

國立彰化師範大學特殊教育學系

特殊教育學報，民 113，60 期，頁 71-110

DOI: 10.53106/207455832024120060003

# 通用設計客製化三維列印鞋墊對於 扁平足者平衡及行走功能之成效

彭淑敏

國立臺灣師範大學  
復健諮商與高齡福祉研究所

佘永吉

國立臺灣師範大學  
特殊教育學系暨  
復健諮商與高齡福祉研究所

## 摘要

融合教育中強調要整合輔助科技的通用設計，對普通學生及特殊需求學生均極重要；扁平足會影響到日常功能行走表現，會造成足部疼痛，步態異常，也可能會影響平衡與協調能力，間接影響其他骨骼相關疾病；鞋墊可減少變形，預防下肢的疾病，但礙於特製鞋墊單價都過高，使扁平足個案卻步。應用 3D 列印適合小量客製化需求，能針對各種困難的情境做出相應的設計，將 3D 列印材質可塑性，與成本效益的可行性，結合生物力學原理，依照受試者行走習慣量身打造個別化鞋墊。本研究採準實驗設計，扁平足的人穿著長時間 3D 列印鞋墊為實驗組，對照組為穿 3D 列印鞋墊短時間的扁平足個案，探討 12 週日常生活對於兩組不同鞋墊之動作影響。課程開始前一週，實驗組與對照組皆進行動作評估，且實驗組會先採取足模來製作 3D 列印鞋墊；實驗期間兩組皆參與功能性動作介入；第九週則對實驗組與對照組進行動作訓練評估後測，以無母數考驗動作精練度。結果顯示 3D 列印技術適合個別化設計與發展鞋墊，在第二、三、四趾骨區域壓力達到統計上的顯著下降；扁平足個案使用 3D 列印鞋墊走路速度有提升且有顯著上的差異；穿著個別化定製鞋可幫助改變足底壓力異常分佈；部分扁平足受試者使用 3D 列印鞋墊，可提升其平衡能力。

關鍵字：通用設計、扁平足、3D 列印鞋墊、平衡測試、足底壓力量測

---

通訊作者：佘永吉 Email: siaa@ntnu.edu.tw



## 壹、緒論

步態是功能獨立的關鍵之一。長期以來，步行被認為是涉及較少的高階認知輸入的自動過程。事實上，如果沒有移動四肢的肌肉和調節肌肉即時活化的控制，步行就不會發生(Mirelman et al., 2018)。足弓的彈性在行走和跳躍過程中影響緩衝振動、身體直立的支撐和穩定性(Han et al., 2011)。足弓高度會影響足部姿勢或足形，因內側縱弓負責吸收日常活動中對足部的大部分衝擊(Nilsson et al., 2012)。分析足弓高度和活動性，臨床上可以將個體分為扁平足(pes planus)或低足弓、正常足弓(pes rectus)或高足弓(pes cavus)。大約 60% 的人被歸類為足弓高度正常，20% 為扁平足，20% 為高弓 (Subotnick, 1985)。

扁平足會導致腳踝痛或背痛，嚴重的扁平足可導致韌帶鬆弛、肌肉無力等臨床症狀，需要保守矯正或手術干預(Murley et al., 2009)。多數患者有足部症狀和功能受限，例如早期疲倦或長時間站立或行走時出現困難，以及疼痛，主要位於足底和後足內側(Benedetti et al., 2011)。功能性扁平足的張力不平衡可能導致扁平足在步態時的足底壓力分佈異常(蔡沛霖等人, 2021; 劉承安等人, 2020)。扁平足距下關節外翻可能會導致內側縱弓無力(Kim & Kim, 2016)，導致比正常足部更大的接觸面積。雖然這種接觸表面積的增加，被認為是提供更大的支撐姿勢穩定性，但扁平足個案表現出更差的靜態和動態平衡與正常的人腳相比，扁平足畸形與足弓支撐不足、足底韌帶和肌腱柔韌性不足有關(Tsai et al., 2006)。

非手術治療扁平足患者處理處置，包括各種練習，例如毛巾捲曲練習、足底練習以及神經肌肉電刺激，且根據生物力學原理足矯形器也經常用於靈活扁平足的非手術治療。足弓支撐的鞋墊有矽膠或由各種材料製成的定製形式。矽足弓支架是一種常用的治療選擇，因為它易於獲得且具有成本效益。其中一些是內側貼有足拱形支撐(Vimal et al., 2022)，鞋墊可減少變形，預防或治療腳和下肢的疾病，而有症狀的扁平足個案會抱怨行走疲勞、足痛，並伴有膝、踝痛，這些症狀都會降低生活品質(Xu, Wang, Ma, et al., 2019)。而至今各種鞋墊的設計來矯正扁平足的行走或是保守治療的方式，來預防減緩疼痛或是預防變形(Kim & Kim, 2016)。先前的研究表明，與扁平鞋墊相比，定製成型鞋墊可以減少壓力。適當的鞋墊厚度、鞋跟高度和材料可以實現均勻的應力分佈(Sarikhani et al., 2016)。傳統個別化的鞋墊成本太高使很多需求者看到價錢就會卻步(Kim & Kim, 2016)；3D 列印(three-dimensional printing)使用低成本材料(Dombroski et al., 2014)，顯示 3D 列印鞋墊比傳統鞋墊更舒適(Xu, Wang, Ren, et al., 2019)。3D 列印適合應用於小量客製化需求，可以製作形狀與結構複雜的成品，能針對各種困難的情境做相應的設計與修飾(林靖文等人, 2021; Hsueh et al., 2024)。

由於受傷和疾病，可能會影響步態運動和姿勢，通常會導致步行速度和步長降低。通過分析步態的生物力學特徵，如速度、節奏、步長、站立或擺動時間，可以推斷步態是否受損(Verlekar et al., 2018)；足部疼痛是一個重要問題，因為它還會對日常活動、健



康和生活質量產生負面影響，並可能增加跌倒的風險(Bac et al., 2022)。

評估異常步態有助於評估疾病進展與治療效果，例如跌倒和身體認知衰退發展的有力工具(Cao & Morley, 2016; Hausdorff & Buchman, 2013);扁平足患者與脊柱退化(degenerative joint disease, DJD)和退化性關節炎(degenerative arthritis)的患病率顯著增加有關；扁平足患者的脊柱 DJD 風險程度比沒有扁平足的人更高(Chou et al., 2021)。矯形器鞋墊顯著降低了姿勢搖擺的中外側範圍和搖擺的區域，因此改善姿勢穩定性(Bateni et al., 2013)。調查足弓支撐鞋墊對足部類型的步態控制策略的影響，扁平足組的低足弓不穩定的足部結構，造成步態的壓力中心(center of pressure, COP)位移偏離，使用足弓支撐鞋墊時，減少腰部屈曲，這意味著足弓支撐鞋墊可以減少步態週期，膝與腰椎所需的活動度(Lin et al., 2019)。

足部疼痛是臨床上常見的下肢問題，客製鞋墊輔具為針對足部疼痛常用之治療方式，鞋墊可以重新分佈足底壓力；張育豪與劉麗華(2021)研究何種特徵之足部疼痛，病患能經由客製鞋墊輔具，得到較佳治療效果。客製鞋墊輔具可用於矯正足弓高度，以緩解疼痛，重新分配關節中的力傳遞模式，以避免進一步損傷足部組織；然而，矯形鞋墊對足部組織，如韌帶和關節有影響，病人常反映穿著矯形鞋墊比不穿更痛苦(Su et al., 2017)；鞋墊的剛度也是對扁平足影響的因素之一，鞋墊材料的可壓縮性，對於前足和後足生物力學的影響不同；內側足弓支撐矽膠鞋墊，增加第一跖骨高度，增加距舟骨的覆蓋面積，改變前足和中足約 45%的承重力(Vimal et al., 2022)。客製化扁平足鞋墊輔具

使用電腦輔助設計，搭配 3D 列印製造，更能滿足扁平足個案需求，且較傳統製作方式省時(Davia-Aracil et al., 2018)。

研究目的為個別化設計發展 3D 列印鞋墊，並探討扁平足的個案功能性行走表現；包含行走速度與平衡表現。

## 貳、文獻探討

探討扁平足病因與機制、判別方式、處理與平衡能力。

### 一、扁平足病因與機制

扁平足是下肢常見的問題，(1)兒童扁平足可能與神經肌肉疾病、鬆弛綜合特徵和許多其他原因有關；(2)功能性扁平足特徵是骨骼成熟後，出現內側足弓部分或完全變平；(3)功能性扁平足的原因可能有脛後肌腱退化、創傷、神經關節病、神經肌肉疾病和炎症性關節炎等(Flores et al., 2019)。

扁平足和正常腳相比，存在許多動力學和運動學變化(Levinger, 2010)。此外，扁平足距下關節外翻，會導致弱內側縱弓，使得接觸面積高於正常足部(Kim & Kim, 2016)；但是與正常足的個體相比，扁平足個案表現出較差的靜態和動態平衡(Tsai et al., 2006)；由於足部的結構和功能改變，以及無法吸收外力(Kim & Kim, 2016)，異常的足部結構會導致肌梭和肌腱額外的壓力，從而造成足部的本體感覺回饋受損(Tsai et al., 2006)，加上低內側縱弓導致的異常腰椎弧度改變壓力中心可能導致平衡不良(Borges et al., 2013)。

### 二、扁平足的判別方式

判別扁平足最常見的是使用 X 射線，顯示生理姿勢下，體重分布狀況的圖像，X 射線有助於量化畸形程度，臨床上累積放射學



參數來客觀地量化足弓(Gould, 1982)，其他更昂貴複雜的成像方式，如電腦斷層掃描(computer tomography, CT)，其最大用途是排除扁平足的病因，如跗骨聯合。對於成人後天扁平足，核磁共振造影(magnetic resonance imaging, MRI)優於 CT，因為它可以更好地顯示軟組織結構，因此它有更高的機會準確診斷(Rosenberg, 1994)。

三維(three dimension, 3D)動作捕捉系統—牛津足模型與 3D 運動捕捉分析系統，通過附在腳背上的同步相機的反射標記，以檢測足段的軌跡，可用於評估足部類型和足部動態；由於高可靠性 3D 動作捕捉系統，在生物力學領域的應用越來越廣泛，臨床測量如舟狀骨下沉測驗(Navicular Drop Test)及足部姿勢指數(foot posture index-6, FPI-6)等(Wright et al., 2011)，如圖 1；與其他傳統技術相比，舟狀骨下沉測驗相對更可靠；FPI-

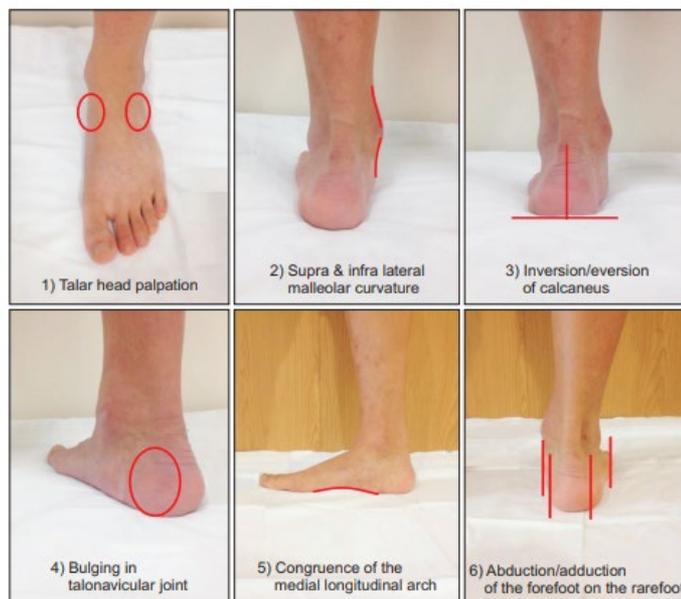
6 還具有出色的評分者內部可靠性(Kirmizi et al., 2020)。

### 三、扁平足的處理

對於學齡階段學生扁平足問題的判別與轉介處遇機制，可分為先天因素與後天因素。先天因素涵蓋先天性跗骨黏合或附生舟狀骨、先天性韌帶鬆弛、遺傳因素；後天因素包含足部太早承重、肌肉韌帶無力、發展遲緩或其他之骨骼神經病變、錯誤姿勢、肥胖或懷孕。若是先天因素原因所造成，建議處理方式有手術或是特製鞋墊輔助支撐；如果是後天因素造成，可轉介醫療院所，諮詢物理治療師協助，其腳的運動訓練使增加足底肌肉力量，或是更改錯誤姿勢，以矯正扁平足原因（陳宗榮等人，2023；Harutaichun et al., 2021）。

在急性情況下，通常結合使用拱形膠帶和腳踝支撐，並搭配緩解疼痛的藥物；支撐、

圖 1  
足部姿勢指數



疼痛緩解、足底壓力分佈的改變，會因膠帶的類型而異，透過增加來自患者本身下肢的本體感覺回饋，來糾正扁平足步態，但是這是急性期暫時的處理方式(Lee et al., 2015)。足部運動與足底內在肌肉訓練以及足弓的支撐息息相關，其中內側縱弓是由脛骨前肌、脛骨後肌、腓骨長肌、脛後肌腱，和足部固有肌肉，包括拇外展肌(abductor hallucis)、屈拇短肌(flexor hallucis brevis)、屈趾短肌(digitorum brevis)和骨間肌(interosseous muscles)支撐；在單腿站立期，拇趾外展肌、腓腸肌內側、脛骨前肌和股內側肌的肌肉活動減少。

由於拇外展肌作為內側縱弓的動態穩定器，該肌肉的較低活動可導致較低的生物力學能力、外力吸收不良和姿勢不穩，從而導致損傷；此外足部的異常排列會導致足部內在肌肉（拇外展肌、拇短屈肌、屈肌趾短肌和骨間肌）的肌肉骨骼功能障礙，和過度使用損傷；臨床上建議透過足部鍛鍊來加強內在足部肌肉，有助於治療扁平足；故透過上述這些練習，可以改變足底壓力分佈，從而減輕疼痛(Mulligan & Cook, 2013)。鞋墊可作為扁平足患者的臨時緩解措施；鞋墊能改善足弓和維持個體的平衡，可能降低扁平足的局部峰值壓力(Takata et al., 2013)；手術治療適用於扁平足嚴重程度、症狀或併發症進行性進展的個體，可顯著改善足部的結構和功能，並防止畸形進展(Deland, 2008)。

