

頭配式顯示器之生理測試評估與產品開發

黃台生* 林康平** 周文智***

* 朝陽科技大學設計研究所
e-mail:tshuang@cyut.edu.tw

** 中原大學電機工程學系
e-mail:klin@dec.ee.cycu.edu.tw

*** 朝陽科技大學工業設計系
e-mail:wenchih@cyut.edu.tw

(收件日期:94年05月18日;接受日期:95年08月11日)

摘要

為瞭解頭配顯示器(Head Mounted Display, HMD) 對人體生理影響與相關產品的設計和開發,本研究首先以自行設計的心率檢測系統配合疲勞度視覺問卷,對年輕受測者進行視覺機能與不適性的感覺模擬實驗和分析,並藉由觀看不同類型影片,監測受測者心率變異度、視覺疲勞度、目標追蹤以及瞳孔距離(Inter-Pupillary Distance, IPD)改變情形。根據本研究量測獲得之資料分析結果,顯示長時間使用頭配顯示器,確實對使用者造成生理機能上的負面影響,其中包括心率變化量有明顯的改變、交感神經與副交感神經均呈現顯著的變化、且快速移動下容易造成眼部肌肉疲勞與視覺不適性等。為改善因瞳孔距離不良所造成視覺不適性部分,後續利用電腦輔助整合設計進行可調式瞳孔距離自動機構的設計與運動模擬分析,並配合產品意象尺度(Image Scale)、產品設計方法及理論等完成產品的設計與開發。最後,則依據測試之結果與實際產品設計開發過程之經驗,提供此產品的相關設計準則,作為產品開發單位在設計上之參考依據。

關鍵詞：頭配顯示器、電腦輔助整合設計、產品意象尺度、瞳孔距離、心率變異度、視覺疲勞度

一、前言與文獻探討

頭配式顯示器是一種精巧方便的電子式顯示器系統,自1965年美國Ivan Sutherland 教授設計了第一代顯示器-Ultimate Display後,頭配式顯示器這項產品即逐漸受到重視[1]。頭配式顯示器因其三維立體顯示功能,成為目前顯示虛擬實境(Virtual Reality)的主要裝備之一;由於其體積狹小輕巧,未來可配合電腦、錄放影機、電視收訊器及其他各型視訊產品使用後,將潛含極大的發揮空間,是消費性電子產品重要發展項目之一,屆時HMD 的設計與應用將會有更大的突破[2,3]。但至今,研究人員仍未使頭配式顯示器大量推廣到每一個家庭或被普遍實用的原因之一,是使用頭配式顯示器之後對人體是否會產生影響?這個影響是正面還是負面的?目前仍未有一個定論。在這方面之所以會有如此的顧慮,是因為有部分研究顯示,曾經有使用者在長期使用後,有眼睛疲勞、肩膀酸痛等各種負面影響,使得製造廠商,或是想以頭配式顯示器當作虛擬實境配備的研究人員,對於使用頭配式顯示器的想法,一直停留在初級試探階段。然而,有關頭配式顯示器與人體生理測試之相關研究極為有限,經正式發表之研究論文亦不

能明確指出何項人體生理功能，會因佩戴頭配式顯示器而產生立即且明顯的傷害，進而促使本研究之動機。因此，本論文之目的與重要性皆對現今市售之HMD，使用後對人體有何影響進行評估，以作為相關設計生產單位之重要參考，使得未來HMD的發展能臻至完善。頭配式顯示器為何仍無法妥善定位為消費性電子商品，其理由之一是頭配式顯示器的使用，是否對人體有所影響，以及在哪種狀況下，何種生理功能將會受影響，這類問題一直未有明確定論，故須深入了解並進一步慎重分析清楚。本研究先就此領域中著名的三位教授所發表的四篇重要相關文獻，進行研究方向與結果的分析。

首先是 Kooi 教授利用 information uptake 及 accommodative facility 兩種檢測方式，測驗頭配式顯示器對視覺狀況的影響，特別以測驗眼睛是否可準確的移動，及眼睛是否發生疲勞的症狀，為主要評估的參考依據[4]。在 information uptake 的測驗中，為了瞭解人眼在觀看電視時的眼部肌肉動作狀態，以及可能造成對視覺疲勞的影響，Kooi 以「動態的字型大小變化」與「位置移動變化」等兩項因素，以人為控制動作作為模擬，要求使用者識別螢幕上，顯示出位置隨機變動的字體。本項測量除對眼睛的動作操作有所規範外，亦針對頭部是否轉動或靜止部分加以討論。為測試眼睛在觀測物體後視覺的疲勞度變化，Kooi 採用 accommodative facility 來作為視覺的疲勞度測試，比較眼睛在不使用任何顯示器情況下，與使用頭配式顯示器時兩者之視覺疲勞上的差異。綜合 information uptake 及 accommodative facility 兩項測驗，Kooi 認為會因視覺情況，產生疲勞度升高的原因有：當身體平衡感與視覺所接受訊息的協調性呈現不和諧時，眼睛視覺容易有疲勞感之產生；當使用單眼型頭配式顯示器時，因左、右眼是同時接受外界及頭配式顯示器兩種不同的訊息，而產生兩眼敵對(binocular rivalry)的狀況發生，此種現象亦容易造成視覺的疲勞。

Williams、Wann 及 Rushton 教授為二十位受測者進行使用頭配式顯示器前後的視覺情況檢測，在自我感覺的評估上，有一半的受測者認為在使用頭配式顯示器之後，會有視覺模糊現象的感受，而且在使用後，需花 40 分鐘來恢復正常視覺。這個視覺模糊的原因，Williams 及 Wann 認為在頭配式顯示器的硬體設計中，為了使左、右眼的視覺影像往中間移動，以提高兩眼影像的重疊面積，因此，設計以 LEEP optics 與 Fresnel lenses，使視覺畫面達到更立體的效果。但是，此項設計常無法讓受測者順利適應，自然也成為造成視覺模糊的主因[5]。Williams 及 Wann 同時也認為，頭配式顯示器上的 accommodating 裝置，不宜設計為固定不變。他們認為 accommodating 最好為可調整值或藉由軟體功能，以達到合適的使用者的視覺環境。此外，他們亦提出警示，任何使用者均應注意持續使用頭配式顯示器的使用時間與使用次數。

除了上述研究外，Williams、Wann 及 Rushton 教授又於 1993~1994 年間，曾對兩個虛擬環境進行研究，其一為在虛擬的風景中騎腳踏車的系統，此系統以立體影像處理之畫面，模擬虛擬實境的視覺狀況；另一則為英國 Virtuality Group 的三維畫面電玩機[6]。在這項測試報告中指出，受測的 20 名使用者，在使用頭配式顯示器觀看立體畫面 10 分鐘後，約有半數以上的受測者，有視機能暫時疲勞的情況發生。對於使用相同頭配式顯示器於三維電玩畫面時的 50 名受測者，卻幾乎沒有發現較具體的影響。兩位作者對測試結果作了一個結論，認為視覺疲勞的引起，是因為虛擬實境的立體影像所造成，這是因為大部分接受以虛擬實境做騎腳踏車的系統的受測者，都有明顯的視機能增加負擔，並有目眩的不適症狀產生。因此，為減少視覺機能的負擔，在未改良現況前，應盡量少觀看或使用三維立體影像，即使使用三維立體影像，也應限制使用的時間長度，以及不要給予使用者的三維立體畫面，呈現太大範圍的景深變化。

另一項重要的研究結果，是由 Piantanida 教授所完成之報告。此項報告認為，兩眼之間的瞳孔間距與頭配式顯示器的 IPD 系統規格的寬度，若差異過大，將會使視覺發生暫時性疲憊，或造成不良的內、外斜視情況；例如：當頭配式顯示器的 IPD 系統規格比使用者的瞳孔間距大時，眼部的內外肌肉，為使影像能清楚地被視覺神經顯示，因此會使瞳孔長時間地向外斜視，因而造成外斜視；相反地，當頭配式顯示器的 IPD 系統規格比使用者的瞳孔間距小時，則容易造成內斜視。Piantanida 建議改善此種可能造成眼睛內外斜視的狀況，可將頭配式顯示器的 IPD 系統規格，設計成可依使用者而調整的可變動式 IPD，此項為設計上重要的考量因素[7]。

