

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

動態資訊處理作業之眼球運動與視覺疲勞衡量

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-040-005-

執行期間：93年10月01日至94年07月31日

執行單位：中山醫學大學職業安生衛生學系

計畫主持人：林彥輝

計畫參與人員：林孟希、謝孟穎、張雅菁、李育慈

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 9 月 30 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 動態資訊處理作業之眼球運動與視覺疲勞衡量

計畫類別： 個別型計畫       整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2213-E-040-005

執行期間：93 年 10 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

計畫主持人：林彥輝

共同主持人：

計畫參與人員：林孟希、謝孟穎、張雅菁、李育慈

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告     完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

中 華 民 國    94    年    9    月    30    日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 動態資訊處理作業之眼球運動與視覺疲勞衡量

計畫編號：NSC 93-2213-E-040-005

執行期間：93 年 10 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

計畫主持人：林彥輝 助理教授

執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

### 中文摘要

視覺顯示終端機 (Visual Display Terminal; VDT) 是電腦作業中用來傳遞訊息的主要設備，因此無論是辦公室或工作場所，VDT 以愈形重要。但是視覺顯示器的過度使用也危及了人類的健康。其中，作業人員由於經常執行 VDT 作業，而產生之視覺疲勞與肌肉骨骼酸痛是最普遍的健康問題。

本研究設計一個 VDT 視覺追蹤作業來模擬一個簡單的雷達，當目標物出現時，受試者必須按下反應鍵。透過改變作業員與螢幕之距離、資訊的出現頻率、掃瞄線的速度以及作業時間，以量測受試者的視力、閃光融合閾值、水晶體調節能力、視覺疲勞主觀評比與反應時間等指標，藉以探討在 VDT 作業環境下，動態的資訊呈現方式對作業人員視覺疲勞與績效的影響。研究結果發現，速度壓力(資訊出現頻率與掃瞄線速度)對受試者視覺疲勞有顯著影響，環境壓力(視距、作業時間與螢幕種類)對視覺疲勞亦有顯著影響，作業績效(反應時間，命中率與視覺疲勞主觀評比)則受螢幕種類影響。

關鍵詞：視覺顯示終端機、動態資訊處理、視覺疲勞

### Abstract

Visual display terminals (VDTs) can be used to store and transmitted visual information, thus VDTs have become

inevitable interface in offices and industrial workplaces. However, VDTs overused have brought with them numerous healthy disorders by overused. In these disorders that visual fatigue and musculoskeletal disorders were the most pronounced and prevalent complaints after prolonged working.

The current study designed an experiment to evaluate a dynamic visual information processing task designed to investigate an operator's visual fatigue and information processing load as measured by critical fusion flicker frequency, accommodation power, visual acuity, subjective rating of visual fatigue, and reaction time. These data were collected to observe the impacts of these important task factors to the human dynamic information processing load and visual fatigue.

The results revealed that speed stress (target rate and scanning rate) and environmental stress (viewing distance, task time and monitor type) had a significant effect on the visual fatigue. The monitor type was found to have a significant effect on the reaction time, hit rate and subjective rating of (1) my eyes feel tired and (2) eye dry, irritated or burning.