#### 四、扁平足的平衡能力

平衡被定義為透過重心的定位，在支撐的基礎上保持穩定的能力。平衡是影響運動表現的重要運動技能；保持平衡在跑步、跳躍和踢腿等許多運動中，發揮關鍵而重要的作用；由於平衡受前庭、視覺和本體感覺等

生理因素影響，它也可能受到肌肉力量與控制，造成諸如扁平足、直肌足、高弓足的影響；扁平足是年輕人最常見的肌肉骨骼異常之一，會導致走路、跑步和跳躍時疼痛和困難；患有扁平足的運動員，在腳踝和足部相關的複合運動中，控制足部運動的能力較差，這可能導致平衡和跳躍表現不佳(Şahin et al., 2022)。平衡使個人能夠實現身體運動並進一步開展日常生活活動；平衡可分為靜態或動態，在靜態平衡中，身體的重心保持在支撐底部；在動態平衡中，重心在運動時保持在底座支撐內；由於平衡涉及多個身體系統的技能，包括肌肉骨骼、認知和本體感覺，它可能會繼發於多種疾病(Miranda & Tiu, 2023)。

#### 五、3D 列印原理

3D 列印成型的過程包含三個步驟，分別是：(1)利用 3D 軟體建模，一般輸出為 STL 檔案；(2)經由切片軟體將 STL 檔轉為 Gcode 檔；(3)將 Gcode 檔輸入印表機開始印製（許立涵等人，2017）。首先，使用者先透過電腦輔助設計軟體(computer aided design, CAD)來進行產品設計，做出 3D 模型圖檔。電腦輔助設計軟體繪製出 3D 繪圖成品，如 AutoCAD、Tinkercad，也有容易取用、免費或者是較易上手的 3D 製圖軟體如 SketchUp、DesignSpark 等，利用 3D 掃描儀，對實體物品進行掃描，取得數位化的 3D 模型圖檔；各種繪圖軟體都有自己的檔案格式，但目前最通用的 3D 模型圖檔格式，是前述由 3D Systems 開發的 STL 檔案格式；再來，使用者以專用的切片軟體，將 3D 模型的 STL 圖檔進行分析切層，並轉換成 Gcode，即數值控制(numerical control, NC)機械所使用的指令，指令碼裡頭包含每一層截面的 XY 座標、



機器印製速度、每層面 Z 軸的高度、填充密度、溫度以及其他各種相關控制資訊等。最後，將 Gcode 直接輸出給 3D 列印機執行列印，即可期待物件成型（林鼎勝，2014）。

3D 列印技術起源於快速成型技術(rapid prototyping, RP)，快速成型技術是一種嶄新的原型製造技術。自 2012 年開始，3D 列印技術漸成爲新聞媒體及商業報導的熱門議題，並且 2012 年也被許多人認爲是 3D 列印元年，但其實 3D 列印技術自 80 年代中期即開始發展起來。隨著成型技術專利相繼出現，許多公司都投入資金於 3D 列印技術領域，因此 3D 列印開始蓬勃發展。3D 列印原是指美國麻省理工學院所開發出來的一種專利製程的名稱，爲積層製造法(additive manufacturing)的泛稱。在 1980 年代開始發展，主要應用在製造工件之模型，但隨著電腦科技的日新月異，使得 3D 列印的精度與結構強度不斷提升，進而有更廣泛應用。目前 3D 列印的精密度約可達 100 $\mu$ m，少數機型精密度可達 10  $\mu$ m 以下。3D 列印與傳統製造方式比較後的優點如下：(1)在結構設計上有較高的自由度：可直接列印複雜的結構，不需考量切削或脫模等問題。(2)客製化產品的製造時程迅速：客製化產品依其精密度及大小設定會影響其製造時程，目前 3D 成像與成型技術專題約數分鐘至數天可完成。而加法製造則不會浪費材料，投入的物料與最後成形的產品是相等的，而且只要能畫得出 3D 圖形，通常都能印製成型。雖然加法製造會因製程或良率的問題，有材料耗損的可能，但設計師比較不必遷就傳統工法限制，不開模即能製造產品，較能充分落實原始設計理念，對研發與創意實踐有助益（林世健，2013；劉佳惠，2013）。

## 六、3D 列印之通用設計與應用

3D 列印採用積層製造的技術，可以應用於快速原型(rapid prototyping)與快速製造(rapid manufacturing)，其特性特別適合應用於小量客製化的需求。3D 列印的技術能夠使用多種塑膠材質，金屬材質，甚至是生物材質，其解析度與精確度足以應付目前臨床使用的要求，並且可以製作形狀與結構複雜的成品，能針對各種困難的情境做出相應的設計與修飾。在足踝外科的領域，疾病與症狀的發生都與個人的下肢 3D 解剖構造及其生物力學功能息息相關，因此特別需要 3D 的技術來對患者做個別的評估並提供個人化的治療。3D 列印技術產業發展趨勢，3D 列印技術應用於航太工業，應用於汽車產業，豐田汽車與 Materialise 共同設計的汽車座椅，使得汽車座椅的重量變更輕，舒適感提升。3D 列印技術應用於電子資訊產業、生物醫學、醫療產業與實際案例，隨著科技在醫療產業的進步，爲客人量身打造出的助聽器，利用 3D 掃描的儀器取得病患的 3D 資訊用在診斷與分析上，而且輔助設備也能夠進行手術模擬。

## 七、傳統鞋墊與 3D 列印鞋墊之比較

傳統的鞋墊與矯具的製作方式，須以石膏材料製作足踝局部的陽模、翻製成陰模，治療師再據以製作患者所需的輔具。製作過程的步驟，都需要耗費相當的人力與時間，一般需要二至四週的製作時間，難提供患者即時協助。同時，治療成效相當依賴治療師個人的經驗與手藝、存在重現性不佳的問題。傳統矯正鞋墊可以緩解大多數扁平足患者的癥狀並延緩疾病的進展，但仍然存在侷限性：儘管由於足弓塌陷，但扁平足患者之間的足底壓力分佈，仍存在巨大差異，如果



矯形鞋墊不能很好地適應個體的足部特徵，其不規則的使用，可能損害下肢、或加重足部畸形。因此，根據扁平足患者的特性，定製骨科鞋墊，可以減少足弓塌陷，並改善足底壓力分佈(Lee et al., 2014)；足部掃描器在矯形器和定製鞋類設計和製造中的作用已經確立，與傳統鑄造技術相比，它提供了時間和成本優勢，以換取更大的初始支出。由足部 3D 掃描設計的足部矯形器，至少可以與通過傳統方法製成的矯形器相媲美，特別是在人體測量方面。3D 掃描器可以快速輕鬆地掃描大量受試者，並在研究人員方便的時候使用數據進行分析，使用 3D 掃描技術來更好地瞭解不同負載條件下腳的形狀變化(Telfer & Woodburn, 2010)。

3D 列印矯形器可以有效改善生物力學和運動學參數，其效果與傳統矯形器相似。此外，研究參與者在佩戴 3D 列印矯形器時感覺很舒服。此外，在一些研究中，3D 列印矯形器的有效性，和佩戴時的舒適度優於傳統矯形器，3D 列印矯形器在滿意度、腕部痠攣、腕手功能、步態參數、足弓高度指數、足底壓力和關節活動度(range of motion, ROM)評估參數顯示出更好或相似的結果，患者對 3D 列印矯形器的滿意度，也比傳統矯形器來的好，3D 列印矯形器的效果；與傳統矯形器相比，3D 列印矯形器經久耐用，在生物力學參數、運動學參數和舒適性評估方面表現出相似或優越的結果；3D 列印矯形器有在臨床實踐中取代傳統矯形器的潛力(Choo et al., 2020)。

#### 八、3D 列印鞋墊

3D 列印技術能夠製作多種塑膠材質與金屬材質的成品，3D 列印製程適用於客製化小量製作成品，解析度與精細度足以提供

應用在多樣化的臨床需求，再加上 3D 列印可製作成形狀複雜結構化成品，3D 列印的鞋墊在支撐足弓方面，更有效地減少足弓高度下降(Ho et al., 2022)。

本研究採用 3D 列印機種 CREALITY 創想三維 CR-10 系列，列印線材維維 Botfeeder 廠牌所生產的聚乳酸 (Polylactic acid 或 Polylactide，簡稱 PLA) 線材線徑 1.75mm，依據 3D scanner APP 將實體物品掃描成 3D 列印模型圖，藉由平板電腦與 3D 列印掃描器作連接的方式，後藉由電子郵件的方式可儲存掃描圖片，然後修改並列印出個別化鞋墊。

本研究使用 3/4 長度的預製 3D 列印踝足支架(ankle foot orthoses, AFO)，分配給 15 名足部姿勢正常的健康參與者，3D 列印的 AFO 剛度和額外組件，對步態期間足部運動學和足底壓力的影響。當增加 AFO 剛度時，在額平面和橫向平面，足部運動學中發現顯著差異。增加的剛度也與更高的峰值壓力有關。此外，創新的額外組件，被證明可以增強 AFO 對足部運動學的影響(Desmyttere et al., 2020)。

PLA 製造的 3D 列印實驗性足輔具(foot orthoses, FO)，是通過將仰角定向為 45°來製造的，因為這個方向產生了最強的 FO，而此方向鞋墊可以保持足部形狀。這會使 COP 路徑向中線移動。在鞋子 +FO 條件下，與鞋子條件相比，3D 列印的 FO 將 COP 的路徑平均向內側移動(Lin et al., 2019)。

#### 九、步態與評估方式

步態是功能獨立的關鍵之一。長期以來，步行被認為是一種自動涉及最少高級認知輸入的過程。事實上，如果沒有移動四肢的肌肉和調節肌肉及涉及最少的高級認知



輸入，步行就不會發生。然而，越來越多的文獻表明，步行可以被視為一種認知過程，需要更高的認知控制，尤其是在具有挑戰性的步行條件下，需要執行功能和注意力。已經確定了兩個主要的運動途徑，涉及多個控制姿勢和步態的大腦區域：認知運動控制的背側通路和情緒運動控制的腹側通路。這些途徑可能在不同的情況下受到明顯影響對康復和治療有重要影響的病理。步態的臨床評估應該是一個專注、簡單且具有成本效益的過程，提供可量化和定性的性能信息 (Mirelman et al, 2018)。

運動步態分析已成為一種可行的評估工具，不僅用於體育科學生物力學研究，而且發展成為臨床診斷、監測功能恢復和肌肉骨骼復健的有價值的工具，是腦性麻痺等神經系統疾病中不可或缺的一部分；在足部手術、骨科技術或下肢截肢後的患者中，可以更客觀化和量化步態和運動障礙的個別化原因，以優化特定患者的治療。目前依靠可用的測量系統在日常生活中，簡單地監測日常生理的活動，並用於評估提供臨床和科學治療方法的量化參數依據；在運動分析時，包括無標記運動儀、基於標記的分析、足浴成像和可穿戴感測器等，都呈現出應用的潛在價值 (Klöpper-Krämer et al., 2020)。

#### 十、平衡能力與評估方式

平衡的維持來自於整合前庭、視覺和體感輸入，以引導適當的神經肌肉反應；當測量地面反作用力和力矩時，通常通過讓受試者站在測力平台上，來量化姿勢控制；COP 偏移，是根據地面反作用力計算的；COP 的瞬間位置和偏移，提供了安靜站立期間，姿勢控制的指示；而具有高幅度或高速度 COP 偏移的個體，被認為具有受損的姿勢控制；

在單腿站立期間，直立姿勢的控制，主要是通過踝關節的矯正運動來實現；受試者使用視覺、前庭和體感資訊，來計劃和執行運動指令以保持平衡；前庭系統快速感知頭部運動和方向的線性和角度變化，該系統的主要功能是：(1)當頭部相對於身體移動時穩定凝視；(2)有助於穩定視網膜上的視覺圖像以穩定頭部運動；(3)提供自我的運動感；(4)啟動和調節姿勢反射，有助於維持垂直支撐和控制平衡，這些功能能通過控制前庭—眼球和前庭濾團反射眼球，和頸部運動的快速反射通路，和通過輸出到控制姿勢反射和垂直支撐的前庭核和網狀結構細胞核，以更長的潛伏期反應來實現 (MacKinnon, 2018)；雙側前庭系統的感測器官包含在內耳的前庭部分，每個前庭器官由前垂直、後垂直和水準或側導管三個相互正交的半規管、和橢圓囊和球囊兩個耳石器官組成，它們彼此垂直半規管，能感應頭部的角度運動，而耳石則感應線性加速度重力和平移運動；因為作用於腳踝複合體的肌肉，會收縮以努力控制穩定的直立姿勢，因此地面反作用力的變化會導致 COP 在支撐底部內遷移 (Guskiewicz, 1996)；視覺、前庭和軀體感覺系統的感覺反饋，為神經系統提供資訊，用於建立身體的方向和運動、及其與外部環境的關係的內部模式 (Bronstein, 2016)。

在年輕人的足弓高度與靜態平衡表現的研究，Hertel 等人 (2002) 認為單腳站立的平衡測試，是一種客觀測量姿勢穩定平衡控制的方式，且不同足部型態的足弓高度，會影響到單腳站立時的穩定性，使維持靜態平衡受影響；扁平足的步態在足著地負荷期需較大膝關節活動度；在著地中期產生較大足底壓力重心偏離角度，並且在著地中期及抬



腳離地期，足底重心位移的速度較慢，扁平足的足底壓力分佈顯示(蔡永裕等人, 2018)在第 4-5 跖骨頭和足跟區均低於正常組，且 COP 路徑在前足中具有直線的趨勢(Han et al., 2011)。足部姿勢組間的最大差異，無論是在顯著的事後比較的數量上，還是在影響的大小上，都是在扁平足和高弓足間，主要是在前足的外側和內側區域。扁平足在第 4 和第 5 跖趾關節顯示出較低的峰值壓力，以及壓力時間和力時間積值(Hillstrom et al., 2013)。正常足和扁平足相比，高弓足在足跟和前足外側表現出更高的壓力，而在足中部和拇趾表現出較低的壓力、力和接觸面積，扁平組第 4 跖趾關節和外側足跟的峰值壓力較低，第 2 腳趾的峰值壓力較高，扁平組第 1 跖趾關節的最大受力較低，第 2 腳趾的最大受力較高，扁平組第 2 跖趾關節和第 2 腳趾的接觸面積更大(Buldt et al., 2018)。

