

南 華 大 學

應 用 藝 術 與 設 計 學 系 碩 士 班

碩 士 論 文

A Thesis for the Degree of Master of Design

Department of Applied Art and Design the Master's Program

Nanhua University

腳部操作電風扇之人因設計與效用評價研究

Ergonomic Design and Performance Evaluation for Foot-controlled

Electric Fans

研 究 生：張駿業

Graduate Student: Chun-Ye Chang

指 導 教 授：蔡宏政

Advisor: Hung-Cheng Tsai

中 華 民 國 九 十 八 年 六 月

南 華 大 學

應用藝術與設計學系碩士班

碩 士 學 位 論 文

腳部操作電風扇之人因設計與效用評價研究

研究生：張駿業

經考試合格特此證明

口試委員：游曉夏

李傳房

李正

指導教授：李正

系主任(所長)：林振陽

口試日期：中華民國九十八年六月十八日

中文摘要

論文題目：腳部操作電風扇之人因設計與效用評價研究

研究生：張駿業

指導教授：蔡宏政

本研究透過實驗確立目前市售手控立扇的操作缺點及改進空間。利用人因工程論點再設計，包含人體計測、人體能力限制、實驗結果及現有產品分析導入腳控立扇設計，利用電腦輔助設計與快速成型(RP, Rapid Prototyping)發展出踩踏式、腳踢式、滑桿式與旋鈕式四種原型。以人因效用評價實驗比較研究所設計之四種原型、現有腳控立扇與手控立扇在受測者操作上的表現。並取得 23 位男性與 27 位女性受測者在實驗中的主觀評價、操作時間、失誤次數及樣本滿意度排序，實驗結果使用 SPSS 統計軟體之多變量變異數分析進行探討。

結果發現踩踏式原型立扇有最高的主觀評價、現有手控立扇最低；踩踏式原型立扇操作時間花費最短、現有腳控立扇操作時間最長；踩踏式原型立扇失誤次數最少、現有手控立扇則最多。受測者對於踩踏式原型立扇在各方面的評價與滿意度皆為最好；現有手控立扇除操作時間優於現有腳控立扇外，皆為最差。最後，研究成功透過人因觀點設計出符合用腳操控之立扇，但皆處原型階段，在材質、機構、外觀與操作回饋等還有設計之空間。研究成果亦可提供往後研究或設計之參考。

關鍵字：人因工程、再設計、腳控立扇、電腦輔助設計、RP 成型

ABSTRACT

Title of Thesis: Ergonomic Design and performance Evaluation for Foot-controlled Electric Fans.

Name of student: Chun-Ye Chang

Advisor: Hung-Cheng Tsai

This study found out the faults of operation and made improvements on the hand-controlled electric fan through pre-experiments. Ergonomics-based redesign of foot-controlled electric fans contains anthropometry, human ability and the result of per-experiment. Through the tools of computer aided design (CAD) and rapid prototyping (RP), four kinds of foot-controlled prototypes, i.e. button-treading, button-kicking, sliding-bar and turning-knob, were developed. Four prototypes (developed in this research) and two existing products (one hand-controlled type and one foot-controlled type) by ergonomic evaluation experiments. The subjects (23 males and 27 females) were asked to perform ergonomic evaluation experiment on the six samples. Subjective evaluation, operation time, loss times and satisfaction degree were shown and discussed by using SPSS software.

The results revealed that type of button-tread got highest subjective evaluation and the existing hand-controlled type received the lowest scores. Regarding the operation time, button-tread type took the shortest time and the existing foot-controlled type is the worst. Regarding the loss times, button-tread type was the best (fewest losses) and hand-controlled type was the worst. Totally, button-tread type was mostly best on evaluations and satisfaction degree. The existing hand-controlled type was worse than the foot-controlled one except the item of operation time.

Final, a foot-controlled electric fan was successfully developed in this research through ergonomics viewpoints. Although the prototypes

were not perfect, future studies and advances are still required on the aspects of material, mechanisms, appearances and operation feedback.

Keywords : Ergonomic Design, Fan, CAD, RP

目錄

中文摘要	.....	I
英文摘要	.....	II
目錄	.....	IV
表目錄	.....	VI
圖目錄	.....	VII
第一章	前言.....	1
1.1	研究動機與目的.....	1
1.2	研究範圍與限制.....	2
1.3	研究架構與流程.....	2
第二章	文獻探討.....	5
2.1	人因工程.....	5
2.2	再設計.....	7
2.3	人體計測.....	8
2.4	人因評價與實驗設計.....	12
2.5	現有產品分析.....	13
2.5.1	現有電風扇資料收集與分類.....	13
2.5.2	現有腳部操作產品.....	15
2.6	人體腳部限制.....	17
第三章	研究方法.....	24
3.1	前測實驗.....	24
3.1.1	前測實驗研究限制.....	24
3.1.2	前測實驗與問卷設計.....	25
3.2	原型設計.....	28
3.2.1	原型設計原則與流程.....	28
3.2.2	原型草圖與電腦輔助設計.....	30
3.2.3	快速成型-FDM 與模型加工.....	35
3.3	再設計效用評價實驗.....	37
3.3.1	再設計效用評價實驗研究限制.....	37
3.3.2	再設計效用評價實驗與問卷設計.....	40
第四章	研究結果與討論.....	41
4.1	前測實驗結果.....	41
4.1.1	前測實驗統計分析.....	41
4.1.2	前測實驗訪談結果.....	46
4.1.3	前測實驗影像觀察分析.....	49
4.1.4	前測實驗結果討論.....	51
4.2	再設計效用評價實驗結果.....	52

4.2.1	再設計效用評價實驗影像觀察分析.....	52
4.2.2	再設計效用評價實驗統計分析.....	57
4.2.2.1	再設計效用評價實驗信度分析與敘述統計.....	57
4.2.2.2	有無穿襪受測者間的獨立樣本 T 檢定.....	59
4.2.2.3	整體操作評價、操作時間、失誤次數的多變量分 析.....	60
4.2.2.4	操作評價對操作時間與失誤次數的 Pearson 相 關.....	63
4.2.3	主觀滿意度與平均數排序.....	68
4.2.4	再設計效用評價實驗結果討論.....	69
第五章	結論與建議.....	71
參考文獻	.....	73

表目錄

表 2.1	台灣地區華人靜態人體計測數據.....	9
表 2.2	美國人靜態人體計測數據.....	10
表 2.3	台灣地區女子(6、17~18 歲)人體計測數據.....	10
表 2.4	台灣地區兒童及青少年(16~17 歲)人體計測數據.....	11
表 2.5	台灣地區人體計測資料庫(男性與女性蹠骨遠端突出處圍).....	11
表 2.6	台灣現有市售電風扇分類.....	14
表 3.1	前測實驗受測者基本資料敘述統計.....	25
表 3.2	再設計效用評價實驗受測者基本資料敘述統計.....	37
表 4.1	前測實驗操作經驗敘述統計.....	41
表 4.2	前測實驗信度分析.....	42
表 4.3	前測實驗腳掌計測數據與顯著差異(independent-samples t test).....	45
表 4.4	前測實驗訪談內容整理.....	47
表 4.5	再設計效用評價實驗信度分析.....	57
表 4.6	再設計效用評價實驗敘述統計.....	58
表 4.7	有無穿襪子在獨立樣 T 檢定中的平均數、標準差與顯著性(雙尾).....	59
表 4.8	共變量矩陣等式的 Box 檢定.....	60
表 4.9	多變量檢定.....	60
表 4.10	受試者間效應向的檢定.....	61
表 4.11	樣本 A1 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	65
表 4.12	樣本 A2 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	65
表 4.13	樣本 B 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	66
表 4.14	樣本 C 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	66
表 4.15	樣本 D 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	67
表 4.16	樣本 E 各項評價、操作時間與失誤次數間的 Pearson 相關顯著.....	67
表 4.17	整體操作評價、操作時間、錯誤次數與主觀滿意度平均數排序.....	68

圖目錄

圖 1.1	研究架構與流程.....	4
圖 2.1	蹠骨遠端突出處圍度.....	11
圖 2.2	現有腳部操作產品.....	16
圖 2.3	現有腳部操控電風扇.....	17
圖 2.4	人體腳部骨骼.....	18
圖 2.5	人體大腿肌肉.....	19
圖 2.6	人體小腿肌肉.....	19
圖 2.7	手腕骨的關節滑動.....	21
圖 2.8	髖關節與膝關節的角運動.....	21
圖 2.9	髖關節的旋轉.....	21
圖 2.10	腳部旋轉角度平均值.....	21
圖 2.11	腳踝蹠骨間的特殊運動.....	22
圖 2.12	體表感覺訊息投射在右大腦半球皮質感覺區的分布位置.....	23
圖 2.13	人體肌肉控制訊息投射在右大腦皮質運動區的分布位置.....	23
圖 3.1	立扇的按鍵操控位置.....	24
圖 3.2	前測實驗中使用的立扇操作面板.....	25
圖 3.3	前測實驗操作區域.....	26
圖 3.4	前測實驗腳部量測區.....	26
圖 3.5	前測實驗腳踝角度量測工具.....	27
圖 3.6	前測實驗實驗室模擬環境(上視圖).....	27
圖 3.7	原型設計流程.....	28
圖 3.8	原型設計發想草圖.....	31
圖 3.9	原型 A1(踩踏式)與 A2(腳踢式)草圖.....	31
圖 3.10	原型 B(滑桿式)草圖.....	32
圖 3.11	原型 C(旋鈕式)草圖.....	32
圖 3.12	原型 A1(踩踏式)設計 CAD.....	33
圖 3.13	原型 A2(踩踏式)設計 CAD.....	33
圖 3.14	原型 B(滑桿式)設計 CAD.....	34
圖 3.15	原型 C(旋鈕式)設計 CAD.....	34
圖 3.16	FDM 系統.....	35
圖 3.17	FDM 成型流程.....	36
圖 3.18	再設計效用評價實驗實驗室模擬環境(上視圖).....	38
圖 3.19	再設計效用評價實驗場景.....	38
圖 3.20	再設計效用評價實驗樣本(上視圖).....	39

圖 4.1	手不與腳部操作時，身體各部位費力程度 (Paired-Samples t Test)	42
圖 4.2	手部與腳部操作準確性主觀評價 (Paired-Samples t Test)	43
圖 4.3	手部與腳部操作時，按鍵設計主觀評價 (Paired-Samples t Test)	43
圖 4.4	操部操作時，有無穿襪間的顯著差異項目 (Independent-Samples t Test)	44
圖 4.5	採取「深度向前之彎腰」姿勢使用手部操作.....	49
圖 4.6	採取「深蹲式」姿勢是用手部操作.....	50
圖 4.7	採取「蹲下」姿勢使用手部操作.....	50
圖 4.8	採取「普通站立」姿勢使用腳部操作.....	50
圖 4.9	受測者操作樣本 A1(踩踏式)姿勢.....	53
圖 4.10	受測者操作樣本 A2(腳踢式)姿勢.....	54
圖 4.11	受測者操作樣本 B(滑桿式)姿勢.....	54
圖 4.12	受測者操作樣本 C(旋鈕式)姿勢.....	55
圖 4.13	受測者操作樣本 D(現有腳控立扇)姿勢.....	56
圖 4.14	受測者操作樣本 E(現有手控立扇)姿勢.....	56
圖 4.15	多重比較之主觀評價顯著差異.....	62
圖 4.16	多重比較之操作時間顯著差異.....	62
圖 4.17	多重比較之失誤次數顯著差異.....	63

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

早期產品與使用者的關係往往被設計者所忽略，導致使用者在操作上產生問題，因此產品必須不斷的改進與創新，甚至於淘汰。一些不良的產品卻在使用者的長期使用下，產生了惡性的關係，好比不良的操作姿勢、不便利的使用程序等等。這些惡性的關係都可能造成使用者在操作上的不便、失誤或產生傷害，即使操作者早習以為常甚至忽略。

台灣地處亞熱帶，夏季氣溫之高，電風扇在台灣隨處可見，對於一般家庭更是必備家電。電風扇種類之多由大到小，從地上、牆上到天花板，更有各式各樣不同的功能，可知台灣人對於電風扇的使用經驗相當密切。在國片「海角七號」中，男主角阿嘉在戲中使用腳趾操作電風扇，也說明了台灣人的操作現象。同樣在國片「囧男孩」中，小男主角騙子一號與二號想透過蒐集十台電風扇進入異次元，戲中的電風扇也多是立扇，可見立扇在台灣常見性。

立扇在台灣家庭隨處可見，主要以放置地面為主，操作位置多在底部位置。操作種類為按鍵式、位置於底盤前方或葉片下方、按鍵大小及間距適合手部操作居多，主要設計針對手部操作為主。而操作位置較低導致使用者的操作不便與不適，許多人會利用腳掌及腳趾部份來操作，而針對手部操作的按鍵設計，大大的影響了腳部操作的評價。操作位置的低矮，也有使用者因此彎腰或蹲下用手來操作按鍵，雖然依手部設計的按鍵不會影響使用者用手操作，但彎腰或蹲姿操作讓使用者感到身體的費力、不便或不適。因此發展一個適合腳部操作的電風扇為本研究的終極目標。

康智堯(2005)的相關研究中，歸納出「扭轉」、「滑動」、「擠壓」、「拍踏」等「方法性」踩踏概念為基礎，透過轉化設計出新式踩控型電扇開關。其研究主要探討踩踏意象與立扇設計上的應用可行性，而測試方法僅以視覺、風量感覺與操控動作模擬為主，並無實體模型與實際操作。

本研究以人因工程的觀點導入，探討使用者對於市售典型電風扇的操作方式與問題，並加以改良與創新，達到專為腳步操作所設計的電風扇。藉此改善目前使用者在操作上的不便與問題。本研究的目的與預期為下：

1. 探討目前使用者對於電風扇的操作問題與需求。
2. 應用前測實驗結果、現有產品分析、人體下肢能力限制與人體計測數據，設計出符合使用者腳部操作的電風扇原型。
3. 比較一般電風扇與本研究所設計出的電風扇原型在操作(可用性)上的評價差異，並達到符合使用者需求與便利之目的。

1.2 研究範圍與限制

目前台灣市售電風扇種類眾多，操作的方式與位置也有所不同，研究使用一般市售與家庭最常見的立扇作為實驗對象，其操作區域位於下方底盤；其它樣本為本研究所設計之四款原型。受測者為南華大學之大學部及研究所學生，身心狀況均屬健康狀態。

1.3 研究架構與流程

如圖 1.1 所示，本研究論文架構與流程可分為三階段。第一階段，發現問題：其中主要是以現有的電風扇操作上的問題作為主軸，並設計前

測實驗來確立明確的操作問題。在前測實驗中必須確認研究限制，避免討論過多的問題。第二階段，問題的解決：透過第一階段的發現問題與前測實驗，可以瞭解問題的關鍵以及使用者的需求與想法，藉此來設計合適用於使用者的電風扇開關。設計過程中導入人因工程的概念，如人體計測值、腳部能力限制等，以及現有產品的共通性。第三階段，再設計效用評價實驗比較研究所設計電風扇原型與市售的電風扇，結果用 SPSS 統計軟體分析，依據問卷、統計結果與影像分析總結歸納，找到各電風扇的優缺點與改進之處，作為未來相關研究與設計產品之參考。

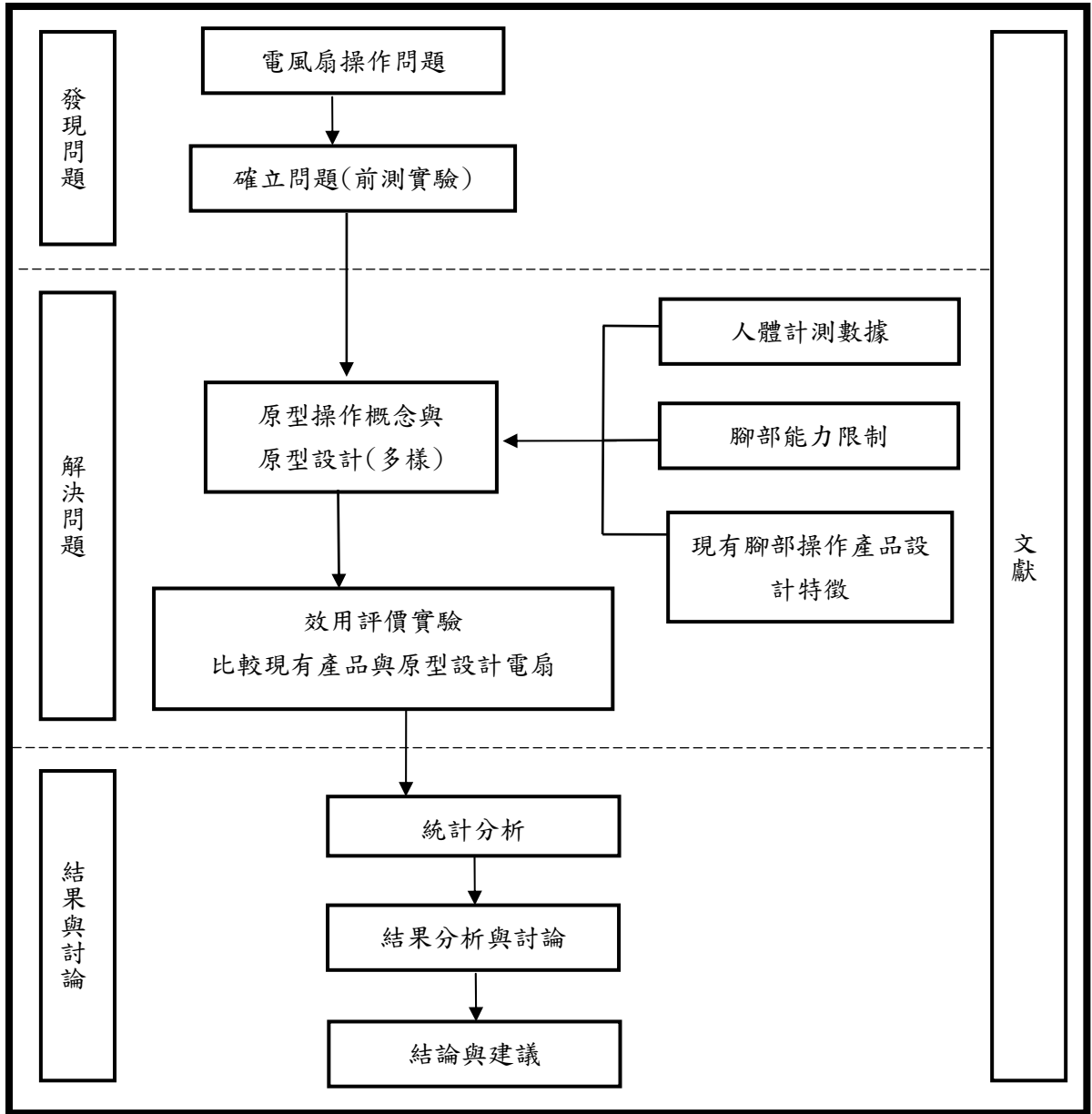


圖 1.1 研究架構與流程

第二章 文獻探討

2.1 人因工程

人因(也稱為人因工程、工程心理學及人類表現工程)即是工程學科也是應用科學，它包含了心理學、生理學、生物學及人體計測學的基本原理。它著重在產品的使用者，其主要目的在確保產品容易使用、容易學習，而且具有生產性及安全性(Cushman, 1991)。廣義的來說，人因工程就是在人與環境、系統或機器設備的交互作用過程中，重視並考慮人的因素，使人與其他組件能適當配合，而產生最佳結果(李再長等人，2005)。在 Bailey(1989)的《Human performance engineering》一書中提到「人為績效」(Human Performance)標準及目的而採取「行動」所導致的結果。而「行動」可以是看得到的動作，或肉眼所看不到的意識行動(如：問題解決、決策、計畫或推理)。而人因目標在於讓人有效且兼具便利、舒適與安全地操作產品、系統、機器與融入環境，也就是達到完善的「人為績效」。因此，本研究將人因工程導入電風扇設計，目的就是評估電風扇與使用者的關係，並且改善操作績效、身體不適、提升使用滿意度與便利性。

