

透明與不透明錯覺輪廓遮蔽面對於整體運動知覺的影響

黃淑麗^{1,2} 劉家揚¹ 孫華君¹ 李宏偉¹

¹ 國立政治大學心理學系

² 國立政治大學心智、大腦與學習研究中心

論文編號：06043；初稿收件：2006年9月28日；完成修正：2007年1月10日；正式接受：2007年2月10日
通訊作者：黃淑麗 11605 台北市文山區指南路二段64號 國立政治大學心理學系 (E-mail: slh@nccu.edu.tw)

根據中層次視覺理論觀點，面訊息對於整體運動知覺之處理具重要影響力，已獲許多支持證據。本研究接受此一觀點，沿用 McDermott、Weiss 及 Adelson(2001) 的實驗典範，針對遮蔽面線索之有助於形成一致運動知覺，進一步就錯覺輪廓遮蔽面及其透明性之效應加以探討。實驗一與實驗二分別以不同方式產生錯覺輪廓，結果顯示具錯覺輪廓遮蔽面可提升一致運動知覺比率，與真實輪廓遮蔽面具類似的效果，而透明錯覺輪廓所得效應低於不透明錯覺輪廓。實驗三至實驗五進一步將錯覺輪廓所得效應與其他類型輪廓作比較，並分別以不同方式操弄透明度，結果發現透明錯覺輪廓所得效應低於不透明錯覺輪廓得重覆驗證，顯示錯覺輪廓之圖形結構因素所產生的透明感，具有穩定的影響效果，然而實驗四之動態操弄透明度，只得到較小的效果，而實驗三、五以靜態深度操弄透明度，則透明性降低一致運動的假設未獲支持。對於真實輪廓操弄透明度，亦未呈現明顯的效應。綜合五個實驗的結果，初步支持中層次視覺理論觀點，然而面透明性訊息在不同情況下對於運動知覺產生不同的影響，則有待進一步探討。

關鍵詞：運動知覺、錯覺輪廓、透明性、遮蔽、中層次視覺

在人類的生存領域當中，物體運動所提供的訊息具高度的重要性。物體的整體運動知覺可由整合局部

運動訊息而得，然而局部運動訊息卻具有不確定性 (indeterminacy) 或模糊性 (ambiguity)，稱為孔眼問題 (aperture problem) (Wallach, 1935; Wuerger, Shapley, & Rubin, 1996)。孔眼問題所指稱的是，當我們只能接收到極小範圍內的運動訊息，或視神經元的接受域 (receptive field) 有其侷限的情況下，若觀察到一直線在前後兩個時間點之間產生位移，則其真正的運動速度與運動方向有無限多種可能性 (如圖一所示)。因此，在局部運動訊息已具模糊性的情況下，如何將局部訊息加以整合，而得到不模糊的 (unambiguous) 物體運動知覺，便成為運動知覺研究的重要議題。

對於此項議題的研究，以往多數傾向於單純考慮運動訊息的處理，本研究則嘗試從較為統整的角度，採用中層次 (midlevel 或 medium-level) 視覺的理論觀點，探討面 (surface) 的形成以及面的性質對於運動知覺的影響。

首先，早期的研究基於運動知覺由獨立模組 (module) 負責處理的觀點，亦即運動知覺的處理可獨立於其他方面的視覺處理，嘗試單獨從運動方面的訊息處理解答孔眼問題。這方面的研究發現，由於線段的端點 (terminators) 所提供的運動訊息不具模糊性，因此有其獨特的重要性。以理髮店錯覺 (barber-pole illusion) 為例，如圖二所示，若呈現具相同方位 (orientation) 之相互平行並規律變化的條紋，稱為光柵 (grating)，在圓形孔眼中進行運動，所產生的運動知覺為垂直於光柵方位之方向的運動，但若呈現於長方形孔眼中，由於長邊上具有較多的端點，而端點的運動可提供不模糊的局部運動訊息，因此傾向於形

成長軸方向的運動知覺 (Wallach, 1935)。此外, 近期的研究發現, 孔眼內部的線端點, 以及各種形狀孔眼內之菱形運動刺激的線端點, 亦具有類似的效果, 皆支持線端點的重要性。(Lorenceanu & Shiffrar, 1992; Vallortigara & Bressan, 1991)。

然而並非所有的端點都具有同等的重要性, Shimojo、Silverman 及 Nakayama (1989) 區分兩類線端點: 外來端點 (extrinsic terminators) 與內在端點 (intrinsic terminators)。外來端點是因遮蔽 (occlusion) 作用而形成的端點, 並非真正的端點, 而內在端點才是來自於物體本身特性的真正端點。例如圖三所示, 若一線段之真正端點為 A 與 B, 而被另一物體部份遮蔽於前, 則在視覺影像中, 線段之露出部份與被遮蔽部份的交界處, 形成端點 C 與 D, 則 C 與 D 即為遮蔽作用形成的外來端點, 而原本的端點 A 與 B 則為內在端點。Shimojo 等 (1989) 藉由操弄立體 (stereoscopic) 深度線索形成遮蔽關係, 結果發現外來端點所提供的運動訊息, 不能決定理髮店錯覺光柵運動的方向。Lidén 與 Mingolla (1998) 操弄單眼深度線索以形成遮蔽作用, 以及 Vallortigara 與 Bressan (1991) 對於光柵刺激操弄其中的遮蔽關係, 亦皆支持內在端點與外來端點的不同作用。由於遮蔽關係涉及形狀、深度等各方面有關「面」的處理, 因此, 對於孔眼問題之解決, 只單純考慮運動訊息的處理是不足的。

另一類探討孔眼問題的研究典範為格狀光柵 (plaid grating), 所使用的運動刺激, 乃將方位不同的兩個運動光柵同時呈現於一個圓形孔眼中, 靜止時為格子狀的結構, 而運動時則可產生兩種可能的運動知覺, 一為整個格狀光柵朝一個共同方向進行一致運動 (coherent motion), 另一為兩個光柵分別朝與光柵方位垂直的方向運動, 稱為成份運動 (component motion)。這類研究中有許多證據顯示, 若提供面分層 (surface segmentation) 線索, 以助於形成二光柵分別位於透明重疊的兩個面之分層, 則傾向於產生成份運動 (Lindsey & Todd, 1996; Stoner & Albright, 1996, 1998)。採用其他類似的運動刺激, McDermott、Weiss 及 Adelson (2001) 的結果亦支持面分層對於整體運動知覺的影響。由於面分層處理歷程亦屬於有關「面」的一種處理, 因此, 格狀光柵方面的研究, 亦顯示「面」處理所得訊息可影響整體運動知覺, 亦即孔眼問題之解答涉及「面」處理層次。

面 (surface) 訊息的重要性

綜觀上述理髮店錯覺以及格狀光柵兩方面的研究, 可發現有關「面」的處理所得的訊息, 對於整體

運動知覺的形成具有重要影響。亦即遮蔽線索對於理髮店錯覺的影響, 以及面分層線索對於格狀光柵之產生成份運動或一致運動的影響, 皆顯示運動知覺的處理歷程中, 必須納入面處理所得的訊息一併處理, 或是運動知覺的處理與面處理兩者之間具有互動關係。

除此之外, 亦有其他證據支持面訊息的重要性, 尤其是有關於遮蔽線索之影響運動知覺方面。例如 Tommasi 與 Vallortigara (1999) 對於呈現於圓形孔眼中的單一運動光柵, 在中央疊上靜止的長條形白色區域, 結果發現此一中央區域是否被視為遮蔽面, 可影響所形成的整體運動知覺。Anderson 與 Sinha (1997) 製作三個長方形遮蔽下的運動菱形刺激; McDermott、Weiss 及 Adelson (2001) 採用四個小菱形遮蔽下的運動菱形刺激; McDermott 與 Adelson (2004a) 則製作外框遮蔽下垂直與水平線段交叉所形成的十字型運動刺激, 皆發現具有遮蔽面線索與否, 可影響所形成的運動知覺。

基於上述的討論, 有關面處理所得訊息之影響整體運動知覺的形成, 主要的證據乃來自於遮蔽作用方面的研究。若進一步分析遮蔽線索所產生的作用, 則除了可據以區分因遮蔽關係而形成的外來端點, 更可透過非形式補整 (amodal completion) 歷程的作用, 將被遮蔽部份加以填補, 使得線或輪廓不受外來端點的限制, 而知覺成 (但未真正看到) 在遮蔽面背後延伸, 或甚至可相互加以連接, 而形成一個特定完整形狀的物體。例如具遮蔽面之運動菱形刺激的研究, 其運動的菱形物體雖然被部份遮蔽, 但是若具有遮蔽線索, 則透過非形式補整歷程, 仍可產生完整菱形在遮蔽面後運動的知覺 (Anderson & Sinha, 1997; McDermott et al., 2001)。本研究即選擇以這類現象為探討的重點。

在面的處理歷程中, 有關遮蔽線索之產生非形式補整作用, 可從局部因素的角度加以分析, 例如當二輪廓形成 T-接合 (T-junction) 時, 亦即相交之處呈現 T 字型的關係, 則顯示 T 的水平線部份為遮蔽面的輪廓, 而 T 的垂直線部份為被遮蔽面的輪廓, 因此只要偵測到 T-接合, 即發動非形式補整作用, 使得 T 的垂直線部份在遮蔽面後面加以延伸。但是 McDermott 等進行一系列的研究 (McDermott et al., 2001; McDermott & Adelson, 2004a, 2004b, 2004c), 指出局部因素的分析角度, 不能解釋所有整體運動知覺的相關現象, 因此探討非局部因素 (nonlocal factors) 之影響運動知覺的形成, 有其必要性。



非局部因素之影響

McDermott 與 Adelson (2004a) 為說明局部 T- 接合因素之不足，採用十字型的運動刺激，操弄十字部份以及作為遮蔽面之外框部份的物理亮度，以形成 T- 接合或 L- 接合 (L-junction)，由於 T- 接合相較於 L- 接合為較強的局部遮蔽線索，應預測 L- 接合將使得一致運動的比率下降，然而結果顯示，T- 接合與 L- 接合情況所得一致運動比率之差異未達顯著，因此 T- 接合之重要性未獲支持。

為確立非局部因素對於運動知覺的影響，McDermott 等 (2001) 採用 Lorenceau 與 Shiffrin (1992) 所提出的正方形或菱形的運動刺激 (如圖四) 而加以修改，控制局部的 T- 接合因素為固定，而操弄兩大類非局部因素。第一類因素的操弄針對非形式補整的可能性，例如 McDermott 等 (2001) 藉由圖形結構的變化，操弄圖形背景 (figure/ground) 結構；或在垂直條紋背景下，變化 T- 接合附近的輪廓形狀或其他圖形特性，使分別具不同程度之遮蔽可能性；或改變遮蔽面輪廓的完整度或形狀；或操弄運動線段之間是否具關聯性 (relatability)，亦即運動線段是否可連成一個完整形狀。以上的各種操弄，皆用以產生不同程度的非形式補整可能性，結果皆發現當非形式補整的可能性降低時，一致運動知覺的比率也隨之下降，顯示這些非局部因素可影響運動知覺的形成。

