信 Hering 錯視在似動運動條件之下，有顯著差異的扭動的形變運動產生，對於於本實驗的假設，可以推論 Hering 錯視的發生階段位於 MT 之前，可能也就是 V1 的部分。

5.3 關於長度的錯視

本研究中有 4 種以長度作單位的錯視：Poggendorff、Müller-Lyer（箭頭指向內）、Müller-Lyer（箭頭指向外）、Ebbinghaus，分成上下行，實驗組的數據除以控制組的數據的百分比作為數值單位作雙因子 ANOVA 分析（如表 5-3），四種錯視之間有顯著差異（ $p < 0.05$ ），另外以 Tukey test 來檢定下、上行之間有無差異，下行的顯著差異如表 5-4，上行的顯著差異如表 5-5，Poggendorff、Ebbinghaus 與 Müller-Lyer（箭頭指向內）、Müller-Lyer（箭頭指向外）此兩分組之間有顯著的差異，而 Müller-Lyer（箭頭指向內）和 Müller-Lyer

(箭頭指向外) 之間沒有顯著差異，Poggendorff 和 Ebbinghaus 之間也沒有顯著差異。

從四種長度錯視的 ANOVA 分析之後，有沒有顯著差異的結果來看，可以將 Poggendorff 和 Ebbinghaus 當成同一類組，Müller-Lyer (箭頭指向內) 和 Müller-Lyer (箭頭指向外) 當成同一類組，這樣的分群方式，也可以作為一種分類的方法。

另外，由於此 4 種錯視在個別經過配對 t 檢定之後，實驗組和控制組之間有顯著的差異，對照於研究假設，我們可以合理的認定此四種錯視的發生階段都是位於 MT 之前，可能也就是 V1 的階段。

表 5-3 關於長度的四種錯視的 ANOVA 分析結果

Source	SS	df	MS	F	P
受測者	0.067	5	0.013		
下行	0.240	3	0.080	20.918	0.0000
下行與受測者	0.057	15	0.004		
上行	0.024	1	0.024	89.928	0.0002
上行與受測者	0.001	5	0.000		
下、上行	0.016	3	0.005	4.280	0.0227
下、上行與受測者	0.019	15	0.001		

表 5-4 四種長度錯覺的下行 ANOVA tukey test

	Poggendorff	Müller-Lyer 箭頭指向內	Müller-Lyer 箭頭指向外	Ebbinghaus
mean	1.055	1.151	1.159	1.045
Poggendorff				
Ebbinghaus				
Müller-Lyer 箭頭指向內	*			**
Müller-Lyer 箭頭指向外	**			**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表 5-5 四種長度錯覺的上行 ANOVA tukey test

	Poggendorff	Müller-Lyer 箭頭指向內	Müller-Lyer 箭頭指向外	Ebbinghaus
mean	1.055	1.151	1.159	1.045
Poggendorff				
Ebbinghaus				
Müller-Lyer 箭頭指向內	**			**
Müller-Lyer 箭頭指向外	**			**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

5.4 關於斜度的兩種錯視

本研究中有 2 種以斜度作單位的錯視：Caféwall、Zöllner illusion，分成上下行，以實驗組除以控制組的倍率作為數值單位，進行配對比較 t 檢定，不論上行或下行的檢定結果，都顯示兩者之間沒有顯著的差異（下行 $t=1.164$, $df=5$, $p > 0.05$ ）（上行 $t=-1.675$, $df=5$, $p > 0.05$ ）。

從這兩個錯視的 t 檢定，沒有顯著差異的結果來看，可以將此兩種錯視當成同一類組。

另外，由於這兩種錯視在個別經過配對 t 檢定之後，實驗組和控制組之間有顯著的差異，對照於研究假設，我們可以合理的認定此兩種錯視的發生階段都是位於 MT 之前，可能也就是 V1 的階段。

5.5 幾何錯視的發生階段研究

由於本研究的實驗中，所作的七種錯視實驗組和控制組之間都有很顯著的差異，根據這些結果對照於研究假設，我們都可以將這些錯視認定為符合假設一，當有錯視效果的視覺訊號傳到了視覺處理階段的 V1 時，被扭曲了，再傳到了運動系統時，運動系統將已經扭曲了的訊號和沒有被扭曲的控制組圖形作似動運動的交替呈現，讓視覺系統認知到強烈的形變似動運動，才被辨識形狀的 IT 階段接收。