二、研究方法

在近幾年文獻所探討的範圍中，都是以現有產品規格的頭配式顯示器，在視同電視或電腦螢幕功能的使用狀況下，進行其對人體影響之檢測。由於大部分研究機構都採用虛擬實境所產生的立體影像效果，致使測試者因身體平衡感與視覺所接受訊息的協調性不和諧，使得研究結果有不適症狀的產生，例如：嘔吐、頭暈、視覺疲勞等。但是，目前仍缺少有研究機構探討，將頭配式顯示器作為家電用品使用時，對人體會產生哪些其他方面的影響，以及國內自行研發完成之頭配式顯示器，應以何種測試系統與觀點，能進一步瞭解使用者可能之生理效應。為得到相關研究資料與數據，本研究首先以心律訊號分析配合與視覺疲勞度問卷，分別進行三項測試之生理參數評估，以觀察使用頭配式顯示器前後差異。此三項測試分別為：

測試一：觀看二種不同類型家庭用影帶，評估其對使用頭配式顯示器的綜合生理影響。

測試二：以人為控制移動目標之方式，測試使用頭配式顯示器時，對眼睛追蹤該目標的視覺疲勞影響。

測試三：測量使用者雙眼 IPD 與頭配式顯示器之 IPD 規格不同時，所產生的生理影響。

2-1 測試流程

本研究選擇三十位視覺正常、且無高血壓與心臟病、年齡為 20 至 26 歲的大學生與研究生為受測者，其中男生 16 人、女生 14 人。在受測時，採自我感覺最適宜之坐姿接受測試。測試(一)之內容，以觀看二部不同動作變化程度之影片為參考標準，進行各相關問題之探討。測試(二)之內容，則以觀測不同大小與不同移動速度之目標物，以模擬使用者對電玩之基本狀況反應。測試(三)則是量測三十位受測者之 IPD，進而與系統規格比較，並提供人體 IPD 之基本變異程度。此三項測試之細節內容，將分別詳述如下。

2-1.1 測試一：影帶觀看測試

為模擬實際觀看一般家庭電視錄影帶情形，本項測試選擇二類不同性質之家庭用影帶，類別分別為武藝類及動作類，在受測者分別以電視螢幕與頭配式顯示器為顯示螢幕的情況下觀看完影片後，接受心律測試與問卷調查。三十位受測者各觀看二類影片，首先以電視螢幕為顯示系統，其次為頭配式顯示器，每次只觀看一部影片，每部片觀看時間相隔一天，觀看期間收集心率變異度及問卷兩項資料，對每次觀看時之狀況，作綜合性影響比較。此項的測試步驟如下：

- (1)受測者以電視螢幕為顯示器；
- (2)在觀看影片的過程中，每二十分鐘為一時間間隔，作心率變異度分析及視覺疲勞度問卷，至影帶播放結束；
- (3)隔天，再換另一類型影帶，重複(2)之動作；
- (4)當二種類型影帶都完成測試後，將顯示器系統換為頭配式顯示器，重複(2)、(3)之工作。
- (5)當二種類型影帶都以兩種顯示器接受過檢測後，測試(一)結束。

2-1.2 測試二：目標追蹤測試

頭配式顯示器也作為一般家庭娛樂用途上，除了可欣賞影帶或電視節目外，還可與 SEGA 電視遊戲機結合使用。由於電玩遊戲內的目標物移動快速且無固定方向，在以電視螢幕為顯示系統時，容易造成使用者眼睛疲勞。但以頭配式顯示器為顯示系統時，對視覺有何種程度的影響，這部分仍沒有人討論。本

研究之第二項測試，即以模擬使用者玩電玩遊戲時之狀況，以瞭解可能的生理影響。此項測試利用不同大小之字在螢幕上四角移動，移動位置順序為左上、右下、右上、左下，並用五種大小之字型，配合五種不同暫留螢幕的時間。每次測試以觀看一個字型大小，且與預選定之螢幕暫留時間進行測試，每次所觀看時間，則以持續觀看螢幕並追蹤該目標三分鐘與六分鐘兩種情況。為確認受測者能確實以雙眼追蹤目標，在受測時所見到之字形，必須以口讀出。亦即，所顯示之字型大小固定，但字形為變動。在受測後，以自我感覺問卷，對兩類顯示系統，作綜合性影響比較。測試(二)的實驗步驟，如下：

- (1) 字之大小(以標楷體為例)分別為 36、85、125、140 及 150pt；字暫留螢幕時間，分別為 1、0.75、0.5、0.25 及 0.1 秒；
- (2) 選擇一種字體大小及字暫留時間，受測時間為三分鐘，在此時間內，受測者注視螢幕上位置變動之字，受測時間過後，隨即施以視覺疲勞度問卷，詢問受測者之視覺狀況；
- (3) 當受測後，受測者休息三十分鐘，於視覺情況恢復正常後，繼續(2)之步驟。
- (4) 依據顯示字體大小及暫留時間之組合，共需重複上述受測步驟二十五次。

2-1.3 測試三：瞳孔間距測試

在硬體方面，曾有文獻指出，頭配式顯示器的 IPD 系統規格，在使用後會暫時性地影響使用者的視覺情況，範例之一為使用者常在使用後，視覺狀態會有暫時性內、外斜視之現象。目前市面上發行之頭配式顯示器，很少會針對 IPD 設計，如欲將頭配式顯示器作為一般消費性商品推廣至家庭，則將 IPD 系統規格設計為可調整式，以符合個別使用者眼睛之使用狀況，並能同時維持合理產品售價，是一項極為重要的工作。本研究檢驗個別受測者之眼睛 IPD，觀察 IPD 系統規格如何設定方能最適合使用者，經過分析歸納後，期能找出對眾人都適宜之 IPD，以作為頭配式顯示器之設計使用。

