

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

運動鞋衝擊緩衝性能測試分析

Experimental Analysis on Cushioning Effects of Sports Footwear

計畫編號：NSC 88-2212-E-034-003

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

主持人：陳為仁 私立中國文化大學機械工程學系

一、中文摘要

本文旨在探討運動鞋緩衝吸震性能，使用衝擊測試方法對運動鞋之鞋墊材料進行衝擊緩衝吸震性能測試分析。探討不同鞋墊厚度與硬度對其緩衝避震性能的影響，利用求出的衝擊緩衝性能重要參數之最大衝擊力或加速度峰值(peak g)，來評估不同厚度與硬度之鞋墊材對運動鞋緩衝吸震性能的影響效應。由分析結果顯示，鞋墊之厚度越厚且硬度越軟其加速度峰值越小，鞋墊之緩衝吸震能力較佳，然而厚度及硬度對鞋墊吸震性的影響是非線性。咸信此研究成果能提供設計者與製鞋業者有效地評析且正確地選擇合適的緩衝吸震材，應用於運動鞋衝擊緩衝性能設計改良。

關鍵詞：緩衝吸震、衝擊測試、加速度峰值、鞋墊

Abstract

The objective of the present report is focused on the assessment of the cushioning effects of sports footwear. An impact testing method is used to test and analyze the cushioning or shock absorption of shoe sole materials with various thickness and hardness. The shoe cushioning related parameters, maximum impact force or peak g, are evaluated to study the effects of sole hardness and thickness on the cushioning ability of shoe soles. The results show that the peak g score

decreases as the sole thickness increases and the sole hardness decrease in a nonlinear relation. It is believed that this study provides design engineers and shoes manufacturers an effective method to evaluate the cushioning effects of shoe sole materials and to correctly select the appropriate cushioning materials for design improvement.

Keywords: cushioning, impact testing, peak g, shoe sole

二、緣由與目的

人體的足部無論是在靜態或運動狀態均承受應力，尤其在跑步、打球等運動狀態下，足部受到的外力更是數倍於人身體重量。倘若負載超過下肢結構的極限負荷，將造成膝傷、小腿及阿基里腱受傷等運動傷害。而影響運動傷害的主要基本因素為地面、運動型態及鞋子，因為它們和作用在下肢的負載有直接關聯。這些因素與運動負載及傷害的關係，還有彼此間的效應為近三十年來相關研究的主要範疇[1-3]。近來由於各類運動人口及職業化的增長，使得下肢運動傷害發生的機會大增。而造成運動傷害的主要機制之一就是過負載，其中鞋子結構的機械性能對足部與地面接觸所產生的動態衝擊負載的影響佔有極重要的角色，尤其是鞋墊的設計與構造對足部負荷及運動傷害與表現的影響最為直接。因此運動鞋設計必備的主要功能在其鞋墊結構必須具有良好的緩衝避震性能，以降低作用在人體足部的衝擊負載減少運動傷

害的產生。設計者採用了實驗量測法與理論分析法，研究鞋子的緩衝避震[4-11]以瞭解鞋子構造對此功能的影響效應，並探討其對運動負載與傷害及運動表現的影響。

由於運動時足部承受的負荷常為人體重量的數倍，所以此一動態載荷若未予以充分減震將對人體生物機能造成負面影響。由研究顯示[12-15]鞋子對衝擊負載緩衝減震性質的好壞與關節機能劣化及下背部疼痛有相當關連，且運動員長期習慣性骨骼肌肉的運動傷害皆因受到重複性衝擊負荷而更加惡化。因為鞋墊緩衝吸震性能對降低運動者下肢承受載荷及傷害有重大貢獻，因而研究人員及製鞋廠商皆意識到改進運動鞋緩衝避震性以減少運動傷害的重要性。因此研究運動鞋良好緩衝性能的構成要素，以及量化運動鞋減震性質一直是運動鞋設計極重要的課題。關於運動鞋緩衝減震性質的實驗研究，主要分為人體實驗與材料測試兩種。人體實驗根據作用在足部的衝擊負載歷程、加速度曲線、地面反力歷程與負載—變形曲線來予以評估鞋子的緩衝吸震特性；材料實驗則採用衝擊試驗機，將一置于某高度的金屬落錘自由落下衝擊測試材料，經由量測作用在落錘上的加速度或力以評析鞋子或鞋墊的緩衝減震特性。歐洲與北美等學術研究機構在此一課題上已研究了數十年，反觀國內則仍處於啟蒙階段，因此本計畫即針對鞋墊對運動鞋緩衝吸震性能的影響進行探討，建立相關測試分析技術。

