



以生物力學觀點應用於跑鞋研發設計實例

^{1,3}劉宗翰、²謝長欣、²相子元*

¹國立臺灣師範大學體育學系、²國立臺灣師範大學運動競技學系、³勝利體育事業股份有限公司球鞋研發部

投稿日期：2017 年 11 月；通過日期：2018 年 04 月

摘要

目的：本研究以生物力學觀點為基礎，進行跑鞋的研發設計。針對跑鞋的基本功能及動作功能，轉換為跑鞋的研發設計的概念，並導入跑步支撐期 (support time) 足底壓力中心 (Centre of pressures, COP) 軌跡作為跑鞋研發設計主軸。**方法：**本研究分為三大階段，首先進行功能性設計階段，針對後跟避震、中足支撐、前掌回彈及足底壓力中心軌跡等功能性設計；第二階段進行科學驗證階段，確認跑鞋避震性、壓力中心軌跡等數值，是否有達到預期的功能設定；最後試穿驗證階段安排專業試穿員，分別進行耐用性測試及穿著感受測試。**結果：**功能性驗證得知實驗鞋一的撞擊力量為 1.36 (BW) 及最大負荷率為 79.57 (BW/s)；大底運動軌跡與 COP 軌跡設計大致吻合；具有較佳的足壓分佈及減少壓力峰值的發生；根據試穿員的試穿意見反饋進行多次修正調整，最終確認完成功能性及材料設定。**結論：**跑鞋研發設計可以導入足底壓力中心軌跡的生物力學觀點，並透過材料設定結合外觀結構設計可以達到兼具外觀與功能性設計的產品，增加產品的附加價值，並協助台灣傳統運動產業提升研發設計能力。

關鍵字：避震性、回彈性、足底壓力、壓力中心軌跡

壹、緒論

臺灣從 80 年代至今一直是扮演國際運動品牌運動鞋代工的重要產業供應鏈角色，臺灣製鞋產業提供很好的材料開發及精良製作品質，但仍屬於代工製造產業，如果能結合臺灣的運動科學能量，將生物力學的概念導入運動鞋的研發設計，能為製鞋產業提供研發創新的可能與機會，增加製鞋產業的不可取代性。

目前跑鞋中底的基本功能著重於避震與回彈，其中避震技術是從 80 年代開始發展至今一直都是功能性設計的重點，近年來有相關研究指出，運動鞋的中底可以減緩在走路、跑步或其他活動時所產生對身體的撞擊力 (McPoil, 2000)；Nigg、Stefanyshyn、Cole、Stergiou 與 Miller 等人 (2003) 指出根據跑者的經驗由後跟到腳趾所承受的撞擊力量峰值約為體重的 1~2.5 倍；過往探討結構避震及材料避震設計跑鞋研究，比對市售常用的四種避震材料 (EVA, Gel, Adiprene & Air) 的跑鞋進行避震性與舒適性的關係研究 (Dinato et al., 2015)；也有研究探討跑鞋鞋墊對於避震性的影響 (O'Leary, Vorpahl & Heiderscheidt, 2008) 得知鞋墊

也能減緩撞擊力量峰值，達到避震緩衝的功能；在運動生物力學研究中，經常會透過測力板所得的垂直地面反作用力 (VGRF) 來評估著地負荷 (許年瑩、孫苑梅、張木山、王令儀, 2015)。Nigg (1986) 指出撞擊力峰值發生前會產生最大負荷率，此負荷率的值與峰值大小及其發生的時間都有關聯，因此以最大負荷率來評估運動鞋的避震能力較為恰當。Bertelsen、Jensen、Nielsen、Nielsen 與 Rasmussen 等人 (2013) 探討跑鞋的著地形態及著地位置的研究，蒐集 903 位跑者的跑步影像資料進行著地位置的分析，結果發現有高達 98.12% 的比例是使用後跟落地 (rearfoot strike, RFS) 的方式，邱宏達與鄧蓓蓓等人 (2015) 也指出一般習慣穿鞋的跑者，在慢跑時都是以後跟著地 (heel strike) 方式，因此根據上述研究可知中底的後跟避震性是跑鞋設計的重點。另一個跑鞋中底的基本功能是回彈，回彈性 (energy return) 是當材料受到壓縮後能快速回復到原來的形狀並損失最少的能量，回彈性也是中底材料的重要功能 (McPoil, 2000)；回彈性是使選手對

