

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

以虛擬實境平衡評估系統探討扁平足對靜態平衡的影響

Evaluating the static balance in children with flatfoot using
virtual reality implemented balance assessment system

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC-89-2314-B-040-037

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：畢柳鶯

共同主持人：林淇鉉、何啟中、黃邦榮

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

執行單位：私立中山醫學院醫學系

中華民國 90 年 10 月 29 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以虛擬實境平衡評估系統探討扁平足對靜態平衡的影響

Evaluating the static balance in children with flatfoot using virtual reality implemented balance assessment system

計畫編號：NSC 89-2314-B-040-037

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：畢柳鶯 私立中山醫學院醫學系

E-mail: bihliuin@ms2.hinet.net

一、中文摘要

對於扁平足的評估，在臨床上所採用的方法，均針對足部的外型（如X光，量角度）以及足印來分析，其中足印分析法最常用，但是在擷取足印時，一般採取單腳站立方式，所得到的足印很容易因左右晃動造成數據的誤差；另外對於扁平足是否造成平衡功能控制的異常，國內外甚少有人提及。本研究希望發展一套可量化的足印擷取以及平衡評估系統。

針對臨床上足印擷取時，單腳站立的缺點，本系統使用左右兩塊玻璃板，玻璃板的四個角落各有一個荷重元 (load cell)，受測者站在兩塊玻璃上，當左右兩塊玻璃承受重量相差0.5公斤時，驅動數位照相機，擷取足底影像，並經由即時電腦程式偵測邊緣，自動量測臨床數據。同時偵測及記錄即時壓力中心 (Center of Pressure, COP)，再利用奇異值分解法 (singular value decomposition, SVD) 分析受試者的壓力中心位置，計算出壓力中心主軸的特徵值及特徵向量，繼而求出壓力中心的搖晃面積及方向。

關鍵詞：扁平足、靜態平衡、足部裝具、足印分析

Abstract

For evaluating the flatfoot, the usual methods used evaluate the appearance of the foot only, such as using X-ray or footprint. In

clinic, the footprint was acquired by imprinting foot on the paper with ink while one-leg standing. The footprint index would be incorrect because of imbalance. Besides, little research has mentioned about how the flatfoot influence the standing balance in recent twenty years. This research will develop a system providing functions of footprint imaging and static balance evaluation.

For footprint imaging, the system uses four load cells at each corner under both pieces of glass. Volunteer stands on the glass and the CCD digital camera will take the picture of the soles if the weight bearing of each glass has difference less than 0.5 kg. The image was transferred to computer from RS-232 and analyzed with the edge detecting methods to automatic calculate the index of footprint. Balance was quantified by the center of pressure (COP) sway direction and integral area by eigenvalues and eigenvectors derived from singular value decomposition (SVD).

Keywords: Flatfoot, Static Balance, Foot Orthosis, Footprint analysis

二、緣由與目的

目前對於扁平足的診斷方法一般基於下列幾點[1][2]：

- (a) 病史，尤其是小孩不願意走路或較晚會走路

- (b)詳細的檢查，包括關節鬆弛度、下肢是否旋轉、足底形狀，以及是否有長短腳
- (c)鞋子的磨損及變形程度
- (d)腓骨與腳指的相關位置
- (e)大腳趾背曲測試(Big toe extension test)
- (f)跟骨肌腱的緊繃度
- (g)跟骨外翻的指數(valgus index, Rose 1982)
- (h)X 光分析法
- (i)足印分析法(footprint analysis)

由於照 X 光時，角度若有所偏差，所得出的結果就會不同，而且足部骨頭的骨化中心一直要到 4 歲才出現，到 9 歲才完全成熟，所以一些分析法並無法評估 6 歲以下的小孩；其他較為定量的分析只有跟骨外翻指數以及足印分析法。臨床上，最常用足印分析法來評估扁平足的嚴重度。[圖一]。

產生足印，必須使用足拓板，而足拓板產生足印的方式是先將油墨塗抹在滾筒上，並來回移動，使油墨分佈於網版上，再令受測者單腳站立於網版上，便會將足跡印在紙上，醫師再針對此足印來分析扁平足的嚴重度，決定以何種方式矯正。這種方式有兩個缺點：

