

24. 客製化鞋墊之電腦輔助設計製造系統開發

張仲卿 教授、周大龠 鹿、蔡慶霖
臺南大學 機電系統工程研究所

摘要

傳統客製化鞋墊製程是以可塑性材質貼附腳底，取得足底輪廓後，翻製石膏模，再視個人情況做局部修改，在此過程中模具修改的不可逆性，僅靠專業技師或醫師之專業判斷，缺乏腳壓定量數據參考。普遍客製化鞋墊大多用於醫療矯正鞋墊，鮮少有運用在一般大眾身上。因此本研究承續過去所開發足壓量測系統作足壓量測，並將逆向工程、電腦輔助設計(CAD; Computer Aided Design)、電腦輔助製造(CAM; Computer Aided Manufacturing)整合應用於鞋墊製作，自行開發一套客製化鞋墊電腦輔助工程技術與製作流程。這篇研究中以過去研究足壓量測系統為主，結合足底分區以及數學模式推導，計算出足底各區的變形量，配合逆向工程設計符合足型鞋墊，可在電腦輔助設計模擬系統輕易修改與設計專用鞋墊，再將資料傳送至CAM系統直接加工，所有資料都可數位化，並可建立足底外形和壓力分佈資料，不僅快速還可以達到足壓重新分佈的量化分析。本研究可讓鞋墊形狀的結構設計更加精準，在鞋墊製造技術上是一種新的發展方向。

關鍵字：鞋墊、足底壓力、逆向工程、電腦輔助設計、電腦輔助製造

一、前言

健康是現代人最重視的話題，腳是扮演人體和地面環境接觸及身體平衡協調的重要角色，而鞋墊是在足部與地面間發揮吸震的功能，針對個人情況設計，鞋墊也可產生矯正的效果〔1〕。而人類的足部具有吸收能量及釋放能量之組織結構，並提供身體部分的知覺回饋而能夠繼續行走，在所有生物中，只有人類足跟和地面有直接接觸，只有人類足部具有向前伸直的大拇指，只有人類足部具有足弓的構造。藉由足骨、肌肉、關節及韌帶彼此間複雜的結合及協調，使腳能達到支撐人體全身的重量、保持身體平衡及避震的效果，進而保護身體避免運動傷害。足部是人體第二辛苦的構造，僅次於心臟。它承受全身的體重，吸收地面的反作用力（吸震作用），以適應地形的起伏，並能提供人體行走或跑步的動力。當足部變形時，須改變其活動方式，並避免會對足部關節產生過度負荷的運動，而當人在行走中，對於整個結構上會產生極大的變化，任何結構上的缺失，及外傷或天生變形的狀況，都會影響其足底壓力分佈，進而導致足部病變〔2〕〔3〕。在這些結構組成中，人人皆有不同腳型型態，人的左右腳都可能長的不一樣。根據美國骨科醫師的調查，三分之一的人左腳比較大，三分之一的人右腳比較大，僅僅三分之一的人兩腳一樣大，由此可知一個好的鞋墊對足部健康的影響甚巨〔4〕。客製化鞋墊是指針對個人足型及需求，量身訂

製的鞋墊。一般客製化鞋墊多用於足部病變患者，例如扁平足的矯正以及糖尿病引起的足部潰瘍等病變，較少使用於一般大眾〔5〕，本系統不只在矯正足弓方面上，也可以做出符合於足部自然外形達成均壓，減少壓力過大導致足部疾病產生，對於扁平足的患者，容易因跖骨承受過多的壓力而產生疲勞、傷害，高足弓患者，則容易造成脛骨等處運動傷害〔6〕。本研究是針對足底壓力的計算來建立一個量身訂製的鞋墊製造系統。

二、研究架構

此流程（如圖1）應用逆向工程設備足底3D影像擷取設備〔3D plantar scanner〕（如圖2）來取得未受力足底外形，稱之為足底自然外型〔Natural Profile〕，藉此做出符合腳底外形；本系統足壓量測設備（如圖3）掃描腳底影像，足底分部情形區分面積〔7〕，藉此分成七個區塊（如圖4），再經由腳底影像分部資訊經由數學模式推導，採用疊加設計，使用色階轉換由白至黑計算該區灰階值，求得足底壓力分部數據及參數，進而調整鞋墊外形與各區增量可用於來矯正足弓，當曲面建立、誤差比對等處理完成後輸出STL檔，進行模具設計和鞋墊外形設計，在材質上軟硬度上則分成三類：