第二類非局部因素的操弄涉及邊界歸屬 (border ownership)，例如 McDermott 與 Adelson (2004b) 操弄輪廓線的凸度 (convexity)，藉以影響邊界歸屬之所屬區域，以形成不同的物體或面的結構關係；亦即物體的輪廓大多為外凸的形狀，因此較符合輪廓外凸之一側傾向於被視為物體，且輪廓線屬於物體。對於邊界歸屬的操弄，結果發現當邊界歸屬因素不利於形成遮蔽面，使得非形式補整難以產生，則一致運動知覺的比率也隨之下降，因此亦支持非局部因素的重要性。

基於這方面的研究結果，McDermott 與 Adelson (2004c) 進一步採用「層表徵 (layered representation)」(Wang & Adelson, 1994) 為分析工具，提出中層次視覺之理論觀點，用以解釋非局部因素的影響。

中層次視覺

McDermott 與 Adelson (2004c) 整理以往對於孔眼問題的解決方式，發現不外乎討論如何整合空間中各部位的局部運動訊息，例如使用不具模糊性之角或端點的運動訊息，以及討論如何去除錯誤的整合，或

討論 T- 接合的偵測，以及扣除 (discount) 因遮蔽作用而伴隨產生的端點運動訊息等。然而 McDermott 與 Adelson 認為這些解決方式若能正確的預測運動知覺的形成，則必須涉及形狀知覺、知覺組織、遮蔽作用與運動知覺之間的交互影響，為探討此一複雜的關係，McDermott 與 Adelson 認為層表徵為一適合的工具。層表徵所指稱的是，將視覺影像分解成數個不同深度的層，由前景至背景依序排列，對於每一層的視覺訊息，皆分別表徵其形狀、不透明度 (opacity) 以及運動訊息，此一處理層次為中層次視覺。

McDermott 與 Adelson (2004c) 並提出對於現象的「層為基 (layer-based)」解釋方式，討論如何對於視覺影像進行「層分解 (layered decompositions)」以形成層表徵，而據以解釋前述有關整體運動知覺的現象。層分解的計算類似於數學上求取反函數的情況，然而有無限多種可能的解答，故必須就所有可能解之中求得最佳解，方法是在符合視覺影像的可能解之中，就特定成本函數 (cost function) 之考量找尋成本最低的最佳解。例如物體的顏色恰好與背景相同，以致於形成在物理上不具顏色對比的錯覺邊界 (illusory edges)，此種情況在自然界出現的機率很低，因此錯覺邊界的長度即成爲一種成本函數，涉及愈長錯覺邊界的解，其成本便愈高，而不能成爲最佳解。如此，經由層分解處理所得的層表徵，即決定整體運動知覺之形成，而不同的層表徵則對應於不同的運動知覺。

McDermott 與 Adelson (2004c) 所採用的「層表徵 (layered representation)」觀點，來自於視覺影像編碼 (image coding) 研究之成果，而另一植基於心理學的視覺研究而發展的中層次視覺理論，則為「視覺面表徵 (visual surface representation)」理論 (He & Nakayama, 1994; Nakayama, He, & Shimojo, 1995; Nakayama & Shimojo, 1990, 1992)。該理論認為介於較低層次與較高層次視覺之間，存在一中層次處理，即為視覺面表徵，扮演非常重要的角色，是人類在進行各類視覺作業時，可直接提取到而加以利用的視覺訊息。面表徵的形成，乃對於視覺影像中，形狀、顏色、深度、運動等各方面的視覺線索加以處理而得。然而由視覺影像所提供的訊息，據以推論視覺環境中的面，亦面臨多重可能解的問題。面表徵理論認為，視覺系統透過非意識層次推理 (unconscious inference)，考量視網膜影像與環境中的面兩者之間，所有可能的對應關係及其機率，所形成的面表徵即為其中機率最高者。

視覺面表徵的形成，可藉由各種方式，例如對於部份被遮蔽的面，其處理歷程涉及非形式補整，亦即在視覺表徵中將被遮蔽部份加以補整而成爲完整的

面，但在視覺上並未實際看到補整的區域；而對於錯覺輪廓（illusory contour）面，亦即面的邊界在物理上不具亮度或顏色對比，而是由特定的圖形結構所誘發而形成的面，則其處理歷程同時涉及非形式補整與形式補整（modal completion）。在此，形式補整與非形式補整兩者是類似的歷程，然而形式補整的結果是視覺上真正可以看到的。就運動知覺之孔眼問題而言，則面表徵所提供的訊息，可決定整體運動知覺之形成，例如操弄深度以形成不同的面表徵，可影響理髮店錯覺所形成之運動知覺的運動方向（Shimojo et al., 1989）。

上述兩種中層次視覺理論，具有許多相似之處。就計算視覺的角度而言，對於視覺影像進行層分解，所得的最佳解稱為層表徵，而就人類視覺處理的角度而言，視覺系統對於視網膜影像進行處理，推論出具有最高可能性之環境中的面，而得面表徵，其結果並可對應於人類的視覺經驗。因此，兩理論是從不同的角度處理類似的問題，並且皆考慮自然界的特性，就機率上的考量，而尋求視覺問題之最佳可能解。兩種理論亦皆提出，藉由各種方式的操弄，以產生不同的層表徵或面表徵，可影響整體運動知覺的形成。

本研究目的

有鑑於孔眼問題的相關研究中，許多證據支持視覺面訊息的重要性（詳見上文所述），並且在理論方面，有層表徵或面表徵理論的提出，說明中層次視覺之「面」處理所得訊息，對於整體運動知覺具有決定性的重要地位，本研究接受此一觀點，並特別針對遮蔽面訊息之影響整體運動知覺，進行更深入的探討。根據中層次視覺理論，面表徵的內容為有關面的各類特性的訊息，例如面的形狀、顏色、質地(texture)、空間位置、透明度等，然而本研究所要探討的是遮蔽面所產生的效應，因此針對與面的遮蔽關係較為相關的面表徵訊息，選擇遮蔽面的輪廓類型以及透明度兩項特性加以探討。換言之，本研究的目的，在於探討遮蔽面的輪廓類型以及透明度對於整體運動知覺的影響。在輪廓類型方面，主要將比較真實輪廓與錯覺輪廓作為遮蔽面，是否產生不同的效應；在透明度方面，將比較透明的面與不透明的面作為遮蔽面，是否產生不同的效應。

根據中層次視覺理論的觀點，面表徵是決定整體運動知覺的重要因素，因此對於輪廓類型與透明度兩特性之影響整體運動知覺，可推論而得下列兩項預測。有關輪廓類型方面，面的形成可來自於真實輪廓或錯覺輪廓，在面表徵階段，兩類輪廓皆已完成了面

的處理，亦即皆已形成了面，因此應預測無論面的形成來自於真實輪廓或錯覺輪廓，應可產生相同或類似的效果，此為本研究所提出的第一項推論，簡稱為錯覺輪廓假設。有關透明度方面，由於所形成的面之具透明性或不具透明性，將影響背後的面或物體所形成的表徵，例如不透明的面對於背後的物體形成遮蔽關係，將因以產生非形式補整，而透明的面則不會產生此一作用。據此，本研究提出第二項推論，認為透明面與不透明面將對整體運動知覺產生不同的影響，簡稱為透明性假設。

為驗證上述兩項研究假設，本研究採用 McDermott 等（2001）修改自 Lorenceau 與 Shiffrar（1992）的運動菱形刺激（如圖四）為研究工具。該刺激圖形中，四條運動的線段若加以延伸並連接，可形成一個菱形。四條線段的運動方式，乃模擬完整菱形在遮蔽物之後進行圓形軌跡的運動，而其轉角處被遮蔽而不能看到。當在菱形的不完整處（即轉角處）提供遮蔽線索時，則該刺激可被知覺成菱形進行圓形軌跡的運動，稱為「一致運動」。此乃由於遮蔽線索引發非形式補整，因此四條運動線段在遮蔽面之後形成運動的菱形。若四條線段未經由非形式補整而形成菱形，則該刺激被知覺成四條線段分別進行垂直於線段方位的運動，稱為「個別運動（separate motion）」。因此，該刺激所提供的訊息可產生兩種可能的知覺，即一致運動或個別運動，而受試者的作業則為判斷知覺的結果為其中的那一種。McDermott 等（2001）已發現以真實輪廓作為遮蔽面時，可使得一致運動的比率大幅提高，若本研究提出的錯覺輪廓假設成立，應預測以錯覺輪廓作為遮蔽面，同樣可提高一致運動的比率。再者，若本研究提出的透明性假設成立，則預測透明性破壞遮蔽面的應有特性，使得非形式補整難以產生，故具透明的面作為遮蔽面，將使得一致運動提升之效應下降。

採用上述的實驗方法，本研究的實驗一與實驗二，將單純先只就錯覺輪廓類型之遮蔽面，驗證前述的兩項假設；亦即觀察錯覺輪廓遮蔽面是否亦具有提升一致運動的效應，以及面的透明性是否可使得提升一致運動的效應下降。實驗一與實驗二的刺激材料，分別以不同的方式產生錯覺輪廓。實驗一所得的錯覺輪廓具有亮度增進（brightness enhancement）的效果，亦即錯覺輪廓面較背景為亮，而實驗二的錯覺輪廓則不具亮度增進效果。兩實驗所採用的透明錯覺輪廓，乃對於傳統的錯覺輪廓圖加以修改而得，為具有霓虹顏色擴散（neon color spreading）效應的錯覺圖（van Tuijl, 1975; Ware, 1980），可產生強烈的透明感。綜合兩實驗在兩類錯覺輪廓所得的結果，可對錯

覺輪廓遮蔽面的效應，提供較為完整的驗證。實驗三至實驗五則以實驗一為基礎，嘗試比較在真實輪廓以及各種錯覺輪廓之下的遮蔽面效應，並藉由不同的方式操弄透明度，以比較不同來源所形成的透明感，對於整體運動知覺是否產生相同的效應。

