

## 分趾套輔具對女性行走時平衡、步態與足底壓力之影響

李澤義<sup>1</sup>、陳羿揚<sup>2</sup>、邱文信<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>國立清華大學運動科學系

<sup>2</sup>中國福建省閩南師範大學體育學院

### 摘要

**目的：**本研究旨在佐證穿著市售分趾套對成年女性行走平衡、步態與足底壓力之具體效益，供消費者選購輔具時參考依據。**方法：**隨機招募 40 位自願參與的女性受試者，於穿著前、後測量前足寬度，透過足底壓力跑步機收取穿著與未穿著時之最大與最小水平、內外晃動軌跡、整體壓力面積與步幅長、步寬、足部旋轉和擺盪期百分比，將行走速度統一設定為 3.8 (km/h)，以成對樣本 *t* 檢定考驗赤足與穿著分趾套行走時之前足寬度、水平與內、外軸向壓力晃動軌跡、壓力晃動面積與各項步態參數，接著以相依樣本二因子變異數分析，考驗赤足與穿著分趾套行走時三足區足底壓力差異 ( $\alpha = .05$ )。**結果：**穿著分趾套前足寬顯著大於赤足，然最大、最小水平及內、外軸向晃動軌跡、整體面積、步幅長度、步寬、足部旋轉角度皆無顯著差異，但顯著降低擺盪期百分比。此外，穿著分趾套前足區足底壓力顯小於赤足，壓力峰值皆以中足區最低，其次為足跟區，最高為前足區。**結論：**分趾套因穿著時僅接觸到前足與腳趾區，故對提供中足區足弓支撐相當有限，在穿著後相較赤足之水平、內、外軸向與整體平衡表現的效果相似，但藉由穿著時提供腳趾區適當的包覆，可協助降低行走過程中前足區壓力峰值。建議女性消費者於行走過程中，若著重降低前足區壓力，則可選購此類分趾套於行走運動前穿著，進而提升運動品質。

**關鍵詞：**壓力晃動軌跡、步幅、步寬、足部旋轉角度、足底壓力分區

### 壹、緒論

行走為人體最常從事且廣受女性推崇的運動方式，然而過程中若無正確觀念及動作姿勢，不僅無法達到預期效益，亦可能增加扭傷與足底筋膜炎發生機率 (Antwi-Afari & Li, 2018)。因此除了著重自身肌肉對動作姿勢控制能力外，目前已證實穿著下肢輔具可緩減特定類型的足部病徵，並增加行走舒適度 (Abiko et al., 2020; Endo et al., 2002; Kwan et al., 2021)。足部輔具依照矯正部位與功能性可細分為踝關節矯形器 (ankle orthosis)、功能鞋墊 (functional insole) 及前足 (腳趾) 矯形器 (forefoot orthosis)，其中後者亦稱「足部分趾套」(以下簡稱分趾套) 於

\*通訊作者: 邱文信 Email: whchiu@mx.nthu.edu.tw

地址：30014 新竹市東區南大路 521 號

臨床選擇時深受女性消費者青睞 (Kwan et al., 2021)，此類產品標榜以親膚材質製作，功能特性為改變整體前足寬度、穿著自在、能有效分散足壓、保護拇趾外翻與改善行走穩定性。然而上述標榜功能並未透過女性消費者在實際穿著相關產品行走後，科學化的檢測與驗證，故仍有使用上之疑慮。過去研究通常以平衡 (balance)、步態 (gait) 及足底壓力 (plantar pressure) 作為評估輔具功能優劣依據的三大指標，儀器多半使用測力板、足底壓力檢測板作為檢測儀器，將受試者的壓力晃動中心 (center of pressure, COP) 換算出站立與行走狀態下，水平、內外軸向晃動軌跡作為平衡依據 (邱文信等，2019；楊琇甯等，2021)，同時蒐集行走過程中，足底壓力變化以及步長、步寬等參數，藉此判斷輔具是否具備改善效益。然而消費者在選購輔具時通常以穿戴舒適度、功能性與外觀的折衷為考量，因此僅透過廠商標語、消費者經驗分享與網路資訊作為選購依據，可能導致所購買之輔具無法達到預期效益 (張倍瑄等，2017)。再者，目前尚未釐清穿分趾套行走時所產生之平衡、步態與足底壓力分佈的影響，基於上述問題，透過科學量化探究分趾套具體穿著效益，有其必要性。

低強度行走運動可產生較低的下肢負擔，亦能達到雕塑體態的效益，是廣受女性歡迎的運動方式 (Robinson et al., 2019)，相較於男性，長期穿著高跟鞋與尖頭鞋的女性族群在行走過程中，容易出現步態不對稱的現象，研究指出長期的步態不對稱會使下肢單側需承受較大的負荷，進而產生慢性肌肉傷害、關節軟組織受損以及足底筋膜炎等疾病 (Herssens et al., 2018; Paschalis et al., 2007)。即便恢復到赤足狀態下行走，壓力晃動中心 (COP) 依舊保持前傾，此時前足區與大拇趾區將會呈現過大的壓力峰值，使負荷連帶轉移至前足區內側，導致下肢膝關節與踝關節必須承受額外的衝擊，此現象大幅提升罹患足部病變之風險 (Gu et al., 2014; Kobayashi et al., 2016)。此類足部疾病多數為長時間足底壓力分佈不均所造成。換言之，長期使用不適當的動力鏈 (kinetic chain) 傳遞，則會延伸出錯誤的行走姿勢，除了降低人體平衡外，更可能導致行走步態變異性提升，進而產生下肢永久性傷害，影響整體生活功能與姿態美觀 (Soltanzadeh et al., 2017)。因此，不論復健治療或體育器材研發商，皆提倡以輔具介入治療與預防，提供給患者、一般女性、運動員與高齡者改善行走姿勢，其中女性為最被推崇使用之對象。目前常見的足部輔具有前足緩衝矯形器與特殊鞋型，且已得知前足緩衝矯形器 (功能鞋墊) 可協助足弓支撐，從而提升平衡與減緩足底壓力分佈 (Buldt et al., 2013)，且穿著寬楦頭鞋型可抑制步態推蹬時足部結構之絞盤效應 (windlass mechanism)，降低足底筋膜受力，改善發炎及疼痛等 (羅國峰等，2017)。就穿戴功能性而言，分趾套更傾向於前足緩衝矯形器 (功能鞋墊)，而其優點在於體積更小且方便穿戴於各種鞋型內，依據目前所開發的足部緩衝矯形器主要概念可區分為兩種，一種是在跖骨頭近端放置增厚墊，另一種則是在第一至第五腳趾的近節指骨中心附近提供凸形增高結構 (Abiko et al., 2020; Hähni et al., 2016; Nakano et al., 2017)。在相關的橫斷面實驗中，採用上述兩種足部矯形器作為支撐或減壓裝置，針對健康上班族與休閒跑者進行行走與跑步測驗，結果顯示跖骨墊矯形器可減緩足底壓力與預防下肢活動所產生的損傷 (Hähni et al., 2016; Hirschmüller et al., 2011; Ndermann et al., 2003)，而趾間增厚矯形器有助於改善行走步態 (Abiko et al., 2020)。亦有研究指出穿著前足矯形器有助於腿部

