

可攜式步態週期分析系統開發

機四丙 郭育豐

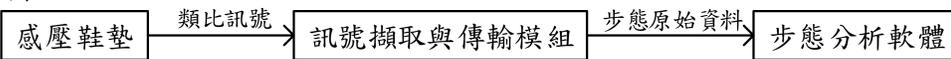
指導教授 方晶晶

前言、動機與目的

步態分析是一項用於評估人類行走模式的技術，透過量測步幅、步頻、站立與擺盪時間、壓力分布與重心軌跡等參數，可協助辨識動作中的不對稱性與功能異常。該技術廣泛應用於中風、帕金森氏症、關節退化、腦性麻痺等病症的運動表現研究中。步態分析提供了客觀量化資料，可用於比較不同介入手段的療效、追蹤病症進展，或建立行走功能與各項參數之間的關聯，對臨床研究與實證醫學具有重要價值。目前市面已有多種步態量測設備，如光學步態追蹤系統、力板與壓力感測鞋墊等，能提供高精度資料，但通常設備昂貴、操作空間受限，且維護成本高，不利於長時間觀測或彈性應用的需求。為此，本專題實作一套低成本、可攜式的特徵點步態分析系統，採用薄膜壓力感測器、訊號擷取模組與數據儲存傳輸模組，搭配軟體進行與參數分析。系統可輸出步距比例、速度、雙足支撐比例與壓力中心（COP）軌跡等步態時空參數，提供作為行走樣態的量化依據，適合應用於療效評估、運動表現量化或老化評估等實驗設計情境。

系統架構

步態週期分析系統資料傳輸流程圖如圖一，本系統的硬體由三個模組組成，分別為感壓鞋墊、訊號擷取與數據傳輸模組，各模組與裝備穿戴方式如圖二。



圖一、資料傳輸流程圖



圖二、步態分析系統各模組與實際穿戴圖

感壓鞋墊——透過穿戴式壓力感測鞋墊擷取足底受力資料。

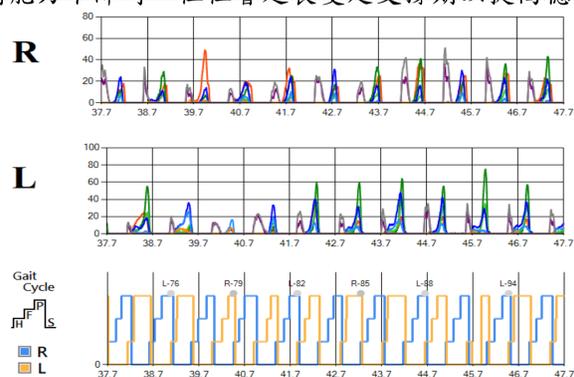
訊號擷取與數據傳輸模組——鞋墊以柔性排線連接至腳踝處的訊號擷取器，訊號經放大與 A/D 轉換後儲存於數據儲存傳輸模組的 SD 卡，並透過 Wi-Fi 傳送至個人電腦。

分析軟體——分析壓力資料，計算步態時空參數，並建立足底壓力中心（COP）軌跡，用以觀察行進時的穩定性與左右對稱性。

步態時空參數

- 速度（Speed）
- 步距比例（Length ratio）
- 典型步態比例（HFPS ratio）
- 雙足支撐比例（Double support ratio）

速度愈快通常表示運動能力較佳，步距比例則是步距相對於身高的比例，可以反映步行推進能力。典型步態指的是單足的四個步態階段，依序為脚跟觸地（Heel strike, H）、全腳掌接觸（Flat foot contact, F）、前腳掌與大腳趾推出（Push off, P），以及雙腳離地的擺動期（Swing, S），反映出自然步態中足底壓力變化的典型模式。典型步態比例則能判斷行走過程是否符合自然狀態，系統根據足底各區域壓力變化，自動判定各時間點所對應的步態階段，並將步態資料轉換為步態週期如圖三。雙足支撐比例可以反映行走時的穩定，當平衡能力下降時，往往會延長雙足支撐期以提高穩定性。