2-2 生理參數之評估方式

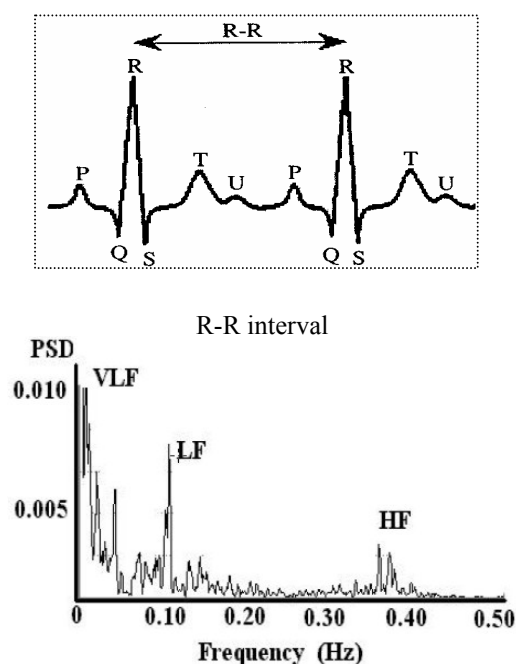
上述三項測試結果分別以下列方式進行評估分析：

2-2.1 心律訊號分析方法

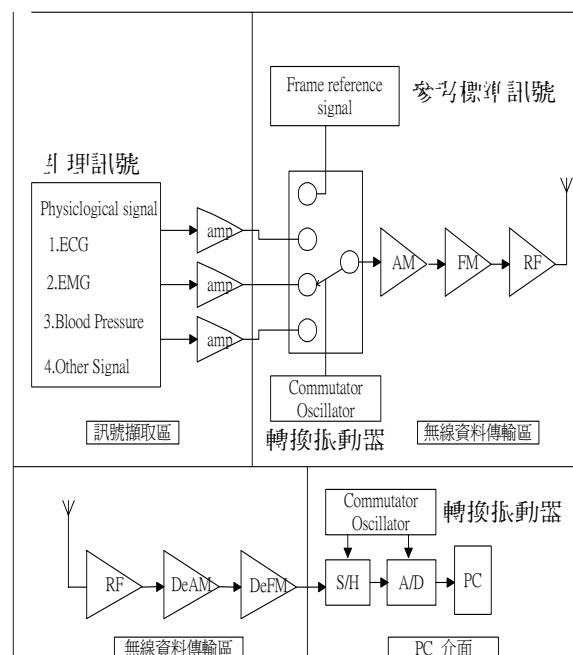
使用頭配式顯示器觀看影帶時，除了眼睛直接接受視訊外，對身體機能狀況影響的最直接綜合性指標參數，即為心律訊號，其中以心律變異度(Heart Rate Variability, HRV)的分析，更可顯示出生理情況與人體感受的差異[8,9]。有關以心律變異度分析人體在使用頭配式顯示器的生理反應，目前仍未有相關文獻可供參考，是頗值得深入探討的方向。心律變異度是記錄長時間的心跳間距(R-R interval)，經分析其低功率頻譜(LF)與高功率頻譜(HF)(如圖 1(a)所示)，以得知心律變化判斷交感與副交感神經活動。若是迷走神經(副交感神經)受到刺激，交感神經的抑制過多，則會顯現低效能心臟情況；相反地，迷走神經(副交感神經)的抑制過多，交感神經接受刺激，增加心臟做功負荷，會顯現高效能心臟。有文獻顯示[10,11]，人體生理的諸多感受，可藉由交感及副交感神經的相互影響，了解其關係，例如，當人體自我感覺，感覺為舒適時，心律變異度所反映出的自律神經活性，比在外界刺激人體時，所反映出的自律神經活性小，如此觀察，可以知道頭配式顯示器對人體的間接影響。

為了得到生理訊號的心律訊號，作為分析的依據，一般十二導程心電圖的檢測儀器，需要大量的資料傳輸線，而傳輸線過多會使使用者容易產生疲勞感而影響實驗結果。本研究根據以上因素，為避免實驗時造成誤差，因此設計一個配合頭配式顯示器的無線多模組檢測儀器，在測量時可避免干擾問題的產生。該檢測儀器的示意圖如圖 1(b)所示。

2-2.2 視覺影響度與疲勞度分析方法



(a)HRV 與心跳間距(R-R interval)之頻譜分析



(b)無線多模組生理訊號檢測系統

圖1 生理訊號檢測系統

由於頭配式顯示器是配戴在頭部，直接對眼睛給予訊號刺激，可能對使用者的生理有多樣的影響。因此，本研究以視覺疲勞度問卷(圖2)，根據以上所講述的幾項原因，配合受測者當時的主觀感覺做評估，以期能提供頭配式顯示器新產品改良的參考。

2-2.3 IPD 量測分析方法

本項測試旨在了解頭配式顯示器之 IPD 系統規格，對受測者之影響度。為量測受測者之 IPD，本研究使用 Canon 所生產的 Tonometer Tx-10 眼科儀器。該設備的量測原理，是將光線投射到眼球表面，眼科儀器計算兩眼球之光點距離，此距離視為人眼 IPD。頭配式顯示器是採用 Sony 公司所生產的 PLM 50，作為受測試之頭配式顯示器機種，該機種具有 640*480 像素值，系統規格 IPD 為 66mm，重量是 300g，視角範圍為 $23^{\circ} \times 18.5^{\circ}$ 。IPD 量測示意圖如圖3所示，如 $D2/D1$ 愈趨近於零則其影響效果愈顯著。

視覺疲勞度問卷

請以打勾方式，選出在使用頭配式顯示器前後的自覺反應。

	適 應	嚴 重	很 嚴 重
眼睛酸痛	☐	☐	☐
眼睛腫脹	☐	☐	☐
影像模糊	☐	☐	☐
眼睛對焦不準	☐	☐	☐
沒有距離感	☐	☐	☐
頭痛	☐	☐	☐
頭脹	☐	☐	☐
頭暈	☐	☐	☐
噁心	☐	☐	☐
嘔吐	☐	☐	☐
其他:			

圖2 視覺疲勞度問卷

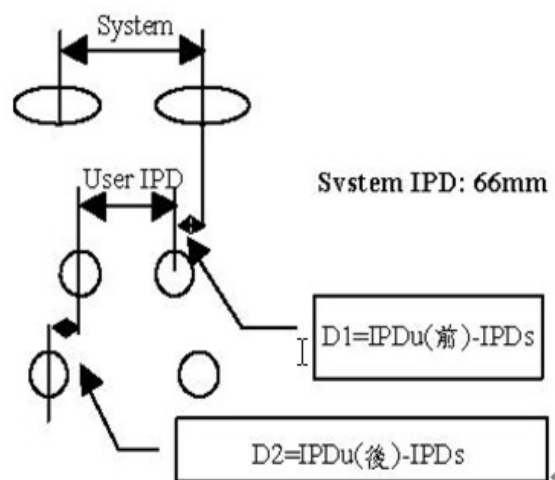


圖3 IPD 量測示意圖

三、測試結果與分析

如前所述，本研究進行了三種模擬一般家庭使用顯示螢幕的測試情況，測試(一)之內容，以觀看兩部不同動作變化程度之影片為參考標準，進行各相關問題之探討。測試(二)之內容，則以觀測不同大小，不同移動速度之目標物，以模擬使用者對電玩之基本狀況反應。測試(三)則是量測受測者之 IPD，對量測結果加以比較，並提供人體 IPD 之基本變異程度。

3-3.1 影帶測試與心律訊號分析

本項測試是模擬一般家庭使用顯示工具的情形，選擇二種不同動作變化程度的家庭用影帶，分別為ㄅ墊類與動作類，並以電視螢幕及頭配式顯示器作為顯示工具的兩種情況下，以二十位視力良好之受測者，採自我感覺最舒適之坐姿，接受測試。此測試是比較使用頭配式顯示器與傳統電視螢幕兩種顯示工具之差別，記錄受測者長時間注視螢幕下的心律訊號變化，記錄方式為在使用前二十分鐘及觀看時間中二十分鐘的心律訊號。表 1 為紀錄測試者分別以使用與不使用頭配式顯示器，觀看不同類型影帶時的心律變異頻譜分析資料。

表 1 電視螢幕(NE)與頭配式顯示器(HMD)之心律變異頻譜分析資料

NE或HMD		類別	LF(低頻頻譜)	HF(高頻頻譜)	LF/HF比值
前期	NE	ㄅ墊類	881±410	507±355	1.888
		動作類	942±689	786±392	2.343
	HMD	ㄅ墊類	835±421	556±313	1.27
		動作類	732±426	594±355	1.536
中期	NE	ㄅ墊類	973±414	592±160	1.8
		動作類	1243±619	790±395	1.721
	HMD	ㄅ墊類	1079±424	642±451	1.68
		動作類	799±314	547±288	1.901
後期	NE	ㄅ墊類	904±358	467±167	1.603
		動作類	1194±895	887±939	1.983
	HMD	ㄅ墊類	880±360	633±275	1.36
		動作類	870±425	674±351	1.915

從表 1 低頻頻譜資料分析可以得到，在ㄅ墊類型影片中，未使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 10.4%，後期則較初期增加了 2.6%；而使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 29.2%，後期則較初期增加了 5.4%。在動作類型影片方面，未使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 31.9%，後期則較初期增加了 26.7%；而使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 9.1%，後期則較初期增加了 18.8%。至於高頻頻譜分析部份，在ㄅ墊類型影片中，未使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 16.7%，後期則較初期增加了 7.5%；而使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 15.6%，後期則較初期增加了 13.8%。在動作類型影片方面，未使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期增加 0.3%，後期則較初期增加了 12.7%；而使用 HMD 於觀看影片中期之平均頻譜能量較初期減少 7.9%，後期則較初期增加了 13.4%。從圖 4(a)(b)趨勢線觀察得知，無論何種類型影片，使用頭配式顯示器之 LF/HF 隨著時間之趨勢較為一致，皆在觀看中期其比值較為上升，顯示交感神經受到刺激，副交感神經受到抑制之高效能心臟狀態。另外在此次量測心電訊號實驗中，特別針對實驗過程中心電訊號的 RRI 進行每個時間區段的平均計算，用以驗證在時域上心電訊號之變化。根據圖 4(c)(d)結果顯示，未使用 HMD 觀看影片情況下，平均心跳週期呈現上升趨勢。而使用 HMD 時，平均心跳週期呈現縮短趨勢，亦即心跳速率加快。此項結果與前項 HRV 分析結果相較，可以發現相當吻合，表示長時間使用 HMD 的確對於心跳速率會有相當的影響[10,11]。