肌肉減輕施加於關節的力矩 (joint moment)，並且能夠協助前足區施力以分散身體重量，具備維持重心平衡與穩定步態之效益 (Babič et al., 2016; Buldt et al., 2018)。因此，前足緩衝矯形器已被證實為一種簡易矯正工具，可適用於任何情況 (Werd et al., 2010)，然而本研究使用分趾套不論是功能或外觀都更接近於上述前足緩衝矯形器，即透過於腳趾間增加軟墊，已提升整體寬度，藉此達到預期效果。但因為製作材質與整體外觀不盡相同，可能導致穿著舒適度與矯正效益無法達成共識，故仍需要更多的研究來輔以證明。

足部輔具可依據材質區分為剛性、軟性或半剛性 (即剛、軟性材質複合) 所製成，剛性材質可針對指定區域施加矯正力以對稱足部，而軟性材質通常為提供穿著舒適度及保護軟組織之功效 (Kwan et al., 2021)，倘若穿戴不合適足型的輔具，恐導致跟骨與足底筋膜附著處發炎疼痛，且提升罹患相關足部病變機率 (Wiedemeijer & Otten, 2018)。此外，足部輔具亦具備預防及矯正下肢損傷之功效，藉由提供患部支撐與矯正力量，降低行走時下肢肌力負擔，達到提升行走平衡與穩定步態週期，而提出相關論述之研究多半針對病患及姿勢不良族群作為主要研究對象，經過 6 ~ 12 週不等的輔具介入，隨之進行自然行走測驗來觀察整體步態與平衡差異 (Abiko et al., 2020; Hurst et al., 2017; Kim & Won, 2019)。相較於患者，足部輔具被廣泛運用於健康族群降低運動過程中前足區足底壓力，目前研究已表明穿著足部矯形器可緩解特定類型的足部疾病症狀，如：足底筋膜和蹠骨痛等，並且能夠有效提高舒適度 (Hähni et al., 2016)。綜合上述，過去針對輔具介入研究多半使用自然行走作為測量方式，因考量到受試者生理狀態尚未康復，在未規範測驗速度、緩慢及不穩定的狀態下，所得結果可能無法完全推論至健康女性消費者。然而本研究目的在於探討赤足與穿著分趾套對女性行走時平衡、步態與足底壓力差異，故將受試者行走速度納入控制條件，藉此驗證分趾套對提升平衡、改善步態與分散足底壓力效益，亦可釐清人體穿著分趾套的步態動作控制學理依據，並在實務上提供消費者選購依據。研究假設為穿戴分趾套對於女性行走時平衡、步態與足底壓力皆有顯著改善效益。

## 貳、方法

### 一、研究對象：

隨機招募 40 位自願參加之女性受試者 (年齡： $21.4 \pm 2.17$  歲；身高： $162 \pm 5.23$  公分；體重： $53.6 \pm 6.9$  公斤；前足區掌寬： $8.78 \pm 0.86$  公分)，符合足部長度於 22 至 30 公分，且一年內上下肢皆無重大傷害，在接受實驗前，所有受試者皆量測正常前足區掌寬與穿著分趾套時前足區掌寬，並由同一位研究人員告知研究目的、實驗流程與可能發生之危險，受試者保有瞭解研究結果與中途放棄實驗之權利，經受試者同意後簽署實驗同意書。本研究雖未送審研究倫理審查，但招募時皆通過研究對象同意並簽署受試者同意書，且所有實驗流程皆符合研究倫理委員會規定。

## 二、分趾套材質與前足區掌寬量測定義：

本研究所選用輔具為市售日本製之某牌分趾套，此產品僅有單一尺寸（長：9 公分、寬：1.5 公分與高：2.2 公分），適合足部長度在 22 至 30 公分者穿著，材質為 SEBE 醫用矽膠 (medical silicone)，化學名為聚甲基乙基矽氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS)，具有成本比低、不對人的身體有任何危害、生物適應能力好、無色、無毒、耐高溫、耐氧化、柔然性與透明性高等特徵 (Boudot et al., 2017)，作為本研究主要探討分趾套之材質，如下圖 1 所示。而本研究測量前足區腳掌寬度的定義為大拇趾至小拇趾兩側最寬處距離，具體方式為將皮尺放置地面，再請受試者踩在皮尺上方，由統一研究人員確認赤足與穿戴分趾套兩種狀態下慣用腳前足區腳掌寬度，作為前足區掌寬依據 (Tenenbaum et al., 2018)，具體量測方位，如圖 2。



圖 1、分趾套（左側為上方拍攝；右側為矢狀面拍攝）



圖2、受試者前足區掌寬量測示意圖（左側腳為穿著分趾套、右側腳為赤足狀態）

## 三、步態分期：

步態週期主要分為：60%支撐期 (stance phase) 與40%擺盪期 (swing phase)，其中支撐期主要分為三個階段，首先為腳跟著地期 (initial contact)，此時為身體重心最高階段，伴隨膝關節逐漸伸直，直到足底板完全平放地面，進入站立中期 (mid stance)，將身體重心向下移動，目的為平衡著地時所產生水平與內、外軸向的壓力晃動。最後則是銜接擺盪期的推進階段，稱為預擺期 (pre-swing)，此時足部的最大功能為成為硬板以承受全身重量，因此足底壓力會集中於前足區 (Mummolo et al., 2013)。擺盪期分為3個階段，(一) 加速期 (acceleration)：在加速期中，縫匠肌會帶動髖及膝關節產生最大的彎曲角度。(二) 擺盪中期 (mid-swing)：踝關節保持正中位置，利用骨盆向前旋轉，且以對側髖關節作為旋轉時之支點。(三) 減速期 (deceleration)：在此階段，主要利用腓旁肌群離心收縮以達到減速動作，髖關節作為輔助協助產生

