

屏東縣第60屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生物

組別：國小組

作品名稱：「視」界真奇妙~神奇的赫曼方格

關鍵詞：視覺暫留、補色殘像、視錯覺

編號：A4004

摘要

赫曼方格，名字源於德國科學家赫曼，他於 1870 年在期刊中發表這幅圖。當你注視黑色方格之間的白色空間時，你會發現其他的白色空間都變灰了。赫曼方格是一個著名的「有力視錯覺」，因為所有人都會看錯，而且你無法適應。

為什麼看赫曼方格，會有「錯視」的效果呢？就是視網膜裡相近的神經元，彼此之間發生抑制作用，當某個神經元受到刺激時，會再刺激鄰近的神經元，而後者神經元收到刺激、所發生的興奮，會再對前者神經元產生的抑制作用。所以，當我們再看赫曼方格時，會看到灰色殘影和閃爍的黑點。

我們將原圖改變色調做了不同的組合與處理，發現方格與線條灰階值差越大，錯視效果越明顯；只要灰階值差夠大，有彩色也能製造出閃現效果。另外，線條明度下降，在網格間加入白色圓點，並模糊處理，錯視效果最好。

若改成白色方格灰色線條，也有錯視現象；線條灰階 50% ~80% 之間，十字交叉處加上黑圓點，閃爍效果最好。

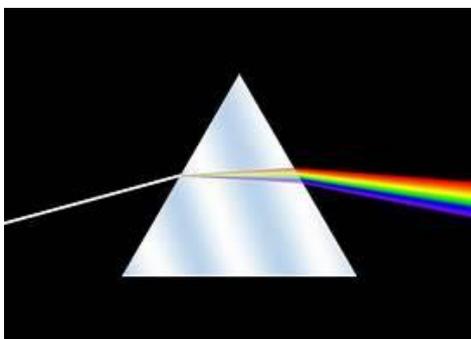
壹、研究動機

美勞課老師讓我們製作神奇玩具，一面畫鳥，另一面畫鳥籠。完成後在頭尾鑽孔，綁上橡皮筋，快速轉動後，鳥居然被關在鳥籠之中，感覺相當神奇。老師說這是視覺暫留現象。我們又觀看了一些圖案，有的旋轉閃爍，有的抖動飄移，讓我們驚訝連連，原來這是利用視覺上的錯覺，達到藝術或者類似魔術般的效果。

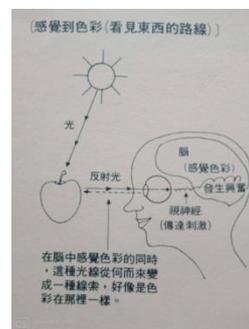
基於好奇心，上網搜尋發現不少相似的影片或圖片，是什麼原因讓一個平淡無奇的畫面變得如此神通廣大，欺騙了我們的眼球？

我們針對赫曼方格進行了實驗，這是最常被用來解釋生理錯視的作品。平常所見都是黑格子和白或灰條紋，我們試圖改變色調以及將格子與條紋顏色對調，觀察方格交叉點上明暗飄忽、閃來閃去的暗點會有什麼變化。另外，我們也試圖破解這種錯視現象，於是加上黑色格線，觀察暗點是否被湮滅。

四年級自然課我們學過「視覺現象的三要素」，就是：光、被觀察的物體和觀察的眼睛。著名的物理學家牛頓（Sir Isaac Newton），實驗證明太陽光線內，實際上仍含有各種色彩。



圖一為三稜鏡和被色散的光線



圖二為視覺傳導路徑

我們所看到的花花世界是光源直接接觸到眼睛，以及接觸到物體的光線，經過反射、吸收，透過之過程，而進入眼睛等情形構成。又因為進入眼睛的光線所含各種光線波長的強弱不同，而感覺到各種不同的色彩。

為改變色調觀察此錯視變化，我們將色彩以光的三原色 RGB 在電腦螢幕上的數值加以定義

貳、研究目的

一、赫曼方格錯視現象探討

- (一) 探討不同色調，對錯覺的影響。
- (二) 探討在方格交叉處加入白色圓點，對錯視現象的影響。
- (三) 探討加入黑色格線後錯覺是否消失。
- (四) 探討將圖案模糊處理後，對錯視現象的影響。
- (五) 探討將圖案模糊處理後，對比強度減弱 50% ，錯覺會增強還是減弱。
- (六) 探討圖地反轉後，改變線條明度並模糊處理，錯視現象有何變化。

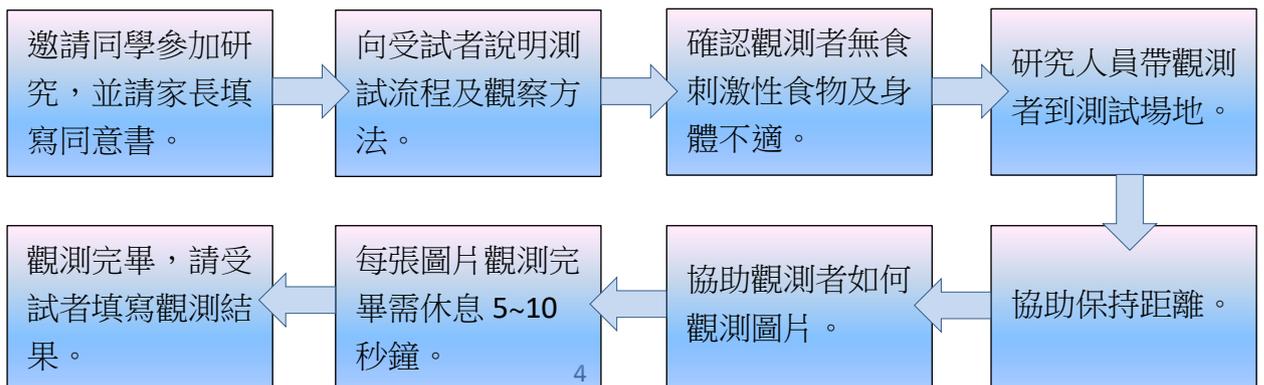
參、研究設備及器材

電腦設備、powerpoint 軟體

肆、研究過程或方法

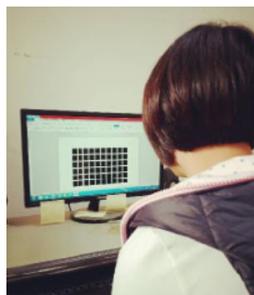
一、設計標準化觀察環境：

- (一) 觀察場所固定為室內日光燈無陽光無噪音等外在干擾。
- (二) 觀測之前未飲食刺激性食物。如咖啡、茶…等。
- (三) 實驗流程：



(四) 測式方法：

1. 請受試者距離 90 公分。
2. 電腦螢幕角度 90 度。
3. 眼睛直視電腦螢幕。
4. 每張圖片觀察完畢需休息 5~10 秒鐘。



圖三



圖四

二、實驗設計：

(一) 探討不同色調對錯覺的影響

1. 繪製方格：

根據參考資料，方格與間距比例 5：1，可達最佳觀測效果

2. 方格顏色取黑、紅、藍、綠、黃進行繪製，顏色以 R、G、B 混色並以電腦數值處理。例如：黑 (R0 G0 B0)、紅 (R255 G0 B0)、藍 (R0 G0 B255)、綠 (R0 G255 B0)、黃 (R255 G255 B0)。

因為人類視覺感色細胞的原因，紅 (Red)、綠 (Green)、藍 (Blue) 成為三原色合成色彩的基礎。RGB 就是所稱的色光三原色，RGB 顏色模型的主要目的是在電子系統中檢測，表示和顯示圖像，藉由混合不同比例和強度的色光三原色，幾乎能呈現出各種需要的色彩。但是平常彩繪、印刷、噴墨列印是運用顏料三原色青(Cyan)、洋紅(Magenta)、黃(Yellow)三種色彩，再加入黑色(Black)，即所謂的 CMYK 四種基本色以不同比例加以混合而成。所以光的三原色和顏料的三原色並不相同。如下圖所示：



圖五

3. 條紋顏色以方格之心理補色搭配再調其透明度。如下圖：



圖六



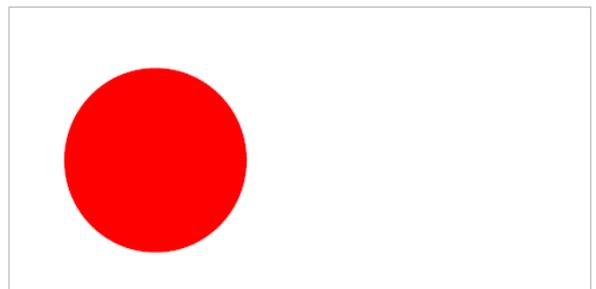
圖七

當我們長時間觀察某種色彩，視神經會因刺激而疲勞，為了消除疲勞，眼睛會自動產生出所觀察之色彩的對比色，亦即產生心理補色，想辦法調整因刺激所產生的偏移。如我們所知，視神經因為刺激而興奮，這種興奮傳達給腦中的視覺中心，即使刺激消失，仍會暫時留下興奮的餘波，此處所說的刺激消失，是指起先望著某種色彩，隨後將目光由此色彩移開，觀察其他東西興奮的遺波會暫時留下來，所以，先前所觀察的色彩心理補色之色彩，便成為視神經興奮的餘波而傳給視覺中心。事實上，雖然沒有看到心理補色之色彩，而感覺上卻像是看到了這種色彩一樣。因為觀察某種色彩而感覺到被誘出的心理補色色彩，使人在短暫時間內感覺這種色彩，真正存在的現象，稱為「補色殘像」。例如：長時間凝視一個紅色色塊，再將視線轉移到右邊白紙上，就相當於白光中減去紅光，出現青光，所以引起青色覺。此現象也稱負後像。如下圖：