由於人體本身會調整其下肢運動機構以適應不同結構之鞋，此一調適使作用在足部的衝擊負載型態改變，使得在實施人體實驗時反而彰顯不出鞋子物性應有的緩衝減震性能。因此材料測試仍是不可或缺的，且是評析各種鞋設計的緩衝減震性質的重要指標。而運動鞋緩衝避震效能是因鞋墊使用之塑膠發泡材料具有黏彈性而產生，且與其材質、硬度、厚度及鞋墊結構設計有關，而如何探討此些參數對運動鞋緩衝減震性能的影響，材料測試乃是不二法門。因此本文針對影響

運動鞋衝擊緩衝吸震性能的鞋墊材，使用衝擊測試法進行鞋墊材料衝擊緩衝吸震性能測試與分析，利用求出的衝擊緩衝性能重要參數之最大衝擊力或加速度峰值(peak g)，來評估不同厚度與硬度之鞋墊材對運動鞋緩衝吸震性能的影響效應。此一研究結果可幫助設計者與製鞋業者經由對材料緩衝吸震特性的瞭解，有效地評析且正確地選擇合適的材質，應用於運動鞋緩衝吸震元件的設計，以得具最適化衝擊緩衝性能的運動鞋。

三、結果與討論

本計畫使用符合 ASTM 標準之衝擊測試設備，利用重力驅動 8.5 公斤衝擊錘，自離測試試件表面 5 公分處自由落下以衝擊測試件求得其緩衝吸震性能重要參數之最大衝擊力或加速度峰值，以評估不同厚度與硬度之鞋墊材之緩衝吸震性能。測試的鞋墊材料為醋酸乙烯(EVA)經壓模製造及架橋發泡而成之發泡體，分別有三種硬度：為軟質—Shore C 50、中質—Shore C 60、硬質—Shore C 70；及六種不同厚度：15 公釐、20 公釐、25 公釐、30 公釐、35 公釐、40 公釐。為了正確地調整測試件的狀態，在蒐集數據前先做 5 次的預衝擊。緊接著對測試件做 10 次的衝擊測試並取其平均值，以降低不同測試間可能產生的變動性，獲得再現性十分良好的測試數據。

圖一至圖三為本研究針對三種硬度及六種厚度之鞋墊材經衝擊測試而得之加速度-時間曲線，此曲線可知鞋墊的衝擊吸震性，就相同硬度的鞋墊材而言，當曲線的加速度峰值較小且達到峰值的時間愈長，則此鞋墊具有較佳的緩衝吸震性能。由加速度-時間曲線測試結果顯示，同一硬度下不同厚度的鞋墊，就總體趨勢而言加速度峰值隨著厚度增加而減少。

表一為本研究針對三種硬度及六種厚度之鞋墊材經衝擊測試而得之加速度峰值，結果顯示加速度峰值明顯的受到硬度與厚度的影

響。此亦可由鞋墊硬度及厚度對加速度峰值的雙因子變異數分析得到驗正，由變異數分析表二顯示變動因的 F 值明顯的大於臨界值，可知硬度、厚度與交互作用對加速度峰值的影響皆為顯著。