相較於文獻中有關遮蔽面之影響整體運動知覺的探討，本研究的重點在於觀察透明與不透明錯覺輪廓作為遮蔽面所產生的效應，並與真實輪廓作比較，然而以往的研究則大部份只採用真實輪廓類型的遮蔽面，例如 McDermott 等（2001）以及 McDermott 與 Adelson（2004a, 2004b, 2004c）的系列研究，而只有極少數的研究涉及錯覺輪廓的探討，並且所採用的運動知覺刺激與作業亦各個不同，所涉及的視覺處理亦因之而不同，難以遽下結論。例如在運動刺激方面，Tommasi 與 Vallortigara（1999）所呈現的運動刺激為在圓形孔眼運動的單一光柵；Lidén 與 Mingolla（1998）所呈現的刺激則為理髮店錯覺，亦即在長方形孔眼中運動的單一光柵；而 Anderson 與 Sinha（1997）則呈現菱形物體在三個長方形遮蔽面之後運動的實驗刺激。再者，在上述的三個研究中，皆以不透明的錯覺輪廓為主，只有 Tommasi 與 Vallortigara（1999）其中一個實驗涉及透明的錯覺輪廓，然而其運動刺激、實驗設計以及所討論的議題，皆與本研究不同。因此，本研究所提出的議題以及所進行的實驗，與以往的研究有所不同。

本研究對於錯覺輪廓遮蔽面效應之探討，以及與真實輪廓情況作比較，在理論上有其重要意義。由於真實輪廓的邊界，在視覺物理刺激上具有亮度或顏色的對比，而錯覺輪廓的邊界乃視覺處理的結果，在物理刺激上並無相對應的邊界訊息，因此在真實輪廓所得的效應，不能直接外推於錯覺輪廓情況，對於錯覺輪廓情況另行探討有其絕對的必要性。除此之外，亦由於錯覺輪廓與真實輪廓之邊界訊息的不同，相對而言，真實輪廓可在較低層次進行較局部的處理而得，而錯覺輪廓則涉及較高層次以及較整體的處理，因此比較錯覺輪廓與真實輪廓的效應，可據以推論對於整體運動知覺產生影響的處理層次，在理論上具有重要的意義。另外，本研究對於透明度效應的探討，亦有其理論上的重要性。根據面表徵或層表徵的觀點，雖可合理的推論本研究所提出的兩項假設，然而對於人類知覺或神經生理運作而言，面的透明性訊息是否會被運動處理歷程使用或列入考量，則目前尚缺乏實徵資料，因此本研究所得結果將可在這方面具貢獻。若就較細部的理論意義而言，關於 McDermott 等（2001）以及 McDermott 與 Adelson（2004a, 2004b, 2004c）提出非局部因素對於整體運動知覺的影響，本研究設計

的錯覺輪廓遮蔽刺激，在物理層次不具有 T- 接合局部線索，故亦可視為非局部因素影響運動知覺之另一角度的驗證。總之，本研究所得結果，將可對於面表徵與層表徵觀點之應用於人類運動知覺處理，提供較為詳細的探討與驗證。

實驗一

本實驗採用 Ehrenstein 圖（1987）加以修改，在空隙中填入各種紅色十字，藉以形成透明或不透明的錯覺輪廓（參見圖五），所得錯覺輪廓具亮度增進效果。進一步以這些錯覺輪廓，作為運動菱形轉角處的遮蔽面，而觀察在這些不同的刺激圖形之下，所得的一致運動比率，藉以驗證對於整體運動知覺的形成，錯覺輪廓具有與真實輪廓相似的效果，並藉由比較透明與不透明錯覺輪廓所形成的整體運動知覺，驗證面透明性之影響。

方法

受試者。本實驗的受試者共 12 人，為政治大學與玄奘大學的大學生或研究生，年齡介於 18 至 26 歲，視力正常或矯治後正常，無色盲。

儀器設備。本實驗採用 IBM 相容個人電腦，配備 NVIDIA Geforce FX 5900 XT 顯示卡，以及 View Sonic G90F 電腦顯示幕，作為呈現實驗刺激與記錄反應的工具，並裝置下巴架，以固定受試者的觀察距離。

實驗材料。本實驗沿用 McDermott 等（2001）的刺激加以修改，共製作五種圖形（參見圖五），分為三大類。第一類圖為沒有任何遮蔽線索的控制情況（簡稱控制圖）。第二類圖以具透明感的錯覺輪廓作為遮蔽面，透明的錯覺輪廓乃採用 Ehrenstein 圖（1987）填入紅色十字的方式製得（Redies & Spillmann, 1981），為一種可產生霓虹顏色擴散效應的圖形（簡稱霓虹圖）。第三類圖則以不具透明感的錯覺輪廓作為遮蔽面，共有三種：典型的 Ehrenstein 錯覺輪廓圖（簡稱典型圖）、Ehrenstein 圖填入旋轉的紅色十字（簡稱旋轉圖）、Ehrenstein 圖填入縮短的紅色十字（簡稱縮短圖）。旋轉圖與縮短圖乃藉由將霓虹圖中的紅色十字加以縮短或旋轉，以破壞霓虹顏色擴散效應及其透明感而得（Redies & Spillmann, 1981），用以控制所得的不透明錯覺輪廓圖，仍盡可能保持與霓虹圖具有類似的組成成份。上述實驗圖形呈現於電腦顯示幕，受試者的觀察距離為 75 公分，整個圖形包括外框的長與寬為 3° 視角。

實驗設計。本實驗的獨變項為上述的五種實驗圖形，採受試者內設計，五種實驗圖形以隨機方式排定呈現次序，以平衡次序效果。實驗作業為受試者對於所呈現的運動刺激，連續判斷所知覺到的運動為一致運動或個別運動，以一致運動知覺佔總呈現時間的百分率，作為本實驗的依變項。依變項所採用的測量方式，乃為雙穩 (bi-stable) 圖形研究所常用的方法之一。由於本研究的實驗刺激在連續觀看之下，會在兩種可能的運動知覺之間變換，具有類似於雙穩圖形的特性，而若其中一種知覺較佔優勢，則會顯現於有較長的時間比率維持在該種知覺，並且優勢性愈強則所佔比率將愈高，因此適於用此一測量方法。

本實驗共分為三個區段，在區段間受試者可略作休息。每個區段皆以隨機次序呈現五種刺激圖，第一區段為練習區段，第二、第三區段為正式實驗區段，因此本實驗共有 5 個練習嘗試與 2 (區段) × 5 (刺激圖) = 10 個正式實驗嘗試。

實驗程序。受試者進入實驗室之後，首先以色盲檢測圖 (Ishihara plate) 確認受試者無色盲，接著讓受試者坐在電腦顯示幕前，並以下巴架固定觀察距離，然後開始進行實驗。首先呈現指導語，接著進行一個練習區段與兩個正式實驗區段。在每一嘗試中，受試者按鍵啟動刺激呈現後，若知覺到一致運動則立即按 [z] 鍵，而若知覺到個別運動則立即按 [j] 鍵。在呈現刺激期間，受試者必須持續觀看，並連續判斷所形成的運動知覺。每一嘗試於第一次按鍵之後，在維持相同運動知覺的期間不需按鍵，只有在變換為另一種運動知覺時，才需要再次按鍵，電腦記錄各按鍵反應的時間。在練習區段，每一嘗試呈現運動刺激 30 秒。在正式實驗區段，則每一嘗試呈現運動刺激 1 分鐘。由於初呈現刺激時，受試者無法立即判斷出產生何種運動知覺，因此呈現時間是以受試者第一次按鍵反應為起點加以計算。

作業要求受試者用快速轉換 (speed-up) 知覺的方式來進行實驗 (Meng & Tong, 2004)；亦即當受試者知覺到一致運動時，必須盡快轉換知覺為個別運動，反之亦然。如此的設計，乃由於在前導的探索性實驗中，部份受試者的意見指出，若只在刺激剛開始呈現時專心觀看，接下來不能持續其專心度，或不再持續作判斷，則往往只看成一種知覺結果而不會轉換，如此則不能反映兩種知覺動態的相對優勢性，因此採用快速轉換的方式以避免此一問題，同時亦有助於提升受試者的專心度，以便獲得較穩定的實驗結果。

結果與討論

本實驗在五種實驗圖形所得的一致運動百分率之平均數，如圖六所示。對於所得結果進行單因子變異數分析，結果顯示五種圖形間的差異達顯著的程度， $F(4, 44) = 8.51$ ， $MSE = 383.26$ ， $p < .01$ 。Tukey 事後比較顯示，控制圖所得一致運動百分率低於三種不透明錯覺輪廓遮蔽圖 (典型圖、旋轉圖、縮短圖)，差異皆達顯著， $p < .01$ ， $HSD = 21.07$ 。控制圖與霓虹圖的差異則未達顯著的程度。霓虹圖所得一致運動百分率低於三種不透明的錯覺輪廓圖，其差異亦皆達顯著程度，分別為霓虹圖低於典型圖與縮短圖： $p < .05$ ， $HSD = 17.37$ ；霓虹圖低於旋轉圖： $p < .01$ ， $HSD = 21.07$ 。

以上結果顯示，不透明的錯覺輪廓作為遮蔽面，可提升一致運動百分率，與真實輪廓所得效果類似，因此支持本研究提出的錯覺輪廓假設。結果亦發現透明的錯覺輪廓 (霓虹圖) 提升一致運動的效應未達顯著，並低於三種不透明的錯覺輪廓，差異量 (典型圖、旋轉圖與縮短圖三者的平均與霓虹圖相減) 為 23.14%，符合本研究提出的透明性假設。霓虹圖所得效應之低於旋轉圖與縮短圖，由於三種圖具有類似的圖形組成成份，因此可初步排除透明錯覺輪廓的效應降低來自於圖形成份之不同。

本實驗製作具亮度增進效果的錯覺輪廓，所得結果雖支持錯覺輪廓假設，然而四種具錯覺輪廓遮蔽面的圖形，相較於控制圖增加了許多線段，使得圖形變得相當複雜，然而此乃受限於產生錯覺輪廓的方式。實驗二則擬以另一種方式產生錯覺輪廓，可避免上述問題，而與實驗一的結果相互比較。

實驗二

實驗二的刺激圖 (參見圖七)，是藉由填入垂直的背景條紋，而將遮蔽面所在區域的條紋加以錯開、旋轉或改變顏色，以形成透明或不透明的錯覺輪廓。此種方式所得的錯覺輪廓，相較於實驗一，具有較低的亮度增進效果，而且控制圖與其餘各圖之間的差異，得到較佳的控制。實驗目的與實驗一同，乃藉由比較控制情況與各種錯覺輪廓遮蔽情況所得的一致運動比率，探討錯覺輪廓是否具有與真實輪廓相似的效應，以及透明錯覺輪廓的效應是否低於不透明的錯覺輪廓，以驗證本研究提出的錯覺輪廓假設與透明性假設，並與實驗一的結果加以比較。