下肢減速動作 (柯柏任等，2016)。整體而言，擺盪期時間的長短表示身體向前推進的能力優劣，並且與步行速度、跨步長呈現正相關，故本研究選擇步態週期中代表前足區推蹬作用力之「擺盪期」作為依變項參數，行走步態動作分期，如圖3所示。

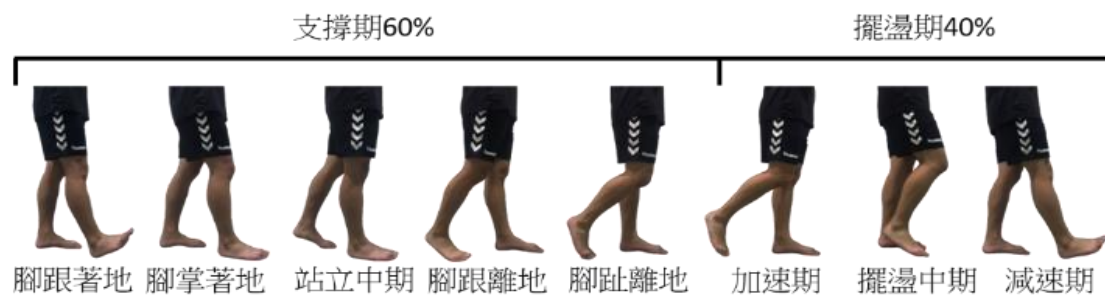


圖3、行走動作分期圖

#### 四、平衡與足底壓力定義：

人體平衡包括靜態平衡 (static balance) 及動態平衡 (dynamic balance)，靜態平衡是指身體對於重力之方向定位，動態平衡是指為因運動而產生身體晃動，為維持身體位置之反應 (石翔至、蔡正中，2011)。本研究以人體行走時保持身體平衡，所產生水平及內、外軸向晃動軌跡，與所組成的壓力中心晃動面積為指標，軌跡越長或面積越大表示平衡能力越差，反之則越佳 (邱文信等，2019；詹文祥等，2015)，作為平衡能力優劣之參考依據。足底壓力為人體在站立、步行或其他運動狀態下，足底接觸地面時單位面積所產生的壓力 (施惠方、邱文信，2018)。本研究參考過去文獻將足底壓力區域分為前足區、中足區、足跟區，共三個區域，並擷取 40 秒步態週期之慣用腳足底壓力作為參考依據 (黃彥慈、邱文信，2009)，如圖 4 所示。

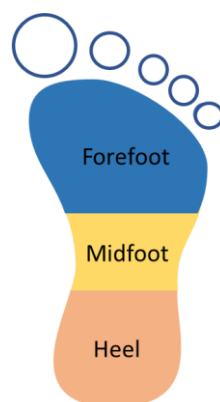


圖 4、足部分區圖

#### 五、實驗方法：

本實驗於室內實驗室進行，並在正式實驗前由同一研究人員向受試者進行流程與注意事

項說明，同時測量穿著分趾套前、後之前足區掌寬度。在場地布置方面，將足底壓力跑步機 (FDM-TLR ZEBRIS Germany, 100Hz) 架設於試驗室中心處，於跑步機左側矢狀面架設攝影機 (60Hz) 並與跑步機設定為同步，再連接至電腦。此外行走時視覺訊息傳遞差異，皆會影響動作控制、平衡與足底壓力分佈 (Stuart et al., 2018; Aydın, et al., 2016)，為了避免此現象產生進而影響研究結果，在足底壓力跑步機正前方架設一面海報版 (板面長 1.3 m、寬度 1.2 m、總高 1.8 m)，再以紅色膠帶 (邊長各 0.3 m) 於白紙上繪製「X」符號，並以圖釘將白紙固定至海報板中心處，統一以皮尺量測受試者赤腳自然站立於足底壓力跑步機時，鼻骨 (nasal bone) 處至地面高度，作為調整「X」符號之高度並加以記錄 (邱文信等，2019)。

實驗開始前，由同一研究員帶領受試者進行 5 分鐘動態熱身以及 6 分鐘的跑步機行走熱身，並分為赤腳與穿著分趾套兩部分，再根據受試者編號依序以平衡次序法方式 (counterbalance design)，赤腳站立於足底壓力跑步機上，並以鼻骨高度調整「X」符號高度後，研究人員啟動足底壓力跑步機，並將行走速度設定為 3.8 (km/h)，此速度被證實為一般成年人最舒適的行走速度 (Wang et al., 2013)。過程中要求受試者需全程直視前方標記物，手臂自然擺臂。整體施測時間為 60 秒，前 20 秒達到穩定步態週期，收取後 40 秒相關參數，每位受試者各執行 3 次，將 3 次測驗平均值作為平衡依據。

所有受試者依照平衡次序法隨機執行赤足或分趾套行走測驗後，統一休息 3 分鐘再進行另一部份行走測驗，由同一位研究員，協助將全新的分趾套穿著至受試者腳趾，同時比對說明書確認穿著正確性後，測量受試者前足區掌寬度加以記錄，收取赤足與穿戴分趾套兩種情況下行走之平衡、步態與足底壓力參數。在兩次施測過程中，受試者皆需全程直視前方標記物，且行走時手臂自然擺臂，過程中為了確保受試者安全性與動作一致性，由一位研究員於跑步機後方進行保護，另一位研究員於左側矢狀面確定受試者皆按照實驗規定進行，倘若有其中一項未達標準，則立即停止施測，並統一休息 1 分鐘後再以相同方式進行施測，以作為有效數據判定依據。場地布置，如圖 5。