Keyword: VDT, Dynamic information processing, Visual fatigue

## 1.前言

由於電腦科技的日新月異，不論靜態或動態的訊息，皆能透過視覺顯示終端機(Visual Display Terminal；VDT)來呈現，因此 VDT 也愈來愈廣泛的應用於各種不同類型的作業。在 VDT 的作業環境中，作業人員藉由視覺顯示器的介面，來執行快速便捷的工作，例如單純的資料輸入作業，操作人員只需反射性的在自由配速下將資料輸入電腦，並且移動眼球以獲取資訊。然而，對於某些特殊的 VDT 作業，作業人員就必須非常專注的隨著資訊出現頻率的高低，或目標物移動速度的快慢，移動眼球進行追蹤，同時將所獲得的訊息，快速的透過大腦進行更高階的資訊處理，並即時做出適當的反應，典型的作業如飛航管制作業與核電廠監控作業等。在這些作業中，以飛航管制作業的航管人員所面對的挑戰及負荷最大，因為他們必須長時間的透過 VDT 監控領空中所有飛行器的相關動態，包括注視目標物及伴隨呈現的資訊，如飛機的高度、速度、方向等，以判斷該飛機與其他飛行器是否保持安全距離，而給予正確的指示與引導。雖然，因科技的快速進步，使得 VDT 更新資訊的速度愈來愈快，但由於 VDT 作業所呈現的資訊，大部份是透過視覺感官傳達，因此，作業的難易度與資訊出現頻率或資訊變換頻率的快慢，就必須控制在人類視覺能力所能感知的極限範圍內，如此，才不會因人為失誤，而造成嚴重意外事故的發生。

另一方面，因長時間、近距離的操作 VDT，也衍生了各種職業安全衛生的問題，如視覺不適、肌肉骨骼傷害與皮膚發炎等(Bergqvist, 1984；Smith, 1987)，其中以視覺不適是操作人員最常抱怨的(Chi & Lin, 1998)。Dainoff et al. (1981) 探討辦公室 VDT 作業人員視覺疲勞與職業壓力，研究結果顯示 45% 作業人員表示有視覺疲勞情形；Jaschinski et al. (1998) 探討 VDT 作業發現，當視距由遠至近，會使眼壓增加，操作人員偏好視距介於 60~100 公分；Horie(1994)的研究發現，連續

進行 15 分鐘電腦作業，就可能產生視覺疲勞現象，長時間持續性的視覺工作負荷則容易引發視覺疲勞及其他傷害症狀，如眼睛不舒服、眼睛痛癢、眼壓過大、淚眼、視線模糊或雙重影像等(林房儂, 1996)。

由以上研究結果發現，在動態 VDT 資訊處理作業環境下，除了視覺負荷及資訊處理的負荷可能會顯著增加外，因長時間作業所造成的視覺疲勞，亦是不容忽視。

## 2.研究目的

本研究設計一個 VDT 視覺追蹤作業來模擬一個動態資訊處理作業。研究共包括二個實驗，實驗一探討在速度壓力下，對受試者視覺疲勞及作業績效之影響；實驗二則針對環境壓力對受試者視覺疲勞及作業績效進行評估。本研究期望能廣泛的考慮影響動態資訊處理作業的相關因子，以作為評估改善之參考。

## 3.文獻探討

Kanaya (1990) 認為操作人員對 VDT 產生抱怨的一個主要原因，是因為這些工作要求 VDT 操作人員，必須依照一定的配速及螢幕顯示的指令來執行資訊處理作業，當 VDT 處理速度變快時，作業人員便面臨很大的工作負荷與壓力。Thum et al. (1995) 指出短和長的系統反應時間，所產生之心理物理狀態的改變與壓力的反應是一致的。反應時間短會形成較高的自律和生理活動，並且增加正面的情緒反應(positive self-reported emotional states)，但績效反應較差；反應時間長則會增加皮膚電場活動，產生負面的情緒反應(negative self-reported emotional states)和較佳的反應績效。亦即，並沒有一個系統的反應時間對於所有的工作都是最佳的，因此，最佳的系統反應時間必須由每個工作個別決定。Yamamoto (1985)提出建立與評估最佳系統反應時間，也許是一種減少操作者執行 VDT 作業壓力的可行方法。

