

## 瞳孔變化反映心智歷程的敏感度

唐大崙

中國文化大學大眾傳播系

侯致名

中國文化大學資訊傳播研究所

### 摘要

過去近50年，國外許多研究都發現，除了亮度之外，大腦的認知活動也會影響瞳孔變化。例如，記憶負荷量越大、語言理解難度越高，則瞳孔也會放得越大。這些研究多建立在長達十數秒的語音刺激呈現狀況下，才發現瞳孔逐漸放大再縮回的現象，而且觀察到瞳孔明顯放大的時間大約是在刺激呈現後5-10秒左右。本研究改以視覺刺激呈現的方式，同樣量得瞳孔尺寸隨記憶負荷量增加而增加的現象。不過，受測者是觀看隨機呈現的個位數數字，每個數字僅以接近等亮度的淺灰色影像呈現2秒鐘，在連續6個數字呈現完畢之後，隨即要求報告此6個個位數數字的總合。實驗者操弄數字「總合的大小」與數字「呈現順序」，結果發現，「總合大小」與「呈現順序」兩個因素皆有顯著主效果，兩因素交互作用也達統計顯著性。相對於無心算作業的情境，「總合大小」、「呈現順序」與交互作用則都未達統計顯著。顯然，心算與記憶負荷量可以在短短2秒鐘內，立即反映在平均瞳孔變化量上，這個結果可能有利於應用到廣告媒體行銷的記憶評估。

關鍵字：瞳孔、心智負荷、心算、記憶

# Sensitivity of pupillary response and mental processing

Tang Da-Lun

Department of Mass Communication, Chinese Culture University

Hou Cheng-Ming

Department of Information Communication, Chinese Culture University

## Abstract

In the past 50 years, researchers had found that mental activity can also affects the pupil size, in addition to lightness. For example, the more difficult grammar a reader reads, the more pupil dilates. Those results are base on auditory stimuli under longer presentation time. They may not be applied to the mental effects for glimpse on visual ads. In this study, we found a robust relationship between pupil size and mental calculation via using the equal-luminance rapid visual presentation paradigm. Subjects were divided into two groups, one for calculation task, the other for pure-viewing task. The calculation group needs to calculate the sum of each single-digit item per 2 seconds mentally. Each trial has 6 digit items which sum is manipulated from 14 to 44. The presentation order of each item in each trial was randomly assigned. Contrast to the calculation group, the pure-viewing group just viewing each item. Results showed that calculation group's pupil dilated more than pure-viewing groups' in such short presentation time. Obviously, pupillary response can manifest the mental activity in such short intervals(i.e., 2 seconds). The implication for applying to Ads study were discussed.

Keywords: pupil 、 mental loading 、 mental calculation 、 memory

## 前 言

很早以前，科學家就已經知道，瞳孔主要扮演調節光線入射量的角色（Gorham，1884），當外界亮度提高時，瞳孔會縮小，外界亮度減少時，瞳孔則放大，就像攝影機的光圈一般。從臉部正視，瞳孔只是位於虹膜中心的一個孔洞，而不是一個實體組織。在解剖與生理學方面的研究，也很早就指出瞳孔大小由兩圈環形平滑肌（即 Sphincter muscle 與 dilator muscle，統稱虹膜或虹彩，iris）與自主神經系統控制（Kuntz，1929）。

除了外界物理亮度會影響瞳孔變化之外，到了1960年代科學家才逐漸了解，瞳孔可能也傳遞出個體的態度偏好、情緒與心智活動訊息。因為強烈的情緒變化主要是由交感神經系統掌控，心智、意識活動主要也受大腦皮質掌控，而它們又都會影響瞳孔變化，所以透過瞳孔來觀察心智、情緒變化就成為合理而有用的管道。例如疲勞想睡時，瞳孔會縮小，驚醒（arousal）、恐懼、疼痛或專注時，瞳孔會放大；也有許多研究顯示，心智運作的負擔（mental loading）越重，瞳孔放得越大。