針對研究問題的回答，可以說是運動系統所接收到的是已經被扭曲的主觀訊號，而靜止的物體判斷和運動的物體判斷都是在同一個視覺處理層級。

所以，本研究所選取的七種錯視，發生階段可能都在視覺處理過程的 MT 階段之前，也就是可能在 V1 階段。

5.6 幾何錯視的分類與未來發展

由於本研究所選擇的幾何錯視，做出來的實驗結果，都顯示發生階段可能位於 V1，除非利用相同方法測試其他不同的幾何錯視之後，有不同的結果，否則目前以運動系統當成幾何錯視的分類依據的可能性是很低的。

但是若沒有非要用運動系統當成幾何錯視分類的依據，我們仍然可以在實驗結果中，發現另外的分類方式。以章節 5.3、5.4 所述，我們可以利用變異數分析 (ANOVA) 或是配對 t 檢定，將不同的幾何錯視判斷他們之間是否有差異，有差異和沒有差異的可以分為同一組，如此可以嘗試作另一種有關生理基礎方式的分類。

另外，幾何錯視的類型有很多，本研究僅作了七種的幾何錯視實驗，得到的結果雖然傾向認為幾何錯視是發生在 V1 階段，但終究在沒有大範圍檢測所有幾何錯視的情況下，不能直接推論所有的幾何錯視的發生階段都是在 V1。

5.7 錯視的應用

大腦的運作法則決定了我們認知世界的方式，也讓我們得到美學上的滿足，因為我們所看到的不單是外在世界的實體，也取決於自身腦部的組織與運作法則。所以我們知道人在觀看外在物體時，大腦的運作有很大的影響力，可以讓我們有不同的視覺感受，而錯視的認知，正是在大腦之中進行，和大腦運作也有很大的關係。

錯視除了在知覺上佔有一定的地位之外，在實際應用層面上，許多的藝術作品或是科學遊戲常會利用錯視的效果來呈現。舉例來說，在藝術領域當中的戲劇表演舞台，人們往往希望造成一種比實際深度更加深遠的印象，如果一個舞台設計師建造了一個規則的房間，其地板和牆壁成直角（如圖 5-1a），那它看起來會和實際的房間是類似的，不過若地板在後方稍微朝前方上揚，天花板下降，左右牆壁也以梯形的方式向後方靠近（如圖 5-1b），那麼觀眾所看到的會是一個更大更深的立方體的房間。

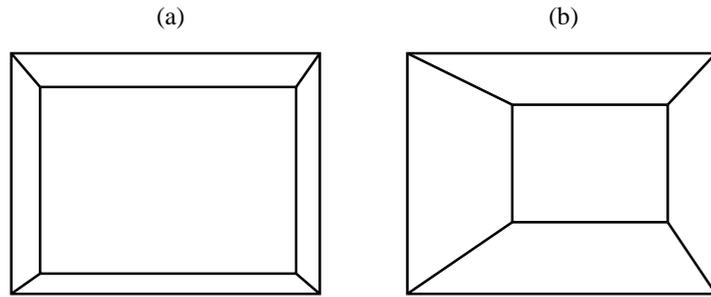


圖 5-1 舞台的設計可改變牆壁的斜度製造深遠的效果

名畫家達利也利用了視覺上對於圖與地（figure-ground）效果的輪廓線容易混淆而交替認知的特性，畫出了許多膾炙人口的作品，在看他的畫時，若轉換注意力將看起來並非主角的背景畫面當成主角之後，會跳出另外存在的一個有意義內容（如圖 5-2，奴隸市場和伏爾泰頭像同時存在在畫中）。

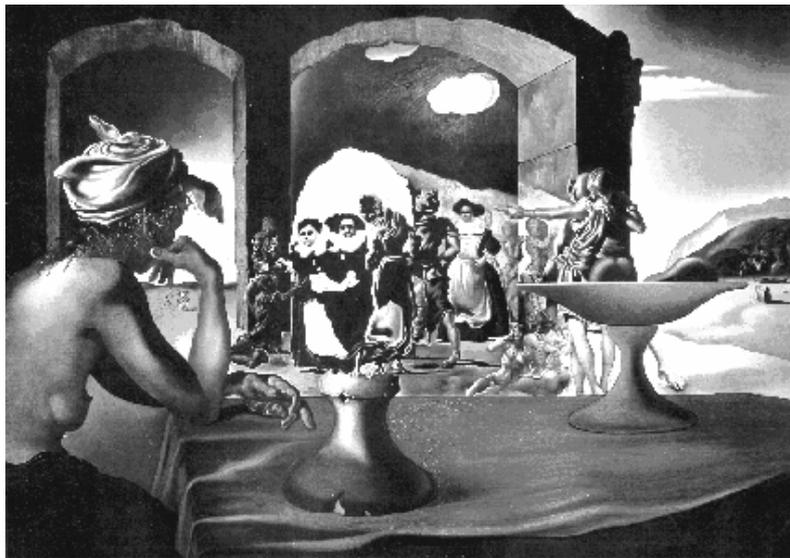


圖 5-2 Slave Market with Disappearing Bust of Voltaire (1940)--Salvador Dalí. St. Petersburg, Florida.