根據 Chi & Lin (1998) 的研究指出：高速度的動態目標呈現，導致較快的眼球運動

速度，同時也造成較大的瞳孔直徑反應。因此，資訊出現頻率是影響眼球運動速度的重要因素，而且較高的資訊出現頻率也伴隨較高的資訊處理負荷。

Nicholson (1962) 探討 6 個刺激呈現速度 (亦即每秒 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 個刺激) 對於選擇反應績效的影響，結果顯示，所有正確率都高於 60%，且隨著刺激呈現速度愈快，正確率就愈差；Malmstron et al. (1981) 進行水平追蹤作業及深度追蹤作業研究，在 6.5 分鐘的眼球追蹤作業中，目標物移動速度為 0.4Hz (相當於週期時間為 2.5 秒)，結果眼球的跳視速度與眼球調節力呈線性下降；Thackray et al. (1979) 在研究模擬飛航管制中心人員的監控負荷與警覺績效關係及 Thackray et al. (1980) 針對複雜的監控作業中，所使用的雷達掃瞄速度均為每一個週期 6 秒；Adams et al. (1961) 研究複雜的視覺顯示監控作業對人員警覺作業績效的影響時，所用的資訊更新週期為 4 秒。依照上述研究，且經由適當的先期測試後，本實驗將以週期 5 秒及週期 2.5 秒為雷達掃瞄線的掃瞄速度，資訊呈現速率的兩個水準則分別為每秒 1 次及每秒 0.5 次。

在視覺疲勞的衡量指標方面，Saito et al. (1993) 探討水晶體調節能力與視覺疲勞主觀評比的關係，發現兩者存在高度相關，因此，他們認為水晶體調節能力可以作為 VDT 作業視覺壓力的衡量指標。Saito et al. (1981) 與 Iwasaki et al. (1989) 的研究顯示，閃光融合閾值可以用來衡量視覺疲勞的程度。Chi & Lin (1998) 研究三種電腦作業 (monitoring, reading & tracking task) 對視覺疲勞的影響，他們比較 7 種衡量視覺疲勞的方法，包括：水晶體調節能力 (accommodation power)、視力 (visual acuity)、瞳孔直徑 (pupil diameter)、閃光融合閾值 (critical fusion frequency; CFF)、眼球移動速度 (eye movement velocity)、視覺疲勞主觀評比 (subjective rating of visual fatigue)、工作績效 (task performance)；研究結果發現，不論是測量不同類型的電腦作業或不同程度的視覺負荷所造成的視覺疲

勞，視覺疲勞主觀評比皆具有極高的敏感度，隨著作業時間的增長，水晶體調節能力、視力與閃光融合閾值的敏感度 (sensitivity) 也跟著增加；三種作業均會導致視力顯著衰退，但作業間視力衰退程度無顯著差異。

## 4. 研究方法及步驟

### 4.1 實驗一：速度壓力對視覺疲勞及作業績效之影響

#### 4.1.1 受試者

本實驗招募 10 位 (2 男 8 女) 受試者參與本實驗，每名受測者矯正後視力需在 0.8 以上，受試者平均年齡：20.4 歲，介於 20 ~ 21 歲。

#### 4.1.2 實驗設備

本實驗的設備，主要為量測受試者視覺能力等相關硬體設備，包括 Lafayette Instrument 公司製造的閃光融合閾值測試儀 (critical flicker frequency tester, 型號：12023A)、TOPCON 公司製造的視力測試儀 (vision tester, 型號：ACP-8)、Toyo Physical 公司製造的近點計 (VDT near-point tester, 型號：TOMEY NP-200)。閃光融合閾值測試儀係用以量測受試者之閃光融合閾值 (CFF)，單位為 Hz；視力測試儀則量測受試者的視力，以 0.1, 0.2, ... 等方式表示；近點計則係量測受試者之水晶體調節力，調節力的測量單位是屈光度 (diopter, D)，屈光度的計算等於視距 (公尺) 的倒數。

#### 4.1.3 實驗設計

本實驗的作業情境是類似於 Chi & Lin (2003) 的實驗，以模擬雷達追蹤作業來驗證螢幕類型和資訊呈現速度對動態資訊處理負荷及視覺疲勞的影響。受試者所執行作業為簡單反應作業 (simple reaction task)，在簡單反應作業中，目標物只有一種 (○)，當目標物出現時，作業人員必需立刻按下反應鍵。受試者在追蹤目標物過程中，視線焦點必須配合潛在目標物的路徑方向與速度同步運動。追蹤作業時間為 20 分鐘，視距 40 cm，實驗照明桌面為 360 lx。

