

Ebbinghaus錯視圖形之視線軌跡觀察與分析

Pursuing Eye Movements on Ebbinghaus Illusions

傅銘傳 孫慶文 林品章

國立台灣藝術大學視覺傳達設計學系

中國文化大學大眾傳播學系

銘傳大學數位媒體設計學系

摘要

本研究針對 Ebbinghaus 錯視圖形，進行追隨眼動之視線軌跡變化的觀察與分析，其研究目的包括：(1)紀錄並觀察 Ebbinghaus 錯視圖形，追隨眼動之視線軌跡分佈的差異。(2)探究人在視線的追隨運動上，是否受到 Ebbinghaus 錯視圖形誘發背景的影響而產生視軌跡的改變。

實驗採用受測者內設計，受測者觀看在 Ebbinghaus 錯視圖形上移動的紅點目標影片，透過眼動儀及 SuperLab 實驗控制軟體等設備，記錄並分析受試者觀看實驗圖形的視線軌跡的變化。實驗分析方法將眼動數據資料以三維高斯函數 (Gaussian) Fitting 的概念計算，比較 Fitting 後的截面積數值，即可觀察出受試者視線軌跡分佈面積大小的趨勢。

研究發現如下：(1)視覺在觀看 Ebbinghaus 錯視圖形中，以相同方式移動的動態紅點時，所記錄的視軌跡線經 Gaussian Fitting 計算分析後，發現錯覺中感覺面積較大的圓圈，其視線軌跡分佈的範圍大於感覺上面積較小的圓圈，因而出現相同面積的圓圈，但在追隨眼動之視線軌跡分佈範圍中卻有差異的現象。(2)Ebbinghaus 錯視圖形所產生面積大小的錯覺現象，影響了視覺追隨運動，因此可證明視線軌跡受到誘發背景的影響，而使得眼球的常態運動產生改變。初步推論人在觀看 Ebbinghaus 錯視圖形時，視覺與知覺是相互影響形成了錯視，進而影響了眼球的追隨運動。

關鍵詞：錯視、追隨眼動、視線軌跡、Ebbinghaus 錯視圖形

一、緒論

錯視的形成來自於人的視覺所接受到的訊息與真實的現況不符所產生的現象，可以說是我們所觀看的物件與正常的知識判斷，在現實中出現矛盾的視覺經驗，而心理學上經常提到的「錯覺」，則是指知覺（perception）產生了錯誤或是扭曲的現象，對外界物件的感覺無法產生客觀的標準。在心理科學的研究方面，錯視較多知覺與行為是否分離的相關論述，一些研究基於神經生理學的發現，認為知覺與行為的分離是兩個不同視覺皮層通路機能的結果，而許多心理科學實驗顯示，大腦接收影像訊息後所形成的知覺（Perception）與人的行為（action）控制，是屬於兩個不同的分離系統，也就是說，人的肢體動作與知覺是分離不一致的(Haffenden & Goodale, 1998)。舉例來說，在臨床上曾發現知覺與行為控制出現分離的病例，有一位病人無法辨識出物體、朋友的臉和簡單的幾何圖形，但是手卻可以準確的抓、拿物體，也就是說，病人的視知覺不能辨識物體的位置、大小等信息，但是指導行為運動的視覺系統卻沒有受到影響(唐日新 & 張至君, 2004)，這現象顯示人視覺觀看物體所產生的知覺，與指導行為的控制系統是具有分離的現象。但是觀看錯視圖形所產生的知覺，對於眼睛的控制上影響如何？是否受錯覺影響使得眼球的運動產生改變，這方面的問題卻少有相關論述與研究。

本研究曾利用追隨眼動實驗進行對 Hering 與 Wundt 錯視圖形的觀察(傅銘傳 & 孫慶文, 2009)，實驗分別由受試者進行觀察直線、曲線及誘發圖形等三類圖形，分析方法採用 Fitting 直線與曲線之線性方程式的概念進行計算，實驗結果發現，在觀看 Hering 和 Wundt 錯視圖形的直線時，受到誘發背景的影響，視軌跡均呈現趨近曲線的分佈。

在長度錯覺的 Müller-Lyer 錯覺圖形中亦發現有此現象(傅銘傳 & 孫慶文, 2009)，實驗觀察到在觀看相同長度的直線時，矢羽線向外的錯視圖形，其追隨眼動的視線軌跡分佈較長，而矢羽線朝內的圖形，視線軌跡則分佈較短，與 Hering 及 Wundt 錯視圖形的實驗出現相同的現象，人的視知覺受到錯視圖形所

形成的知覺影響了視覺追隨運動，而使得眼睛的常態運動產生改變。

在直線與長度錯視的實驗中，分別得知錯視所形成的知覺影響了視覺追隨運動，為了探究在面積大小的錯覺上是否也會有相同的現象？因此，本實驗研究採用「眼球運動追蹤儀」，透過視線追隨運動（pursuit eye movement）實驗法對面積錯視的 Ebbinghaus 圖形進行視線追隨運動的測量，實驗研究結果有助於瞭解觀看錯視圖形之視覺原理及影響，並提供視覺行為科學、視知覺等領域之研究參考。基於上述的原因與動機，本研究欲達成目的如下：

1. 紀錄並觀察比較眼睛觀看 Ebbinghaus 錯視圖形之視軌跡分佈的差異。
2. 分析人在視覺控制上，知覺是否受到 Ebbinghaus 錯視圖形的誘發背景圖形的影響，而使眼球追隨運動產生改變。
3. 研究發現提供有關錯視圖形的視覺歷程與視知覺理論基礎。

二、文獻探討

Carraher, R. G. & Thurston, J. B. 於《Optical illusions and the visual arts》(Carraher, 1911) (蘇茂生譯, 1989) 中，解釋錯覺就是我們的知識判斷與所觀察的形態，在現實的特徵中間所具有矛盾的錯覺經驗。日本學者今井省吾在《錯視圖形》中認為錯視是指眼睛的錯覺，一種將對象物(刺激)之大小、形狀、色澤以及明暗等關係，明顯的判斷錯誤的現象，稱為「錯視」(visual illusion 或 optical illusion) (今井省吾, 1984) (沙興亞譯, 1988)。因此，錯覺可說是外界物件與內在心理現象有所差異的知覺歷程，也就是人的感覺經驗所得之物象與實際物象差異的現象。

