



不同步態在足跟著地時下肢運動學與撞擊能量之關係

¹梁日菁 ¹邱宏達*

¹成功大學體育健康與休閒研究所

投稿日:2011/03/31；審查通過:2011/08/17

摘要

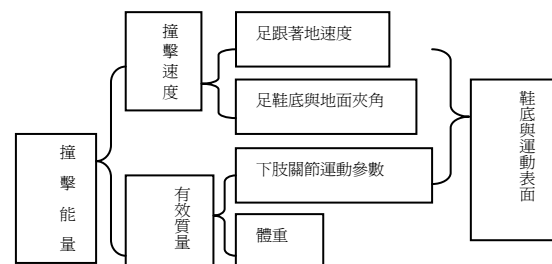
前言：本研究在預估不同步態下，人體足部與地面撞擊能量的大小，並探討下肢運動學與撞擊能量的相關性。方法：以不同的撞擊能量撞擊受測鞋，計算撞擊能量與地面反作用力之最大負荷率的線性迴歸關係。另招募 14 名男性受試者，穿著與材料測試相同之慢跑鞋，進行快走、慢跑及快跑的動作，以 visualeyze 動作捕捉系統拍攝並計算下肢的運動學參數，經由比較材料與人體測試的地面反作用力，以預估撞擊能量大小。結果：快走、慢跑及快跑著地時的撞擊能量分別為 0.81 ± 0.45 焦耳(0.45~1.85 焦耳)、 1.55 ± 0.56 焦耳(1.07~2.08 焦耳)、 2.97 ± 1.39 焦耳(2.06~4.00 焦耳)。快跑著地瞬間的足跟速度最快，踝關節角度最大，膝關節角度最小，依序是慢跑及快走。撞擊能量與足跟速度($r=0.647$, $p<0.01$)、踝關節角度($r=0.396$, $p<0.01$) 呈現顯著的正相關，而與膝關節角度($r=-0.478$, $p<0.01$)呈顯著的負相關。結論與建議：未來如欲以材料測試評估慢跑鞋在不同步態下的避震效應，所採用的撞擊能量應設定在 0.45~4 焦耳。人體在不同速度下的運動，為減少衝擊下肢會採取運動學上的調整，但著地時的撞擊能量仍會隨運動速度增加而增加。導致撞擊能量增加的原因，相較於有效質量，撞擊速度的影響似乎更為主要。

關鍵字：撞擊測試、著地策略、最大負荷率、有效質量

壹、緒論

過去關於不同慢跑鞋的避震功能評估或模擬長時間使用慢跑鞋的研究中，為控制實驗的條件，常以單一撞擊能量的撞擊器來衝擊試驗鞋底(Frederick, Clarke & Hamill, 1984; Henning & Lafortune, 1991; Henning, Milani & Lafortune, 1993; McNair & Marshall, 1994; Verdejo & Mills, 2004; Wilson, 2007)，然而人體穿鞋跑時，施予地面的撞擊能量，包含撞擊的有效質量(effective mass)、足跟撞擊速度等，可能會因為不同的著地策略而改變，且是因人而異的(邱宏達, 2002; Chi & Schmitt, 2005; Lieberman et al., 2010)；此外，不同的鞋底與運動表面特性也可能會影響人體調整著地時的撞擊能量(邱宏達, 2002) (如圖一)。因此，以單一撞擊能量來衝擊試驗鞋底，似乎無法有效地評估運動鞋的避震效應。

由於人體與地面的撞擊能量無法直接的測量，因此需以間接的方式來預估。邱宏達、相子元與林德嘉(2002)經由材料與人體測試的地面反作用力，估算出受試者以 3 公尺/秒穿鞋跑時，撞擊能量約在 3-7 焦耳；Chi and Schmitt (2005)利用衝量-動量方法(impulse-momentum method)計算赤腳跑走時，足部撞



圖一、影響足部著地撞擊能量的因素關係圖

擊地面的有效質量與撞擊能量，結果顯示快走時足部撞擊地面的有效質量為 $6.34 \pm 1.65\% BW$ (2.58~10.13% BW)、慢跑時為 $5.30 \pm 1.75\% BW$ (2.62~7.81% BW)，其中 BW 為身體總質量；而足部撞擊地面的能量，快

