

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

視覺皮質動態特性之心理物理學研究 (III)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2413-H-009-006-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學應用藝術研究所

計畫主持人：陳一平

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 11 月 3 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

視覺皮質動態特性之心理物理學研究 Psychophysical Studies on the Dynamics of Cortical Neurons

計畫編號：NSC 91-2413-H-009-006

執行期限：2002年8月1日至2003年7月31日

主持人：陳一平 交通大學應用藝術研究所

† 八十六年度及以前的一般國科會專題計畫(不含產學合作研究計畫)亦可選擇適用，惟較特殊的計畫如國科會規劃案等，請先洽得國科會各學術處同意。

一、中文摘要

本研究以心理物理學的方法探討 Hering 錯視可能發生的生理階段。我們利用將 Hering 錯視與假象運動結合的作法，探討運動系統有無能力偵測由 Hering 錯視所誘發的假象運動，假若 Hering illusion 發生在運動與形狀同流的早期視覺消息處理的階段(例如 V1)，則可預測由 Hering illusion 所造成的形變很容易支援假象運動的結果。反之，若 Hering illusion 發生在運動與形狀分流的晚期視覺消息處理的階段(例如 V4)，則運動系統由於沒有機會「見」到形狀的改變，因此不會對由 Hering illusion 所造成的形變作反應。我們的結果很清楚地支持後者，而否定前者。

關鍵詞：視覺空間、空間整合、Hering 錯視、假象運動、V1、V4、MT

Abstract

We aimed to investigate the anatomical/functional level of shape distortion induced by optical illusions in the current study. Specifically, we would like to determine whether the illusion exerts its effect at the level of position encoding or at a later stage where the more abstract and global form information is derived. The extraction of both form and motion involves the computation of position information. If the optical illusion exerts its effect at the level of V1 where the most accurate position is available, the induced shape change should affect both form and motion perception. If, on the other hand, the shape distortion occurs at a later stage along the what pathway, the motion system could be immune to optical illusions. We used Hering illusion to create perceptually bent lines, and tested if these lines could drive the motion system to produce transformational apparent motion. The results showed that the motion system is blind to the illusion, indicating that the optical illusion does not take its effect at any stage common to form and motion systems.

Keywords: visual space, spatial integration, Hering illusion, apparent motion, V1, V4, MT

二、緣由與目的

本計畫是三年期持續計畫的第三年階段，本系列研

究所探討的問題是視覺空間的可塑性與皮質細胞接受域大小變化的關係，我們在前兩年的研究中得到以下幾點重要的結論：

(1) 視覺空間會因物體運動與圖形線索等誘發因素而扭曲，造成物理上全等的距離(由兩個端點圖形中的間距所定義)發生膨脹或縮小的現象。

(2) 這種間距的膨脹或縮小不是端點圖形的位置碼(position codes)產生變化所造成的。

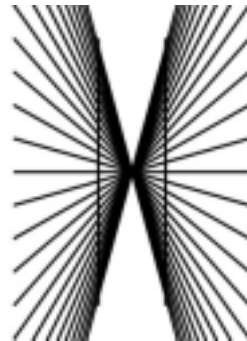
(3) 伴隨著空間的扭曲，以兩點加成(two-point summation)的實驗所測得的局部空間整合區域大小亦隨之變化，支持負責表徵扭曲部位空間的皮質細胞接受域大小發生改變的想法。

由以上幾點發現可以衍生出以下幾點推論：

(1) 生理證據指出 V1 細胞的接受域具有動態改變大小的特性(Pette & Gilbert, 1992; Das & Gilbert, 1995; 但見 DeAngelis et al., 1995 之異議)，加上在大腦所有視覺區中，以 V1 對視覺空間的表徵最為精細，因此我們可以合理地推斷我們所發現的視覺空間扭曲現象所發生的生理層次位於 V1。

(2) 若 V1 的階段對空間的表徵發生變化，勢必會影響 V1 下游的各區域的作用結果，由於視覺傳導路徑在 V1 與 V2 之後分叉為處理運動訊息的 "where" 路徑(包含 MT、MST)，以及處理形狀的 "what" 路徑(包含 V4、IT)，我們可以充分利用這些相對關係來定位一些行為現象的生理基礎。

在已知的視覺文獻中與空間扭曲的問題關係最為密切者，非視錯覺(optical illusions)莫屬。雖然大部分已知視錯覺的發現皆已超過百年的歷史，但至今尚無任何一種例子已被完全解釋清楚，遑論其生理層次的理解。在本年度的計畫中我們以上述的新理論框架來探討若干視錯覺在生理層次