有關於運用心理實驗法探討錯視與視覺、知覺等相關議題之研究，在心理科學的研究方面，有探討到知覺與行為分離與否相關論述，在一些基於神經生理學的研究中，提出視覺系統在知覺和行為控制的分離現象，是指人的視覺對物體產生的知覺與對行為的控制，分屬於兩個不同視覺皮層通路機能的結果。

許多學者常利用各種錯覺實驗，來檢驗這一分離現象，如 Daprati & Gentilucci (1997) 就 Müller-Lyer 錯覺圖形對人的「知覺和行為」的影響進行了有關繪製出錯覺線條的長度，以及用手來估計線條的長度之實驗研究，其實驗顯示人觀看線條長度所產生的知覺，與指導用手估計的行為控制系統是具有分離的現象，實驗結果呈現行為與知覺分離現象的存在(Daprati & Gentilucci, 1997)。

Aglioti, DeSouza, & Goodale (1995) 曾利用亞賓浩斯 (Ebbinghaus) 圖形進行了研究。實驗中利用較厚的塑膠板作為目標圓盤，放在圍成一圈的其他畫在紙上的圓環中間，以測量受試者的手部最大抓握尺寸的大小，即在接觸物體前拇指和食指的最大距離，透過實驗反應視覺對運動的控制現象，實驗發現受試者在錯覺的情形下，仍然可以準確的抓握目標圓盤(Aglioti, DeSouza, & Goodale, 1995)。此結果仍支持知覺與行為控制存在分離的觀點。

Goodale & Milner (1992) 進一步提出不同的視覺系統可能利用不同的參照物，也就是說當人在知覺物體位置時，會以外界為參照物，而在對物體進行抓握等行為控制時，則以自身為參照物(Goodale & Milner, 1992)。由此分析，對物體大小等的視知覺判斷可能會受周圍線索的影響，而運動控制則因為以自身為參照物，卻不一定受這種影響，所以在伸手抓握某個物體時，即使以前沒見過的物件，我們的視覺控制系統仍能準確的計算出物件的大小和距離。

此種知覺與行為分離現象是否也存在其他錯覺中？學者對此又做了一系列的研究，結果大多支持分離現象。如 Franz et. Al. (2000) 進行形態重量錯覺實驗，測試了 40 名受試者，刺激物為兩個盒子，盒子大小不同但重量相同，在盒子的手柄上裝上量測提舉力和抓握力的感應器。結果發現，在受試者初次會用較大的力來提舉較大的盒子，而在學習數次之後，受試者的施力便與實際重量相符。但是，受試者認知上的錯覺感始終存在，即使認為小盒子比大盒子更重，也就是說，知覺受錯覺的影響而行為則沒有(Franz, Gegenfurtner, Bulthoff, & Fehle, 2000)。

對於此種分離現象的解釋 Glover & Dixon (2001) 透過方向錯覺對行為的影響，提出了從行為計畫性加以解釋，認為此一結果可用計畫控制模型加以說明，即行為是以周圍物體線索為依據進行計畫的，而對行為的控制和矯正確不依賴於周圍物體(Glover & Dixon, 2001)。因此，錯覺影響行為最初的計畫，但卻不影響對行為的控制，這一解釋與兩套視覺系統的理論假設也是一致的。

又如 Brenner & Smeets (1996) 以及 Jackson & Shaw (2000) 分別對具有遠近透視錯覺的 Ponzo 錯視圖形進行了研究。Brenner 等發現 Ponzo 錯覺只影響提起物體的速度而不影響抓握孔徑，Jackson 的實驗則發現 Ponzo 錯覺只影響抓握力而不影響抓握孔徑(Bruno, 2001; Jackson & Shaw, 2000)。

然而也有其他學者提出不同的看法，如 Norman (2001) 認為，兩套視覺系統都是知覺系統，主要處理與行為有關的信息，是屬於知覺系統的一個功能(Norman, 2001)。Bruno (2001) 則認為知覺和運動由兩套視覺系統控制的現象，可能是由於採取了不同的座標和參照系所致，而不是機能的分離(Bruno, 2001)。Smeets 和 Brenner (2001) 認為，知覺和行為並無分離現象，知覺與行為的差異主要在於由任務要求不同而導致的信息利用差異而已(Smeets & Brenner, 2001)。

此外，唐日新等人 (2004) 「在知覺與行為的分離在是錯覺研究中的驗證」中，評論知覺與行為分離現象的爭論，主要的問題是在能否證明分離現象存在，以及說明確實是分離現象。其觀點認為在相關研究的實驗方法上，存在多種測量錯覺的指標，而不同的指標在反映錯覺時可能會存有差別性。文中評述以往的研究主要集中在大小錯覺上，而形狀錯覺等其他錯覺形態較少涉及，並認為應該對分離現象作更廣、更深的實驗探討(唐日新 & 張至君, 2004)。

目前，還沒有一種理論能夠解釋所有的錯覺現象，這也就意味著錯覺的產生並不是僅依賴於一種歷程或機制，而是不同來源的因素共同作用的結果，它可能是受到眼睛和視網膜內神經交互作用的影響，也可能是受到更高層次的認知決策和過去經驗等因素的影響。許多學者利用各種錯視實驗，來檢驗有關人

的視覺對物體的知覺與對行為的控制是否分離現象，分離現象是否僅限於一種錯覺？對於眼睛的控制影響又是如何？這些尚未探討的問題顯示出此議題的重要性。在視覺傳達領域中，對於錯視的研究較少以心理物理實驗法的方式來檢驗相關的視覺原理。因此，本研究透過追隨眼動法進行對錯視圖形之觀察與分析，瞭解人如何觀看錯視圖形及其影響人視覺運動的程度，是否受錯覺影響使得眼球的運動產生改變，以提供有關錯視圖形的視覺歷程與視知覺理論基礎。

三、研究方法與步驟

本研究採用實驗心理學中的心理物理實驗法以及眼球追蹤實驗的方式進行，運用眼動儀進行視覺追蹤實驗。眼動實驗是透過眼球追蹤記錄移進行對眼球運動的觀測，眼球運動基本的形式包括：凝視（fixation）、跳動（saccades）和追隨運動（pursuit movement）(Martinez-Conde & Macknik, 2007)。其中眼球的追隨運動是指眼睛在追蹤一個運動物體時，為了保持凝視點落在該物體上，頭部不動而眼睛則必須跟隨目標物體移動，是為眼球的追隨運動。本實驗研究所觀察的指標，便藉由眼球運動基本形式中的追隨運動，進行追蹤錯視圖形中動態的紅點移動，可以正確的記錄出受試者觀看錯視圖形時，知覺所產生的錯覺對眼球運動的影響，藉由視軌跡線的變化，便可分析出錯覺所形成的視軌跡分佈情形。