*通訊作者：邱宏達 Email: htchiu@mail.ncku.edu.tw
地址：成功大學體育健康與休閒研究所，臺灣(701)台南市大學路 1 號

走時為 0.80 ± 0.48 焦耳 ($0.24 \sim 2.90$ 焦耳)、慢跑時為 1.29 ± 0.85 焦耳 ($0.44 \sim 3.99$ 焦耳)。Lieberman et al. (2010) 以同樣方法計算出赤腳跑者的有效質量，以足跟著地者(rear-foot striker)為 $6.8 \pm 3.0\% BW$ ，以足尖著地者(foot-striker)為 $1.7 \pm 0.4\% BW$ ，以中足著地者(mid-foot striker)則介於兩者之間。雖然在 Lieberman et al. 的研究中沒有計算撞擊能量，但有效質量愈大，撞擊能量應會愈大。此外，以上研究皆發現以足跟著地的跑步，著地瞬間膝關節角度會影響有效質量大小，愈彎曲有效質量愈小。

過去材料測試結果顯示，慢跑鞋鞋底的避震能力會因不同的撞擊能量改變。邱宏達(2004)以 $3.19 \sim 6.67$ 焦耳的撞擊能量，衝擊不同慢跑鞋與運動表面的組合，結果發現在較低撞擊能量下，只要鞋底或運動表面其中之一具有較佳的避震能力，便能保有整體較佳的避震效果；而在較高撞擊能量下(>5 焦耳)，則必須鞋底與運動表面都具有較佳的避震能力，才能呈現出較好的避震效果。Chiu and Shiang (2007)以 $1.82 \sim 6.08$ 焦耳的撞擊能量，衝擊三雙含不同鞋墊的運動鞋，結果顯示鞋墊在低撞擊能量下(<2 焦耳)約可吸收掉 24-32% 的能量，顯示鞋墊在低撞擊能量下，對於整體運動鞋的避震效果扮演重要的角色。由以上研究可以得知，運動鞋在不同撞擊能量下會表現出不同的避震特性，因此材料測試部分若能設定在適當的撞擊能量範圍，便能有效地評估運動鞋穿在人體上的避震效應。

過去關於撞擊能量的預估，多僅適用於赤腳跑走，或是穿鞋以固定速度跑的情況，對於以不同速度穿鞋跑或走，著地時人體對地面的撞擊能量，則至今沒有相關的研究成果。本研究擬由材料與人體測試，藉由比較地面反作用力的結果，預估在快走、慢跑及快跑的情況下，人體足部與地面撞擊能量的大小。並觀察不同的步態時，下肢運動學參數的變化，探討著地瞬間人體運動學參數與足部施予地面撞擊能量之關係。

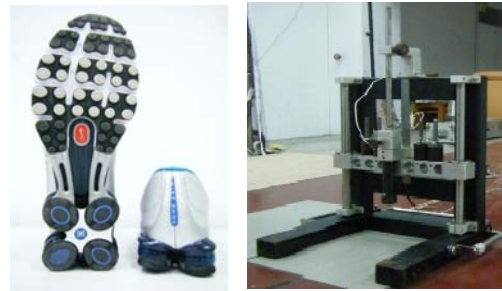
貳、研究方法

一、材料測試

本研究所使用之受測鞋為一款市售慢跑鞋(Nike, air shox 318684 -142)，大小型號為美規 9 號(圖二左)。將受測鞋的右腳鞋置於 AMTI (BP400600) 測力板上，以可攜式避震反彈測試儀(圖二右，相子元,1998)撞擊鞋底足跟部份，並改變撞擊器的撞擊高度(重量： 6.2 公斤；高度： 1 到 10 公分，每次增加 1 公分)，