再將數據繪製成 3D 曲面圖來看(圖四)，鞋墊硬度與厚度對於加速度峰值的影響皆呈非線性的關係。此非線性行為可從局部及整體非線性兩方面來討論，基本上，加速度峰值大致隨著厚度的增加、硬度的降低而減少。然仍有局部區域的趨勢與整體的驅勢呈相反的走勢，如硬度 Shore C 50 的鞋墊，厚度由 35 公釐增為 40 公釐時，加速度峰值由 8.19g 不減反增為 8.44g；硬度 Shore C 60 的鞋墊，厚度由 25 公釐增為 30 公釐及 35 公釐增為 40 公釐時，以及硬度 Shore C 70 的鞋墊，厚度由 25 公釐增為 30 公釐時，同樣有加速度峰值不減反增的走勢。厚度 15 公釐的鞋墊，硬度由 Shore C 50 增為 Shore C 60 時，加速度峰值由 13.81g 則不增反減為 13.21g。整體非線性表現可從相同厚度具不同硬度及相同硬度具不同厚度兩方面來看，由圖四知在相同的厚度下，增加相同的硬度，加速度峰值並不呈線性增加。如當厚度為 25mm 時，硬度由 50C 提升到 60C 時，加速度峰值增加了 10%；硬度由 60C 增加到 70C 時，加速度峰值則增加了 37%。同樣地，增加相同的厚度對加速度峰值非線性行為的效應，亦發生在軟質硬度下(ShoreC 50)。如硬度為 ShoreC 50 時，厚度 15 公釐增至 20mm 時，加速度峰值降低了 23 %；厚度由 20 公釐提升到 25 公釐時，加速度峰值則降低了 13%；厚度由 25 公釐提升到 30 公釐時，加速度峰值則僅降低了 2%。然而，在較高硬度的鞋墊此一厚度改變對加速度峰值的非線性影響效應則漸消失，因為較硬鞋墊具有較大的表面彈性行為，由於結構剛性強，較硬鞋墊所受衝擊力會分佈在較大的面積，因此厚度對加速度峰值的非線性效應將不明顯。另一方面，軟質鞋墊的衝擊形態較屬點彈性行為，即衝擊主要影響在衝擊接觸點下的材

料，自然厚度越厚其吸收衝擊力的效果越顯著。雖然鞋墊越厚吸收衝擊的材料增加，其吸震效果較好，但是厚度增加至一臨界值後，再增加其厚度對緩衝避震性能的提昇並不顯著，如將厚度由 25 公釐提升到 30 公釐時，不同硬度的鞋墊其加速度峰值的改變率在 1%~3%，將厚度由 35 公釐提升到 40 公釐時，不同硬度的鞋墊其加速度峰值的改變率也僅在 1%~4%。

由上述分析結果顯示鞋墊材的厚度及硬度顯著影響其緩衝吸震性能參數加速度峰值，就整體影響驅勢而言，鞋墊越軟越厚則加速度峰值較小，其緩衝吸震效果較佳。因此僅就緩衝性能來考量，運動鞋要有好的緩衝吸震性能，越軟、越厚的鞋墊是考慮的重點。再者，鞋墊材厚度及硬度與加速度峰值的關係為非線性，如厚度從 15 公釐增至 20mm 時比厚度由 20 公釐增至 25 公釐時，對降低加速度峰值有較顯著效果；將硬度從 ShoreC 70 減至 ShoreC 60 比硬度從 ShoreC 60 減至 ShoreC 50，對降低加速度峰值有較顯著效果。另一方面，當鞋墊厚度增加至大於或等於 25 公釐，每增加 5 公釐的厚度對加速度峰值的改變率僅在 4%左右，影響效應並不顯著。所以上述的結果，對選擇或設計運動鞋是值得注意的重要因素。咸信此有關各種鞋墊設計特性對緩衝性能影響效應的研究成果，能提供設計者與製鞋業者有效地評析且正確地選擇合適的緩衝吸震材，應用於運動鞋衝擊緩衝性能設計改良。

四、計畫成果自評

本計畫針對影響運動鞋衝擊緩衝吸震性能的鞋墊材，使用衝擊測試法進行鞋墊材料衝擊緩衝吸震性能測試與分析，評估不同厚度與硬度之鞋墊材對運動鞋緩衝吸震性能的影響效應，此研究內容與原計畫相符。完成鞋墊對運動鞋緩衝吸震性能的測試與分析，建立鞋墊材緩衝性能分析技術，達成預期目標。