1. 軟式鞋墊：此類材質通常是發泡材質，再穿著上是舒適但相當容易變形，因此較不耐用，例如Foam rubber、Foam polyethylene。
2. 半硬式鞋墊：此類材質通常是發泡、軟木、PE等材質，可以提供足弓的支撐，例如Rubber、Cork-rubber、Polyethylene、Steel、Leather、Felt、Crepr rubber。
3. 硬式鞋墊：此類材質通常是鋼材、壓克力等材料，穿起來不舒適，但主要目的是用在矯正足弓之鞋墊。

三、實驗方法

3-1數位影像足形、足壓量測系統

本研究利用足底3D影像擷取設備，此設備可用於擷取自然足底外型，使用特殊影像擷取技術，能幫助此實驗擷取影像只需1秒鐘，將影像輸出STL、DXF等三角網格檔案，受測者須以腳底未受力狀態用坐姿量測方法，並將大腿固定於腳架上，足部以輕碰掃描面，主要目的為了做出適合腳底外型鞋墊，可分為全足和四分之三鞋墊（如圖5）；足壓量測系統必須以人站立在於掃描介面上，利用此設備可以得到各區域站立時平均壓力值和判別高低足弓，結合兩套設備上的優點，使得鞋墊可以讓入達到舒適和矯正效果〔8〕〔9〕。

3-2 受測者腳底面積計算和色階轉換

將區域權重值乘上影像真實面積，即可獲得區域面積。數學推導步驟如下：

$$A_k = \left(\frac{P_k}{P}\right) \times A_R \quad (3-1)$$

其中， P_k 為區域面積， P 為真實影像面積， A_k 為區域像素個數， A_R 為真實影像像素個數。

3-3 受測者腳底壓力計算

將影像檔之所有色階轉成二值數位碼：色階由白至黑，其色階值將由大至小，由生物力學和光學原理，可以推斷出灰階值愈大，代表該區受力愈大。在數值運算中以二階矩陣讀取影像檔中所有圖素之二值數值，利用矩陣增加運算的速度。將每區域之二階矩陣數值積分，計算出該區域分之灰階值。

$$\iint_j (b_j)_k didj = B_k \quad (3-2)$$

其中， b 為灰階值， i 為 x 座標， j 為 y 座標， k 為某區域。

3-4 受測者鞋墊數學推導過程

假設人體體重 75kg 擷取跑步時承受最大反作用力部位(後足)作為設計基底：

$$F = 75 \times 3.5 \times 1.1 = 288.75(\text{kgf})$$

計算後足平均壓力：

$$\sigma = F/A = 11.73(\text{kg/cm}^2)$$

安全高度：使用材質為矽膠

$$E(\text{Young's Modulus}) = 10.2(\text{kg/cm}^2)$$

$$\varepsilon = \sigma / E$$

$$\varepsilon = (11.73 \text{ kg/cm}^2) / 10.2(\text{kg/cm}^2) = 1.15$$

$$\varepsilon = \Delta l / l = 1.15$$

故本實驗使用 2mm 為安全高度

實際量測腿長：受測者以自然姿態站立，於髌骨兩側貼置標籤點，量測兩點分別與地面距離。

受測者左腿長 98.25cm

右腿長 98cm

因此在右腳鞋墊設計上，厚度補正：

$$h_{\Delta} = E \times 0.25 = 2.5\text{mm}$$

慣用側判別：以足壓量測程式分別量測左右腳底接觸面積的平均壓力。

$$\sigma_r = 0.344(\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma_l = 0.331(\text{kg/cm}^2)$$

$$(\sigma_r - \sigma_l) / E = \varepsilon_{\Delta}$$

$$\varepsilon_{\Delta} = 1.27 \times 10^{-3}$$

慣用側補正值：

$$2(\text{mm}) \times 1.27 \times 10^{-3} = 2.54 \times 10^{-3}(\text{mm})$$

前置作業完成後結合 CAD\CAM 設計模具(如圖 6)矽膠實驗成品(如圖 7)