本實驗所操縱的自變項包括螢幕種

類、目標物出現頻率及掃瞄線的移動速度。螢幕種類有兩個水準，分別為 15 吋 CRT 螢幕及 15 吋 LCD 螢幕。目標物呈現速率的兩個水準，分別為每秒 1 次及每秒 0.5 次。雷達掃瞄線的掃瞄速度分別為週期 5 秒 (0.2 cycle/s) 及週期 2.5 秒 (0.4 cycle/s)。受試者的視線必須持續的隨著雷達螢幕上，不停轉動的掃瞄線而移動，同時在目標物出現時立即按下目標反應鍵。本實驗，由於每個自變項各含有兩個固定水準，且每位受試者均執行 8 個作業，因此，本實驗設計為受測者內三因子設計 ( $2^3$  factorial design within subject design) 實驗。

#### 4.1.4 實驗程序

為了避免受試者個人差異，而影響實驗的結果，因此，在實驗前後皆須量測受試者之視力、閃光融合閾值、水晶體調節能力及受試者視覺疲勞主觀評比。其中受試者視覺疲勞主觀評比問卷內容共有 7 題，係採用林房儂(1996)之 5 分制問卷(1 表無感覺，5 表示強烈感覺)，包括眼睛疲勞、眼睛乾澀或灼熱、眼睛疼痛、對焦困難、重影、影像閃爍與頭痛等問項。

### 4.2 實驗二：環境壓力對視覺疲勞及作業績效之影響

#### 4.2.1 受試者

本實驗共招募 10 位(4 男 6 女)受試者參與本實驗，每名受測者矯正後視力需在 0.8 以上，受試者平均年齡：20.2 歲，介於 20~21 歲

#### 4.2.2 實驗設備

本實驗的設備同實驗一。

#### 4.2.3 實驗設計

本實驗的作業情境同實驗一。目標物出現頻率為 0.5/s，掃瞄線速度為 0.2/s，實驗照明桌面為 360 lx。

本實驗所操縱的自變項包括螢幕種類、視距及作業時間。螢幕種類有兩個水準，分別為 15 吋 CRT 螢幕及 15 吋 LCD 螢幕，視距分別為 40cm 及 80cm 兩個水準，作業時間則為 20 分鐘及 60 分鐘。由於每個自變項各含有兩個固定水準，且每位受試者

均執行 8 個作業，因此，本實驗設計為受測者內三因子設計 ( $2^3$  factorial design within subject design) 實驗。

## 5. 結果與討論

### 5.1 實驗一的結果與討論

所有衡量指標，包括：視力(visual acuity)、閃光融合閾值(critical fusion flicker)、水晶體調節能力(accommodation power)、反應時間(reaction time)和命中率(hit rate)實驗前後的平均值和差異，如表 1 所示。由表一結果顯示，視力、閃光融合閾值和水晶體調節能力等視覺疲勞客觀量測指標，實驗後均較實驗前差。受試者視覺疲勞主觀評比(subjective rating of visual fatigue)的結果亦顯示，受試者實驗後較實驗前感覺疲勞(如表 2 所示)。