上可能發生的階段。

我們以 Hering illusion 作為起手的問題，這個錯覺正如其名所透露的，是 Hering 於 1861 年所發現的。典型的 Hering illusion 如圖一所示，圖中的兩

條垂直線物理上是平行的，但是受到誘發框架（輻射條紋）的影響而在我們的主觀知覺上產生很大的扭曲。我們所考量的是：這種形狀扭曲是在 V1 階段，還是到達進一步處理形狀訊息的 V4 或 IT 才會發生？單獨侷限在形狀與空間的向度去考慮這個問題不容易得到解答，因為 V1 所發生的空間扭曲與 V4 所可能發生的形狀扭曲並不容易區分，我們主要的構想就是引進運動的訊息，在技術上觀察 "where" 路徑而非 "what" 路徑的反應，如此一來 V1 之前與之後的問題便可清楚地區隔。

試考慮以下的情況：我們已知物體的形變可以產生假象運動 (apparent motion)，假若 Hering illusion 所造成的形變肇因於 V1 階段的空間扭曲，則交替呈現兩張圖片，一張是圖一所示的標準 Hering illusion 刺激，另一張具有前者當中的同樣兩條垂直線，但沒有其他的誘發框架，我們會預期看到形變運動的發生，因為對於計算運動訊息的 MT 而言，它所接收到的第一張圖的空間訊息已經是扭曲後的結果，若跟第二圖的訊息比較，一者為曲線，一者為直線，應該會有反覆扭動的運動效果。反之，若視錯覺發生在 V1 之後的 V4 或其他高階區域，則就 MT 的角度而言，它所接收到的兩張圖都未變形，因此是一模一樣的直線，在此情況下我們預期不會有形變運動的發生。

在上述的例子中，兩張交替呈現圖片的垂直線部分在物理上相等，但主觀上不相等，類似的分析可以應用到另一種對稱的情況：亦即交替呈現主觀上相等，但物理上不相等的圖片，同樣可以檢驗我們的假設。至於產生這種圖形的方式，可在 Hering illusion 的誘發框架存在的情況下，令觀察者往相反方向調整垂直線的曲率，以達到主觀上成為直線的目的。

在本年度的工作中我們完成了以下幾項實驗：

實驗一：曲度偵測閾的測量

為了提供參照標準以正確評量 Hering illusion 的效果大小，我們有必要嚴謹地測量一般受試者對於「直線 曲線」判斷的靈敏度，因此實驗一的主要目的便是測量在沒有誘發框架的情況下，受試者之曲度判斷絕對閾。絕對閾的測量採用定值刺激法，預先製作好中央部分由內凹一直變動到外凸的七對曲線刺激，另外還有一組由平行直線構成的比較刺激。每次嘗試中，這七種曲線組當中的任一個會呈現於螢幕上約 500ms，之後換為比較刺激（兩者的先後順序以隨機方式決定）500ms。受試者必須判斷兩者當中何者比較內凹，由累積嘗試結果所得的心理計量函數 (psychometric function) 可以計算出主觀相等點與上下差異閾。

實驗二：Hering illusion 效果的定量測量

雖然關於 Hering illusion 的論文不算少，但很奇怪的是似乎沒有人曾經以嚴謹的定量方式估計過 Hering illusion 的效果大小，在以往或許是受到

曲線精準度的控制不易的限制，但現今已有相當精確的電腦向量繪圖技術，螢幕的解析度也大有進步，技術的困難應該不再是限制。

本實驗的目的有二：首先是如標題所言，定量測量 Hering illusion 的效果大小，其用意與實驗一相同，皆在提供實驗四所得結果的參照基準。第二個目的則是藉由本測量步驟，為每位受試者找到在誘發框架影響之下主觀直線的曲率，以供實驗四之需。有鑑於我們對曲率的敏感度可能很高，所以實驗刺激必須盡可能地大，以保證有足夠微調曲率的空間，再以調整觀察距離的方式獲得適當的視角大小。

實驗三：線段形變運動的偵測閾測量

本實驗的目的仍是建立基本的參照標準，為了確定實驗四的設計會或不會造成假象運動，我們必須先瞭解一般情況下發生假象運動所需的形變大小。

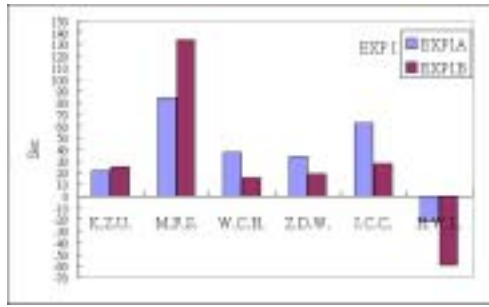
本實驗又分為兩個部分，各別是在有和沒有框架的情況下測量能夠產生形變運動感覺的最起碼曲率變化。本實驗仍以定值刺激法最為合適，在每次嘗試中仍有變動刺激與標準比較刺激的區分，兩者都是兩張畫面交替的動畫形式，其中後者的兩張畫面之間沒有形變的像差，前者的兩張畫面間則有七種可能水準的形變像差，受試者必須判斷哪一方產生往外膨脹的形變運動。控制框架有無這個變項，其目的在於排除實驗四的結果是由於在假象運動的過程中插入誘發框架所導致的副作用的可能性。