#### (一) 單腳站力測試

單腳站力測試是一種常用的跌倒風險篩查工具，評估其預後能力。該研究的目的是評估單腳平衡表現，以及在預測跌倒方面的預後準確性，並確定最佳切點，以便對風險較高的人進行分類。將單腳平衡表現與自我報告的跌倒歷史測量值相結合，表明跌倒史可能是一種可靠的篩查選項，可用於識別需要採取干預措施，以避免跌倒的人(Blodgett et al., 2023)。

#### (二) 平衡的量測工具—計時起立行走測驗

計時起立行走測驗(Time up and go, TUG)是快速且廣泛使用的基於時間性能的移動性測量。TUG 已被廣泛研究在老年人中，並被推薦為簡單的篩選跌倒風險測試，分數高於 14.9 秒，表示跌倒風險增加(Shumway-Cook et al., 2000)。

### 十一、步態評估方式

步態評估需要更詳細和客觀的分析，3D 運動分析系統用於提供準確和全面的動態範圍關節運動學、運動的力和力矩動力學及肌肉活動模式的評估，同時應用步行肌電圖(electromyography, EMG)；動作捕捉系統可以提供對空間運動的量化評估，和時間以及步態模式障礙的評估和使用的補償，幫助評估損傷(Wren et al., 2011)；也有嵌入傳感器的鞋墊，插入在受試者的鞋子中提供量化的數據(Oerbekke et al., 2017)；步態分析則是使用包括慣性測量的無線、身體固定傳感器(Bronkhorst flow sensor, BFS)，以提供加速度衍生的步態測量，這些 BFS 很小，可輕鬆連接的輕便便攜式設備到受試者的腳踝、臀部、手腕、胸骨或下背部，並且不干擾受試者的自然行走運動；運動可以從多個肢體或軸向裝置，或使用器械將加速度計與陀螺儀和磁力計相結合，可以對步態進行更全面和複雜的評估。這些傳感器可以測量長距離的不同步態特徵，允許評估跨步節律變化(Hausdorff & Buchman, 2013)。

### 參、研究方法

本研究針對扁平足，進行 12 週功能性動作訓練課程，搭配 3D 列印製作成的扁平足鞋墊，探討扁平足個案個案運用 3D 列印方式，製作出不同足弓高度的鞋墊，比較不同高度足弓鞋墊介入效果如何，探討對於扁平足個案運用 3D 列印製做出的鞋墊功能表現。本研究已通過倫理審查編號 202211HM006。本研究的個別化 3D 列印製作的鞋墊，形成 3D 列印鞋墊步驟包括：掃描測量研究參與者足模、3D 列印繪畫軟體



設計個別化鞋墊、轉檔輸至 3D 列印機列印鞋墊、研究參與者試穿與調整、美化鞋墊成品。

本研究針對 3D 列印及一般鞋墊相關參數資料，評估 3D 列印技術之個別化發展；將兩組研究參與者在使用 3D 列印與一般鞋墊的動作表現，紙筆紀錄於「伯格平衡量表」、「計時起立行走測驗」上，並使用足底壓力量測系統(footscan pressure measurement systems)分析數據。

### 一、3D 列印鞋墊製作流程

本研究 3D 列印成品設計皆由研究者完成，在實驗研究階段，邀請參與者於實驗室進行足弓測量，包含型號、照片，足弓測量取模軟體會置放一張照片、取模；透過繪圖軟體繪製足弓鞋墊，此階段所需時間約 30 至 40 分鐘，之後再依個別化設計做調整，步驟如圖 2。

教學者、研究者：第一作者即為教學者也為評量者，為物理治療學系畢業且取得國家證照之物理治療師，具備工作 6 年的經歷，在設計運動方案時，確保內容之內在效度。

#### (一) 實施評量時間

12 週，前測與後測共兩次，每次約 50 分鐘。

#### (二) 施測情境

實驗進行階段採用固定的流程，固定的設備擺置、評估資料器材收集方式皆一致。

## 二、研究對象募集篩選

本研究對象採取方式為立意取樣，參與者以扁平足個案，本人有意願參與本研究，且得到家長同意者，為本研究參與者，其篩選、排除標準及相關背景如下。

### (一) 研究參與者篩選條件

1. FPI 姿勢評估分數達 6 分以上；
2. 扁平足個案年齡需滿 18 歲；
3. 認知功能正常，可配合指導語；
4. 僅使用鞋墊，無使用其它行動輔具。

### (二) 研究參與者排除條件

1. 認知功能受損，無法配合指令；
2. 無法行走的個案；
3. 懷孕；
4. 6 個月內有穿矯正鞋墊；
5. 6 個月有手術治療、下肢傷害、感染性併發症；
6. 風濕性關節炎；
7. 神經、肌肉、骨骼、血液循環系統疾病。

## 三、研究工具

本研究的工具，包括施測所需場地硬體設備，3D 列印機與線材、3D 列印繪圖軟體、及篩選所使用的評估工具：

### (一) 3D 列印機與線材

所使用 3D 列印機種 CREALITY 創想三維 CR-10 系列，是能做出較大尺寸的機種，可印製範圍長 300mm x 寬 300mm x 高 400mm 印製特定鞋墊，所以可以設計的鞋墊

圖 2

3D 列印鞋墊步驟圖



為此範圍內；列印線材為 Botfeeder 廠牌所生產的聚乳酸線材(PLA)線徑 1.75mm。本研究選用 PLA 而非其他材質的理由，乃是因為 PLA 材料的強度相對合適，已經被普及用來做各種手部輔具或者是足部輔具的材料使用；且列印後之成品，若列印外型略有偏差，可以利用熱水或吹風機局部加熱軟化，再重新徒手塑型；此外價格便宜，列印成功率相當高。而丙烯腈、丁二烯、苯乙烯共聚物(Acrylonitrile butadiene styrene, ABS)相對於 PLA 材料適合使用，但它的問題是在列印的時候，會釋放出微小毒性的苯乙烯氣體；此外容易受溫差的影響，造成物件的週圍會翹起來，不容易附著底板，列印失敗率要比 PLA 高。碳纖維(carbon)及木質(wooden)是在市面上較不普及的材料，採購不容易，而且列印的成功率也較低。尼龍(Nylon)和熱可塑彈性體(thermoplastic elastomer, TPE)是軟性材料，無法支撐扁平足的足弓下陷。

## (二) 行動 3D 掃描器

Structure Sensor 3D 掃描鏡頭，支援 iPad 行動裝置。透過 Structure Sensor Bracket 專用固定架，將 Structure Sensor 裝到 iPad 上，接上 Lightning 連線器，經由原廠開發的 App 進行軟體分析，即可輕鬆快速的建立物件或空間的 3D 座標，大小 119.2mm x 27.9mm x 29mm，重量僅 99.2 公克，應用程序即可將室內構造圖複製出來。

## (三) 3D 列印相關軟體

### 1. 3D scanner APP

3D scanner APP 是一款免費的手機軟體，可將實體物品掃描成 3D 列印模型圖，但需要藉由平板電腦與 3D 列印掃描器連接

的方式，藉由電子郵件的方式可儲存掃描圖片。

### 2. Design Spark Mechanical

Design Spark Mechanical (圖 3、圖 4) 是一款免費的 3D 電腦輔助設計實體建模軟體應用程序，使用戶能夠在 3D 環境中進行實體建模，並創建文件以供 3D 列印機使用。使用直接建模方法，以「直接建模」技術為基礎，使用者可以透過功能強大，且直覺化手勢操作建模技術來建立幾何模型；工程師和參與產品開發的其他人員，只需要幾分鐘時間就能完全掌握此軟體，不像傳統 3D CAD 工具需要花上數週或數月時間，才能變得熟練；還能以業界標準的 STL 格式匯出設計，輕鬆就能在 3D 印表機上列印成品，能更加速概念成形和產品設計的原型製作。

### 3. Ultimaker Cura

Ultimaker Cura 電腦輔助設計實體建模軟體可為 3D 列印準備模型 (圖 5)；經過最佳化和專業認證的系統與 3D 列印的耗材，可以立即列印；透過工業標準整合軟體，簡化作業流程以提高工作效率；Ultimaker Cura 是 3D 列印機、軟體與耗材間的橋梁，可以每次獲得列印結果；在跨平台開放原始碼軟體、免費或是使用自訂模式的設定；可以自訂超過 300 種參數，達到最大程度的控制，專家與實際設定檔案會進行雙重檢查，使硬體和材料設定簡單又快速，可獲得可靠且專業的結果，且系統支援 STL、OBJ、X3D 和 3MF 檔案格式。

## (四) 篩選所使用的評估工具

篩選所使用的評估工具包含足底壓力量測系統、單腳站立測試(one leg stand test)、計時起立行走測驗(timed up and go test,



圖 3

電腦輔助設計實體建模軟體

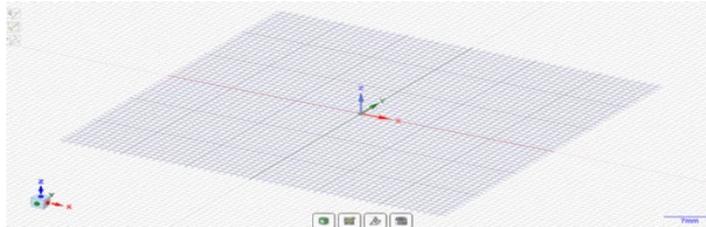


圖 4

電腦輔助設計實體建模軟體繪製出模型的厚度

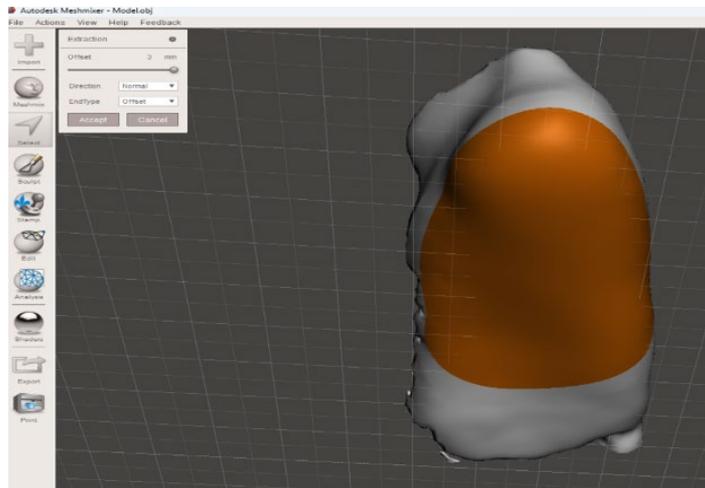
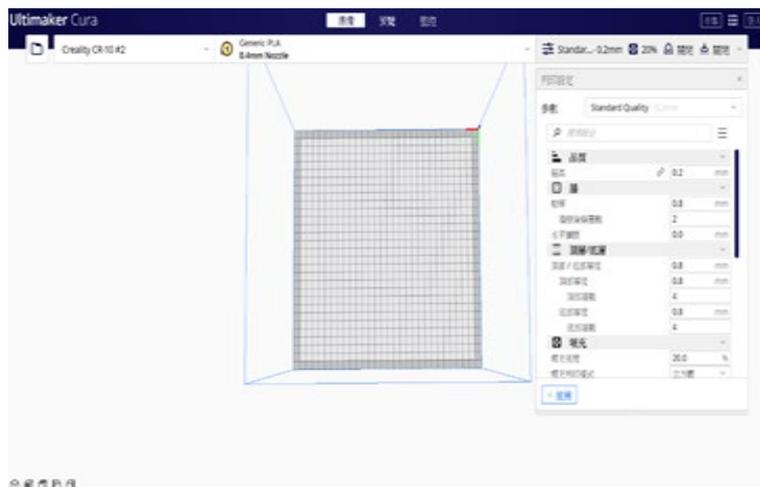


圖 5

電腦輔助設計實體建模軟體 (Ultimaker Cura) 的操作介面



TUGT)以及足部姿勢指數(foot postural index, FPI)。

### 1. 足底壓力測量系統

採用 RS Scan Lab 公司產出 0.5 公尺足部掃描系統(The high speed 0.5m Hi-End -footscan system 500Hz)，用以量測動態足底壓力分部(foot pressure distribution)與壓力中心座標與壓力中心前進(center of pressure-progression)路徑等。硬體包括資料擷取整合器及 0.5 公尺壓力板，介面設計可以整合多種量測系統，包括力板、肌電儀與動作分析系統等。資料擷取頻率為每秒鐘 500Hz，能高速掃描足底、足跟、足內、足趾各處的壓力分佈，並記錄足底壓力中心的動態變化(Chiu et al., 2013)。足壓測量是一種用於評估足部病理的臨床工具，在製定患者的介入計劃時已被視為不可或缺的組成部分。Footscan®平台系統常用於研究和臨床環境，因此確定該系統的可重複性並確定標準壓力值至關重要(Xu et al., 2017)。

### 2. 單腳站立測試

研究目的是根據垂直地面反作用力(ground reaction force, GRF)的閾值水平並考慮有和沒有扁平足的受試者的視覺狀況，調查站立時間和姿勢穩定性指數的差異。研究的結果顯示除了視覺條件外，GRF 閾值設置，可以改變足部壓力變化對扁平足受試者姿勢穩定性的影響。在單腳站 30 秒其扁平足秒約 23,76 秒(Abd-Eltawab et al., 2023)。

### 3. 計時起立行走

近年來，隨著健康觀念提昇，對病人的治療觀念逐漸由降低機能損傷轉為促進功能提昇，因此能夠評估功能限制程度的測試工具，如計時起立行走測驗，亦愈趨普遍；計時起立行走測驗，主要是量測受試者從一

張有扶手的座椅上站起、向前走一段 3 公尺的距離、轉身走回來再坐回座椅所需的時間；測驗設計之初是用來檢查老年人之功能活動(functional mobility)，與功能性的評估量表如柏格式平衡量表(Berg Balance Scale)與走路速度有相當高的相關性，因此有學者將此測驗分類於 Nagi 之失能模式中的功能限制層次的測驗。計時起走測驗的前身是「起走測驗(Get-Up and Go Test, GUGT)」，由 Mathias 等人(1986)發展出來的測驗。基於平衡能力是老年人的重要日常生活能力，缺乏這項能力使老年人容易跌倒而產生許多日常生活的問題，再加上許多脆弱的老年人常是在從座椅上站起、走路、轉彎或要坐回座椅等基本活動技巧時發生跌倒，因此 Mathias 等人便將這些活動結合，發展出一套簡單、容易施行的測驗，以檢查老年人日常生活所需的平衡、步行等功能活動的能力(李曉惠等人，2002)。