芝加哥大學的心理學教授，Hess，是最早提出心智運作負荷與瞳孔變化有關的學者。他觀察到，當心算難度增加時，瞳孔就放得越大。當時Hess與Polt（1964）發現受測者以心算解答  $7 \times 8$ 、 $8 \times 13$ 、 $13 \times 14$ 、 $16 \times 23$  四個題目時，瞳孔的直徑變化率幾乎是隨著答案數值增加而增加。後來Kahneman與Beatty（1966）受Hess實驗的啟發，在3、4、5、6或7個數字的覆誦情境下，紀錄受測者依序聽數字、回憶數字與覆誦數字三個時段內，瞳孔的時序變化。結果也發現，當受測者聽完要背誦的數字之後，瞳孔就逐漸放大，直到覆誦數字時瞳孔放到最大，覆誦完畢後瞳孔又迅速縮回。而且，不論受測者凝視在近處或遠處，隨著覆誦數字位數增加，所測得的瞳孔放大量越大。這表示記憶負荷量越大，瞳孔放得越大，而且與焦距調節無關。類似的結果也由Kahneman等

人(1971)、Peavler(1974)、Granholm等人(1996)與Ahern等人(1979)再度證實。

既然瞳孔變化量與心智負荷量關係受到許多研究證據的支持，Ahern與Beatty(1979)就以瞳孔放大量為指標，比較了在學術性向測驗中，高分組與低分組進行不同難度之乘法心算時，瞳孔放大量是否有顯著差異。結果發現，不論難度高低，高分組的確有比較小的瞳孔放大率，因此反過來推論，所謂高智商者可能是能有效運用策略以減少心智負荷量的人，這樣的研究結果對於教育界不無啟發。Dionisio、Granholm、Hillix與Perrine(2001)則是將瞳孔變化指標應用在測謊情境的測量上。有些研究者(Granholm等人1997、1998；Siegle等人，2001)則用來推論精神分裂症患者，或憂鬱症的短期記憶或者認知資源(cognitive resources)可能受損的情況。

如此看來，觀察瞳孔變化的用途非常廣，例如看到喜歡的刺激，瞳孔就會變大，或者比較花腦力的作業，瞳孔也會變得較大，這使得以往主觀詢問偏好的問卷測量方法，有另一項較為客觀的測量依據可資遵循，畢竟瞳孔變化的測量比填寫問卷更不容易刻意造假。監控瞳孔變化還比傳統主觀詢問方式多了一項優點，也就是可以即時觀察到作業全過程中，受測者的心智變化過程，而不單是獲得心智變化最終的結果而已。

雖然有人認為在日常生活中，透過人與人的互動，觀察瞳孔變化來傳遞感情訊息並不實際(Stass與Willis，1967)，因為相對於臉部而言，瞳孔太小了，得相當靠近才看得清楚。但是因為瞳孔與心智負荷量的關係相當穩定，再加上吾人對於許多人類心智運作過程的理解日漸殷切，瞳孔測量技術又逐漸改良，使得瞳孔變化越來越簡單可得，所以可預期的未來在廣告評估、設計評估、測謊與臨床病理診斷等等問題上，測量瞳孔的時序變化指標仍將會成為輔

助問卷調查的重要標準程序之一。

不過，前述有關瞳孔變化量與心智負荷量研究所獲得之瞳孔變化時序，大多在5-10秒或甚至更長的時間軸上，而且爲了避免亮度因素同時對瞳孔影響，大部分呈現的刺激材料多是語音刺激。例如 Ben-Nun (1986) 是以希伯來文 ( Hebrew ) 模擬兩可的同音句子，每一段句子約持續 5-6 秒，作爲聽覺實驗刺激材料，對比於沒有模擬兩可的句子，要求受測者在聽完句子之後，以回憶方式判斷剛剛聽過的句子中，有哪一句是模擬兩可的句子。結果發現受測者聽到模擬兩可的句子時，尤其是在引發模擬兩可意義的同音字出現時，瞳孔明顯持續放大，直到句子結束。相對的，聽到非模擬兩可句子時，瞳孔放大程度就比較小了。

對於平常驚鴻一瞥，發生於 2、3 秒內之視覺記憶事件，例如看廣告，是否也能快速反映在瞳孔變化上，多沒有提及。因此本研究即企圖將記憶作業的時間壓縮到 2 秒鐘，並以平均亮度幾近於相等的視覺刺激爲材料，企圖檢驗是否仍能穩定測得瞳孔放大率與心智負荷量的關係。若能穩定測得兩者間的關係，則便可發展一個能在短時間內測得瞳孔變化的實驗典範，也有利於未來將瞳孔測量應用於廣告媒體記憶效果的評估上。