負片理論值 $R=255-\text{原圖形 } R$

$G=255-\text{原圖形 } G$

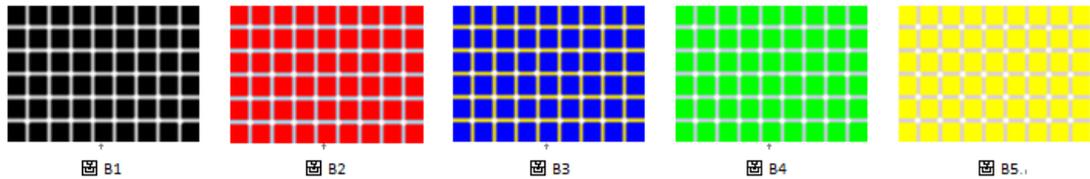
$B=255-\text{原圖形 } G$



圖八

(二) 探討在方格交叉處加入白色圓點，對錯視現象的影響

根據參考資料顯示，當條紋變暗成了灰色，而交叉處保留著白色，而且交叉處的白色圓點稍微大於條紋的寬度，這有助於錯覺的產生。所以我們嘗試將條紋調成灰調，灰階值控制一致。如下圖：

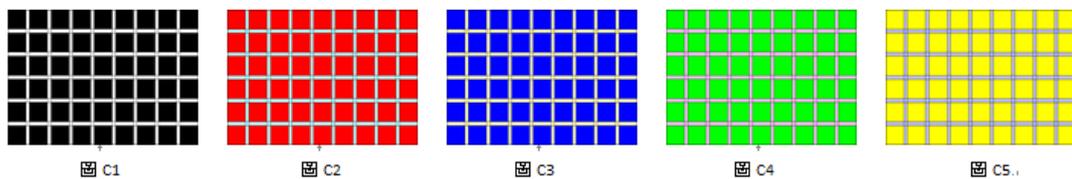


圖九

$$\text{灰階值運算公式：灰階值 } W=0.3R+0.59G+0.11B$$

(三) 探討加入黑色格線後錯覺是否消失

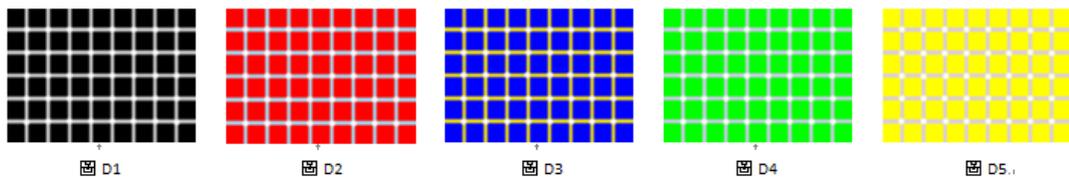
我們試圖破解這種錯覺，於是在方格與間距間加上黑色格線，觀察飄忽不定的暗點是否會消失。如下圖：



圖十

(四) 將 B 系列圖案模糊處理後對錯視現象的影響

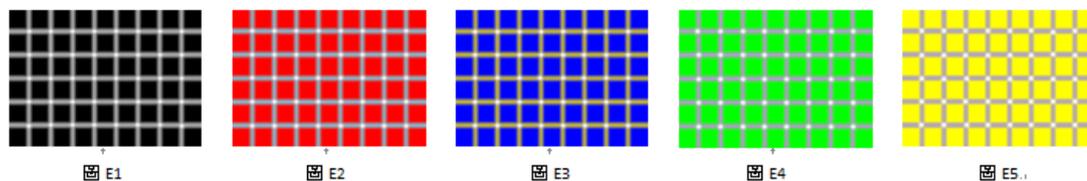
根據參考資料我們知道條紋調暗，交叉處保留著白色圓點，錯視效果最好，所以我們選擇將 B 系列圖全部霧化處理再進行問卷調查。如下圖：



圖十一

(五) 將 C 系列圖案對比強度減弱 50% ，觀察錯覺會增強還是減弱

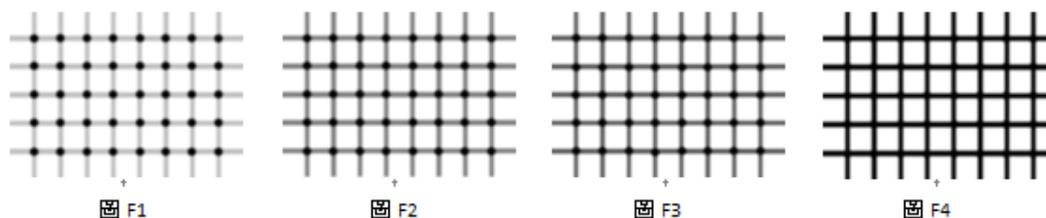
對比強度減弱後，我們推論方格與間距界線更不清晰，且間距兩側受方格顏色影響更加模糊，那麼方格與間距交會處將顯得更亮，陰影的現象會更明顯。



圖十二

(六) 探討圖地反轉後，改變線條明度並模糊處理，錯視現象有何變化

線條分別為灰色 25% 、灰色 50% 、灰色 80% 搭配白色底，交叉處加上黑色圓點，觀察線條明度改變後，錯視現象是否跟著改變。



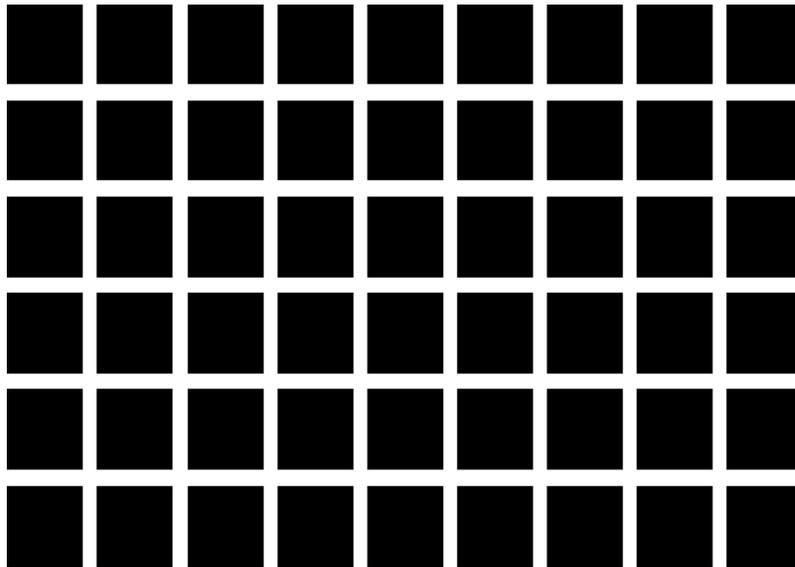
伍、研究結果

一、實驗一：

(一) 探討不同色調對錯覺的影響

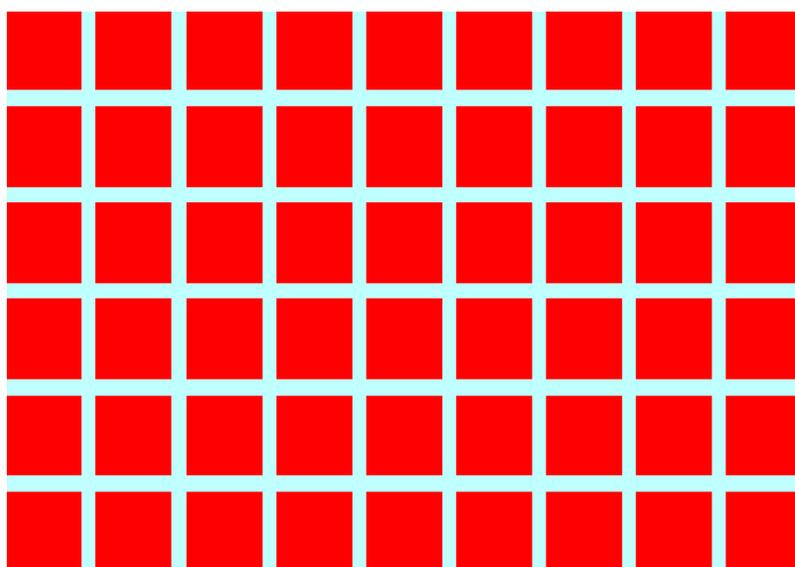
(二) 實驗結果

1. 淺灰色線條 (R255 G255 B255) 黑色方格 (R0 G0 B0) (圖 A1)