三個自變項，包括螢幕種類、目標物出現頻率及掃瞄線速度(速度壓力)與所有衡量指標之間的關連性變異數分析，如表 3 所示。從變異數分析結果發現，螢幕種類對反應時間與命中率有極為顯著的影響 ( $F_{(1,9)}=99.24$ ,  $p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=18.89$ ,  $p<0.01$ )；2 個速度壓力(目標物出現頻率及掃瞄線速度)對視力 ( $F_{(1,9)}=21.32$ ,  $p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=36.29$ ,  $p<0.01$ )、閃光融合閾值 ( $F_{(1,9)}=66.82$ ,  $p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=97.32$ ,  $p<0.01$ ) 與水晶體調節能力 ( $F_{(1,9)}=27.11$ ,  $p=0.043$  和  $F_{(1,9)}=43.99$ ,  $p<0.01$ ) 有顯著影響。目標物出現頻率對反應時間有極為顯著的影響 ( $F_{(1,9)}=69.36$ ,  $p<0.01$ )。螢幕種類與目標物出現頻率的交互作用對視力 ( $F_{(1,9)}=7.36$ ,  $p=0.024$ ) 與反應時間 ( $F_{(1,9)}=55.68$ ,  $p<0.01$ ) 有顯著影響，目標物出現頻率與掃瞄線速度的交互作用對閃光融合閾值 ( $F_{(1,9)}=7.16$ ,  $p=0.025$ ) 與水晶體調節能力 ( $F_{(1,9)}=8.00$ ,  $p=0.019$ ) 亦有顯著影響。

### 5.2 實驗二的結果與討論

所有衡量指標，包括：視力(visual acuity)、閃光融合閾值(critical fusion flicker)、水晶體調節能力(accommodation power)、反應時間(reaction time)和命中率(hit

rate)實驗前後的平均值和差異，如表 4 所示。由表一結果顯示，視力、閃光融合閾值和水晶體調節能力等視覺疲勞客觀量測指標，實驗後均較實驗前差。受試者視覺疲勞主觀評比(subjective rating of visual fatigue)的結果亦顯示，受試者實驗後較實驗前感覺疲勞(如表 5 所示)。

三個自變項，包括螢幕種類、視距及作業時間(環境壓力)與所有衡量指標之間的關連性變異數分析，如表 6 所示。從變異數分析結果發現，螢幕種類對視力、閃光融合閾值、水晶體調節能力與反應時間極為顯著的影響 ( $F_{(1,9)}=36.00, p<0.01, F_{(1,9)}=31.08, p<0.01, F_{(1,9)}=27.90, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=88.93, p<0.01$ )；視距和作業時間對視力 ( $F_{(1,9)}=40.50, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=28.98, p<0.01$ )、閃光融合閾值( $F_{(1,9)}=45.88, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=61.35, p<0.01$ )、水晶體調節能力 ( $F_{(1,9)}=56.20, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=67.07, p<0.01$ ) 與反應時間 ( $F_{(1,9)}=39.60, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=34.94, p<0.01$ )有顯著影響。螢幕種類與視距的交互作用對視力( $F_{(1,9)}=9.59, p=0.013$ )與閃光融合閾值( $F_{(1,9)}=9.35, p=0.014$ )有顯著影響，螢幕種類與作業時間的交互作用對水晶體調節能力( $F_{(1,9)}=19.71, p<0.01$ )與命中率( $F_{(1,9)}=5.76, p=0.039$ )有顯著影響，視距及作業時間的交互作用對閃光融合閾值 ( $F_{(1,9)}=9.85, p=0.012$ )與水晶體調節能力 ( $F_{(1,9)}=21.35, p<0.01$ )亦有顯著影響。

受試者視覺疲勞主觀評比的變異數結果發現，螢幕種類、視距及作業時間對眼睛疲勞(Q1)及眼睛乾澀或灼熱(Q2)有極為顯著的影響 ( $F_{(1,9)}=20.00, p<0.01, F_{(1,9)}=73.50, p<0.01, F_{(1,9)}=94.06, p<0.01$ )、( $F_{(1,9)}=15.78, p<0.01, F_{(1,9)}=15.78, p<0.01$  和  $F_{(1,9)}=50.80, p<0.01$ )。

## 6.參考文獻

Adams, J. A., Stenson, H. H., and Humes, J. M., "Monitoring of complex visual displays II. Effects of visual load and response complexity on human vigilance," *Human Factors*, 3, pp213-221 (1961).

Bergqvist, U., Video display terminals and

health: A technical and medical appraisal of the state of the art, *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 10(Suppl. 2), 87 (1984).