實驗方法以受試者內設計（within-subject design）方式進行實驗，要求受試者看完 Ebbinghaus 錯視實驗圖形，受試者凝視追隨圖形中的紅點目標移動，以記錄受試者觀看的視線軌跡，根據眼動數據加以分析，比較受試者觀看不同實驗圖形時視線分佈狀況，以瞭解錯視圖形對視覺常態運動所產生的影響為何。

3.1 實驗設計

為觀察錯視圖形所產生的知覺現象，在人的視覺控制上是否亦是具有分離的現象，實驗設計採用眼球追蹤的視線追隨運動實驗方式進行，眼動數據的分析方法採用三維高斯函數（Gaussian）Fitting 的概念計算，將視線軌跡在圖形面積中

所形成的視點密度轉換成高度，透過 Gaussian Fitting 計算可描繪出受試者視線軌跡在三度空間中分佈的立體圖，再比較每個立體圖形截面積數值，即可觀察出受試者視線軌跡分佈面積大小的趨勢，進而研判 Ebbinghaus 錯視圖形是否影響人眼睛的追隨運動。

實驗透過 ViewPoint EyeTracker 眼動追蹤系統進行，並運用 SuperLab 實驗控制套裝軟體呈現視覺刺激並執行實驗數據資料紀錄，相關數據分析以來自攝影機所擷取的受測者瞳孔位置變化資料，將眼動訊息轉換為數據資料予以儲存。所有的實驗圖形都以電腦檔案的格式儲存與製作，利用實驗軟體按所設計的實驗形式呈現。視線追隨運動實驗設計如下：

1. 以實驗繪圖軟體 Illustrator 及 Flash 繪製各實驗圖形，紅點目標以動態移動方式呈現。
2. 以 SuperLab 實驗控制軟體撰寫實驗控制程式，並將指導語及實驗圖形置入，再進行 ViewPoint 眼動追蹤系統相關設定。
3. 每組受試者依約定時間表來到實驗室，首先進行簡短的實驗說明，使其了解實驗步驟，受試者距離螢幕 100cm，透過眼動儀分別觀看不同的錯視圖形，每位受試者觀看距離相當於 2.0° ~ 2.9° 視角 (visual angle) 大小。
4. 受試者依指令注視紅點目標移動，紅點以沿直線移動方式引導視覺凝視追蹤，由眼動儀器記錄受測者觀看不同之實驗圖形視線移動的軌跡分佈。
5. 由眼動儀紀錄蒐集數據，將其結果以圖像化的軌跡呈現，以觀察視線軌跡於各實驗圖形上分佈的情形。
6. 將眼動數據以 Gaussian Fitting 進行計算分析，比較 Fitting 後的立體圖形截面積數值，以解析視軌跡在錯視圖形上面積分佈的差異變化。

3.2 實驗圖形設計

在實驗圖形設計上，因錯視量之變化並非本次研究之目的，因此暫不考慮誘發背景圖形面積大小的問題，實驗圖形以能呈現 Ebbinghaus 錯視圖形之錯視

效果為原則。Ebbinghaus 實驗圖形設計分為：A 組（圖 1、圖 2）、B 組（圖 3~圖 4）與 A 組圖形左右互調、C 組為單獨呈現的圖形（圖 5、圖 6），D 組為控制圖形包括：無誘發背景圖形（圖 7），以及無圓圈線框的空白圖形，僅出現動態紅點（圖 8），紅點移動時間及路徑軌跡範圍各實驗圖形均相同。