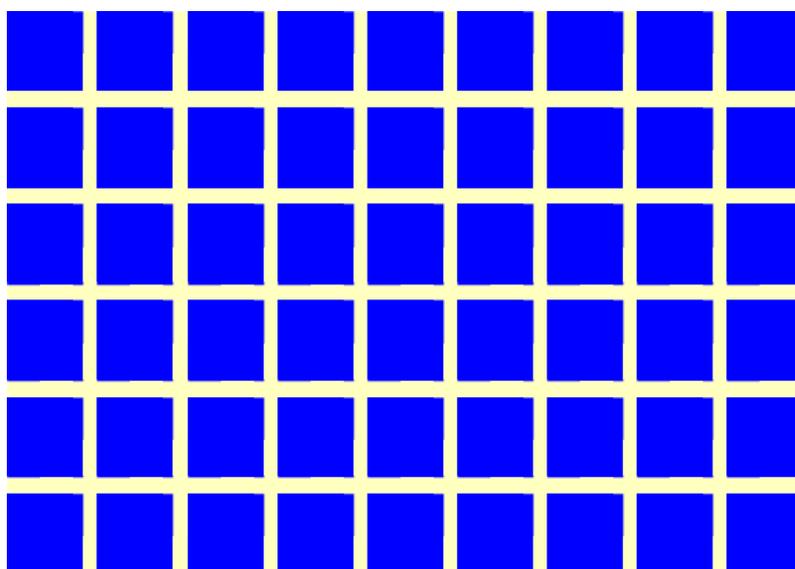
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

2. 淺青綠色線條 (R191 G255 B255) 紅色方格 (R255 G0 B0) (圖 A1)



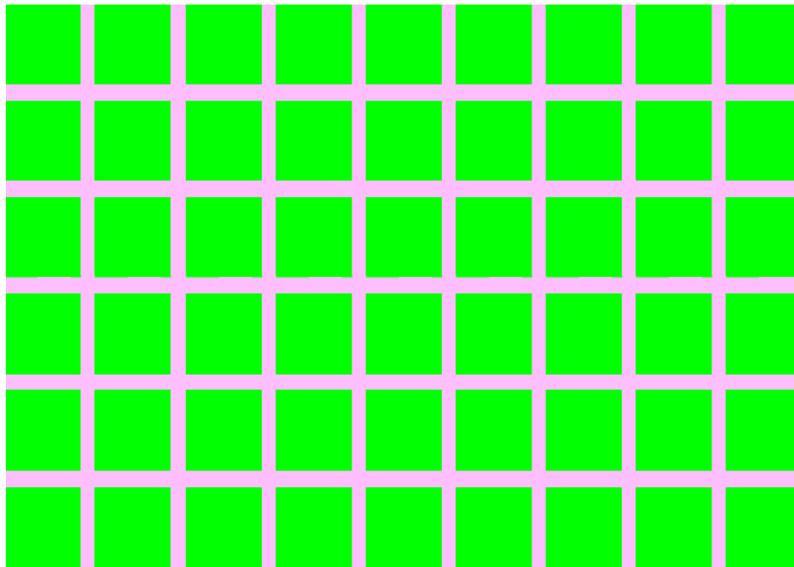
陰影的產生與否	人數	百分比
有	26	86%
無	4	13%

3. 淺黃色線條 (R255 G255 B191) 藍色方格 (R0 G0 B255) (圖 A3)



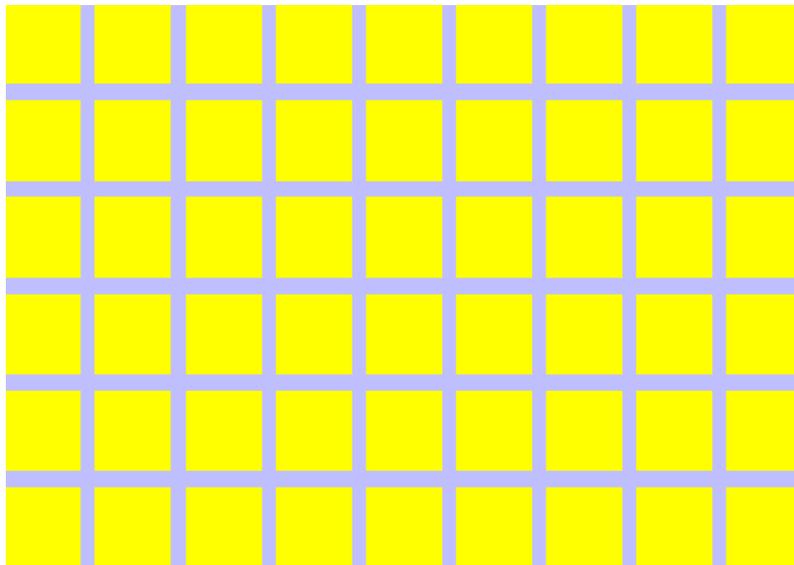
陰影的產生與否	人數	百分比
有	29	96%
無	1	3%

4. 淡紫色線條 (R255 G191 B255) 綠色方格 (R0 G255 B0) (圖 A4)



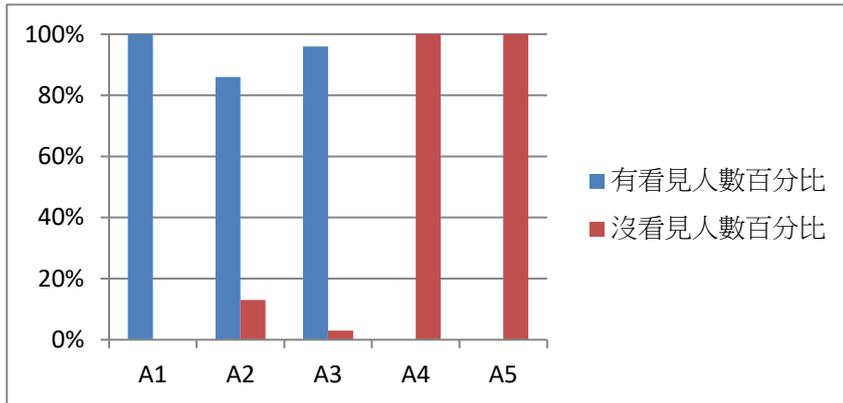
陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

5. 淺藍紫線條 (R191 G191 B255) 黃色方格 (R255 G255 B0) (圖 A5)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

(三) 圖表：

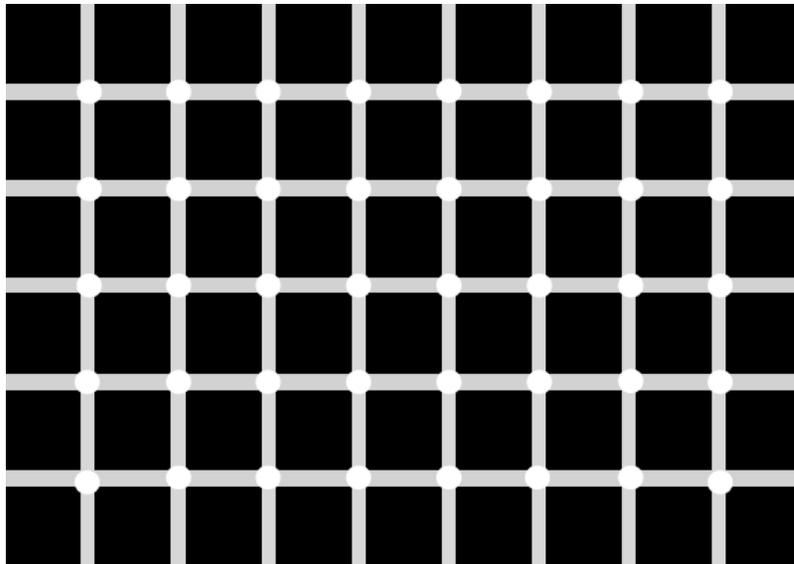


二、實驗二：

(一) 探討在方格交叉處加入白色圓點，對錯視現象的影響

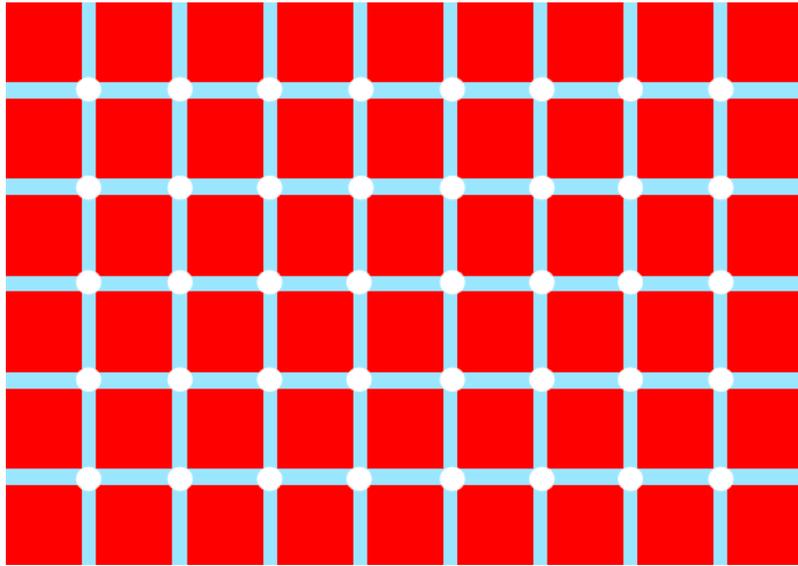
(二) 實驗結果：

1. 淺灰色線條 (R210 G210 B210) 黑色方格 (R0 G0 B0) (圖 B1)