Chi, Chia-Fen and Lin, Fang-Tsan, A comparison of seven visual fatigue assessment techniques using three data-acquisition VDT tasks, *Human Factors*, 40, 577-590 (1998).

Chia-Fen Chi, Yen-Hui Lin, and Woei-Shuoh Lan, Measurement of information processing load and visual load on a dynamic information processing task, *Behavior and information technology*, 22(5), 365-374 (2003).

Dainoff, M. J. and Happ, A., Visual fatigue and occupational stress in VDT operators, *Human Factors*, 23(4), 421-438 (1981).

Horie, Y., Prevention of visual fatigue in workstation, *Proceedings of the 1st Human Factors Association Conference in Taiwan*, National Tsing Hua University, 251-252 (1994).

Iwasaki, T., Kurimoto, S. and Noro, K., The changes in colour flicker fusion (CFF) values and accommodation times during experimental repetitive tasks with CRT display screens, *Ergonomics*, 32(3), 293-305 (1989).

Jaschinski, W., Heuer, H. and Kylian, H., Preferred position of visual displays relative to the eyes: a field study of visual strain and individual differences, *Ergonomics*, 41(7), 1034-1049 (1998).

Kanaya, S., Vision and visual environment for VDT work, *Ergonomics*, 33, 775-785 (1990).

Malmstron, F. V., Randle, R. J., Murphy, M. R., Reed, L. E., and Weber R. J., "Visual fatigue: the need for an integrated model," *Bulletin of the psychonomic society*, 17(4), pp.183-186 (1981).

Nicholson, R.M., Maximum information-handling rates for sequentially presented visual stimuli, *Human Factors*,

4, 367-373 (1962).

Saito, M., Tanaka, T. and Oshima, M., Eye strain in inspection and clerical workers, *Ergonomics*, 24(3), 161-173 (1981).

Saito, S., Taptagaporn, S. and Salvendy, G., Visual comfort in using different VDT screens, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 5(4), 313-323 (1993).

Smith, M.J., Mental strain at VDT workstations, *Behaviour and Information Technology*, 6(3), 243-255 (1987).

Thackray, R. I., Bailey, J. P., and Touchstone, R. M., "The effect of increased monitoring load on vigilance performance using a simulated radar display", *Ergonomics*, 22, pp 529-539 (1979).

Thackray, R. I. & Touchstone, R. M., "Visual search performance during simulated radar observation with and without a sweep line", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 51, pp 361-366 (1980).

Thum, M., Boucsein, W., Kuhmann, W., Standardized task strain and system response times in human-computer interaction, *Ergonomics*, 38, 1342-1351 (1995).

Yamamoto, S., A study of VDT operators' information processing based on saccadic eye movement and response time, *Ergonomics*, 28, 855-867 (1985).

林房儻，藉由眼球運動探討視覺搜尋型態與視覺疲勞之研究，第 22 頁，國立台灣科技大學博士論文，民國 85 年。

表 1 實驗一受試者各作業單元之依變項及其實驗平均值

實驗作業	視力		閃光融合閾值(Hz)		水晶體調節力(D)		反應時間(ms)	命中率
	實驗前/後	△值	實驗前/後	△值	實驗前/後	△值		
Task 1	1.13 / 1.11	0.02	40.5 / 39.7	0.8	13.5 / 13.2	0.3	324.30(22.17)	0.97(0.03)
Task 2	1.26 / 1.05	0.21	42.0 / 40.4	1.6	13.4 / 11.9	1.5	306.00(17.59)	0.97(0.03)
Task 3	1.19 / 1.19	0.00	41.0 / 40.5	0.5	13.6 / 13.4	0.2	340.50(19.66)	0.97(0.03)
Task 4	1.21 / 1.10	0.11	41.4 / 40.4	1.0	13.9 / 13.1	0.8	326.80(19.10)	0.97(0.03)
Task 5	1.19 / 1.11	0.08	41.4 / 40.8	0.6	13.3 / 13.0	0.3	244.70(33.03)	1.00(0.00)
Task 6	1.21 / 1.01	0.20	41.6 / 39.6	2.0	13.4 / 12.3	1.1	234.00(48.18)	1.00(0.00)
Task 7	1.15 / 1.14	0.01	41.1 / 40.7	0.4	13.2 / 13.0	0.2	324.70(23.40)	1.00(0.00)
Task 8	1.17 / 1.08	0.09	41.8 / 40.7	1.1	13.3 / 12.6	0.7	329.10(25.19)	1.00(0.00)