*通訊作者：相子元 國立臺灣師範大學運動競技學系
Email: tyshiang@gmail.com
地址：(11677)臺北市文山區汀洲路四段88號

外輸出的能量，能完全應用於運動表現上；針對中底材料特性（硬度）對於跑步時肌肉活化及能量吸收研究 (Nigg et al., 2003) 發現中底硬度會影響能量的損耗，會對於下肢肌肉產生預先活化 (pre-activation)，對於脛前肌、腓腸肌、股內側肌及腿後肌 (0.9~13.2%) 的差別，但無呈現顯著差異；跑步的過程中前掌所需扮演推蹬向前的動力，因此中底回彈性也是跑鞋中底基本功能設計的重點。

跑鞋的動作功能設計會著重支撐期時足底壓力中心的軌跡變化，一般跑步的步態分期可以區分為簡單可分為站立支撐期 (stance phase) 及擺盪期 (swing phase)，也根據左右腳可再細分出時間點如後跟落地 (initial contact)、前掌離地 (toe off) 等跑步步態分期 (Novacheck, 1998)；跑步的支撐期是由後跟落地到前掌離地的過程 (Loudon, Swift, & Bell, 2008)，因此支撐期中的各階段動作分期是跑鞋動作功能設計的重點。詹文祥、邱文信與林思好等人 (2015) 指出足底壓力是最可以呈現足部細微結構的檢測方式；足底壓力分析主要是評估足底受力的情形，根據牛頓第三運動定律（作用力等於反作用力），由下肢的骨骼肌帶動骨骼及關節，給人體移動的力量，地面則提供人體直接或間接的反作用力，足底壓力就在運動中產生 (詹文祥等人, 2015)；足底壓力通常用來量測動作時足壓區域的變化及足底壓力峰值發生的位置 (Murphy, Beynonn, Michelson, & Vacek, 2005; Putti, Arnold, & Cochran, 2007)；Sole、Pataky、Sole、Hale 與 Milosavljevic 等人 (2017) 指出足底壓力中心 centre of pressures (COP) 軌跡可以用來描述複雜的足部動態功能，並且描述足部與地面接觸時的步態情況，因此針對支撐期的足底壓力中心軌跡可以做為最核心的跑鞋功能性研發設計的概念。

綜合上述跑鞋的功能特性，根據 Dinato 等人 (2015) 指出科學家或研究人員對於跑鞋的研發，透過新產品或新技術的發展，減少潛在的危險因子及避免發生跑步受傷的情況。故本研究參考林羿志、劉宗翰與相子元等人 (2016) 提出運動鞋的避震科技、穩定及動作控制 (motion control) 系統構元件等功能性設計概念，進行跑鞋的後跟避震、中足支撐、前掌回彈等功能性設計，最終導入支撐期的足底壓力中心軌跡等生物力學理論觀點，作為跑鞋研發整體功能性設計的主軸，並透過實驗及測試員試穿的方式驗證其功能性確認各部位的功能設計，可達到預期的 COP 運動軌跡設計，成為運動鞋廠商銷售賣點，證明臺灣研發

