

全身性振動之熱身模式對跑步經濟性之影響

Effects of Whole Body Vibration as Warming up on Running Economy

蔡定剛 Ting-Kang Tasi 蔡懷安 Huai-An Tsai 朱育萱 Yu-Hsuan Chu 吳柏翰 Bo-Han Wu *

國立屏東科技大學休閒運動健康系 Department of Recreation Sport and Health Promotion, Pingtung University of Science and Technology

投稿日期: 2016年1月; 通過日期: 2016年3月

摘要

本研究目的在探討不同全身性振動 (whole body vibration, WBV) 頻率之熱身模式對於跑步經濟性 (running economy, RE) 是否有顯著之影響。本研究以 12 名健康成年男性作為參與者。所有參與者在實驗前皆接受最大攝氧量測驗 (maximal oxygen uptake, VO_{2max})，隨後以重覆量數與對抗平衡次序之設計分配至高振動頻率處理 (HVT, $n=12$)、低振動頻率處理 (LVT, $n=12$) 與控制處理 (CON, $n=12$) 等 3 次實驗處理。HVT 處理之參與者在跑步經濟性測驗 (85% VO_{2max}) 前接受高頻率之 WBV (頻率: 50Hz; 振幅: 1.5mm)、LVT 組之參與者則接受低頻率之 WBV (頻率: 30Hz; 振幅: 1.5mm) 作為熱身活動, 而 CON 處理在測驗前則不進行熱身活動。本研究分析運動中第 5 分鐘 (E5)、第 10 分鐘 (E10)、第 15 分鐘 (E15)、運動後休息第 5 分鐘 (R5)、第 10 分鐘 (R10) 之攝氧量、心跳率與自覺量表數值。本研究以相依樣本二因子變異數分析 (ANOVA) 分析不同振動頻率之 WBVT 對於跑步經濟性是否有顯著差異, 顯著水準 α 訂為 .05。研究結果顯示振動熱身之處理 (HVT 處理與 LVT 處理) 在 E5、E10、E15 的攝氧量皆顯著低於 CON 處理。而血乳酸、心跳率與自覺量表方面, HVT 處理及 LVT 處理與 CON 處理皆無顯著差異。因此, 本研究結果發現全身性振動熱身可顯著提升跑步經濟性, 但不同振動頻率間並無顯著差異存在。

關鍵字: 振動頻率、耐力運動表現、跑步經濟性

壹、緒論

現代的競技運動極具挑戰, 運動員必須長期付出與努力, 才能應付密集的比賽及持續的訓練, 進而創造優異成績。對於耐力型運動而言, 擁有高程度的有氧代謝能力是追求運動表現的先決條件, 這種表示身體在最大運動時, 每單位時間與體重所消耗的最大氧氣量, 也就是我們熟知的最大攝氧量 (VO_{2max})。然而, 過去許多研究的結果證實, 最大攝氧量並無法完全解釋選手在運動表現上的差異, 兩位擁有相同程度最大攝氧量的選手, 其運動表現的成績卻有顯著差異; 而另外兩位擁有相同成績的選手, 其最大攝氧量卻不相當; 這樣的比較研究結果顯示, 仍有其他因素影響耐力運動的成績表現, 後來的許多研究一致地指出跑步經濟性 (running economy, RE) 可能是影響耐力運動的重要因素。在最大攝氧量會受到先天遺傳因子影響的情況下, 跑步經濟性可能成為影響選手突破成績表現的重要生理因素。對於耐力運動選手來說, 高水準的有氧代謝能力是影響運動表現的先決條件。過去, 最大攝氧量一直被認為是影響耐力性運動競賽勝負的