- (A)受測者單腳站立在網版上，不易平衡，會左右晃動，所以得到的足印並不正確，醫師據此而判斷扁平足的嚴重度，容易誤判。
- (B)油墨的污染及紙張的浪費。

針對以上二點，本研究希望設計一套數位化的足印擷取系統，先以壓力板測量兩腳負重大小，當負重相當時，表示受測者維持平衡狀態，此時發出訊號經類比數位轉換後，由 RS-232 傳入電腦，立即驅動

CCD Creamer 擷取足底影像，再對影像分析，自動區分嚴重度，如此不但客觀、量化，而且還可節省人力及存檔。

由於可塑性扁平足兒童會有平衡差、動作笨拙與不協調的現象，欲有效的治療改善這類兒童平衡與動作的缺失，應先能做良好的評估，了解其平衡與動作的控制機制。以往由於缺乏客觀有效的測量工具，因此難以得到量化的資料，來探討平衡與動作的機制。

平衡控制的好壞會造成身體重心不同方向以及程度的搖晃(sway)，國外對於利用 Smart Balance Masters 所得到的身體壓力中心位移的數據來評估搖晃的程度有多種計算方法[3-12]，成功大學醫學工程研究所生醫訊號實驗室依據高斯分佈(Gaussian Distribution)發展出一套可計算搖晃面積以及方向的方法，提供更客觀準確的數據。

因此，本系統除了足底影像擷取外，亦希望經由八個荷重元(load cell)即時計算並記錄 COP 的位置，於離線時，計算搖晃面積及方向，藉此評估與探討扁平足兒童的平衡與動作的控制，除可建立正常兒童的平衡與動作控制能力正常範圍，以及與單純性扁平足兒童的差異外，更可作為日後研究扁平足治療方式及效果的基礎。

三、結果與討論

(1)腳底取像之設計與影像分析之流程

取像的硬體結構包括，強化玻璃及數位相機 KODAK-DC4800。壓力板共有兩塊(左、右腳各一)，每塊壓力板各含四顆荷重元(load cell)[圖二]，當受測者站於壓力板後，左、右壓力板會將所承受的載重(即 body weight) 透過 A/D 轉換，經由 RS232 port 傳給電腦，調整受測者姿勢，直到左、右壓力板所受載重相等(左右相差小於 0.5 公斤)，即左、右腳各承受一半的體重。

此時電腦將自動啟動置於壓力板下方的數位相機，擷取足底影像。[圖三]，經 RS232 port 傳至電腦儲存，控制界面[圖五]、相機驅動、以及影像傳輸以 Microsoft Visual Basic V6.0 設計。

使用 MatLab 語言將所擷取的影像，首先以 moment preserving thresholding 與 canny edge detection 獲取足底的區域及邊緣資料，再利用高階知識將兩者整合分割出真正的足底區域。以足踵及中指估出足底的方位，以此方位找出內側足緣上半部的最凸點，以此切點為基準向下找出內側足緣下半部的最凸點，將此兩最凸點連接形成量測基準線，以此基準線測量足凹的距離，再再依臨床使用的判斷標準，自動判讀出病患嚴重的程度[圖四]。

(2) 靜態平衡功能分析

荷重元所截取到的資料，將轉換成壓力中心資料，以奇異值分析法(singular value decomposition, SVD)或稱為主成份分析法(principal component analysis, PCA)將面積及方向量化受測者的平衡反應。其測量參數及表示法包括:(a)壓力中心的搖晃面積(即橢圓之面積 $ab\pi$) (b)壓力中心的搖晃方向(即主軸夾角之方向, θe) (c) 壓力中心的搖晃面積及方向之時間序列表示法。詳細計算方式如下：

壓力中心的搖晃面積

搖晃面積是以 SVD 求出特徵值 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ (即橢圓的長軸 a 和短軸 b)，橢圓的面積即可算出[圖五 a]。