而許多科學遊戲中，很常被使用到的錯視 Ames room（圖 5-3），將引導視覺的參考線作刻意的調整，讓觀賞者將極度扭曲的空間認為是一個正常的方形房間，而站在房間兩旁的人，會一個看起來像巨人，一個看起來像是小矮人。

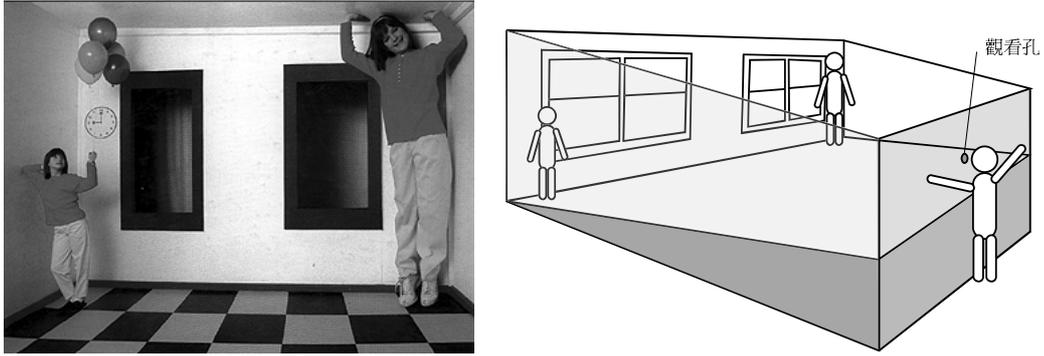


圖 5-3 Ames room 錯視，左圖為真人照片，右圖為空間示意圖（改自 Goldstein, 2002）

在設計上的應用，除了建築設計常常使用錯視效果，增加了建築物的視覺大小或深度之外，偏平面的視覺設計也可以應用錯視的效果。在設計平面作品時，若能應用物理上雖靜止，但視覺上不斷變化的錯視圖形（如圖 5-4），可以讓原本靜態的畫面，呈現較為活潑的表現手法。

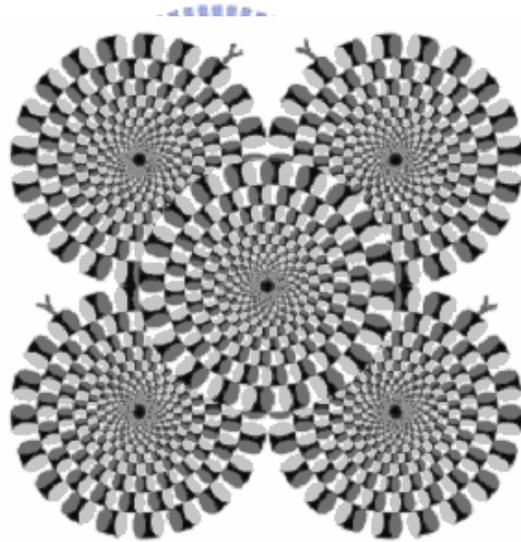


圖 5-4 物理上雖為靜態的圖片，但是看起來卻像是不斷轉動的五個圓

另外，在設計較為整齊的幾何作品（如瓷磚拼貼等）時，也可以應用許多視覺誘導扭曲的錯視種類（如圖 5-5），讓整體畫面呈現特定的扭曲效果，和正常的垂直水平方式比較起來，有較為特別的感受。

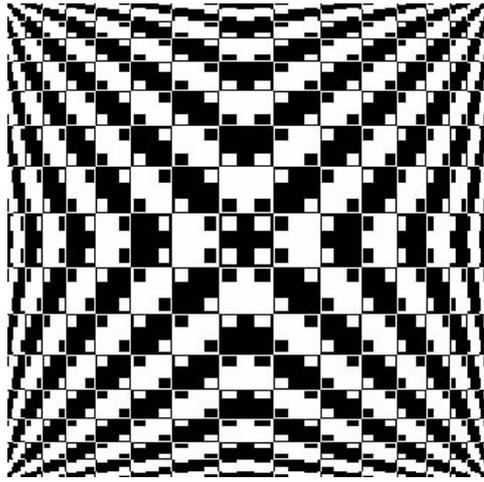


圖 5-5 看起來向外膨脹的幾何圖形，實際上所有的橫線和直線都是垂直和水平的。

除了以上介紹的錯視應用，還有更多的應用方向可以發展，相對於應用價值，錯視的學術研究也投入了很大的努力，在於錯視效果的影響力以及生理上的成因等等，本研究主要針對幾何錯視的發生階段，作了生理上七種錯視初階的探討，未來此方面的研究，可以延續本研究的研究方法，繼續實驗其他的幾何錯視，探討幾何錯視有無不同的發生階段以及錯視的不同分類方式。