方法

受試者。本實驗的受試者共7名，條件與實驗一同。

儀器設備。同實驗一

實驗材料。本實驗製作的圖形與實驗一類似（參見圖七），但是以不同的方式形成錯覺輪廓。所有的圖皆填入垂直的背景條紋，刺激圖形分為三大類，第一類圖為沒有任何遮蔽線索的控制情況（簡稱控制圖）；第二類圖為透明錯覺輪廓遮蔽情況，將遮蔽面所在區域的垂直線條換成紅色，以形成透明的錯覺輪廓，並可產生霓虹顏色擴散效應（簡稱霓虹圖）；第三類圖為不透明錯覺輪廓遮蔽情況，包括四種圖形：典型圖、旋轉圖、縮短圖與錯開圖。典型圖將遮蔽面所在的黑色條紋加以錯開，以形成不具透明感的典型錯覺輪廓作為遮蔽面；旋轉圖、縮短圖與錯開圖則將霓虹圖加以修改，改變遮蔽面區域內紅色線條的方位製得旋轉圖，將紅色線條縮短製得縮短圖，將遮蔽面區域內紅色線條的位置作水平方向平移製得錯開圖，此三圖皆盡可能保留霓虹圖的組成成份及特性，而以不同方式破壞霓虹顏色擴散效應及其透明感，以得相對應的不透明錯覺輪廓。

實驗設計。本實驗的獨變項為六種實驗圖形，每區段皆以隨機次序呈現六種圖形各一次，其餘皆與實驗一同。

實驗程序。同實驗一。

結果與討論

本實驗在六種實驗圖形所得的一致運動百分率之平均數，如圖八所示。對於所得結果進行單因子變異數分析，結果顯示六種圖形間的差異達顯著的程度， $F(5, 30) = 29.71$ ， $MSE = 152.91$ ， $p < .01$ 。Tukey 事後比較顯示，控制圖所得一致運動百分率低於其餘五種圖，差異皆達顯著的程度， $p < .01$ ， $HSD = 18.05$ 。霓虹圖所得一致運動百分率低於四種不透明錯覺輪廓圖之差異亦皆達顯著，分別為霓虹圖低於典型圖： $p < .05$ ， $HSD = 13.45$ ；霓虹圖低於旋轉圖、縮短圖與錯開圖： $p < .01$ ， $HSD = 18.05$ 。

基於以上結果，本實驗亦得錯覺輪廓作為遮蔽面可提升一致運動比率，支持錯覺輪廓假設；且具透明感之霓虹圖提升一致運動的效應較低，差異量（典型圖、旋轉圖、縮短圖與錯開圖四者的平均與霓虹圖相減）為31.64%，支持透明性假設。因此實驗二製作減低亮度增進的錯覺輪廓作為遮蔽面，重覆驗證了實驗一所得的主要結果。由於實驗二只對於控制圖原本

的背景圖案作變化，相較於實驗一誘發錯覺輪廓的方式，必須就控制圖在背景中增加線條，則實驗二的操弄有更為嚴謹的控制，因此得重覆驗證有其重要意義。

兩實驗所得結果只在細節處有一項差異，即為實驗一的霓虹圖所得一致運動百分率高於控制圖，但是未達顯著，而在實驗二則達到顯著的程度。造成此一差異的原因，固可能源自於兩實驗之受試者的差異，然而亦可能由於兩實驗的實驗刺激在多方面的不同所致，例如實驗一的背景不具質地，而實驗二則以垂直條紋為背景圖案，以及兩實驗產生錯覺輪廓的方式不同，所達到的控制程度亦不同。

實驗三

實驗一與實驗二用兩種方式製作錯覺輪廓，所得結果一致支持錯覺輪廓假設；亦即錯覺輪廓作為遮蔽面可提升一致運動的比率，與真實輪廓具有類似的效應。實驗一與實驗二的結果亦一致支持透明性假設，即透明錯覺輪廓提升一致運動比率的效應較不透明錯覺輪廓為低。因此透明與不透明錯覺輪廓之影響整體運動知覺的現象，於此得以確立。

然而透明性假設乃基於層表徵或面表徵理論作推論，應可廣泛地適用於各種類型的面，雖然實驗一與實驗二在錯覺輪廓情況下得到支持，但在真實輪廓是否亦有類似的效應，則須另行加以驗證。因此本實驗進一步就真實輪廓與錯覺輪廓兩種面，探討透明性假設是否皆可成立。為便於就兩種輪廓作比較，本實驗設計以實驗一的錯覺輪廓圖為基礎加以修改，在錯覺輪廓範圍填入與背景不同而與霓虹顏色擴散類似的淡紅色，以形成真實輪廓。為突顯透明的效果，除了與實驗一相同之2D平面呈現方式，亦設計提供雙眼像差深度之3D立體呈現方式。未選用實驗二類型的圖形，乃由於在具3D立體深度之下，背景條紋的深度會產生複雜的不穩定現象，因此選用實驗一的圖形加以修改。

方法

受試者。本實驗的受試者共10名，具正常的立體深度知覺，其餘條件與實驗一同。

實驗材料。本實驗取實驗一的霓虹圖與旋轉圖（參見圖五）為基本圖形而加以修改。如圖九所示，在本實驗中，以霓虹圖作為透明錯覺輪廓情況的刺激圖，以旋轉圖作為不透明錯覺輪廓情況的刺激圖。對於霓虹圖與旋轉圖，以紅色十字為直徑定出圓形範

圍，亦即錯覺輪廓區域，在其中填入淡紅色，經 Photo Research PR-650 色度計加以測量，色彩值為 $u' = .22$ ， $v' = .44$ ，亮度值為 79.22 cd/m^2 ，紅色線段的色彩值相同，而亮度值為 24.45 cd/m^2 ，以此方式得到透明與不透明真實輪廓的刺激圖。以上述四種圖為基礎，製作左眼圖與右眼圖成對的立體圖 (stereogram)。本實驗在深度上設計兩種情況，2D 情況呈現的立體圖為左眼圖與右眼圖完全相同，而 3D 情況所呈現的立體圖，則作為遮蔽面的錯覺輪廓或真實輪廓區域，相較於其他部份為正像差，可產生錯覺輪廓或真實輪廓浮出於前的立體深度效果。以上述方式，本實驗共製得 8 對立體圖。

實驗設計。本實驗採完全受試者內設計，獨變項有三：「輪廓」變項包括錯覺輪廓、真實輪廓情況；「透明度」變項包括透明、不透明情況；「深度」變項包括 2D、3D 情況。因此本實驗共得 2 (輪廓) \times 2 (透明度) \times 2 (深度) = 8 種實驗情況，每一受試者須接受所有 8 種實驗情況。依變項為一致運動知覺的百分率，測量方式與實驗一同。實驗分為一個練習區段與兩個正式實驗區段，各區段對於 8 種實驗情況各有一次嘗試，安排方式亦與實驗一同。

實驗程序。本實驗程序亦與實驗一類似，但由於進行雙眼像差深度的操弄，因此受試者必須先接受觀看立體圖的訓練。首先，受試者坐在觀察箱前，調整下巴架的高度以固定眼睛的位置，使其符合觀察箱的觀察孔，並調整立體鏡，以使得左眼只看到左眼圖，而右眼只看到右眼圖，受試者必須將左眼圖與右眼圖加以融合 (fusion)，以形成立體深度知覺。通過立體深度知覺的訓練與測試之後，接著進行一個練習區段與兩個正式實驗區段的運動知覺判斷作業，與實驗一同。

結果與討論

本實驗在各情況所得的一致運動百分率之平均數，如圖十所示。對於結果進行受試者內三因子變異數分析，顯示輪廓變項的主要效果達顯著， $F(1, 9) = 30.36$ ， $MSE = 279.25$ ， $p < .01$ ；透明度變項的主要效果亦達顯著， $F(1, 9) = 25.29$ ， $MSE = 193.13$ ， $p < .01$ ；深度變項的主要效果亦達顯著， $F(1, 9) = 10.96$ ， $MSE = 484.92$ ， $p < .01$ 。另外，輪廓變項與透明度變項的交互作用亦達顯著， $F(1, 9) = 6.53$ ， $MSE = 274.53$ ， $p < .05$ 。其他的交互作用則未達顯著。

本實驗所得透明情況低於不透明情況的主要效果達顯著，進一步支持透明性假設，然而輪廓與透明度兩變項的交互作用亦達顯著，如圖十一所示，顯示在

錯覺輪廓情況下具明顯的透明度效果 (差異量為 25.10%)，與實驗一以及實驗二的結果相符，而在真實輪廓情況下則未有明顯的透明度效果。另外，雖然錯覺輪廓情況低於真實情況的主要效果達顯著，然而若考慮輪廓與透明度的交互作用，則可發現在透明情況下，錯覺輪廓情況與真實輪廓情況具有較大的差異，而在不透明情況下則兩者的差異較小。因此，綜合而言，主要的發現為透明的錯覺輪廓所得效應低於不透明的錯覺輪廓以及真實輪廓。

本實驗所設計的深度變項，試圖藉 3D 呈現方式增加透明情況的透明度，預期透明情況所得的一致運動比率，應以 3D 呈現低於 2D 呈現，然而實驗結果與此預測不符 (參見圖十一)。再者，由於 3D 呈現增加透明情況的透明度，而不透明情況的透明度應不受影響，因此預期 3D 呈現所得的透明度效應 (亦即透明情況之一致運動比率低於不透明情況之差異量)，應大於 2D 呈現情況，亦即應預測深度與透明度兩變項具交互作用。但是在本實驗的結果中，上述的交互作用並未達顯著，只得 3D 呈現情況所得一致運動比率高於 2D 呈現情況，此一主要效果達顯著，顯示 3D 呈現由於在深度上有助於遮蔽面與其餘部份的面分層，因此整體而言產生較高的一致運動比率，然而就上述對於深度操弄影響透明度效應所作的預測而言，則並未能獲得支持。若考慮圖形結構因素所產生的透明感，透明錯覺輪廓 (霓虹圖) 與不透明錯覺輪廓之差異，在實驗一至實驗三皆得穩定的效果，則可推論對於本研究所探討的運動知覺而言，以深度方式操弄透明度所產生的影響，明顯地低於圖形結構因素操弄的效果。

實驗四

本實驗改以動態方式操弄透明度，並由於實驗三在真實輪廓與錯覺輪廓得不同的透明度效果，因此本實驗亦操弄輪廓類型，藉以比較不同輪廓類型下的透明度效果是否有所不同。

方法

受試者。本實驗的受試者共 10 名，條件與實驗三同。

實驗材料。本實驗製作四種不同輪廓類型的遮蔽面 (參見圖十二)，圖形的背景皆為白色。取實驗一的霓虹圖為透明錯覺輪廓情況，取實驗一的典型圖為不透明錯覺輪廓情況，另設計以灰色菱形遮蔽面為真實輪廓情況，而以操弄隨機點雙眼像差的方式，形成