人機系統(Man-Machine Systems)是就產品設計的應用根據，它是人員與事物間最佳化組合的設計哲學(黃啟三，2005)。人機系統依技術層次高低可分為四種：手動式人機系統(Manual System)，人提供所有動力、資訊處理、感覺，而機具僅為延長或伸展人的基本能力的輔助器具；機械化人機系統(Mechanical System)，由機器提供動力，人負責感覺、資訊處理、決策與控制；半自動化人機系統(Semi-Automatic System)，機具除提供動力外還具備資訊處理的能力與複雜的製程，人主要為控制機具或設

定目標；自動化人機系統(Automatic System)，機具可完全取代人力，進行資訊處理、控制與行動，人則為監視的地位(張一岑，2004)。本研究中使用單操作電風扇開關可視為以上系統中的機械化人機系統，使用者只需操作電風扇開關達到所需的風量即可。但有些電風扇具有其他的附加功能，如定時、自然風、自動斷電功能等，這就牽涉半自動化人機系統的部分。但本研究為顧及研究的單一性，只採取風量大小開關，故只達到機械化人機系統階段。

人機系統是一種設備系統，即人與機械間的結合，相互作用於固定的環境下，循藉適當的輸入而產生一定良好的輸出。此架構建立於機械與人之間的交互關係，由其是自動化與機械化的概念發展漸趨成熟，為求效率，機械設備除了傳統機能動作外，更需依靠人體知覺與感覺進行操控(黃啟三，2005)。操作電風扇時，使用者必須與其產生上述的交互關係，這包含了按鈕開關對眼睛的易視性、按鍵對於腳部的合用性與操作後產生適當的回饋。易視性包含操作面板上的文字、色彩等；合用性包括操作方式、按鍵大小、間距或位置；回饋則是電風扇的指示燈、操作聲音等等。由於本研究聚焦於腳部的操作，故只探討腳部與按鍵間在操作上的關係。在於外觀的易視性與操作回饋在原型設計中盡可能地讓受測者能順利操作的程度，避免其因素影響研究進行。

在人因工程相關論文中，許多作者會將舊有產品(研究目標)重新設計(再設計)並比較新舊設計在執行上的成效。再設計的過程中導入特定的人體計測數據、人體能力限制或行為提供作設計參考，設計出適合一般或特定人士操作之產品。新舊產品透過操作實驗的過程比較其主觀與客觀的評價，並用統計分析得到結果與發現。

2.2 再設計

再設計(Redesign)並不是什麼理論、學說或研究方法，只是在目前人因研究中的一個現象。研究者經由再設計來改變現有的事物，其中包含了產品、工作環境、工作流程等等的改良與改善。再設計的評估方式往往透過實驗方法來比較新舊產品取得數據或資訊，且使用統計與觀察分析得到結果。例如，使用人因工程原則再設計工業用手動夾鉗且比較原有夾鉗，研究顯示應用人因工程方針能夠增加手工具的效能與可用性(Hallbeck and Jung, 2005)。在 Lee 與 Su(2005)研究中證明新的點選設備允許採取更多人因的姿勢去使用且減少肌肉承載，新穎設備被主觀評價能夠減少頸部的負荷，且優於傳統設備。Wu 與 Luo(2005)的研究結果指出一個人因設計的新式手寫觸碰筆(FPGP)能夠改善穩定性與執行成果且滿足使用者的需求。特別在手寫時能增加手部穩定性、減少手部疲勞及依個人偏好的可調節式設計。在 Morag 等人(2005)的研究中，使用人因的評估去修正 Intel 生產線工作環境中的軌跡球設備，並提出改善的建議。雖然沒有全部被工廠管理人所採納，但被採用的部分仍被證明是有效的。

利用人因的觀點再設計，並用實驗方法與統計分析驗證，現有的研究都能透過再設計得到改善的目的。當然前提是這些研究目標都有被改善的空間，例如，原有的手動夾鉗工具在使用上較費力、舊有的電腦點選設備會導致手腕及手臂等肌肉傷害、舊式的手寫觸碰筆穩定性不足並導致肌肉高承載、Intel 生產線上操作員使用軌跡球長期操作的問題等等。本研究目標使用人因的觀點，透過電風扇的再設計來改善原有電風扇操作上的問題。當然，電風扇的操作問題目前也許不是那麼的明顯，在前測實驗中會使用人因評價來確立問題以及改善方向。

2.3 人體計測

人體計測(Anthropometry)顧名思義就是人體物理特徵上的量測，測量的種類繁多，從頭到腳、各部位之間的距離、運動限制、角度範圍、力量大小等。在收集人體和各部位尺寸、運動限制和力量時，需要建立人機和其他設計需求條件，此時我們要使用各種不同的量測設備。有為數眾多的測量儀器被使用在人體計測上，人體計測是非常耗費時間與費用昂貴的(Henry Dreyfuss company, 1998)。

人體計測的尺寸可以依照該部位是否能夠活動加以區分為靜態與動態人體計測尺寸兩種。靜態人體計測尺寸亦稱為「結構性」(Structural)人體計測，是在人體靜止不動的標準姿勢下進行量測的；動態人體計測又稱為「功能性」(Functional)人體計測，是在人體在執行不同的工作(功能)時，配合該項功能的發揮而測得的身體相關部位尺寸或人體各部位活動範圍的角度(李再長等人，2005)。動態人體計測包含了靜態人體計測、關節運動範圍與因運動而產生的人體尺寸變化等量測目的，所使用的工具也較靜態人體計測工具複雜，而測得的數據也比較有廣大範圍的利用價值，是設計開發需頻繁操作與活動步驟多的計具時，所必須依據的重要數值(吳健瓏，2002)。

人體計測資料庫是建立一個「國家」或「社會」全體人民的體型尺寸及活動能力的統計資料(王茂駿等人，2001)。其應用相當廣泛，可應用於產品設計、工作環境設計、室內設計等等。在人體計測的應用上，該如何選擇適用的數據是很重要的，應針對所要設計的物品進行全盤的考量，再選擇套用平均值或者是選擇極端設計(王映嵐，2006)。例如Jung與Jung(2003)在針對韓國人耳朵特徵與尺寸的相關產品的人因設計研究中，他們就使用韓國人的人體計測數據(平均值和極端值)進行年齡對耳朵

的尺寸變化影響以及比較現有耳機產品的討論，並且設計出適合韓國人耳朵尺寸的耳機。Yuan與Kuo(2005)的研究中，牽涉一般常見的人體計測，包含身高、體重、臂長、掌長、掌寬、手掌握圍、手部肌耐力等，用以比較受測者投擲手榴彈的情況，且發掘最適合研究者當地軍隊投擲的手榴彈外型與重量。在本研究中的原型設計也會參考台灣現有的人體計測數據，藉此設計出適合台灣人腳部尺寸的電風扇開關，改善現有電扇的操作情況。

表 2.1 與表 2.2 為台灣地區華人以及美國人靜態人體計測數據(腳部與身高)(張一岑，2004)，其中的腳長與腳寬指腳掌部分，比較兩者可以發現美國人的身高明顯比台灣人平均來的高，男性身高平均也比女性來的高，在腳長方面也如同身高一般，因此可發現身高較高的人腳長也會比較長。表 2.3 與表 2.4 為台灣地區女子人與台灣地區兒童及青少年人體計測數據(張一岑，2004)，本研究擷取出年紀最小及最大的數據，比較之後發現身高與腳長成正比，且正處發育期的年紀身高、腳長與腳寬都會隨著年齡而增長。不僅於此，由表 2.5 中可以看出台灣人由成年到老年在腳掌跖骨遠端突出處圍度(圖 2.1)(張一岑，2004)也略有增加的趨勢。不論年齡在腳部上的影響，縱觀這些數據可發現台灣成人在於腳掌最寬部份的尺寸平均約在 10 公分左右，這項尺寸數據將會導入本研究的原型設計之中。

表 2.1 台灣地區華人靜態人體計測數據

	男性				女性			
	百分位數			標準差	百分位數			標準差
	5	50	95		5	50	95	
腳長	23.39	25.39	27.22	1.13	21.52	23.26	24.91	1.07

腳寬	9.46	10.36	11.48	0.61	8.6	9.48	10.44	0.56
身高	157.83	167.54	177.71	5.89	147.69	156.27	164.14	5.23

資料說明：單位為公分。原始資料：黎正中、黃明玲、王明揚，國人靜態人體計測資料庫之建立，民國 75 年。

資料來源：《人因工程學》，張一岑，2004，P458。

表 2.2 美國人靜態人體計測數據

	男性				女性			
	百分位數			標準差	百分位數			標準差
	5	50	95		5	50	95	
腳長	24	26.5	29	1.4	22	24	26	1.3
腳寬	9	10	11	0.6	8	9	10	0.6
身高	164	175.5	187	7.1	152	162.5	170	6.4

資料說明：單位公分。原始資料：S. Pheasant, Body Space, Chapter 4, Taylor and Francis, London, U. K., 1986.

資料來源：《人因工程學》，張一岑，2004，P459。

表 2.3 台灣地區女子(6、17-18 歲)人體計測數據

	6 歲		17 歲		18 歲	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
腳長	18.12	1.40	22.72	1.01	22.54	1.26
腳寬	7.25	1.00	8.67	0.54	8.64	0.52
身高	117.08	5.02	156.59	5.01	156.01	5.65

資料說明：單位公分。原始資料：邱魏津，國人女子(6-18 歲)人體計測調查之研究，NSC-76-0415-E-020-01。

資料來源：《人因工程學》，張一岑，2004，P465。

表 2.4 台灣地區兒童及青少年(16-17 歲)人體計測數據

	7 歲		16 歲		17 歲	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
腳長	18.54	1.03	24.53	1.04	*	1.09
腳寬	7.36	0.54	9.46	0.52	9.52	0.6
身高	120.36	5.44	166.58	5.87	168.78	6.28

資料說明：單位公分。(*)表示資料遺漏。原始資料：杜壯、李玉龍，台灣地區青少年人體計測調查研究，《技術學刊》，3(2)，民國 77 年。

資料來源：《人因工程學》，張一岑，2004，P463。。

表 2.5 台灣地區人體計測資料庫(男性與女性蹠骨遠端突出處圍)

	男性		女性	
	平均值	標準差	平均值	標準差
18-24 歲	243.76	13.66	220.63	15.32
25-34 歲	246.08	13.68	223.91	14.42
35-44 歲	245.75	14.29	224.80	14.47
45-64 歲	247.48	15.30	231.45	17.02

資料說明：單位：公厘。定義：圖 2.1 所示，繞蹠骨遠端突出處之腳部圍度。

資料來源：《台灣地區人體計測資料庫手測》，王茂駿、王明揚、林昱呈，2001，頁 592-593。

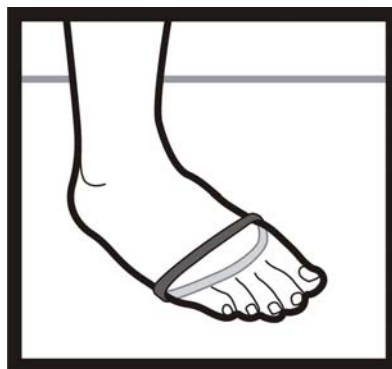


圖 2.1 蹠骨遠端突出處圍度

2.4 人因評價與實驗設計

人因評價多以實驗為主，其中必定包含多種比較對象，透過受測者對研究對象的操作，記錄主觀與客觀的評價，在經由統計、觀察分析或兩者的比較得出結論。主觀的評價包含問卷、訪談等，由受測者自身的感受、意見為主；客觀的評價包含操作過程的時間、錯誤率、肌電圖、操作姿勢等，評價結果不經由受測者的思維所控制，完全以操作的情況而定。實驗評價難免有所誤差，但透過嚴謹的實驗設計與執行能將誤差降至最低，盡可能地讓其不足以影響實驗結果。

Potvin等人(2004)在電、氣動手工具研究中，比較電動與氣動槍型手工具的人因需求研究中，使用肌電儀(EMG)與加速度器測量肌肉活動與估計手部反作用力，受測者使用五種手工具執行鑽孔動作，以及三種模擬鑽孔的連接點。在Baker等人(2007)的研究是比較操作一般標準鍵盤與人因工程鍵盤時手指關節角度、移動速度和加速度的情況，並使用以標記為基礎的移動分析系統計錄結果。Lintula 與 Nevala (2006)在機械單管道計量吸管的研究中，目的是比較不同機械單管道計量吸管對於健康女性實驗室工作者於模擬實驗室中的執行工作。並測定肌肉活動(EMG)、腕關節、肌肉骨骼張力的感知、可用性特徵的感知以及工作效率。以上這些研究案例的共通點都是使用人因的觀點比較現有產品，使用人因的角度去比較，透過問卷調查、訪談、肌電儀、加速度器等的方法與設備取得主觀或客觀結果進行分析討論。而這些人因實驗多數都在實驗室執行，有些實驗使用攝影機記錄影像，方便往後的校對及動作分析。

趙榮洲(2004)在高齡化產品之按鍵壓力研究中，實驗過程讓受測者測量完基本手部資料數據後，進行基本資料填寫。受測者以隨機方式自由選擇受測樣本，以單手操作行動電話樣本，將操作感受記錄於SD量表上。

陳德鴻(2006)的美髮業專業吹風機人因設計與評估研究，依據不同的實驗組合執行實驗，並於每次實驗後以坐姿填寫問卷，填寫問卷是由主事者詢問受試者主觀感受的方式進行，可避免受試者誤填空格或胡亂填寫而影響主觀數據準確性，此外，亦可在坐姿填寫的過程中獲得適當的休息。鄭寶宏(2006)在手鋸設計開發與人因評估研究中，實驗流程分為兩階段：準備階段，實驗說明、填寫基本資料、測量手部尺寸、練習動作、貼電極片；實驗階段，進行動作、量測肌肉活動度、記錄、填寫主觀評比、實驗結束。綜觀這些實驗過程中，受測者需要執行操作實驗、填寫問卷、受訪或影像紀錄等等事項，依據每個研究的方向與需求的不同而有差異，但共通點不外乎就是實驗的準確性。實驗過程中需避免結果偏差的可能，儘管多少會有些許誤差產生，也要將其降至最低。

2.5 現有產品分析

2.5.1 現有電風扇資料收集與分類

本研究於幾個較有規模網路購物平台蒐集台灣目前市售的電風扇樣本，主要樣本僅限於放置地面為主。電風扇樣本 27 個，依據其功能與外型區分，共有六種主要的電風扇種類並加以分類。如表 2.6，目前市售的主要電風扇種類為：循環扇、工業扇、大廈扇、箱扇、立扇、水冷扇。

1. 循環扇：用功能作為區分，以室內空氣循環為主。外型有高有低，甚至有兩個以上的扇葉設計。
2. 工業扇：以工業需求為主，重量較重、體型大且多以金屬製成，扇葉較大風力也較強。高度則因需求不同有高低之分。
3. 大廈扇：外型為長條狀類似大廈，佔地面積較小，依高度不同可分為桌上型與地上型，地上型較高。

4. 箱扇：設計較低矮且扁平，正面呈正方形狀，較不佔地面空間，早期常見於一般家庭。
5. 立扇：目前台灣最為常見的種類，直立式設計故底部有圓盤狀的支撐，操作按鍵多位於此。
6. 水冷扇：透過電扇內的水槽冷卻空氣，達到水冷效果，其外型多為長方狀。

表 2.6-1 台灣現有市售的電風扇分類

循環扇			
			
漩渦氣流循環機 (EFT-118) 320×165×285	漩渦式空氣循環扇 (BF-1770) 380×375×860	渦輪旋風負離子循環 座扇(HF-7666) 403×403×1080	
工業扇			
			
SAMPO 聲寶 18 吋工 業扇(SK-PC18F) 500×300×560	尚朋堂工業立扇 (SF-1833) 490×430×920		
大廈扇			
			
SAMPO 聲寶 極簡遙 控型大廈扇 (SK-SA120R) 315×315×1195	SAMPO 聲寶微電腦 Mini 大廈扇 (SK-AF37M) 140×140×375	YAMASAKI 負離子 清淨小廈扇 (SK-680MA) 172×155×395	尚朋堂微電腦小塔 扇(SF-0505) 130×130×360

表 2.6-2 台灣現有市售的電風扇分類

箱扇			
			
TECO 東元 12吋箱扇 (XA1211AB) 425×130×470	大同 12吋箱扇 (TF-B12A) 420×150×490	尚朋堂 14吋手提扇 (SF-1495)	聯統 10吋涼風扇 (LT-1018R) 372×182×480
立扇			
			
Waltz 華爾滋 14吋高 級立扇 (JHF-1408) 524×186×427	大同 12吋桌立扇 (TF-L12B) 380×380×850	嘉儀 四季空氣對流 機(KE300S) 420×390×810-1030	尚朋堂 14吋微電腦 遙控立扇 (SF-1450M) 400×400×1000
水冷扇			
			
尚朋堂微電腦水冷扇 (SF-1300) 340×285×660	尚朋堂搖控負離子 水冷扇(SF-811)	南極風水涼扇 (HW-888A) 400×330×620	歐頓全功能遙控冰 冷扇(EAF-330) 355×275×740

資料說明：資料為本研究網路收集整理分類。各樣本下方為產品名稱，括弧中為產品型號。

尺寸單位 mm。

2.5.2 現有腳部操作產品

現有腳部操作產品總類繁多(圖 2.2)，平時最常見的腳踏車踩踏板、汽車駕駛踏板、鋼琴腳踏板等。另外還包括垃圾桶、吸塵器、爵士鼓踏板、電吉他效果器、機車打檔腳踏、打氣筒、縫紉機，機械工具腳踏控制開關等等。如圖 2.3 所示，大同公司近幾年也出產標榜符合人因操作的