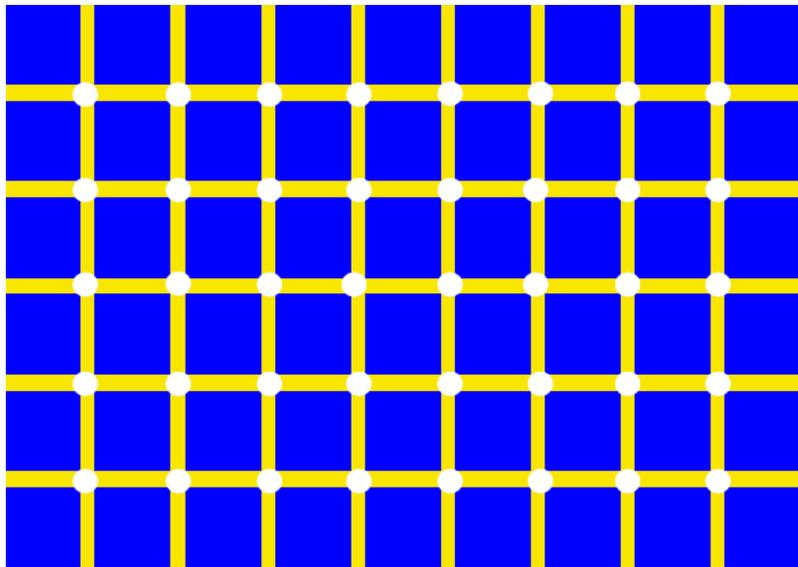
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

2. 淺青綠色線條 (R155 G230 B255) 紅色方格 (R255 G0 B0) (圖 B2)



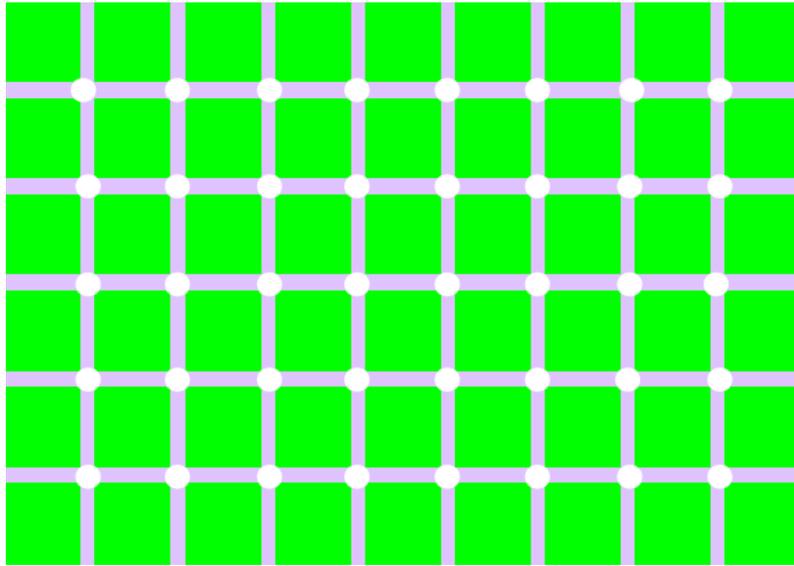
陰影的產生與否	人數	百分比
有	28	93%
無	2	6%

3. 淺黃色線條 (R248 G230 B0) 藍色方格 (R0 G0 B255) (圖 B3)



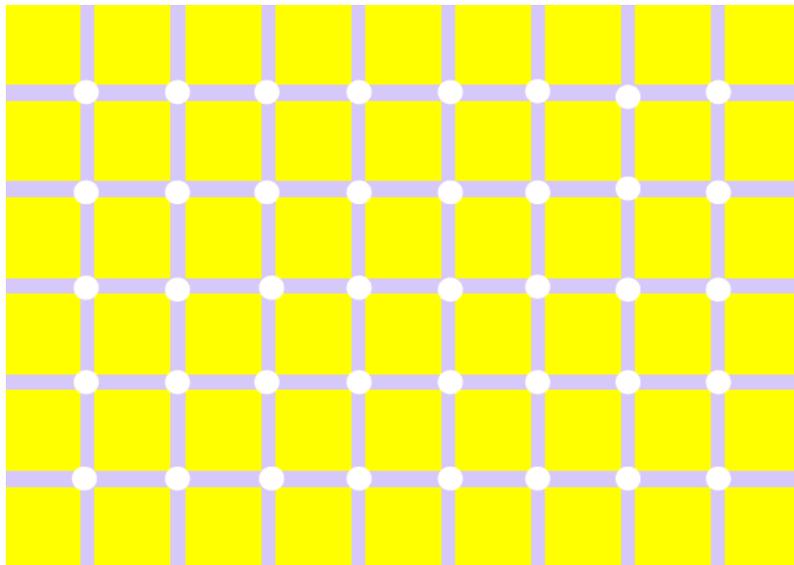
陰影的產生與否	人數	百分比
有	29	96%
無	1	3%

4. 淡紫色線條 (R223 G195 B255) 綠色方格 (R0 G255 B0) (圖 B4)



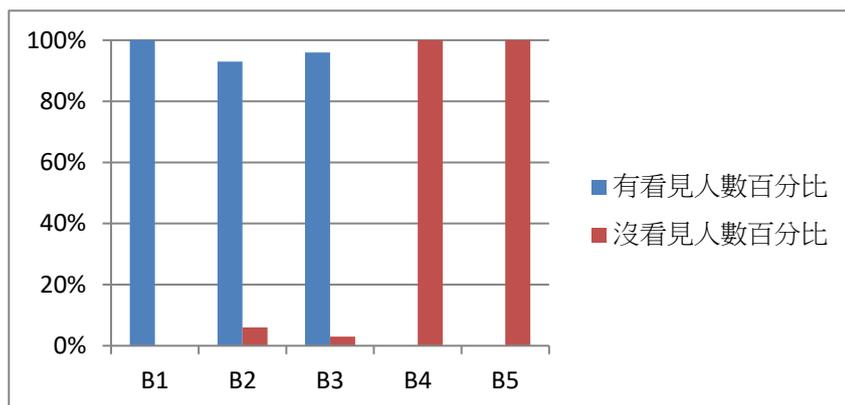
陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

5. 淺藍紫色線條 (R215 G200 B250) 黃色方格 (R255 G255 B0) (圖 B5)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

(三) 圖表：

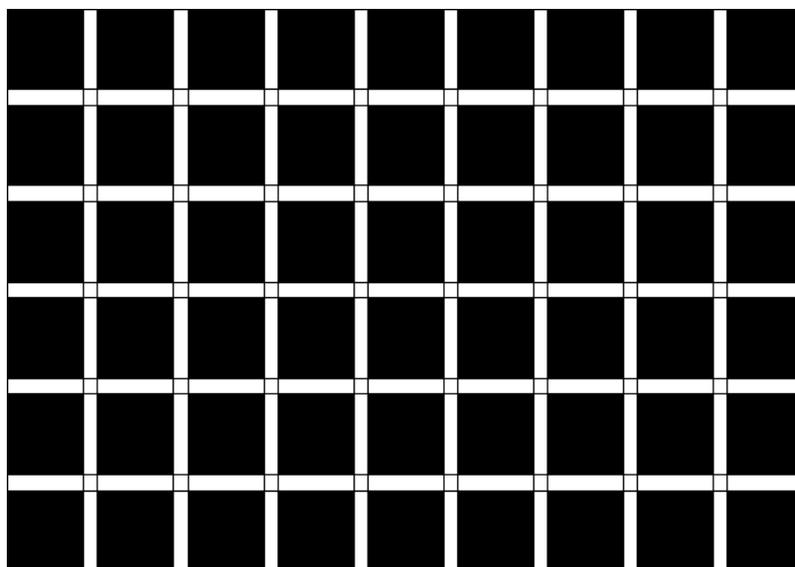


三、實驗三：

(一) 探討加入黑色格線後錯覺是否消失

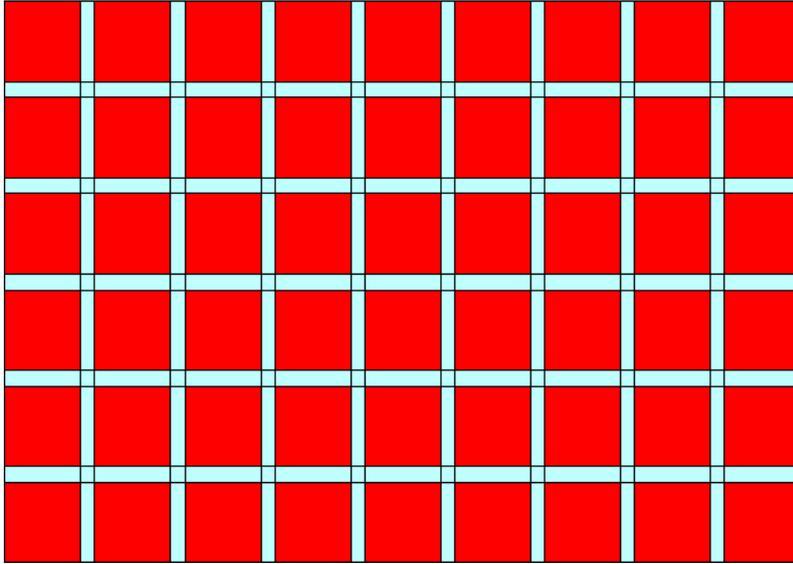
(二) 實驗結果：

1. 白色線條 (R255 G255 B255) 黑色方格 (R0 G0 B0) (圖 C1)