## 六、資料分析：

將赤足與穿著分趾套之前足區掌寬度以 Excel 進行統計，再透過足底壓力跑步機 (FDM-TLR ZEBRIS Germany) 內建攝影機，將拍攝時間軸與行走時進行對比確認同步，利用足底壓力跑步機內建 Zebras-FDM 軟體以 Excel 匯出整體施測過程中赤足與穿著分趾套的平衡、步態與足底壓力量化數據，本研所得平衡指標為擷取受試者行走過程中水平 (X) 和內、外 (Y) 軸向壓力晃動軌跡的最大與最小值，以兩軸向晃動軌跡而言，最大與最小值軌跡越長，表示身體平控制越差，越短則越佳 (Alfieri et al., 2012)。此外，透過 X 與 Y 軸向的最大值與最小值之差計算身體重心偏移量，再藉由乘積為指標，所圍成的矩形面積即代表人體壓力晃動中心 (COP)，所得 ( $\text{cm}^2$ ) 面積越大即表示整體平衡越差，反之越佳 (邱文信等，2019)。步態指標直接使用足底壓力跑步機所量測步幅長、步寬、足部旋轉角度以及擺盪期之參數，並進行

平均。最後足底壓力參數的部分，則將慣用腳足區分為前足、中足及足跟共 3 區，並透過跑步機內建軟體 (Zebras-FDM)，將 40 秒完整步態週期各足區平均足底壓力匯出，作為比較赤足與穿著分趾套的足底壓力差異參考依據。公式如下：

$$\text{壓力晃動面積} = (X_{\max} - X_{\min}) \times (Y_{\max} - Y_{\min})$$

註：X 為水平軸向；Y 為內、外軸向。



圖 5、場地分布圖

## 七、統計方式：

將彙整後的前足區掌寬度、平衡、步態與足底壓力相關參數透過 SPSS for Windows 21.0 中文版統計軟體，以 Kolmogorov-Smirnov 檢驗進行常態檢定，確認所有參數皆為常態分佈，再以成對樣本  $t$  檢定 (paired sample  $t$  test) 考驗赤足與穿著分趾套行走時之前足區掌寬度、水平與內、外軸向壓力晃動軌跡、壓力晃動面積與各項步態參數，再透過二因子變異數分析 (two way ANOVA) 考驗分趾套穿戴與否以及各足區足底壓力兩個因子之差異，當交互作用達顯著時，進行單純主要效果 (simple main effect) 考驗，否則進行主要效果檢驗 (simple effect)，再透過 Tukey 事後比較法，檢驗赤足與穿著分趾套之前足、中足與足跟區壓力差異，顯著水準訂為 ( $\alpha=.05$ )，本研究將統計考驗之效果量 (effect size,  $ES$ )，以 0.2 定義為輕度；0.5 為中度；0.8 為高度，效果量越大被認定為顯著性的效果越強 (Kelley & Preacher, 2012)。公式如下：

$$d = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}}}$$



## 參、結果

### 一、赤足與穿著分趾套前足區掌寬比較

由表 1 得知，穿著分趾套前足區掌寬度顯著大於赤足狀態 ( $t = 9.688$ ;  $ES = .40$ ;  $p < .05$ )。

表 1、赤足與穿著分趾套前足區掌寬度 ( $n = 40$ )

	赤足	分趾套	$t$ 值	$p$ 值
前足區 腳掌寬度	$8.78 \pm 0.86$	$9.12 \pm 0.89$	9.688	.001*

註：前足區掌寬單位為 cm。

\* $p < .05$ 。

### 二、赤足與穿著分趾套各軸向晃動軌跡與壓力晃動面積

由表 2 可得知，相同的行走速度 (3.8Km/h) 下，不論赤足或穿著分趾套，在水平、內與外軸向之最大及最小晃動軌跡與壓力面積皆未達顯著差異 ( $p > .05$ )。

表 2、赤足與穿著分趾套水平與內、外軸向晃動軌跡及壓力面積

	赤足	分趾套	$t$ 值	$p$ 值	$ES$
最小水平	$0.12 \pm 0.11$	$0.14 \pm 0.14$	-0.855	.398	0.2
最大水平	$70.16 \pm 4.68$	$69.78 \pm 4.59$	0.721	.475	0.1
最小內、外	$0.05 \pm 0.04$	$0.05 \pm 0.05$	-0.099	.922	0.01
最大內、外	$82.12 \pm 7.37$	$83.16 \pm 9.37$	-1.275	.211	0.1
壓力面積	$57.57 \pm 7.36$	$57.86 \pm 7.41$	-0.389	.699	0.03

註：各軸向單位為 mm；各面積單位  $\text{cm}^2$ 。

\* $p < .05$ 。

### 三、赤足與穿著分趾套步態差異

從步態觀點而言，表 3 顯示在相同的行走速度 (3.8Km/h) 下，赤足與穿著分趾套行走僅有擺盪期百分比達顯著差異 ( $t = -2.64$ ;  $ES = .29$ ;  $p < .05$ )。而兩者於行走步幅長度、步寬與足部旋轉角度皆無顯著差異 ( $p > .05$ )。

### 四、赤足與穿著分趾套足底壓力差異



由表 4 可得知，分趾套介入因子達顯著差異 ( $F = 22.043; p = .001$ )；不同足區因子亦達顯著差異 ( $F = 249.537; p = .001$ )；兩者間交互作用達顯著差異 ( $F = 16.835; p = .001$ )，進行單純主要效果考驗，以 Tukey 事後比較法檢驗後組內部分，組內赤足狀態，中足區與足跟區顯著小於前足區 ( $ES = .47; p < .05$ )；赤足狀態，中足區顯著小於足跟區 ( $ES = .34; p < .05$ )。穿著分趾套，中足區與足跟區顯著小於前足區 ( $ES = .44; ES = .15; p < .05$ )；穿著分趾套中足區顯著小於足跟區 ( $ES = .34; p < .05$ )。組間部分，穿著分趾套前足區顯著小於未穿著之前足區 ( $ES = .31; p < .05$ )。

表 3、赤足與穿著分趾套步態差異

	赤足	分趾套	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值	<i>ES</i>
步幅長	108.99 ± 7.24	109.35 ± 6.53	-.222	.826	0.1
步寬	9.64 ± 2.52	9.49 ± 2.51	.235	.815	0.1
足部旋轉	6.88 ± 6.43	7.79 ± 6.60	-.366	.716	0.1
擺盪期	37.23 ± 0.98	37.62 ± 1.68	-2.64	.012*	0.3