由深度所界定的菱形遮蔽面，稱為隨機點深度輪廓情況。對於上述四種輪廓，皆加上由左向右運動的隨機點，以動態的方式進一步操弄透明度，共得三種情況，第一種為透明情況，動態的隨機點在最遠處運動，穿過遮蔽面區域時以透明重疊方式呈現；第二種為不透明情況，動態的隨機點亦在最遠處運動，觸及遮蔽面左側邊緣時消失不見，到右側邊界處才又重新出現；第三種為控制情況，動態的隨機點在最近處運動，因此不會改變四種輪廓未加動態隨機點前的透明度，以作為比較之用。以上述方式，本實驗共製得 12 組刺激圖。

實驗設計。本實驗採完全受試者內設計，獨變項有二：「輪廓」變項包括真實輪廓、隨機點深度輪廓、不透明錯覺輪廓、透明錯覺輪廓情況；「透明度」變項包括透明、不透明、控制情況。因此本實驗共得 4（輪廓）× 3（透明度）= 12 種實驗情況，每一受試者須接受所有 12 種實驗情況。依變項亦為一致運動知覺的百分率，測量方式與實驗一同。實驗亦分為一個練習區段與兩個正式實驗區段，各區段對於 12 種實驗情況各有一次嘗試，安排方式亦與實驗一同。

實驗程序。本實驗程序與實驗三同。

結果與討論

本實驗在各情況所得的一致運動百分率之平均數，如圖十三所示。對於結果進行受試者內二因子變異數分析，顯示輪廓變項的主要效果達顯著， $F(3, 27) = 67.98$ ， $MSE = 213.80$ ， $p < .01$ ；透明度變項的主要效果亦達顯著， $F(2, 18) = 9.91$ ， $MSE = 68.01$ ， $p < .01$ ；輪廓變項與透明度變項的交互作用亦達顯著， $F(6, 54) = 3.42$ ， $MSE = 85.59$ ， $p < .01$ 。

輪廓變項的四種情況中，以真實輪廓情況所得平均數為最高（72.61%），隨機點深度輪廓次之（52.46%），不透明錯覺輪廓再次之（43.57%），而以透明錯覺輪廓所得結果為最低（19.50%）。對於四種輪廓進行 Tukey 事後比較，結果顯示只有隨機點深度輪廓與不透明錯覺輪廓之差異未達顯著，其餘的兩兩比較皆達顯著的程度， $p < .05$ ， $HSD = 17.89$ 。

透明度變項的三種情況中，以透明情況所得結果（42.53%）低於不透明情況（48.00%），亦低於控制情況（50.57%），但是 Tukey 事後比較顯示差異皆未達顯著。然而透明度變項與輪廓變項的交互作用亦達顯著，若檢視圖十三所示的結果，可發現透明度變項在真實輪廓情況下不具明顯的效果，與其他三種輪廓情況有所不同。因此進一步單就每一種輪廓下的三種透明度情況，進行 Tukey 事後比較，結果顯示只有不透明

錯覺輪廓下的透明情況（33.13%）低於不透明情況（51.90%）達顯著， $p < .05$ ， $HSD = 16.26$ 。其餘輪廓類型的三種透明度情況之間的差異，皆未達顯著。

基於以上的分析，本實驗以動態隨機點運動的方式操弄透明度，所得透明度變項的主要效果達顯著，支持本研究的透明性假設。然而事後比較的結果，只有一項差異達顯著，即不透明錯覺輪廓之透明情況低於不透明情況，並且三種透明度情況之間的差異量亦不大，顯示此一透明度操弄對於運動知覺，只在某些情況下（例如不透明的錯覺輪廓）造成微量的影響。

若比較本實驗與前三個實驗的結果，透明度在真實輪廓情況下不具明顯效果，與實驗三所得結果一致，顯示在輪廓線索較強的真實輪廓情況，雖然提供面透明的線索，亦不能降低一致運動知覺的比率。本實驗結果亦再度重覆驗證透明錯覺輪廓所得一致運動比率低於不透明錯覺輪廓，兩情況的差異量為 24.07%，比較實驗一、實驗三採用類似的錯覺輪廓，所得差異量為 23.14% 與 25.10%，以及實驗二採用不同的錯覺輪廓，所得差異量為 31.64%，可發現此一現象非常穩定。相較而言，本實驗以動態方式操弄透明度，則差異量明顯的地較低。

實驗五

實驗一至實驗四的結果顯示，就影響運動知覺而言，不同的透明度操弄方式可產生不同的效果。在實驗一至實驗四中，圖形結構因素的影響效果穩定的顯現，實驗三以靜態深度操弄方式未顯現理論預測的透明度效果，而實驗四的動態隨機點操弄則顯現微量效果。由於實驗三與實驗四在操弄方式上有兩項差異，其一為靜態與動態的不同，另一差異為實驗三的遮蔽面與背景皆未具有質地，而實驗四則具有隨機點為其質地，因此本實驗將保留實驗四的隨機點質地，但將其變更為靜態的方式，亦即對於遮蔽面區域與背景區域所填入的隨機點，只操弄其雙眼像差深度，以產生透明與不透明情況，藉以比較動態因素與質地因素的重要性，此為本實驗的目的所在。並由於實驗四的刺激圖過多，易造成受試者的疲勞，因此本實驗在輪廓類型方面只選用透明與不透明的錯覺輪廓，此乃基於實驗三與實驗四的結果，皆顯示真實輪廓情況不具明顯的透明度效應，以及隨機點深度輪廓與本實驗的操弄互相抵觸，因此不加以選用。

方法

受試者。本實驗的受試者共 10 名，條件與實驗

三同。

實驗材料。本實驗採用實驗四的透明錯覺輪廓情況與不透明錯覺輪廓情況兩類輪廓（參見圖十二），而將其改為靜態呈現。對於所填入的隨機點，操弄其雙眼像差深度，分為三種情況。第一種為透明情況，所有的隨機點皆給與負像差，因此在錯覺輪廓遮蔽面區域可看到較遠處的隨機點，因以產生透明感；第二種為不透明情況，遮蔽面區域的隨機點給與零像差，亦即與錯覺輪廓遮蔽面具有相同的深度，而對於其餘區域的隨機點則給與負像差，以形成最遠處的背景；第三種為控制情況，不填入任何隨機點，以作為比較之用。以上述方式，本實驗共製得 6 組刺激圖。

實驗設計。本實驗採完全受試者內設計，獨變項有二：「輪廓」變項包括不透明錯覺輪廓、透明錯覺輪廓情況；「透明度」變項包括透明、不透明、控制情況。因此本實驗共得 2（輪廓）× 3（透明度）= 6 種實驗情況，每一受試者須接受所有 6 種實驗情況。其餘與實驗三同。

實驗程序。本實驗程序與實驗三同。

結果與討論

本實驗在各情況所得的一致運動百分率之平均數，如圖十四所示。對於結果進行受試者內二因子變異數分析，顯示只有輪廓變項的主要效果達顯著， $F(1, 9) = 16.67$ ， $MSE = 384.23$ ， $p < .01$ ；透明度變項的主要效果以及兩變項的交互作用，皆未達顯著。透明錯覺輪廓情況（29.16%）低於不透明錯覺輪廓情況（49.82%），差異量為 20.66%，符合前四個實驗所得結果。然而本實驗另設計以隨機點深度操弄透明度，則所得一致運動比率未能顯現其效果。因此本實驗的靜態深度操弄與實驗三的深度操弄，皆未能顯現理論預測的透明度效果，與實驗四之動態操弄所得效果有所不同。

綜合討論

綜合本研究的五個實驗，實驗一與實驗二的結果，得錯覺輪廓遮蔽面亦可提升一致運動知覺的比率，與真實輪廓所得的效果類似，支持本研究提出的錯覺輪廓假設。五個實驗亦一致的得到，透明錯覺輪廓情況所得一致運動比率低於不透明錯覺輪廓情況，且實驗一與實驗二皆藉由控制圖形組成成份，以排除所得差異來自於局部圖形成份（例如紅色線條）之不同所致，因此，在錯覺輪廓情況下以不同的圖形結構操弄透明度，所得結果支持本研究提出的透明

性假設。

然而進一步在不同類型的輪廓下觀察透明度效應，並嘗試以不同的方式操弄透明度，結果顯示在真實輪廓下，實驗三的深度操弄所得結果，與基於透明度應得的理論預測不符，而實驗四的動態運動訊息操弄，則未能影響一致運動的比率；就錯覺輪廓而言，圖形結構操弄所得的效果最強（實驗一至實驗五），動態運動訊息操弄只顯現微量效果（實驗四），而靜態的深度操弄，在實驗三所得結果與預測不符，而實驗五則未顯現效果。基於上述整理，本研究的結果顯示，面的透明度對於整體運動知覺的影響，以錯覺輪廓情況下產生較大的效果，真實輪廓下則不具有明顯的效果，並且不同方式產生的透明性具有不同的效果。以下分別就不同方面，進一步討論本研究結果的意涵。

錯覺輪廓與真實輪廓

本研究以錯覺輪廓作為遮蔽面，所得影響整體運動知覺的效果與真實輪廓類似，與 Anderson 與 Sinha（1997）在類似於本研究的運動菱形刺激所得結果相符，亦與 Tommasi 與 Vallortigara（1999）在單一運動光柵中給與遮蔽面，以及 Lidén 與 Mingolla（1998）對於理髮店錯覺刺激給與遮蔽面，所得結果相符。另外，無論是理髮店錯覺或格狀光柵現象，皆可採用線段端點所形成的錯覺輪廓加以製作，亦產生類似的運動知覺效果（Gurnsey & von Grunau, 1997; Sinha, 1996; Vallortigara & Bressan, 1991; Wuerger et al., 1996），亦為支持錯覺輪廓與真實輪廓對於運動知覺具有類似作用的佐證。因此，綜合本研究以及先前研究的結果，就運動知覺而言，錯覺輪廓所提供的遮蔽訊息，具有與真實輪廓類似的效果，顯示錯覺輪廓訊息亦可被運動知覺處理所使用。

透明性的影響

透明性非由單一特徵所決定，與亮度方面的 Metelli 定律、相對深度、運動訊息以及圖形結構等皆有關（Beck & Ivry, 1988; Metelli, 1974, 1985; Nakayama, Shimojo, & Ramachandran, 1990），並可能在視覺處理的早期階段即進行處理，亦即透明的重疊面可快速加以解離（decomposition），而能影響諸如視覺搜尋（visual search）作業、McCollough 效應或辨識作業的表現（例如 Mitsudo, 2003; Watanabe & Cavanagh, 1993; Wolfe, Birnkrant, Kunar, & Horowitz, 2005）。