腳控立扇(TF-L12MF)。

縱觀這些腳部操作產品，可以發現他們都有相似的特徵，例如產品本身多置於地面、按鍵寬大或較長、按鍵的間距較寬、設置點較低、操作方式以前腳掌踩踏居多，少數是用腳尖向上勾或用腳後跟踩，操控方式較為簡單且單純，且操作模式趨向簡單。從人因的角度討論這些特徵，確實都有達到腳部操作的需求。但以人體腳部能力的方向思考，腳部操作的方式不應只有踩踏而已，是必還有許多可能性存在。



圖 2.2 現有腳部操作產品



圖 2.3 現有腳部操控電風扇

2.6 人體腳部限制

人體解剖學中，人類的身體系統可分為肌肉、骨骼、循環、神經、淋巴/免疫、消化、呼吸、內分泌、泌尿、生殖系統，而牽涉到人體運動的系統主要就是骨骼與肌肉系統。骨骼為身體的骨架，其分為兩部分：中軸骨由顱骨、脊椎、肋骨以及胸骨組成，而附肢骨則構成了下肢與上肢。骨骼肌可受人體意識所控制，而構成肌肉系統。身體輪廓大約是由 700 塊肌肉覆蓋而成，這些肌肉約佔身體總重量的六成之多 (Parker, 2004)。

我們的腳部為骨骼分類中的附肢骨，從外觀看大致可以分為大腿、小腿及腳掌等部分，而相連的區域為髖關節、膝關節、踝關節及腳掌趾等關節。每邊的下肢是由 30 塊骨頭所構成(圖 2.4)：大腿的股骨、膝蓋骨(髌骨)、小腿的脛骨及腓骨、足部的 7 塊跗骨、5 塊蹠骨及 14 塊趾骨(Tortora,

2007)。人體關節依構造區分的類型為：纖維性關節、軟骨性關節與滑液關節，而人體的下肢則多為滑液關節，其中又可分不動關節、微動關節及可動關節。控制股骨(大腿骨)、脛骨和腓骨(小腿骨)活動的肌肉有：內收大肌、內收長肌、恥骨肌、股薄肌、股四頭肌、縫匠肌及後腿肌群如圖 2.5，這些肌肉位於腰部、臀部及大腿；而控制足部和腳趾的肌肉主要位於小腿，包含脛前肌、伸趾長肌、腓骨長肌、腓腸肌、比目魚肌、脛後肌與屈趾長肌如圖 2.6。

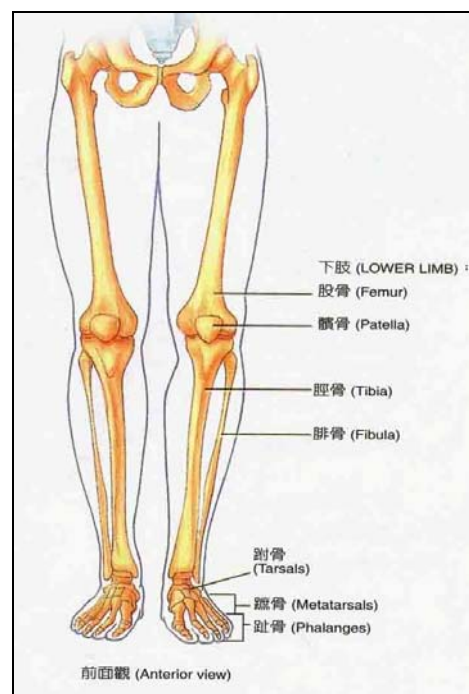


圖 2.4 人體腳部骨骼

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 127。

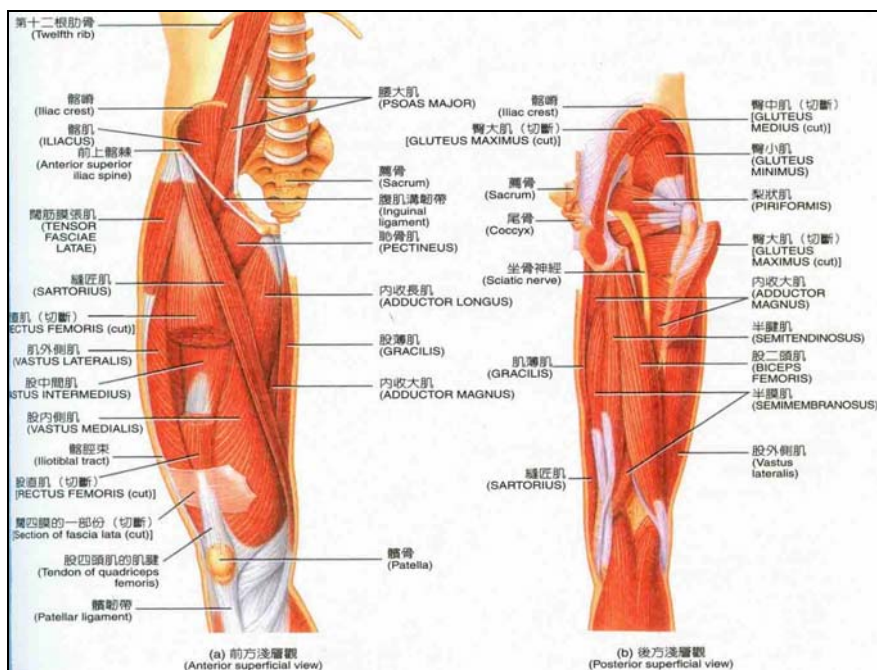


圖 2.5 人體大腿肌肉

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 217。

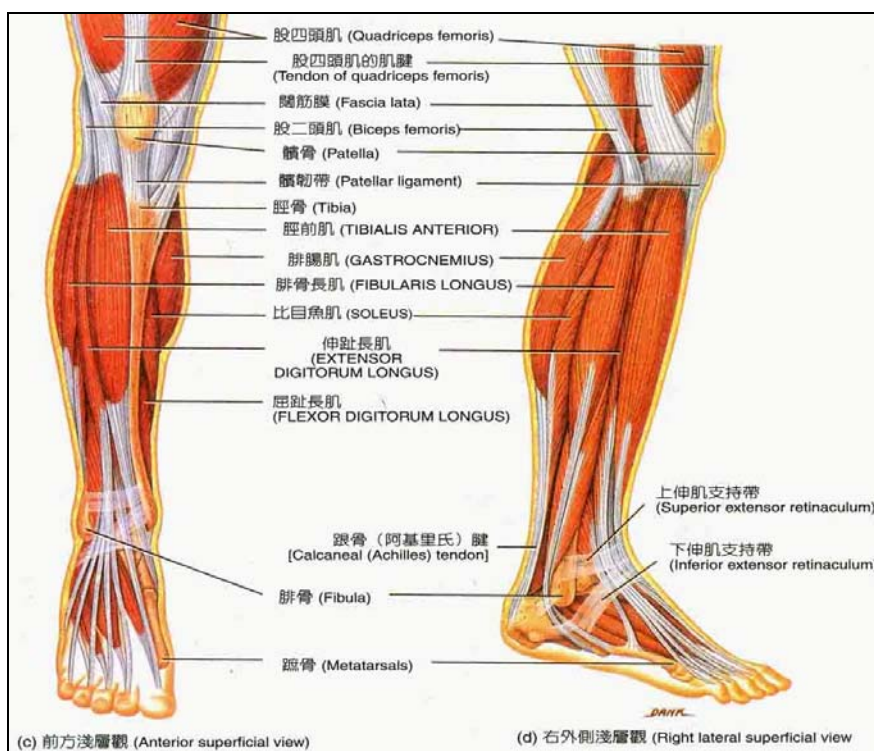


圖 2.6 人體小腿肌肉

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 221。

有了骨架的結構以及肌肉的伸縮帶動，讓人體能靈活的運動，當然這些運動仍然受限於肌肉與骨骼，並非能夠完全自由的活動。就足部可做出的數種方式的運動，分別為：足部上抬或稱背屈(Dorsiflexion)、足部下壓或稱掌屈(Plantar flexion)、內翻(Inversion)以及外翻(Eversion)等不同的動作(Parker, 2004)。在《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》一書提到有關發行滑液關節處的運動類型(Types of Movements at Synovial Joints)，其中將運動區分為滑動、角運動、旋轉和特殊運動，四種如下：

1. 滑動：Gliding，為一種簡單的前後或左右的運動，其發生在兩個骨頭表面皆較扁平的關節處。因為關節被囊及相關之韌帶與骨頭間的構造較不緊密，所以滑動運動的範圍會受到限制且發生在平面關節(圖 2.7)。

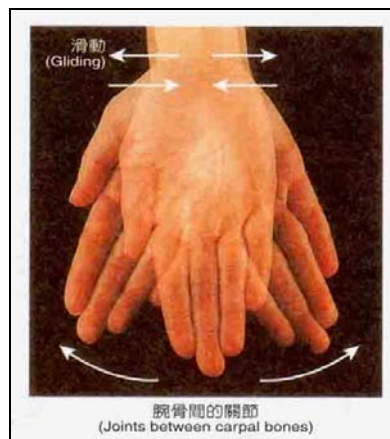


圖 2.7 手腕骨的關節滑動

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 164。

2. 角運動：Angular Movements，指在兩個互相關節的骨頭之間有角度的增加或減少。角度變小為屈曲(flexion)，角度變大為伸展(extension)(圖 2.8)。

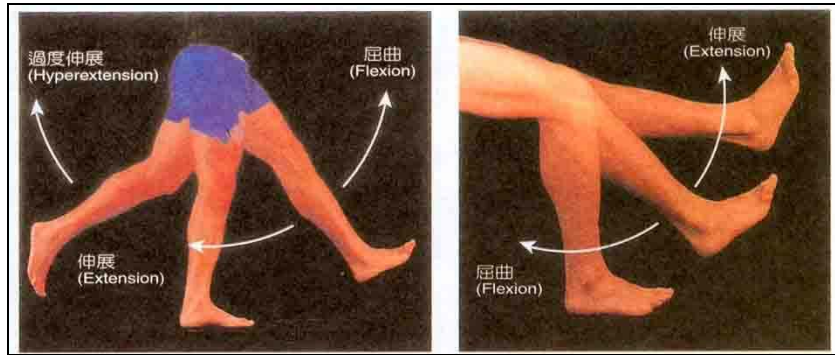


圖 2.8 髖關節與膝關節的角運動

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 165。

3. 旋轉：Rotation，骨頭繞著自己的縱軸旋轉，樞椎及杵臼關節皆可產生旋轉運動(圖 2.9)。因而影響腳掌的旋轉，平均角度範圍為向內旋轉 35 度、向外旋轉 43 度，總角度為 78 度(如圖 2.10)。



圖 2.9 髖關節的旋轉

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 166。

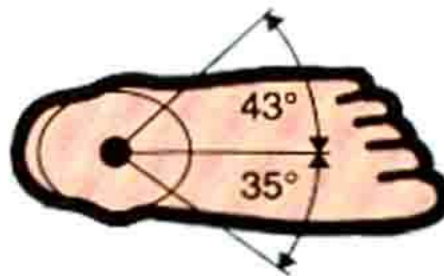


圖 2.10 腳部旋轉角度平均值

資料來源：《男性與女性人體計測——人因工程在設計上的應用》，Henry Dreyfuss

Company，頁 24。

4. 特殊運動：Special Movements，只會在特定關節產生的特殊運動，包含上提、下壓、前突、縮回、內翻、發行外翻、背曲、蹠曲、旋後及旋前等(圖 2.11)。



圖 2.11 腳踝蹠骨間的特殊運動

資料來源：《Tortora 簡明人體解剖學與生理學》，Tortora，2007，頁 166。

由生理學的角度探討，大腦中分有體感覺區與運動區分別掌管身體感覺與運動。身體中受到最密集之神經支配的部分，如手指、拇指和嘴唇，在身體感覺皮質中佔了最大的區域(Widmaier *et al.*, 2007)。如圖 2.12 所示，由於負責相鄰部位的體感覺輸入常是平行前進到大腦的後中央腦回，所以後中央腦回便形成一個人體部位的體感覺圖，這個投影圖卻是極度扭曲的，像手部(尤其是手指)、臉部(尤其是嘴唇)及舌頭等部位所佔得面積特別大，而軀幹特別小。經驗告訴我們，手指、嘴唇及舌頭等部位都是人體感覺最敏銳的地方，而軀幹則是感覺相當遲鈍的地方(樓迎統等人，2002)。如圖 2.13 所示，大腦皮質運動區也有極度扭曲的人體肌肉控制投影圖。越是能夠做出精確細密動作的部位(如手指、舌頭等)，其在大腦運動皮質所佔的面積也較大(樓迎統等人，2002)。

人體的手部(手指)有著密集的神經支配形成感覺得高度敏銳，而在大腦運動皮質所佔面積較大能夠做出精密的動作。反觀腳部之情況就沒有

手部的感覺敏銳與動作精確。因此使用腳部操作需要較為簡單的操作模式與更容易瞄準的按鍵。

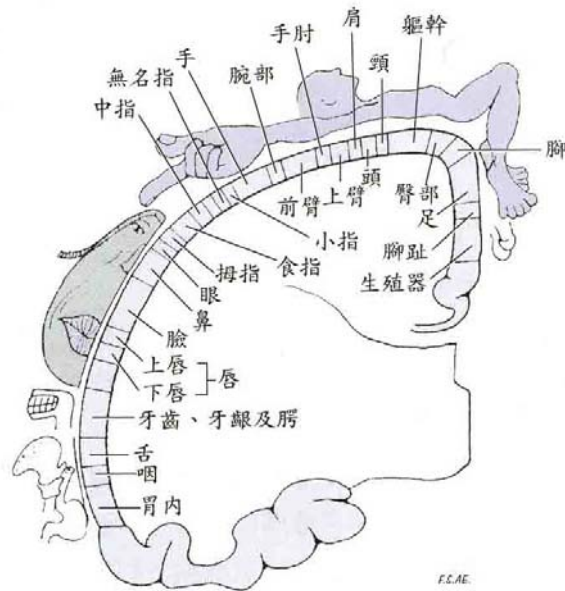


圖 2.12 體表感覺訊息投射在右大腦半球皮質感覺區的分布位置

資料來源：《實用生理學》，樓迎統等人，2002，頁 169。

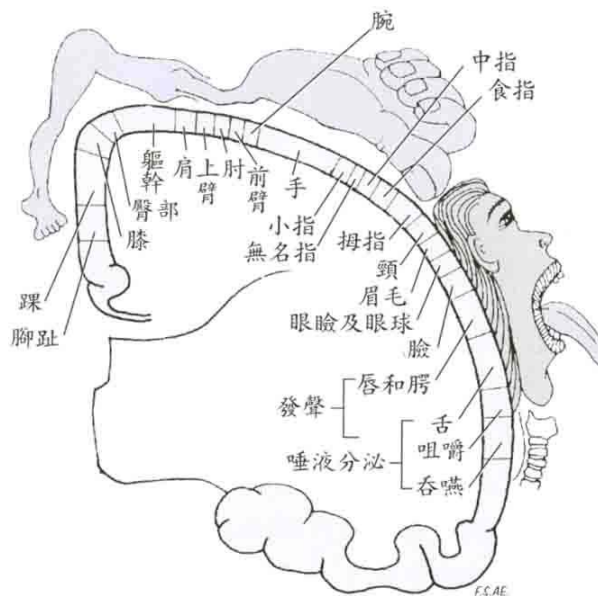


圖 2.13 人體肌肉控制訊息投射在右大腦皮質運動區的分布位置

資料來源：《實用生理學》，樓迎統等人，2002，頁 172。

第三章 研究方法

本研究包含兩次實驗與原型製作：分別為前測實驗、原型製作與再設計效用評價實驗，其中運用問卷調查、影像紀錄觀察分析、訪談與統計分析。前測實驗目的在確立市售立扇的操作問題，及一般使用者的操作情況與對其需改善之建議。原型製作使用台灣人體計測數據、人體能力限制與前測實驗結果設計出腳控的電扇原型，並提供作為再設計效用評價實驗之樣本。效用評價實驗目的在於比較研究設計之原型與市售立扇間的差異，透過統計分析與操作影像觀察分析找出原型與市售電扇的優缺點，並確認研究所設計之原型是否符合需求或擁有較高評價對於市售立扇。

3.1 前測實驗

3.1.1 前測實驗研究限制

立扇在台灣相當普遍，立扇按鍵操控區位於底盤(圖 3.1A)或馬達下方支柱(圖 3.1B)。本研究使用按鍵操控區位於底部的電扇作為前測實驗的典型電風扇(圖 3.2)。藉此找出操作上的問題與設計出用腳操作的電風扇。

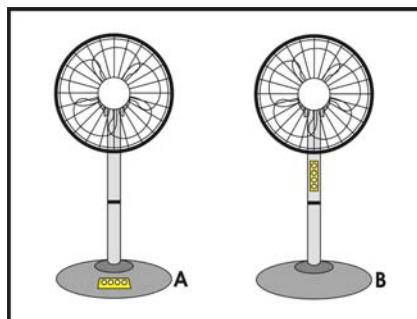


圖 3.1 立扇的按鍵操控位置

資料說明：A.按鈕設置於底盤、B.按鈕設置於機身中間。



圖 3.2 前測實驗中使用的立扇操作面板

表 3.1 為前測實驗受測者基本資料：受測人數 30 位，男性共 16 人、女性共 14 人，全數來自於南華大學在學學生，其中包含學士班及碩士班學生，均為台灣成年人。平均年齡 23.67 歲(SD 為 6.31 歲)；平均身高 167.16 公分(SD 為 8.88 公分)。操作時，僅讓受測者以不穿鞋的情況下操作，而是否穿襪操作則以受測者自我意願為主。

表 3.1 前測實驗受測者基本資料敘述統計。

	人數	平均年齡(標準差)	平均身高(標準差)
男性	16	22.38 (2.87)	173.43 (4.51)
女性	14	25.14 (8.65)	160.00 (7.01)
全體	30	23.67 (6.31)	167.16 (8.88)

3.1.2 前測實驗與問卷設計

在實驗前，每位受測者均同意參與且配合實驗過程。實驗初期，研究員告知受測者本研究目的與實驗流程，並請受測者閱讀問卷內容且填寫基本資料與操作經驗。實驗中期，受測者站立於操作區域(圖 3.3)以隨機的方式以手部或腳部依平日經驗與喜好隨意的操作典型立扇，操作時間為 30 秒鐘，操作期間研究員使用攝影機記錄操作過程。每個部位(手或腳)操作結束後，結束影像紀錄並請受測者坐著填寫該操作部位的問卷部

分，並給予充分的休息時間再執行實驗，直到各部位(手與腳)皆完成實驗程序。實驗後期，請受測者站立於測量區(圖 3.4)，以靜態人體計測方式測量其腳長與腳寬，並使用研究自製測角器(圖 3.5)以動態人體計測方式測量腳掌與水平線之角度。使用測角器測量時，受測者依據自我腳掌自由向上(背曲)與向下(蹠曲)的舒適限度為主，以水平線 0 度為量測基準。最後再進行訪談，問題由研究員提出並直接輸入於電腦中。