爲了檢驗瞳孔放大率與心智負荷量的關係，我們設計了兩個相互對照的實驗情境，一個是要求受測者進行心算的實驗情境，另一個是要求受測者不必心算的實驗情境。這兩個實驗除了在要求心算與否有差異之外，所有因素都保持相同，都要觀看連續 6 個個位數字圖，實驗設計如下：

## 實 驗 一 ː 心 算 作 業 情 境

刺激材料與環境設備：以 PhotoShop 製作了 0 到 9 的個位數字圖檔，每個圖檔佔據約 4 度視角，數字背景亮度約  $14.07 \text{ cd/m}^2$ ，數字亮度約  $2.05 \text{ cd/m}^2$ 。每張圖檔整體平均亮度約  $11.74 \text{ cd/m}^2$ 。受測者在幾近於暗室的黑色圍幕中睜開雙眼進行實驗，光源全部關閉下的亮度約為  $0.06 \text{ cd/m}^2$ 。使用 SR Research 公司的 EyeLink II 在 250Hz 抽樣頻率、單獨偵測右眼的模式下，測量瞳孔面積值，單位為 pixels。

獨變項：為了反映心算複雜度與瞳孔變化關係，我們操弄 6 個個位數數字的「總合大小」，區分為 14、15、21、35、38 與 44 六種總值。另外將每個個位數字出現的順序依時間先後登錄為「呈現順序」的變項，由 1 至 6 六個順序分別表示 0-2、2-4、4-6、6-8、8-10 與 10-12 秒的時段。我們假設個位數數字的總合越大，呈現順序越後面，心算複雜度就越高。這兩個變項皆採受測者內設計(within-subject design)。其中，每個個位數字的呈現順序為事先隨機安排的順序，我們儘量使每個數字出現的順序機率都一樣。

依變項：每個刺激圖呈現之後，2 秒內的平均瞳孔面積值。

受測者：16 位修心理學的大學生應課堂要求主動參與本實驗，這些受測者都無用藥、熬夜、喝酒的紀錄。

實驗程序：

正式實驗前，請受測者坐於離 19 吋 CRT 螢幕前約 60 公分處，螢幕中心與受測者約成一直線，以確保目標刺激具有最佳的視覺效果。然後為受測者戴妥眼動儀頭套，並調整右眼的微攝影機（如圖一）。接下來進行眼動儀蒐集資料所必須之校正工作，首先是校正測試 (calibration test)，由於實驗刺激的呈現是使用者到整個螢幕，故採用 9 點校正測試。所謂 9 點校正測試是指在螢幕中央、

上、下、左、右、右上、右下、左上、左下等位置依電腦隨機決定位置出現一同心圓點，受測者必須穩定的凝視該同心圓點約一秒鐘，之後同心圓點將消失並移至下一位置，受測者必須跟者將視線移至同心圓出現的新位置並再次穩定的凝視，直至9點測試完成。若校正測試的結果沒有明顯錯誤，則便可正式開始實驗。



圖一、實驗情境圖

實驗指導語內容如下：「歡迎您參與記憶負荷實驗的進行，實驗進行時，請您將滑鼠指標移至十字中心位置，實驗圖片便會一一呈現於螢幕中心，您只要專心看圖片，並將所見的數字加總。實驗一共有12次，每次12秒，在12秒內盡量不要眨眼，請盡量頭部保持穩定，眼睛注視前方即可，並於實驗完畢後，回答實驗者相關問題，謝謝您的配合！」

實驗一開始，先請受測者將滑鼠移至螢幕十字符號中心處，實驗圖片便依序呈現出來，每個刺激呈現均為2秒，共呈現7個刺激圖，第一張圖恆為0，受測者必須在接下來的12秒內將所見的數字加總起來，並於該嘗試次結束時回答實驗者總值為多少。在12秒的實驗進行過程中均要求受測者盡量不要眨眼，以確保瞳孔數值的完整性。本實驗一共有12個嘗試次，每個嘗試次有12秒的瞳