撞擊的高度是以撞擊器的撞擊頭表面與鞋底接觸時設定為高度 0 ，並以測力板測量地面反作用力。在不考慮能量消耗的情況下(如摩擦力、空氣阻力等)，由力學的轉換 $E = 0.5mv^2 = mgh$ 可推算出給與鞋底的撞擊能量約在 $0.61 \sim 6.08$ 焦耳，共 10 種不同的撞擊能量。測力板的訊號以 AMTI NetForce 軟體蒐集，所有訊號的取樣頻率皆設定為 1000 Hz。以 MatLab7.0(MathWorks, Massachusetts, USA)撰寫截取頻率為 100 Hz 的低通濾波器以去除雜訊，並計算其最大負荷率值(maximum loading rate)。負荷率指的是垂直方向地面反作用力的變化率，最大負荷率會發生在撞擊力峰值之前(邱宏達等人, 2002)。撞擊測試中，每個撞擊能量撞擊五次，去除兩個極端值後取平均值。不選擇撞擊力峰值為分析的參數，是因為材料與人體測試中產生撞擊力峰值的機制不同，無法比較(邱宏達等人, 2002)。由每個撞擊能量下所計算得之平均最大負荷率，求得撞擊能量與最大負荷率的迴歸方程式，以了解撞擊能量與最大負荷率的關係。

圖二、受測鞋(左)與可攜式避震測試儀(右)



二、人體測試

本研究共招募 14 名以右腳為慣用腳的男性受試者，半年內無下肢運動傷害，且有慢跑習慣，受試者資料如表一。本研究已由成功大學附設醫院人體試驗委員會核准通過，每位受試者在正式試驗前需填寫基本資料及試驗同意書。

受試者須穿著與材料測試相同之慢跑鞋，進行快走、慢跑及快跑的動作。過去研究發現，即使控制受試者的跑步速度，受試者間的撞擊能量仍有很大的差異(邱宏達等人, 2002)。因此，本研究並不控制

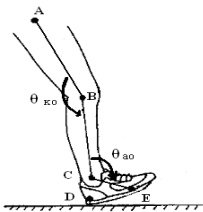
表一、受試者基本資料

受試者(n=14)	身高(公分)	體重(公斤)	年齡(歲)
平均±標準差	171.3±6	63.7±7	20±2.2

受試者的速度，受試者皆是以自然的速度(preferred speed)在約 10 公尺長的跑道，進行快走、慢跑及快跑，但受試者快跑的速度必須大於慢跑，慢跑的速度必須大於快走。由於要和右腳鞋撞擊測試的結果比較，受試者必須以右腳足跟著地(heel strike)，踏在置於跑道中央的測力板上。測力板右側約三公尺處擺設一台動作捕捉系統 (Visualeyez motion tracking system, Phoenix Technologies Inc., Canada)，擷取頻率設為 200Hz，拍攝下肢運動學參數(圖三)，此動作捕捉系統包含三個感測眼(sensing eyes)，捕捉來自目標上的點光源(point-light source)，並計算在空間內的三維座標。可捕捉的範圍為 8 公尺(高度) * 7 公尺(寬度) * 4 公尺(深度)。LED 光標黏貼於以下五個解剖標誌點(anatomic landmark)：A：右腳股骨大轉子 (Greater trochanter, GT)、B：腓骨頭(Head of fibula)、C：外踝(Lateral malleolus)、D：鞋面上足跟(heel)的相對位置與 E：鞋面上第五蹠趾關節 (Fifth metatarsophalangeal joint)的相對位置(如圖四)。在每次測試前，受試者必須練習數次直到動作熟悉為止，每種情況必須完成 10 次有效的測試。因此，每位受試者須完成 3 (motion types) * 10 (trials) = 30 次的有效測試，且每位受試者的所有測試都必須在同一天完成。



圖三、動作捕捉系統與力板配置



圖四、人體肢段示意圖

三、撞擊能量預估

由材料測試所測得受測鞋，其撞擊能量(E_i)與最大負荷率(G_{zi})的線性迴歸關係式如下：

$$G_{zi} = a * E_i + b \quad (1)$$

將每一次人體測試穿鞋時所測得的最大負荷率值(G_s)代入關係式(1)，得到以下方程式：

$$G_s - (a * E_i + b) = 0 \quad (2)$$

解出方程式(2)，即可推算出每位受試者每一次測試時，足部對鞋底的撞擊能量 E_i 。由計算結果，比較快走、慢跑與快跑的撞擊能量範圍。

四、資料處理

資料蒐集與分析以 MatLab7.0(MathWorks, Massachusetts, USA)計算不同運動模式下的平均速度、步長、步頻及著地瞬間的足跟速度、踝關節、膝關節角度。平均速度計算方式如下：