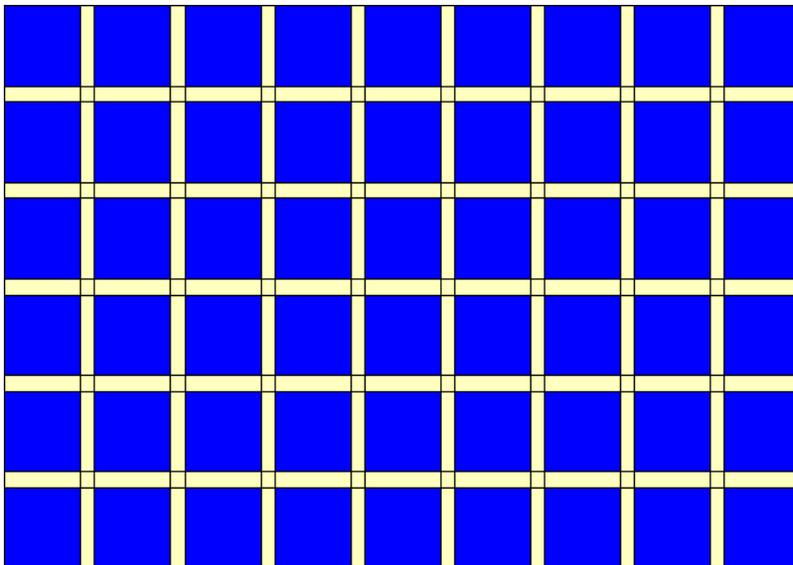
陰影的產生與否	人數	百分比
有	2	6%
無	28	93%

2. 淺青綠色線條 (R191 G255 B255) 紅色方格 (R255 G0 B0) (圖 C2)



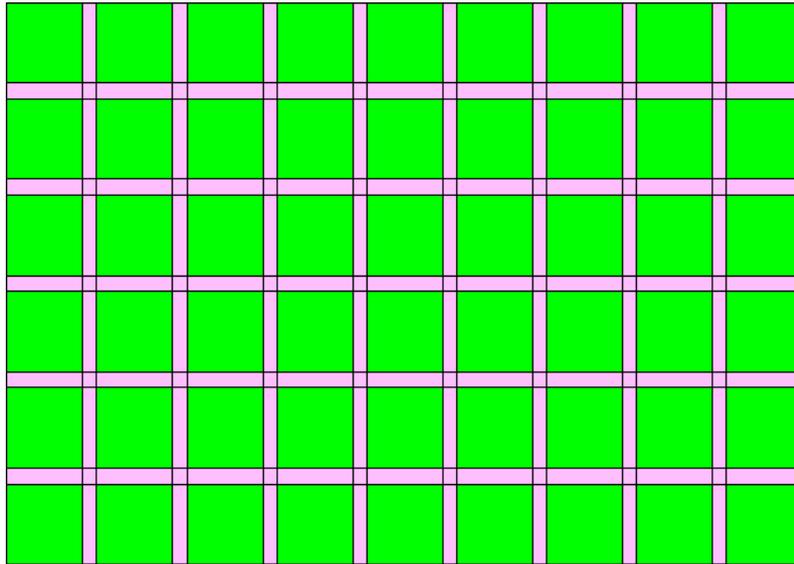
陰影的產生與否	人數	百分比
有	4	13%
無	26	86%

3. 淺黃色線條 (R255 G255 B191) 藍色方格 (R0 G0 B255) (圖 C3)



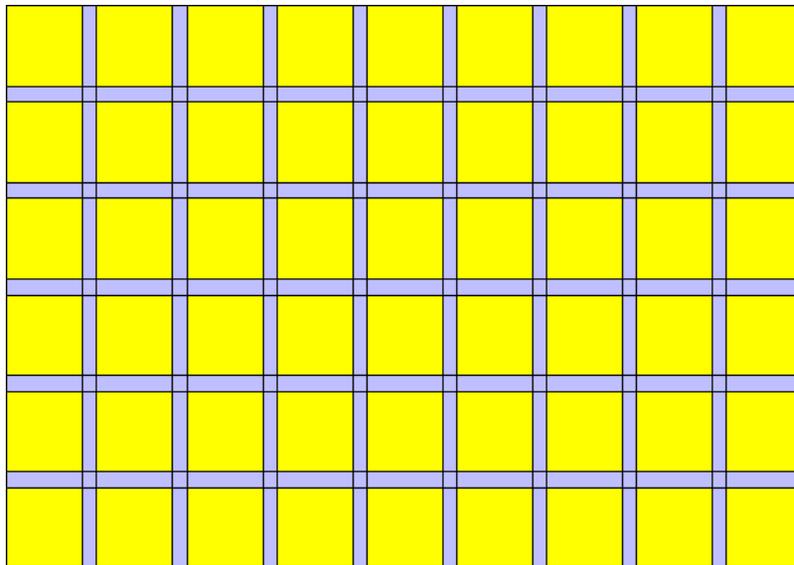
陰影的產生與否	人數	百分比
有	3	10%
無	27	90%

4. 淡紫色線條 (R255 G191 B255) 綠色方格 (R0 G255 B0) (圖 C4)



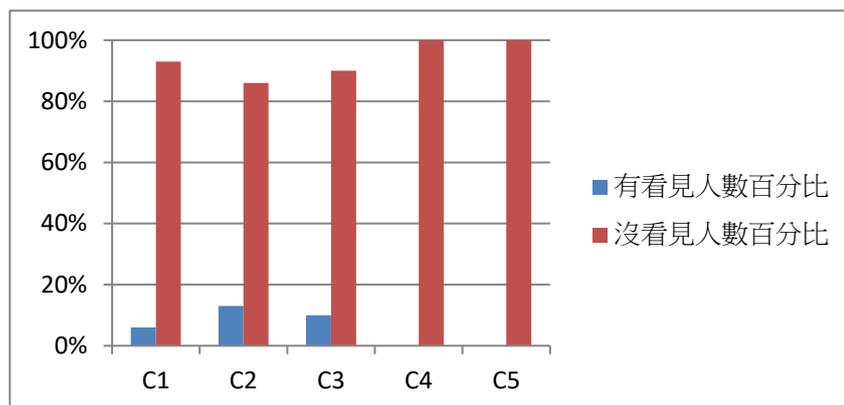
陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

5. 淺藍紫色線條 (R191 G191 B255) 黃色方格 (R255 G255 B0) (圖 C5)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

(三) 圖表：

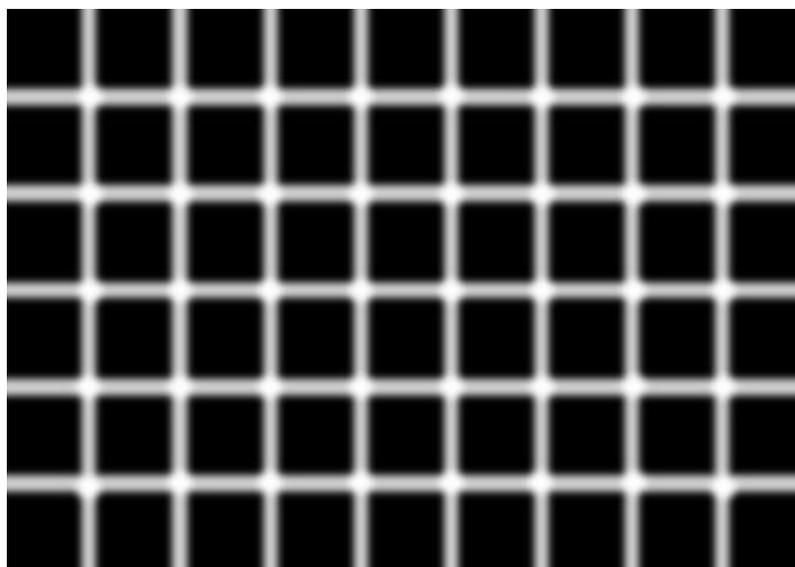


四、實驗四：

(一) 探討將圖案模糊處理後，對錯視現象的影響

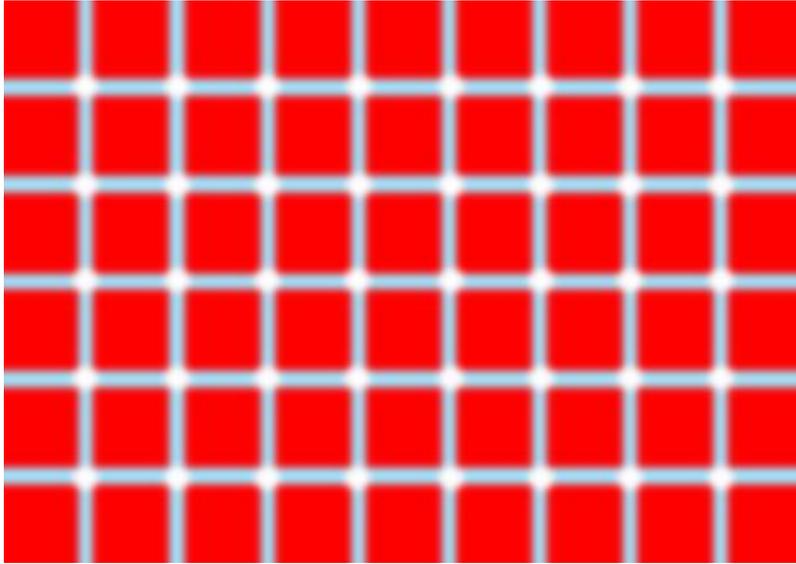
(二) 實驗結果：

1. 淺灰色線條 (R210 G210 B210) 黑色方格 (R0 G0 B0) (圖 D1)