壓力中心的搖晃方向

搖晃方向是以主軸夾角 θe 為方向，因考慮可能於量測期間多次來回搖晃，需以搖晃起始點及終止點(即 P1 及 P2 取向量 R 夾角之方向, θv)修正之搖晃方向[圖五 b]。

搖晃面積及方向之時間序列表示法

以 Polar plot 同時表示搖晃面積及方向，以突顯視覺刺激改變時，受測者之反應搖晃大小及方向等[圖六]。

以上的資料都將使用 MatLab5.2 程式語言處理。系統實體如圖七。

四、計畫成果自評

(一) 研究內容與原計畫相符程度

依原計畫的臨床實驗，已至台南市光華幼稚園及惠南幼稚園採集足印，總共 96 個中班及大班的小朋友中，42 人有扁平足(43.75%)，在採集足印的過程中發現單腳採集足印時，小朋友容易失去平衡，可能導致足印評估的誤差，於是針對此缺點，發展出本系統，可快速並準確的測量及診斷，當初計畫中未曾提及；再加上將平衡評估系統重新設置在本系統上，需要相當的時間及精力。由於新系統的建製，延誤當初預定的臨床平衡測試，但是，新系統不但可做扁平足的初步篩選，還可提供靜態平衡的評估，這不只用於扁平足的病人，亦可評估其他有平衡控制功能失調的病人。

(二) 達成預期目標情況

評估扁平足患者的平衡功能之前，必須將扁平足的診斷以及其嚴重度正確評估，而臨床足拓板採集足印的方式有缺失，為達以後臨床平衡測試之正確，除了臨床評估未完成外，其餘內容與原計畫相同。

(三) 研究成果的學術或應用價值

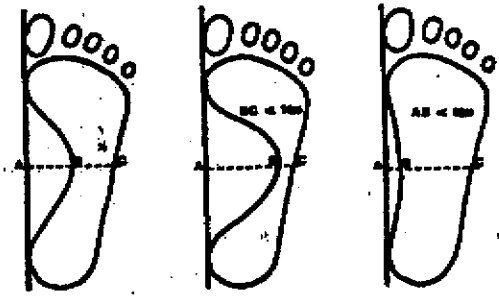
本研究所建製之系統可自動評估扁平足的嚴重程度，提供臨床上一個快速篩選的工具；其靜態平衡評估的功能，應用範圍廣泛，舉凡平衡失調的病人皆可適用，如腦中風、腦外傷、小兒腦性麻痺...等。