註：步幅長、步寬單位為 cm；足部旋轉角度單位為度；擺盪期百分比單位為%。

\* $p < .05$ 。

表 4、赤足與穿著分趾套三足區之足底壓力比較

	前足區	中足區	足跟區	分趾套介入	不同足區	交互作用
赤足	41.52 ± 7.75	13.43 ± 3.28 <sup>ab</sup>	30.73 ± 6.65 <sup>a</sup>	.001*	.001*	.001*
分趾套	39.17 ± 7.77 <sup>c</sup>	13.35 ± 3.02 <sup>cd</sup>	30.92 ± 6.73 <sup>c</sup>			

註：單位：N/cm<sup>2</sup>；a = 與赤足前足區達顯著差異；b = 與赤足足跟區達顯著差異；c = 與穿戴前足區達顯著差異；d = 與穿戴足跟區達顯著差異；e = 穿戴前足區與未穿戴前足區達顯著差異。

\* $p < .05$ 。

## 肆、討論

本研究結果發現：穿戴分趾套時，前足區掌寬大於赤足，表示在穿戴此分趾套後會增加腳趾間的縫隙，而赤足與穿戴分趾套行走時最大、最小水平及內、外軸向晃動軌跡與整體面積皆無顯著差異。另外，在步幅長度、步寬、足部旋轉角度與擺盪期百分比之結果顯示，赤足與穿戴分趾套行走僅有在擺盪期百分比表現出顯著差異，穿戴分趾套行走擺盪期百分比顯著大於赤足狀態，其餘皆未達顯著。最後在足底壓力分佈方面，分趾套介入與不同足區兩因子間交互作用達顯著差異，在步態週期足底壓力的部分，皆以中足區最低，其次為足跟區，最高為前足區。值得一提的是，穿戴分趾套前足區足底壓力顯小於赤足，表示此分趾套對於人體減緩前足區足底壓力有顯著效益。由上述可得知，此分趾套能夠降低行走時足部推蹬所

產生的前足區足底壓力，但卻無法提升水平及內、外軸向與整體平衡能力。

由先前文獻發現足部矯形器可通過降低跑步負荷幅度與速率，以減緩健康跑者前足區壓力峰值，亦可避免足部過度使用所產生的病症 (Hähni et al., 2016)，其中具備「足弓支撐」功能的足部矯形器能降低行走時的水平及內、外軸向壓力晃動幅度並提升整體平衡能力 (Zhao et al., 2021)，而擁有「趾間增厚」功能的足部矯形器，可提供腳趾彎曲、施力，進而增加腳趾抓地與推蹬能力，藉此改善行走步長與速度 (Abiko et al., 2020; Nakano et al., 2017)。換言之，足部矯形器的外觀與功能差異可反應出不同的改善需求與其對應的矯正部位。然而，本研究的平衡結果顯示所有參數皆未達顯著差異，雖然本研究使用分趾套同樣具備「趾間增厚」的效果，同時過去研究也認同「趾間增厚」可能會提升平衡能力，但相較於前足區而言，在運動過程中足弓扮演的角色更為重要，其功能性包含緩衝、吸震、穩定及能量釋放，會直接影響到人體行走的表現。因此，影響平衡更重要的因子為「足弓支撐」(Lichtwark & Kelly, 2020)。所以總結上述論點可得知，改善平衡的足部矯形器需具備一定程度的中足區足弓支撐功能，欲增進女性行走時之各軸向與整體平衡能力，至少需具備「足弓支撐」的條件。反觀，本研究介入分趾套在穿著後僅有腳趾部分接觸產品，其餘足區（前足、中足與足跟）皆可視為「赤足狀態」，以致於無法提供足夠的矯正力來幫助足弓支撐以穩定行走平衡，此原因可能為造就本研究結果未達顯著差異之主因。

行走步態表現是監測傷害風險及穩定性的重要指標，同時輔具介入可促進行走步態趨於穩定 (Kwan et al., 2021; Herssens et al., 2018)，與普通鞋墊相比，穿著帶有趾間增厚功能的足部矯形器有助於提升年輕女性腳趾握力與靈巧性，亦可增進行走步長與擺盪期百分比 (Abiko et al., 2020; Nakano et al., 2019)。本研究與上述研究結果相同之處為穿戴分趾套確實能夠增加擺盪期百分比，但其餘參數皆未達顯著差異，將原因歸咎於兩者雖然皆具備趾間增厚功能，但實際外觀與穿戴模式上仍有些許落差，Abiko 等 (2020) 的研究中所採用的足部矯形器，將提供趾間增厚功能的腳趾握把位置設計靠近於關節趾骨中心，並緊密貼合於鞋墊上，透過協助趾長屈肌肌肉活化，提供更有效率的推蹬期發力率，且增厚範圍覆蓋至前側橫弓 (transverse arch)，亦有利於補償行走時緩衝與能量釋放的效益 (楊博智等，2020；Welte et al., 2018)。反觀，本研究使用分趾套僅穿戴於腳趾間，在行走過程中無法提供足夠的輔助力量。因此，推測本研究探討分趾套與先前研究結果不一致的主要原因在於穿著模式與幾何結構皆有所不同，而導致行走效益與赤足狀態相近，無法有效涵蓋至步長與行走速度。

此外，本研究發現穿著分趾套行走之擺盪期顯著高於赤足行走，此結果可解釋為穿著分趾套可能有助於前足推蹬與力量釋放，即為身體向前推進的能力，通常與步行速度、跨步長呈現正相關。然而，本研究發現步幅長度並沒有因為擺盪期百分比增加而顯著提升，推測原因可能為本研究透過足底壓力跑步機對受試者速度進行統一控制，因此所產生的步態結果無法與自然行走不一的現象，過去針對跑步機與自然行走步態差異的研究指出，非專業運動員無法短時間內適應跑步機上的動力模式，會因為害怕跌倒而不自覺降低身體質心垂直位移，

目的在於減少身體晃動幅度，同時容易出現較短的接觸時間與步長 (Firminger et al., 2018; Kong et al., 2012)。然而整體行走過程中，為緩衝腳跟著地所形成的反作用力，足部會產生相對應的內、外旋來改善壓力與提升穩定性，而足部旋轉角度取決於下肢髌、膝與踝關節，由於股骨前傾角度 (femoral anteversion angle)、脛骨角度異常，導致行走時出現內八或外八的步態表現，同時過度的足部外旋會引起代償性的步態偏差，最終則降低行走的穩定性 (Davids, et al., 2014)。根據本研究結果指出赤足與穿著分趾套行走足部旋轉角度未達顯著差異，原因為相較於穿戴至踝關節兩側的楔形矯正器，分趾套無法提供足跟與踝關節足夠的矯正力。因此，對足部的橫向平面旋轉角度的改善效益有限。