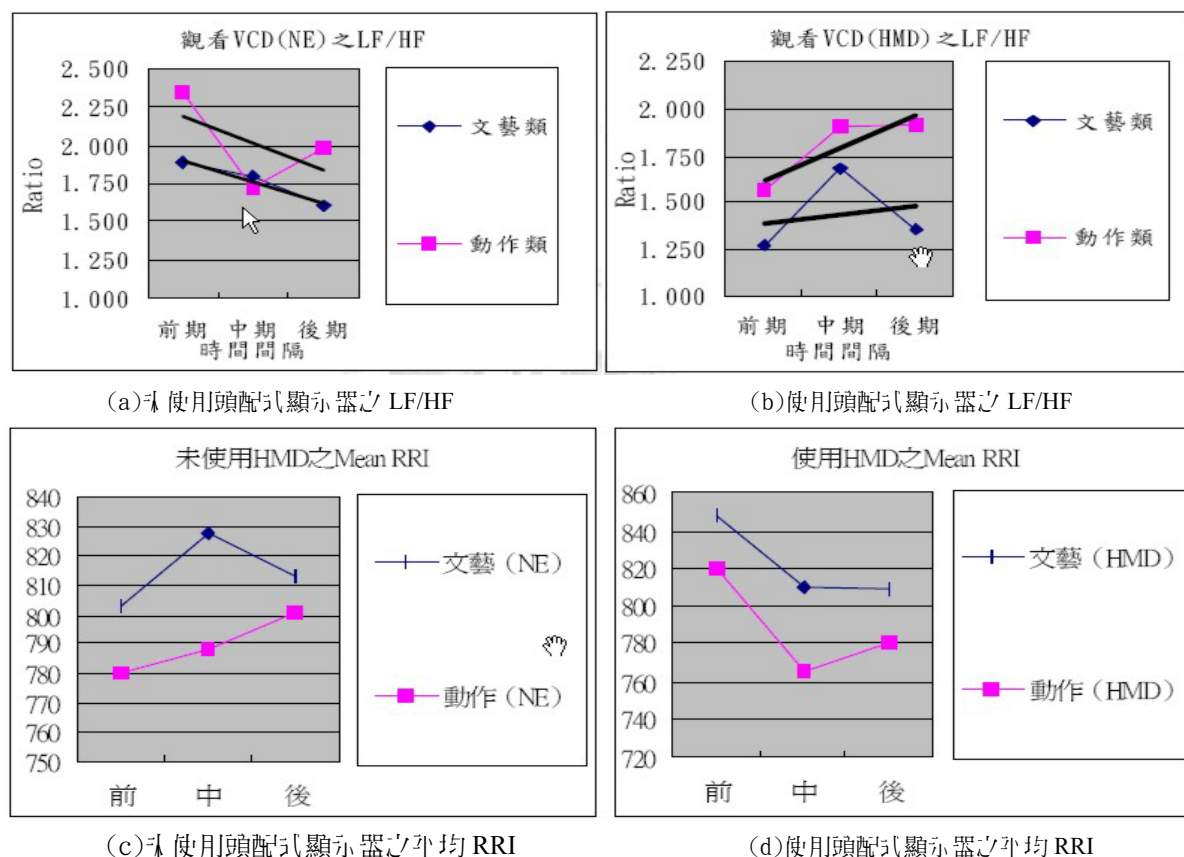


圖4 使用與未使用頭配式顯示器之 LF/HF 比值與平均 RRI 值

3-3.2 疲勞度分析

因為配戴頭配式顯示器，與一般以電視螢幕觀看影片的習慣不相同，多少都會因顯示器的重量，對頸部造成影響，或是其顯示螢幕距離眼球過近，而使得眼睛肌肉因過度的拉縮而容易疲勞[4,5]。表2到表4記錄了測試者，在使用頭配式顯示器觀看不同影片下，長時間視覺疲勞度的變化情況。

以測試者的自我感受作為分類的依據，可以看出配戴頭配式顯示器觀看節目，在類別為文藝類片，觀看時間的第一時間間隔，會有眼睛酸痛、腫脹、影像模糊、對焦不準、頭痛、頭脹、頭暈等不適症狀的發生情況；而第二時間間隔，眼睛酸痛、腫脹、頭痛、影像模糊、對焦不準及頭脹的比率增加2至3倍；而在第三時間間隔，眼睛腫脹感仍維持的相同比例，但眼睛酸痛提高到六倍之多；在噁心及嘔吐等方面，受測者並無不適感的產生。在類別為動作類影片中，觀看時間的第一時間間隔，有眼睛酸痛、腫脹、影像模糊、對焦不準、沒有距離感、頭痛、頭脹及頭暈等不適症狀發生情況，而第二時間間隔，眼睛酸痛、腫脹、沒有距離感、頭脹高約一點五倍，眼睛對焦不準升至三倍；而在第三時間間隔，眼睛酸痛及對焦不準更提高到四倍，頭痛卻大幅的下降，另外，在噁心及嘔吐等方面，受測者同樣並無不適感的產生。從文藝類的綜合統計資料中發現，其不適症狀中的眼睛酸痛平均提高了約五倍；眼睛腫脹提高了六倍；影像模糊提高七倍；對焦不準、頭痛約四倍。在類別為動作片方面，其不適症狀中的眼睛酸痛平均提高了約五倍；眼睛腫脹提高了四倍；影像模糊提高八倍；對焦不準、沒有距離感、及頭痛約四倍；頭脹提高了六倍。在這兩類型的影片觀看中，不論是否使用頭配式顯示器，都沒有噁心及嘔吐等不適感的產生。其各項數據如表4所示。

表 2 使用與不使用 HMD 觀看 V 塾類影片時，不同時間區段問卷統計結果

表 3 使用與不使用 HMD 觀看動作類影片時，不同時間區段問卷統計結果

V 塾類	第1時間間隔	第2時間間隔	第3時間間隔
眼睛酸痛	13%	36%	73%
眼睛腫脹	11%	33%	35%
影像模糊	11%	25%	0%
眼睛對焦不準	19%	38%	61%
沒有距離感	2%	4%	0%
頭痛	17%	16%	22%
頭脹	11%	22%	14%
頭暈	8%	7%	10%
噁心	0%	0%	0%
嘔吐	0%	0%	0%

動作類	第1時間間隔	第2時間間隔	第3時間間隔
眼睛酸痛	15%	36%	68%
眼睛腫脹	8%	13%	17%
影像模糊	22%	16%	25%
眼睛對焦不準	18%	52%	77%
沒有距離感	8%	14%	22%
頭痛	14%	14%	2%
頭脹	11%	20%	14%
頭暈	7%	0%	0%
噁心	0%	0%	0%
嘔吐	0%	0%	0%

表 4 觀看不同類型影片之綜合統計結果

類別	V 塾類 (NE)	動作類 (NE)	V 塾類 (HMD)	動作類 (HMD)
眼睛酸痛	11%	17%	52%	55%
眼睛腫脹	5%	7%	32%	20%
影像模糊	3%	3%	21%	24%
眼睛對焦不準	15%	7%	55%	56%
沒有距離感	7%	9%	9%	23%
頭痛	5%	4%	22%	15%
頭脹	1%	3%	17%	18%
頭暈	4%	13%	13%	15%
噁心	0%	0%	0%	0%
嘔吐	0%	0%	0%	0%