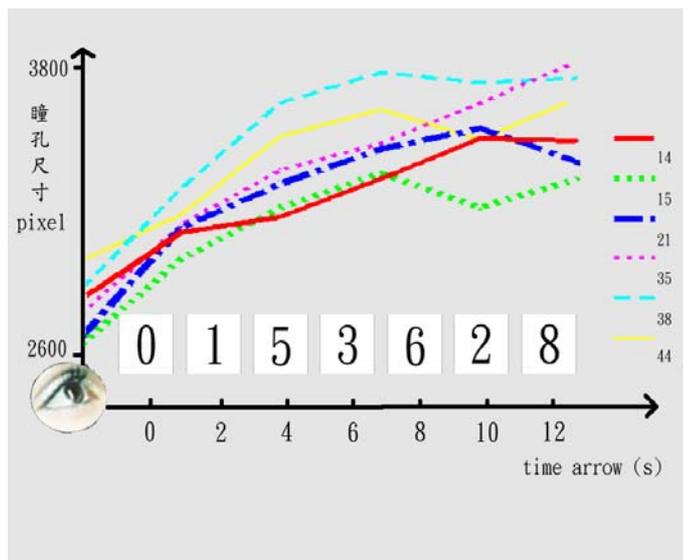
孔面積值，實驗完畢之後，將12秒的瞳孔值依照刺激圖出現的時間點，切割出6段瞳孔面積資料，每段500筆時間序列資料求其平均數值。全部實驗約需歷時15分鐘。如果受測者在嘗試次中發生眨眼，則將該嘗試次所有資料刪除，再重新進行下一個嘗試次。

結果：

因為本作業相當簡單，因此所有受測者回答加總值的正確率皆達100%。每一個嘗試次都有12秒的瞳孔紀錄，將其中一位受測者12次嘗試的12秒之瞳孔尺寸全部平均起來，得如下圖二所示的瞳孔變化時序，可以清楚看出，隨著個位數字刺激呈現順序越往後面，瞳孔有逐漸放大的趨勢。

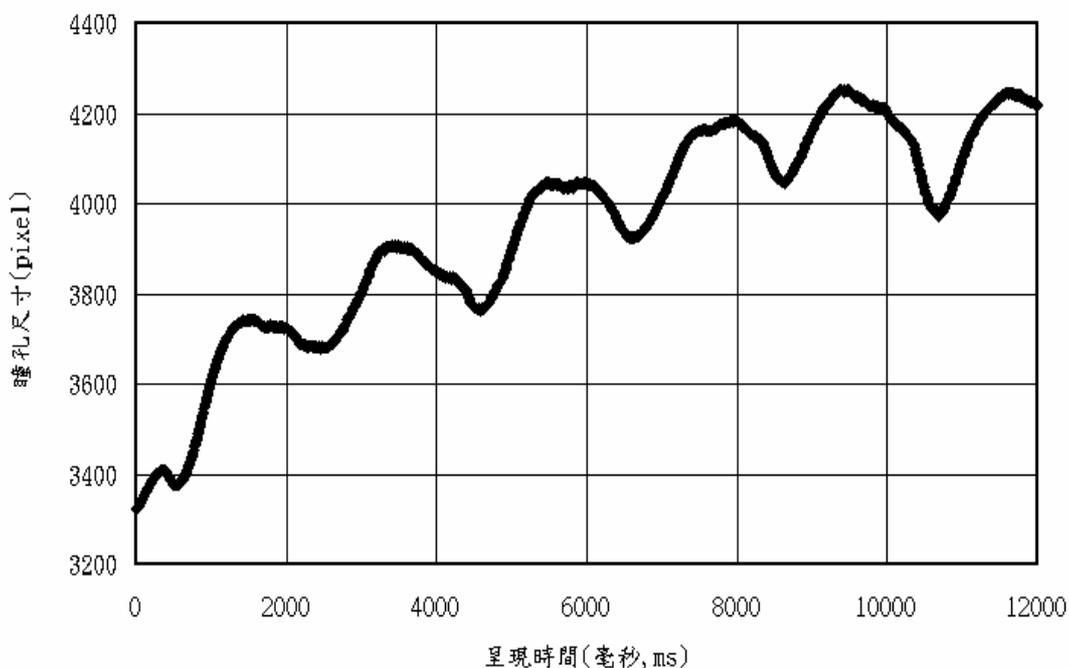
本實驗取每個刺激圖呈現之後，2秒內的平均瞳孔面積值，針對「總合大小」與「呈現順序」進行了受測者內的2因子變異數分析，結果顯示「總合大小」( $F_{(5,75)}=3.10$ ， $p=0.013$ ， $power=0.851$ )與「呈現順序」的主效果皆達統計顯著水準( $F_{(5,75)}=18.47$ ， $p<0.001$ ， $power=1.0$ )，兩因子交互作用亦達顯著水準( $F_{(25,375)}=2.158$ ， $p<0.001$ ， $power=0.998$ )。若將刺激呈現順序當成橫軸，瞳孔尺寸為縱軸，將各種數字總合情境下，所有受測者的平均瞳孔值表現如圖三的折線圖，則可以輕易看出，即便跨受測者平均的資料，隨著刺激呈現順序，瞳孔仍有逐漸放大的趨勢。