關鍵指標之一。雖然較高的 VO_{2max} 並不必然等於有較好的運動表現, 但是在耐力性競賽中表現出色的運動員一般都具有較高的 VO_{2max} (Costill, 1967)。然而, Bulbulian, Wilcox 與 Darabos (1986) 指出優秀的長距離跑步選手之間可能有相似水準的 VO_{2max} 。因此, 有可能是藉由其它的因素來提升優秀耐力選手的運動表現。近期的研究指出運動經濟性 (exercise economy) 也是影響耐力運動表現之重要因素, 所以在 VO_{2max} 會受到先天遺傳因素的限制下, 運動經濟性可能成為增加耐力運動選手運動表現的重要生理因素 (林信甫、莊泰源, 2003; 陳柏潔、黃長福, 2014)。

運動經濟性是指運動中攝氧量和運動速度之間的關係或攝氧量與絕對運動強度之間的關係 (Daniels, 1985), 例如, 我們常聽見的跑步經濟性 (running economy)。一般來說, 運動經濟性的測驗是讓 2 個參與者在相同的強度下運動, 運動中所需要的攝氧量較低者則有較佳的運動經濟性。許多研究報告 (Daniels, 1985; Morgan, Baldind, & Martin, 1989; Conley &

*通訊作者: 吳柏翰 Email: licar1980@hotmail.com

Krahenbuhl, 1980; Daniels & Daniel, 1992) 皆指出跑步的經濟性會影響長距離跑步選手的運動表現。而跑步經濟性的改善可以使長跑選手的速度增快或是在固定的速度下跑更遠的距離。Noakes (1988) 指出肌肉的肌力與爆發力可能是影響運動經濟性的因素之一。Hoff 等 (1999) 以越野滑雪選手為訓練對象，進行 9 週高強度的傳統阻力訓練，訓練後發現當選手肌肉力量增加 (14.5%)，運動經濟性亦隨之增加 (22%)。此外，Paavolainen (1999) 對優秀的長跑選手進行類似的研究亦發現爆發力的增加可以透過神經肌肉功能的改善而增加跑步經濟性 (8.1%)。Anderson (1996) 提出運動經濟性提升的關鍵因素包括運動中力學效率的增加、肌肉協調能力和神經肌肉招募模式的改善，而這些改變對於長跑選手的表現可能是有利的。

近期的研究亦指出全身性振動訓練 (whole body vibration training, WBVT) 可以藉由刺激肌梭的興奮與降低高爾基腱器的抑制，使肌肉產生更大的收縮力，而促進肌力和爆發力的發展 (Issurin, Iebemann, & Tenebaum, 1994; Torvinen et al., 2002; Delecluse, Roelants, & Verschueren, 2003; Mahieu et al., 2006; 陳婉菁、胡金榮、相子元, 2009; 徐煒杰、鄭景峰, 2010)。此外，WBVT 可以增加訓練者之心跳率、血壓與肌肉血流量，導致肌肉溫度的提升，而降低肌肉纖維間的黏滯性，進而增加肌肉纖維收縮與伸展的能力 (Cochrane, Stannard, Sargeant, & Rittweger, 2008)。部分研究發現單一次的振動刺激即可顯著提升運動員之關節活動度 (range of motion) (Kinser et al., 2008; Sands et al., 2008)，而肌肉纖維收縮能力與關節活動度的提升似乎有利於運動中力學效率的提升。在 WBVT 作為熱身模式的研究方面，Aminian-Far, Hadian, Olyaei, Talebian, 與 Bakhtiary (2011) 發現在離心運動前進行 WBVT 可以顯著降低運動後延遲性肌肉酸痛 (delayed onset of muscle soreness) 指標之水準，而此研究認為離心運動前的振動刺激可以增加肌梭的活動並同步活化運動神經，使神經肌肉系統的功能在運動前達到最佳化，因而降低離心運動中肌肉損傷的程度 (Bakhtiary, Safavi-Farokhi, & Aminian-Far, 2007; 吳柏翰、葉乃菁、吳家慶, 2011)。單一次的全身性振動訓練或是長期的振動訓練 (Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi, & Di Salvo, 2006; Mahieu et al., 2006; Sands et al., 2006; 陳文彥、陳婉菁、陳鉸澍、林連池, 2012)，可藉由神經肌肉系統效率提升運動員的肌力、爆發力與關節活動度。另外，國外學者也指出由於全身性振動運動