圖 3.3 前測實驗操作區域

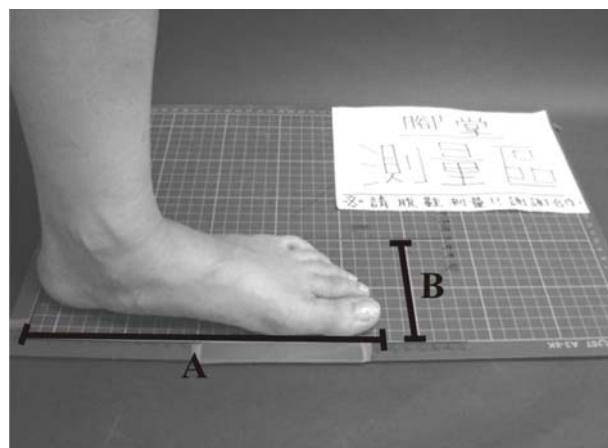


圖 3.4 前測實驗腳部量測區

資料說明：A 為腳長、B 為腳掌最寬之距離

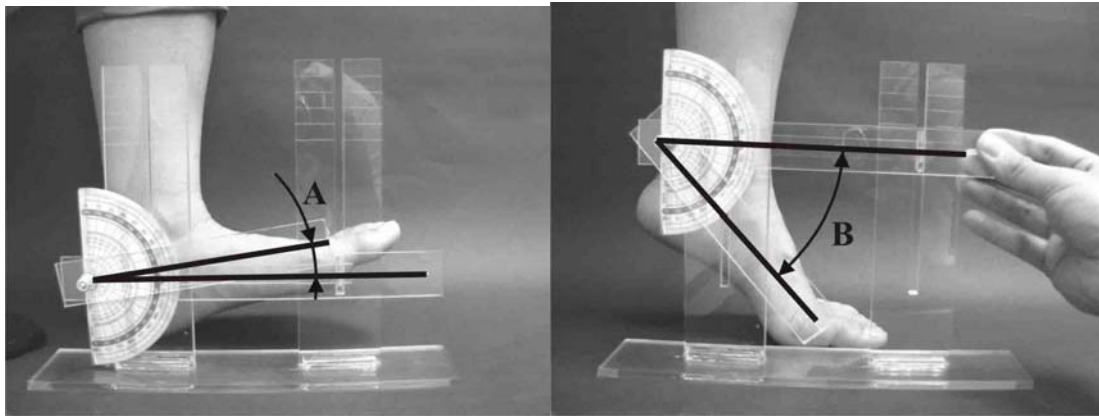


圖 3.5 前測實驗腳踝角度量測工具

資料說明：A 為腳掌向上背曲與水平面之角度、B 為腳掌向下蹠曲與水平線之角度。

操作實驗中，受測者隨意操作典型立扇 30 秒，比較於一般在日常情況下操作有所不同(一般情況下可能開啟或關閉電扇即可，操作時間低於 30 秒鐘)，原因在於研究為了更加突顯受測者所使用的操作姿勢是否費力或輕鬆，故延長操作時間，也增加了操作次數的重複性。而研究所用之測角器為自製器具，使用壓克力板材、一般量尺與量角器製成，在測量的精準度較差，但測量結果僅提供參考之用，後續研究並無加以運用。

實驗地點為實驗室，模擬一般情況下的操作環境，如圖 3.6 所示，A.受測者、B.研究員、C.典型電風扇、D.攝影機、E.桌面、F.椅子、G.問卷、H.受測者編號。前實驗設計包含問卷調查、操作評價、操作影像紀錄、人體腳部計測與訪談。

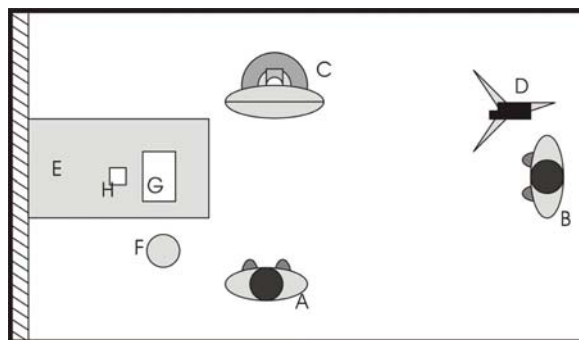


圖 3.6 前測實驗實驗室模擬環境(上視圖)

前測實驗問卷設計包含：研究說明、基本資料、操作經驗、主要操作評價(手部與腳部)、人體計測部分。基本資料包含性別、年齡、身高。操作經驗包含對於前側實驗樣本的使用經驗，以及是否用過或是否認同用腳操作電風扇與是否認同研究設計出用腳操作的電扇。主要操作評價包含身體各部位的費力程度、操作準確度、按鍵設計評價。操作評價使用李克特量表法，以五項刻度作為評價標準，如：非常費力、費力、無意見(普通)、輕鬆、非常輕鬆。

3.2 原型設計

3.2.1 原型設計原則與流程

原型設計流程如圖 3.7，在原型設計前先訂定設計原則，而設計原則來自於前測結論、人體計測數據與人體能力限制文獻，據以進行草圖的發展，隨後進行電腦輔助設計(CAD, Computer Aided Design)，完成 CAD 進入 Insight 軟體進行切層與 RP 成型(FDM, Fused Deposition Modeling)，直到成形完成再修整模型，最後進行原型的測試。

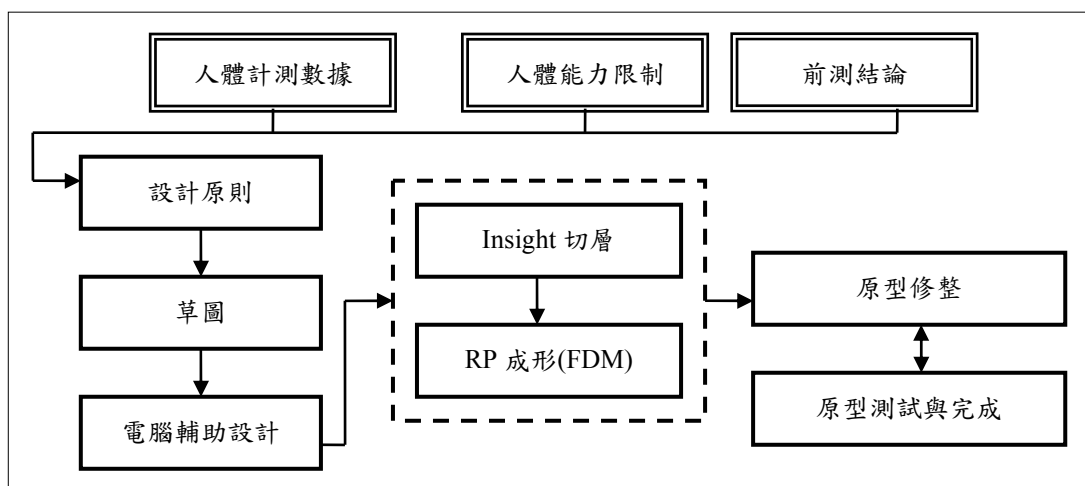


圖 3.7 原型設計流程

由前測實驗結果可知，在設計腳部操作電風扇的原則必須要有方便腳部操作的按鍵，因此透過人體計測資料庫數據與前測實驗腳部計測，取得適合台灣人腳部操作的尺寸，由於每個人的腳部尺寸都不一致，但整體而言還是有大概的規範。透過文獻與實驗整理出適合台灣人腳部操作的尺寸寬度大約為 10 公分，而按鍵間距依按鍵寬度大小調整，原則以不影響操作為主。原型設計在腳部旋轉的角度設定在 75 度。而前測驗所使用的典型立扇操作位置已達到受測者的使用標準，而按鍵高度普遍都是”剛好”的評價，因此在操作位置與按鍵高度的設定選擇不改變，控制在電扇底盤前方、高度約 5 公分左右。前測實驗也反映出操作介面需要標示清楚，因此設計操作外觀則要有易視的文字、色彩或圖示，避免操作者在高度因素下造成視線難以辨識的困擾。

由文獻探討中得知，人的腳部動作大至上可分做腳踝和腳掌的上提(背曲)與下壓(蹠曲)、大腿股骨大轉子帶動的腳部旋轉、膝關節的角運動、蹠骨與趾骨型成的腳趾彎曲。因此，本研究考慮這些特定腳部動作由草圖發想中挑選出幾種設計進行發展，又因單按鍵、多按鍵和操作方式不同區分成以下四種原型設計：

1. 多按鍵式設計(單一按鍵控制單一功能，按鍵不需重複操作)：

(1) 踩踏式(A1)：使用腳掌或腳趾以踩踏方式操作，主要針對腳踝的上提下壓、膝蓋與股骨的角動作而設計，內部機構概念改良於現有按鍵操作的立扇設計。

(2) 腳踢式(A2)：使用腳趾尖或腳掌以向前踢的方式操作，主要針對膝部與股骨的角運動設計，其操作施力方向為前方，內部機構如同踩踏式(A1)，差別在於擺放的方向不同，面向操作者且與地面垂直。

2. 單按鍵式設計(單一按鍵控制多個功能，操作時需重複操作)：

- (1) 滑桿式(B)：使用腳趾或腳掌推動滑桿操作，以膝部的角運動為主，其操作施力方向為向下並向前與向後，內部機構概念發想於吹風機操作桿與美工刀推桿。
- (2) 旋鈕式(C)：使用腳掌按壓及旋轉轉盤操作，針對腳部的旋轉動作所設計，操作施力方向為下並左右旋轉，內部機構類似於滑桿式 B。

3.2.2 原型草圖與電腦輔助設計

電腦輔助設計，簡寫 CAD，主要運用電腦來繪製、計算或模擬實物。在工業設計上用以表現新產品的外觀造型、色彩、質感、性能或物理特性等等。目前台灣工業設計最常用的電腦輔助設計軟體有 AutoCAD、Pro-E、Solidworks 等。

本研究原型發展由設計原則與概念到設計發想草圖 (圖 3.8)，由發想草圖中挑選出適合腳部能力運動的設計繪製成草圖，踩踏式 A1 與腳踢式 A2(圖 3.9)、滑桿式 B (圖 3.10)、旋鈕式 C(圖 3.11)，並建立基本尺寸與機構，再使用 SolidWorks 繪製立體外觀與工程圖(圖 3.12、圖 3.13、圖 3.14、圖 3.15)。電腦輔助設計軟體(SolidWorks)的優點在於設定的尺寸隨時都可以更改，可在發現問題後快速的改變尺寸進行改善。並透過設定色彩、材質等，來觀察設計的程度。設計完成的外觀皆可形成實體資料，並使用特殊的成形機器來將數據轉化為實品。目前主要運用在設計後期的製程與加工部分(Numerical Control，NC 加工；Rapid Prototype，RP 快速原型等)之電腦輔助製造(CAM)技術的運用，以及模擬 3D 建構的繪圖軟體，因此，電腦輔助工業設計(CAID)是以電腦繪圖技術為核心的架構(鄭宇杰，2002)。