參考文獻

- Arnheim, R. (1985)。 「藝術與視覺心理學」 (*Art and Perception: a psychology of the creative eye* , 李長俊譯)。台北：雄獅圖書。
- Carragher, R. G. & Thurston, J. B. (1991)。 「錯視與視覺美術」 (*Optical illusions and the visual arts* , 蘇茂生譯)。台北：大陸書店。
- Rookes, P., & Willson, J. (2003)。 「知覺－理論發展與組織」 (*Perception: Theory, development and organisation* , 鄭日昌、周軍譯)。台北：五南圖書。
- 今井省吾 (1988)。 「錯視圖形」 (沙興亞譯)。台北：遠流出版社。
- 王秀雄 (1975)。 「美術心理學－創造、視覺與造形心理」。台北：台北市立美術館。
- 李江山等 (1999)。 「視覺與認知－視覺知覺與視覺運動系統」。台北：遠流出版社。
- 柯伊芳 (2002)。 「Hering 錯視發生階段之探討」。國立交通大學應用藝術研究所碩士論文。
- 朝倉直巳 (1993)。 「藝術、設計的平面構成」 (呂清夫譯)。台北：北星出版社。
- 楊治良 (1997)。 「實驗心理學」。台北：東華書局。
- 楊清田 (1997)。 「構成 (一)」。台北：三民書局。
- Connolly, M., & Van Essen, D. (1984). The representation of the visual field in parvocellular and magnocellular layers of the lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 226, 544-565.
- Coren, S. (1997). Visual Illusions. In R. Dulbecco (Ed.), *Encyclopedia of Human Biology* (2nd ed.). Volume 8, (pp. 717-721). Orlando, Florida: Academic Press.
- Fischer, B. (1999). *Blick-Punkte: Neurobiologische Prinzipien des Sehens und der Blicksteuerung*. Bern: Hans Huber.
- Fischer, B., Pos, O. da., Stürzel, F. (2003). Illusory illusions: The significance of fixation on the perception of geometrical illusions. *Perception*, 32, 1001-1008.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception*. (6th ed.) CA: Wadsworth.
- Gregory, R. L. (1997). Visual illusion classified. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 190-194
- Lewis, E. O. (1909). Confluxion and contrast effects in the Müller-lyer illusion. *Brit. J. Psychol.*, 3, 21-41.
- Luckiesh, M. (1965). *Visual Illusions: their causes, characteristics and applications*. New York: Dover Publications.
- Nakagawa, D. (1958). Müller-lyer illusion and retinal induction. *Psychologia*, 1, 167-174.

- Newsome, W. T. & Paré, E.B. (1988). A selective impairment of motion perception following lesions of the middle temporal visual area (MT). *Journal of Neuroscience*, 8, 2201-2211
- Ninio, J. (2001). *The science of illusions*. London: Cornell University Press.
- Oyama, T. (1960) Japanese studies on the so-called geometrical illusions. *Psychologia*, 3, 7-20.
- Pos, O. da., Zambianchi, E. (1996). *Visual Illusions and Effects*. Milano: Guerini Studio.
- Ramachandran, V. S., Ruskin, D., Cobb, S., Rogers-Ramachandran, D., & Tyler, C. W. (1994). On the perception of illusory contours. *Vision Research*, 34, 3145-3152.
- Robinson, J. O. (1999). *Psychology of Visual Illusion*. New York: Dover Publications.
- Spear, P. D., Kim, C. B-Y., Ahmad, A., & Tom, B. W. (1996). Relationship between numbers of retinal ganglion cells and lateral geniculate neurons in the rhesus monkey. *Visual Neuroscience*, 13, 199-203.
- Tanaka, K., Saito, H.-A., Fukada, Y., & Moriya, M. (1991). Coding visual images of objects in inferotemporal cortex of the Macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, 66, 170-189.
- Tolanski, S. (1964). *Optical illusions*. London: Pergamon.