此一研究結果可幫助設計者與製鞋業者經由對材料緩衝吸震特性的瞭解，有效地評析且正確地選擇合適的材質，應用於運動鞋緩衝吸震元件的設計，以得具最適化衝擊緩衝性能的運動鞋；同時，此一測試分析技術可用於各種緩衝避震橡膠之吸震性的研究。因此，此研究成果除具有實務應用價值同時有學術研究價值。

本計畫主要發現為鞋墊材的厚度及硬度對緩衝吸震性能的影響效應為非線性，將鞋墊厚度從 15 公釐增至 20mm 時比由 20 公釐增至 25 公釐時，對降低加速度峰值有較顯著效果；將鞋墊硬度從 ShoreC 70 減至 ShoreC 60 比從 ShoreC 60 減至 ShoreC 50，對降低加速度峰值有較顯著效果。當鞋墊厚度增加至大於或等於 25 公釐，每增加 5 公釐的厚度對加速度峰值的改變率僅在 4% 左右，影響效應並不顯著。上述的結果，對選擇或設計運動鞋緩衝吸震性能是值得注意的重要因素。咸信本計畫研究成果適合於學術期刊上發表。

五、參考文獻

1. Frederick, E. C., 1984, Sport Shoes and Playing Surfaces, Human Kinetic Publishers, Inc., Champaign, IL..
2. Nigg, B. M., 1986, Biomechanics of Running Shoes, Human Kinetic Publishers, Inc., Champaign, IL..
3. Cavanagh, P. R., 1990, Biomechanics of Distance Running, Human Kinetic Publishers, Inc., Champaign, IL..
4. Kaelin, X., Denoth, J., Stacoff, A., and Stussi, E., 1985, "Cushioning during Running - Material Tests Contra Subject Tests," Biomechanics: Current Interdisciplinary Research, Martinus Nighuff Publishers, pp. 651-656.
5. Graham, I. D., and McCullagh, P. J. J., 1986, "Study of the Shock Absorbency and Microstructure of New and Worn Running Shoe Midsoles," Proceedings of the VIII Commonwealth and International Conference on sport, Physical Education, Dance, Recreation and Health, pp. 155-161.
6. Swigart, J. H., Erdman, A. G., and Cain, P. J., 1993, "An Energy-Based Method for Testing Cushioning Durability of Running Shoes," Journal of Applied Biomechanics, Vol. 9, pp. 27-46.
7. Lawless, D. L., and Lafortune, M. A., 1995, "Cushioning of Footwear under Controlled Lower Extremity Kinematics," Second Symposium on Footwear Biomechanics, Cologne, Germany.
8. Hennig, E., and Milani, T., 1995, "The Perception of Cushioning during Impact Loads of the Human Body," Second Symposium on Footwear Biomechanics, Cologne, Germany.
9. Valiant, G., 1995, "Perception of Running Shoe Cushioning," Second Symposium on Footwear Biomechanics, Cologne, Germany.
10. Alp, A. A., and Knicker, A. J., 1995, "Effects of Shoe Mass on Shock Attenuation Properties of Children's Shoes," Second Symposium on Footwear Biomechanics, Cologne, Germany.
11. Ujihashi, S., 1997, "The Measurement and Evaluation of the Cushioning Abilities of Running Shoes," Third Symposium on Footwear Biomechanics, Tokyo, Japan.
12. Radin, E. L., Orr, R. B., Kelman, J. L., Paul, I. L., and Rose, R. M., 1982, "Effects of Prolonged Walking on Concrete on the Knees of Sheep," Journal of Biomechanics, Vol. 15, pp. 487-492.
13. Voloshin, A., and Wosk, J., 1982, "An in Vivo Study of Low Back Pains and Shock Absorption in the Human Locomotive System," Journal of Biomechanics, Vol. 15, pp. 21-27.
14. Bates, B. J., James, S. L., Osternig, L. P., Sawhill, J. A., and Hamill, J., 1982, "Effects of Running Shoes on Ground Reaction Forces," In: A. Morecki and K. Fidelus (eds.), Biomechanics VII, University Park Press, Baltimore.
15. Nigg, B. M., Denoth, J., Luethi, S., and

Stacoff, A., 1983, 'Methodological Aspects of Sport Shoe and Sport Floor Analysis,' In: H. Matsui and K. Kobayashi