TUG 應用在臨床步態評估，可提供快速解決方案，但 TUG 不是識別跌倒者的準確測試，對於功能相對較高的成人，扁平足畸形會導致體力活動惡化(Schoene et al., 2013)，因為 TUG 時間與距骨第 1 蹠骨角相關性較強，應從後足中部畸形／破壞的早期階段考慮佩戴足弓支撐鞋墊作為預防措施。還應推薦扁平足的短足鍛煉，因為有助於提高腿部的動態平衡能力和保持內側縱弓(Kim & Kim, 2016)膝外翻畸形和扁平足畸形增加與 TUG 時間延長有關，扁平足畸形與身體活動的惡化有關，中後足關節破壞與 TUG 時間延長有關(Noguchi et al., 2021)。

### 4. 足部姿勢指數(FPI)

本研究的個別化，亦即個別的 3D 鞋墊設計主要是基於，揭示扁平足兒童 FPI 與其



他評估工具間相關性的研究，足底壓力測量或 FPI 單獨不足以診斷扁平足，但 FPI、放射線照相測量、和足底壓力間的相關性結果顯示 FPI 是評估兒童扁平足的有用工具。FPI 在站立狀態下進行評估，包括(1)距骨頭觸診；(2)外踝彎曲；(3)跟骨內翻、外翻；(4)距舟膨出；(5)距骨一致性醫學縱弓；(6)前足相對於後足的外展／內收。每個項目的評分範圍為 -2、-1、0、+1、+2 (0 表示中立，-2 表示明顯的旋後跡象，+2 表示明顯的旋前跡象)，並將所有分數相加。最終分數範圍為 -12 至 +12；正值越大表示腳內旋程度越嚴重(Lee et al., 2015)。

#### 肆、結果與討論

採用準實驗研究探討鞋墊對於扁平足平衡、及行走功能介入之成效，施測工具為足底壓力測量系統。研究過程中分別對實驗對象進行前、後測，共兩次施測，中間間隔 12 週，以無母數檢定 Kruskal-Wallis 獨立量表進行資料分析，藉以分別了解個別化 3D 列印鞋墊，對於受試者在平衡及行走功能之

影響。使用 Footscan 系統為了分析足部參數，軟件將足部分為 10 個區域：大腳趾(T1)、第 2-5 趾(T2-T5)、第 1 至第 5 跖骨 (M1、M2、M3、M4、和 M5)、內側腳跟(H1)、外側腳跟(H2)和中足(MF)。

主要數據收集點是第 1 週和第 12 週在 10 個區域 (圖 6) 測量的 3 個參數：峰值壓力、峰值接觸面積和峰值力。

#### 一、3D 列印鞋墊技術之個別化設計與發展

基本資料共有 18 人完成了測試，包含 11 名男性，7 名女性，參與者皆透過足姿勢指數評分  $\geq +6$ ，參與者年齡  $\geq 18$  歲，且無下肢部位的疼痛、影響步態，基本資料如表 1 說明。

##### (一) 足底壓力量測系統

圖 7 分別是左 ToE1、左 TOE2-5、左 Meta1、左 Meta2、左 Meta3、左 Meta4、左 Meta5、左 midfoot、左 Heel、左 Heel Lateral；這 10 個區域在未穿鞋墊前最大平均等級在左 Meta2，而最小的平均等級落在左 Heel Lateral；穿上鞋墊後經過幾個月，平均等級最大變成左 Heel Lateral，而最小平均等級落在左 Meta2，左腳的峰值接觸面積，會發現前後側的平均等級

圖 6

足部掃描系統繪製區分足部的 10 個區域

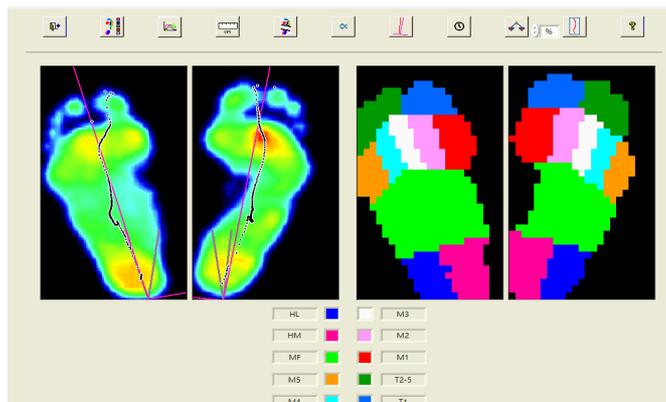


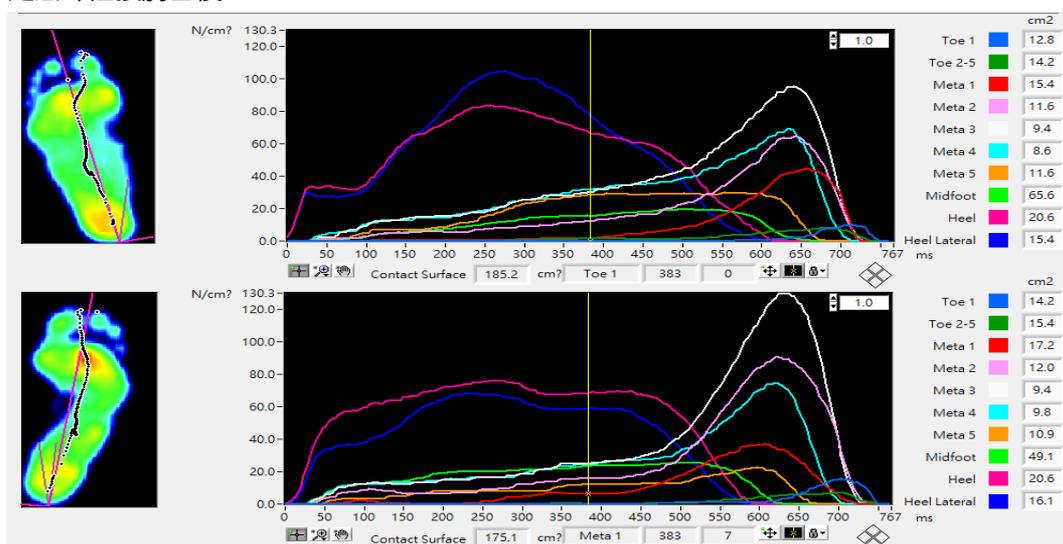
表 1

18 位個案的基本資料

敘述統計	N	最小值	最大值	平均值	標準差
年齡	18	21	72	29.56	11.32
身高	18	156.0	182.0	170.86	8.20
體重	18	48	85	68.89	13.11
足部姿勢評估(左)	18	6	12	9.00	2.45
足部姿勢評估(右)	18	6	12	9.28	1.97
TUG 秒數	18	7.58	14.20	9.67	1.51

圖 7

足底峰值接觸面積



會有落差，如 Toe1、Toe2-5、Meta1-3、Meta5、Midfoot 面積減少、而 heel 面積都為增加。

Bishop 等人(2018)針對足底筋膜炎，發現第一跖骨壓力降低的原因，是跖骨墊的使用和足弓支撐高度的提高；結果表明 3D 列印鞋墊更適合實際腳部狀況；在本研究中，足底筋膜炎的病變主要在後足；通過降低前足壓力，可以減輕後足負荷；而在上述分析

顯示鞋墊可提高足弓高度，進而減少中足的壓力。

表 2、表 3 是左腳 10 個區域之統計結果，這 10 個區域最大的值是左 TOE1 的 -1.82，而最小 Z 值是左 Meta3 的 .00，根據分析的結果，皆無統計上的顯著差異。

圖 8 至圖 17 分別是右 ToE1、右 TOE2-5、右 Meta1、右 Meta2、右 Meta3、右 Meta4、右 Meta5、右 Midfoot、右 Heel、右 Heel



表 2

使用足部掃描系統分析前、後組壓力(cm<sup>2</sup>)

左腳區域	N	組別前側	平均等級	等級總和	組別後側	平均等級	等級總和
左 TOE1	18	1	8.36	92.00	2	7.00	28.00
左 TOE2-5	18	1	10.11	91.00	2	7.75	62.00
左 Meta1	18	1	10.60	106.00	2	8.13	65.00
左 Meta2	18	1	11.27	124.00	2	6.71	47.00
左 Meta3	18	1	8.50	76.50	2	9.56	76.50
左 Meta4	18	1	9.06	81.50	2	9.94	89.50
左 Meta5	18	1	8.91	98.00	2	7.60	38.00
Midfoot	18	1	11.06	88.50	2	8.2	82.50
左 Heel	18	1	9.4	56.50	2	8.77	96.50
Heel Lateral	18	1	7.81	62.50	2	10.06	90.50

表 3

使用足部掃描系統分析左腳前、後組壓力之統計分析

左腳區域	Z	漸近顯著性
左 TOE1	-1.82	.07
左 TOE2-5	-.69	.49
左 Meta1	-.89	.37
左 Meta2	-1.68	.09
左 Meta3	.00	1.00
左 Meta4	-.17	.86
左 Meta5	-1.55	.12
左 midfoot	-.13	.90
左 Heel	-.95	.34
左 Heel Lateral	-.66	.51

圖 8

右 Toe1 面積(cm<sup>2</sup>)

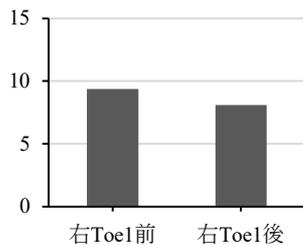


圖 9

右 TOE2-5 面積(cm<sup>2</sup>)

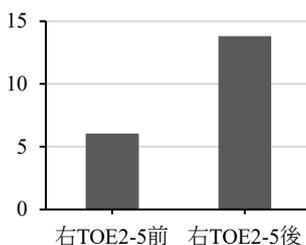


圖 10

右 Meta1 面積(cm<sup>2</sup>)

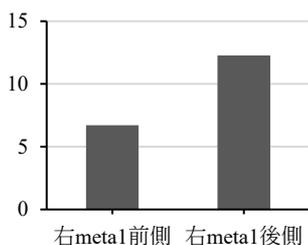


圖 11

右 Meta2 面積( $cm^2$ )

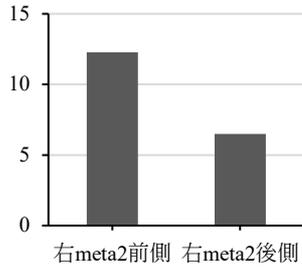


圖 12

右 Meta3 面積( $cm^2$ )

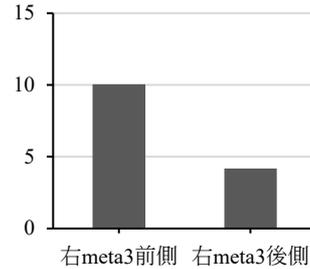


圖 13

右 Meta4 面積( $cm^2$ )

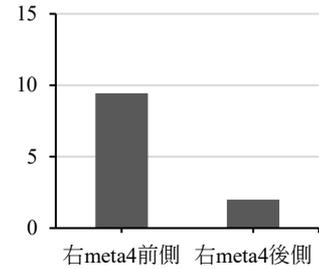


圖 14

右 Meta5 面積( $cm^2$ )

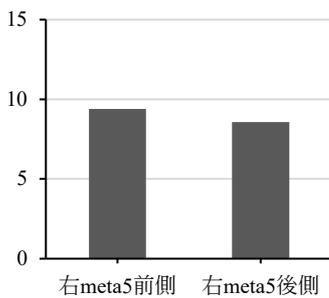


圖 15

右 Midfoot 面積( $cm^2$ )

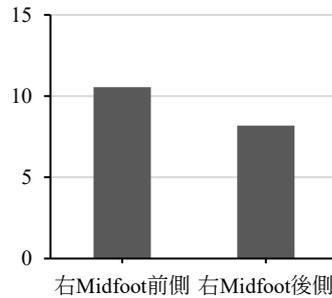


圖 16

右 Heel 面積( $cm^2$ )

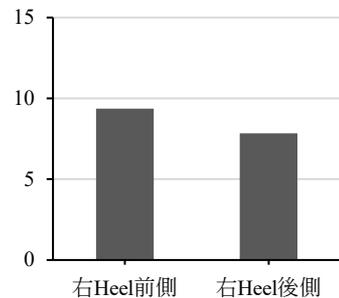
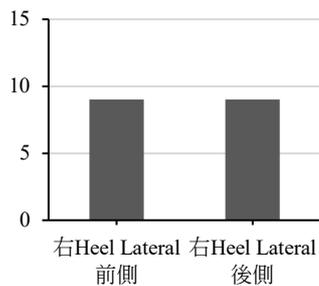


圖 17

Heel Lateral 面積( $cm^2$ )



Lateral，這 10 個區域在未穿鞋墊前，最大平均等級在右 Meta1 和右 Meta2，而最小的平均等級落在左右 TOE2-5，穿鞋墊後而右腳的峰值接觸面積，在右腳 Toe1、Meta2-5、Midfoot 面積都減少，且在右 Toe2-5、heel 面積增加；推論在走路壓力集中前足與後足變多，因腳底產生足弓減少了中足的面積，但在統計上未達顯著差異；唯獨在右 Meta2 ( $p < .02$ )、Meta3 ( $p < .00$ )、右 Meta4 ( $p < .00$ )，均達顯著差異。

Jin 等人(2019)提出在健康人群裡，足底區域的壓力分佈是平衡的，不需要額外的干預來改變壓力分佈；然而，對於扁平足患者來說，患者自身的足底壓力分佈，發生了變化，需要額外的干預，來改善足底壓力分佈；正常人穿著鞋墊的結果，可以用來表示鞋墊腳底壓力的變化；Xu、Wang、Ren 等人(2019)提出在足中部區域，與對照組相比，實驗組實驗前和第 8 週的峰值壓力顯著升高，表明定製鞋墊對患者足部負荷和改善關節畸形

有更好的效果；有症狀的扁平足，定製鞋墊比預製鞋墊效果更好。在組內比較，第 8 週時實驗組和對照組的接觸面積高於實驗前；足部鞋墊作用的主要機制之一是改變足中部壓力，本研究結果與之前的研究一致，即定製鞋墊比預先定制的鞋墊更好，與本研究相呼應，即中足面積改變一致；Xu、Wang、Ren 等人(2019)也提及跖骨區域，對照組與實驗組相比，第 3 跖骨區域的峰值壓力低於實驗組實驗前；這可能表明定製鞋墊，可以更有效地減輕足底跖骨區域的負荷；與預製鞋墊相比，跖骨區域的負載起始較低，與本研究一致(表 4)，皆有效降低第三趾骨區域峰值壓力。