穿戴分趾套對於不同足區足底壓力影響的方面，兩因子交互作用達顯著差異，意即赤足與穿戴分趾套兩種狀態下行走，受試者前、中與足跟區之足底壓力的分布有所影響，此結果可歸因於行走是藉由下肢動力鏈傳遞，藉由支撐期與擺盪期不斷反覆，以帶動身體向前移動，其中足踝-複合體 (ankle-foot complex) 是由多個關節與骨頭所構成，在腳跟著地至腳掌完全離地的連續動作中，各足區需扮演不同角色導致其所呈現的足底壓力存在顯著差異 (王奕霖等, 2017; Eerdekens et al., 2019)。行走運動過程中腳跟著地主要功能為緩衝，此時足跟區有著適當的足底壓力分布，再透過足弓進行支撐並保持身體穩定，同時協助足跟緩衝，因此中足區有著些微的足底壓力。接著透過腳尖進行推蹬，並帶動身體向前行走，此時腳尖前足區相較中足與足跟區，有更為顯著的足底壓力產生，因此，在行走時前足區足底壓力顯著大於中足區與足跟區，而足跟區足底壓力顯著大於中足區 (Buldt et al., 2018)。此結果與本研究結果一致，但值得一提的是本研究結果發現，穿著分趾套相較於赤足，可有效降低前足區足底壓力。此原因推測可能為穿著分趾套增加了整體前腳掌厚度，可在行走或跑步的過程中協助下肢進行些許緩衝，且若在足底壓力相對高的區域進行使用特殊編織或以適當材質加厚，對於該足區均壓效益更為顯著 (Lin et al., 2017; Soltanzadeh et al., 2017)。

分趾套所提供的矯正力雖然無法媲美足部矯形器，但增加厚度於腳趾節中段處，可擴大足底接觸地面之面積，進而協助改善足底壓力集中的情況，驅使身體重量傳遞至足底時達到均壓的效益 (Buldt et al., 2018)。美中不足的為分趾套於穿著時僅能包覆前足區，而中足與足跟區則無包覆作用，顯見在此狀況下僅能降低前足區之足底壓力。此外，腳趾於行走過程中主要作用為透過趾屈與背屈提供下肢推動力，亦可進行減速及緩衝，當腳趾勁度 (stiffness) 增加時，可提供腳掌更適當的緩衝能力 (Honert et al., 2018)，因此推測穿著分趾套可增加腳趾勁度，從而協助腳掌進行緩衝，使前足區足底壓力顯著下降 (Buldt et al., 2018)。本研究主要針對單一品牌分趾套，標榜可提升平衡、改善步態與降低足底壓力分布的功能特性進行測試，且為了精準的釐清此兩功能的效益，故排除於地面行走之速度差變數，採用跑步機將速度固定，此方式有別於實際行走狀況，且個人行走速度本具有不同，因此可能有較低的生態效度 (ecological validity)。此外，本研究在進行預備實驗時並未透過 GPower 軟體計算中度或高度效果量所需實驗人數，此原因可能為本研究結果所得之效果量多為中度與輕度之主因。

## 伍、結論

分趾套因穿著時僅接觸到前足與腳趾區，故對於提供中足區足弓支撐相當有限，在穿著後相較於赤足之水平、內、外軸向與整體平衡表現的效果雷同，但藉由穿著時提供腳趾區適當的包覆，可協助降低行走過程中前足區壓力峰值。建議女性消費者於行走過程中，若以降低前足區壓力為目的，可選購此類分趾套於行走運動過程穿著，進而提升運動品質。同時建議未來相關研究人員，可針對不同品牌、材質之分趾套，所標榜可預防拇指外翻與矯正腿型等功能進行檢驗，藉此提供消費者在選購前有更完整的產品功能認知，亦可作為廠商研發與設計之參考依據。

## 陸、實務應用

分趾套具有降低前足區足底壓力之優勢，倘若在從事走路運動時，長期感受到前足區疼痛，可嘗試穿戴分趾套於運動期間，建議未來研究人員在從事相關研究時，可將肌肉活化納入考量依據，或選擇不同品牌的分趾套進行比較，深入了解分趾套對於行走的影響。

## 利益衝突

作者聲明本研究無涉及任何利益衝突關。

## 致謝

無

## 引用文獻

- 王奕霖、王令儀、高金江、辜靜儀 (2017)。穿鞋與赤足跑步之下肢動作型態與肌肉活化差異。《運動表現期刊》，4(1)，17–22。 <https://doi.org/10.3966/240996512017060401003>
- 石翔至、蔡正中 (2011)。人體平衡能力的評估與訓練成效之探討。《中華體育季刊》，25(1)，173–180。 <https://doi.org/10.6223/qcpe.2501.201103.2119>
- 邱文信、陳羿揚、黃依婷 (2019)。規律走路運動對高齡者平衡能力的影響。《大專體育學刊》，21(4)，331–341。 [https://doi.org/10.5297/ser.201912\\_21\(4\).0003](https://doi.org/10.5297/ser.201912_21(4).0003)
- 施惠方、邱文信 (2018)。探討穿著排球專項運動鞋與慢跑鞋走路之足底壓力差異。《華人運動生物力學期刊》，15(2)，25–31。 <https://doi.org/10.3966/207332672018121502004>
- 柯柏任、黃長福、許太彥、張博涵、楊子享 (2016)。跑步機與地面跑步時下肢肌肉活化程度之比較。《運動表現期刊》，3(1)，35–40。  
<https://doi.org/10.3966/240996512016060301006>
- 張倍瑄、陳淑芬、沈培德、相子元 (2017)。慢跑機能服飾需求之問卷訪談分析。《運動表現