(四) 是否適合在學術期刊發表

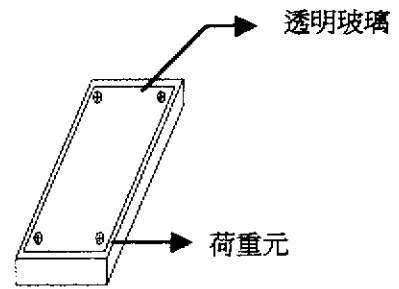
本系統建立扁平足新的判斷方式，結果有臨床應用價值，將發表於復健醫學相關雜誌。

五、参考文献

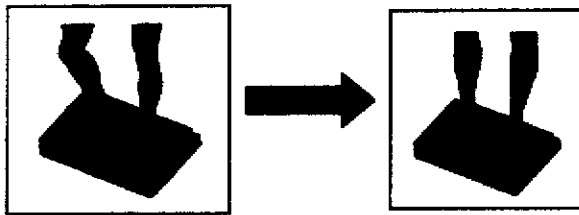
- [1] Rose GK, et al: The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg* 1985; 67-B: 71-77
- [2] Sullivan JA: Pediatric flatfoot: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg*, 1999 Jan, 7:1,44-53
- [3] Wolff DR, et al: Postural Balance Measurements for Children and Adolescents. *J Ortho Res*; 16: 271-275
- [4] Williams HG, et al: Spectral characteristics of postural control in elderly individuals. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78:737-744
- [5] Perrin PP, et al: Influence of visual control conduction, and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults. *Gerontol* 1997; 43: 223-231
- [6] Woolley SM, et al: Differentiation of balance deficits through examination of selected components of static stabilometry. *J Otolaryngol* 1993; 22: 368-375
- [7] Morrison G, et al: Dynamic platform sway measurement in Meniere's disease. *J Vesti Res*; 4: 409-419
- [8] El-Kashlan HK: Evaluation of clinical measures of equilibrium. *Laryngoscop* 1998; 108: 311-319
- [9] Pai YC, et al: Center of mass velocity-position predictions for balance control. *J Biomechanics*; 30: 347-353
- [10] Yang TF, et al: Quantitative measurement of improvement in sitting balance in children with spastic palsy after selective posterior rhizotomy. *Am J phys Med Rehabil* 1996; 75: 348-352
- [11] Lehmann JF, et al: Quantitative evaluation of sway as an indicator of functional balance in post-traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1990;71: 955-62
- [12] Lee MY, et al: New quantitative and qualitative measures on functional mobility prediction for stroke patients. *J Med Eng Tech* 1998; 22: 14-24



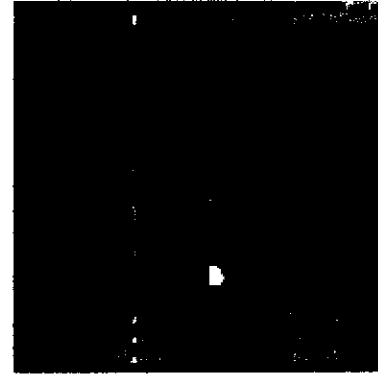
圖一 足印分析法：最左圖為正常足印，中間為高足弓 (BC<1cm)，最右圖為扁平足(AB<1 cm)，分為三級，輕度 (0.5<AB<1 cm)、中度(0<AB<0.5 cm)、重度(AB<0 cm)



圖二 壓力板與額荷重元示意圖



圖三 雙腳站立於壓力板示意圖—當左、右壓力板荷重相等時，電腦將自動啟動 CCD Creamer，擷取足底影像



圖四 足底影像—系統自動量測足底參數 (藍線)

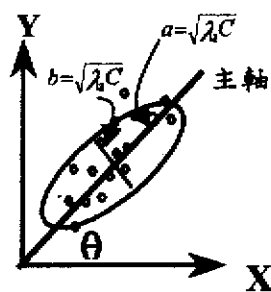
$$(X-m)K_1^T(X-m)=C$$

$$[UV^T]=SVD(K_1)$$

$$U = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \\ u_3 & u_4 \end{bmatrix} \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{U_{31}}{U_{32}}\right)$$

$$Area = nab$$

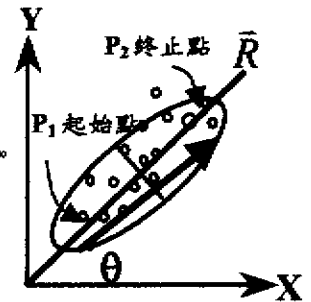


$$P_1 = (x_1, y_1) = \left(\frac{\sum X_i}{n}, \frac{\sum Y_i}{n} \right)$$

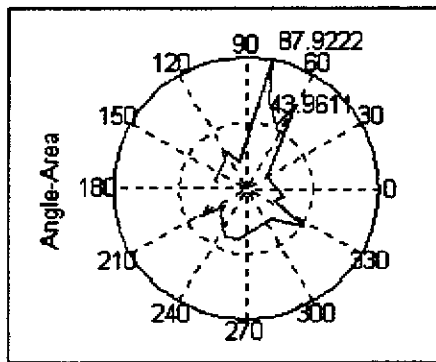
$$P_2 = (x_2, y_2) = \left(\frac{\sum X_i}{n-9}, \frac{\sum Y_i}{n-9} \right), \dots$$

$$\vec{R} = \vec{P_1 P_2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right)$$



圖五(a). 壓力中心的搖晃面積(橢圓面積)及主軸夾角 (b) 壓力中心的搖晃方向



圖六. 壓力中心的搖晃面積及方向之 Polar plot 圖



圖七 系統實體照片