表 5 是左腳 10 個區域之統計結果，這 10 個區域最大的值是左腳 Meta4 的 -3.313，而其最小 Z 值是左 Meta3 的 -.130，根據分析結果，在 Meta2 ( $p < .021$ )、Meta3 ( $p < .002$ )、右 Meta4 ( $p < .001$ )，均達顯著差異。Desmyttere 等人(2020)研究使用 3D 列印鞋

表 4

使用足部掃描系統繪製右腳壓力分佈圖( $cm^2$ )

右腳區域	N	組別前側	平均等級	等級總和	組別後側	平均等級	等級總和
右 TOE1	18	1	9.38	112.50	2	8.10	40.50
右 TOE2-5	18	1	6.05	60.50	2	13.80	110.50
右 Meta1	18	1	12.28	138.50	2	6.72	60.50
右 Meta2	18	1	12.28	110.50	2	6.50	32.50
右 Meta3	18	1	10.04	140.50	2	4.17	12.50
右 Meta4	18	1	9.43	132.00	2	2.00	4.00
右 Meta5	18	1	9.39	84.50	2	8.56	68.50
midfoot	18	1	10.55	105.50	2	8.19	65.50
右 Heel	18	1	9.36	65.50	2	7.83	70.50
Heel Lateral	18	1	9.00	99.00	2	9.00	54.00



表 5

## 使用足部掃描系統分析右腳前、後組壓力之統計分析

右腳區域	Z	漸近顯著性
右 TOE1	-1.71	.09
右 TOE2-5	-1.09	.28
右 Meta1	-1.09	.28
右 Meta2	-2.31	.02
右 Meta3	-3.03	.00
右 Meta4	-3.31	.00
右 Meta5	-.38	.71
右 midfoot	-.87	.38
右 Heel	-.13	.90
右 Heel Lateral	-1.07	.29

墊時，可改變後腳平面運動學，表示 3D 列印適型鞋墊，可有效支撐足部，防止內側縱弓變形，可更好地控制後足運動，特別是對導致足弓變平的變量。Jiang 等人(2021)提出 3D 列印鞋墊在成人行走過程中，步態週期的擺盪期後，腳後跟區域通常會頻繁承受地面的高衝擊壓力；顯示足底壓力較高的區域位於第二、第三跖骨以及腳後跟區域，使用專為成人扁平足設計的預製鞋墊，有助於分散壓力，使鞋底各區域的壓力更均勻合理；Xu、Wang、Ren 等人(2019)在跖骨區域，與對照組相比，實驗組第 3 跖骨區域的峰值壓力低於第 1 週；代表定製鞋墊可更有效地減輕足底跖骨區域的負荷；與預製鞋墊相比，跖骨區域的負載起始較低，使用跖骨墊可以減少第一跖骨的壓力，並增加足弓支撐高度；其和本研究如圖 11、圖 12、圖 13 一致相關，其壓力第二、第三跖骨、第四跖骨壓力下降，並且有統計上的顯著差異，分散扁平足壓力避免皆集中在中足上。

#### 1. 鞋墊前後足弓壓力分佈圖之分析－鞋墊穿戴時間最長為例

第一個受試者為長時間穿鞋墊，研究發現對於足弓改善效果較佳，且工作型態是需長時間走路，改變效果會越明顯，穿著鞋墊大於 8 小時的個案們，改善腳的壓力面積的效果越好，且如穿著時間短，且無須長時間走路的個案，改善效果較不佳，甚至無改變或變差，如圖 18、圖 19。

#### 2. 鞋墊前後足弓壓力分佈圖之分析－鞋墊穿戴時間最短為例

第二個受試者為工作時間約低於四小時，短時間工作者且工作型態不需長時間走路，此研究發現對於足弓改善效果較差，改變效果差，且如穿著時間短，且無須長時間走路的個案改善效果較不佳，甚至無改變，或變差，如圖 20、圖 21。



圖 18

尚未穿鞋墊前足弓

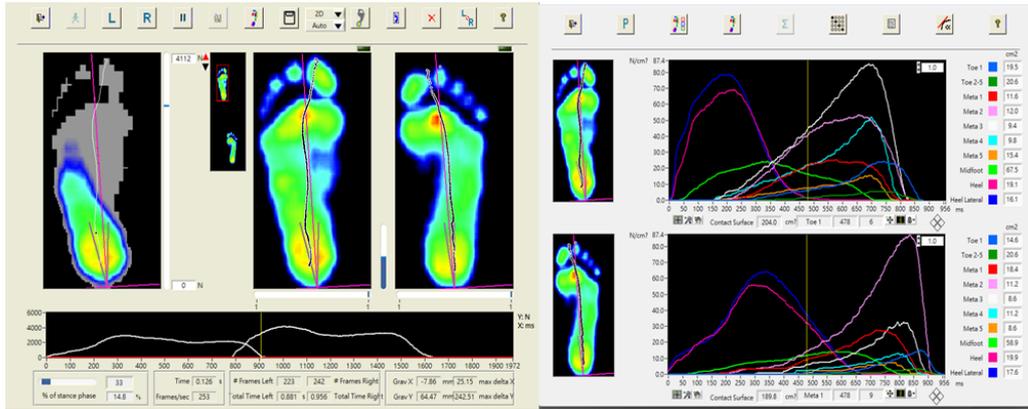


圖 19

已穿鞋墊後的足弓

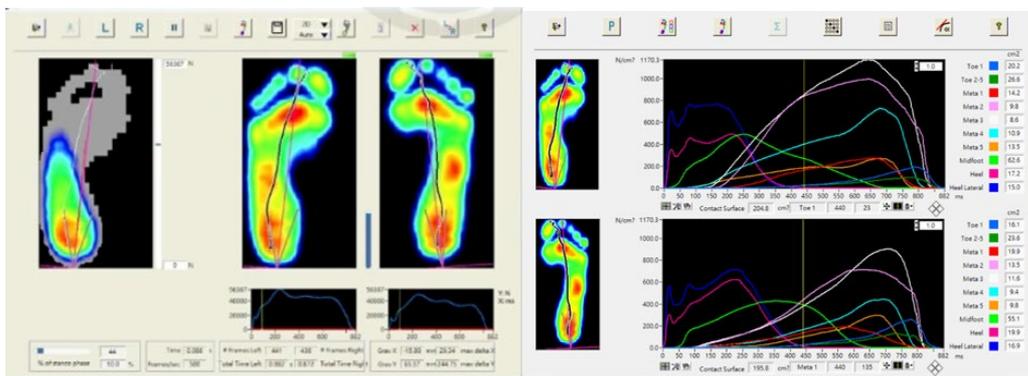


圖 20

尚未穿鞋墊前的足弓

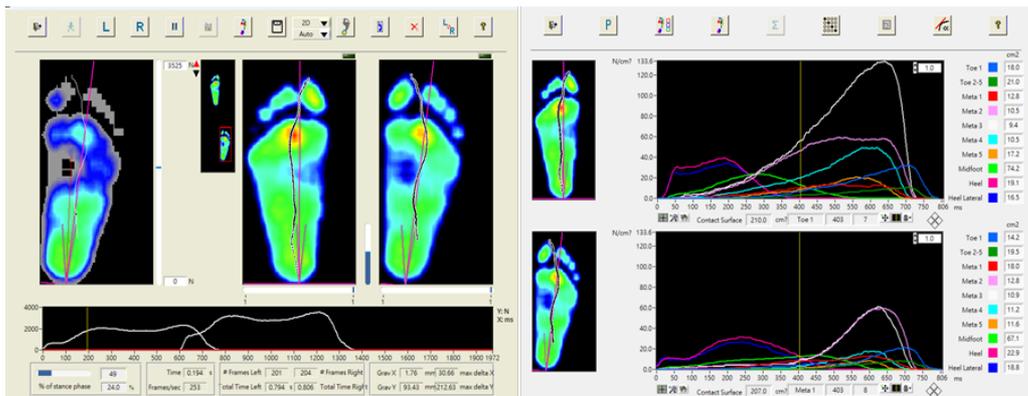
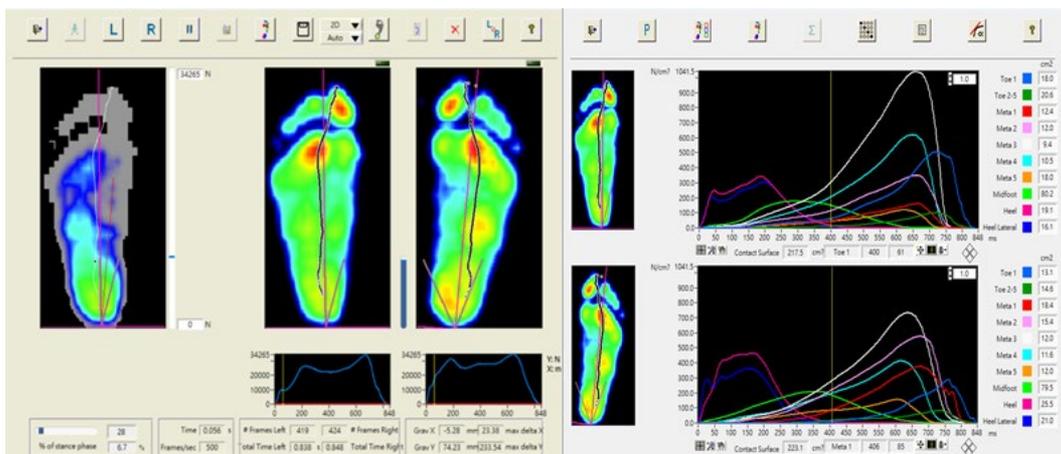


圖 21

## 已穿鞋墊後的足弓



## (二) 計時起立行走測驗 (扁平足個案使用 3D 列印鞋墊走路速度之成效)

對扁平足個案使用 3D 列印鞋墊走路速度之成效，分別是表 6 計時起立行走穿鞋墊後秒數前後分析、表 7 統計計時起立行走穿鞋墊後秒數前後分析。表 6 在 18 名受試者中，穿鞋墊前最大秒數值為 14.20 秒，最小值秒數為 7.58 秒，平均秒數為 9.67 秒；穿著鞋墊後最大秒數值為 10.38 秒，最小值秒數為 6.48 秒，且平均為 8.40 秒。

表 7 是計時起立行走測驗檢定統計量，Z 值為 -3.62，且  $p = .00$ ，達顯著差異。圖 22 是計時起立行走的部分，第一組為尚未穿 3D 列印扁平足的組別，第二組則為已穿 3D 列印組別，實驗前後速度在檢定統計上，有

顯著差異( $p < .005$ )，表示穿上 3D 列印鞋墊後，整體走路速度有提升，可能原因為鞋墊減少疼痛後，走路速度變快。

Noguchi (2021)發現在膝外翻畸形和扁平足畸形的增加，與 TUG 時間延長相關；扁平足畸形與體力活動惡化有關，中後足關節破壞與延長 TUG 時間有關，即從中後足畸形破壞的早期開始，可穿足弓支撐鞋墊，作為預防措施和鍛煉。Allam 等人(2021)調查增強式訓練對患有活動性扁平足肥胖兒童的足部姿勢、平衡和功能活動性的影響。因為適當的平衡控制，對於日常生活活動是必要的，結果顯示平衡參數、足部姿勢和 TUG 都有顯著改善。

表 6

## 計時起立行走穿鞋墊後秒數前後分析

計時起立行走秒數	N	最小值	最大值	平均值	標準差
TUG 秒數前	18	7.58	14.20	9.67	1.51
TUG 秒數後	18	6.48	10.38	8.40	1.05



表 7

計時起立行走穿鞋墊後秒數前後檢定統計分析

計時起立行走秒數	TUG 秒數後 - TUG 秒數前
Z	-3.62 <sup>b</sup>
漸近顯著性 (雙尾)	.00*

b. 基於正等級。

\* 顯著。

圖 22

計時起立行走前後施測時間



(三) 足部姿勢指數 (扁平足個案使用 3D 列印鞋墊平衡之成效)

扁平足個案使用 3D 列印鞋墊平衡之成效，分別是表 8 針對 3D 列印鞋墊平衡進行統計，表 9 針對左右兩腳的 COP 進行量化分析；圖 23 單腳站時 COP 位移的距離面積，此動作為個案手插腰單腳站立，保持不動 30 秒，計算單腳站時位移的數值。

表 8 在個案 18 人中，右 COPX 軸實驗前，最大值為 64 公釐，而最小值為 8 公釐，且平均值為 19.61；而穿著鞋墊後，COPX 軸實驗前，最大值為 26 公釐，而最小值為 8 公釐，且平均值為 14.72；右 COPY 軸實驗前最大值為 41 公釐，而最小值為 13 公釐，且平均值為 26.78；而穿著鞋墊後 COPY 軸實驗前，最大值同樣為 41 公釐，而最小值 13 公釐，且平均值為 24.72；左 COPX 軸實驗前，最大值為 73 公釐，而最小值為 11 公釐，

且平均值為 23.22；而穿了鞋墊後 COPX 軸實驗前，最大值為 36 公釐，而最小值為 12 公釐，平均值為 17.61；左 COPY 軸實驗前，最大值為 144 公釐，而最小值為 13 公釐，且平均值為 33.67，而穿了鞋墊後 COPY 軸實驗前，最大值同樣為 83 公釐，而最小值 13 公釐且平均值為 27.94，整體位移在穿上鞋墊後有明顯下降，但未達統計上的顯著差異。

表 9 發現經過穿 3D 列印鞋墊後平均等級皆下降。在穿完 3D 列印鞋墊後，大部分人在右腳慣用腳的 COP 的 X 軸皆有下降(圖 24)，但右腳慣用腳 COP 的 Y 軸 (圖 25) 呈現不是差不多就是落差很大，但是往縮小位移方面的表現。而左腳非慣用腳的 COP 的 X 軸，呈現也是下降，且是穩定的下降 (圖 26)；而左腳非慣用腳 COP 的 Y 軸，也呈現穩定下降的趨勢 (圖 27)。



表 8

3D 列印鞋墊平衡敘述統計分析

左右腳足底壓力中心軌跡	N	最小值	最大值	平均值	標準差
right copx 實驗前	18	8	64	19.61	12.69
right copx 實驗後	18	8	26	14.72	4.66
right copy 實驗前	18	13	41	26.78	8.09
right copy 實驗後	18	13	41	24.72	8.17
left copx 實驗前	18	11	73	23.22	15.66
left copx 實驗後	18	12	36	17.61	5.97
left copy 實驗前	18	13	144	33.67	29.55
left copy 實驗後	18	13	83	27.94	17.26