- 期刊，4(1)，11–16。 <https://doi.org/110.3966/240996512017060401002>
- 黃彥慈、邱文信 (2009)。足底壓力分區方式之探究。 *中華體育季刊*，23(4)，34–43。  
<https://doi.org/10.6223/qcpe.2304.200912.2005>
- 楊琇甯、唐晏珊、謝長欣、相子元 (2021)。足底壓力感測元件數量對於平衡參數準確度之影響。 *運動表現期刊*，8(2)，87–96。 <https://doi.org/10.3966/240996512021090802003>
- 楊博智、簡榮均、賴建廷、王令儀、何春生 (2020)。彈性足弓支撐墊對低足弓運動員著地撞擊與推蹬力量的影響。 *運動表現期刊*，7(2)，103–114。  
<https://doi.org/10.3966/240996512020090702004>
- 詹文祥、邱文信、林思妤 (2015)。過肩投擲動作對地面反作用力與足底壓力表現之探討。 *運動表現期刊*，2(1)，25–30。 <https://doi.org/10.3966/240996512015060201005>
- 羅國峰、鄭又寧、張莞芳、李雪禎、王子娟、施怡芬 (2107)。鞋墊介入足底筋膜炎之效果：系統性回顧與統合分析。 *物理治療*，42(1)，42–54。  
<https://doi.org/10.6215/FJPT.PTS1472533711>
- Abiko, T., Murata, S., Kai, Y., Nakano, H., Matsuo, D., & Kawaguchi, M. (2020). Differences in electromyographic activities and spatiotemporal gait parameters between general and developed insoles with a toe-grip bar. *BioMed Research International*, 1, 6.  
<https://doi.org/10.1155/2020/6690343>
- Alfieri, F. M., Riberto, M., Gatz, L. S., Ribeiro, C. P., Lopes, J. A., & Battistella, L. R. (2012). Comparison of multisensory and strength training for postural control in the elderly. *Clinical Interventions Aging*, 7, 119–125. <http://doi.org/10.2147/CIA.S27747>
- Antwi-Afari, M. F., & Li, H. (2018). Fall risk assessment of construction workers based on biomechanical gait stability parameters using wearable insole pressure system. *Advanced Engineering Informatics*, 38, 683–694. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.10.002>
- Aydın, E., Çakmak, H., Kocatürk, T., Eroğlu, M., Erkan, E., Ömürlü, I. K., & Şendura, Ö. F. (2016). The influence of monocular vision on the plantar pressure distribution. *Clinical Biomechanics*, 35, 23–26. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.04.003>
- Babič, J., Mombaur, K., Lefeber, D., Dieën, J. V., Graimann, B., Russold, M., & Houdijk, H. (2016). SPEXOR: Spinal exoskeletal robot for low back pain prevention and vocational reintegration. In: González-Vargas, J., Ibáñez, J., Contreras-Vidal, J., van der Kooij, H., Pons, J. (eds) *Wearable Robotics: Challenges and Trends. Biosystems and Biorobotics*, 16.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-46532-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46532-6_51)
- Boudot, C., Kühn, M., Kühn-Kauffeldt, M., & Schein, J. (2017). Vacuum arc plasma deposition of thin titanium dioxide films on silicone elastomer as a functional coating for medical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 74, 508–514.  
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.045>

- Buldt, A. K., & Menz, H. B. (2018). Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: a systematic search and narrative review of the literature. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0284-z>
- Buldt, A. K., Murley, G. S., Butterworth, P., Levinger, P., Menz, H. B., & Landorf, K. B. (2013). The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait and Posture*, 38(3), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.01.010>
- Davids, J. R., Davis, R. B., Jameson, L. C., Westberry, D. E., & Hardin, J. W. (2014). Surgical management of persistent intoeing gait due to increased internal tibial torsion in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 34(4), 467–473. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000173>
- Eerdeken, M., Deschamps, K., & Staes, F. (2019). The impact of walking speed on the kinetic behaviour of different foot joints. *Gait and Posture*, 68, 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.12.022>
- Endo, M., Ashton-Miller, J. A., & Alexander, N. B. (2002). Effects of age and gender on toe flexor muscle strength. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(6), 392–397. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.6.M392>
- Firminger, C. R., Vernillo, G., Savoldelli, A., Stefanyshyn, D. J., Millet, G. Y., & Edwards, W. B. (2018). Joint kinematics and ground reaction forces in overground versus treadmill graded running. *Gait and Posture*, 63, 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.04.042>
- Gu, Y., Li, F., Li, J., Feng, N., Lake, M. J., Li, Z., & Ren, J. (2014). Plantar pressure distribution character in young female with mild hallux valgus wearing high-heeled shoes. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 14(1), 1450008. <https://doi.org/10.1142/S0219519414500080>
- Hähni, M., Hirschmüller, A., & Baur, H. (2016). The effect of foot orthoses with forefoot cushioning or metatarsal pad on forefoot peak plantar pressure in running. *Journal of Foot and Ankle Research*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13047-016-0176-z>
- Herssens, N., Verbecque, E., Hallemans, A., Vereeck, L., Van Rompaey, V., & Saeys, W. (2018). Do spatiotemporal parameters and gait variability differ across the lifespan of healthy adults? A systematic review. *Gait and Posture*, 64, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.06.012>
- Hirschmüller, A., Baur, H., Müller, S., Helwig, P., Dickhuth, H. H., & Mayer, F. (2011). Clinical effectiveness of customised sport shoe orthoses for overuse injuries in runners: a randomised controlled study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(12), 959–965. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2008.055830>
- Honert, E. C., Bastas, G., & Zelik, K. E. (2018). Effect of toe joint stiffness and toe shape on walking biomechanics. *Bioinspiration and Biomimetics*, 13(6), 1–14.