但是，只有實驗一的統計顯著結果，並不能直接將瞳孔放大歸因於心算歷程，因為也有可能只是單純看快速閃過的數字圖形，也會造成情緒緊張、瞳孔放大，因此我們再進行了一個對照組實驗。



圖二、綜合所有受測者在各種「總合大小」情境下，心算作業中瞳孔逐漸變化的結果。

實驗一，其中一位受測者跨各種「總合大小」情境下的瞳孔變化時序圖



圖三、實驗一其中一位受測者在各種「總合大小」情境下的平均瞳孔變化時序圖。呈現時間為橫軸，每2秒換一次刺激圖，共12秒。總體看來，瞳孔是逐漸在放大中，但是在刺激圖出現的剎那，會先引發瞳

## 實 驗 二 ： 非 心 算 作 業 情 境

刺激材料與環境設備：同實驗一。

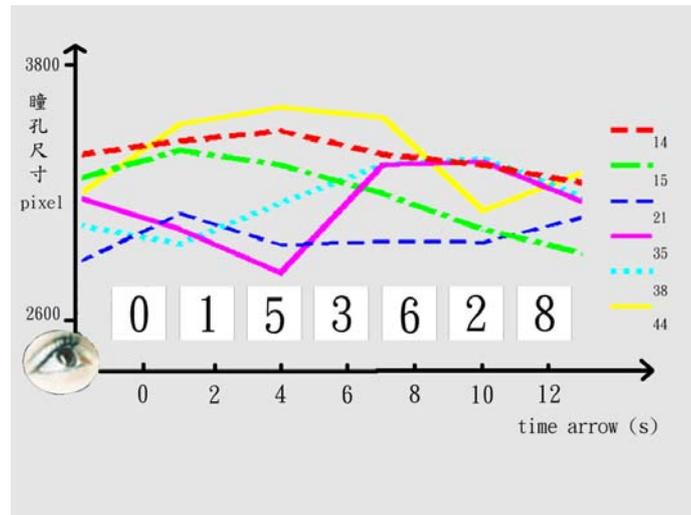
獨變項與依變項：同實驗一。

受測者：16位修心理學的大學生應課堂要求主動參與本實驗，這些受測者都無用藥、熬夜、喝酒的紀錄。

實驗程序：大致上與實驗一相同，但是只要求受測者注意看螢幕上出現的數字圖片，不必記憶或心算。實驗指導語內容如下：「歡迎您參與記憶負荷實驗的進行，實驗進行時，請您將滑鼠指標移至十字中心位置，實驗圖片便會一一呈現於螢幕中心，您只要專心看圖片，不需要對數字進行加總或記憶。實驗一共有12次，每次12秒，在12內儘量不要眨眼，請儘量頭部保持穩定，眼睛注視前方即可，並於實驗完畢後，回答實驗者相關問題，謝謝您的配合！」