表 9

3D 列印鞋墊平衡實驗前後分析

左右腳足底壓力中心軌跡	平均等級
right copx 實驗後 - right copx 實驗前	5.81
right copy 實驗後 - right copy 實驗前	4.25
left copx 實驗後 - left copx 實驗前	7.56
left copy 實驗後 - left copy 實驗前	6.10
right copx 實驗後 - right copx 實驗前	9.67
right copy 實驗後 - right copy 實驗前	7.40
left copx 實驗後 - left copx 實驗前	6.13
left copy 實驗後 - left copy 實驗前	5.67

圖 23

壓力中心位移數據

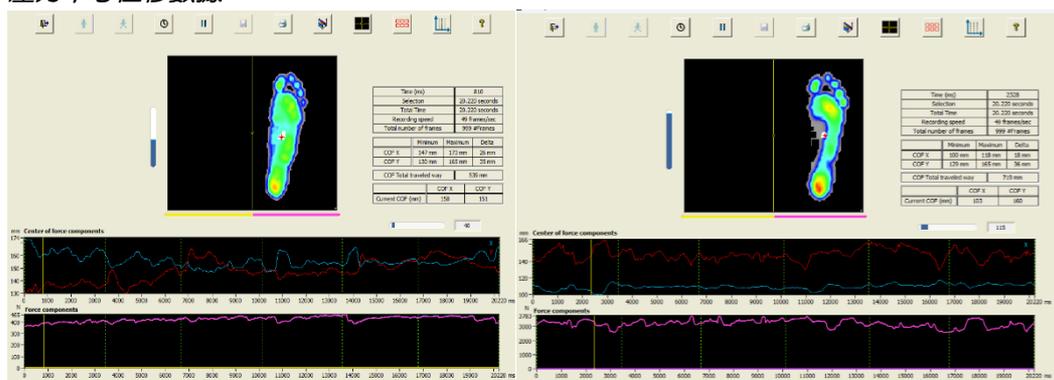


圖 24

受試者右腳 X 軸 COP 公釐(mm)

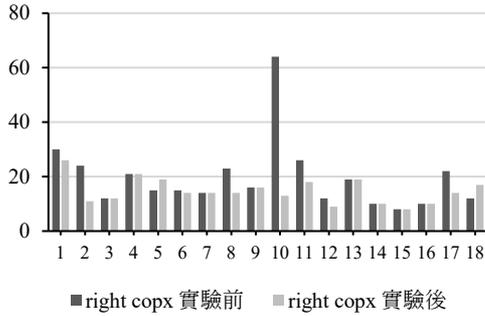


圖 25

右腳 Y 軸 COP 公釐(mm)

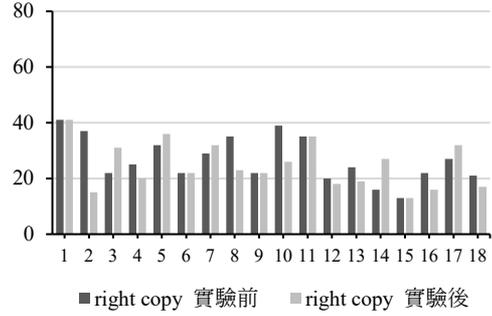


圖 26

左腳 X 軸 COP 公釐(mm)

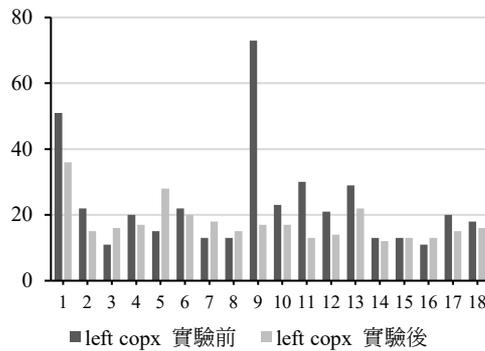


圖 27

左腳 Y 軸 COP 公釐(mm)

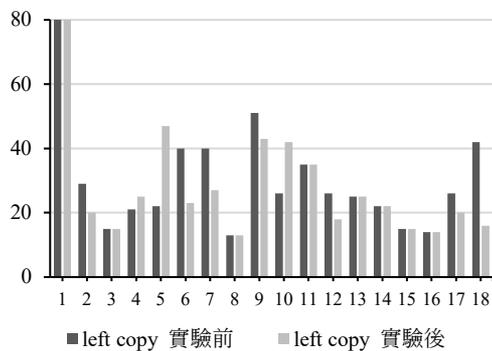


表 10 雖然左、右腳的 X 與 Y 軸皆下降，如右腳 COPX 實驗前後 Z 值是 -1.94、右腳 COPY 實驗前後 Z 值是 -1.05、左腳 COPX 實驗前後 Z 值是 -1.88、左腳 COPY 實驗前後 Z 值是 -1.42，根據分析結果，皆無統計的顯著差異。

Lin 等人(2019)使用 3D 列印的 FO 降低了步行時最大踝關節外翻和外旋力矩，但增加了最大踝關節蹠屈力矩，3D 列印的 FO 透過改變內側 COP 路徑，導致踝關節外翻和外旋力矩減少，但它們導致踝關節蹠屈力矩增加。故低成本的 3D 列印技術有能力製造

客製化的 FO，並提供足夠的支撐來糾正足部異常。Jin 等人(2019)在基於足弓提升的定製鞋墊，可用於補償抬高腳跟時，中足穩定性降低的不利影響，因此穩定性下降與中足外側弓與地面接觸面積減少有關的假設得到支持。COP 率顯著低於對照條件，表明基於足弓提升的定制 3D 列印足跟支撐鞋墊，改善了腳底接觸面積進而提升平衡，跟本研究的結論相似，有提升接觸面積的平衡，但無統計上顯著差異。Allam 等人(2021)提到復健治療依賴於足部持續的本體感覺刺激，可能會改善足弓，並矯正柔性扁平足的跟外



表 10

使用 *Footscarn* 分析左右腳前後組平衡之統計分析

左右腳足底壓力中心軌跡	Z	漸近顯著性 (雙尾)
right copy 實驗後－right copy 實驗前	-1.94	.05
right copy 實驗後－right copy 實驗前	-1.05	.29
left copy 實驗後－left copy 實驗前	-1.88	.06
left copy 實驗後－left copy 實驗前	-1.42	.16

翻畸形；本體感覺訓練對於改善反射迴路至關重要，這對於靜態和動態足部擺位的正確至關重要，從而改善平衡和功能活動能力；平衡能力的改善可歸因於足部內在肌肉力量的增加，亦改善了足弓高度和姿勢控制；低足弓的跑步者比正常足弓的跑步者平衡能力較差，這意味著足弓高度的增加改善了平衡策略。

## 二、扁平足個案使用 3D 列印鞋墊舒適度滿意狀況與之後使用意願

扁平足個案使用 3D 列印鞋墊舒適度滿意狀況與之後使用意願作探討，分別是圖 28 穿著 3D 列印鞋墊的時間、圖 29 則是穿著 3D 列印鞋墊的工作類別、表 11 則是享樂價值(Hedonic value)描述性統計、表 12 則是實用價值(Utilitarian value)、表 13 是 QUEST-V2.0 Manual、以及表 14 是扁平足對 3D 列印科技重要性考量之統計結果。圖 28 在 18 份問卷中，一天穿四小時內 3D 列印鞋墊，佔 33%，一天穿八小時內 3D 列印鞋墊佔 61%，一天穿超過八小時佔 6%。

本次回傳問卷中，在這 18 份問卷內，職業類別分別為醫療類別最大群，佔 50%，涵蓋物理治療師、職能治療師、醫生、社工；第二大宗為教育類別佔 22%，涵蓋教授、個案、音樂老師，工程類別佔 11%；其他類別

則佔 17%，涵蓋工程師、服飾美編、監獄管理員。

本研究回收之 18 份有效問卷中，在享樂價值描述中(表 11)，對扁平足來說，有穿 3D 列印鞋墊，各構面句子在 3.55 至 4.11 間，其中以每次穿鞋使用 3D 列印鞋墊，「我感覺腳底很舒服」為最高分，可見扁平足在使用鞋墊過程中，是感覺到舒服的，且在享樂價值中，整體分數平均數皆有 3.5 分以上，表示中等程度滿意至滿意之間。

扁平足穿 3D 列印之心理價值而言(表 12)，平均得分為 4.19，各構面平均得分介於 4.11 至 4.33 之間，其中以「我認為使用 3D 列印鞋墊，對改善扁平足的功能性很好」平均分數最高，但因為各分構面平均分皆達到 4 分以上表示「滿意」的水準，可見 3D 列印鞋墊對於扁平足整體的價值是不低的。

## 三、綜合討論

Xu、Wang、Ren 等人(2019)提出在第八週後舒適度增加，且實驗組有顯著的差異，跟上面量表類似，皆認為一開始便舒適，且舒適度也是影響使用者對腳墊感覺的因素之一。不舒適的鞋墊會降低下肢的平衡，並影響患者的情緒，尤其是老年人；該實驗表明，定製鞋墊比預製鞋墊，具有更好的舒適度，因此定製鞋墊有可能提高治療效果。臺



圖 28  
穿 3D 列印鞋墊的時間

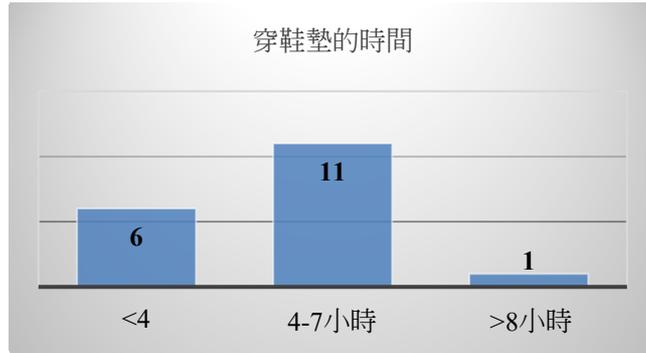


圖 29  
穿 3D 列印鞋墊的工作類別

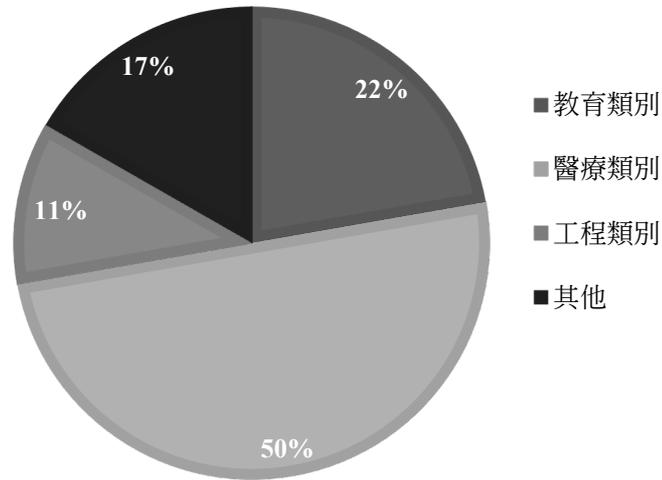


表 11  
享樂價值

構面句子	平均數	標準差	排序
使用 3D 列印鞋墊，我感覺腳部很舒適。	4.05	0.6	2
使用 3D 列印鞋墊，我感覺走路很輕鬆。	3.94	0.8	3
使用 3D 列印鞋墊，我感覺很有精神。	3.55	0.9	5
每次穿鞋使用 3D 列印鞋墊，我感覺腳底很舒服。	4.11	0.6	1
我不知下覺的忘掉有穿 3D 列印鞋墊。	3.66	0.9	4



表 12

## 實用價值

構面句子	平均數	標準差	排序
我認爲使用 3D 列印鞋墊，對改善扁平足很實用。	4.22	0.64	2
我認爲使用 3D 列印鞋墊，對改善扁平足的功能性很好。	4.33	0.90	1
我認爲使用 3D 列印鞋墊，對改善扁平足是很有必要。	4.11	0.83	4
我認爲使用 3D 列印鞋墊，改善扁平足的走路方式是助於幫助。	4.16	0.70	3
我認爲使用 3D 列印鞋墊，對改善扁平足是很有效的方式。	4.16	0.85	3

灣魁北克輔具使用者滿意度評量(Taiwanese Version of Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology, QUEST-T)，其內容分爲三部分；一爲輔具使用資料，包括輔具名稱、使用次數與時間；二爲滿意度評量，共 18 題劃分成輔具類、服務類與個人主觀想法類；三爲重要性評分，受訪者將自 1—18 之滿意度選項中，選擇三個最重要的輔具考量。QUEST-T，其中「輔具」類題爲：尺寸大小、重量、容易調整、安全性、舒適性、使用成效；「服務滿意度」有交付流程、維修服務、相關專業服務、後續追蹤服務；加總評分後得到三個總分：輔具使用、輔具服務、整體分數（陳莞音，2007）。

在臺灣版魁北克輔具使用者滿意度評量的基本資料，對於 3D 列印鞋墊個案皆是第一次使用輔具，且輔具使用一個月以上至三個月內的時間，每天使用此項輔具，皆是他人贈送，且接受專業的物理治療師評估與建議後給予。3D 列印鞋墊滿意度與服務滿意度各有 18 人次回答，滿意度平均值較高前三題項依序爲「13. 輔具所需負擔的金錢花費(4.9)」、「12. 輔具之後續服務(4.8)」及「11. 輔具之相關服務品質(4.75)」。而滿意度平均值較低之前三題項依序爲「5. 輔具的

耐用性(3.45)」、「4. 安全性與穩固性(3.55)」及「3. 輔具的零件容易調整(3.75)」(表 13)。

扁平足對於 3D 列印鞋墊滿意度 12 題項中爲尺寸大小、重量、容易調整、安全性穩固性、耐用度、容易使用、舒適性、使用效果、服務流程、維修服務、相關專業服務、後續追蹤服務。若選 3 題項目認爲最重要性考量之結果顯示，重要性考量前 3 題項依序爲「8. 使用效果」11 人次(61%)、「7. 舒適性」9 人次(50%)及「5. 耐用度」7 人次(39%)，可見扁平足個案普遍認爲使用效果是最重要因素之一，而分數較低的前三名爲「1. 尺寸大小」、「2. 重量」、「9. 服務流程」、「12. 後續追蹤服務」，此三項百分比皆爲 2 人次(11%)，與維修服務 0 人次(0%) (表 14)。