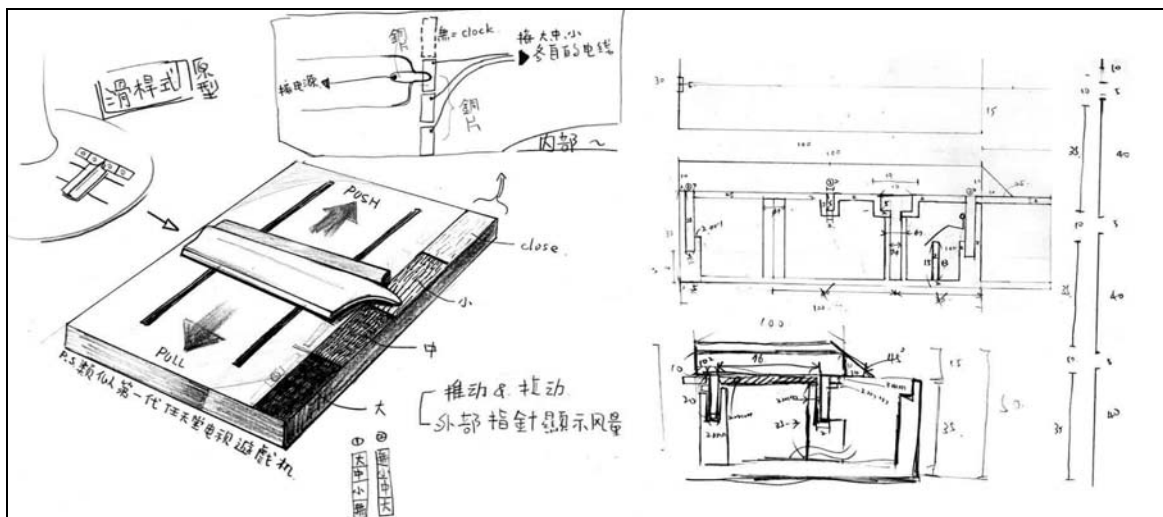


圖 3.10 原型 B(滑桿式)草圖

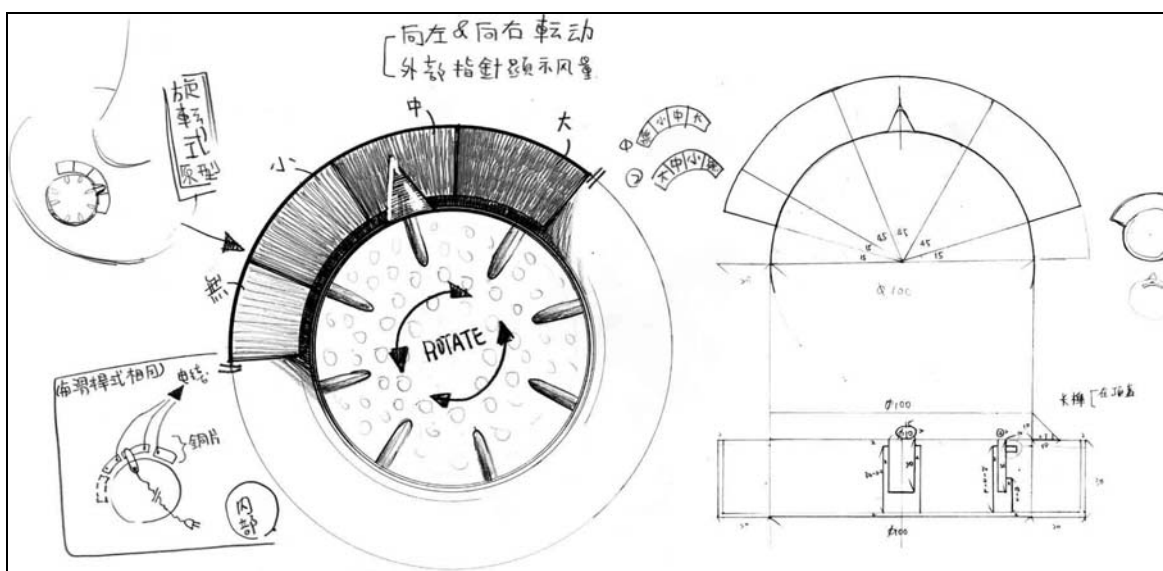


圖 3.11 原型 C(旋鈕式)草圖

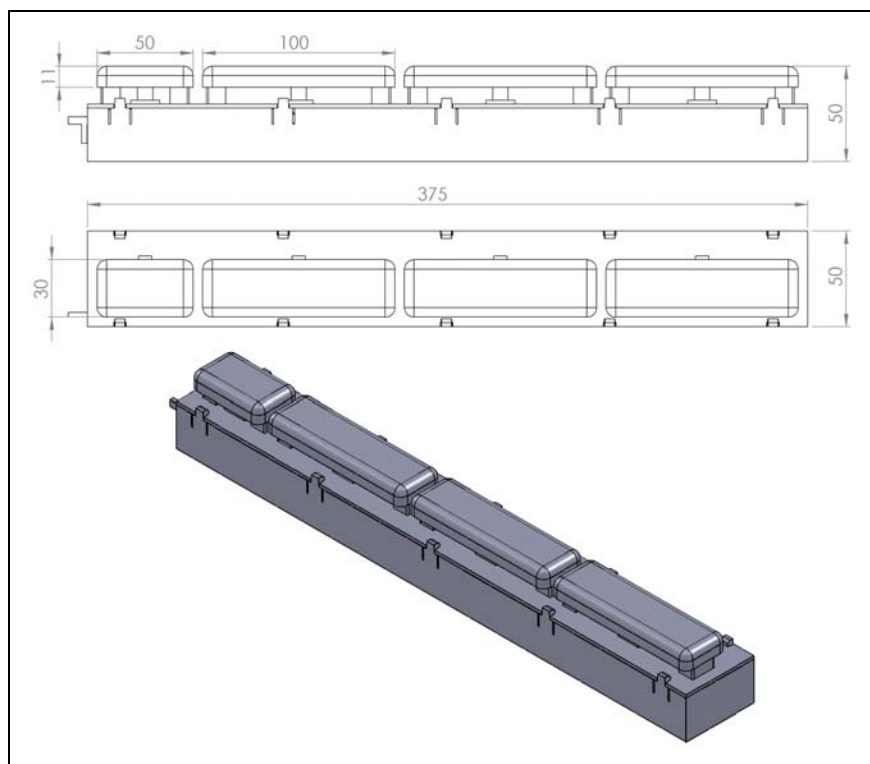


圖 3.12 原型 A1(踏步式)設計 CAD

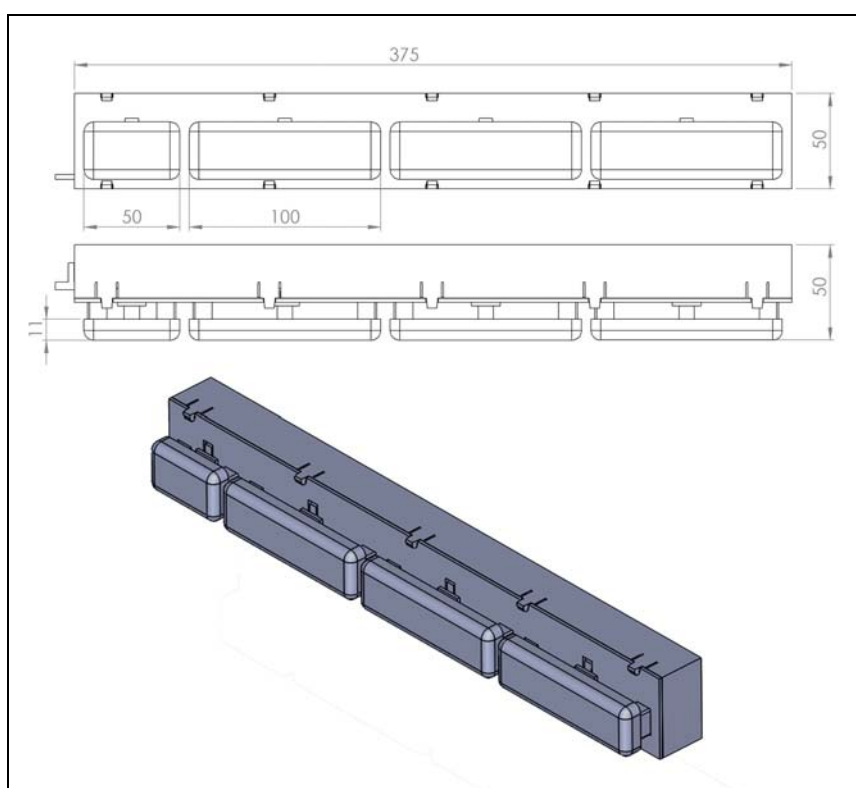


圖 3.13 原型 A2(腳踢式)設計 CAD

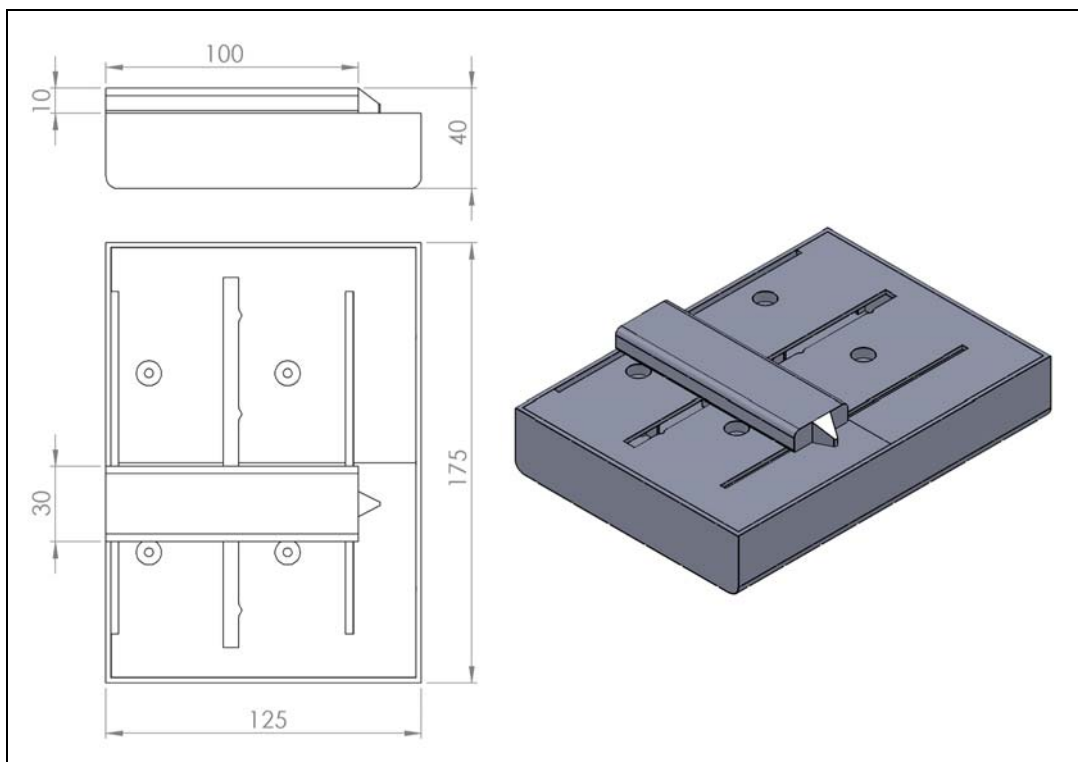


圖 3.14 原型 B(滑桿式)設計 CAD

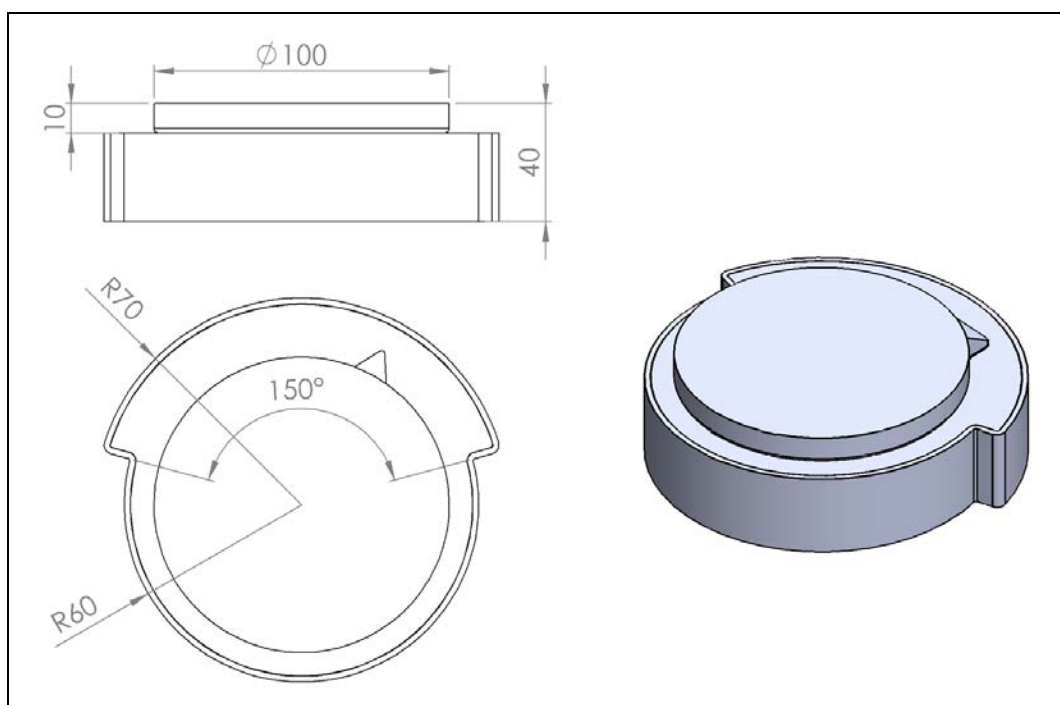


圖 3.16 原型 C(旋鈕式)設計 CAD

3.2.3 快速成型-FDM 與模型加工

快速成型，Rapid Prototyping，簡稱 RP 成形。RP 成型的種類繁多，只要是由電腦控制能快速的做出模型之成型方式都可稱之。本研究使用的 RP 成型方式為熱融擠製成型，Fused Deposition Modeling，簡稱 FDM，機器型號 Vantage i(圖 3.16)，其特色除能快速的成形外，其成型方式是由下至上、從零到有、以加法方式成型，並透過支撐材料來輔助成型，故只要能繪製出來的模型都能夠順利擠製成型。成形本體材料為 ABS 更有利於後續的模型加工。缺點在於大面積的成形會受到熱漲冷縮的影響導致外型些微變形，以及模型是由堆積而成，在某些方向會有較脆弱的程度，故在後續加工上還需補強。



圖 3.16 FDM 系統

FDM 成型流程為圖 3.17：使用 CAD (SolidWorks 軟體)繪製原型設計檔案、將檔案轉存 STL(三角網格)檔(圖 3.17A)、使用 Insight 軟體進行切層和生成支撐材與擠製路徑等資訊(圖 3.17B)、將檔案匯入 FDM 機器成

形(黑色部分為支撐材、白色為模型本體) (圖 3.17C)、成形後由機台中取下模型並洗去支撐材(支撐材為水溶性材質，藉由高溫能溶解於溶劑之中) (圖 3.17D)、最後獲得零件模型。

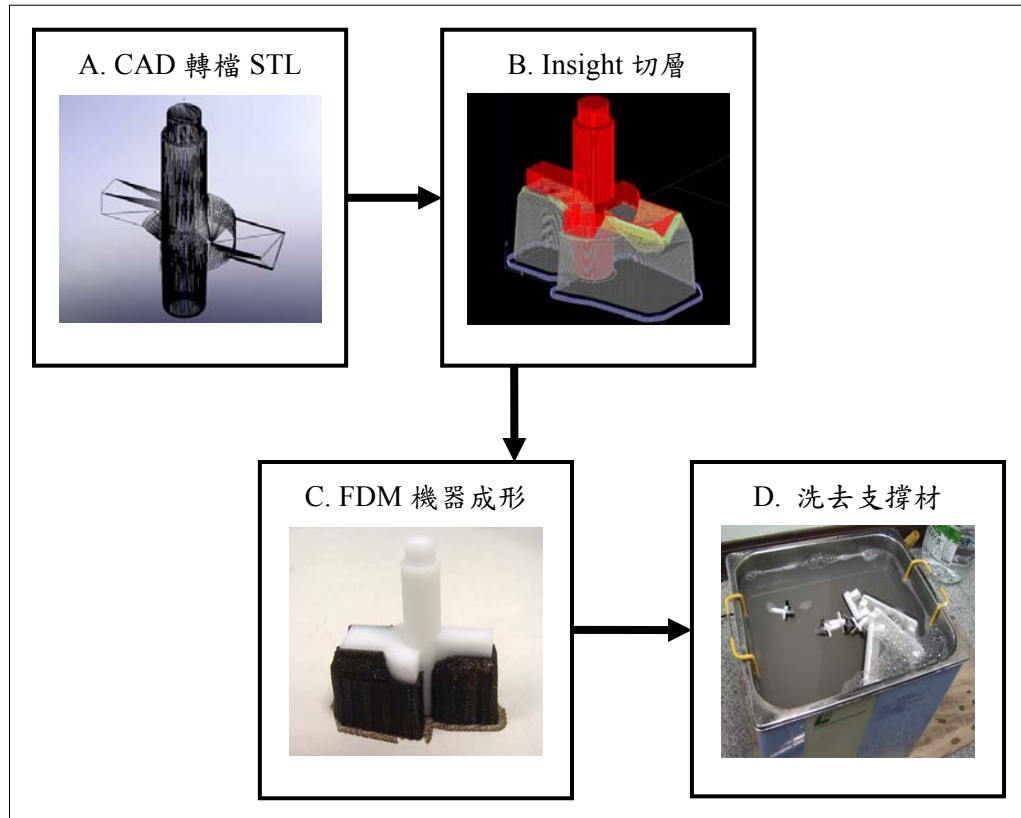


圖 3.17 FDM 成型流程

由 FDM 所完成的模型在某種程度上還是有些不平順的情況，後續以砂紙研磨加工且在模型脆弱的地方來決定補強動作。補強可使用快乾膠或補土等媒材來加強薄殼或細小部分的強度。在可動的零件上，需填上潤滑油來加強滑動效果。完成模型的補強，接著進行內部的配線，隨後完成組裝於固定架上。

3.3 再設計效用評價實驗

3.3.1 再設計效用評價實驗研究限制

本研究主旨在於比較六種立扇於腳控的情況，在於受測者的年齡上並沒有特別針對老年人與殘疾人士等等，受測者以南華大學學生為主，全數受測者皆為身心健康狀態且皆為自願參與受測。如表 3.2 所示，受測人數 50 人(男性 23 人、女性 27 人)，平均年齡 21.38 歲(SD=2.26)，平均身高 166.18 公分(SD=8.33)，平均體重 58.12 公斤(SD=12.37)，平均腳掌寬 9.72 公分(SD=0.69)。

表 3.2 再設計效用評價實驗受測者基本資料敘述統計

	人數	年齡(標準差)	身高(標準差)	體重(標準差)	腳掌寬(標準差)
男性	23	22.74 (2.65)	172.30 (5.68)	64.61 (13.65)	10.24 (0.58)
女性	27	20.22 (0.80)	160.96 (6.50)	52.59 (7.84)	9.28 (0.42)
全體	50	21.38 (2.26)	166.18 (8.33)	58.12 (12.37)	9.72(0.69)

受測地點為實驗室(圖 3.18 與圖 3.19)，為避免造成實驗誤差，實驗範圍盡可能貼近於一般家庭環境。再設計效用評價實驗的六種樣本(圖 3.20)，其中包含目前市售的立扇兩台，以及本研究所設計製造的原型機三台共分四種。而踩踏式與腳踢式原型機為同種，差別在於擺放的方向位置不同，踩踏式按鍵朝上、腳踢式按鍵朝向受測者與地面垂直。

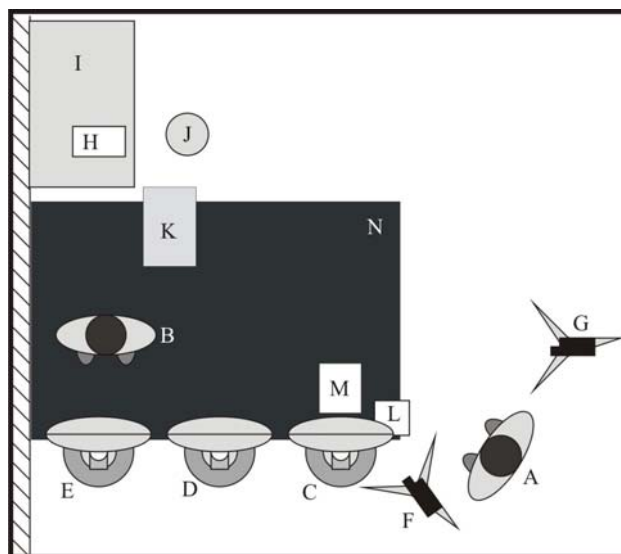


圖 3.18 再設計效用評價實驗室模擬環境(上視圖)

資料說明： A.研究員、B.受測者、C.原型電扇、D.市售電扇(D)、E.市售電扇(E)、F.攝影機一、G.攝影機二、H.問卷、I.桌子、J.椅子、K.腳寬量測區、L.受測編號、M.原型操作介面、N.操作區域。



圖 3.19 再設計效用評價實驗場景



圖 3.20 再設計效用評價實驗樣本(上視圖)

3.3.2 再設計效用評價實驗與問卷設計

再設計效用評價實驗進行方式大致上如同前測實驗步驟。不同之處在於再設計效用評價實驗樣本為六件，並且全數以腳部操作，操作時需聽從研究員的指示按步驟操作實驗樣本，過程中除攝影紀錄外，還需記錄操作時間與失誤次數。實驗中架設兩台攝影機，分別記錄下肢與腳掌部分在電風扇介面中的操作情形。實驗流程順序為：1. 說明研究主題與實驗流程、2. 填寫基本資料及測量腳掌寬度、3. 樣本試用(讓受測者熟悉樣本操作方式)、4. 隨機挑選樣本且依照“執行順序”操作樣本(執行順序：站立於樣本電風扇前準備→開啟電扇強風(紅色)→轉弱風(綠色)→關閉電扇(灰色)→轉中風(黃色)→轉弱風(綠色)→關閉電扇(灰色)→轉中風(黃色)→關閉電扇(灰色)，操作過程同時記錄動態影像和操作時間及失誤次數、每操作一個樣本後填寫該樣本部分的操作評價問卷)(填寫問卷時可提供身體休息時間)、5. 重複步驟 3~5 直到做完全數樣本、6. 最後填寫主觀滿意度排序、7. 結束實驗。

效用評價實驗問卷設計包含：研究說明、基本資料、腳部尺寸測量、主要操作評價(使用腳操作六件樣本)，主觀滿意度排序。操作評價使用李克特量表法，以五項刻度作為評價標準，如：非常同意、同意、普通(無意見)、不同意、非常不同意。問卷之初有實驗流程與實驗主題說明；基本資料包含：性別、年齡、身高、體重、目前身體健康狀況、操作經驗、腳掌寬度；操作評價包含：認為此操作相當簡單、認為此操作相當省力、認為此按鍵大小適中、認為此按鍵高度適中、認為整體操作順暢、認為操作時容易瞄準按鍵、人為操作時容易發生錯誤；主觀操作滿意度排序，將操作過的樣本從最滿意到最不满意依數字排列。

第四章 研究結果與討論

4.1 前測實驗結果

4.1.1 前測實驗統計分析

前測實驗問卷的基本資料部分，在受測者尚未執行實驗操作時，詢問受測者對於典型立扇的操作經驗。如表 4.1 所示，前測實驗受測人數總計 30 人，有類似前測實驗典型立扇操作經驗的受測者為 28 人；會使用腳部操作的受測者有 24 人；認同以腳部操作的受測者有 27 人；認同設計以腳部操作之電扇的受測者為 29 人。由此可知，多數的受測者都有立扇的操作經驗，同時也會使用腳部來操作電風扇。認同腳部操作電扇的受測者人數多於使用腳部操作電扇的人數，由此可證明用腳操作電扇的合理性。在此情況下，更是有高達 29 位受測者認同設計以腳部操作的電風扇。

表 4.1 前測實驗操作經驗敘述統計

	有類似電風扇 的操作經驗	會使用腳部操 作電風扇	認同以腳部來 操作電風扇	認同設計以腳 部操作的電扇
人數	28	24	27	29

資料說明：總受測人數總計 30 人。

前測實驗問卷在信度分析中(表 4.2)，手部操作、腳部操作及全體問卷題組 Cronbach's Alpha 值 0.752、0.703、0.77 皆高於 0.7，表示此問卷具可信度。前測實驗受測者分別使用手部與腳部操作典型立扇，並將身體各部位的費力程度反映於前測實驗問卷上，操作評價部分使用 SPSS 統計分析中的成對樣本 t 檢定(Paired-Samples t Test)比較各操作評價部份的差異性。如圖 4.1，成對樣本 t 檢定比較手部操作與腳部操作評價，在於

操作典型立扇時，身體的手掌、手臂、背部及腰部區域擁有顯著差異。用腳部操作典型立扇時，腰部以上的身體區域，是明顯輕鬆的。而手部操作典型立扇時，腰部以上則是無意見或普通的評價。至於腿部以下區域並無明顯差異在於手與腳部操作情況。但敘述性統計在下肢平均數的情況，腳部操作的平均數還是略優於手部操作。

表 4.2 前測實驗信度分析

樣本題組	Cronbach's Alpha 值
手部操作	0.752
腳部操作	0.703
全體	0.770

資料說明：Cronbach's Alpha 值高於 0.7 表示具可信度。

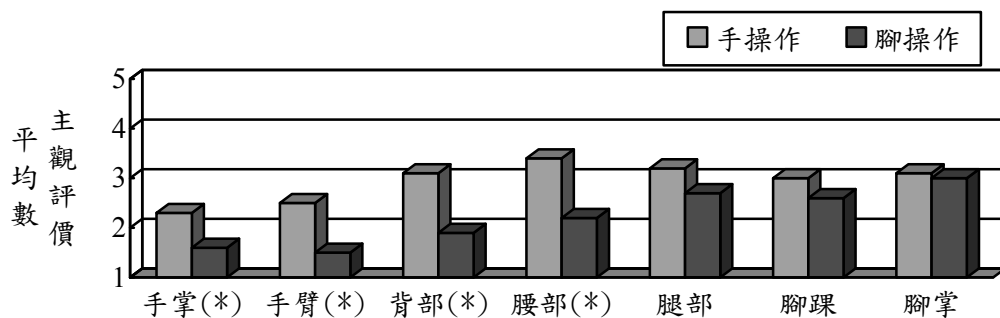


圖4.1 手部與腳部操作時，身體各部位費力程度(Paired-Samples t Test)