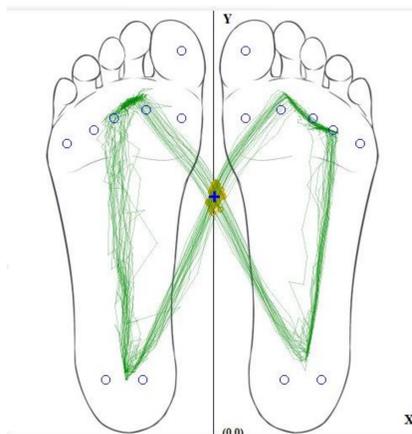


圖三、步態資料與步態週期階段圖

壓力中心軌跡參數

- 前後向軌跡變異量（AP variability）
- 側向變異量（Lateral variability）
- 對稱偏移量（Lateral symmetry）

壓力中心軌跡在正常步態下會形成蝴蝶圖(butterfly diagram)如圖四。壓力中心軌跡的三項參數皆源自此圖樣的交點點群分析：前後軌跡變異量與側向變異量分別為中間交點點群在前後與左右方向上的變異量，數值越大，代表步態越不穩或平衡控制越差。而對稱偏移量則是根據壓力中心軌跡交點點群的平均位置與中心軸之間的橫向距離計算而得，該值反映重心左右轉移的對稱程度；當點群平均偏離中心軸，即顯示出步態存在明顯的不對稱性。



圖四、蝴蝶圖

Group E1	T0 n=22	T1 n=15	T2 n=12	T3 n=9	T0/T1 p-value	T0/T2 p-value	T0/T3 p-value	T2/T3 p-value
Speed (m/min)	48.92 (9.32)	48.90 (8.85)	55.94 (9.09)	57.87 (7.49)	0.95	0.02*	0.01*	0.35
Length ratio (%)	61.23 (9.77)	58.83 (9.37)	65.94 (10.28)	68.72 (8.11)	0.39	0.04*	0.09	0.35
HFPS ratio (%)	89.30 (14.94)	94.98 (5.51)	95.42 (7.15)	97.02 (3.32)	0.83	0.25	0.05*	0.89
Double support ratio (%)	13.05 (3.70)	13.18 (4.00)	11.03 (3.22)	11.47 (2.39)	0.40	0.35	0.04*	0.75
AP variability (mm)	3.93 (1.32)	4.52 (1.07)	3.82 (1.20)	3.86 (0.69)	0.02*	0.52	0.89	0.46
Lateral variability (mm)	6.24 (2.68)	7.02 (1.49)	6.40 (1.76)	6.13 (1.62)	0.03*	0.31	0.16	0.46
Lateral symmetry (mm)	7.55 (7.00)	5.47 (4.49)	4.88 (4.09)	4.26 (3.74)	0.22	0.04*	0.21	0.60

圖五、膝關節置換術前後步態參數變化

本系統應用於膝關節置換術的步態分析已經通過成大醫院人體臨床試驗委員會核准(IRB編號：NCKUH B-ER-109-224)，數據結果如圖五，該研究追蹤膝關節置換術的療效，分別比較術前(T0)及術後3個月(T1)、6個月(T2)、12個月(T3)收集步態參數進行比較，結果顯示，行進速度於T2與T3時分別提升至術前的1.14倍與1.18倍而壓力中心軌跡參數方面，前後向軌跡變異量由術前的3.93 mm (T0)降至3.86 mm (T3)，側向軌跡變異量則由6.24 mm (T0)降至6.13 mm (T3)，顯示術後步態穩定度有所改善。

結論與未來展望

結論

本專題已經開發一套可攜式步態週期分析系統，整合壓力感測鞋墊、數據傳輸模組與步態分析軟體，能進行步態辨識，並能收集步態並轉換成可量化的數據，並應用於膝關節置換術患者術前術後的比較，數據結果顯示，患者接受膝關節置換術後，行進速度於術後6個月即有顯著提升，雙足支撐比例於術後1年顯著下降，顯示行走能力改善；在穩定度與對稱性方面，前後向軌跡變異量於術後3個月短暫上升後回復，對稱偏移量則在術後6個月顯著下降，整體結果反映本系統具備辨識術後步態變化與療效評估的潛力。目前系統主要針對日常行走步態進行量測，雖具備量測更多走路樣態的潛力，但尚未進行相關驗證，此外亦缺乏即時數據顯示與回饋功能，未來仍可強化即時回饋，以貼近實際使用情境與臨床需求。

未來展望

未來將持續優化系統穩定性與擴增應用範圍，期望能應用於更多具臨床評估需求之族群，如足底筋膜炎、帕金森氏症、中風偏癱患者及高齡跌倒風險監控等，以幫助更多具步態障礙或慢性疾病的使用者進行居家復健追蹤與步態監測，提升系統在臨床與日常照護中的應用價值。