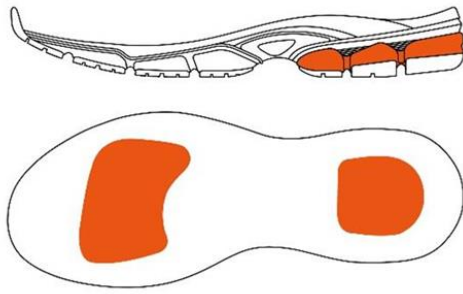
團隊具備研發設計專業跑鞋的能力。

貳、方法

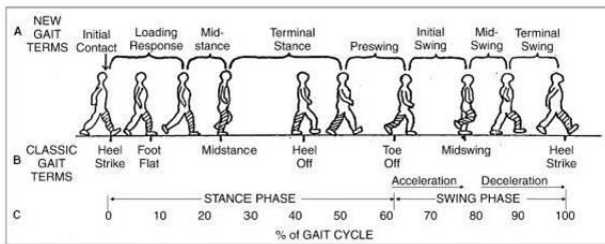
本研究方法著重在跑鞋的功能性設計的應用及驗證階段，參考陳韋翰等人 (2014) 運動生物力學應用在棒壘球運動機能襪之研發，將研究架構分為市場調查與分析階段、專項動作運動生物力學定性分析階段、設計與製造階段、試穿測試及科學驗證階段等四個階段，而本研究進行修正為三個階段方法，分為跑鞋功能性設計階段、科學驗證階段及試穿測試階段等。第一階段為跑鞋功能設計階段，本研究跑鞋功能性設計著重於支撐期的後跟著地、中足支撐及前掌推蹬等動作過程中的運動生物力學特性表現，相關的研究也指出穿著球鞋進行慢跑之跑者多數採取後足著地的策略 (陳柏潔、黃長福, 2014)，本研究後跟避震採取材料+結構型的避震設計 (圖一)，材料避震主要使用 EVA 避震材料 (45C)，結構型避震是採取兩種不同 EVA 材料特性及硬度 (45C/57C) 的結構堆疊來達到結構的避震，預期能達到雙效避震的功能，同時也需要提供良好的後跟垂直與前後方向的回彈性設計 (圖二)，協助在後跟落地時隨著動作及重心的快速轉換至中足位置，此時中足將扮演很重要的能量傳遞的過程，中足部位採取 TPU 射出材料作為中足穩定結構的設計，影響整個跑步動作的前-後與左-右方向的速度及反作用力的表現；前掌垂直與前後方向的推蹬是提供跑步向前時提供最大的動能，前掌回彈性設計 (圖二) 能有助於提供彈性動能輔助向前推進的效能；上述的功能性設計都是針對各個局部位置進行的功能設計，但影響一雙跑鞋的整體穿著功能性還必須觀察各部位的功能性設計是否能夠協同運作，因此以支撐期中各階段步態分期方式 (Loudon, Swift, & Bell, 2008) 作為足底壓力分期的依據 (圖三)，採取跑鞋支撐期時全掌的足底壓力軌跡設計 (圖四) 等生物力學理論觀點，作為本研究跑鞋研發整體功能性設計的主軸，同時也可以確認是否各部位的功能設計，最終能達到預期的 COP 運動軌跡設計。



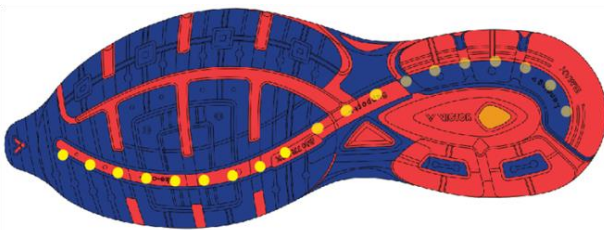
圖一、後跟-材料避震+結構避震設計



圖二、前掌回彈及後跟回彈設計



圖三、跑步支撐期的足底壓力分期說明：圖片引用 (Loudon, Swift, & Bell, 2008)