資料說明：1為非常輕鬆、2為輕鬆、3為無意見、4為費力、5為非常費力。(*)表示在兩種操作方式中具顯著差異。

比較手部與腳部操作評價時，在操作的兩個情況都有顯著的差異(如圖 4.2)。表示用手操作典型立扇能夠容易的瞄準按鍵及不容易按錯。而用腳操作則較不易瞄準按鍵以及容易按錯。

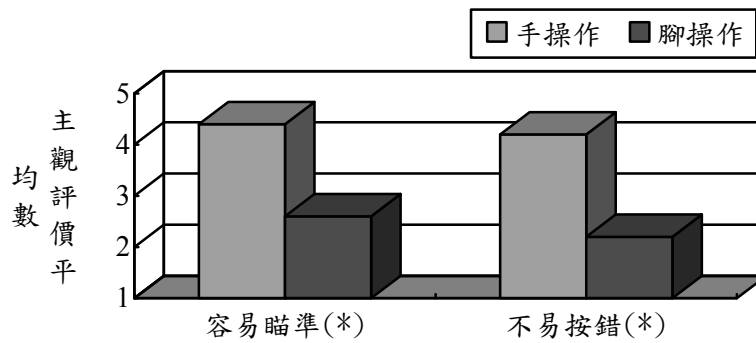


圖 4.2 手部與腳部操作準確性主觀評價(Paired-Samples t Test)

資料說明：1為非常不同意、2為不同意、3為無意見、4為同意、5為非常不同意。(*)表示在兩種操作方式中具顯著差異。

如圖 4.3 所示，於前測實驗問卷中按鍵設計部分，手部操作與腳部操作在於按鍵大小、間距大小、高度位置與複雜程度，都有顯著的差異。依手部操作看來，受測者反映按鍵大小剛好或稍微偏小、間距些微偏小、按鍵高度位置有點低、複雜程度為簡單；依腳部操作來說，按鍵有點小、間距有點小偏太小、高度位置剛好、複雜程度剛好。因此，可以推斷前測實驗所使用的典型立扇，對於腳部操作具有需要改善的空間。

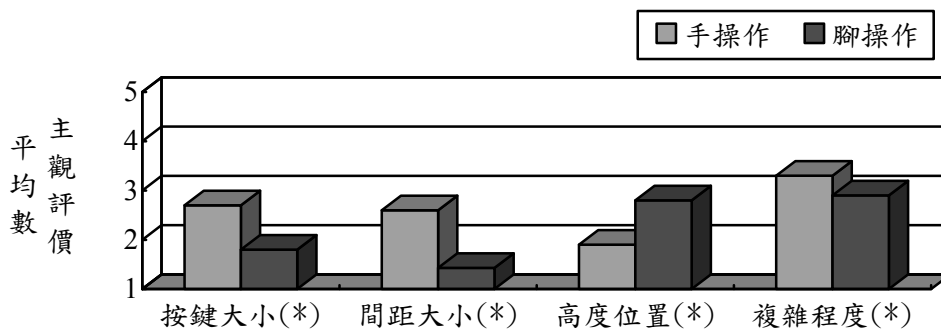


圖 4.3 手部與腳部操作時，按鍵設計主觀評價(Paired-Samples t Test)

資料說明：1為太小(太低、太複雜)、2為有點小(有點低、有點複雜)、3為剛好、4為有點大(有點高、有點簡單)、5為太大(太高、太簡單)。(*)表示在兩種操作方式中具顯著差異。

對於受測者在實驗期間，穿著襪子的因素本研究使用 SPSS 統計的獨立樣本 t 檢定(Independent-Samples t Test)分析。探討有穿襪子與沒有穿襪子的受測者再於手部操作與腳部操作時的各項評價差異。有穿襪子人數為 22 人、沒有穿襪子為 8 人。手部操作時，有穿襪子與無穿襪在各項評價並無顯著差異。如圖 4.4 所示，在於腳部操作時，有穿襪子與無穿襪在再手臂、腳踝及容易瞄準評價有顯著差異，從平均數看來，穿襪子在腳部操作的情況下是比較費力的，原因可能是襪子減少了腳底與地面的摩擦力，因此需要使用手部來支撐其它物體；而腳踝的費力程度，兩者平均數只相差 0.28，都落於輕鬆的程度，並無較大的差距；兩者的瞄準評價平均數一樣也是差距較小，只有 0.07，落於無意見或普通的程度。故在於有無穿襪子的情況下，有顯著差異存在但平均數差異不大，其差異不足以影響整體的評價與實驗結果。

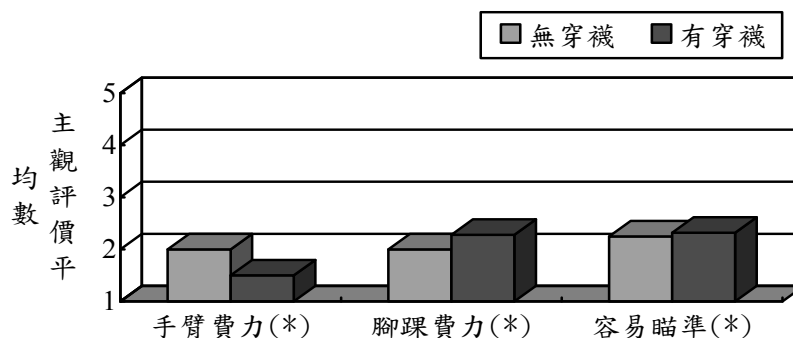


圖 4.4 腳操作時，有無穿襪間的顯著差異項目

資料說明：1 為非常同意、2 為同意、3 為無意見(普通)、4 為不同意、5 為非常不同意。(*)表示在兩種操作方式中具顯著差異。

如表 4.3 所示，使用 SPSS 統計獨立樣本 t 檢定(Independent-Samples t test)分析，得知男性與女性在於腳長與腳寬是有顯著差異的，而腳踝向上

腳度與向下腳度則無差異。男性腳長平均值 25.91 公分(SD=0.92, Min=24, Max=27)；女性腳長平均值 23.04 公分(SD=1.18, Min=21, Max=25)。男性腳寬平均值 10.75 公分(SD=0.68, Min=10, Max=12.5)；女性腳寬平均值 9.43 公分(SD=0.65, Min=8.5, Max=10.5)。對照先前的基本資料得知男性的身高平均是高於女性的，男性的腳長與腳寬平均值也都高於女性，同時男性受測者的腳長和腳寬最大值也高於女性的最大值，女性的最小值也都小於男性的最小值。如此的結果吻合於文獻所呈現，較高的身高腳掌也會較長。而腳寬的部分男性平均值為 10.75 公分、女性為 9.43 公分相較於先前的文獻，與台灣成人的腳寬約為 10 公分也是相呼應的。

在腳掌自由向上(背曲)與向下(蹠曲)的量測角度方面，男女性別間並無顯著的差異。男性腳掌向上角度平均值 15.13 度(SD=6.53, Min=5, Max=29)；女性向腳掌上角度平均值 15.57 度(SD=8.88, Min=5, Max=35)。男性腳掌向下角度平均值 39.63 度(SD=9.40, Min=20, Max=52)；女性腳掌向下角度平均值 37.36 度(SD=9.42, Min=23, Max=57)。男女性別間部無顯著差異，表示腳掌的向上與向下角度再於性別與身高之間是沒有關聯的。

表 4.3 前測實驗腳掌計測數據與顯著差異

		平均值 (標準差)	最小值	最大值	顯著性 (雙尾)
腳長	男性	25.91 (0.912)	24.0	27.0	0.000 (*)
	女性	23.04 (1.18)	21.0	25.0	
腳寬	男性	10.75 (0.68)	10.0	12.5	0.000 (*)
	女性	9.43 (0.65)	8.5	10.5	
腳掌向上 (背曲)角度	男性	15.13 (6.53)	5.0	29.0	0.875
	女性	15.57 (8.88)	5.0	35.0	
腳掌向下 (蹠曲)角度	男性	39.63 (9.40)	20.0	52.0	0.516
	女性	37.36 (9.42)	23.0	57.0	

資料說明：括弧內數字為標準差；(*)表示顯著性(雙尾)小於 0.05 具顯著差異。

4.1.2 前測實驗訪談結果

前測實驗的訪談主要目的在於確認操作上的主觀評價、操作時的困難之處、對於典型立扇的再設計建議以及對於創新設計的想法與概念。主觀的評價與操作問題可提供研究在於問題上的發現。由於受訪者皆是在操作實驗之後受訪，表示受訪者都已有使用典型立扇的經驗，對於典型立扇的建議提供了再設計的空間，也給予往後創新設計的參考之用。訪談問題如下：

1. 您認為用手操作與用腳操作典型立扇何者較方便？
2. 您在實驗過程中，手部操作有何困擾之處？
3. 您在實驗過程中，腳部操作有何困擾之處？
4. 您對於用腳操作之典型立扇有何建議？
5. 您對於用腳操作之電風扇的操作方式有何不同或更新穎的設計建議？

訪談時採用問題式的問答方式，在訪談過程中不會引導受訪者回答本研究所預設或預期答案。訪談內容經研究整理於表 4.4，訪談人數 30 人中，有 7 人認為用手操作典型立扇比較方便、有 21 人認為用腳操作比較方便、有 2 人表示兩者都很方便。

使用手部操作的困擾，受測者認為按鍵太低需要蹲下或彎腰才能操作典型立扇，過程中可能會產生腰痠、膝蓋費力、眼睛不適、頭部撞傷或頭髮捲入等風險。用腳操作時的困擾為以下：按鍵太小、間距太近且視距太遠導致不易操作。用腳操作會導致單腳站立的情況導致重心不穩及腰部與背部不適。使用腳趾操作不易施力且重複操作時太複雜且費力。

對於前測實驗所使用的典型立扇的再設計，受測者認為：按鍵要大、按鍵間距要寬、標示要清楚、按鍵要好按且方便操作、操作方式要簡單、需要有顯示回饋...等等。

受訪者對於用腳操作的立扇設計，其建議有：按鍵設計於底盤位置、使用腳掌直接踩踏操作、觸碰式的操作方式、轉盤式的操作方式、滑桿式的操作設計、滾輪或軌跡球式的設計、用腳踢的方式操作、單一按鍵式的設計等。

表 4.4-1 前測實驗訪談內容整理

問題一：您認為用手操作與用腳操作典型立扇何者較方便？
簡單統計：反應用手操作較方便 7 人；用腳較方便 21 人；都很方便 2 人。
問題二：您在實驗過程中，手部操作有何困擾之處？
<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作時需要蹲下。 2. 用手操作時，按鍵太低。 3. 按鍵與間距太小。 4. 需要彎腰，不舒適。 5. 需要蹲下，容易撞到電扇。 6. 衛生問題。 7. 要會痠、膝蓋費力。 8. 用手操作需要蹲下，面對風眼睛會有不適。 9. 操作時，距離電扇太近，頭髮可能會被捲進去。
問題三：您在實驗過程中，腳部操作有何困擾之處？
<ol style="list-style-type: none"> 1. 用腳操作，腰部與背部有不適的感覺。 2. 按鍵太小不容易瞄準。 3. 按鍵間隔太近，不容易操作。 4. 用腳操作，視線距離比較遠，不容易看清楚標示。 5. 按鍵高度太高，需要較大的操作力量。 6. 用腳操作的操作力量太弱。 7. 用腳操作需要用手攙扶支撐物。 8. 用腳操作需要較好的平衡感。 9. 沒辦法用腳將所有功能做出最好的操作品質。 10. 單腳站著操作比較辛苦。 11. 用腳操作會重心不穩。 12. 標示太小不清楚。 13. 用腳操作時，太複雜也太費力。
問題四：您對於用腳操作之典型立扇有何建議？
<ol style="list-style-type: none"> 1. 按鍵間隔要寬一些。 2. 按鍵標示要清楚。 3. 方便按到就好。 4. 按鍵要大。 5. 按鍵與腳一樣大。 6. 按鍵不要太凸出。 7. 介面要好按。 8. 強弱標示要清楚。

表 4.4-2 前測實驗訪談內容整理

<ol style="list-style-type: none"> 9. 按鍵不要併列成一排。 10. 操作方式需要簡單些。 11. 用比較平面的按鍵。 12. 可以隨心隨意的操作。 13. 使用燈來分變目前的電扇狀態。 14. 要有顯示面板(在電扇頂端)。 15. 按鍵不要排一排，可排成環狀。 16. 高度要低，不需要抬腳。 17. 按鍵加大到整個底盤。 18. 按鍵色彩需要區分。 19. 可用不同色彩區分功能。 20. 按鍵操作時有聲音，太俗氣。
<p>問題五：您對用腳操作之電風扇的操作方式有何不同或新穎的設計建議？</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 按鈕要設計於底盤位置。 2. 腳掌可以直接放置在底盤上，避免只用腳尖操作。 3. 觸碰式的操作。 4. 類似鋼琴鍵盤，放射狀的按鍵設計。 5. 轉盤式的開關設計。 6. 按鍵設計平一點(平面式)。 7. 風速可用模擬刻度以觸碰式操作。 8. 按鍵設計可以單一化，不要太多太複雜。 9. 用滑桿的操作方式。 10. 滾輪式的操作設計，不需要太精準的動作就能操作。 11. 輕輕踩就能感應的設計。 12. 前後滾輪式設計，長一點。 13. 類似軌跡球的操作方式。 14. 按鍵設計在底盤邊緣，用踢的方式操作。 15. 將電扇的所有功能都設計在下面(底盤)，用腳踩按鍵。 16. 同一個按鍵控制不同的風量。 17. 用轉輪滑動的方式操作(如 IPOD)。 18. 按鍵介面設計於底盤邊緣，可直接用腳掌操作。 19. 可用迴圈的操作概念，一個按鍵控制所有風量與關閉(如壁扇)。

資料說明：訪談時避免引導預設答案。此表將訪談內容，依各項訪談題目整理，排除相同意見與建議。

4.1.3 前測實驗影像觀察分析

從前測實驗的影像紀錄中，發現使用手部操作與腳部操作在姿勢上有明顯的不同，其中各別也有不同的問題存在。依立姿的分類，以頭之高度不同而分為「挺胸站立」、「普通站立」、「稍向前之彎腰」、「深度向前之彎腰」、「半蹲式」、「深蹲式」六種姿勢(六合出版社，1999)。用手操作時，受測者位於典型立扇前方，採取「深度向前之彎腰」(圖 4.5)、「深蹲式」姿勢(圖 4.6)或平坐姿中的「蹲下」姿勢(圖 4.7)使用手指操作。手指操作則多以食指與中指，而在於左右手則沒有明顯的區別。以蹲姿操作時，則有些受測者會攙扶左側桌面來保持平衡。

用腳操作時(圖 4.8)，受測者同樣位於典型立扇前方，但採取「普通站立」姿勢使用腳指或腳前掌操作。操作時則以單腳站立的姿勢操作。腳趾操作則多以大腳趾居多。左腳與右腳的使用上沒有明顯的區別。少數受測者使用腳部操作時，同樣也會攙扶左側桌面以保持平衡。



圖 4.5 採取「深度向前之彎腰」姿勢使用手部操作



圖 4.6 採取「深蹲式」姿勢使用手部操作



圖 4.7 採取「蹲下」姿勢使用手部操作



圖 4.8 採取「普通站立」姿勢使用腳部操作

4.1.4 前測實驗結果討論

由前測實驗的受測者基本資料、使用經驗、手部與腳部操作評價、受測者腳部計測數值與訪談結果，經過數據的統計分析可得到研究的結果。前測實驗結論如下：

1. 前測實驗受測者中，男性平均身高高於女性，同時男性的腳長與腳寬也都大於女性，其中男性受測者擁有腳長與腳寬的最大值，而女性則擁有最小值。因此，男性無論在身高、腳長與腳寬上，平均值都高於女性。
2. 實驗中，多數的受測者同意用腳操作電風扇，其本身也會使用腳操作典型立扇。接近全體的受測者認同研究設計出以腳操作的電風扇。此結果也提供了本研究在於立扇腳控設計的正當性。
3. 用手操作時，受測者採取蹲下、深蹲姿或深度向前之彎腰並以食指或中指操作。以腳操作時，則採取普通站立姿勢操作，操作時使用腳大趾與前腳掌以單腳站立方式操作。兩種操作方式都有受測者攙扶左側桌面以保持平衡。
4. 比較於用手操作的情況，受測者在用腳操作典型立扇時，手掌、手臂、背部及腰部有明顯較輕鬆的情形，而在腿部、腳踝與腳掌則無明顯差別，但其平均數還是有略高的趨勢。因此，典型立扇的操作位置是明顯的適合用腳操作。比較於用腳操作時，用手操作典型立扇有明顯較高的容易瞄準按鍵與不易按錯的程度。由此可證，典型立扇的設計比較適合用手來操作。
5. 對於典型立扇的按鍵設計，比較受測者用手操作與用腳操作的評價，兩者是有顯著的差異性存在。用手操作時，在於按鍵與間距大小及複雜程度上都有“剛好”的評價。按鍵高度上則是“有點低”的評價。用腳

操作時，再於按鍵與間距大小則是“有點小”的評價。按鍵高度與複雜程度則是“剛好”的評價。因此，我們可以推斷典型立扇在於按鍵大小與按鍵間距上並不適合用腳來操作。而高度位置與複雜程度則是符合用腳操作的情況。如今要設計一個用腳操作的電風扇，以典型立扇來說，操作位置已相當理想，但按鍵還需進行再設計。

6. 在穿襪子的情況下，用腳來操作可能會影響穩定性，由於襪子取代的腳底直接接觸地面，導致有易滑的情況發生。因此有些受測者會使用手支撐其它物體保持平衡。
7. 在訪談內容中，受測者對操作典型立扇之反應，用手與用腳操作時各自都有其困擾之處，典型立扇針對手部設計，用腳操作時必然發生許多困擾，而用手操作又會造成不便與其他的傷害風險產生。
8. 受訪者認為典型立扇的再設計需求為：按鍵要大、按鍵間距要寬、標示要清楚、按鍵要好按且方便操作、操作方式要簡單、需要有顯示回饋等。
9. 受訪者對於新式用腳操作的立扇設計需求有：按鍵設計於底盤位置、使用腳掌直接踩踏操作、觸碰式的操作方式、轉盤式的操作方式、滑桿式的操作設計、滾輪或軌跡球式的設計、用腳踢的方式操作、單一按鍵式的設計。

4.2 再設計效用評價實驗結果

4.2.1 再設計效用評價實驗影像觀察分析

再設計效用評價實驗執行的同時，實驗區域會有兩處架設攝影機，分別記錄受測者下肢以及腳掌在操作實驗樣本的動作。實驗結束後，將各樣本的影像紀錄分類，並觀察受測者在操作各樣本是否有相同的情況

發生，或者有甚麼相異之處。經觀察後發現再設計效用評價實驗的受測者多數使用右腳來操作樣本；操作過程都有呈現單腳站立的情況，動作與平衡都算平穩；受測者多用腳趾與前腳掌操作樣本；在操作樣本 A1(踩踏式)、D(現有腳控立扇)、E(現有手控立扇)時，受測者會將後腳跟碰觸地面或懸空，並用前腳掌或腳趾操作。以下分類為觀察各樣本所發現之個別差異：