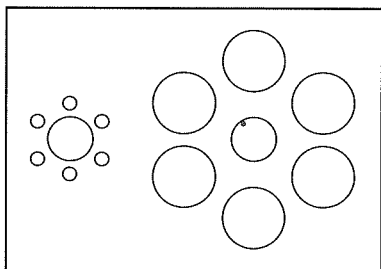


圖 1 A 組實驗圖形- A-1 紅點位於右圖

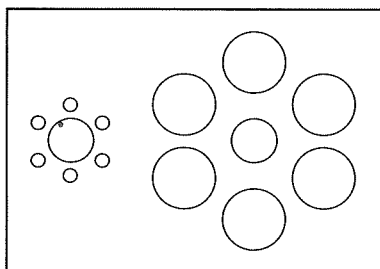


圖 2 A 組實驗圖形- A-2 紅點位於左圖

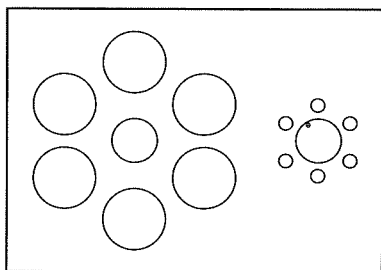


圖 3 B 組實驗圖形- B-1 紅點位於右圖

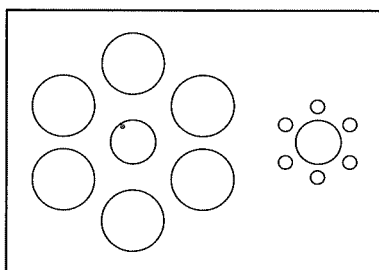


圖 4 B 組實驗圖形- B-2 紅點位於左圖

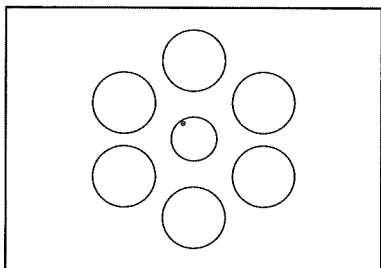


圖 5 C 組實驗圖形-C-1 單獨呈現之圖形

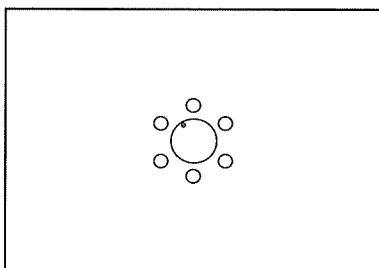


圖 6 C 組實驗圖形-C-2 單獨呈現之圖形

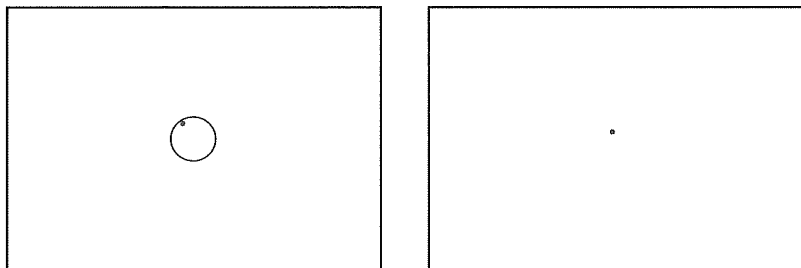


圖 7D 組控制組圖形-D-1 無誘發背景之圖形 圖 8D 組控制組圖形-D-2 無圓圈線框之圖形

以上實驗圖形中動態紅點移動的時間均為 6 秒，移動軌跡範圍均相同，受試者在相同條件下分別觀看八個實驗圖形中動態移動的紅點，每次實驗其圖形出現順序以亂數呈現。透過不同的圖形設計，將可觀測受試者追隨眼動受是否受到錯覺的影響，而使得視線軌跡產生面積分佈大小的差異變化，進而瞭解人在視覺控制上，是否受到 Ebbinghaus 錯視圖形的影響，而使眼球追隨運動產生改變。

3.3 實驗進行步驟

Ebbinghaus 圖形實驗，進行步驟如下：

1. 每位受試者依約定時間表來到實驗室，首先填寫個人基本資料，再由主試者進行簡短的實驗說明，使其了解實驗步驟，受試者被要求坐在刺激呈現的電腦螢幕前之實驗標準位置。
2. 主試者協助受測者將頭部固定於觀測位置，觀者眼睛距離螢幕 1 公尺。
3. 主試者調整記錄眼動之攝影機與紅外線光源裝置。
4. 主試者操作電腦系統以調整眼球影像及其相關之設定。
5. 主試者進行眼動儀器之校正與測試。
6. 完成校正程序之後，開始撥放影片進行實驗，並同步紀錄受試者觀看畫面的視線軌跡，實驗進行中，畫面先出現指導語，接者出現十字凝視點，然後每個圖形再依次分別呈現，每個圖形呈現 6 秒（圖 9）。

7. 完成實驗後，由主試者進行實驗數據之儲存與數據驗證。
8. 結束實驗，受試者領取贈品。

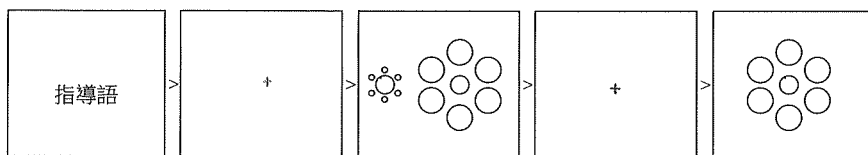


圖 9 由實驗控制軟體 Super Lab 所設定實驗畫面出現的順序

3.4 實驗設備

相關實驗設備如下：

1. 實驗環境：實驗室包括托架式升降桌、長條桌、椅子各一張，遮光布幕之暗室一間，每位受試者於暗室內觀看電腦螢幕，距離 1 公尺，相當於 $2.0^{\circ}\sim 2.9^{\circ}$ 視角 (visual angle) 大小。
2. 硬體：眼球運動追蹤儀機型：ViewPoint EyeTracker 眼動追蹤系統，搭配實驗使用 View Sonic 19 吋 (CRT 陰極射像管)，螢幕解像力設定為 1024×768 像數高彩解析度，影像更新頻率 (refresh rate) 為更新頻率 75Hz，以 32 位元全彩顯示進行實驗。
3. 軟體：實驗程式以 SuperLab 4.0，控制整個實驗流程，依序呈現指導語、刺激圖形及響聲以及控制圖形呈現的時間並由 ViewPoint 同步紀錄視線軌跡數據。

3.5 受試者來源

初測人數 15 人為科技大學學生，年齡在 19~28 歲之間，視力經校正後均正常。每位受測者在接受實驗後可獲餐點一份。經過初測後觀察受試者視線軌跡校正後之穩定度，篩選 8 位受試者進行正式實驗。8 位受試者，於兩個月內分別在不同時段反覆受測 12 次，共計 96 人次。每位受測者每次在接受實驗後均可獲餐點一份。

四、實驗結果與分析

4.1 分析步驟

在取得受試者觀看 Ebbinghaus 錯視圖形之視線軌跡後，首先進行視線軌跡之判讀篩選，若因受試者當天精神不濟、熬夜睡眠不足或是受測時身體晃動等因素影響，在施測校正時若觀察到視軌跡出現凌亂、不穩定之現象，便停止施測。此外，施測時因身體晃動造成視軌跡偏移凌亂，則受試者該時段所實驗之數據資料全部不採計，以避免影響眼動數據計算之數值（如圖 10）。因此，正式實驗的 8 位受測者每次施測時的精神狀態均不相同，經過剔除凌亂、不穩定的眼動資料後，所能採計的資料數量也會不相同，實驗圖形的每筆資料數量如表 1 所示。

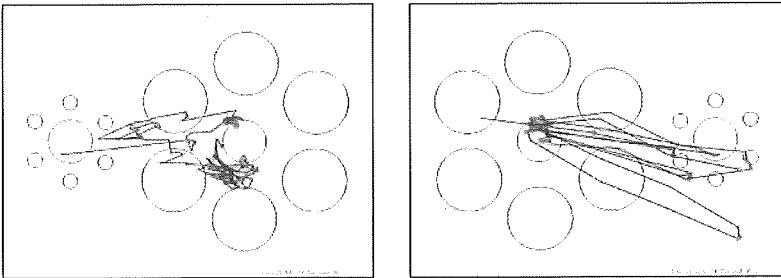


圖 10 刪除凌亂不穩定之視線軌跡圖例

由於人視線軌跡在追隨眼動時伴隨著微小的跳動與震顫，會形成不規則的軌跡線及凝視點，要將這些雜亂的視軌跡線分析出在圖形面積中分佈的趨勢，必須將視點的多寡即密度分佈轉換成高度，因此，本研究採用 Gaussian Fitting 的分析概念計算。