四、結論

本研究將先以自行研發的腳壓量測系統，快速量測出腳底壓力分佈並找出異常足弓患者，並進行追蹤觀察，再提供客觀資料，藉以機械方式製作不同材質之更有效用之矯正鞋墊或矯正鞋，外力作用時間的增長，使撞擊力峰值的能力可降低，使人穿著起來更加的舒適、合腳、避震、防滑以及穩定的快速成鞋墊。

本系統開發流程有下列優點：

1. 本系統可幫助鞋技師簡化繁雜且瑣碎的步驟與程序，快速自動化成型，縮短製造時程。
2. 確保鞋墊符合個人足形，快速取得足壓分佈數值及相關數據，選擇材料以及鞋墊偏移量之計算，據以量腳訂製一雙最舒適的鞋墊。
3. 所有數據資料都可電腦建檔，進一步建立足壓資料庫，方便日後進行鞋墊再製、修改等工作。
4. 增加其扁平足相關保健知識，並可訓練培養其臨床量測經驗。
5. 資料庫提供研究人員專業且客觀之數據，對於足弓異常之學童可提供完善專屬矯正鞋墊之訂做，對於研究人員可在製作技術上獲得實務訓練。

參考文獻

1. 吳心慈 (Hsin-Tzu Wu). 內側足弓墊於扁平足病例站立平衡之效應 (The efficiency of medial longitudinal inserts for standing balance in flatfoot patients). 國立陽明大學 醫學工程研究所 碩士論文, Aug 20030.
2. 李幸華. 鞋墊對減低足底壓力效益之生物力學分析. 國立陽明醫學院 醫學工程研究所碩士論文, 台北, 台灣, 1994.
3. 林承哲、游志雲、邱文科. 3D腳型量測與自動化腳型分析方法之研究. 第二屆3D人體體型銀行之建立與應用研討會, 桃園, 台灣, 2002.
4. 林信良. 正常足弓與扁平足弓在不同步速下行走對足底壓力影響的探討. 國立體育學院運動科學研究所.
5. 張家豪. 電腦輔助工程應用於牙科復形物及數位影像腳形、腳壓量測系統之開發. 崑山科技大學機械工程系 碩士論文, 台南, 台灣, 2001.
6. 李幸華. 鞋墊對減低足底壓力效益之生物力學分析. 國立陽明醫學院 醫學工程研究所 碩士論文 台北, 台灣, 1994.
7. Cavanagh, P. R. and Rodgers, M. M., The arch index : a useful measure from footprints. Journal of Biomech, 20, 547-511. 1987.
8. 張仲卿、李明義、黃偉誠、洪敬傑、林超群. 生物力學在醫療鞋墊製作之應用研究. 中華民國第二十四屆全國力學會議, 2000.
9. 王智寰. 數位影像腳形、腳壓量測系統開發. 國立台南大學 系統工程研究所 碩士論文, 2007.
10. 林師誠. 正常足部之三維動態有限元素分析. 中原大學 醫學工程學系 碩士學位論文 93年7月.