有關面透明性對於運動知覺的影響，先前的研究以格狀光柵方面探討較多，主要的發現為，當二光柵符合透明重疊關係時，由於可解離成兩個面，因而較傾向於被知覺為成份運動（例如 Lindsey & Todd, 1996; Stoner & Albright, 1993）。但是本研究採用的運動刺激，涉及遮蔽面引發非形式補整而形成封閉且規則的形狀，進而有助於產生一致運動知覺，與格狀光柵所涉及的處理歷程有所不同。因此，就本研究的運動刺激而言，遮蔽面區域與運動線段兩者之間是否形成面的解離或面分層，固然是一項重要影響因素，然而遮蔽面應具有不透明的特性更具重要性，若為透明的面，視覺影像中應具有背後物體形狀的訊息，不須進行非形式補整之填補（filling-in）歷程。本研究就這方面所提出的透明性假設，只得到部份的支持，亦即在部份的透明情況得到一致運動比率降低的效果，然而在真實輪廓情況以及靜態深度操弄方面，則未能顯現所預測的效果。

如前所述，本研究運用不同的透明度操弄方式，所得效應分別不同。在相同的圖形結構之下，以動態的隨機點運動（實驗四）或靜態的隨機點深度（實驗五）操弄透明度，所得結果顯示只有在動態方式下可產生透明度效應，此一結果與 Wolfe 等（2005）相符，該研究亦發現靜態情況下透明度不能影響視覺搜尋作業的表現，而在動態情況下則可產生效果。然而本研究在錯覺輪廓情況下，發現靜態的圖形結構因素所形成的透明性，對於運動知覺產生穩定而明顯的影響，顯示圖形結構因素的重要性。若參考 Beck 與 Ivry（1988）發現圖形結構因素對於透明感具強大影響力，甚至可凌駕亮度方面 Metelli 定律的限制，以及 Ekroll 與 Faul（2002）提出霓虹顏色擴散圖之透明性符合外推的 Metelli 定律，則本研究選用霓虹圖作為透明的錯覺輪廓，具有多方面且有力的透明線索，可能即因之而使得圖形結構因素所造成的透明性，呈現穩定而明顯的透明度效應。

中層次視覺理論意涵

本研究根據中層次視覺理論推論所得之錯覺輪廓假設，得到實驗結果的支持，然而透明性假設則只得到部份的支持，以下即分別就這兩方面，進一步討論其理論意涵。

在錯覺輪廓情況，本研究呈現的運動刺激，就物理層面而言，並未提供局部的 T- 接合單眼遮蔽線索，因此必須經由面處理之形式補整歷程，於形成錯覺輪廓之後，才可獲得遮蔽面與運動線段的遮蔽關係，因此若運動處理只能使用低層次視覺處理所得的

局部特徵訊息，應預測錯覺輪廓作為遮蔽面應不具效果，然而本研所得結果，卻發現錯覺輪廓亦具有與真實輪廓類似的效果，因此不支持運動處理只能使用低層次視覺處理所得訊息。此一論點與 McDermott 與 Adelson（2004a, 2004b, 2004c）的推論方式類似，但是 McDermott 與 Adelson 的系列研究偏重於控制 T- 接合因素保持固定，而本研究則在視覺物理刺激中將 T- 接合加以移除，因此提供相互的佐證。

本研究在錯覺輪廓所得的結果，除了不支持局部特徵訊息的重要性，更重要的是該結果符合中層次理論的預測，亦即面處理所得訊息可為運動處理所使用，因此面處理所得之錯覺輪廓面，便具有與真實輪廓類似的效果。

在透明性方面，就中層次視覺理論的觀點，無論面表徵或層表徵皆將透明性納入為其所表徵的屬性（attributes）之一，因此應推論若運動知覺處理使用此一中層次訊息，則面的透明性亦應對運動知覺造成影響。然而如前所述，本研所得結果只在錯覺輪廓下支持透明性的效果，在真實輪廓下則未得支持，並且靜態深度的透明度操弄亦未能顯現所預測的效果，因此中層次的透明性訊息，在不同情況下可能有其不同的被使用方式，有待後續研究進一步加以釐清。

神經生理意涵

就運動知覺方面的視覺處理而言，視覺影像特徵所提供的運動訊息，例如與光柵方位垂直的成份運動，在視覺第一區（V1）即可發現對應的神經反應，然而較高層次的運動知覺，例如格狀光柵的一致運動，或涉及面處理的運動知覺，則與中顳葉視覺區（middle temporal visual area, MT）有關（Duncan, Albright, & Stoner, 2000; Movshon, Adelson, Gizzi, & Newsome, 1985; Rodman & Albright, 1989; Stoner & Albright, 1993）。本研究操弄面的特性而得以影響運動知覺，所涉及的神經生理基礎，應在 MT 層次或甚至更高層次。MT 可接受直接來自於 V1 的輸入，亦可接受 V1 投射到 V2 再投射到 MT 的輸入（Horton & Sincich, 2004）。這兩類投射方式是否具有不同的功能與特性，在目前文獻中尚未有討論。

有關於面的處理，von der Heydt、Peterhans 及 Baumgartner（1984）發現 V1 的神經細胞對於真實輪廓的方位具選擇性，但是不能對錯覺輪廓反應，而 V2 細胞則可對錯覺輪廓的方位具選擇性，故推論錯覺輪廓的處理應在 V2 層次。Zhou、Friedman 及 von der Heydt（2000）則發現 V2 細胞即可表現與邊界歸屬關聯的神經反應。由於錯覺輪廓的形成與邊界歸屬

的處理兩者，皆與面形成（surface formation）有關，因此推論 V2 與面表徵處理有關是合理的。若據此加以推測，面表徵訊息（例如遮蔽關係、透明度）之影響運動知覺的形成，應與 V2 到 MT 的投射路徑有關。然而本研究發現面透明性對於運動知覺的影響，在錯覺輪廓情況下較為明顯，真實輪廓情況則不具明顯效果，由於 V1 層次即可處理真實輪廓，而面透明性的處理應在 V2 或更高層次，因此有可能真實輪廓情況之不具明顯透明度效果，與 V1 直接投射於 MT 的路徑有關。但是此一推論只慮及前饋（feed-forward）路徑，另一可能性為前饋與回饋（feed-back）的交互互動（reciprocal interactions），以及形狀或面的處理與運動處理的交互互動（例如 Anderson & Sinha, 1997; Nakayama & Shimojo, 1990; Watanabe, 1997），則將涉及更為複雜的連結關係，以及可能包括更大範圍的腦部位參與，例如大腦視覺皮質之背側通道（dorsal pathway）與腹側通道（ventral pathway）的諸多區域，然而目前在這方面，尚缺乏足夠的神經生理證據以作為推論的基礎。

結論

本研究針對整體運動知覺之形成，根據中層次視覺理論之觀點，認為面處理所得訊息，是影響運動知覺處理的重要因素，基於五個實驗的結果，錯覺輪廓對於運動知覺的影響與真實輪廓具類似的效應，支持中層次視覺理論，然而操弄面透明性所得的效果則較為紛歧，有待進一步釐清。

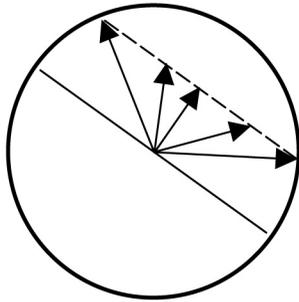
參考文獻

- Anderson, B. L., & Sinha, P. (1997). Reciprocal interactions between occlusion and motion computations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *94*, 3477-3480.
- Beck, J., & Ivry, R. (1988). On the role of figural organization in perceptual transparency. *Perception and Psychophysics*, *44*, 585-594.
- Duncan, R. O., Albright, T. D. & Stoner, G. R. (2000). Occlusion and the interpretation of visual motion: Perceptual and neuronal effects of context. *The Journal of Neuroscience*, *20*, 5855-5897.
- Ehrenstein, W. (1987). Modifications of the brightness phenomenon of L. Hermann. In S. Petry & G. E. Meyer (Eds.), *The perception of illusory contours* (pp. 35-39). New York: Springer-Verlag.
- Ekroll, V., & Faul, F. (2002). Perceptual transparency in neon color spreading displays. *Perception and Psychophysics*, *64*, 945-955.
- Gurnsey, R., & von Grunau, M. (1997). Illusory contour-motion arising from translating terminators. *Vision Research*, *37*, 1007-1024.
- He, Z. J., & Nakayama, K. (1994). Perceiving Textures: Beyond Filtering. *Vision Research*, *34*, 151-162.
- Horton, J. C., & Sincich, L. C. (2004). A new foundation for the visual cortical hierarchy. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (3rd ed.) (pp. 233-243). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Lidén, L., & Mingolla, E. (1998). Monocular occlusion cues alter the influence of terminator motion in the barber pole phenomenon. *Vision Research*, *38*, 3883-3898.
- Lindsey, D. T., & Todd, J. T. (1996). On the relative contributions of motion energy and transparency to the perception of moving plaids. *Vision Research*, *36*, 207-222.
- Lorenceau, J., & Shiffrar, M. (1992). The influence of terminators on motion integration across space. *Vision Research*, *32*, 263-273.
- McDermott, J., & Adelson, E. H. (2004a). Junctions and cost functions in motion interpretation. *Journal of Vision*, *4*, 552-563.
- McDermott, J., & Adelson, E. H. (2004b). The geometry of the occluding contour and its effect on motion interpretation. *Journal of Vision*, *4*, 944-954.
- McDermott, J., & Adelson, E. H. (2004c). Motion perception and midlevel vision. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (3rd ed.) (pp. 369-383). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- McDermott, J., Weiss, Y., & Adelson, E. H. (2001). Beyond junctions: Nonlocal form constraints on motion interpretation. *Perception*, *30*, 905-923.
- Meng, M., & Tong, F. (2004). Can attention selectively bias bistable perception? Differences between binocular rivalry and ambiguous figures. *Journal of Vision*, *4*, 539-551.
- Metelli, F. (1974). The perception of transparency. *Scientific American*, *230*, 91-95.
- Metelli, F. (1985). Stimulation and perception of transparency. *Psychological Research*, *47*, 185-202.
- Mitsudo, H. (2003). Information regarding structure and