$$v = (D_1 - D_2) / \Delta t$$

其中， D_2 為右腳踏入力板著地瞬間足跟的位置， D_1 為右腳踏入力板前一步的著地瞬間足跟位置， Δt 為兩個著地瞬間的時間差；步長(stride length)： $\lambda = D_2 - D_1$ ；步頻(cadence)： $f = v / \lambda = 1 / \Delta t$ 。著地瞬間的判定是以著地時，足跟速度達最小時的瞬間。足跟速度的計算方式為：足跟位置光標點(D)在一個單位時間(0.005 秒)的位置變化量。踝關節角度(θ_{ao})為計算 CE 向量和 CB 向量間的夾角；膝關節角度(θ_{ko})則為計算 BC 向量和 BA 向量間的夾角(如圖四；邱宏達, 2002)。

統計分析觀察受試者在三種不同步態下，速度、地面反作用力參數、撞擊能量及下肢運動學參數是否有差異，利用 SPSS17.0 軟體(SPSS Inc., Chicago, USA)進行單因子重複量數變異數分析(one-way repeated measures ANOVA)，以 Bonferroni 做事後多重比較。並以皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficients)觀察撞擊能量與著地時足跟速度、膝關節角度、踝關節角度之相關性，顯著水準皆定在 $p < 0.05$ ，為去除受試者體重對撞擊能量的影響，撞擊能量皆對體重做標準化。

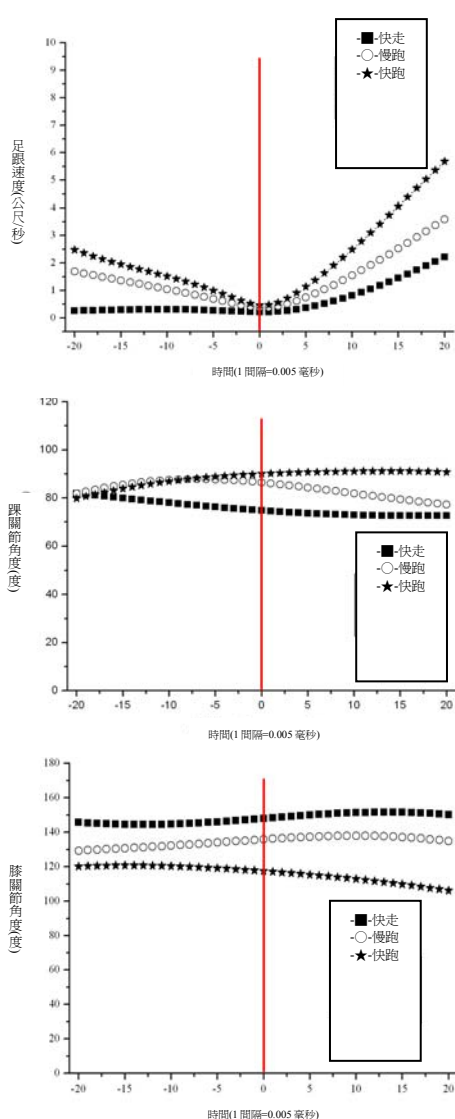
參、結果與討論

最大負荷率和撞擊能量的線性迴歸方程式為 $G_i = 21472 E_i + 7258.9$ ($r^2 = 0.9763$)，其中 G_i 是最大負荷率(牛頓/秒)， E_i 是撞擊能量(焦耳)。由結果可知，當撞擊能量愈大時，所測得最大負荷率就愈大，此與過去的研究結果相同(邱宏達等人, 2002)，以加速規測量的研究也得到同樣的結果(邱宏達, 2004；Chiu & Shiang, 2007)。表二為三種不同步態下測試的結果，平均速度有