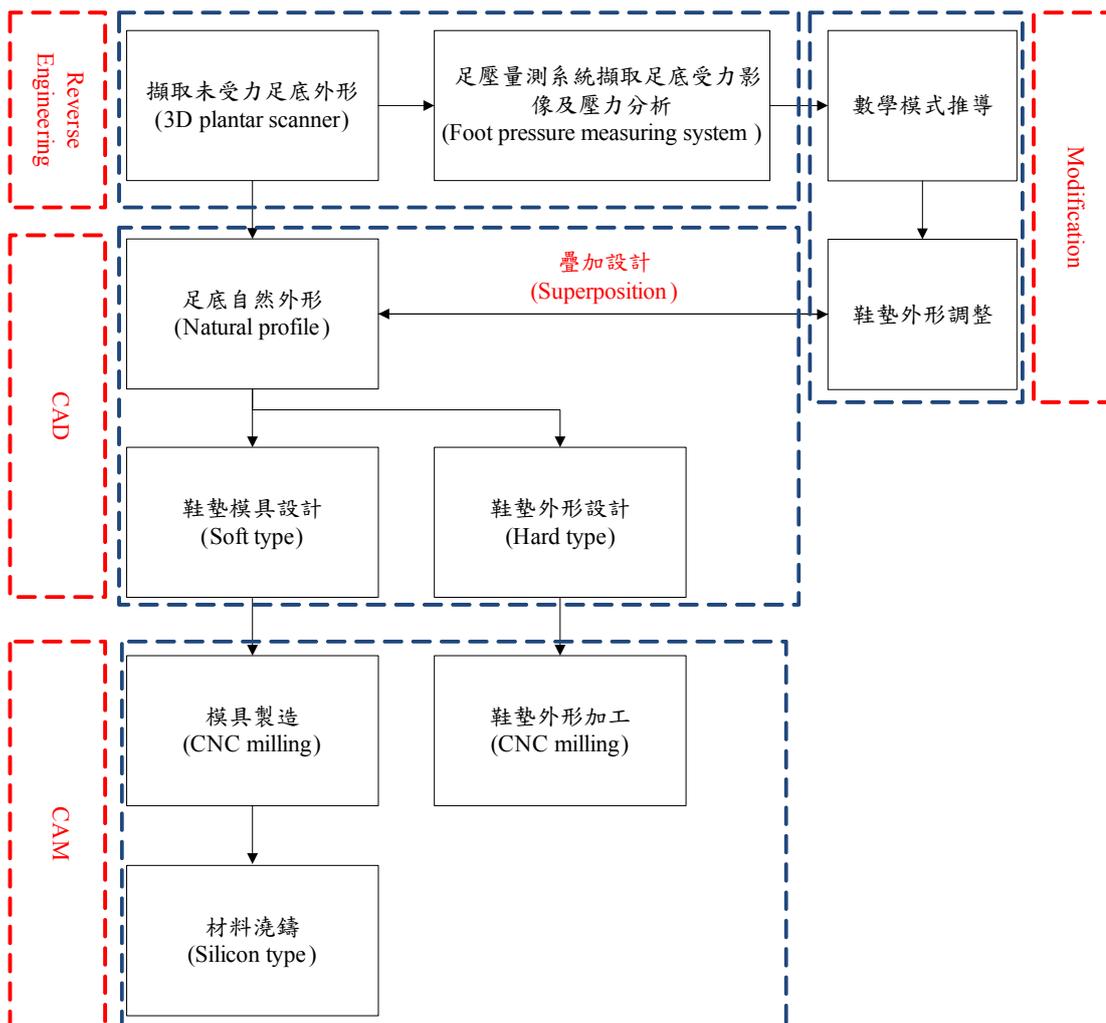


圖1 研究架構流程圖



圖2 足底3D影像擷取設備實體圖

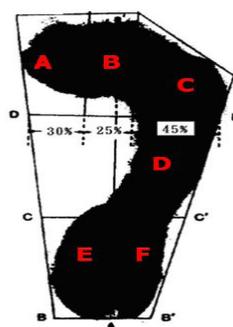


圖4 足底分區圖
註：引自Cavanagh, et al., (1987)



圖3 足壓量測系統實體圖

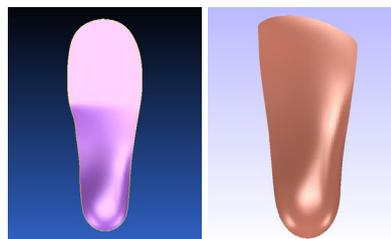


圖5 全足式鞋墊和四分之三鞋墊

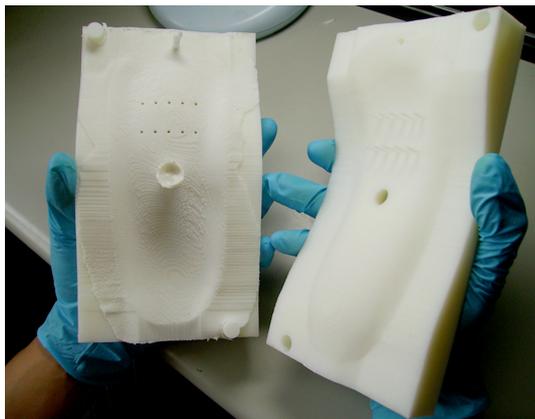


圖6 模具開模



圖7 矽膠鞋墊成品