圖四、COP運動軌跡設計

第二階段為科學驗證階段可分為鞋材基本物性測試及跑鞋功能性測試，首先鞋材基本物性測試材料的硬度、避震性、回彈性的測試數值；大底橡膠材料硬度測量儀器為Shore A硬度計 (Teclock GS-709N, Japan)，數值越低代表材料越軟；中底EVA材料硬度測量儀器為Shore C硬度計 (Teclock GS-701N, Japan)，數值越低代表材料越軟；避震性使用攜帶式避震反彈測試儀及測力板 (Kistler 9821, Germany) 取樣頻率為1000Hz，進行材料撞擊測試。根據SATRAPM142標準以8kg的撞擊器從距離材料高度5cm處落下進行撞擊測試，取得材料的撞擊力量峰值及最大負荷率；回彈性是根據VICTOR中底材料-回彈性測試方法，利用COR測試機台，從固定高度480mm (桌面至電磁鐵的距離) 將鋼球 (直徑27mm、重量78.5g) 垂直掉落至減震墊，利用高速攝影機 (Exilim EX-F1, Casio, Tokyo, Japan) 取樣頻率為300fps，取得鋼球撞擊減震墊後的

回彈高度，回彈率 (%) 為計算方式如下公式：

$$\text{回彈性 \%} = (\text{回彈高度} / \text{落下高度}) \times 100\%$$

針對跑鞋功能性測試，蒐集市售兩款品牌的跑鞋作為Y牌跑鞋及N牌跑鞋，Y牌跑鞋一為材料+結構設計的慢跑鞋，主要的功能性設計為優異的避震性；N牌跑鞋為赤足系列的慢跑鞋採取材料避震性，主要的功能性設計概念是以類似赤足的概念達到避震性；本研究功能性設計的兩款跑鞋為實驗鞋一及實驗鞋二，實驗鞋一使用PU材質的鞋墊，實驗鞋二的外觀及功能設定都同實驗鞋一，兩者主要的差異為實驗鞋二是EVA鞋墊材質；本階段驗證探討跑鞋間的差異，故使用一位試穿員進行鞋款間的比對測試，使用Kistler測力板 (Kistler 9821, Germany) 取樣頻率為1000Hz，受試者以3.3m/s的速度前進踏上測力板，進行人體避震測試；另外，跑鞋避震測試是以可攜式撞擊測試機與測力板進行測試；足底的壓力分佈是使用Pedar-X足底壓力鞋墊分析設備 (Pedar-X, Novel, Munich, Germany)，取樣頻率100Hz分析跑鞋的避震性、足底壓力分布情況及壓力中心軌跡的變化。

第三階段為試穿測試及訪談回饋，透過實驗鞋一及實驗鞋二的鞋款發放，歷時2個月的日常訓練使用，確認跑鞋的功能性、耐用性及鞋墊等性能分析，並根據試穿員的意見回饋作為鞋款修正調整的依據，再次試穿確認後才能進行量產的作業。

參、結果

四雙跑鞋基本資料彙整如表一；材料避震性驗證的結果與人體避震性驗證結果如表二，材料避震性驗證結果呈現實驗鞋一的撞擊力量峰值及最大負荷率都是四款樣品中最低的數值，表示其避震能力較其他樣品佳；人體避震性驗證結果呈現Y牌跑鞋是材料+結構避震設計訴求的跑鞋，預期應該有不錯的避震能力，但實驗結果呈現是四款跑鞋中最大的撞擊力量1.61 (BW)；N牌跑鞋是材料避震設計訴求的跑鞋，中底硬度及鞋墊硬度都屬於較軟的設定，預期也會有較好的避震能力，結果也呈現較高的撞擊力量1.55 (BW)，然而實驗鞋一的撞擊力量為1.36 (BW) 及最大負荷率為79.57 (BW/s)，卻是四款跑鞋中避震能力表現最好的鞋款；根據材料避震性驗證的結果與人體避震性驗證結果整體來看趨勢一致；壓力中心軌跡分析 (圖五)，根據測力板所得之地面反作用力，對照地面反作用力 (合力) 發生位置的前-後方向及左-右方向的座標，繪

製成足底壓力中心軌跡圖，進行座標系統的轉換至實驗鞋一大底範圍，由後跟著地位置進行足底壓力中心軌跡的套疊，發現實驗結果與跑鞋運動軌跡的設計大致吻合；另外，觀察足底壓力分布情況由實驗鞋一 (PU鞋墊) 及實驗鞋二 (EVA鞋墊) 的足底壓力分佈情況 (圖六及圖七)，透過不同步態分期下的足壓分佈圖，可以得知實驗鞋一具有較佳的足壓分佈，相對於實驗鞋二有效減少在後跟及前掌位置的壓力峰值。