顯著的差異($p < .05$)，快跑 > 慢跑 > 快走。快跑比慢跑、快走產生較大的撞擊力峰值、較短的撞擊力峰值發生時間、較大的最大負荷率、較短的最大負荷率發

表二、三種不同步態下，垂直地面反作用力參數、著地瞬間下肢運動學參數與撞擊能量的結果

參數 (單位)	快走(n=14)	慢跑(n=14)	快跑(n=14)	P(快走-慢跑)	P(慢跑-快跑)	P(快走-快跑)
速度 (公尺/秒)	1.96(0.3)	3.04(0.4)	4.56(0.4)	.000	.000	.000
撞擊力峰值 (倍體重)	1.3(0.1)	1.7(0.3)	1.8(0.4)	.000	.379	.000
撞擊力峰值發生時間 (毫秒)	72.4(32.8)	60.6(33.1)	37.5(26.2)	.030	.000	.000
最大負荷率 (倍體重/秒)	39.3(13.5)	65.4(18.3)	115.9(53.3)	.001	.003	.000
最大負荷率發生時間 (毫秒)	27.3(20.4)	31.4(12.5)	18.8(7.1)	.067	.000	.000
足跟速度 (公尺/秒)	0.17(0.1)	0.33(0.2)	0.95(0.9)	.005	.001	.000
踝關節角度 (度)	70.5(7.2)	77.7(8.1)	83.7(9.7)	.000	.000	.000
膝關節角度 (度)	151.8(6.5)	139.7(7.0)	132.1(10.7)	.000	.000	.000
撞擊能量 (焦耳)	0.81(0.45)	1.55(0.56)	2.97(1.39)	.000	.000	.003
撞擊能量範圍 (焦耳)	0.45~1.85	1.07~2.08	2.06~4.00			



圖五、三種不同步態下，足跟著地前、後 100ms 足跟速度、膝關節角度與踝關節角度的變化情形。此圖為第 11 位受試者其中一次測試的結果，垂直線代表著地瞬間

生時間。隨運動速度的增加，著地瞬間的足跟速度會隨著顯著增加，踝關節角度同樣也隨著增加，膝關節角度則隨著減少。快跑的撞擊能量最大(2.97±1.39 焦耳，2.06~4.00 焦耳)，慢跑次之(1.55±0.56 焦耳，1.07~2.08 焦耳)，快走的撞擊能量最小(0.81±0.45 焦耳，0.45~1.85 焦耳)。

過去有關慢跑鞋材料測試的研究，常使用的單一撞擊能量在 0.6~4.41 焦耳之間 (Frederick et al., 1984; Henning & Lafortune, 1991; Henning et al., 1993; McNair & Marshall, 1994; Verdejo & Mills, 2004; Wilson, 2007)，撞擊能量的範圍與本研究跑走的撞擊能量範圍是相近的。但由本研究結果，使用單一撞擊能量，並無法顯示出鞋底在不同步態下的避震效應，譬如以較低的撞擊能量(0.6 焦耳)連續衝擊鞋底 (Verdejo & Mills, 2004; Wilson, 2007)，並不能反應出在長期慢跑或快跑後，鞋底避震能力的衰退情形。

由標準化後的撞擊能量與著地瞬間足跟速度、踝關節角度及膝關節角度的相關係數可知 (表三)，著地瞬間的撞擊能量與著地瞬間的足跟速度($r=0.647$, $p<0.01$)和踝關節角度($r=0.396$, $p<0.01$)呈顯著正相關，但比起足跟速度，踝關節角度與撞擊能量的相關係數較低。撞擊能量與著地瞬間膝關節角度($r=-0.478$, $p<0.01$)則呈顯著負相關。過去研究發現，著地瞬間的撞擊能量與有效質量及足跟著地速度有關，而著地策略如著地瞬間膝關節角度、踝關節勁度、著地方式則會影響到有效質量的大小，著地瞬間足跟速度愈大則撞擊能量愈大(邱宏達，2002)，膝關節角度愈小或以足尖著地，則有效質量愈小(Wright, Neptune, van den Bogert & Nigg, 1998; Chi & Schmitt, 2005; Lieberman et al., 2010)。