1. 觀察受測者操作樣本 A1(踩踏式)的情況(圖 4.9)：

- (3) 需抬腳左右橫移運用前腳掌或腳趾向下輕壓。
- (4) 操作時腳掌懸空導致單腳站立，或者操作腳的腳跟接觸地面。
- (5) 因關閉按鈕(灰色)較小(5cm)，受測者會用右腳前腳掌側邊或第三、四和小趾按壓。
- (6) 操作時腳掌不會在按鍵上停留太長的時間。
- (7) 雖然按鍵大，但腳掌側邊一樣會同時觸碰到兩個按鍵，但操作情況正確無誤。

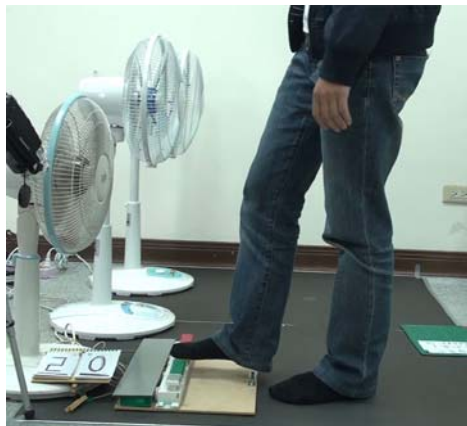


圖 4.9 受測者操作樣本 A1(踩踏式)姿勢

2. 觀察受測者操作樣本 A2(腳踢式)的情況(圖 4.10)：

- (1) 操作時，腿向前移動並用大腳趾與第二趾推頂按鈕，造成抬腿的高度較低。

- (2) 一位受測者使用腳趾背操作，此也為特例情況。
- (3) 少數受測者操作時腳抬得太高，導致頂不到按鍵而失誤。
- (4) 用踢的力到過強，會導致電扇搖晃，但不影響操作。
- (5) 有受測者會確認對準按鍵後才推頂按鍵，這樣會導致不易施力。



圖 4.10 受測者操作樣本 A2(腳踢式)姿勢

3. 觀察受測者操作樣本 B(滑桿式)的情況(圖 4.11)：

- (1) 受測者使用腳趾與前腳掌置於滑桿上，將滑桿向前推或向後拉。
- (2) 因前後操作，腿部動作屈曲較大、腳掌(踝)的上下動作較小。
- (3) 推桿無分段回饋，偶有未到達或超出範圍的失誤產生。
- (4) 有些受測者操作時腳掌會短暫離開推桿。



圖 4.11 受測者操作樣本 B(滑桿式)姿勢

4. 觀察受測者操作樣本 C(旋鈕式)的情況(圖 4.12)：

- (1) 前腳掌置於於盤上轉動，或用前腳掌內側與腳趾在圓盤邊緣操作，但操作不穩定。
- (2) 可能操作角度太大，腳掌會離開圓盤調整方向後再操作或導致身體的扭轉。
- (3) 如同樣本 B，無段數的回饋設計導致操作失誤。



圖 4.12 受測者操作樣本 C(旋鈕式)姿勢

5. 觀察受測者操作樣本 D(現有腳控立扇)的情況(圖 4.13)：

- (1) 用前腳掌與腳趾或單用腳趾尖操作。
- (2) 操作腳的腳跟會觸地，且用前腳掌向下踩踏按壓操作。
- (3) 由於單按鍵操作模式為迴圈(連續)方式選取，導致踩踏次數較多。
- (4) 關閉樣本需要按壓按鈕 2 秒才會停止，造成時間增加。



圖 4.13 受測者操作樣本 D(現有腳控立扇)姿勢

6. 觀察受測者操作樣本 E(現有手控立扇)的情況(圖 4.14)：

- (1) 腳後跟會著地或懸空，使用大腳趾操作。
- (2) 按鍵與間距太小導致操作時會觸碰到其它按鍵或無法確實操作形成失誤。
- (3) 失誤的出現會導致受測者在單腳站立時的不平衡。



圖 4.14 受測者操作樣本 E(現有手控立扇)姿勢

4.2.2 再設計效用評價實驗統計分析

4.2.2.1 再設計效用評價實驗信度分析與敘述統計

再設計評價實驗人數共 50 人，其中 45 人有使用腳部操作電風扇的經驗，為了實驗的準確性，實驗前受測者會嘗試操作各樣本，並試著習慣操作方式。由於前測實驗在有無穿襪的評價上並無具影響實驗解果的顯著差異存在，所以本次再設計效用評價實驗中並無強制受測者要脫襪或穿襪，任憑受測者的習慣與喜好受測。但為確認實驗結果在於穿襪與無穿襪的因素上是否有受到影響，在多變量與 pearson 相關分析前先實行有無穿襪的獨立樣本 T 檢定，來檢定此因素是否有顯著的影響力。如表 4.5 所示，各樣本題組與全體樣本題組信度分析中的 Cronbach's Alpha 值皆高於 0.7。表示此份問卷的各項題組皆具有可性度，故可以繼續往後的統計分析。

表 4.5 再設計效用評價實驗信度分析







樣本題組	Cronbach's Alpha 值
A1	0.809
A2	0.872
B	0.846
C	0.876
D	0.829
E	0.774
全體	0.871

資料說明：Cronbach's Alpha 值高於 0.7 表示具可信度。

表 4.6 為再設計效用評價實驗各項評價結果、整體評價、操作時間與失誤次數的敘述統計，從中可以看出各項評價的平均數與標準差，以及各評價結果的最好與最差樣本。由於本研究在問卷設計使用李克特量表法，分為五項刻度：1 非常不同意、2 不同意、3 普同(無意見)、4 同意、5 非常同意，故在敘述統計中可看出各項評價平均數所落的評價位置。整體評價為操作簡單、操作省力、按鍵大小、按鍵高度、操作順暢、容易

瞄準與不易失誤各項評價結果的總和平均值。

表4.6 再設計效用評價實驗敘述統計

樣本	 A1 (腳踏式)	 A2 (腳踢式)	 B (滑桿式)	 C (旋鈕式)	 D (現有腳控)	 E (現有手控)
操作時間	10.27 * (1.68)	11.36 (2.13)	11.32 (2.15)	11.48 (2.23)	17.62 ^ (3.12)	14.10 (5.54)
失誤次數	0.12 * (0.39)	0.18 (0.44)	0.38 (0.49)	0.46 (0.76)	0.54 (0.73)	0.90 ^ (10.4)
操作簡單	4.44 * (0.61)	4.10 (0.79)	4.14 (0.83)	3.78 (0.98)	4.00 (1.01)	3.32 ^ (0.96)
操作省力	4.32 * (0.82)	3.74 (0.99)	3.96 (0.73)	3.60 (1.01)	3.82 (0.94)	3.18 ^ (0.94)
按鍵大小	4.08 * (0.97)	3.94 (0.74)	3.94 (0.82)	3.78 (0.84)	4.04 (0.90)	1.86 ^ (0.81)
按鍵高度	4.03 * (0.82)	3.64 (0.92)	3.92 (0.80)	3.92 (0.83)	3.96 (0.76)	3.26 ^ (0.88)
操作順暢	4.20 * (0.73)	3.48 (1.02)	3.40 (0.88)	3.16 (1.04)	3.36 (0.96)	2.58 ^ (0.97)
容易瞄準	4.16 * (0.98)	3.66 (1.06)	3.28 (0.90)	3.20 (1.09)	3.74 (1.10)	2.22 ^ (0.95)
不易錯誤	4.08 * (0.75)	3.46 (1.03)	3.08 (0.85)	2.84 (0.98)	2.96 (0.95)	2.26 ^ (0.83)
整體評價	4.19 * (0.56)	3.72 (0.73)	3.68 (0.60)	3.47 (0.73)	3.70 (0.67)	2.67 ^ (0.59)

資料說明：表格中數值為平均值、括弧中為標準差。「*」表示在比六樣本各項評價平均值後表現為最好的樣本，反之「^」表示為最差之樣本。

4.2.2.2 有無穿襪受測者間的獨立樣本 T 檢定

如表4.7，在獨立樣本T檢定(independent-sample st test)中，在D時間(雙尾0.018)、A1高度(雙尾0.027)、A2高度(雙尾0.048)、C省力(雙尾0.045)與D錯誤(雙尾0.028)顯著性(雙尾)都小於0.05，故代表在有穿襪與無穿襪之中具有顯著的差異存在。在平均數及標準差中發現操作D樣本時，無穿襪受測者平均時間為19.26秒，有穿襪平均時間為16.98秒，有穿襪的受測者操作速度反而快於無穿襪受測者；操作D樣本時的「不易發生錯誤」評價無穿襪為3.43分，與有穿襪的2.78分相當接近，而無穿襪的標準差也高於有穿襪的標準差；操作C樣本的省力程度無穿襪為3.14分、有穿襪3.78分，差距較小且都處中偏高的評價；而在A1和A2的按鍵高度評價中，也都具滿意趨向的評價。之外，A1、A2、B、C、D、E樣本的整體評價(各樣本七項評價的平均值)中，都不具有顯著的差異存在。故可以推斷在效用評價實驗中，有穿襪於無穿襪的受測者在各項評價差異上如同前測實驗，並無具影響實驗結果之顯著差異存在。

表 4.7 有無穿襪子在獨立樣本 T 檢定中的平均數、標準差與顯著性(雙尾)

統計代號	評價項目	襪子	平均數	標準差	顯著性(雙尾)
D 時間	D 樣本的操作時間	無	19.26	3.82	0.018 (*)
		有	16.98	2.59	
A1 高度	對 A1 樣本的高度適中程度	無	4.43	0.65	0.027 (*)
		有	3.86	0.83	
A2 高度	對 A2 樣本的高度適中程度	無	4.00	0.68	0.048 (*)
		有	3.50	0.97	
C 省力	對 C 樣本的省力程度	無	3.14	1.03	0.045 (*)
		有	3.78	0.96	
D 錯誤	操作 D 樣本時不易發生錯誤程度	無	3.43	1.09	0.028 (*)
		有	2.78	0.83	

資料說明：(*)表示顯著性(雙尾)小於 0.05，具有顯著差異。

4.2.2.3 整體操作評價、操作時間與失誤次數的多變量分析

本研究使用多變量變異數分析(Multivariate Analysis of Variance, MANOVA)來比較操作時間、失誤次數與整體評價在六樣本間的差異關係。在變量矩陣等式的 Box 檢定(表 4.8)得知，其顯著性為 0.000 小於 0.0167，故後測試(Post Hoc)使用未假設相同的變異數 Dunnett C 測試法。

表4.8 共變量矩陣等式的Box檢定

Box's M	172.031
F 檢定	5.586
分子自由度	30
分母自由度	195339.425
顯著性	.000

由表4.9多變量檢定得知，Wilks' Lambda值為.373，F檢定=23.05，顯著性為0.000小於0.01，因此代表有顯著性存在。淨相關Eta平方值為.280大於0.14，因此可知其相關程度為極強。

表4.9 多變量檢定

效應項	數值	F檢定	假設 自由度	誤差自 由度	顯著 性	淨相關 Eta 平 方
樣本 Pillai's Trace	.779	20.629	15	882	.000	.260
Wilks' Lambda 變數	.373	23.053	15	806.485	.000	.280
選擇法						
多變量顯著性檢定	1.273	24.664	15	872	.000	.298
Roy 的最大平方根	.730	42.909	5	294	.000	.422

如表4.10，受試者間效應項的檢定中，樣本於三依變數的顯著性皆小於0.0167，故表示皆具有顯著性。

表4.10 受試者間效應項的檢定

來源	依變數	型III		平均		顯著性	淨相關 Eta平方
		平方和	自由度	平方和	F檢定		
樣本	整體評價	62.488	5	12.498	29.577	.000	.335
	時間	1860.753	5	372.151	38.933	.000	.398
	失誤次數	19.750	5	3.950	8.553	.000	.127

各樣本評價後測試(Post Hoc)選擇看 Dunnett C。由多重比較可看出各樣本在不同的三項評價中的顯著差異及樣本平均數高低。經本研究整理如圖 4.15 至圖 4.17 所示，效用評價實驗樣本間的連線表示兩樣本具有顯著差異，而實線一端的樣本表示其平均數較高，反之虛線一端表示平均數較低。在多重比較的整體評價(圖 4.15)中，可看出樣本 A1 於 A2、B、C、D、E 都有連線表示具顯著差異，而實線一端皆為樣本 A1，表示評價在整體評價中最優；樣本 E 則具有五條虛線，表示樣本 E 的整體評價為各樣本中最差；而樣本 A2、B、C、D 間無顯著差異存在。

在操作時間(圖 4.16)中，樣本 D 具有五條實線，表示其操作時間明顯高於其它樣本。另外樣本 A1 的操作時間低 E，表示樣本 A1 的操時間明顯比樣本 D、E 來的快。整體而言樣本 A1 最快，其次為樣本 A2、B 與 C(此三樣本間無顯著差異存在)，再來是樣本 E，而樣本 D 操作時間明顯最久。

於操作失誤次數(圖 4.17)中，樣本 A1 的失誤次低於樣本 D、E；樣本 A2 則低於樣本 E。表示樣本 A1 的操作失誤次數明顯最少，而樣本 E 的操作失誤次數最多。以此結果排名，樣本 A1 為最好、樣本 A2 其次、樣本 B 與 C 排第三、樣本 D 排第四，而樣本 E 最差。

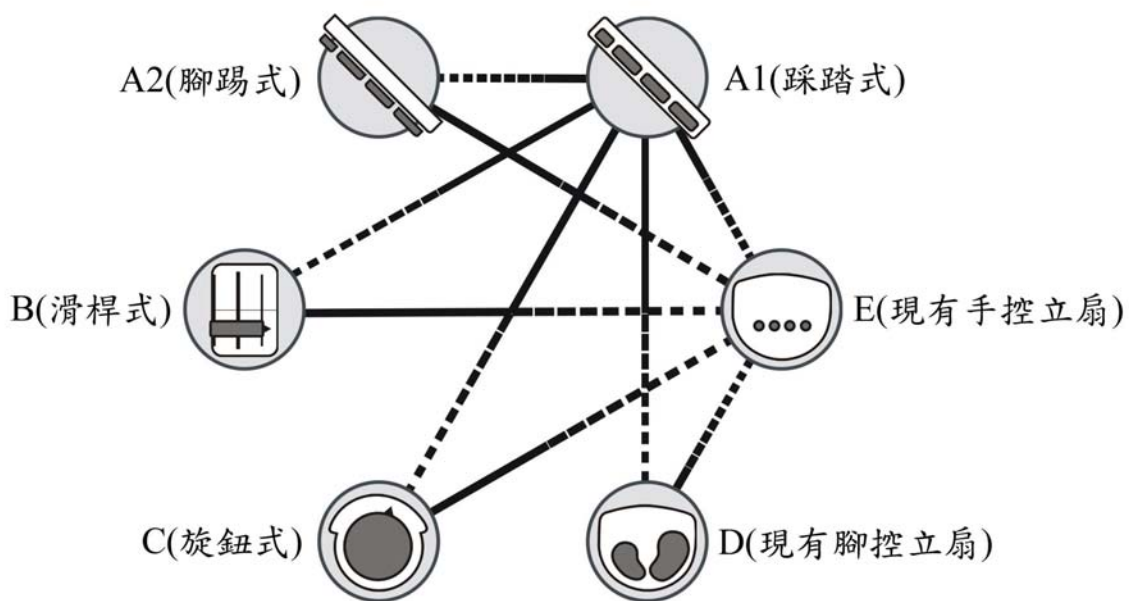


圖 4.15 多重比較之主觀評價顯著差異

資料說明：以觀察的平均數為基礎，樣本間連線表示在水準 0.0167 上的平均數差異顯著。而虛線一端表示平均數較低、實線一端表示平均數較高。

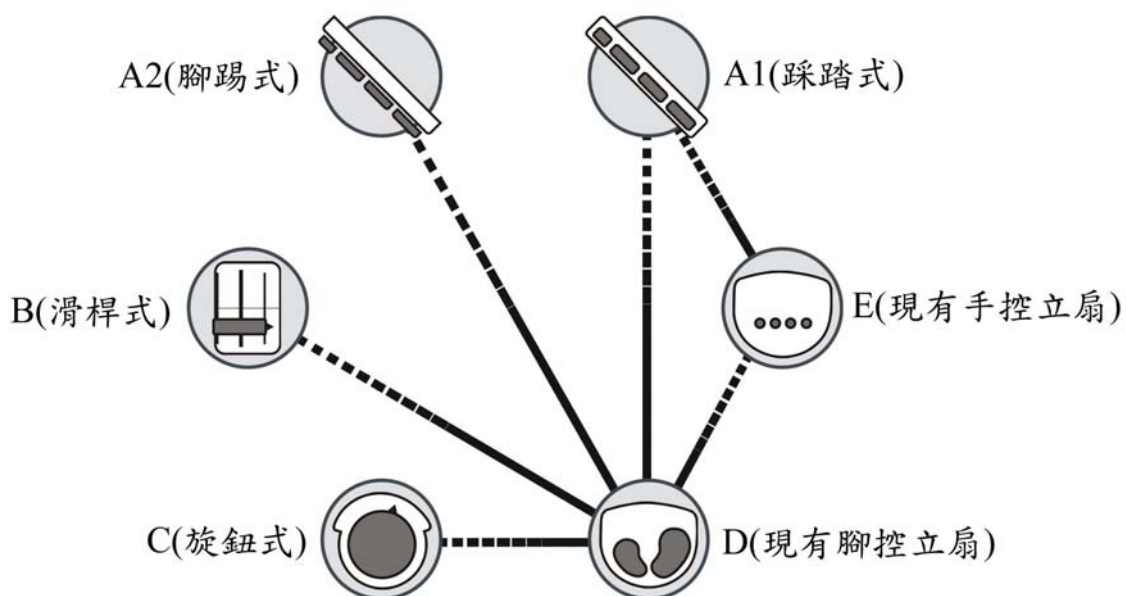


圖 4.16 多重比較之操作時間顯著差異

資料說明：以觀察的平均數為基礎，樣本間連線表示在水準 0.0167 上的平均數差異顯著。而虛線一端表示平均數較低、實線一端表示平均數較高。

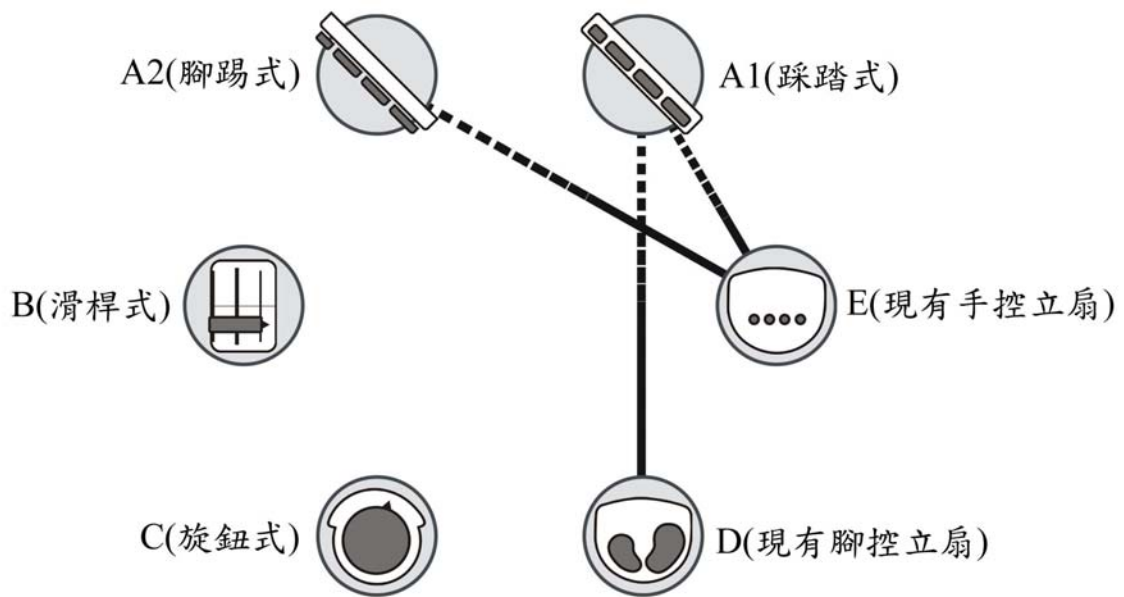


圖 4.17 多重比較之失誤次數顯著差異

資料說明：以觀察的平均數為基礎，樣本間連線表示在水準 0.0167 上的平均數差異顯著。而虛線一端表示平均數較低、實線一端表示平均數較高。

4.2.2.4 操作評價對操作時間與失誤次數的 Pearson 相關

本研究使用 Pearson 相關判定各項操作評價對操作時間與失誤次數間的關係，以及各項主觀評價間的相關關係。綜觀 A1(踩踏式)、A2(腳踢式)、B(滑桿式)、C(旋鈕式)、D(現有腳控立扇)、E(現有手控立扇)在其各項主觀評價間，發現多數都具有一定程度的正相關程度，甚至樣本 A2、B、C 的各項評價間全數皆具顯著正相關，表示單一主觀操作評價越高相對於其它的主觀操作評價也會越高。