Gaussian Function 的基礎概念數式如下：

$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$$

在剔除無法使用之數據後，將每位受測者的視線軌跡在圖形面積中所形成的視點密度轉換成高度，再經過 Gaussian Fitting，透過殘差計算，描繪出受試者視線軌跡在三度空間中常態分佈之模型，再求取立體圖的截面積數值，比較每個截面積數值，即可觀察出受試者視線軌跡於實驗圖形中分佈面積大小的趨勢。詳細數據分析步驟說明如下：

1. 眼動資料篩選：依據各圖形所得之眼動數據進行資料篩選，並排除極端值。

(圖 12)

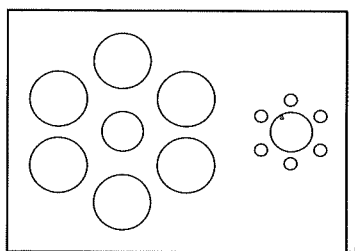


圖 11 實驗圖形

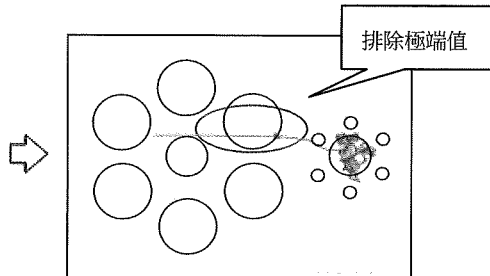


圖 12 眼動凝視點分佈

2. 數據資料整理：先定義區塊大小，以 block size 為單位，計算受試者觀看紅點移動之視線軌跡點，並計算視點落在每一個區塊之數量。(圖 14)

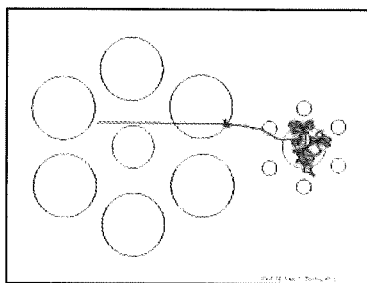


圖 13 眼動凝視點分佈

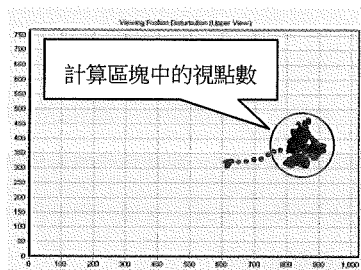


圖 14 計算眼睛視點落在區塊中之數量

3. 資料標準化：將視點峰值 (maximum) 所在位置定義為中心位置，依據中心位置進行每位受試者視點資料標準化作業，再將受試者視點密度分佈的多寡轉換成高度，繪製出立體圖 (圖 15)。

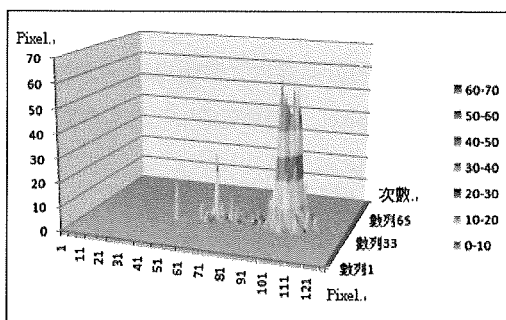
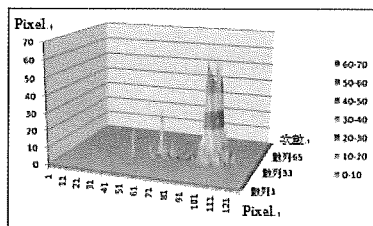


圖 15 依據圖形峰值為中心進行資料標準化

4. Gaussian Fitting：將標準化過後之資料以 Gaussian 函數 Fitting 每一筆數據所呈現之圖形（圖 16），取得常態分佈模型（圖 17），以求得最接近各圖形類別數據之高斯函數，並記錄此高斯函數之中心位置（center）及 x 方向與 y 方向之變數（Sigma X, Sigma Y）。



$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$$

Gaussian Function

a、b 與 c 為實數常數，

且 a >

圖 16 將視點密度轉換成高度的立體圖樣式並進行 Gaussian Fitting

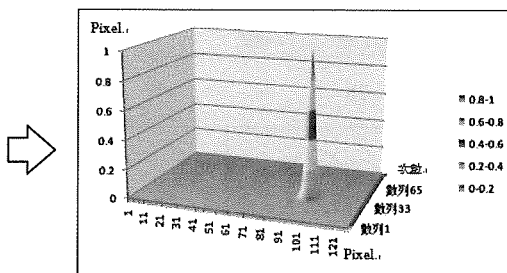


圖 17 Fitting 之後的立體圖形樣式

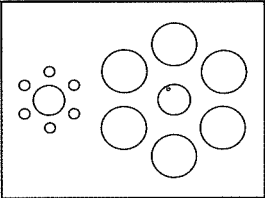
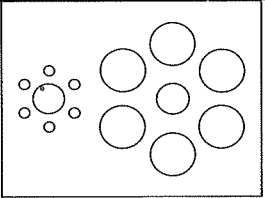
5. 計算錐形圖截面積：依據所計算出之高斯函數，以中心位置高度為基準，並已完全排除極端值，再計算錐形立體圖 25%、50%、75%高度所佔之截面積之大小，單位為 pixel，觀察各圖形中 50%高度之面積即可比較視線軌跡所分佈之範圍大小。

4.2 分析結果

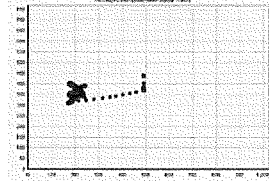
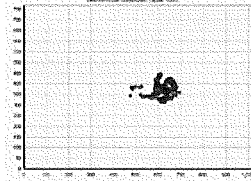
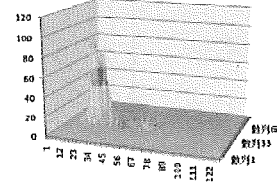
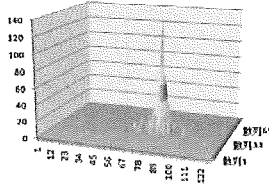
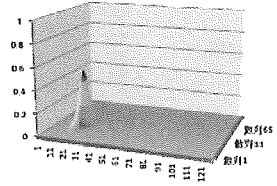
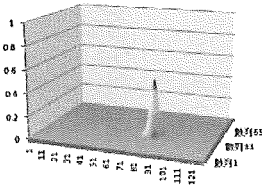
每組實驗圖形之眼動數據經過上述計算步驟後，受試者於 Ebbinghaus 錯視圖形追隨眼動之視線軌跡分佈結果如下：