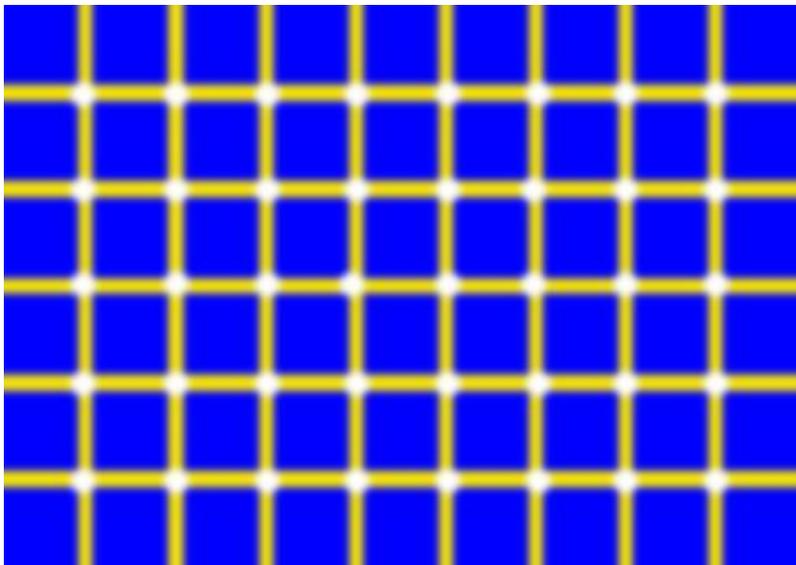
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

2. 淺青綠色線條 (R155 G230 B255) 紅色方格 (R255 G0 B0) (圖 D2)



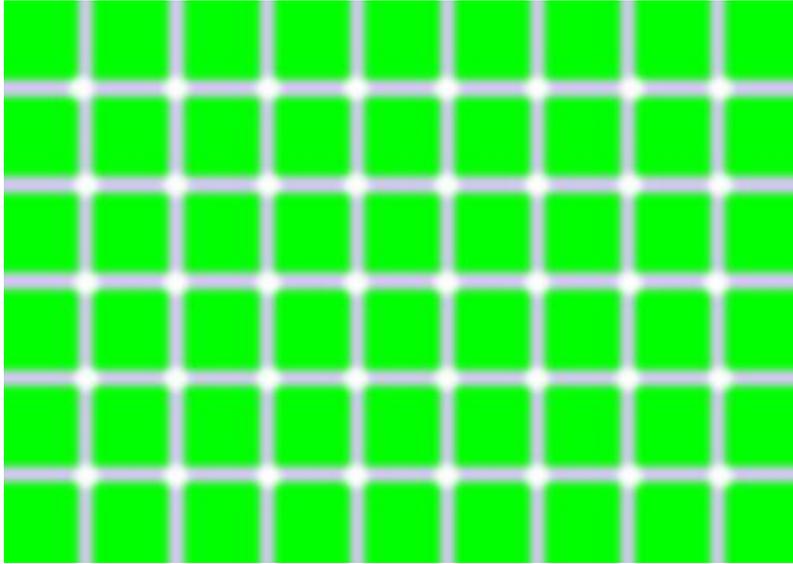
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

3. 淺黃色線條 (R248 G230 B0) 藍色方格 (R0 G0 B255) (圖 D3)



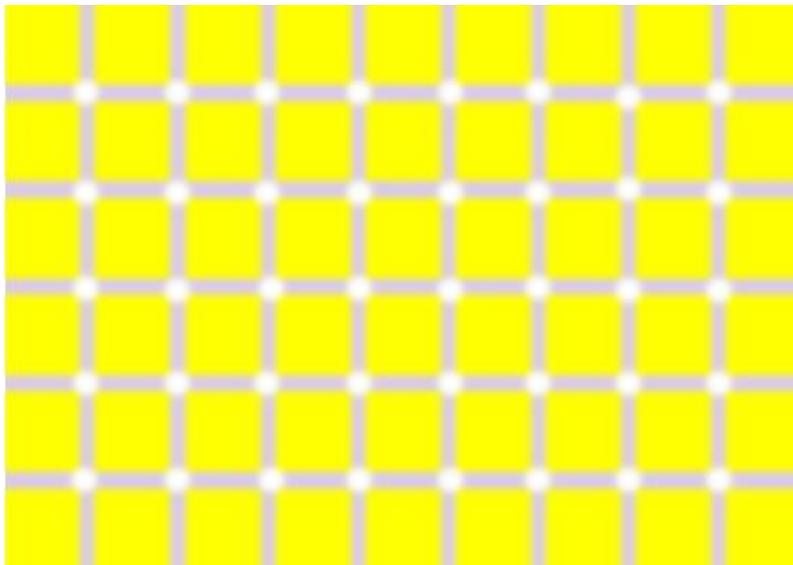
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

4. 淡紫色線條 (R223 G195 B255) 綠色方格 (R0 G255 B0) (圖 D4)



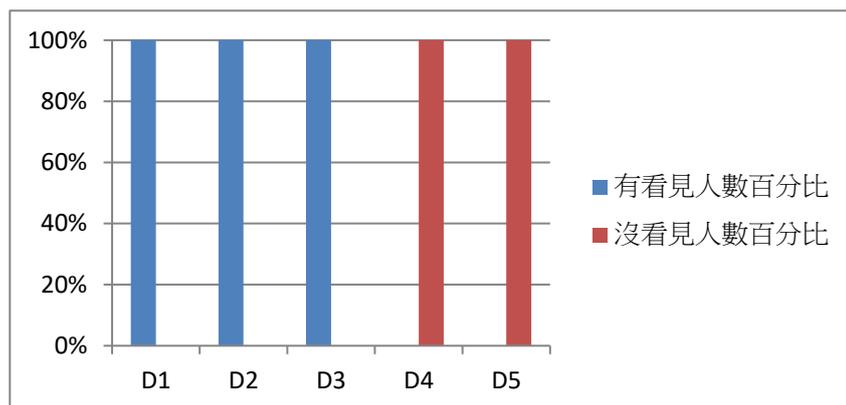
陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

5. 淺藍紫色線條 (R215 G200 B250) 黃色方格 (R255 G255 B0) (圖 C5)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

(三) 圖表：

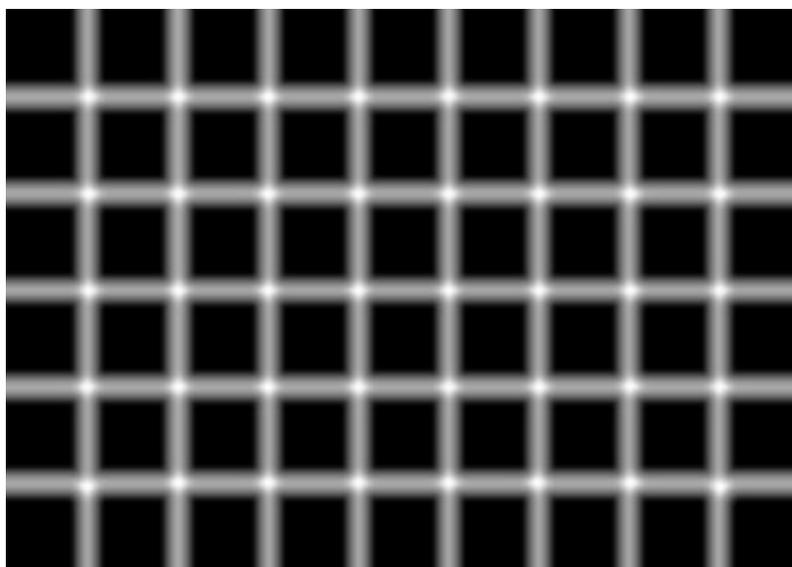


五、實驗五：

(一) 探討將圖案模糊處理後，對比強度減弱 50%，錯覺會增強還是減弱

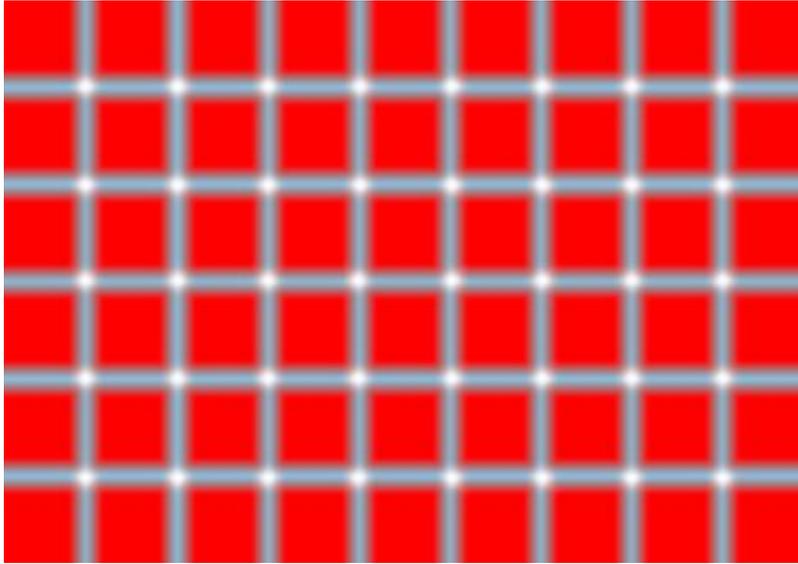
(二) 實驗結果：

1. 淺灰色線條 (R210 G210 B210) 黑色方格 (R0 G0 B0) (圖 E1)