試穿員驗證，由高中組中長距離男選手4位，經過2個月的試穿並無發生鞋面磨損及大底開膠的情況，確

認跑鞋的耐用性；另外，1位業餘馬拉松女性跑者累積200km以上的實際路跑測試，過程中透過試穿動作確認鞋面的製作工藝及材料以及鞋墊材料的確認，透過訪談的方式記錄穿著意見回饋，確認其功能性及穿著感受；根據試穿後的意見，發現前掌鞋面的彎曲性不好、透氣性不佳、重量太重及EVA鞋墊的穿著舒適度不佳等問題並提供相關建議改點，為使鞋款更加達到專業級跑鞋的水準，最終經過多次修改後完成跑鞋的開發需求。

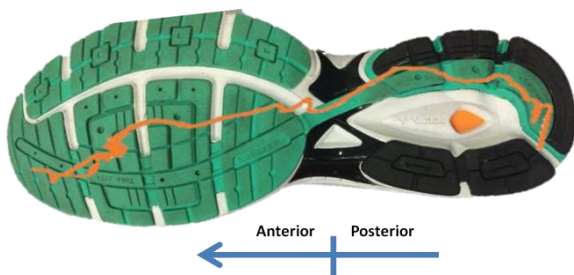
表一、四款跑鞋基本物性

鞋款	大底硬度	中底硬度	避震硬度	回彈性	避震型式	鞋墊硬度	鞋墊材料
實驗鞋一	70A	57C	45C	53%	材料+結構	40C	PU
實驗鞋二	70A	57C	45C	53%	材料+結構	40C	EVA
Y牌跑鞋	70A	58C	45C	50%	材料+結構	40C	EVA
N牌跑鞋	68A	55C	42C	45%	材料	38C	PU

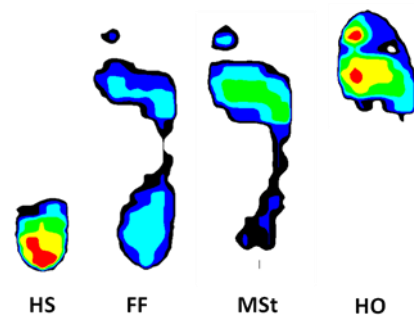
表二、四款跑鞋材料及人體避震性數據彙整資料

鞋款	材料-撞擊力量 (N)	材料-負荷率 (N/s)	人體-撞擊力量 (BW)	人體-負荷率 (BW/s)
實驗鞋一	692 (5.10)	54781 (1733)	1.36 (0.12)	79.57 (4.4)
實驗鞋二	698 (13.81)	541490 (3160)	1.53 (0.11)	83.08 (6.3)
Y牌跑鞋	769 (12.72)	66088 (2466)	1.61 (0.18)	98.69 (13.7)
N牌跑鞋	739 (21.94)	61535 (2990)	1.55 (0.23)	108.45 (21.7)

註:平均值 (標準差)

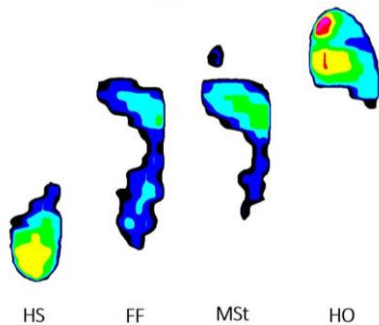


圖五、實測COP軌跡與Bio-track設計軌跡的差異



圖七、實驗鞋二-足壓分佈情況

註: HH:後跟著地 (heel strike); FF:全掌著地 (foot flat); MSt:全掌著地到後跟離地的期間 (midstance); HO:後跟離地 (heel off)。足壓分期引用來源 (Loudon, Swift, & Bell, 2008)。