表三、對體重標準化後的撞擊能量和下肢運動學參數的相關性

	足跟速度	踝關節角度	膝關節角度
標準化的撞擊能量	0.647**	0.396**	-0.478**

**顯著相關(p<0.01)*

Chiu(2003)的研究中，在跑者小腿外加重量，並觀察對跑步時產生的撞擊能量和撞擊時有效質量的影響，結果小腿外加重量愈大，撞擊能量會隨著增加，當外加 1.1 公斤的重量時，足跟著地速度增加，有效質量則沒有明顯變化；但當外加重量達 2.05 公斤時，有效質量明顯增加約 1.4 公斤，而足跟著地瞬間的水平速度則略微降低，顯示當小腿外加重量增加使有效質量增加時，人體會調整著地策略，使足跟著地水平

速度降低已減緩撞擊能量，此策略也發生在以赤腳跑步的受試者身上(邱宏達，2002)。本研究同樣發現，當運動速度隨之增加時(由快走、慢跑至快跑)，著地前足跟著地速度明顯增加，為減緩撞擊能量增加，人體會調整著地策略，使著地瞬間踝關節較跖屈(plantarflexion)、膝關節較彎屈，以降低有效質量大小，減緩與地面的衝擊(如圖五)。雖然著地策略的調整，可減小有效質量，但因為較明顯增加的足跟著地速度，依舊使得撞擊能量增加。Lieberman et al.(2010)的研究中指出，以足跟著地時踝關節勁度改變(stiffness)對有效質量大小並無太大影響，本研究受試者皆是以足跟著地的方式，此可能是踝關節角度與撞擊能量有較小相關係數的原因。

本研究所預估穿鞋跑走，著地瞬間的撞擊能量與赤腳跑走的撞擊能量範圍相近(Chi & Schmitt, 2005)約在 0.45~4.00 焦耳。邱宏達等人(2002)估算出受試者以 3 公尺/秒穿鞋跑時，撞擊能量約在 3-7 焦耳之間，似乎比本研究慢跑的撞擊能量高出許多，此可能與受試者跑步速度或受測鞋不同有關。穿不同運動鞋是否會改變撞擊能量大小，或是因人而異，則需要後續的研究來證實。

肆、結論與建議

本研究撞擊能量預估的結果，快走、慢跑、快跑三種步態下所產生的撞擊能量約為：0.81±0.45 焦耳(0.45~1.85 焦耳)、1.55±0.56 焦耳(1.07~2.08 焦耳)、2.97±1.39 焦耳(2.06~4.00 焦耳)。未來如欲以材料測試評估慢跑鞋穿著在人體上的避震效應，所採用的撞擊能量應在此能量範圍內。而隨著運動速度的增加，可以發現到著地瞬間的撞擊能量、撞擊力峰值、最大負

荷率等都會隨之增加，下肢運動學參數也會隨之調整。在觀察撞擊速度(足跟著地速度)、有效質量(下肢運動學參數)與撞擊能量之相關性時，本研究亦發現著地瞬間足跟速度、踝、膝關節角度與撞擊能量呈顯著相關，其中足跟速度相關性最高，膝關節角度次之，踝關節角度與撞擊能量的相關性則較不明顯。整體而言，對於人體跑走著地瞬間施予地面的撞擊能量，撞擊速度的影響似乎較有效質量的調整更為主要。未來的研究，若能探討下肢關節的受力或是力矩，將能更清楚了解產生下肢運動學參數調適的機制。