表 4.11 與表 4.13 顯示，樣本 A1 與樣本 B 的各項主觀操作評價對於操作時間和失誤次數間，不存在有任何的顯著相關。在一般思維下，各操作評價對於操作時間與失誤次數應該都會產生負相關的情況，而操作時間與失誤次數應產生正相關，但在樣本 A1 與 B 的相關評價裡卻不存在。這

樣的結果不表示本研究因此缺乏可性度或評價不準確，因為在相關的評價中，正相關、負相關與毫無顯著相關的情況都有可能發生。因此，因該跳脫一般思維來看待此結果，並解釋此結果代表著各項評價與操作時間與失誤次數間不具有明顯的正、負相關關係。

具有顯著相關的配對為：樣本A2失誤次數與容易瞄準的負相關(表4.12)、樣本C操作時間與失誤次數的正相關、樣本C失誤次數與容易瞄準的負相關(表4.14)、樣本D失誤次數與操作時間的正相關、樣本D操作時間與簡單操作的負相關、樣本D操作時間與操作省力的負相關、樣本D失誤次數與簡單操作的負相關、樣本D失誤次數與整體評價的負相關(表4.15)、樣本E失誤次數與操作時間的正相關、樣本E操作時間與簡單操作的負相關、樣本E操作時間與整體評價的負相關(表4.16)，共11組。

這些具顯著相關之評價明確的表示出各樣本操作評價對於操作時間與失誤次數的正、負相關性。其中，當受測者操作樣本A2失誤次數越少評價容易瞄準就越高；操作樣本C時，受測者操作時間越短與失誤次數越少，表示越容易瞄準評價越高；操作樣本D時，操作時間越短、失誤次數越少連帶評價操作越簡單越省力，因此也讓整體評價越高；操作樣本E時，操作時間與失誤次數就越高，評價簡單操作與整體操作越低，且操作時間與失誤次數成正相關。

表4.11 樣本A1各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著

樣本A1 (踩踏式)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎									
失誤次數		◎								
簡單操作			◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎	+ ●	+ ●	+ ●		+ ●	+ ●
大小適中					◎	+ ●	+ ●	+ ●		+ ●
高度適中						◎	+ ●		+ ●	+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎		+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

表4.12 樣本A2各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著

樣本A2 (腳踢式)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎									
失誤次數		◎						- ●		
簡單操作			◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
大小適中					◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
高度適中						◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎	+ ●	+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

表4.13 樣本B各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著

樣本B (滑桿式)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎									
失誤次數		◎								
簡單操作			◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
大小適中					◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
高度適中						◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎	+ ●	+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

表4.14 樣本C各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著

樣本C (旋鈕式)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎	+ ●						- ●		
失誤次數		◎						- ●		
簡單操作			◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
大小適中					◎	+ ●	+ ●		+ ●	+ ●
高度適中						◎	+ ●		+ ●	+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎	+ ●	+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

表4.15 樣本D各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著

樣本D (現有腳控 立扇)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎	+ ●	- ●	- ●						
失誤次數		◎	- ●							- ●
簡單操作			◎	+ ●			+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎		+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
大小適中					◎	+ ●		+ ●		+ ●
高度適中						◎	+ ●	+ ●		+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎	+ ●	+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

表4.16 樣本E各項評價、操作時間與失誤次數間的Pearson相關顯著






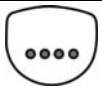
樣本E (現有手控 立扇)	操作 時間	失誤 次數	簡單 操作	操作 省力	大小 適中	高度 適中	操作 順暢	容易 瞄準	不易 失誤	整體 評價
操作時間	◎	+ ●	- ●							- ●
失誤次數		◎								
簡單操作			◎	+ ●	+ ●		+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
操作省力				◎			+ ●			+ ●
大小適中					◎	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●	+ ●
高度適中						◎				+ ●
操作順暢							◎	+ ●	+ ●	+ ●
容易瞄準								◎	+ ●	+ ●
不易失誤									◎	+ ●
整體評價										◎

資料說明：(+ ●)表示具有顯著的正相關；(- ●)表示具有顯著的負相關。

4.2.3 主觀滿意度與平均數排序

如表4.17所示，可以發現各項排序最好皆是樣本A1(踩踏式)，表示在操作評價、操作時間、失誤次數與主觀滿意度排序都是一致的表現；然而在樣本E(現有手控立扇)的部分除了操作時間外都是最差的排序。樣本D(現有腳控立扇)在操作時間的排序最差、失誤次數第五，可能是其迴圈(連續)操作與長壓按鍵兩秒關閉的方式導致。樣本C(旋鈕式)再各排序總平均排名為第五，主要受影響於在設計上的瑕疵，儘管在原型設計後期已有改良，但還是無法完全解決操作角度過大的問題。樣本B(滑桿式)與A2(腳踢式)的排名相近，在各項排名中也各有好壞，但各排序總平均中樣本A2(腳踢式)還是優於樣本B(滑桿式)。

表4.17 整體操作評價、操作時間、錯誤次數與主觀滿意度平均數排序

	 A1 (踩踏式)	 A2 (腳踢式)	 B (滑桿式)	 C (旋鈕式)	 D (現有腳控)	 E (現有手控)
整體操作 評價排序	1 (4.1)	2 (3.72)	4 (3.68)	5 (3.47)	3 (3.70)	6 (2.67)
操作時間 排序	1 (10.27)	3 (11.36)	2 (11.32)	4 (11.48)	6 (17.62)	5 (14.10)
失誤次數 排序	1 (0.12)	2 (0.18)	3 (0.38)	4 (0.46)	5 (0.54)	6 (0.90)
主觀滿意 度排序	1 (2.08)	4 (3.48)	3 (3.3)	5 (4.02)	2 (2.88)	6 (5.24)
各排序總 平均排名	1 (1)	2 (2.75)	3 (3)	5 (4.5)	4 (4)	6 (5.75)

資料說明：數字為排序、括弧中為各項評價與紀錄之平均數；各排序總平均排名是各

樣本的排序加總平均並排名；整體操作評價中的平均數分數越高表示越好。

4.2.4 再設計效用評價實驗結果討論

透過再設計效用評價實驗影像觀察、各項統計分析以及主觀評價、操作時間、失誤次數與滿意度的排序，將結果統整後得到效用評價實驗結論。結論如下：

1. 如同前測驗結果，效用評價實驗 50 人當中高達 45 人曾使用腳部操作電扇。而有無穿襪的因素在評價上並無具影響實驗結果的差異存在。
2. 先前按鍵尺寸在原型設計原則設定為 10 公分；效用評價實驗受測者的腳長寬度平均數為 9.72 公分；由實驗影像觀察中，發現受測者在原型 A1(踩踏式)、B(滑桿式)、C(旋鈕式)使用前腳掌來操作；A1(踩踏式)、A2(腳踢式)、B(滑桿式)、C(旋鈕式)四個原型按鍵大小的評價中，都有認同”適中”的評價。表示從設計原則到受測者角寬與操作都相當符合，且達到滿意的評價。
3. 樣本 A1(踩踏式)比較於其它樣本在整體評價、操作時間、失誤次數與整體滿意度排序中，都屬最好的評價。也表示改良按鍵大小後，能有效改善現有典型立扇的缺點。
4. 受測在操作樣本 A2(腳踢式)時，失誤次數低的原因為容易瞄準按鍵。由於按鍵大小專為腳寬而設計，但受測者操作時使用腳趾來踢，因此大按鍵增加瞄準的可能。由於用前踢方式操作，力量過大可能會導致電扇搖晃。
5. 樣本 B(滑桿式)為單按鍵滑桿式操作，只需簡單的前後移動滑桿就能輕鬆的操作，因此在操作時間的表現上排名第二。但因無分段回饋設計，而導致容易產生失誤的缺點。
6. 由於樣本 C(旋鈕式)的操作角度太大和無回饋設計，導致操作時間與失誤次數過多，比較於各樣本排名第四；也影響了操作評價與主觀滿意

- 度排序，皆為第五名。
7. 由於樣本 D(現有腳控立扇)在操作模式上的關係，操作時間排名最後且具顯著差異，同時失誤次數排名第五。由於是現有產品且單按鍵連續操作相當令受測者喜愛，故主觀滿意度排序排名第二。
 8. 樣本 E (現有手控立扇)為現有市售手控立扇，由於按鍵太小且間距不夠，導致操作時的不便。因此在多數評與價排名中都是最差，其中包含主觀滿意度排序。



第五章 結論與建議

符合腳控的人因電扇必須要能符合人體的需求、輕鬆的操作、增加操作速度與降低失誤次數等；現有立扇透過人因的再設計，必須改善原有的工作績效、身體不適、操作滿意度、便利性與其它缺點。

研究前測實驗所使用的典型立扇(如同再設計效用評價實驗的樣本 E)在操作時，手部操作使用者會採取深度向前之彎腰、深蹲姿或蹲下，而導致身體的費力與不適；在操作介面的設計上，按鍵與間距太小並不符合腳部操作；而操作區域的高度位置相當符合腳部操作。

本研究透過人體計測、現有產品分析、人體腳部能力限制及前測實驗結果設計出四種腳部操作人因電扇原型，透過再設計效用評價實驗比較四種人因電扇原型與兩種現有市售電扇在操作評價、操作時間與失誤次數之間的差異，並利用實驗影像紀錄觀察分析比對實驗統計結果。藉此得到本研究之結論與問題發現，結論與建議如下：

1. 現有市售典型立扇樣本 E(現有手控立扇)的按鍵與間距過小並不適合於腳部操作，因此效用評價實驗中在操作評價、失誤次數、滿意度皆是最差。
2. 本研究所設計之原型 A1(踩踏式)的按鍵寬大且符合受測者的腳掌寬度，在各項表現中皆是最優的表現，儘管只是原型階段，在受測者主觀滿意度評價中卻是最好的。雖然較大的按鍵成就了好的操作評價與喜好，但過長的操作區域在產品外觀設計上還需重新考量與設計。
3. 原型 A2(腳踢式)與 A1(踩踏式)相似，除了各項評價都算不錯以及在外觀設計需多加考量外，由於其操作方式為向前踢的方式，當力道過大時導致電風扇會後移與搖晃的情況產生，因此未來的改良設計上必將

改善此問題。

4. 原型 B(滑桿式)與 C(旋鈕式)同是滑動操作，由於未具備分段與力回饋設計以及樣本 C(旋鈕式)的操作角度過大，導致在效用評價實驗中並沒有突出的表現。但只需將以上缺點改進，未來在操作評價的表現應會更好。
5. 樣本 D(現有腳控立扇)由於是現有市售腳控電扇，不論外型、操作顯示與回饋...等都相當完善，因此在受測者的主觀滿意度排名第二。但因操作模式(單按鍵連續操作與關閉電扇時需長壓兩秒)的關係導致操作時間太久與高失誤率。高失誤率的原因可能為受測者不能在短時間內習慣操作模式導致。

本研究限制於 RP 快速成型使用 ABS 材料，原型在強度方面仍有所限度；機構設計方面的完善程度也稍微影響了原型的操作順暢度；原型外觀與各方面回饋上，原型設計的整體性並未能有效的顯示，導致本研究所設計之原型比較於現有產品仍有差距。儘管如此，原型設計在效用評價實驗中的操作過程仍算流暢，因此對實驗結果並無具太大影響。

其中發現的原型設計問題，未來只需稍做改善即可發展出更完善且高品質的腳控電扇。而本研究僅探討使用者在無穿鞋的情況下操作，未來的相關研究亦可加入穿鞋或其它因素加以研究。雖然本研究探討電風扇的腳部操控，此結果亦可提供未來相關腳控產品之參考。最後，原型設計僅是初步階段，但本研究成功的透過人因觀點設計出符合用腳操控的立扇。

參考文獻

中文部分

1. Bailey, Robert W.著，林修如譯，1995，應用人因工程學：以人為績效提升電腦系統之使用功能(譯自：Human performance engineering: using human factors / ergonomics to achieve computer system usability, 2nd ed.)，桂冠圖書股份有限公司，頁 4。
2. Cushman, William H 著，蔡登傳、宋同正譯，1996，產品設計的人因工程，六合出版社，頁 1。
3. Henry Dreyfuss company 著，張建成翻譯，1998，男性與女性人體計測——人因工程在設計上的應用，六合出版社，頁 10、24。
4. Parker, Janet 著，曾廣文、李景如編譯，2004，人體解剖學：人體功能的系統與局部解剖彩色圖譜，合記圖書出版社，頁 12、180。
5. Tortora, Gerard J.著，陳金山、徐淑媛編譯，2007，Tortora 簡明人體解剖學與生理學，合記圖書出版社，頁 146、159、216-219。
6. Widmaier, E. P., Raff, H., Strang, K. T.著，賴義隆總校閱，蔡元奮、胡孟君、何應瑞、吳莉玲、柯雅惠、謝宜霖、朱冠州、王威堯、王怡仁、黃精英編譯，2007，人體生理學：身體功能之轉機 (譯自：Human Physiology)，美商麥格羅·希爾國際股份有限公司，藝軒圖書出版社，頁 156。
7. 王茂駿、王明揚、林昱呈，2001，台灣地區人體計測資料庫手測 (Anthropometric data book of the Chinese people in Taiwan)，中華民國人因工程學會，頁 1、592、593。
8. 王映嵐，2006，“人因工程和弦鍵鼠之研究與設計”，大同大學工業

- 設計研究所，碩士論文，頁 55。
9. 六合出版社編譯，1999，人體動作尺寸圖集，六合出版社，頁 11。
 10. 李再長、黃雪玲、李永輝、王明揚，2005，人因工程，華泰文化出版，頁 5、23。
 11. 吳健瓏，2002，“學齡兒童使用鍵盤與滑鼠之相關手部人體計測”，國立成功大學工業設計研究所，碩士論文，頁 7。
 12. 陳德鴻，2006，“美髮業專業吹風機人因設計與評估”，華梵大學工業工程與經營資訊學系研究所，碩士論文，頁 68。
 13. 康智堯，2005，“踩踏意象之轉化與應用研究—以立式踩控電風扇設計為例”，大同大學工業設計研究所，碩士論文，頁 48。
 14. 張一岑，2004，人因工程學，揚智文化出版社，頁 171、463-465。
 15. 黃啟三，2005，新產品設計，全華出版社，頁 4-2。
 16. 趙榮洲，2004，“高齡化產品之按鍵壓力研究-以行動電話為例”，國立雲林科技大學工業設計研究所，碩士論文，頁 30。
 17. 鄭寶宏，2006，“手鋸設計開發與人因評估”，國立雲林科技大學工業設計系碩士班，碩士論文，頁 33。
 18. 鄭宇杰，2002，“電腦輔助設計於產品操作介面開發階段之研究”，國立成功大學工業設計研究所，碩士論文，頁 19。
 19. 樓迎統、陳君侃、黃榮棋、王錫五，2002，實用生理學(Practical physiology)，偉華書局有限公司，頁 169、172。

外文部分

1. Baker, N.A., Cham, R., Hale, E., Cook, J., Redfern, M.S., 2007, “Digit kinematics during typing with standard and ergonomic keyboard configurations” , International Journal of Industrial Ergonomic, 37, pp345-355.
2. Hallbeck, M.S., Jung, M.C., 2005, “Ergonomic redesign and evaluation of a clamping tool handle” , Applied Ergonomics, 36, pp619-624.
3. Jung, H.S., Jung, H.S., 2003, “ Surveying the dimensions and characteristics of Korean ears for the ergonomic design of ear-related products”, International Journal of Industrial Ergonomics, 31, pp361-373.
4. Lee, Y.H., Su, M.C., 2005, “Design and validation of a desk-free and posture-independent input device”, Applied Ergonomics, 39, pp399-406.
5. Lintula, M., Nevala, N., 2006, “Ergonomics and the usability of mechanical single-channel liquid dosage pipettes”, International Journal of Industrial Ergonomics, 36, pp257-263.
6. Morag, I., Shinar, D., Saat, K., Osbar, A., 2005, “Trackball modification based on ergonomic evaluation: a case atudy in the sociology of ergonomics in Israel”, International Journal of Industrial Ergonomics, 35, pp537-546.
7. Potvin, J.R.M., Agnew, J., Woert, C.V., 2004, “An ergonomic comparison of pneumatic and electrical pistol grip hand tools”, International Journal of

Industrial Ergonomics, 34, pp467-478.

8. Wu, F.G., Luo, S., 2005, "Design and evaluation approach for increasing stability and performance of touch pens in screen handwriting tasks", Applied Ergonomics, 37, pp319-327.
9. Yuan, C.K., Kuo, C.L., 2005, "Influence of hand grenade weight, shape and diameter on performance and subjective handling properties in relations to ergonomic design considerations", Applied Ergonomics, 37, pp113-118.