Note: 1.△值表示作業前後各測量值下降平均數

2.括弧內之數值為標準差

表 2 實驗一受試者各作業單元視覺疲勞主觀評比的平均值

受試者視覺疲勞主觀評比

實驗作業	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
	實驗前 / 後						
Task 1	1.4/1.9	1.3/1.9	1.1/1.3	1.4/1.5	1.3/1.5	1.1/1.5	1.1/1.1
Task 2	1.3/1.8	1.1/1.5	1.1/1.1	1.2/1.5	1.2/1.3	1.2/1.2	1.1/1.1
Task 3	1.7/2.0	1.4/1.5	1.2/1.3	1.3/1.5	1.3/1.4	1.2/1.3	1.1/1.1
Task 4	1.4/2.0	1.2/1.8	1.1/1.4	1.3/1.7	1.1/1.3	1.1/1.1	1.1/1.1
Task 5	1.2/2.3	1.3/1.9	1.1/1.8	1.1/1.6	1.1/1.4	1.1/1.2	1.0/1.1
Task 6	1.6/2.1	1.3/1.4	1.2/1.4	1.2/1.5	1.2/1.2	1.2/1.2	1.2/1.2
Task 7	1.5/2.1	1.4/1.7	1.1/1.5	1.4/1.7	1.2/1.3	1.2/1.3	1.1/1.1
Task 8	1.6/1.7	1.5/1.8	1.3/1.5	1.3/1.6	1.2/1.5	1.1/1.3	1.0/1.0



表 3 實驗一變異數分析結果

衡量指標	螢幕種類	目標物出現頻率	掃瞄線速度	螢幕種類*目標物出現頻率	螢幕種類*掃瞄線速度	目標物出現頻率*掃瞄線速度
視力	0.26	21.32**	36.29**	7.36*	1.96	1.98
閃光融合閾值	0.02	66.82**	97.32**	1.76	1.38	7.16*
水晶體調節力	2.43	27.11**	43.99**	2.23	2.59	8.00*
反應時間	99.24**	69.36**	3.01	55.68**	2.17	1.13
命中率	18.89**	0.21	0.14	2.50	0.90	0.01
視覺疲勞主觀評比						
眼睛疲勞(Q1)	0.84	4.97	0.38	0.26	8.31*	1.76
眼睛乾澀或灼熱(Q2)	0.01	0.01	0.20	1.76	0.40	14.05**
眼睛疼痛(Q3)	1.62	0.18	1.83	1.98	0.67	1.98
對焦困難(Q4)	0.42	0.01	0.31	2.25	3.86	0.23
重影(Q5)	0.13	0.31	0.31	0.31	0.31	4.37
影像閃爍(Q6)	3.86	0.13	7.23*	1.33	7.23*	1.33
頭痛(Q7)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