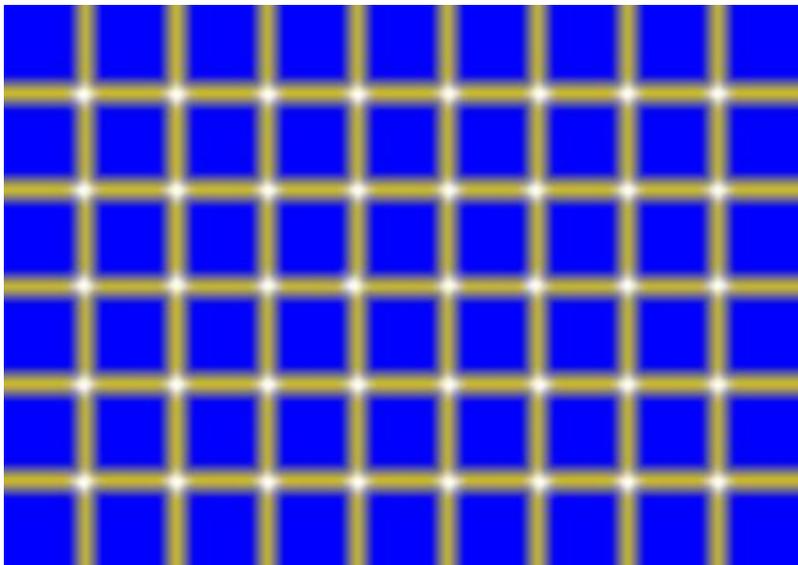
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

2. 淺青綠色線條 (R155 G230 B255) 紅色方格 (R255 G0 B0) (圖 E2)



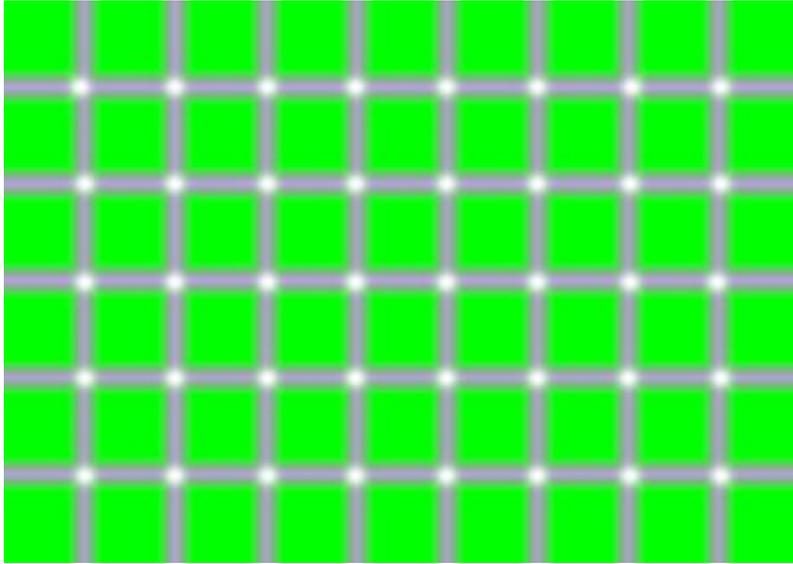
陰影的產生與否	人數	百分比
有	12	40%
無	18	60%

3. 淺黃色線條 (R248 G230 B0) 藍色方格 (R0 G0 B255) (圖 E3)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	28	93%
無	2	6%

4. 淡紫色線條 (R223 G195 B255) 綠色方格 (R0 G255 B0) (圖 E4)



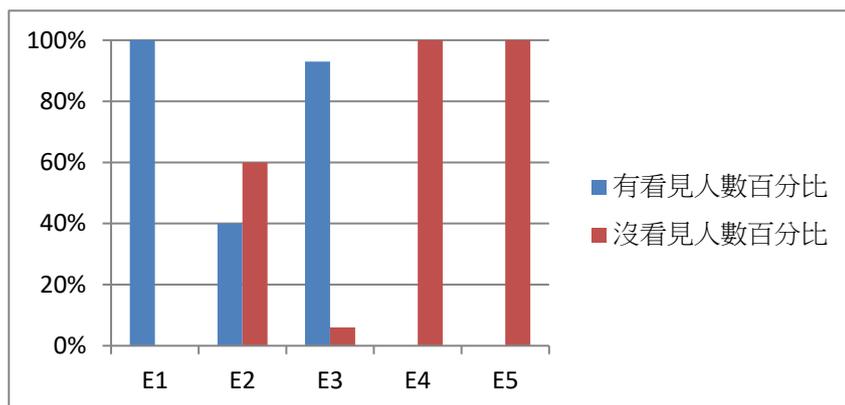
陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

5. 淺藍紫色線條 (R215 G200 B250) 黃色方格 (R255 G255 B0) (圖 E5)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	0	0%
無	30	100%

(三) 圖表：



六、實驗六

(一) 探討圖地反轉後，改變線條明度並模糊處理，錯視現象有何變化

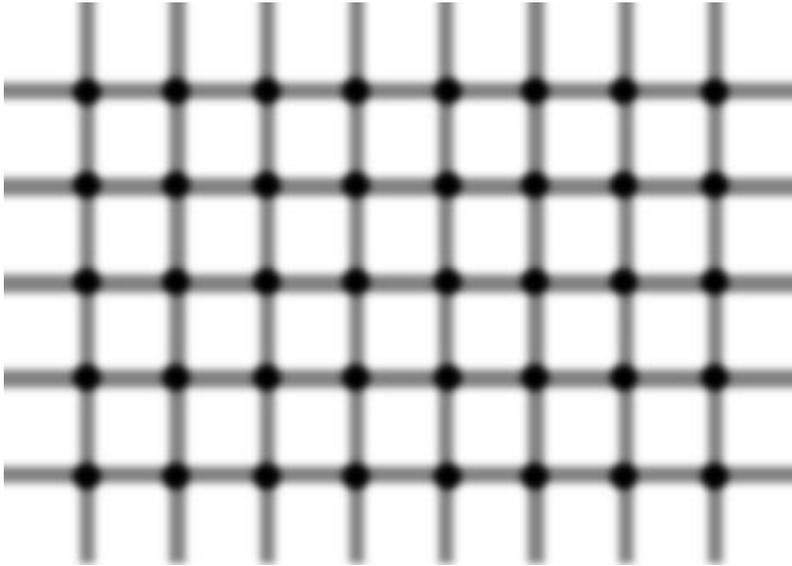
(二) 實驗結果：

1. 白色方格灰色 (25%) 線條 (圖 F1)



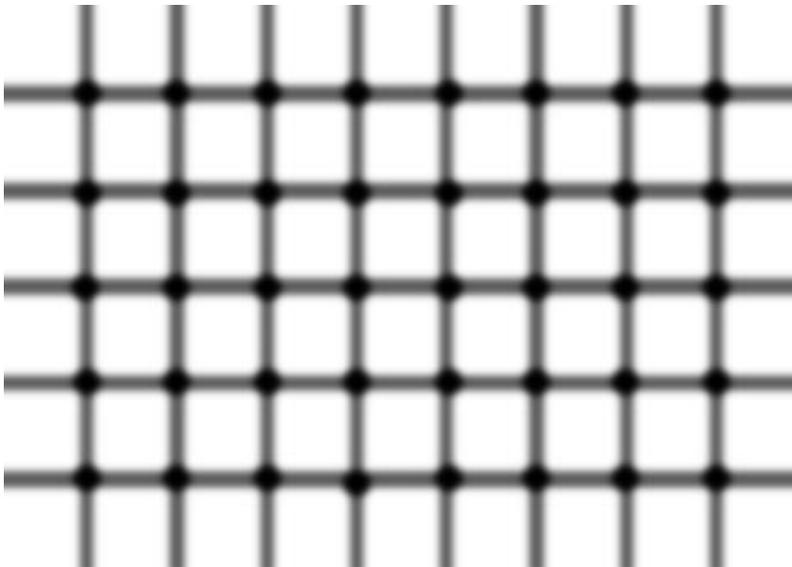
陰影的產生與否	人數	百分比
有	29	96%
無	1	3%

2. 白色方格灰色（50%）線條（圖 F2）



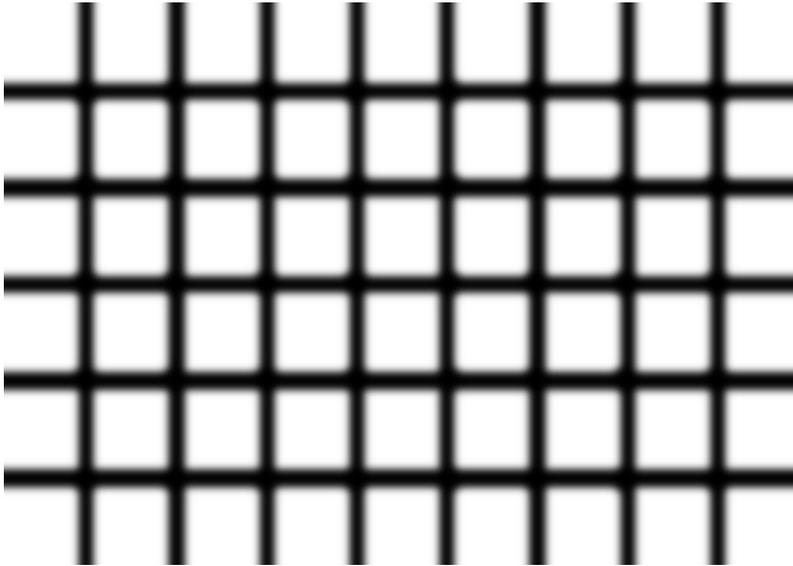
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