3-3.3 目標追蹤測試分析

將頭配式顯示器定位為一般家庭的消費性商品，除了作為影帶或電視節目欣賞外；另外，還可與電視遊戲機結合使用，如 SEGA 主機，由於電玩遊戲內的角色移動速度為快速的移動，且無固定方向之位移，古以電視螢幕為顯示系統時，很容易造成使用者眼睛疲勞[6]；但以頭配式顯示器為顯示系統時，對視覺影響程度，未有人討論。為模擬此狀況，依 2-1.2 節所述之實驗步驟，討論移動物體之大小與移動速度及使用時間長短，對視覺疲勞之影響度，其比較結果如表 5 所示。表 5 中分別以電腦螢幕及頭配式顯示器為顯示工具，當看螢幕之受測時間為 3 分鐘且字型大小為 36pt 時，疲勞度百分比分布為 0%~7%，為 85pt 時，分布為 0%~3%，為 125pt、140pt 與 150pt 時，則維持為 0%；同樣地，當使用頭配顯示器，字型大小為 36pt 時，其疲勞度百分比，分布為 24%~30%，為 85pt 時，分布為 13%~31%，為 125pt、140pt 與 150pt 時，則維持為 5%~31%的變化程度。另外，分別以電腦螢幕及頭配式顯示器為顯示工具，受測時間為六分鐘，字型大小為 36pt 時，其疲勞度百分比，分布為 5%~28%，為 85pt 時，分布為 3%~25%，為 125pt，分布為 4%~13%，140pt 與 150pt 時，則維持為 2%~10%；同樣地，為當使用頭配顯示器，字型大小為 36pt 時，其疲勞度百分比，分布為 28%~40%，為 85pt 時，分布為 14%~40%，為 125pt、140pt 與 150pt 時，則維持為 6%~31%的變化程度。

當相同之字型大小、螢幕暫留時間及受測時間時，比較兩種顯示工具之疲勞度百分比，則有 13%~25% 的提升，而當相同之字型大小、螢幕暫留時間及顯示工具時，不同的受測時間，六分鐘受測時間的疲勞度百分比，比三分鐘之受測時間，有 3%~10% 的升高。

表 5 測試不同字型大小及螢幕暫停時間之疲勞影響度

顯示工具	電腦螢幕(三 分鐘)		頭配式顯示器(三 分鐘)		電腦螢幕(六 分鐘)		頭配式顯示器(六 分鐘)	
字型大小	暫停時間	疲勞度百分比	暫停時間	疲勞度百分比	暫停時間	疲勞度百分比	暫停時間	疲勞度百分比
36pt	A(0.1秒)	7%	A(0.1秒)	30%	A(0.1秒)	28%	A(0.1秒)	40%
	B(0.25秒)	4%	B(0.25秒)	26%	B(0.25秒)	20%	B(0.25秒)	33%
	C(0.5秒)	5%	C(0.5秒)	24%	C(0.5秒)	7%	C(0.5秒)	32%
	D(0.75秒)	0%	D(0.75秒)	24%	D(0.75秒)	5%	D(0.75秒)	31%
	E(1秒)	0%	E(1秒)	25%	E(1秒)	5%	E(1秒)	28%
85pt	A(0.1秒)	3%	A(0.1秒)	31%	A(0.1秒)	25%	A(0.1秒)	40%
	B(0.25秒)	2%	B(0.25秒)	27%	B(0.25秒)	15%	B(0.25秒)	31%
	C(0.5秒)	0%	C(0.5秒)	16%	C(0.5秒)	8%	C(0.5秒)	21%
	D(0.75秒)	0%	D(0.75秒)	15%	D(0.75秒)	3%	D(0.75秒)	19%
	E(1秒)	0%	E(1秒)	13%	E(1秒)	3%	E(1秒)	14%
125pt	A(0.1秒)	0%	A(0.1秒)	31%	A(0.1秒)	13%	A(0.1秒)	33%
	B(0.25秒)	0%	B(0.25秒)	20%	B(0.25秒)	8%	B(0.25秒)	21%
	C(0.5秒)	0%	C(0.5秒)	6%	C(0.5秒)	4%	C(0.5秒)	8%
	D(0.75秒)	0%	D(0.75秒)	6%	D(0.75秒)	4%	D(0.75秒)	7%
	E(1秒)	0%	E(1秒)	5%	E(1秒)	5%	E(1秒)	6%
140pt	A(0.1秒)	0%	A(0.1秒)	23%	A(0.1秒)	8%	A(0.1秒)	24%
	B(0.25秒)	0%	B(0.25秒)	17%	B(0.25秒)	9%	B(0.25秒)	17%
	C(0.5秒)	0%	C(0.5秒)	6%	C(0.5秒)	4%	C(0.5秒)	8%
	D(0.75秒)	0%	D(0.75秒)	6%	D(0.75秒)	3%	D(0.75秒)	6%
	E(1秒)	0%	E(1秒)	5%	E(1秒)	3%	E(1秒)	6%
150pt	A(0.1秒)	0%	A(0.1秒)	21%	A(0.1秒)	10%	A(0.1秒)	23%
	B(0.25秒)	0%	B(0.25秒)	10%	B(0.25秒)	9%	B(0.25秒)	12%
	C(0.5秒)	0%	C(0.5秒)	6%	C(0.5秒)	3%	C(0.5秒)	8%
	D(0.75秒)	0%	D(0.75秒)	6%	D(0.75秒)	2%	D(0.75秒)	7%
	E(1秒)	0%	E(1秒)	5%	E(1秒)	2%	E(1秒)	6%

3-3.4 瞳孔間距(IPD)測試分析

在硬體方面，頭配式顯示器的系統規格 IPD，會影響使用者的視覺情況，例如在使用後，視覺狀態會有暫時性內、外斜視之現象；這是因為頭配式顯示器之系統規格 IPD 不能符合使用者之 IPD 所造成[7]。本研究檢驗受測者之個別眼睛 IPD，觀察系統規格 IPD 如何設定，方能最合使用者使用，經過分析歸納後，期能找出對眾人都適宜之系統 IPD，以作為頭配式顯示器之設計使用。本研究所使用的頭配式顯示器為 Sony PLM50，它的 System IPD 經過量測後為 66mm，而受測者在使用後，接受視覺檢驗，其左、右眼的確會隨著系統規格的瞳孔距離而改變。在長時間配戴 HMD 觀看影片的測試中，由結果可以得知，不管受測者本身 IPD 大於或小於系統規格的 IPD，於影片觀看結束後量測，皆發現使用者 IPD 會有趨近於系統規格 IPD 的結果。圖 5 為受測者的 IPD 量測結果。

由不同暫停時間目標物追蹤實驗結果得知，暫停時間越短之目標物，其影響使用者 IPD 之效果會更為顯著。依此項模擬螢幕快速變化畫面之測試，可以得知，畫面變化迅速之影像顯示，的確對使用者 IPD 影響極為明顯。另外根據主要支配眼效應(dominate eye)量測，使用者 IPD 的改變會受到該效應的影響，亦即支配眼受到系統規格 IPD 所影響的效應，會比非支配眼來的顯著。

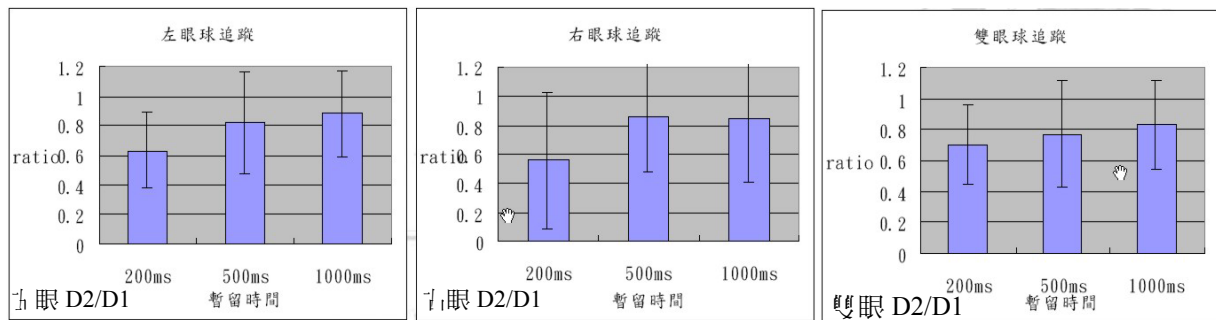


圖 5 IPD 量測結果

四、頭配顯示器商品化的方法與應用

針對上述實驗之結果，可得知 HMD 的使用確實會造成生理上的影響，尤其是系統規格 IPD 對使用者眼睛與舒適度上，有極為顯著關聯性，為降低該類產品對使用者的影響性，特過產品設計開發程序與電腦數位輔助設計技術，完成新款產品的開發，並經研究院測試後其成果良好。有關產品設計開發之方法與內容，分別簡述如下：