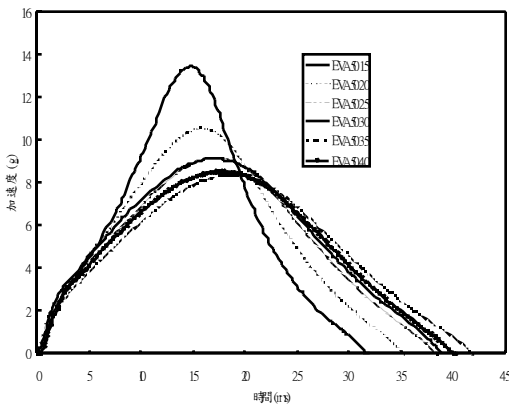
(eds.), Biomechanics VIII-B, pp. 1041-1052, Human Kinetics, Champaign, IL.

表一 不同硬度及厚度鞋墊衝擊加速度峰值(g)

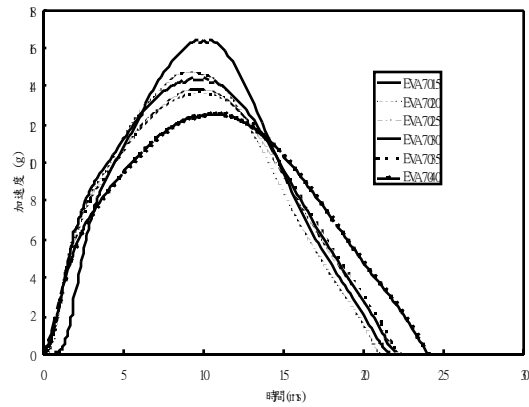
硬度 (Shore C)	厚度(mm)					
	15	20	25	30	35	40
50	13.81	10.69	9.25	9.04	8.19	8.44
60	13.21	11.03	10.19	10.53	10.29	10.37
70	15.98	14.79	13.92	14.09	13.65	12.99

表二 鞋墊之硬度及厚度雙因子變異數分析表

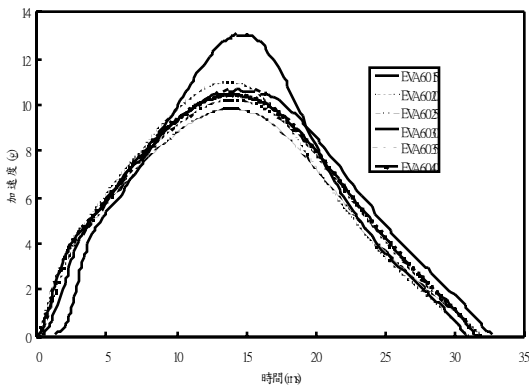
變源	平方和	自由度	均方	F	臨界值
硬度	184.21	2	92.11	2037.2	3.26
厚度	89.26	5	17.85	394.8	2.48
交互作用	13.21	10	1.32	29.2	2.11
誤差	1.63	36	0.045		
總和	288.32	53			



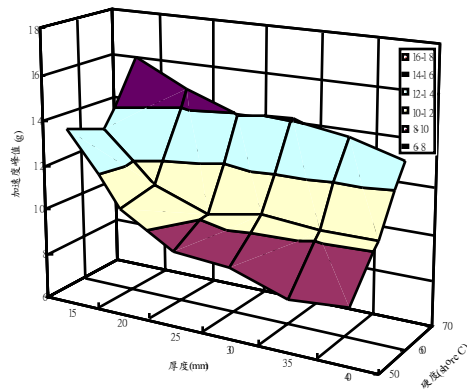
圖一 硬度 50 Shore C 厚度為 15、20、25、30、35 及 40 公釐之鞋墊的衝擊加速度時間曲線。



圖三 硬度 70 Shore C 厚度為 15、20、25、30、35 及 40 公釐之鞋墊的衝擊加速度時間曲線。



圖二 硬度 60 Shore C 厚度為 15、20、25、30、35 及 40 公釐之鞋墊的衝擊加速度時間曲線。



圖四 十八種不同厚度及硬度組合之鞋墊的衝擊加速度峰值立體曲面圖。