伍、參考文獻

- 邱宏達、相子元、林德嘉 (2002)。由地面反作用力評估鞋底避震能力—材料與人體測試之比較。中華民國體育學報，32，69-78。
- 邱宏達 (2002)。赤足與穿鞋跑之著地策略分析。大專體育學刊，4(2)，101-108。
- 邱宏達 (2004)。不同慢跑鞋與運動表面組合之避震特性。成大體育，37(1)，39-48。
- 相子元 (1998)。運動鞋與人體生物力學之研究計劃報告書。經濟部科技專案研究，未出版。
- Chiu, H. T. (2003, November) The effect of adding mass to runner's lower legs on impact energy and effective mass during impact phase. *The 13th International Conference on Mechanics in medicine and Biology*, Tainan, Taiwan.
- Chiu, H. T. & Shiang, T. Y. (2007). Effects of insoles and additional shock absorption foam on the cushioning properties of sport shoes. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 119-127.
- Chi, K. J. & Schmitt, D. (2005). Mechanical energy and effective foot mass during impact loading of walking and running. *Journal of Biomechanics*, 38, 1387-1395.
- Frederick, E. C., Clarke, T. E. & Hamill, C. L. (1984). The effect of running shoe design on shock attenuation. In E. C. Frederick (Ed.), *Sport shoes and playing surfaces* (pp.190-198). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Henning, E. M. & Lafortune, M. A. (1991). Relationships between ground reaction force and tibial bone acceleration parameters. *International Journal of Sports Biomechanics*, 7, 303-309.

- Henning, E. M., Milani, T. L. & Lafortune, M. A. (1993). Use of ground reaction force parameters in predicting peak tibial acceleration in running. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 306-314.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., et al. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463, 531-535.
- McNair, P. J. & Marshall, R. N. (1994). Kinematic and kinetic parameters associated with running in different shoes. *British Journal of Sports Medicine*, 28, 256-260.
- Verdejo, R. & Mills, N. J. (2004). Simulating the effects of long distance running on shoe midsole foam. *Polymer Testing*, 23, 567-574.
- Wright, I. C. , Neptune, R. R., van den Bogert, A.J. & Nigg, B. M. (1998). Passive regulation of impact forces in heel-toe running. *Clinical Biomechanics*, 13, 521-531.
- Wilson, J.F. (2007). Impact-induced fatigue of foamed polymers. *Internal Journal of Impact Engineering*, 23, 1370-1381.

致謝：

本研究承蒙 NSC-97-2410-H-006-086-經費贊助，使本研究得以順利完成，特此感謝



Correlations between the kinematics of lower extremities and impact energy at heel strike for walking, jogging and running

¹Jih-Lei Liang ²Hung-Ta Chiu*

¹Cheng-Kung University, Institute of Physical Education, Health & Leisure Studies, Taiwan

Accepted : 2010/08/17

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to estimate the impact energy at the landing instant for walking, jogging and running with running shoe and to investigate the correlation between foot strike kinematic factors with impact energy. **Methods:** A portable impact tester was specifically designed to impact a running shoe (Nike air shox 318684-142) that was positioned on a force plate (AMTI BP400600) with 10 different impact energies (equally distributed from 0.61 to 6.08 joules). The linear regression equation between mean maximum loading rate and impact energy was calculated for this shoe. Fourteen male subjects wearing the same shoes of material test were asked to move across the force plate by walking, jogging and running. The heel velocity, ankle and knee angle at heel strike were measured by using 3D motion analysis system (Visualeyez™, VZ4000). The impact energies were calculated with the comparison of the ground reaction forces of impact and subject testing. **Results:** The impact energy for walking, jogging, and running was 0.81 ± 0.45 joule (0.45~1.85 joule), 1.55 ± 0.56 joule (1.07~2.08 joule) and 2.97 ± 1.39 joule (2.06~4 joule), respectively. The kinematic factors: heel velocity ($r=0.647$, $p<0.01$), ankle angle ($r=0.396$, $p<0.01$) and knee angle ($r= - 0.478$, $p<0.01$) at heel strike were significantly correlated with impact energy. **Conclusions:** In future, as using impact testing method to evaluate the cushioning property of the sports shoes, the impact energies should be set at the range from 0.45 to 4.0 joule to simulate the shoe's cushioning effect under subject walking, jogging and running. Base on the results, the subjects have seemed to adjust their landing strategy to reduce the effective mass at heel strike as the motion speed increased. However, the impact energy still increased because of the greater heel striking speed. In conclusion, impact velocity seemed to have a greater contribution to the increased impact energy than effective mass.

Key words: impact testing, landing strategy, maximum loading rate, effective mass

*Corresponding author: Hung-Ta Chiu, Cheng Kung University, Institute of Physical Education, Health & Leisure Studies
Address: (701)No.1, University Road, Tainan City, Taiwan
E-mail address: htchiu@mail.ncku.edu.tw