## 伍、結論與建議

本研究探討使用 3D 列印鞋墊對於在大專院校融合教育中扁平足的個案平衡及行走功能成效，並建立個別化 3D 列印鞋墊之法展基礎及提供設計流程規劃。

一、探討 3D 列印技術適合個別化設計與發展鞋墊，在第二、三、四趾骨區域壓力



表 13

*QUEST-V2.0 Manual*

輔具類別	平均數	標準差
1. 輔具尺寸大小	4.20	0.89
2. 輔具的重量	4.15	0.98
3. 輔具的零件容易調整	3.75	0.85
4. 輔具安全與穩定性	3.55	1.23
5. 輔具的耐用性	3.45	1.14
6. 輔具容易程度	4.55	0.82
7. 輔具舒適性	4.10	0.96
8. 輔具使用效果	4.15	0.93
9. 輔具流程服務	4.65	0.48
10. 輔具所供的維修服務	4.55	0.82
11. 輔具之相關服務品質	4.75	0.55
12. 輔具之後續服務	4.80	0.41
13. 輔具所需負擔的金錢花費	4.90	0.30
整體平均分數	4.23	0.80

表 14

*扁平足對3D 列印科技重要性考量之統計結果 (N = 18)*

題序	題項	重要性考量 (人次)	百分比(%)	排序
1	尺寸大小	2	11%	7
2	重量	2	11%	7
3	容易調整	3	17%	6
4	安全性穩固性	6	33%	4
5	耐用度	7	39%	3
6	容易使用	5	28%	4
7	舒適性	9	50%	2
8	使用效果	11	61%	1
9	服務流程	2	11%	7
10	維修服務	0	0%	0
11	相關專業服務	5	28%	5
12	後續追蹤服務	2	11%	7



達到統計上的顯著下降；通用設計定制的 3D 列印鞋墊能減輕慣用腳蹠骨的負荷，將負荷分散到足中部區域。

二、扁平足個案使用 3D 列印鞋墊走路速度提升且有統計上的顯著差異，結果顯示通用設計 3D 列印鞋墊可以分散足底壓力，並可以增進走路速度。

三、研究結果部分個案表示 3D 列印鞋墊可提升其平衡能力，但全體前後平均未達顯著差異。

四、本研究研發的通用設計 3D 列印定製鞋墊，可以有效地提升扁平足患者舒適性。

五、由於本研究之發現提供融合教育情境下，扁平足學生參與課程與教學，合理調整建議，如適應體育方面，在進行體育活動結束後，要針對小腿的肌肉群拉筋放鬆；若進行跑跳類別的活動，需要事先穿著鞋墊，並且同時以輔具做輔助支撐。

---

致謝：感謝國立陽明交通大學物理治療暨輔助科技學系陳振昇教授、簡睦容助理的協助，提供三維列印技術的專業支援；感謝國科會計劃(編號 NSTC 113-2410-H-003-023-)的支持。

## 參考文獻

李曉惠、朱靜宜、胡柏婷、胡名霞(2002)。計時起走測驗之信度研究。《物理治療》，27(3)，131-138。〔Lee, Hsiao-Hui, Chu, Ching-Yi, Hu, Po-Ting, & Hu, Ming-Hsia (2002). Reliability on the measurements

of the timed "Up and Go" test. *Formosan Journal of Physical Therapy*, 27(3), 131-138.〕

林世健(2013)。雲端印刷的創新應用－3D 列印。《中華印刷科技年報》，2013，65-75。

〔Lin, Shih-Chien (2013). Innovative applications of Web-to-print- 3D printing. *Journal of CAGST*, 2013, 65-75.〕

林靖文、余永吉、簡睦容、陳振昇(2021)。

3D 列印握筆器個別化設計發展對一位大專院校脊髓性肌肉萎縮症學生書寫功能表現之研究。《特殊教育季刊》，161，

13-32。〔Lin, Ching-Wen, Sher, Yung-Ji, Chien, Mu-Jung, & Chen, Chen-Sheng (2021). Individualized development of

3D-printed pencil grip for a college student with spinal muscular atrophy. *Special Education Quarterly*, 161, 13-32.〕

[https://doi.org/10.6217/SEQ.202112\\_\(161\).13-32](https://doi.org/10.6217/SEQ.202112_(161).13-32)

林鼎勝(2014)。3D 列印的發展現況。《科技發展》，503，32-37。

〔Lin, Ting-Sheng (2014). The current development status of 3D printing. *Technology Development*, 503, 32-37.〕

許立涵、佟心平、林思穎、林奇秀(2017)。

3D 列印的發展與應用。《圖資與檔案學刊》，90，32-51。〔Hsu, Li-Han, Tung, Shin-Ping, Lin, Sze-Ying, & Lin, Chi-Shiou (2017). The development and applications of three-dimensional printing.

of three-dimensional printing. *Journal of Library and Information Science*, 90, 32-51.〕



*Journal of InfoLib and Archives*, 90, 32-51. ] <https://doi.org/10.6575/JILA.2017.90.03>

張育豪、劉麗華(2021)。利用客製化鞋墊輔具結合運動的效果：先天性長短腳個案報告。《*物理治療*》，46(2)，164-165。 [ Chang, Yu-Hao, & Liou, Li-Hwa (2021). Effect of custom-made foot orthoses combine exercise in a patient with leg discrepancy: A case report. *Formosan Journal of Physical Therapy*, 46(2), 164-165. ] <https://doi.org/10.6215/FJPT.202106.P61>

陳宗榮、蔡偉奇、王李中羿、徐瑞澤、林書豪(2023)。足底筋膜炎症狀扁平足對多肢段足部運動學之影響。《*華人運動生物力學期刊*》，20(1)，1-9。 [ Chen, Zong-Rong, Tsai, Wei-Chi, Wang Li, Chung-Yi, Hsu, Jui-Tse, & Lin, Shu-Hao (2023). Influence of flat feet with and without plantar fasciitis symptoms on multi-segment foot kinematics. *Chinese Journal of Sports Biomechanics*, 20(1), 1-9. ] <https://doi.org/10.53106/207332672023032001001>

陳莞音(2007)。臺灣版魁北克輔具使用者滿意度評量於輪椅類輔具使用者之應用〔未出版碩士論文〕。國立臺灣大學。 [ Chen, Wan-Yin (2007). *Application of the Taiwanese version of Quebec user evaluation of satisfaction with assistive techno-*

*logy to people using wheeled mobility devices* [Unpublished master's thesis]. National Taiwan University. ]

蔡永裕、陳佳琳、郭芳娟(2018)。足弓支撐鞋墊對步態中腰椎、膝關節運動學和足底壓力重心位移的影響。《*澄清醫護管理雜誌*》，15(2)，7-16。 [ Tsai, Yung-Yun, Chen, Chia-Ling, & Kuo, Fang-Chuan (2018). Effects of foot orthoses on center of pressure progression and kinematics of the lumbar vertebrae and knee joint during walking. *Cheng Ching Medical Journal*, 15(2), 7-16. ]

蔡沛霖、楊晴雅、劉承安、馮愷怡、詹郁暄、趙亭皓、陳翰裕(2021)。探討矯正骨盆前傾對於行走時足底壓力的立即效果。《*物理治療*》，46(2)，112-113。 [ Tsai, Pei-Lin, Yang, Ching-Ya, Liou, Cheng-An, Fung, Hoi-Yee, Chan, Yu-Hsuan, Chao, Ting-Hao, & Chen, Han-Yu (2021). The immediate effect of correcting unilateral anterior pelvic tilt on the plantar pressure during gait. *Formosan Journal of Physical Therapy*, 46(2), 112-113. ] <https://doi.org/10.6215/FJPT.202106.O21>

劉承安、馮愷怡、蔡沛霖、楊晴雅、陳翰裕(2020)。探討單側骨盆前傾對於行走時足底壓力的影響。《*物理治療*》，45(4)，354-355。 [ Liou, Cheng-An, Fung, Hoi-Yee, Tsai, Pei-Lin, Yang, Ching-Ya, & Chen, Han-Yu (2020). Investigation on the effects of unilateral anterior pelvic tilt on the



- plantar pressure during gait. *Formosan Journal of Physical Therapy*, 45(4), 354-355. ] <https://doi.org/10.6215/FJPT.202012.P52>
- 劉佳惠(2013)。3D 列印，你太瘋狂了！。 *CTIMES：零組件雜誌*，258，52-55。 [Liu, Chia-Hui (2013). 3D printing, you are crazy! *Components Times*, 258, 52-55] <https://www.ctimes.com.tw/mpc/2013/04/011530104860/258try.pdf?iframe=true&width=800&height=600>
- Abd-Eltawab, A. E., Elbandrawy, A. M., Ghanem, H. B., & Farhana, A. (2023). Three dimensional analysis of ground reaction force during level walking correlates with sacrum displacement. *International Journal of Health Sciences*, 17(5), 31-38.
- Allam, H. H., Muhsen, A., Al-Walah, M. A., Alotaibi, A. N., Alotaibi, S. S., & Elsayyad, L. K. (2021). Effects of plyometric exercises versus flatfoot corrective exercises on postural control and foot posture in obese children with a flexible flatfoot. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2021, Article 3635660. <https://doi.org/10.1155/2021/3635660>
- Bac, A., Kaczor, S., Pasiut, S., Ścisłowska-Czarnecka, A., Jankowicz-Szymańska, A., & Filar-Mierzwa, K. (2022). The influence of myofascial release on pain and selected indicators of flat foot in adults: A controlled randomized trial. *Scientific Reports*, 12, Article 1414. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05401-w>
- Batani, C. P., Bartolotta, R. J., Richardson, M. L., Mulcahy, H., & Allan, C. H. (2013). Imaging key wrist ligaments: What the surgeon needs the radiologist to know. *American Journal of Roentgenology*, 200(5), 1089-1095. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9738>
- Benedetti, M. G., Ceccarelli, F., Berti, L., Luciani, D., Catani, F., Boschi, M., & Gianini, S. (2011). Diagnosis of flexible flat-foot in children: A systematic clinical approach. *Orthopedics*, 34(2), 94. <https://doi.org/10.3928/01477447-20101221-04>
- Bishop, C., Thewlis, D., & Hillier, S. (2018). Custom foot orthoses improve first-step pain in individuals with unilateral plantar fasciopathy: A pragmatic randomised controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19, Article 222. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2131-6>
- Borges, C. dosS., Fernandes, L. F., & Bertonecello, D. (2013). Correlação entre alterações lombares e modificações no arco plantar em mulheres com dor lombar [Relationship between lumbar changes and modifications in the plantar arch in women with low back pain]. *Acta*



- Ortopedica Brasileira*, 21(3), 135-138. <https://doi.org/10.1590/S1413-78522013000300001>
- Blodgett, J. M., Hardy, R., Davis, D. H. J., Peeters, G., Hamer, M., Kuh, D., & Cooper, R. (2023). Prognostic accuracy of the one-legged balance test in predicting falls: 15-years of midlife follow-up in a British birth cohort study. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, Article 1066913. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1066913>
- Bronstein, A. M. (2016). Multisensory integration in balance control. *Handbook of Clinical Neurology*, 137, 57-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00004-2>
- Buldt, A. K., Forghany, S., Landorf, K. B., Levinger, P., Murley, G. S., & Menz, H. B. (2018). Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & Posture*, 62, 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.005>
- Cao, L., & Morley, J. E. (2016). Sarcopenia is recognized as an independent condition by an international classification of disease, tenth revision, clinical modification (ICD-10-CM) code. *Journal of the American Medical Directors Association*, 17(8), 675-677. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.06.001>
- Chiu, M. C., Wu, H. C., Chang, L. Y., & Wu, M. H. (2013). Center of pressure progression characteristics under the plantar region for elderly adults. *Gait & Posture*, 37(3), 408-412. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.08.010>
- Choo, Y. J., Boudier-Revéret, M., & Chang, M. C. (2020). 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: Narrative review. *Annals of Palliative Medicine*, 9(6), 4262-4270. <https://doi.org/10.21037/apm-20-1185>
- Chou, M. C., Huang, J. Y., Hung, Y. M., Perng, W. T., Chang, R., & Wei, J. C. C. (2021). Flat foot and spinal degeneration: Evidence from nationwide population-based cohort study. *Journal of the Formosan Medical Association*, 120(10), 1897-1906. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2020.12.019>
- Davia-Aracil, M., Hinojo-Pérez, J. J., Jimeno-Morenilla, A., & Mora-Mora, H. (2018). 3D printing of functional anatomical insoles. *Computers in Industry*, 95, 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.001>
- Deland, J. T. (2008). Adult-acquired flatfoot deformity. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16(7), 399-406. <https://doi.org/10.5435/00124635-200807000-00005>



- Desmyttere, G., Leteneur, S., Hajizadeh, M., Bleau, J., & Begon, M. (2020). Effect of 3D printed foot orthoses stiffness and design on foot kinematics and plantar pressures in healthy people. *Gait & Posture, 81*, 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.146>
- Dombroski, C. E., Balsdon, M. E., & Froats, A. (2014). The use of a low-cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: A preliminary study. *BMC Research Notes, 7*, Article 443. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-443>
- Flores, D. V., Mejía Gómez, C., Fernández Hernando, M., Davis, M. A., & Pathria, M. N. (2019). Adult acquired flatfoot deformity: Anatomy, biomechanics, staging, and imaging findings. *Radiographics, 39*(5), 1437-1460. <https://doi.org/10.1148/rg.2019190046>
- Gould, N. (1982). Graphing the adult foot and ankle. *Foot & Ankle, 2*(4), 213-219. <https://doi.org/10.1177/107110078200200407>
- Guskiewicz, K. M., & Perrin, D. H. (1996). Research and clinical applications of assessing balance. *Journal of Sport Rehabilitation, 5*, 45-63.
- Han, J. T., Koo, H. M., Jung, J. M., Kim, Y. J., & Lee, J. H. (2011). Differences in plantar foot pressure and COP between flat and normal feet during walking. *Journal Physical Therapy Science, 23*(4), 683-685. <https://doi.org/10.1589/jpts.23.683>
- Harutaichun, P., Boonyong, S., & Pensri, P. (2021). Differences in lower-extremity kinematics between the male military personnel with and without plantar fasciitis. *Physical Therapy in Sport, 50*, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.04.007>
- Hausdorff, J. M., & Buchman, A. S. (2013). What links gait speed and MCI with dementia? A fresh look at the association between motor and cognitive function. *The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 68*(4), 409-411. <https://doi.org/10.1093/gerona/glt002>
- Hertel, J., Gay, M. R., & Denegar, C. R. (2002). Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *Journal of Athletic Training, 37*(2), 129-132.
- Hillstrom, H. J., Song, J., Kraszewski, A. P., Hafer, J. F., Mootanah, R., Dufour, A. B., Chow, B. S., & Deland, J. T., 3rd (2013). Foot type biomechanics part 1: Structure and function of the asymptomatic foot.