3. 白色線條灰色（80%）線條（圖 F3）



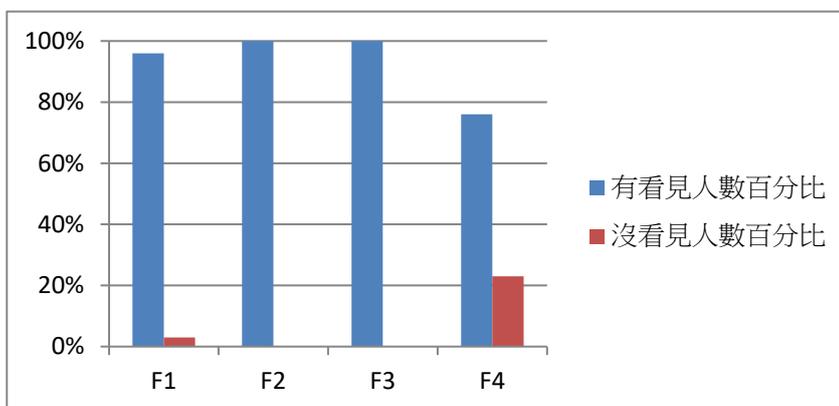
陰影的產生與否	人數	百分比
有	30	100%
無	0	0%

4. 白色方格黑色線條 (圖 F4)



陰影的產生與否	人數	百分比
有	23	76%
無	7	23%

(三) 圖表：



陸、討論

在日常生活中我們常用「錯覺」這個名詞，意謂著錯誤的判斷。在心理學中，所謂的「錯覺」是指對外界事物的感覺無法與其客觀性質相配合而言。而所謂「錯視」(optical illusion, visual illusion)是指眼睛的錯覺，一種將對象物之大小、形狀、色澤以及明暗等關係明顯判斷錯誤的現象。(至於沒有刺激物或對象物的前提下所產生的知覺，就稱為「幻覺」。)例如以尺測量，雖然在物理性、客觀性上是直線，但是如果以人的眼睛來看感覺是歪的，就是所謂的錯視。雖然錯視的程度會因為每個人的情況不同而有所差別，但是只有在萬人共通的普通狀態下產生的才算是錯視的條件，而且是無論如何注意或是熟知錯視情形，也難以訂正的本質現象才叫錯視，所以不小心誤看、看漏等情形並不是錯視。

人的感覺器官在接受過久的刺激後會鈍化，也就造成了補色及視覺暫留的生理錯覺。由於白光是由不同波長的色光所組成的，所以任何兩種色光加在一起可成為白光者，這兩色就互為補色。

而視網膜上的細胞受某種色光刺激後，會對該色產生疲勞，所以在視線離開該色後，該部分的細胞暫無法作用，而未受刺激的另一部分細胞開始活動，因而產生另一種視感，也就是補色的殘像。

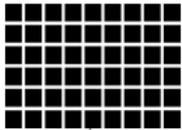
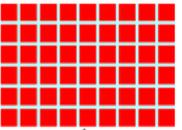
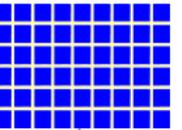
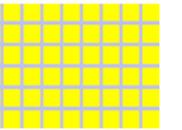
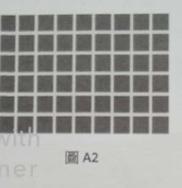
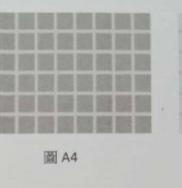
另外還有因為視覺疲勞而產生的視覺暫留現象也是，視覺暫留現象就是現今動畫的原理。

本實驗在方格與方格的十字交叉處會看見不存在的陰影是一種生理錯覺，主要來自人體的視覺適應現象，亦即視覺暫留現象。

實驗一(圖 A 系列)我們選擇了黑(A1)、紅(A2)、藍(A2)、綠(A3)、黃(A4)，搭配其補色製作方格圖，其中圖 A1 很明顯看見網格交叉處有暗點飄忽，忽隱忽現；其次是 A3，而 A5 則完全看不到。

實驗發現方格與底色的灰階值差越大，可見陰影越明顯。而受到方格顏色影響，所看到的陰影顏色也隨之改變。圖 A1 灰階值差最大，因此忽明忽暗效果最佳。

$$\text{灰階值 } W=0.3R+0.59G+0.11B$$

原圖					
原圖 灰階化					
灰階值差	255	159.3	219.91	66.55	28.91
錯覺明顯程度	$A1 > A3 > A2 > A4 > A5$				

實驗二（圖 B 系列）我們將條紋變暗成了灰調，而交叉處保留白色，而且交叉處的白色圓點稍微大於條紋的寬度，這有助於錯覺的產生。

A 系列圖中，橫向和縱向的條紋都很容易刺激相應方向的視神經細胞，由此感知到清晰的明顯線條。而在交叉點，輪廓的缺失使得橫向和縱向的方向性細胞刺激程度都比較低，於是，這裡的「明亮程度」下降，我們便感知到了暗點。

而在 B 系列圖方格中，白色圓點切斷了連續的線條，並且還改變了灰調線條與周圍環境的相對明暗度（原本與周圍相比，灰色是「亮色」，但與白點比又成了「暗色」），因此交叉點的明暗感知也受到了更多干擾，形成了閃爍的錯覺。而錯覺明顯程度，同樣受到灰階值差的影響，B1 最明顯，其次是 $B3 > B2 > B4 > B5$ 。其中，B4 圖和 B5 圖由於白色圓點明度高於四周的方格與線條，所以還呈現發亮的錯覺。

實驗三（圖 C 系列）我們加入了黑色輪廓線於網格中，陰影閃現效果變得不明顯甚至消失了。我們研判，可能是條紋被黑色格線截斷，一次只能看到一部分，因此陰影就被消滅了。

實驗四(圖 D 系列)將 B 系列圖模糊處理後，錯視現象變得更明顯。條紋明度變得更低，而交叉處保留著白色，上面會出現接二連三的閃爍小點。其明顯程度 $D1 > D3 > D2$ ，D4 和 D5 在十字交叉處因為與周圍明度相較來得高，同樣有發亮的感覺。

實驗五(圖 E 系列)我們將 D 系列圖對比強度減弱 50%，方格與線條界線就更模糊，線條變得更細更暗，交叉處的亮點範圍縮得比較小，因此閃爍的點也縮小了，錯視程度如同 D 系列圖。比較特別的是 E2 圖閃現效果反而變差了，多數人無法很快感覺到閃爍小點，我們推論原因，閃爍小點與線條明度接近，無法一眼看出來。

從以上實驗，我們發現：

1. 線條明度下降，在網格間加入白色圓點，並模糊處理，錯視效果最好。
2. 灰階值差越大，效果越好；只要灰階值差夠大，有彩色也能製造出閃現效果。

實驗六(圖 G 系列)白色方格搭配不同明度的線條模擬處理後，同樣也有閃爍錯覺，G2 和 G3 效果最明顯，受試者均能在 5 秒內反應，G1 線條明度與白色方格明度太接近，交叉處先看到的是明顯黑點。G4 方格與線條明度差雖然最大，但圓點與線條同是黑色，網格交叉處所出現的閃爍亮點呈現灰色，灰點在黑色背景中，較不明顯，多數受試者久視之後才感覺有白點閃爍。所以，F4 效果最不明顯。

綜合以上實驗，我們發現：陰影的明度與十字交叉處明度差距越大，閃現效果越明顯。

柒、結論

赫曼方格錯視現象，主要探討方格與間距的比例關係對此所產生的錯視現象，在色彩色相的改變對錯視強度也有所差異性。方格與間距的比例關係對錯視現象的影響已有人討論過，所以我們針對色彩色相的改變，以及圖形反轉後，對錯視現象又會產生什麼樣的影響進行研究。

一百多年間，方格錯覺不停「欺騙」著人們的眼睛，而透過研究，我們了解了更多視知覺的奧秘。

捌、參考資料及其他

1. 國家地理雜誌中文 <https://www.natgeomedia.com/science/article/content-6104.html>
2. 每日頭條 <https://kknews.cc/zh-tw/news/x8b58r.html>
3. 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A6%96%E9%8C%AF%E8%A6%BA>
4. 生活裡的科學- 眼見不為憑 <https://www.youtube.com/watch?v=YWANDwC1AHg>
5. 生活裡的科學- 視覺暫留 <https://www.youtube.com/watch?v=3JOe5fttvzU>
6. 歷歷在目-深入探討負片後像與相關視錯覺。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會。國中組生物科。
7. 眼見為憑?!-動、靜態視錯覺形成之探討。中華民國第 49 屆中小學科學展覽會。高中組生物科。