實驗四：形變運動的決定因素：主觀還是客觀形變？

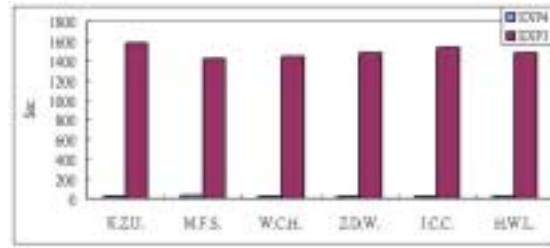
實驗四是本研究最重要的部分，其目的即在於檢驗兩張交替呈現的圖形 一種情況下兩者只有主觀的形變像差（一者具有誘發框架，另一者則無），客觀上完全相等；另一種情況下兩者主觀上均為平行的雙直線，客觀上一者為曲線（具有誘發框架，但經實驗二的程序矯正者），另一者為直線 何種情況可以有效地產生形變運動的感覺。

本實驗仍以定值刺激法決定每一情況中，交替呈現的兩圖形的主觀相等點（亦即運動感終止時兩圖形的客觀相對曲率程度）。由主觀相等點可以判斷受試者的運動知覺是決定於主觀或是客觀的形狀相等。如前文之分析，這兩種可能的結果各別支持不同的生理觀點，我們因而能以心理物理學的手段來粗略定位視錯覺在大腦當中可能發生的部位。

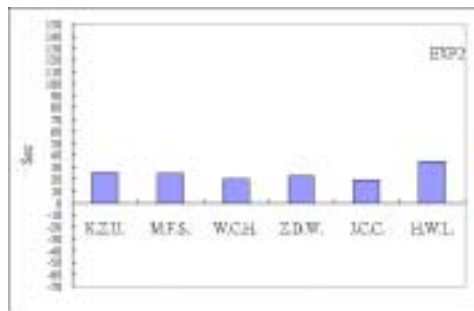
三、結果與討論



實驗一所得的曲率偵測閾如上圖所示，請進一步比對實驗二的結果以看出差別。

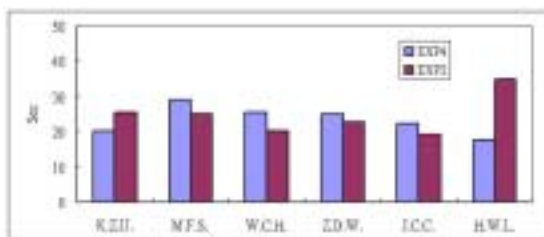


上圖所示為 Hering illusion 效果的定量測量，請注意此圖為本結案報告書中實驗二，而非實驗三的結果。與實驗一的效果比較起來，可清楚感覺到 Hering illusion 的效果極為顯著，亦即造成主觀上很大的曲率改變。



上圖所示為線段形變運動的偵測閾定量測量結果，請注意此圖為本結案報告書中實驗三，而非實驗二的結果。

與實驗一、二的結果比較，可知吾人對於形變運動的偵測閾至為微小，事實上在此所得的數據已接近所謂的超解析力(hyper acuity)的範圍，可見我們對於微小形變的敏感度。



實驗四的結果分別與實驗二與實驗三的比較。假若 Hering illusion 發生在運動與形狀同流的早期視覺消息處理的階段（例如 V1），則可預測由 Hering illusion 所造成的形變很容易支援假象運動的結果。反之，若 Hering illusion 發生在運動與形狀分流的晚期視覺消息處理的階段（例如 V4），則運動系統由於沒有機會「見」到形狀的改變，因此不會對由 Hering illusion 所造成的形變作反應。我們的結果很清楚地支持後者，而否定前者。

四、計畫成果自評

本研究是少數能以心理物理學手段來回答視錯覺發生的生理階段的實驗，我們期許能夠追隨 Bela Julesz 在其 *Foundations of cyclopean perception*(1971)一書中所揭示的 Psychoanatomy 的精神，以心理物理學方法為知覺功能作解剖上的定位。同時本研究也是過去兩年計畫執行成果的合理延伸，我們期望這系列的研究工作在理論上有創新的貢獻。