備註：1.\*p<0.05,\*\*p<0.01

2.表中數據代表 F 值

表 4 實驗二受試者各作業單元之依變項及其實驗平均值

實驗作業	視力		閃光融合閾值(Hz)		調節力(D)		反應時間(ms)	命中率
	實驗前/後	△值	實驗前/後	△值	實驗前/後	△值		
Task 1	1.17 / 1.10	0.07	41.5 / 40.7	0.8	13.2 / 12.7	0.5	325.8(33.4)	1.00(0.00)
Task 2	1.42 / 1.12	0.30	42.3 / 39.8	2.5	14.2 / 12.3	1.9	356.5(32.2)	0.99(0.02)
Task 3	1.16 / 1.16	0.00	41.1 / 40.8	0.3	13.7 / 13.5	0.2	319.2(29.1)	1.00(0.00)
Task 4	1.28 / 1.14	0.14	41.6 / 40.2	1.4	13.9 / 12.9	1.0	345.2(35.5)	0.99(0.02)
Task 5	1.22 / 1.21	0.01	40.6 / 40.1	0.5	13.8 / 13.4	0.4	311.6(24.9)	1.00(0.00)
Task 6	1.30 / 1.11	0.19	41.5 / 39.5	2.0	13.5 / 12.2	1.3	339.8(35.0)	0.99(0.02)
Task 7	1.25 / 1.25	0.00	40.6 / 40.4	0.2	13.9 / 13.7	0.2	304.7(22.0)	1.00(0.00)
Task 8	1.20 / 1.09	0.11	41.1 / 40.1	1.0	13.9 / 13.2	0.7	333.6(37.2)	0.99(0.01)

Note: 1.△值表示作業前後各測量值下降平均數

2.括弧內之數值為標準差

表 5 實驗二受試者各作業單元視覺疲勞主觀評比的平均值

實驗作業	受試者視覺疲勞主觀評比						
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
	實驗 前 / 後						
Task 1	1.6/2.4	1.4/2.0	1.2/1.6	1.0/1.7	1.1/1.8	1.1/1.3	1.0/1.4
Task 2	1.7/2.3	1.3/1.9	1.2/2.0	1.2/1.8	1.2/1.4	1.1/1.6	1.1/1.4
Task 3	1.4/2.2	1.2/1.8	1.2/1.5	1.2/1.6	1.3/1.5	1.1/1.5	1.1/1.5
Task 4	1.3/2.1	1.2/1.8	1.2/1.5	1.1/1.5	1.2/1.2	1.0/1.1	1.0/1.2
Task 5	1.6/1.9	1.4/1.7	1.3/1.3	1.1/1.6	1.1/1.4	1.3/1.3	1.3/1.3
Task 6	1.6/2.4	1.4/2.1	1.5/2.1	1.2/2.0	1.3/1.6	1.3/1.8	1.2/1.5
Task 7	1.6/2.2	1.4/2.1	1.3/1.8	1.1/1.5	1.1/1.4	1.0/1.2	1.0/1.3
Task 8	1.4/1.6	1.2/1.8	1.2/1.6	1.1/1.7	1.0/1.5	1.0/1.1	1.1/1.1

表 6 變異數分析結果

衡量指標	螢幕種類	視距	作業時間	螢幕種類 * 視距 * 作業時間		螢幕種類 * 視距 * 作業時間
				*視距	作業時間	
視力	36.00**	40.50**	28.98**	9.59*	1.82	4.45
閃光融合閾值	31.08**	45.88**	61.35**	9.35*	3.59	9.85*
水晶體調節力	27.90**	56.20**	67.07**	1.48	19.71**	21.35**
反應時間	88.93**	39.60**	34.94**	1.58	0.01	0.31
命中率	3.86	0.13	1.92	0.57	5.76*	0.02
視覺疲勞主觀評比						
眼睛疲勞(Q1)	20.00**	73.50**	94.06**	1.71	0.37	1.16
眼睛乾澀或灼熱(Q2)	15.78**	15.78**	50.80**	0.08	0.80	7.23*
眼睛疼痛(Q3)	0.24	0.45	10.57**	4.89	0.03	2.80
對焦困難(Q4)	0.10	1.71	0.55	0.18	0.47	0.01
重影(Q5)	0.80	0.56	5.00	2.65	3.30	0.06
影像閃爍(Q6)	0.15	1.00	0.47	0.47	0.18	6.43*
頭痛(Q7)	0.45	0.08	0.80	0.03	0.80	0.45

備註：1.\*p<0.05,\*\*p<0.01

2.表中數據代表 F 值