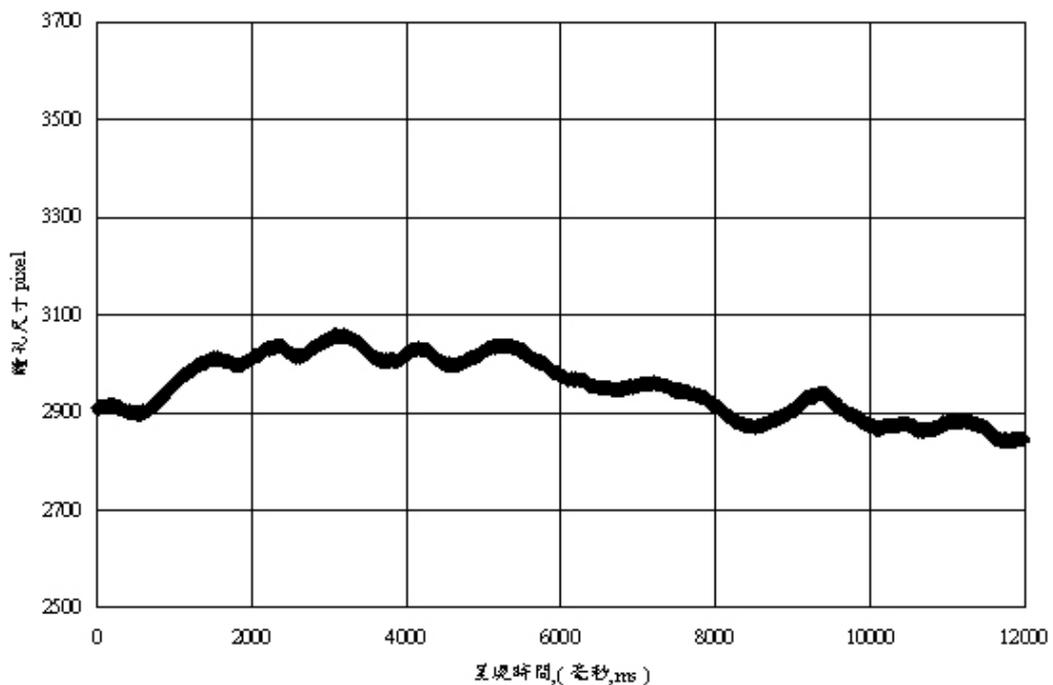
結果：

分析方法與實驗一相同，但是受測者內的2因子變異數分析結果顯示，「總合大小」( $F_{(5,75)}=0.486$ ， $p=0.786$ ， $power=0.174$ )與「呈現順序」的主效果皆未達統計顯著水準( $F_{(5,75)}=0.429$ ， $p=0.827$ ， $power=0.157$ )，兩因子交互作用也未達顯著( $F_{(25,375)}=1.215$ ， $p=0.220$ ， $power=0.907$ )，資料如圖四所示。



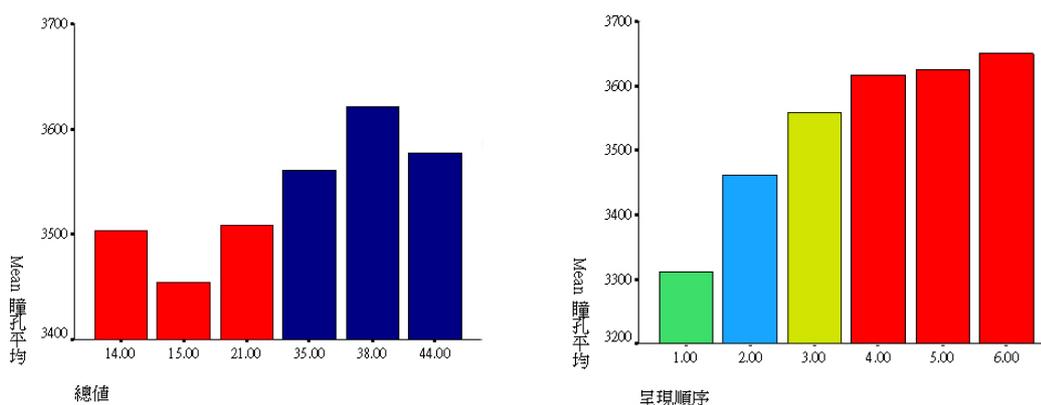
圖四、綜合所有受測者在各種「總合大小」情境下，非心算作業中瞳孔變化的結果。

實驗二、其中一位受測者跨各種「總合大小」情境下的瞳孔變化時序圖



圖五、實驗二其中一位受測者在各種「總合大小」情境下的平均瞳孔變化時序圖。呈現時間為橫軸，每2秒換一次刺激圖，共12秒。總體看來，瞳孔並無明顯放大現象，但是在刺激圖出現的剎那，隱約可見

實驗一與實驗二的刺激材料和程序都相同，但是實驗一要求受測者心算就造成瞳孔顯著放大，實驗二並沒有要求受測者心算，於是無法得到瞳孔放大現象，所以，瞳孔放大現象應該可以歸因於快速心算所造成，而不是圖片亮度或緊張不安所致。



圖六、左圖為實驗一「總合大小」因子之事後檢定分群結果，右圖為實驗一「呈現順序」因子之事後檢定分群結果，同一群則賦予同一種顏色，詳見正文所述。

進一步對實驗一的「總合大小」因素作事後檢定可發現，並非單純心算所得總合值越大，瞳孔就一定放得越大。「總合大小」因素所造成的影響約略可分為兩群，總合值為14、15與21的差異不顯著，事後檢定被分在同一群，總合值為35、38與44則被歸為另一群，如圖六左圖所示。