(whole-body vibration exercise, WBV) 具有促進作用肌群中肌梭的伸張反射、增進作用肌群中高爾基腱器對拮抗肌群的抑制作用、改變荷爾蒙的分泌等生理影響，進而促進了肌力與爆發力的提升 (Cardinale & Bosco, 2003)。在血乳酸的代謝方面，黃彥霖等 (2013) 的研究指出衰竭跑步運動後僅進行振動運動 (20 Hz; 1min) 並無法顯著改善恢復時的血乳酸清除，但鄭景峰等 (2010) 的研究指出在高強度間歇握力運動後進行振動運動 (12Hz; 5min) 可以顯著改善再次運動後的疲勞感與血乳酸代謝情形。

單一次的 WBV 對於肌力、爆發力、關節活動度與神經肌肉系統之正面效益似乎亦可以促進跑步經濟性之提升。然而，目前針對此議題之相關研究仍然十分缺乏，所以本研究希望了解 WBVT 之熱身模式對於跑步經濟性之影響，並且探討不同振動頻率間之影響，及不同頻率之全身性振動訓練熱身模式對於運動中血液乳酸堆積之情況是否有差異。希望本研究結果可以供未來教練與選手將 WBVT 作為耐力性運動訓練課程之參考依據。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究以 12 位大學健康成年男性為受試對象，年齡介於 20-25 歲，實驗開始前，每位參與者皆須接受健康情況與運動習慣的調查並寫參與者「健康調查表」，確認每位參與者均無心血管疾病、高血壓及相關疾病，且可接受最大運動測驗。此外參與者必須詳細閱讀「參與者須知」，了解本實驗的目的、過程、參與者權利和可能發生的危險，並在參與者須知與自願參與實驗同意書上簽名，方能成為本研究之參與者。參與者基本資料如表 1 所示。

表 1 參與者基本資料 (N=12)

項目	平均±標準差
年齡 (歲)	21.33±2.06
身高 (cm)	174.60±2.00
體重 (kg)	70.00±12.14
BMI (kg/m ²)	22.98±4.13
最大攝氧量 (ml/kg/min)	51.05±9.64

二、研究方法與程序

(一)、實驗設計

正式實驗開始前一週參與者先至實驗室填寫基本資料、測量身體組成(Biospace Co Ltd, InBody220, Seoul, Korea), 並清楚說明實驗流程(如圖1)讓每位參與者瞭解實驗內容與過程。每位參與者進行最大攝氧量(VO_{2max})測驗, 測驗完畢後將12名參與者以重複量數、對抗平衡次序之設計分派至高頻率振動處理(HVT, $n=12$)與低頻率振動處理(LVT, $n=12$)與控制處理(CON, $n=12$)等3次實驗處理。HVT處理之參與者在跑步經濟性測驗($85\%VO_{2max}$)接受高頻率之WBV, LVT組之參與者則接受低頻率之WBV; 控制處理在測驗前並不進行任何活動。每次之實驗處理至少間隔7天。另外, 測驗中也同時收集受測者之攝氧量(VO_2)、血乳酸濃度(blood lactate, LA)、心跳率(Heart rate, HR)、運動自覺量(rating of perceived exertion, RPE)等資料。

(二)、最大攝氧量測驗

正式實驗開始前參與者至實驗室安靜休息30分鐘後, 隨後使用攝氧量分析儀(Sensor Medics, Vmax29, USA)測量參與者之 VO_{2max} , 本研究以跑步機為工具, 利用漸增速度的方式測得。每3分鐘漸進增加跑步機之速度與坡度。本研究以Bruce法作為測量 VO_{2max} 之步驟, 當參與者之狀態達下列條件兩種以上且最大攝氧量增加已達穩定狀態時則此時之攝氧量为本研究之 VO_{2max} : (1)參與者之呼吸交換率大於或等於1.1 (2)參與者之RPE達18以上 (3)心跳率達最大心跳率(最大心跳率=220-年齡)。