圖六、實驗鞋一-足壓分佈情況

肆、討論

根據本研究人體測試的撞擊力量峰值及最大負荷率結果數據與Dinato等人 (2015) 針對市售四款跑鞋測得撞擊力量峰值介於1.81~1.94 (BW) 及最大負荷率介於65.7~70.5 (BW/s) 接近Lilley等人 (2013) 研究Adidas兩款市售跑鞋的後跟避震能力其最大負荷率介於88.9~89.3 (BW/s), 推論實驗鞋一的避震能力具有市售專業跑鞋的避震效果, 綜合避震性評估的兩項參數確認實驗鞋一有較佳的避震能力, 確認本研究設計之後跟減震能力; 透過足底壓力中心軌跡的分析, 證明達到原先預期的COP軌跡效果; 另外, 參考Queen、Abbey、Wiegerinck、Yoder與Nunley等人 (2010) 利用足底壓力分析比較兩款不同類型跑鞋差異的研究, 得知使用足底壓力分佈及壓力峰值能準確區別出鞋款間的差異, 透過足壓分析的方式, 找出較為合適的鞋墊材料 (實驗鞋一與實驗鞋二兩者的差異僅在於鞋墊的材料) 此與本研究結果也相吻合, 綜合考量避震性及足底壓力分佈的結果, 確認使用實驗鞋一 (PU鞋墊) 作為本研究跑鞋的最終設定。本研究研發之跑鞋透過三階段的功能性設計、科學驗證及試穿測試等流程確認研究成果: (實驗鞋一的功能設定: 大底硬度70A、中底硬度57C、避震墊硬度40C、後跟材料+結構的設計可以達到不錯的避震效果; 前掌EVA材料53%回彈率, 提供不錯的前掌推蹬效果; 足底壓力中心軌跡與Bio-track動態軌跡設計大致吻合, 表示後跟避震、中足支撐、前掌回彈等功能性設計皆有發揮各自的功能, 影響支撐期時的足底壓力中心軌跡的方向; 根據不同材質足壓分佈的結果, 確認PU鞋墊材質的應用, 能提供更好的足壓分布的情況); 最後透過試穿階段的耐用性測試及試穿感受測試, 也再次確認本研究跑鞋功能性設計能達預期設定並具備研發專業跑鞋的能力。

運動生物力學的足底壓力中心軌跡概念, 的確可以透過研發及設計的轉譯, 成為跑鞋所的功能性訴求, 將運動生物力學的研究分析能量可以導入實務應用的範疇, 解決產品開發的盲點及疑惑, 透過量化及實驗的驗證, 更加確認研發及設計的效果, 未來建議可持續套用並複製模式, 應用於其他的產品研發創新的能量, 也同時發揮整合產業界及學術界的優勢, 目前該產品也成功上市並成為中華奧會2018年印尼雅加達亞運會選手贊助指定裝備, 獲得實際的鼓勵及肯定。

伍、結論

本研究跑鞋研發設計之初就導入相關的運動生物力學觀點, 並透過材料設定結合外觀結構設計, 可以達到兼具外觀與功能性設計的產品, 增加產品的附加價值, 有助於臺灣傳統運動產業提升研發設計能力。