4-1 探討頭配顯示器與使用者的關係

以往的研究中，對於頭配顯示器與使用者的探討，主要著重於因光學的模擬所引起的視覺疲勞問題，因此無法長時間的配戴是目前頭配顯示器在使用上的主要瓶頸。而目前的研究極少涉及到工業設計上所極為注重的人機介面與消費性電子產品的造形，特別是在隨身的產品領域上。圖 6 是消費性電子產品與使用者之交互關係圖。各種的消費性電子產品透過影像與聲音，刺激人體的眼睛與耳朵，這些訊號藉由視覺神經及聽覺神經傳輸到大腦；大腦得到訊息後，依訊號的類別指揮四肢動作、嘴巴發出聲音、眼睛觀看等回饋，以操作這些產品或藉它們完成其它的工作。在這個模式中，我們所關心的是「吾人如何接收來自於產品的視聽訊息？」及「吾人透過什麼機制來產生回饋？」。現今的消費性電子產品，大部份的操作功能都被電子零件所取代，甚至可以不用接觸產品，利用語音來操控產品。卓越的電子科技，具有美感的外觀裡，包裝著一個科技的黑箱，而造成更為冷漠的人機關係，這樣的人機互動特性，使得使用者只能“使用”，而無法參與產品的運作，這樣的問題該用什麼適當的機制加以改善，是此類產品設計應多加考慮的重點。目前的頭配顯示器設計是將大部份的電子與光學元件，集中置於眼睛前方的主體中，人體所接受到的是聲音與影像的刺激，在絕大多數的情形下，使用者並不須要進行回饋式的操作，除了必要的調節外。由於頭配顯示器觀看影像的方式，不同於以往人類的習慣，在這樣的狀況下，頭配顯示器的產品設計，除調節的機制外，應著重於造形合理化的設計與人因工程的考量。由於頭配顯示器主要配置於頭部，相較於其它的消費性電子產品，其實更需考量使用者的生理與心理上的特徵與需求。以使用者為中心的設計觀，將是本研究後續進行頭配顯示器設計的主要發展方向[12]。

4-2 探討頭配顯示器發展趨勢

圖 7 是頭配顯示器的階段產品發展過程與用途。頭配顯示器由實驗室設備擴展到商品的過程，其體積因為電子元件的晶片化，使其體積有逐漸縮小的趨勢；而為提高其商品之附加價值，在功能上逐漸多樣，但型式較為精簡，配件也相對的減少；產品造型漸趨細緻、具有未來與科技化的產品映像。而其實

頭配顯示器這樣的一個產品發展趨勢也與其它消費性電子產品的演變過程有著相同的趨勢，同樣受到人類生活型態、科技發展、國際文化交流等因素的影響。對於使用者而言，產品發展趨勢的演進，與他們最接近的便是造型發展的趨勢及功能的精進，這是屬於使用者心理層面的自我滿足與認同，產品演進成為商品，必須要滿足不同使用族群的心理需求，因此必須有多樣的功能、多樣的造型、多樣的色彩等提供使用者選擇[13]。古下一個世紀，將是X世代與Y世代族群所主導的消費時代，這兩個世代由於生活於電子科技產品充斥的時代，對於電子產品的接受程度較高，但相對的也十分具有多樣與個性化區隔的產品需求。因此，頭配顯示器的下一世代產品應以X世代與Y世代的生活型態、心理需求及對於產品的需求為造型設計與功能設定的指標，以期能達成商品化產品之商業利益[14]。

目前現有的頭配顯示器產品，主要以頭部的配戴為主要的使用方式。由於使用的範圍大部份都占頸部以上的區域，而產品直接對人體產生影響的便是頭型的契合問題與配戴的舒適性問題。因此，就人因工程的角度而言，主要是解決使用者在使用頭配顯示器時的舒適性、符合人類生理構造與機能、避免產品不當設計所引起的生理傷害等設計重點。由於頭部的重量由頸部單點支撐，另一項值得重視的問題便是配戴的方式及配戴時的配重問題，以避免對於支撐頭部的頸關節造成傷害。在圖7的產品發展趨勢中可以看出，眼鏡型式的頭配顯示器將是其下一個世代產品的主流，其原因於其功能的精進與電子元件體積的小型化。但由於光學成像的條件限制，頭配顯示器的大部份機構與電子元件仍然位於觀看的區域（即雙眼的前方），若以眼鏡型式以容納所有的光學與電子元件的重量，將會增加鼻樑的荷重及配戴方式設計的难度。

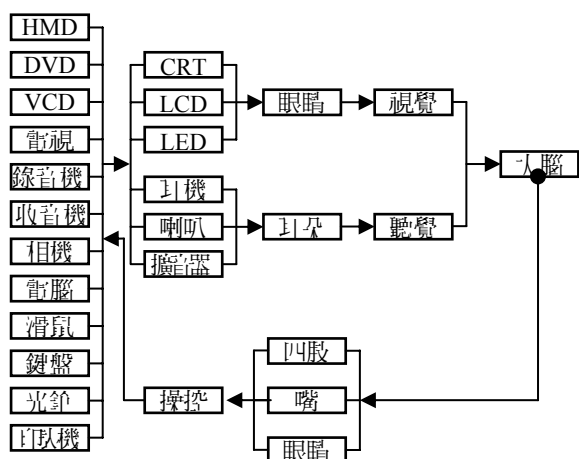


圖6 產品與使用者之交互關係



圖7 頭配顯示器的發展階段與各級用途

4-3 頭配是顯示器產品生命週期探討

產品的生命週期大致可以區分為“導入期”、“成長期”、“成熟期”、“競爭期”及“衰退期”等五個階段，藉由其曲線的發展，可以瞭解及預測產品目前在市場上的定位及切入市場的利基(niche)所占。家用頭配顯示器產品生命週期中，應仍屬於導入期的產品，在技術層面與擴充性上，古未來的產品發展應仍有可為。值得注意的是，如果比較各類消費性電子產品的生命週期，家用頭配顯示器的成長期與成熟期，大約是X世代與Y世代族群具有自主消費能力的時候，而此兩世代的族群，對於電子科技產品的接受與使用程度最高，值得開發的廠商選擇適當的市場切入時機[15,16,17]。

4-4 對於市場流行與消費者喜好的預測

image scale (產品意象尺度)原是行銷原理中,被用來預測及設定產品市場定位的方法,在工業設計中也常被用來預測或定位消費者或消費族群對於產品的喜好因素。由一個由X軸及Y軸所構成的四個象限中,藉由語意差異法調查消費者對於產品在色彩、造型、材質等感受,所得的兩組語彙(如:室內的一組較的;戶外的一組內的),各置於兩軸的兩端,將相關的產品在四個象限中,找到其與象限語彙(如:室內的一組外的)相關的程度(X、Y的值),將其定位。最後可以在此意象尺度空間上,將產品區隔成數個族群,並給予適當的族群代表語彙,產品開發人員可以由此,配合產品開發策略,找到最適合切入市場的族群或另辟一個族群。此方法在產品開發初期的構想階段,具有十分有效的輔助作用。

4-5 人因工程的應用

頭配顯示器主要靠頭部所支撐,雖然現今的電子與光學技術,已可將頭罩部份的重量降至 300 公克以下,但對於配戴時的舒適性與頭形的配合等因素,仍是產品設計時須特別予以重視的。頭配顯示器在設計上應注意到以下幾點:

- 應具有 see-through 的功能,讓使用者能即時的瞭解周遭的情況。
- 雙眼的瞳孔距離應可在 52mm 到 78mm 之間調整,如果無法調整,應將瞳孔的直徑放大到 20mm。
- 配合配戴眼鏡的使用者時,客眼距離至少須保留 30mm。
- 頭罩部份的重量儘量與眼鏡同重,重心應經過使用者頭部的中心點,以免影響頭部轉動的動作。
- 須能配合使用者的頭形,最好能夠與頭圍與耳朵的形狀相契合。
- 如有配掛式的機械或控制元件,應不能妨礙使用者的動作。