1. 在 A 組實驗圖形中受試者觀看動態紅點移動的視線軌跡，經過 Gaussian Fitting 計算取得常態分佈之模型後，觀察錐形立體圖高度 50%的截面積發現，在錯覺感覺上較小的圓形（圖 A-1）在原始圖形上底面積較小，屬於瘦長形的錐形圖，顯示受試者凝視位置較集中，其 Fitting 後的數值面積為 3,395（pixel）。A-2 圖的原始錐形圖較寬厚，Fitting 後的數值面積為 5,617（pixel），顯然高於圖 A-1，即表示受試者追隨眼動之視線軌跡所分佈的面積較寬。在 A 圖組中比較得知受試者在觀看相同的動態紅點移動時，受到錯覺的影響，感覺上面積較大的圖形（A-2），人的追隨眼動之視線軌跡所分佈的面積也較大。（表 1）

表 1 A 實驗圖組 Gaussian fitting 之面積比較表

A 圖組	A-1 動態紅點位於右圖	A-2 動態紅點位於左圖
樣本數	28	40
圖例		

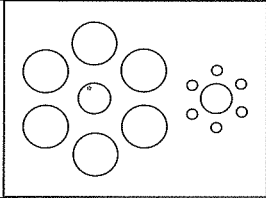
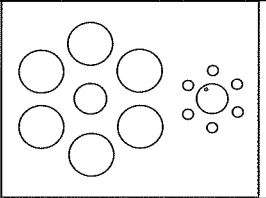
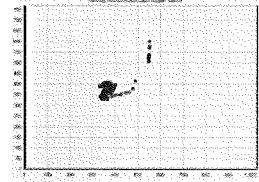
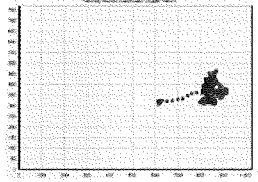
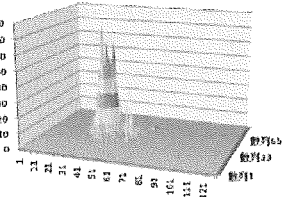
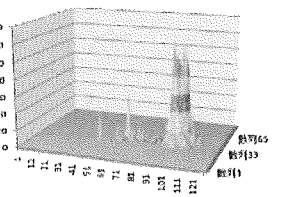
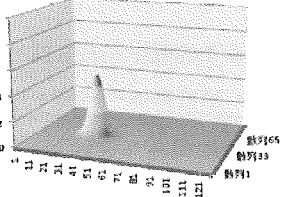
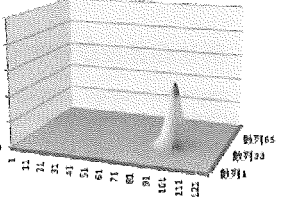
視點分佈

3D 立體圖
(原始)3D 立
體圖
(Gaussian
Fitting)

高度	75%	50%	25%	75%	50%	25%
視點分佈 原始面積	2,105	4,096	12,193	2,189	3,610	14,176
Fitting 面 積	1,407	3,395	6,757	2,323	5,617	11,231

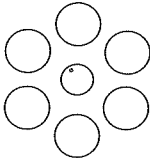
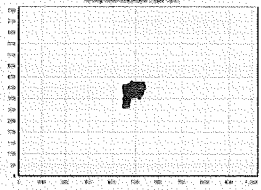
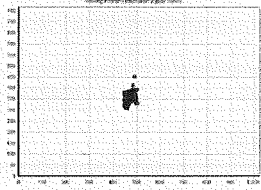
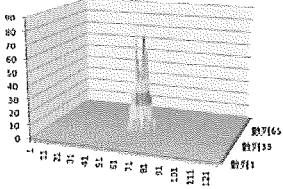
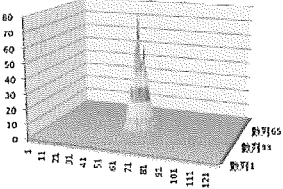
2. 在 B 組實驗圖形中，將 Ebbinghaus 中的圖形左右對調，觀察受試者的追隨眼動的現象，分析結果發現與 A 組實驗圖形相同，在錯覺上感覺上較小的圓形（圖 B-1）Fitting 後的數值面積為 6,113 (pixel)。B-2 圖 Fitting 後的數值面積為 7,899 (pixel) 高於圖 B-1，顯示受試者的錯覺並未因為圖形的左右互調而有所改變，仍然出現感覺上面積較大的圖形，人的追隨眼動之視線軌跡所分佈的面積也較大。（表 2）

表 2 B 實驗圖組 Gaussian fitting 之面積比較表

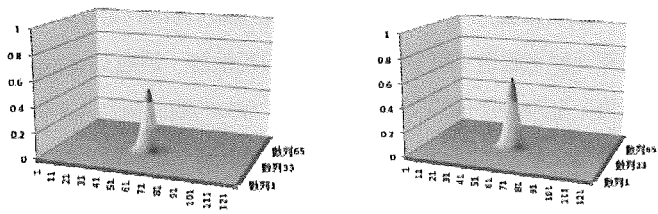
B 圖組	B-1 動態紅點位於左圖			B-2 動態紅點位於右圖		
樣本數	26			29		
圖例						
視點分佈						
3D 立體圖 (原始)						
3D 立體圖 (Gaussian Fitting)						
高度	75%	50%	25%	75%	50%	25%
視點分佈 原始面積	1,946	3,809	12,390	2,140	3,986	12,782
Fitting 面積	2,537	6,113	12,217	3,275	7,899	15,789

3. 在 C 組實驗圖形中，將 Ebbinghaus 錯視圖形拆開，分別單獨呈現實驗圖形，觀察受試者眼睛追隨動態紅點移動的視軌跡，經過 Gaussian Fitting 計算分析後，呈現較特殊的現象，C-1 高度 50% 的截面積為 4,893 (pixel)，C-2 截面積為 4,453 (pixel)，顯示受試者觀看單圖呈現的圖形時，追隨眼動的分佈範圍 C-1 圖大於 C-2 圖，與 A、B 圖組中雙圖同時呈現的現象有所不同，是否與週圍六個參照圓圈大小有關，可做為未來深入研究的議題。(表 3)