- lightness based on phenomenal transparency influences the efficiency of visual search. *Perception*, 32, 53-66.
- Movshon, J. A., Adelson, E. H., Gizzi, M., & Newsome, W. T. (1985). The analysis of moving visual patterns. In C. Chagas, R. Gattass, & C. G. Gross (Eds.), *Study group on pattern recognition mechanisms*. Vatican City: Pontifica Academia Scientiarum.
- Nakayama, K., He, Z., & Shimojo, S. (1995). Visual surface representation: A critical link between lower-level and higher-level vision. In S. M. Kosslyn & D. N. Osherson (Eds.), *Visual Cognition: An invitation to cognitive science* (2nd ed.) (pp. 1-70). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Nakayama, K., & Shimojo, S. (1990). Toward a neural understanding of visual surface representation. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 40, 911-924.
- Nakayama, K., & Shimojo, S. (1992). Experiencing and perceiving visual surfaces. *Science*, 257, 1357-1363.
- Nakayama, K., Shimojo, S., & Ramachandran, V. S. (1990). Transparency: Relation to depth, subjective contours and neon color spreading. *Perception*, 19, 497-513.
- Redies, C., & Spillmann, L. (1981). The neon color effect in the Ehrenstein illusion. *Perception*, 10, 667-681.
- Rodman, H. R., & Albright, T. D. (1989). Single-unit analysis of pattern-motion selective properties in the middle temporal visual area (MT). *Experimental Brain Research*, 75, 53-64.
- Shimojo, S., Silverman, G. H., & Nakayama, K. (1989). Occlusion and the solution to the aperture problem for motion. *Vision Research*, 29, 619-626.
- Sinha, P. (1996). Short communication. *Vision Research*, 36, 3661-3665.
- Stoner, G. R., & Albright, T. D. (1993). Image segmentation cues in motion processing: Implications for modularity in vision. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 129-149.
- Stoner, G. R., & Albright, T. D. (1996). The interpretation of visual motion: Evidence for surface segmentation mechanisms. *Vision Research*, 36, 1291-1310.
- Stoner, G. R., & Albright, T. D. (1998). Luminance contrast affects motion coherency in plaid patterns by action as a depth-from-occlusion cue. *Vision Research*, 38, 387-401.
- Tommasi, L., & Vallortigara, G. (1999). Figure ground segregation modulates perceived direction of ambiguous moving gratings and plaids. *Vision Research*, 39, 777-787.
- Vallortigara, G., & Bressan, P. (1991). Occlusion and the perception of coherent motion. *Vision Research*, 31, 1967-1978.
- van Tuijl, H. F. J. M. (1975). A new visual illusion: Neonlike color spreading and complementary color induction between subjective contours. *Acta Psychologica*, 39, 441-445.
- von der Heydt, R., Peterhans, E., & Baumgartner, G. (1984). Illusory contours and cortical neuron responses. *Science*, 224, 1260-1262.
- Wallach, H. (1935). Über visuell wahrgenommene Bewegungsrichtung. *Psychologische Forschung*, 20, 325-380.
- Wang, J. Y. A., & Adelson, E. H. (1994). Representing moving images with layers. In *IEEE Transactions on Image Processing Special Issue*, 3, 625-638.
- Ware, C. (1980). Coloured illusory triangles due to assimilation. *Perception*, 9, 103-107.
- Watanabe, T. (1997). Velocity decomposition and surface decomposition: Reciprocal interactions between motion and form processing. *Vision Research*, 37, 2879-2889.
- Watanabe, T., & Cavanagh, P. (1993). Surface decomposition accompanying the perception of transparency. *Spatial Vision*, 7, 95-111.
- Wolfe, J. M., Birnkrant, R. S., Kunar, M. A., & Horowitz, T. S. (2005). Visual search for transparency and opacity: Attentional guidance by cue combination? *Journal of Vision*, 5, 257-274.
- Wuerger, S., Shapley, R., & Rubin, N. (1996). "On the visually perceived direction of motion" by Hans Wallach: 60 years later. *Perception*, 25, 1317-1367.
- Zhou, H., Friedman, H. S., & von der Heydt, R. (2000). Coding of border ownership in monkey visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 20, 6594-6611.

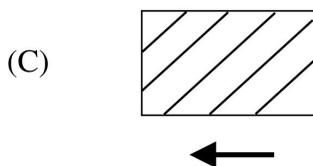
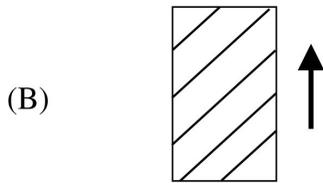
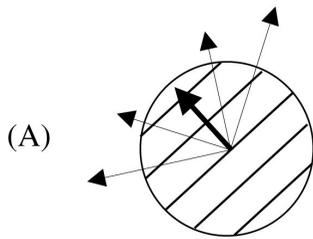
圖一：孔眼問題。

透過圓形孔眼觀察一條直線的運動，所得的局部訊息具有模糊性，其真正的運動方向與運動速度具有無限多種可能性，圖中箭頭所示即為可能方向之數例。



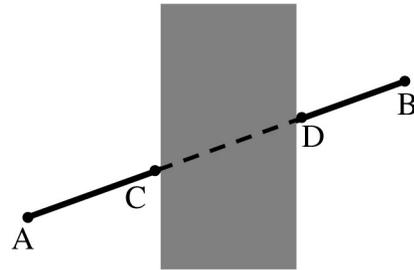
圖二：理髮店錯覺。

(A) 運動的單一光柵，當呈現於圓形孔眼時，所產生的運動知覺為與光柵方位正交的方向。(B) 與 (C) 當相同的運動呈現於長方形孔眼時，所產生的運動知覺為長軸的方向 (即圖中所示的箭頭方向)。



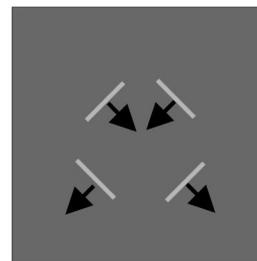
圖三：外來端點與內在端點。

圖中線段真正的端點為A與B，稱為內在端點。該線段被另一物體 (灰色長方形) 部份遮蔽，被遮蔽的部份以虛線表示，因而在視覺影像上形成端點C與D，但其並非真正的端點，稱為外來端點。

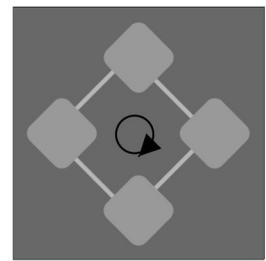


圖四：具遮蔽面的運動菱形刺激。

圖中四條線段的運動方式，乃模擬部份被遮蔽的菱形進行圓形軌跡的運動。(A) 當不具遮蔽面線索時，所產生的知覺為四條線段個別運動。(B) 當具有遮蔽面線索時，所產生的知覺，則為完整的菱形在遮蔽面之後進行圓形軌跡的運動。(摘自 McDermott, Weiss, & Adelson, 2001)



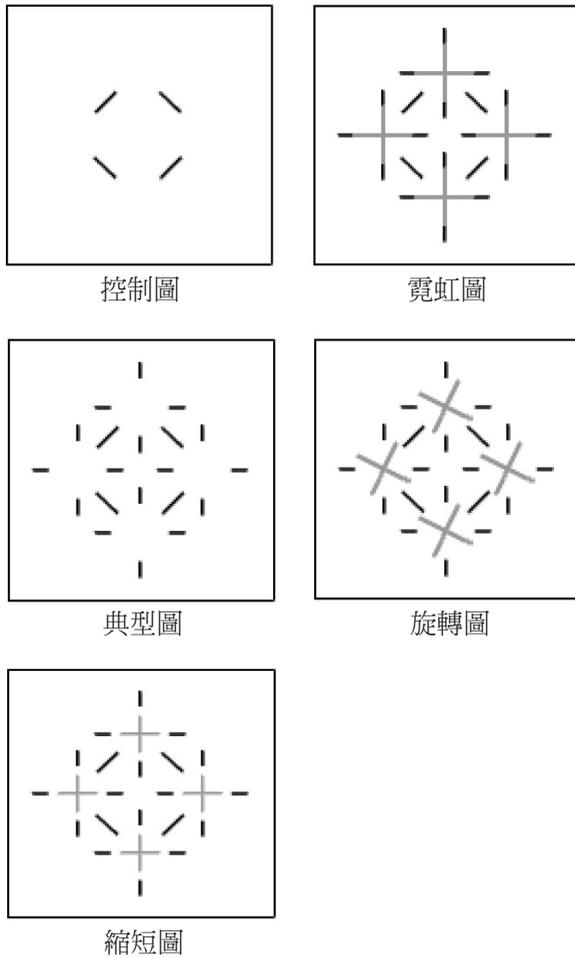
(A)



(B)