若進一步對實驗一的「呈現順序」因素作事後檢定可發現，呈現順序越延後，瞳孔就放得越大。其中，第一順位與第二順位的影響顯著拉開，第二順位與第三順位的影響效果也顯著拉開，第三順位與第四、五、六順位的影響也顯著拉開，約可分為四群如圖六右圖所示。這似乎顯示，受測者進行心算的過程確實需要相當的心智負荷量，運算所需要的、暫時的工作記憶（working memory）單元確實有增加，只是每個運算單元都是個位數，因此運算加總值

沒有顯著拉大負荷量。亦即本研究的心算作業不是很難，受測者又都是大學生，所以即便加總值為44，與加總值為14的嘗試次比起來，可能不需要太大差異的心智運作負荷。若將總值的數據再拉大的話，相信會有更大的心智負荷運作，同時更能看出瞳孔放大的差異所在。

## 綜 合 討 論

過去的研究顯示，測量瞳孔並不是一件簡單的事，因為瞳孔受到許多物理、生理與心理因素影響，個別差異也相當大。即便總亮度保持固定不變的兩張隨機點圖，在螢幕上相互切換，也會如圖二所示，引起瞳孔短暫收縮

(Barbur 等人，1992、Barbur，2003)。因此要穩定地推論，某一項心智活動是否可以反映在瞳孔變化上，或者某一時段的瞳孔變化可以歸因於該心智活動所致，除了必須審慎安排實驗組與對照組情境，還需仔細控制所有可能無關的混淆變項。過去國外的研究者為了避免亮度因素干擾，多採取呈現語音材料的實驗方法。本研究則透過視覺刺激的呈現來探討瞳孔與心智負荷量的關係，整個實驗過程雖有可能受到局部亮度因素與受測者個別的生理、心理差異影響，但是透過適當控制亮度與受測者內設計 ( within-subject design ) 的實驗方式，將受測者間的變異來源抽離出來，結果仍能穩定觀察到發生於短短兩秒內的平均瞳孔變化量。

而且，瞳孔放大量約隨心算總值增加而增加，也隨者心算過程的時間增加而增加。整個結果不僅再度支持瞳孔放大量與心智負荷量有關的假說，也反映出瞳孔變化的敏感度相當高，因為短短兩秒的心算運作歷程竟然可以反映在平均瞳孔變化量上。

過去文獻都在預先告知受測者記憶作業的難度之下，才發現瞳孔放大量與作業難度有顯著相關 ( Kahneman 與 Beatty ，1966；Kahneman 等人，

1969)。若不預先告知受測者作業難度，則瞳孔放大量與記憶難度似乎無顯著關聯 (Peavler, 1974)。但是本研究實驗一的受測者並未預先知道加總數值的多寡，卻仍能獲得加總數值越大，瞳孔放得越大的現象，也許是心算作業與記憶作業不同所致。

雖然本研究在實驗過程中，並未將瞳孔數值轉換成絕對直徑，而是以瞳孔佔據攝影儀器的面積為單位，但是在數學上，瞳孔絕對直徑與瞳孔面積的開平方根呈線性關係，因此本研究將所有面積資料開平方之後，再進行相同的變異數分析程序，結果發現所有顯著與不顯著的相對關係仍然成立，所以可以確定度量單位不同所產生的結果，並不影響本研究最後的結論。

文獻也顯示，瞳孔的神經調節與其他神經系統的變化不同，瞳孔不易受自由意志控制，也不易產生疲化 (habituation) 現象 (Dionisio、Granholm、Hillix 與 Perrine, 2001)，因此瞳孔變化不易造假。本研究又顯示瞳孔可以靈敏地反應出心智運作的負荷過程，所以監控瞳孔變化比傳統主觀的問卷評量方式多了另一項最重要的優點，也就是可以即時觀察到作業全程中，受測者心智變化的過程，而不單是獲得心智變化最終的結果 (例如正確率或反應時間) 而已。