- Hurst, B., Branthwaite, H., Greenhalgh, A., & Chockalingam, N. (2017). Medical-grade footwear: the impact of fit and comfort. *Journal of Foot and Ankle Research*, 10(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.1186/s13047-016-0184-z>
- Kelley, K., & Preacher, K. J. (2012). On effect size. *Psychological Methods*, 17(2), 137–152.  
<https://doi.org/10.1037/a0028086>
- Kim, J. H., & Won, B. H. (2019). Kinematic on ankle and knee joint of post-stroke elderly patients by wearing newly elastic band-type ankle-foot orthosis in gait. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 2097. <https://doi.org/10.2147/CIA.S222087>
- Kobayashi, Y., Hobara, H., Heldoorn, T. A., Kouchi, M., & Mochimaru, M. (2016). Age-independent and age-dependent sex differences in gait pattern determined by principal component analysis. *Gait and Posture*, 46, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.021>
- Kong, P. W., Koh, T. M., Tan, W. C., & Wang, Y. S. (2012). Unmatched perception of speed when running overground and on a treadmill. *Gait and Posture*, 36(1), 46–48.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.01.001>
- Kwan, M. Y., Yick, K. L., Yip, J., & Tse, C. Y. (2021). Hallux valgus orthosis characteristics and effectiveness: A systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*, 11(8), e047273.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-047273>
- Lichtwark, G. A., & Kelly, L. A. (2020). Ahead of the curve in the evolution of human feet. *Nature*, 579, 31–32. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00472-z>
- Lin, M. C., Lou, C. W., Lin, J. Y., Lin, T. A., Chuang, Y. C., & Lin, J. H. (2017). Mechanical and physical properties of puncture-resistance insole made of Kevlar® recycled selvages. *Fibers and Polymers*, 18(11), 2219–2224. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-7615-8>
- Mummolo, C., Mangialardi, L., & Kim, J. H. (2013). Quantifying dynamic characteristics of human walking for comprehensive gait cycle. *Journal of Biomechanical Engineering*, 135(9), 1–10.  
<https://doi.org/10.1115/1.4024755>
- Nakano, H., Murata, S., Abiko, T., Sakamoto, M., Matsuo, D., Kawaguchi, M., & Matsui, H. (2019). Effect of insoles with a toe-grip bar on toe-grip strength and body sway in middle-aged and elderly women. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 35(2), 125–128.  
<https://doi.org/10.1097/TGR.0000000000000221>
- Nakano, H., Murata, S., Abiko, T., Sakamoto, M., Matsuo, D., Kawaguchi, M., Sugo, Y., & Matsui, H. (2017). Effect of insoles with a toe-grip bar on toe function and standing balance in healthy young women: A randomized controlled trial. *Rehabilitation Research and Practice*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1155/2017/2941095>
- Ndermann, A. M., Nigg, B. M., Humble, R. N., & Stefanyshyn, D. J. (2003). Orthotic comfort is related to kinematics, kinetics, and EMG in recreational runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 195 (9131/03), 3510–1710.



<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000089352.47259.CA>

- Paschalis, V., Giakas, G., Baltzopoulos, V., Jamurtas, A. Z., Theoharis, V., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2007). The effects of muscle damage following eccentric exercise on gait biomechanics. *Gait and posture*, 25(2), 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.04.002>
- Robinson, N. A., Spratford, W., Welvaert, M., Gaida, J., & Fearon, A. M. (2019). Does Dynamic Tape change the walking biomechanics of women with greater trochanteric pain syndrome? A blinded randomised controlled crossover trial. *Gait and Posture*, 70, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.031>
- Soltanzadeh, Z., Najar, S. S., Haghpanahi, M., & Mohajeri-Tehrani, M. R. (2017). Plantar static pressure distribution in normal feet using cotton socks with different structures. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 107(1), 30–38. <https://doi.org/10.7547/14-085>
- Stuart, W., Mackenzie, S. W. & Reynolds, R. (2018). Differential effects of vision upon the accuracy and precision of vestibular-evoked balance responses. *The Journal of Physiology*, 596(11), 2173–2184. <https://doi.org/10.1113/JP275645>
- Tenenbaum, S. A., Herman, A., Bruck, N., Bariteau, J. T., Thein, R., & Coifman, O. (2018). Foot width changes following hallux valgus surgery. *Foot and Ankle International*, 39(11), 1272–1277. <https://doi.org/10.1177/1071100718783458>
- Wang, H., Zhang, Y. F., Xu, L. L., & Jiang, C. M. (2013). Step rate-determined walking intensity and walking recommendation in Chinese young adults: A cross-sectional study. *BMJ Open*, 3(1), e001801. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001801>
- Welte, L., Kelly, L. A., Lichtwark, G. A., & Rainbow, M. J. (2018). Influence of the windlass mechanism on arch-spring mechanics during dynamic foot arch deformation. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(145), 20180270. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0270>
- Werd, M. B., Knight, E. L., & Langer, P. R. (2010). *Athletic footwear and orthoses in sports medicine*. Springer.
- Wiedemeijer, M. M., & Otten, E. (2018). Effects of high heeled shoes on gait. A review. *Gait and Posture*, 61, 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.036>
- Zhao, X., Wang, M., Fekete, G., Baker, J. S., Wiltshire, H., & Gu, Y. (2021). Analyzing the effect of an arch support functional insole on walking and jogging in young, healthy females. *Technology and Health Care*, 29(6), 1141–1151. <https://doi.org/10.3233/THC-181373>

## Effects of Toe Separators on Women's Balance, Gait and Plantar Pressure during Walking

Ze-Si Li<sup>1</sup>, Yi-Yang Chen<sup>2</sup>, Wen-Hsin Chiu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Kinesiology, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

<sup>2</sup> Minnan Normal University, Fujian Province, China

---

### Abstract

**Purposes:** The purpose of this study was to investigate the influence of wearing commercially available toe separators on walking balance, gait and planta pressure in females, providing a reference for consumers considering toe separators. **Methods:** Forty female subjects were recruited, and forefoot width was measured before and after a walk exercise. A plantar pressure treadmill was used to collect data on maximum and minimum of horizontal movements, internal and external sway trajectories, overall force area, and percentage of stride length, stride width, foot rotation, and period of oscillation while walking at 3.8 km/h with and without toe separators. Paired *t*-tests were performed to compare the difference between barefoot and with toe separators in the above parameters. A two-way ANOVA was conducted to test the difference in plantar pressure between walking barefoot and with toe separators in the three-foot region ( $\alpha = .05$ ). **Results:** The width of the foot with the toe separator was significantly larger than that of the barefoot. There were no significant differences between walking barefoot and with toe separators in maximum and minimum horizontal movements, internal and external axial sway trajectories, overall area, stride length, stride width, and foot rotation angle. However, the percentage of period of oscillation was significantly lower in the toe separator condition. In addition, with toe separators, the plantar pressure in the forefoot area was significantly lower than that when walking barefoot. The lowest peak rate of pressure was found in the mid-foot area, followed by the heel area and the forefoot area. **Conclusions:** The toe separators were only attached to the forefoot and toe area, which provides limited arch support to the mid-foot area. Although horizontal movements, internal and external axial, and overall balance performance were similar to walking barefoot, toe separators helped provide proper coverage to the toe area and reduced the peak rate of pressure in the forefoot area during walking. Therefore, wearing toe separator is recommended for female consumers who wish to alleviate pressure in the forefoot area during walking to improve the quality of movement.

**Keywords:** center of pressure, stride length, step width, foot rotation angle, three foot area

---