- Gait & Posture*, 37(3), 445-451. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.09.007>
- Ho, M., Nguyen, J., Heales, L., Stanton, R., Kong, P. W., & Kean, C. (2022). The biomechanical effects of 3D printed and traditionally made foot orthoses in individuals with unilateral plantar fasciopathy and flat feet. *Gait & Posture*, 96, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.06.006>
- Hsueh, P. L., Lai, Y. M., Huang, H. C., & Chen, Y. W. (2024). Multiple dental implants in the bilateral lower jaw via digital dentistry with a sleeve system application-A case report. *Taiwan Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 35(2), 132-146.
- Jiang, Y., Wang, D., Ying, J., Chu, P., Qian, Y., & Chen, W. (2021). Design and preliminary validation of individual customized insole for adults with flexible flatfoot based on the plantar pressure redistribution. *Sensors*, 21(5), Article 1780. <https://doi.org/10.3390/s21051780>
- Jin, H., Xu, R., Wang, S., & Wang, J. (2019). Use of 3D-printed heel support insoles based on arch lift improves foot pressure distribution in healthy people. *Medical Science Monitor*, 25, 7175-7181. <https://doi.org/10.12659/MSM.918763>
- Kim, E. K., & Kim, J. S. (2016). The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(11), 3136-3139. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.3136>
- Kirmizi, M., Cakiroglu, M. A., Elvan, A., Simsek, I. E., & Angin, S. (2020). Reliability of different clinical techniques for assessing foot posture. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(9), 901-908. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2020.02.002>
- Klöpfer-Krämer, I., Brand, A., Wackerle, H., Müßig, J., Kröger, I., & Augat, P. (2020). Gait analysis — Available platforms for outcome assessment. *Injury*, 51(2), 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.11.011>
- Lee, J. S., Kim, K. B., Jeong, J. O., Kwon, N. Y., & Jeong, S. M. (2015). Correlation of foot posture index with plantar pressure and radiographic measurements in pediatric flatfoot. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(1), 10-17. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.1.10>
- Lee, Y. C., Lin, G., & Wang, M. J. (2014). Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1), Article



44. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0044-7>
- Levinger, P., Murley, G. S., Barton, C. J., Cotchett, M. P., McSweeney, S. R., & Menz, H. B. (2010). A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford foot model. *Gait & Posture*, 32(4), 519-523. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.07.013>
- Lin, K. W., Hu, C. J., Yang, W. W., Chou, L. W., Wei, S. H., Chen, C. S., & Sun, P. C. (2019). Biomechanical evaluation and strength test of 3D-printed foot orthoses. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2019, Article 4989534. <https://doi.org/10.1155/2019/4989534>
- MacKinnon, C. D. (2018). Sensorimotor anatomy of gait, balance, and falls. *Handbook of Clinical Neurology*, 159, 3-26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.0001-X>
- Mathias, S., Nayak, U. S., & Isaacs, B. (1986). Balance in elderly patients: The “Get-up and Go” test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(6), 387-399.
- Miranda, N., & Tiu, T. K. (2023). *Berg Balance testing*. StatPearls Publishing.
- Mirelman, A., Shema, S., Maidan, I., & Hausdorff, J. M. (2018). *Gait. Handbook of Clinical Neurology*, 159, 119-134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00007-0>
- Mulligan, E. P., & Cook, P. G. (2013). Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Manual Therapy*, 18(5), 425-430. <https://doi.org/10.1016/j.math.2013.02.007>
- Murley, G. S., Menz, H. B., & Landorf, K. B. (2009). A protocol for classifying normal- and flat-arched foot posture for research studies using clinical and radiographic measurements. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2(1), Article 22. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-2-22>
- Nilsson, M. K., Friis, R., Michaelsen, M. S., Jakobsen, P. A., & Nielsen, R. O. (2012). Classification of the height and flexibility of the medial longitudinal arch of the foot. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-3>
- Noguchi, T., Hirao, M., Tsuji, S., Ebina, K., Tsuboi, H., Etani, Y., Akita, S., & Hashimoto, J. (2021). Association of decreased physical activity with rheumatoid mid-hindfoot deformity/destruction. *International Journal of Environmental Research*



- and Public Health*, 18(19), Article 10037. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910037>
- Oerbekke, M. S., Stukstette, M. J., Schütte, K., de Bie, R. A., Pisters, M. F., & Vanwanseele, B. (2017). Concurrent validity and reliability of wireless instrumented insoles measuring postural balance and temporal gait parameters. *Gait & Posture*, 51, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.10.005>
- Rosenberg, Z. S. (1994). Chronic rupture of the posterior tibial tendon. *Magnetic resonance imaging clinics of North America*, 2(1), 79-87.
- Şahin, F. N., Ceylan, L., Küçük, H., Ceylan, T., Arıkan, G., Yiğit, S., Sarşık, D. Ç., & Güler, Ö. (2022). Examining the relationship between pes planus degree, balance and jump performances in athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), Article 11602. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811602>
- Sarikhani, A., Motalebizadeh, A., Asiaei, S., & Kamali Doost Azad, B. (2016). Studying maximum plantar stress per insole design using foot CT-Scan images of hyperelastic soft tissues. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2016, Article 8985690. <https://doi.org/10.1155/2016/8985690>
- Schoene, D., Wu, S. M., Mikolaizak, A. S., Menant, J. C., Smith, S. T., Delbaere, K., & Lord, S. R. (2013). Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: Systematic review and meta-analysis. *Journal of The American Geriatrics Society*, 61(2), 202-208. <https://doi.org/10.1111/jgs.12106>
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the timed up & go test. *Physical Therapy*, 80(9), 896-903. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.9.896>
- Su, S., Mo, Z., Guo, J., & Fan, Y. (2017). The effect of arch height and material hardness of personalized insole on correction and tissues of flatfoot. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, Article 8614341. <https://doi.org/10.1155/2017/8614341>
- Subotnick, S. I. (1985). The biomechanics of running implications for the prevention of foot injuries. *Sports Medicine*, 2, 144-153. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502020-00006>
- Takata, Y., Matsuoka, S., Okumura, N., Iwamoto, K., Takahashi, M., & Uchiyama, E. (2013). Standing balance on the ground – The influence of flatfeet and insoles. *Journal of Physical Therapy Science*,



- 25(12), 1519-1521. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1519>
- Telfer, S., & Woodburn, J. (2010). The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. *Journal of Foot and Ankle Research*, 3(1), Article 19. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-19>
- Tsai, L. C., Yu, B., Mercer, V. S., & Gross, M. T. (2006). Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 942-953. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2006.2336>
- Verlekar, T. T., Soares, L. D., & Correia, P. L. (2018). Automatic classification of gait impairments using a markerless 2D video-based system. *Sensors*, 18(9), Article 2743. <https://doi.org/10.3390/s18092743>
- Vimal, A. K., Sharma, S., Gahlawat, B., Pandian, G., & Sural, S. (2022). The effect of customized and silicon insoles on mid- and hindfoot in adult flexible pes plano-valgus. *Indian Journal of Orthopaedics*, 56, 1897-1905. <https://doi.org/10.1007/s43465-022-00699-0>
- Wren, T. A., Gorton, G. E., 3rd, Ounpuu, S., & Tucker, C. A. (2011). Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait & Posture*, 34(2), 149-153. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.03.027>
- Wright, C. J., Arnold, B. L., Coffey, T. G., & Pidcoe, P. E. (2011). Repeatability of the modified Oxford foot model during gait in healthy adults. *Gait & Posture*, 33(1), 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.10.084>
- Xu, C., Wen, X. X., Huang, L. Y., Shang, L., Cheng, X. X., & Yan, Y. B. (2017). Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *Journal of Foot and Ankle Research*, 10(1), Article 30. <https://doi.org/10.1186/S13047-017-0209-2>
- Xu, R., Wang, Z., Ma, T., Ren, Z., & Jin, H. (2019). Effect of 3D printing individualized ankle-foot orthosis on plantar biomechanics and pain in patients with plantar fasciitis: A randomized controlled trial. *Medical Science Monitor*, 25, 1392-1400. <https://doi.org/10.12659/MSM.915045>
- Xu, R., Wang, Z., Ren, Z., Ma, T., Jia, Z., Fang, S., & Jin, H. (2019). Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot. *Medical Science Monitor*, 25, 3510-3519. <https://doi.org/10.12659/MSM.916975>



# **The Effectiveness of Universally Designed Customized 3D Printed Insoles on The Balance and Walking Function of Flat-Footed Students**

Shu-Min Peng

Graduate Institute of Rehabilitation  
Counseling and Gerontological  
Wellbeing, National Taiwan  
Normal University

Yung-Ji Sher

Department of Special Education &  
Graduate Institute of Rehabilitation  
Counseling and Gerontological  
Wellbeing, National Taiwan  
Normal University

## **Abstract**

### **Motivation, Problems and Rationales, Significances**

Inclusive education emphasizes the integration of assistive technology and universal design. Gait is one of the keys to functional independence. The elasticity of the arch affects the cushioning of vibrations, the support and stability of the body's upright position during walking and jumping; the height of the arch affects the posture or shape of the foot, because the medial longitudinal arch is responsible for absorbing most of the impact on the foot during daily activities. Flat foot is one of the diagnoses that can affect daily functional walking performance. This diagnosis may cause foot pain, abnormal gait, and may also affect balance and coordination, and indirectly affect other bone-related conditions. According to biomechanical principles, insoles can reduce deformation and prevent or treat diseases of the feet and lower limbs. Due to injury and disease, gait movement and posture may be affected, often resulting in reduced walking speed and step length. By analyzing biomechanical characteristics of gait, such as speed, cadence, step length, stance or swing time, it is possible to infer



whether gait is impaired. Foot pain is an important issue because it can also negatively impact daily activities, health, and quality of life, and may increase the risk of falls. Insoles can be used as a temporary relief measure for patients with flat feet. Insoles can improve the arch of the foot and maintain individual balance, possibly reducing the local peak pressure of flat feet. However, the unit price of specially made insoles is too high, which discourages flat foot cases. 3D printing uses low-cost materials and shows that 3D printed insoles are more comfortable than traditional insoles. 3D printing is suitable for small-volume customization needs. It can produce finished products with complex shapes and structures, and can be designed and modified accordingly for various difficult situations.

### **Purpose and Specific Aims**

This research is aimed to use the characteristics of three-dimension printing to be particularly suitable for small-volume customization needs and to make corresponding designs for various difficult situations. Therefore, the plasticity of three-dimension printing materials will be used to achieve cost-effectiveness. Personalized insoles are tailor-made according to the subject's walking habits based on the field of study.

### **Materials and Methods**

This study adopts a quasi-experimental research design. The steps for producing personalized 3D printed insoles in this study include: scanning and measuring the study participants' foot models, designing personalized insoles using 3D printing painting software, transferring files to a 3D printer to print the insoles, Study participants tried on, adjusted, and beautified the finished insoles. The inclusion criteria of participants include the foot posture index-6 (FPI-6) posture assessment score reaches 6 points or above; Patients with flat feet must be over 18 years old; Cognitive function is normal and can cooperate with instructions; Only use insoles and no other mobility aids. And the exclusion criteria for participants include impaired cognitive function and inability to cooperate with instructions; Cases unable to walk; Pregnancy; Wearing corrective insoles within 6 months; Surgical treatment, lower limb injuries, and infectious complications within 6 months, rheumatoid arthritis, nervous, muscular, skeletal, and blood circulation system diseases.

People with flat feet wear three dimension printed insoles for a long time as the experimental group, while the control group consists of flat foot cases who wear three dimension printed insoles for a short time. The effect of twelve weeks of daily life on the two groups of different insoles is investigated. One week before the start of the course, both the experimental group and the control group conducted movement assessment on the front side, and the experimental group first took foot molds to make three dimension printed insoles. The high speed 0.5m hi-end-foot scan system with 500Hz produced by RS Scan Lab is used to measure the dynamic foot pressure distribution and pressure center coordinates, center of pressure-progression path, etc. During the experiment, both groups



participated in functional movement intervention; in the ninth week, the experimental group The movement training evaluation such as one leg stand test as well as timed up and go, post-test of the experimental group and the control group was conducted, and the Kruskal-Wallis's test was used to test the movement refinement of the experimental group and the control group.

### **Results and Discussion**

Results of analysis of the pressure distribution diagram of the front and rear arches of the insole were included (1) An example of wearing the insole was for the longest time, analysis of the arch pressure distribution diagram before and after the insole; (2) The shortest wearing time of the insole was as an example, the effectiveness of walking speed in patients were with flat feet using 3D printed insoles; (3) The effectiveness of using 3D printed insoles were to balance flat feet; and (4) The Satisfaction with the comfort of 3D printed insoles and willingness were to use them in the future in flat foot cases, as well as comprehensive discussion were demonstrated in this section. Among the 12 questions regarding the satisfaction of flat feet with 3D printed insoles, they are size, weight, easy adjustment, safety and stability, durability, ease of use, comfort, use effect, service process, maintenance services, related professional services, and follow-up service.

### **Conclusion and Suggestions**

The conclusions are as follows: This study investigated the suitability of three-dimension printing technology for personalized design and development of insoles, which achieved a statistically significant reduction in pressure in the second, third and fourth phalangeal areas; The walking speed of flat foot cases using three dimension printed insoles was improved and there was a significant difference. Wearing individually tailored shoes was the most common method that can help change the abnormal distribution of pressure on the bottom of the foot; The balance effect of flat-footed subjects was using three dimension printed insoles. The research results showed that three dimension printed insoles can improve their balance ability in some cases, but the overall average difference before and after did not reach a significant difference. The universally designed 3D printed customized insoles developed in this study can effectively improve the comfort of patients with flat feet. The findings of this study provide reasonable adjustment suggestions for students with flat feet to participate in courses and teaching in an inclusive education context. For example, in terms of physical adaptation, after finishing physical activities, they should stretch and relax the calf muscles; if they engage in running and jumping activities, they need to wear insoles in advance and use assistive devices for auxiliary support.

**Key words:** universal design, flat foot, three dimension printed insoles, balance test, foot scan pressure measurement systems