表 3 C 實驗圖組 Gaussian fitting 之面積比較表

C 圖組	C-1 單獨呈現圖形	C-2 單獨呈現圖形
樣本數	21	21
圖例		
視點分佈		
3D 立體圖 (原始)		

3D 立體圖
(Gaussian
Fitting)



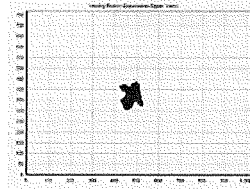
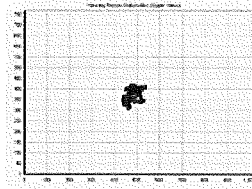
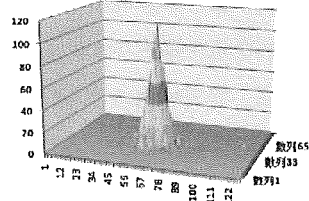
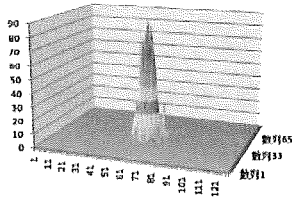
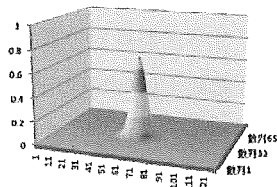
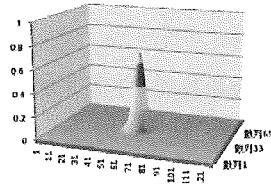
高度	75%	50%	25%	75%	50%	25%
視點分佈 原始面積	1,804	3,438	11,142	1,609	3,243	11,800
Fitting 面積	2,037	4,893	9,769	1,855	4,453	8,911

4. 在 D 組控制組實驗圖形中，經過 Gaussian Fitting 計算取得常態分佈之模型，觀察截面積得知 D-2 無圓圈線框之圖形截面積為 7,235，其面積大於 D-1 圖形的 6,519 (pixel)，顯示受試者視覺可能受到圓圈的限制 (圖 7)，影響了視覺的追隨眼動，使得視點分佈的範圍小於無圓圈線框之圖形 (圖 8)。

表 4 D 組控制組圖形 Gaussian fitting 之面積比較表

圖形	D-1 無誘發背景之圖形		D-2 無圓圈線框之圖形	
樣本數	57		71	
圖例				

視點分佈

3D 立體圖
(原始)3D 立體圖
(Gaussian
Fitting)

高度	75%	50%	25%	75%	50%	25%
視點分佈 原始面積	1,930	3,361	11,802	1,363	3,298	12,271
Fitting 面積	2,705	6,519	13,035	3,007	7,235	14,507

4.3 小結

由上述數據分析可看出受試者在觀看相同面積中動態紅點移動的視線軌跡時，在錯覺中感覺上較小的圓形，其 Fitting 後的立體圖形多屬於瘦長形的錐形圖，顯示受試者凝視位置較集中，凝視範圍較小。而在錯覺中感覺較大圖形，錐形圖較寬厚，即表示受試者追隨眼動之視線軌跡所分佈的面積較寬。由此得知受試者在觀看相同的動態紅點移動時，眼睛會因錯覺的影響而使得眼球運動在追隨面積中移動的目標時，產生視軌跡的變化，感覺上面積較大的圖形，人的追隨眼動之視線軌跡所分佈的面積也較大。

五、研究結論與建議

本研究以追隨眼動法進行 Ebbinghaus 錯視圖形凝視軌跡觀察與分析，透過觀看紅點目標移動的動態影片，瞭解錯視圖形影響人視覺運動的程度以及視軌跡變化差異，研究分析結果歸納如下：

1. 視覺在觀看 Ebbinghaus 錯視圖形中，以相同方式移動的動態紅點時，所記錄的視軌跡線經 Gaussian Fitting 計算分析後，發現錯覺中感覺面積較大的圓圈，其視線軌跡分佈的範圍大於感覺上面積較小的圓圈，因而出現相同面積的圓圈，但在追隨眼動之視線軌跡分佈卻有差異的現象。
2. Ebbinghaus 錯視圖形所產生面積大小的錯覺現象，影響了視覺追隨運動，因此可證明視線軌跡受到錯覺的影響，而使得眼球的常態運動產生改變。
3. 在其他有關錯覺對知覺與行動影響的研究方面，如文獻探討所述，多數的研究論點支持知覺與行動具有分離的現象為主，本研究在錯覺對知覺與視覺的問題上，推論人在觀看面積大小變化的錯視圖形時，人的知覺對於視覺的控制與「知覺和行為的分離現象」有所不同，人在觀看 Ebbinghaus 錯視圖形時，視覺與知覺是相互影響形成了錯視，並影響了眼球追隨運動。

此外，實驗中發現控制組的實驗圖形，受試者的視線軌跡出現與預期不同的面積分佈，如 D 組所示（表 4），圓圈較小的圖形截面積為 4.453，小於圓圈較大圖形的截面積為 4.893，此項數據與 Ebbinghaus 錯視圖形中兩圖並置時的現象明顯不同，初步推論是因為在整體畫面中，位於中心圓圈周圍的 6 個圓圈較小而影響眼睛觀看的面積，圓圈面積大者視點的分佈則較大，此項推論，有必要再深入進行後續分析研究。此項問題將可釐清 Ebbinghaus 圖形若出現單一圖形而無參照效應時，人的追隨眼動是否受到周圍背景圖形的大小而影響對主體物件的觀看？是否與有參照效應所形成的錯視圖形有所不同？以瞭解人的視覺系統在處理不同錯視圖形時，視線軌跡及視覺認知機制之間的關係。

除了上述後續研究之外，另一個思考的問題：若在平面錯視圖形上出現知覺與視覺系統不分離的現象，而在立體空間錯視方面，是否存在相同的現象，

或是有其他視線軌跡的變化？三度空間的錯覺現象，對於人的視知覺以及追隨眼動的影響為何？有必要深入探究，其研究結果將有助於我們瞭解觀看錯視圖形的視覺原理，並提供有關錯視圖形之視覺歷程與視知覺的知識，研究發現亦可厚實設計學領域中，有關視覺認知等相關基礎理論。

致謝：本論文為國科會專題研究計畫 97-2410-H-228-003- 之部分研究成果，感謝國科會給予研究經費補助。實驗過程中感謝雲林科技大學設計研究所蔡政旻的協助，特此致謝。