致謝

感謝VICTOR勝利體育事業股份有限公司提供測試材料及製造跑鞋樣品。

陸、參考文獻

- 林羿志、劉宗翰、相子元 (2016)。穿著羽球鞋與赤足狀態跨步動作之動力學特性之比較。《華人運動生物力學期刊》, 13(2), 86-97。
- 邱宏達、鄧蓓蓓 (2015)。赤腳與穿帆布鞋跑之著地方式與地面撞擊力。《體育學報》, 48(2), 185-194。
- 許年瑩、孫苑梅、張木山、王令儀 (2015)。著地急停與反彈跳著地期下肢運動學與地面反作用力之比較。《華人運動生物力學期刊》, 12(2), 65-71。
- 陳柏潔、黃長福 (2014)。以生物力學觀點探討不同跑步著地動作。《運動表現期刊》, 1(2), 68-74。
- 陳韋翰、林俊佑、楊雯雯、劉強、相子元、蔡邦和 (2014)。運動生物力學應用在棒壘球運動機能襪之研發。《體育學報》, 47(3), 377-390。
- 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。
- Bertelsen, M. L., Jensen, J. F., Nielsen, M. H., Nielsen, R. O., & Rasmussen, S. (2013). Footstrike patterns among novice runners wearing a conventional, neutral running shoe. *Gait and Posture*, 38(2), 354-356.
- Dinato, R.C., Ribeiro, A. P., Butugan, M. K., Pereira, L. R., Onodera, A.N., & Sacco, I. C. N. (2015). Biomechanical variables and perception of comfort in running shoes with different cushioning technologies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 93-97.
- Loudon, J., Swift, M., & Bell, S. (2008). *The clinical orthopedic assessment guide*. (2nd ed.). Kansas: Human Kinetics.
- McPoil, T. G. (2000). Athletic footwear: Design, performance and selection issues. *Journal of Science*

and Medicine in Sport, 3(3), 260-267.

- Murphy, D. F., Beynnon, B. D., Michelson, J. D., Vacek P. M. (2005). Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. *Foot and Ankle International*, 26(2), 171–179.
- Nigg, B.M. (1986). *Biomechanics of Running Shoes*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nigg, B. M., Stefanyshyn, D., Cole, G., Stergiou, P., & Miller, J. (2003). The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. *Journal of Biomechanics*, 36(4), 569-575.
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 7(1), 77-95.
- O’Leary, K., Vorpahl, K. A., & Heiderscheit, B. (2008). Effect of cushioned insoles on impact forces during running. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(1), 36-41.
- Putti, A., Arnold, G. P., Cochrane, L., & Abboud, R. J. (2007). The Pedar in-shoe system: repeatability and normal pressure values. *Gait and Posture*, 25(3), 401–405.
- Queen, R. M., Abbey, A. N., Wiegerinck, J. I., Yoder, J. C., & Nunley, J. A. (2010). Effect of shoe type on plantar pressure: A gender comparison. *Gait and Posture*, 31(1), 18-22.
- Sole, G., Pataky, T., Sole, C.C., Hale, L., & Milosavljevic, S. (2017). Age-related plantar centre of pressure trajectory changes during barefoot walking. *Gait and Posture*, 57, 188-192.



The Application of Biomechanical Parameters for Running Shoe Design

^{1,3}Tsung-Han Liu, ²Chang-Hsin Hsieh, ²Tzyy-Yuang Shiang*

¹Department of Physical Education National Taiwan Normal University

²Department of Athletic Performance National Taiwan Normal University

³Victor Rackets IND. CORP

Accepted : 2018/04

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study was to apply the biomechanical parameter for running shoe design. To analyze basic & motion functional parameters of the running shoe and design characteristics, than to transform the research concepts such as the centre of pressures trajectory to running shoe design.

Methods: This study applied three steps to make sure to enhance the performance of running shoe, the first step, functional design such as rear-foot cushion, mid-foot stable, fore-foot energy return & centre of pressures trajectory; the second step, measured peak vertical ground reaction force, maximum loading rate during cushion tests; applied force platform to analyze centre of pressures trajectory & plantar pressure distribution; the third step, perception test to check the shoe performance.

Results: According to the experiment shoe no.1, the peak GRF was 1.36 (BW), maximum loading rate was 79.57 (BW/s), COP trajectory matched the functional design, which indicated that plantar pressure distribution & peak pressure were reduced. Finally, the functional design parameters were accepted by perception test. **Conclusions:** This study demonstrated the centre of pressures trajectory model using the biomechanical concept to design the running shoe. Integration material characteristics and structure design were used to improve the functional product which can add product value and elevate the R&D ability in Taiwan.

Keywords: cushion, energy return, plantar pressure, center of pressures trajectory