以新一代的頭配顯示器,如 Sony 公司的 Glasstron 與 Olympus 公司的 Eye-Trek 等產品為例,若分析其配戴的情形,發現頭部支撐的範圍集中在鼻、耳以上及前額之部位,如由頭部的前、側及頂部觀察配戴情形,則可發現是以前額斜向雙耳所構成一個近似梯形的立體空間,因此如能找出此立體空間的重心點,並在此三點提供良好的支撐性,就應可解決配重的問題(如圖 8 所示)[18,19]。

4-6 IPD 設計改善

根據第 3 節瞳孔間距測試之分析結果,可以發現當人體 IPD 與頭配顯示器系統的 IPD 一致時,將可減少眼睛在視覺上造成內、外斜視的機率。為能達到上述之目的,本研究利用 I-DEAS CAD/CAM 專業電腦輔助設計系統,進行可調式 IPD 內部機構之設計,其方式是採用單輪控制但兩眼同動之設計,並進行機構干涉分析與動態模擬,以求得設計上最佳之尺寸,其結果如圖 9 中紅色虛線部份所示。本研究屬實驗性產品開發,在設計上是以現今與未來年輕人為使用對象,且須結合國內(中科院開發)最新光學技術與顯示相關硬體,故在造形設計上具有相當大的考驗,如何將所有軟、硬體結合並具有大眾所能接受的外型,有賴研發團隊共同協調合作解決。在产品設計與測試方面,為縮短設計與開發時間,本計畫結合正向與逆向工程,完成造型與機構設計,並利用快速成形技術製作原型,以便進行內部零件裝與整體性能測試,其設計開發流程與測試原型如圖 10 與圖 11 所示。在造形設計上,以正向與逆向工程同時進行。正向方面從草圖繪製開始,經初步討論確定之後以 I-DEAS 軟體進行立體圖繪製,並以彩色式檢查外觀曲面變化。逆向部份以 Cogent Laser 雙向掃描方式進行手工模型點資料的擷取,並以 Surfacar 逆向專用軟體進行曲面與立體數位模型的建構,最後在 Pro-E 軟體中完成最終的 3D 實體模型,並與正向所建的模型進行比較與修正,經與中科院討論後完成造形上之最後確認。有關實體模型製作方面,也是同時採用 3D System SLA 7000 快速成型系統與一般 CNC 數位銑床方式進行製作。在速度上,快速成型確實有其優勢,在講求少量多樣化與外觀確認上,此方式可達到最佳效益,但在經費、機構與組裝強度上仍有待提升,隨著新材料的研發上市,這方面的缺點已漸有改善。

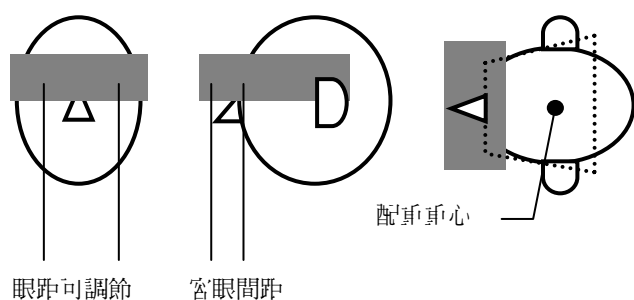


圖 8 頭配顯示器的設計重點

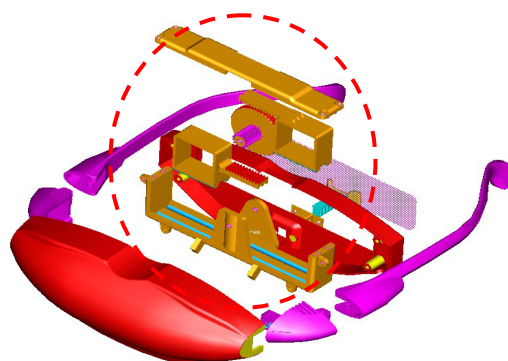


圖 9 可調式同動 IPD 機構

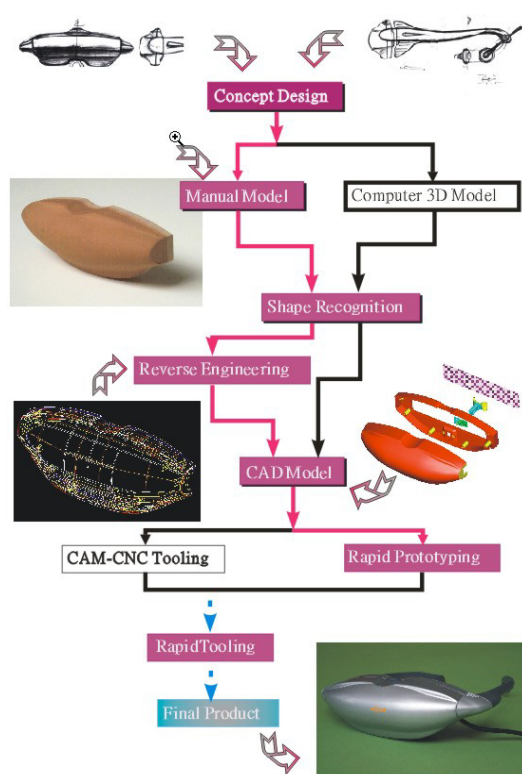


圖 10 設計開發流程

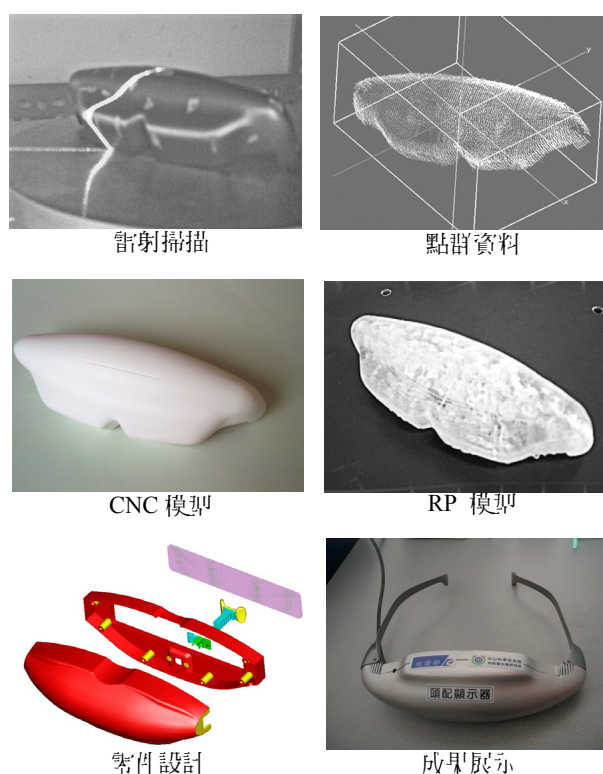


圖 11 各階段之模型與最終展示

五、結論與建議

根據以上各項生理參數實驗所得之結果，依心律變異度之分析，歸納出在影片的觀看期間，以頭配式顯示器為顯示工具，會使使用者的自律神經活性比以電視螢幕為顯示工具時為大。在三十位受測者中，大部分在觀看使用時，都有眼睛酸痛、眼睛腫脹，少部分有頭痛、頭暈等現象；且受測時間越久，有不適感覺的人數越多。由於近距離的使用頭配式顯示器，長時間下來，過度的收縮，造成了受測者使用後的不舒適感；及在使用後，又恢復為一般的焦距，而造成有模糊感的原因。造成頸部肌肉酸痛感覺的原因，在於以頭配式顯示器觀看節目時，頭部長時間維持固定姿勢，使得頭配式顯示器的顯示螢幕，在使用者的視覺範圍內，而造成頸部肌肉酸痛，傳統電視螢幕則沒有此種困擾。