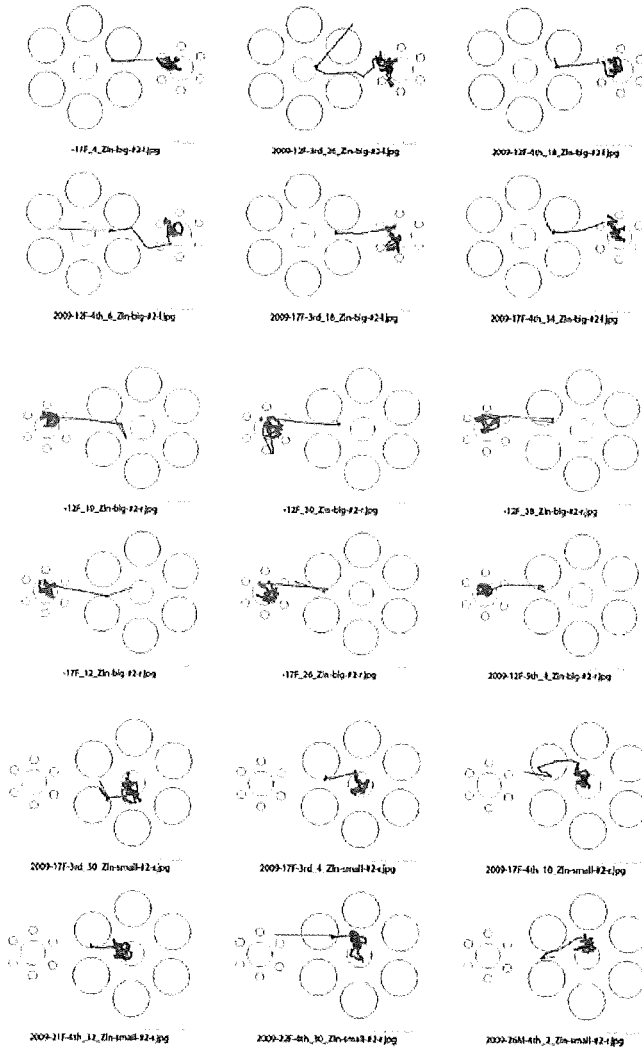
參考文獻

1. 今井省吾 (1984):《錯視圖形》(沙興亞 譯,1998)。台北:遠流出版社。[Syogo, I. (1984). *Illusions* (Sasinya, Trans.). Taipei: Yuan-Liou Publishing.]
2. 唐日新，張智君 (2004):〈知覺與行為的分離在視錯覺研究中的驗證〉。《心理科學》，12(3), 340-346。[Tang, R.-X., & Zhang, Z.-J.(2004). Verification of the Dissociation between Perception and Action in the Visual Illusion Experiments.*Psychological Sciences*, 12(3), 340-346.]
3. 傅銘傳，孫慶文(2009)。《錯視圖形之視線追隨運動研究》。《專題研究計畫成果報告》。台北：行政院國家科學委員會。[Fu, M. C., & Sun, V. C. (2009).*The visual processing of illusory figures – an eyemovement research of visual pursuit* (Research project report). Taipei: National Science Council.]
4. Aglioti, S., DeSouza, J. F. X., & Goodale, M. A. (1995). Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, 5(6), 679-685.
5. Brenner E. Smeets J B J.Size illusion influences how we lift but not how we grasp an object.*Experimental Brain Research*. 1996.111 (3) : 473~476
6. Bruno, N. (2001). When does action resist visual illusions? *Trends in Cognitive Sciences*, 5(9), 379-382.

7. Carraher, R. G. T., J. B. (1911). 錯視與視覺美術 (蘇茂生, Trans. ,1989). 台北: 大陸書局。 [Carraher, R. G., & Thurston, J. B. (1911). *Optical illusions and the visual arts* (M. S. Su, Trans.). Taipei: Continental.]
8. Daprati, E., & Gentilucci, M. (1997). Grasping an illusion. *Neuropsychologia*, 35(12), 1577-1582.
9. Franz, V. H., Gegenfurtner, K. R., Bulthoff, H. H., & Fahle, M. (2000). Grasping visual illusions: No evidence for a dissociation between perception and action. *Psychological Science*, 11(1), 20-25.
10. Glover, S., & Dixon, P. (2001). The role of vision in the on-line correction of illusion effects on action. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55(2), 96-103.
11. Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences*, 15(1), 20-25.
12. Haffenden, A. M., & Goodale, M. A. (1998). The effect of pictorial illusion on prehension and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 122-136.
13. Jackson, S. R., & Shaw, A. (2000). The Ponzo illusion affects grip-force but not grip-aperture scaling during prehension movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 418-423.
14. Martinez-Conde, S., & Macknik, S. L. (2007). Windows on the mind. *Sci Am*, 297(2), 56-63.
15. Norman, J. (2001). Ecological psychology and the two visual systems: Not to worry! *Ecological psychology*, 13(2), 135-145.
16. Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (2001). Perception and action are inseparable. *Ecological psychology*, 13(2), 163-166.

附錄一

受試者觀看 Ebbinghaus 錯視圖形之追隨眼動視線軌跡分佈圖例



Pursuing Eye Movements on Ebbinghaus Illusions

Fu, Ming-Chuan * Sun, Vincent C ** Lin, Pin-Chang ***

* Department of Visual Communication Design, National Taiwan University of Arts

** Department of Mass Communication, Chinese Culture University

*** Department of Digital Media Design, Ming Chuan University

Abstract

In the present research, we investigated which guides the pursuit eye movements, physical stimuli or visual illusions, for a target bouncing within the circles of various Ebbinghaus illusory figures. The circle, which is physically unvaried, is perceived larger and smaller with smaller and larger surrounding circles. A video eye tracker (ViewPoint PC60) was used to record the eye movements during observers pursuing the target, which was a red dot bouncing in the circle for 6 seconds. The scanning paths of pursuing a target bouncing within a single circle without surrounding circles, and a target bouncing alone, were also recorded for comparisons.

The results showed that the recorded scanning paths of pursuing a target bouncing within the circle were determined by the circle's perceived size, though they were physically all the same size. The findings are consistent with our previous study using Müller-Lyer illusory patterns, and suggest that the visual illusion guides the pursuit eye movements in those cases. Pursuit eye movements may be guided by the WHAT rather than by the HOW visual information processing streams.

Keywords: Illusion, Pursuit Eye Movement, Scanpath, Ebbinghaus illusion