目前，我們看到有將瞳孔測量應用於測謊 (Berrien 等人, 1943; Heilveil, 1976; Janisse 等人, 1980; Dionisio 等人, 2001)、病理臨床診斷、教育 (Ahern 與 Beatty, 1979) 與心理障礙診斷 (Atwood 與 Howell, 1971; Granholm 等人, 1998; Siegle 等人, 2001) 等等議題上，但卻未見有將瞳孔測量應用於評估廣告記憶處理的文獻。本研究即企圖拋磚引玉，為評估廣告記憶方面的應用研究，在研究程序與方法上預先鋪路。

「數位傳播-創新與發展」國際學術研討會報告論文。台北：中國文化大學新聞暨傳播學院主辦、新聞局贊助，6月4~5日。(民93)

過去關於廣告的記憶效果多採取問卷調查法，或者詢問閱聽人對某些品牌名稱的回憶率，或者詢問閱聽人是否記得某一播出的廣告，或者要求閱聽人回憶某廣告細節。問卷最終的目的是要說明，廣告是否成功地把訊息準確傳遞給閱聽者。但是，問卷調查無法掌握看廣告過程，發生於讀者腦中所喚起的心智活動歷程。我們相信將來可透過類似之瞳孔測量程序的安排，在認知層面（cognitive dimension）上了解，讀者對廣告文案處理的深度與廣度。

### 參考文獻

- Ahern,S., & Beatty,J.(1979). Pupillary response during information processing vary with scholastic aptitude test scores. *Science*, 205(4412), 1289-1292.
- Atwood,R.W., & Howell,R.J.(1971).Pupillometric and personality test score differences of pedophiliacs and normals. *Psychonomic Science*, 22, 115-116.
- Barbur,J.L., Harlow,J.A., & Sahraie,A.(1992). Pupillary responses to stimulus structure, colour and movement. *Ophthalmic Physiological Optics*, 12, 137-141.
- Ben-Nun,Y.(1986). The use of pupillometry in the study of on-line verbal processing: Evidence for depths of processing. *Brain & Language*, 28(1), 1-11.
- Berrien,F.J., & Huntington, G. H.(1943). An exploratory study of pupillary responses during deception. *Journal of Experimental Psychology*, 32, 443-449.
- Dionisio, D. P., Granholm, E., Hillix, W. A., & Perrine, W. F.(2001). Differentiation of deception using pupillary responses as an index of cognitive processing. *Psychophysiology*, 38(2), 205-211.
- Gorham,J.(1884). The pupil-photometer. *Proceedings of the Royal Society of London*, 37, 425-426.
- Granholm,E., Asarnow,R.F., Sarkin,A.J., & Dykes,K.L.(1996). Pupillary responses index cognitive resource limitations. *Psychophysiology*, 33, 457-461.
- Granholm,E., Chock,D., & Morris,S.(1998). Pupillary responses evoked during verbal fluency tasks indicate semantic network dysfunction in schizophrenia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20, 856-872.
- Granholm,E., Morris,S., Sarkin,A., Asarnow,R., & Jeste,D.(1997). Pupillary responses index overload of working memory resources in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 106, 458-467.
- Heilveil, I.(1976). Deception and pupil size. *Journal of Clinical Psychology*, 32, 675-676.

- Hess,E.H. & Polt,J.M.(1964). Pupil size in relation to mental activity during simple problem solving. *Science*, 143(3611), 1190-1192.
- Janisse,M.P., & Bradley, M.T.(1980). Deception, Information and the pupillary response. *Perception and Motor Skills*, 50, 748-750.
- Kahneman, D., & Beatty,J.(1966). Pupil diameter and load on memory. *Science*, 154(3756), 1583-1585.
- Kahneman,D., Tursky, B., Shapiro, D., & Crider, A.(1969). Pupillary, heart rate, and skin resistance changes during a mental task. *Journal of Experimental Psychology*, 79, 164-167.
- Kahneman,D., & Wright,P.(1971). Changes of pupil size and rehearsal strategies in a short-term memory task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23(2), 187-196.
- Kuntz,A.(1929). The autonomic nervous system. (3rd ed.). Lea and Febiger, Philadelphia.
- Peavler,W.S.(1974).Pupil size,information overload, and performance differences. *Psychophysiology*, 11, 559-566.
- Siegle,G.J., Granholm,E., Ingram,R.E., & Matt,G.E.(2001). Pupillary and reaction time measures of sustained processing of negative information in depression. *Biological Psychiatry*, 49(7), 624-636.
- Stass,J.W., & Willis,F.N.Jr.(1967). Eye contact, pupil dilation, and personal preference. *Psychonomic Science*, 7, 375-376.