根據第二項目標追蹤測試，由結果資料顯示，以電視螢幕為主體之眼睛視覺狀況，確實比小字型與

快速移動的目標追蹤上，對人體有一定程度的影響，但以頭配式顯示器為介體，測試相同情況，則對眼睛的影響程度，則有明顯的大幅提昇，其原因可以歸納出幾點：

1. 當移動速度越快的情況下，因眼球需快速的移動，以追上移動之物體，造成眼部肌肉容易疲勞；
2. 字刻的大小變化，影響眼睛對字型是否能夠辨識，越小之字型，需要眼部肌肉的調節動作，以清楚地知悉移動之字刻，長時間容易造成視覺疲勞；
3. 比較頭配式顯示器與電視螢幕的解析度，頭配式顯示器之解析度比電視螢幕小，使的影像較易模糊，而造成視覺系統，比以電視螢幕為測試工具時，更易疲勞。

由以上之簡述，可知目前頭配式顯示器廣泛推行至每一家庭的問題上，仍有諸多疑慮，但目前製造商及研究人員正積極地尋求改進。

頭配式顯示器之系統規格 IPD，以受測時使用之 Sony-PLM50 為例，其規格以 66mm 為基準，而本研究的受測者之平均 IPD 為 64.5mm，其間之差異僅 1.5mm，因此未實現因為 IPD 差異而產生之不良影響。但此項測量，並未針對使用電玩機最普遍的兒童進行測試，換言之，兒童的平均 IPD 範圍會隨年齡層，而有更顯著的差異時，若其使用頭配式顯示器，是否會有任何影響，則為另一個非常需要測試的研究工作之一。頭配式顯示器未來會以 LCD 型為計，因此可不必擔心輻射所產生的問題，根據本文所討論的方向，將頭配式顯示器的顯示方法再做改進，讓眼睛不需要重新調整焦距的動作，提高解析度，及降低價格是廠商所應努力的方向。在使用者方面則要注意使用時間的限制，如此才能避免頭配式顯示器的影響。綜合以上之各項對人體影響，本文提出一些對人體因素考量要加以注意的項目，提供未來設計頭配式顯示器時之參考。

1. 高解像度(越高越好)。
2. 使用眼鏡時與眼睛距離，在 30mm 範圍內皆可。
3. 減少光學的歪斜情況。
4. 可立即感知周圍情況(有 see through 機能)。
5. 可配合影像顯示的景深，而改變虛像的位置。
6. 自動調整亮度與對比。
7. 鏡片間格可隨使用者的瞳孔間距作調整。
8. 與眼鏡同重(重量平衡)。
9. 配戴舒適。

藉微電子科技的發展，由電腦(computer)、通訊(communication)及消費性電子產品(consumer electronics)所構成的 3C 電子產品，已逐漸成為消費市場商品的主力及大宗。可以預期的是，由於微電子科技技術的不斷改進及成熟，頭配顯示器的商品化，將可成為家用消費性電子產品的明日之星。與其他類別的產品相同，在工業設計進行產品設計及商品化的流程上，頭配顯示器並沒有十分顯著的差異，但由於許多有關頭配顯示器的文獻，都針對人類視覺的疲勞度，以及因視覺疲勞所引起的生理抗拒等，提出諸多的警語與改善的建議，因此在其商品化的過程中，在此方面仍應多予注意。

誌謝

作者特別感謝中山科學研究院專案研究計畫(編號 BV91U17P)對於本研究成果的補助。

參考文獻

1. 林榮發, 1992, “HMD/HUD 人因工程研究的探討”, <工業設計>, 第 21 卷, 第 2 期, pp.80-84。
2. 胡祖武, 1991, “談人性化的工業設計”, <工業設計>, 第 20 卷, 第 1 期, pp.11-19。
3. 湯永成, 1991, “商品化的設計與計畫”, <工業設計>, 第 20 卷, 第 1 期, pp.20-23。
4. 陸定邦, 1993, “階段產品觀理論模式之建立”, <工業設計>, 第 22 卷, 第 4 期, pp.212-223。
5. George E. Kochiadakis, Alexandros E. Orfanakis, 1997, “Reproducibility of Time-Domain Indexes of Heart Rate Variability in Patients With Vasovagal Syncope”, *Arrhythmias and Conduction Disturbances/Reproducibility Of HRV Indexes*, pp.160-165.
6. James E., Kirk M., 1997, “Head Mounted Display Designing for the User”, McGraw-Hill.
7. Kreifeldt J. G., 1982, “Consumer Product Design Projects for Human Factors Classes”, *Proceeding of Human Factors Society, 26th Annual Meeting*, pp.735-739.
8. Kooi F., 1997, “Visual strain: a comparison of monitors and head-mounted display”, *Proc. SPIE – Int. Soc. Opt. Eng.*, Vol. 2949, pp.162-171.
9. Mario Merri, David C. Farden, Jack G. Mottley, and Edward. L. Titlebaum, 1990, “Sampling Frequency of the Electrocardiogram for Spectral Analysis of the Heart Rate Variability”, *IEEE Trans. Biomed. ENG.*, Vol. 37, pp.99-106.
10. Piantanida T., 1993, “Another look at HMD safety”, *CyberEdge*, Nov/Dec.
11. Pessemier, Edgar A., 2000, *New-Product Decision: An Analytical Approach*, McGraw-Hill。
12. Ronald A., Yohan B., Reinhold B., Steven F., 2000, “Recent Advances in Augmented Reality”, *IEEE Trans. Biomed. ENG.*, November/December.
13. Roel W. Deboer, John M. Karemaker, and Jan Strackee, 1984, “Comparing Spectra of a Series of Point Events Particularly for Heart Rate Variability Data”, *IEEE Trans. Biomed. ENG.*, Vol. BME-31, pp384-387.
14. Sak Onkvisit & John. J. Shaw, 1989, *Product Life Cycles and Product Management*, *QUORUM Books*。
15. Shinpig R. Wang, Won Yih Lin, Yeayun Yang, Lis heng Shen, 1997, “The Human Vision of Binocular Stereoscopic Technique for Virtual Reality”, *CCL Technical Journal*, Vol. 1, No.5, pp.10-17。
16. Thomas J. Bigger, 1997, “Spectral Analysis of R-R Variability to Evaluate Autonomic Physiology and Pharmacology and to Predict Cardiovascular Outcomes in Humans”, *Spectral Analysis of R-R Variability*, pp.1153-1171.
17. Williams M., Wann J. P., and Rushton S. K., 1993, “What’s wrong with your head-mounted display?” , *CyberEdge*, Sept/Oct.
18. Williams M., Wann J. P., and Rushton S. K., 1993, “Binocular vision in a virtual world : visual deficits following the wearing of a head-mounted display”, *Ophthal. Physiol. Opt.*, Vol. 13, pp.387-391.
19. Yoshizumi N., 1998, “A study on physiological evaluation of head mounted display”, Record of Electrical and Communication Publications.

Physiological Effects and Product Development of Head-Mounted Display

Tai-Shen Huang* Kang-Ping Lin** Wen-Chih Chou***

* Graduate Institute of Design, Chaoyang University of Technology
e-mail: tshuang@cyut.edu.tw

** Department of Electrical Engineering, Chung Yuan Christian University
e-mail: klin@dec.ee.cycu.edu.tw

*** Department of Industrial Design, Chaoyang University of Technology
e-mail: wenchih@cyut.edu.tw

(Date Received : May 18, 2005 ; Date Accepted : August 11, 2006)

Abstract

To understand the physiological effects of head-mounted display (HMD) on human, experiments were conducted to measure the subjects' heart rate variability (HRV), degree of visual exhaustion, eye-movement tracking, and inter-pupillary distance (IPD) while watching different types of films. All subjects were also asked to complete a questionnaire after each experiment. Experimental results reveal that the use of HMD indeed poses negative physiological effects, including visual discomfort and fatigue after long-term viewing of the HMD screen. To overcome such drawbacks, an adjustable IPD mechanism for motion simulation analysis was developed using computer-aided integrated design system. Finally, a HMD product was designed according to product image scale, products design method and theory. Results of this study can serve as useful references for HDM design.

Keywords: Head-mounted display, Computer-aided integrated design, Product image scale, Inter-pupillary distance, Heart rate variability, Degree of visual exhaustion