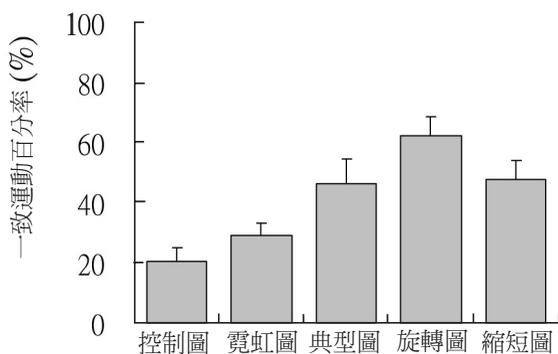
圖五：實驗一材料。

實驗一所製作的五種圖形。圖中所示的灰色線段，在實驗中為呈現紅色線段。圖形的製作方式詳見內文。



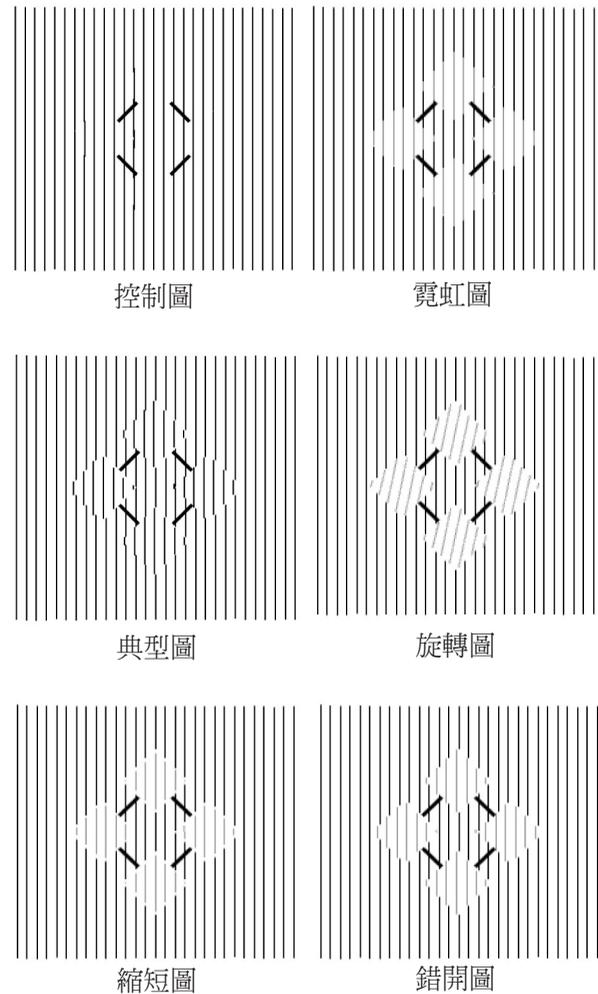
圖六：實驗一結果。

實驗一在五種圖所得一致運動百分率的平均數。每一長條上的線段表示平均數的標準誤 (N=12)。



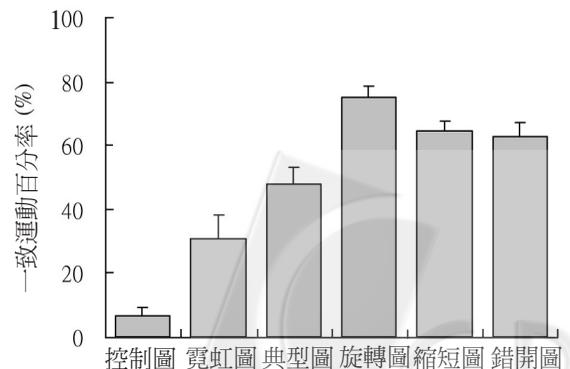
圖七：實驗二材料。

實驗二所製作的六種圖形。圖中所示的灰色線段，在實驗中為呈現紅色線段。圖形的製作方式詳見內文。



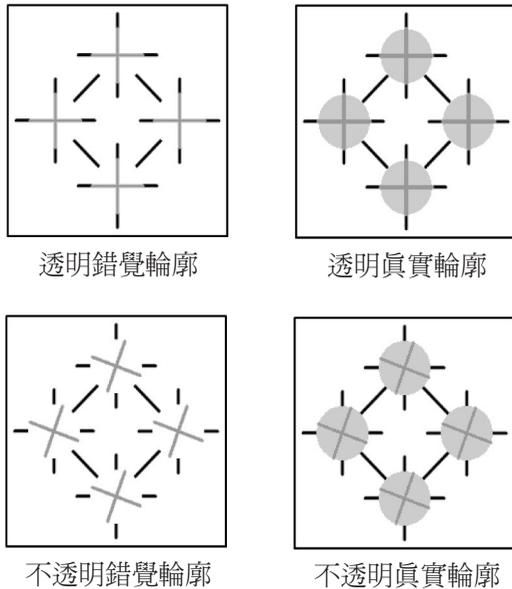
圖八：實驗二結果。

實驗二在六種圖所得一致運動百分率的平均數。每一長條上的線段表示平均數的標準誤 (N=7)。



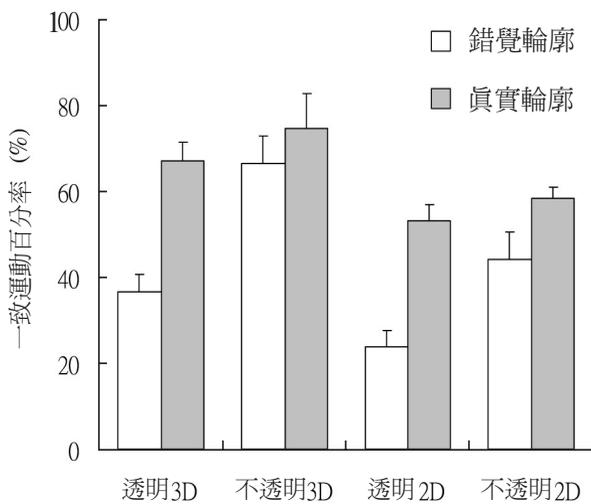
圖九：實驗三材料。

實驗三操弄輪廓類型與透明性所得的四種基本圖形，再據以製成立體圖。圖中所示的灰色部份，在實驗中為呈現紅色。圖形的製作方式詳見內文。

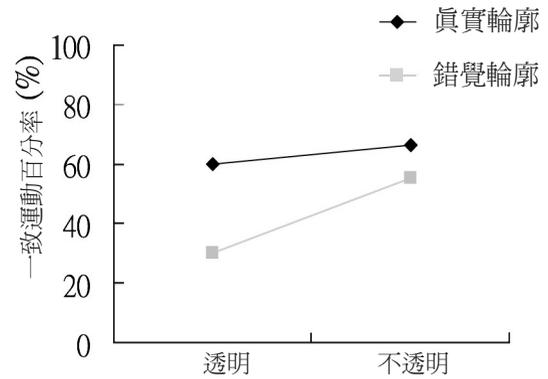


圖十：實驗三結果。

實驗三操弄輪廓類型、透明度與深度而組成的八種實驗情況，所得一致運動百分率的平均數。每一長條上的線段表示平均數的標準誤 (N=10)。

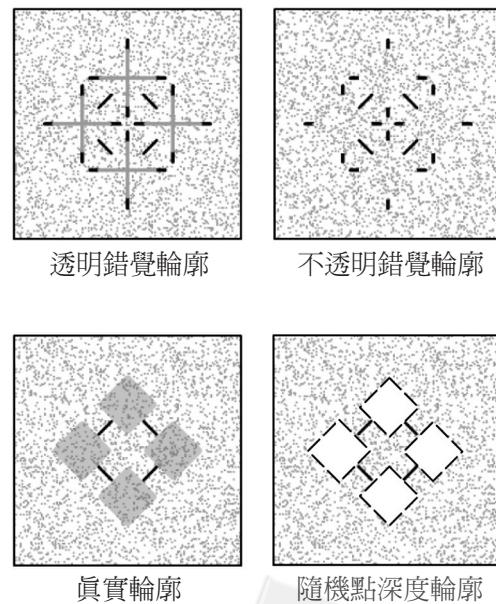


圖十一：實驗三輪廓變項與透明度變項的交互作用。



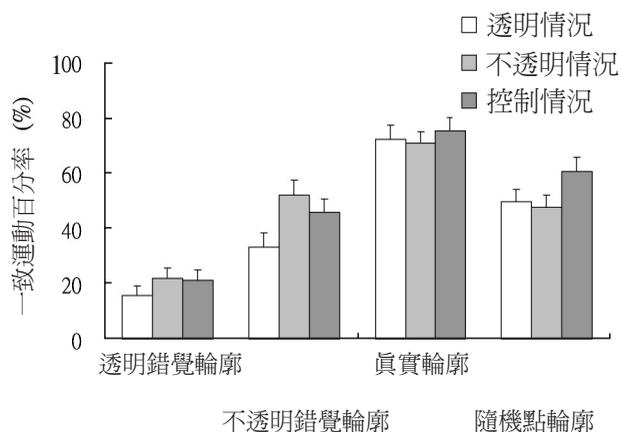
圖十二：實驗四材料。

實驗四中四種輪廓所採用的基本圖形，對於圖中的隨機點給與不同的運動方式，可藉以操弄透明度。圖中所示為四種輪廓的透明情況，其單眼圖在某一瞬間所呈現的視覺影像（即單一圖框）。其中透明錯覺輪廓的灰色線段部份，實驗中為呈現紅色；隨機點深度輪廓圖中的虛線所框出的區域，為本實驗製作之隨機點立體圖給與正像差的範圍，其作用為使得該區域之靜止隨機點浮出於背景之前，實驗圖中實際上並未呈現虛線。圖形的製作方式詳見內文。



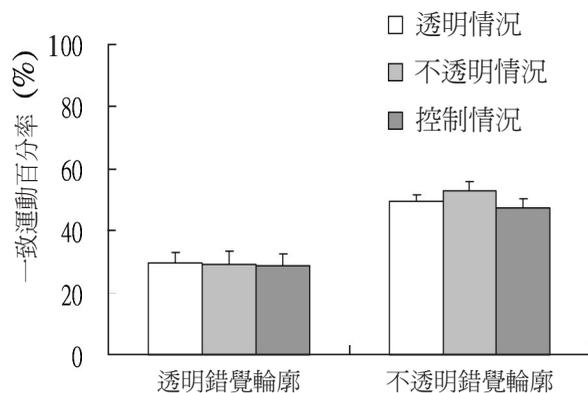
圖十三：實驗四結果。

實驗四操弄輪廓類型與透明度而組成十二種實驗情況，所得一致運動百分率的平均數。每一長條上的線段表示平均數的標準誤（ $N=10$ ）。



圖十四：實驗五結果。

實驗五操弄輪廓類型與透明度而組成六種實驗情況，所得一致運動百分率的平均數。每一長條上的線段表示平均數的標準誤（ $N=10$ ）。



The Effect of Transparent and Opaque Illusory Contour Occluders on the Motion Interpretation

Shwu-Lih Huang^{1, 2}, Chia-Yang Liu¹, Hua-Chun Sun¹, and Hung-Wei Lee¹

¹ *Department of Psychology, National Chengchi University*

² *Research Center for Mind, Brain, and Learning, National Chengchi University*

Based on the theories of midlevel or medium-level vision, the information about visual surfaces can have critical effects on the motion interpretation. Many of the evidences have revealed to support this theoretical point. Following such aspect, the purpose of this study is to explore how the attributes of the surface affect the motion interpretation. The major focus is to test whether the illusory contour, instead of real contour, being the occluders can also have similar effect on the motion interpretation. In addition to this test, the study on how transparency of the occluding surfaces influence motion interpretation is also performed. The paradigm developed by McDermott, Weiss, and Adelson (2001) was used in the present study. In experiments one and two, two types of illusory contour were designed as occluders. The results showed that illusory contour occluders affect motion in a similar manner as that of real contour occluders. And the effect was smaller for the transparent illusory contour as compared to the opaque illusory contour. In the subsequent three experiments, we designed various types of contour and manipulated transparency by different methods for comparison. It was found that the smaller effect

of transparent illusory contour, when compared to opaque illusory contour, could be replicated in all three experiments. However, in the condition of real contour, the effect of transparency was not shown. Also, manipulating the transparency by different methods showed different effects in these three experiments. The most stable effect was obtained in manipulating the figural configurations to induce transparency in the illusory contour. Transparency induced by dynamic motion cue only showed a minor effect. Manipulating transparency by static binocular depth did not show any significant effect. From the results of all five experiments, the important role of the surface formation in motion processing which was predicted by the midlevel or medium-level vision theories was partially confirmed. On the other hand, not to be covered by these theories, that transparency of the surface can influence motion interpretation only in some of the conditions was observed in this study. Further research will be needed to reveal more details of the issue.

Keywords: *motion perception, illusory contour, transparency, occlusion, midlevel vision*