(三)、全身性振動熱身模式

本研究中HVT處理是指在振動訓練儀(Tonic Fitness Technology Inc, TVR 8500, Taiwan)上進行屈膝半蹲動作(half squat)並輔以高頻率全身性垂直振動刺激(動作: 屈膝半蹲; 頻率: 50Hz、振幅: 1.5mm、時間: 1分鐘×5組; 組間休息30秒); LVT處理則進行相同的動作並輔以低頻率全身性垂直振動刺激(動作: 屈膝半蹲; 頻率: 30Hz、振幅: 1.5mm、時間: 1分鐘×5組; 組間休息30秒), 本研究之振動頻率參考先前相關研究之建議(30-50Hz之振動頻率對肌肉可以產生最佳之刺激效果), 設定本研究之振動頻率(Luo, McNamara, & Moran, 2005)。

(四)、跑步經濟性測驗

隨機抽樣分組後進行跑步經濟性實驗, 在運動前、中、後三個不同階段分別在運動前安靜期、熱身後、運動5分鐘、運動10分鐘、運動15分鐘、休息5、10、15分鐘等8個不同時間點進行測量, 紀錄血液中

之乳酸值、攝氧量、心跳率與RPE。本研究之跑步經濟性測驗是在參與者完成不同模式之WBV熱身活動後, 於跑步機上以 $85\%VO_{2max}$ 之速度進行跑步運動, 本研究之跑步經濟性是以0-5分鐘、5-10分鐘與10-15分鐘的平均攝氧量為分析的區間, 本研究預估跑者在15分鐘內之攝氧量可以達到穩定, 且所有受試者在15分鐘跑步後即停止測驗, 進入恢復狀態。此外, 在本研究進行中室內環境皆以空調控制溫度在27度、濕度不高過50%, 以避免影響能量代謝相關數據之準確性。

(五)、血乳酸濃度

本研究在實驗中同時測量血乳酸(YSI 1500 SPORT, YSI Inc, USA), 在運動前、中、後三個不同階段分別在運動前安靜期、運動中10分鐘、運動15分鐘後、休息5分鐘及休息10分鐘等5個不同時間點抽取參與者之指尖血, 紀錄血液中之乳酸值。

三、資料統計與分析

實驗測量所得之各項資料, 以電腦SPSS for Windows 18.0中文版統計軟體分別進行資料處理與分析, 本研究中所有數據皆以平均數±標準差表示, 本研究以相依樣本二因子(振動頻率處理×時間)變異數分析(ANOVA)針對3組參與者之跑步經濟性進行平均數差異性考驗, 若交互作用(interaction effect)達顯著時($p<0.05$), 則進一步就單純主要效果(simple main effect)加以檢定。若單純主要效果達顯著時, 則以最小平方差異法(LSD)顯著水準 $\alpha = .05$ 進行事後檢定。

參、結果與討論

一、不同頻率之全身性振動熱身之攝氧量比較

參與者在運動中和運動後恢復期之攝氧量的變化如圖1, 其相依樣本二因子變異數分析, 在不同頻率之全身性振動熱身($F=6.154$, $p=0.008$)、時間($F=362.452$, $p=0.000$)及不同頻率之全身性振動熱身與時間($F=4.437$, $p=0.000$)交互作用皆達顯著水準($p<0.05$), 故進行單純主效果檢定。在不同處理的單純主效果變異數分析發現, 在E5($F=4.085$, $p=0.031$)、E10($F=6.501$, $p=0.006$)、E15($F=8.297$, $p=0.002$)CON處理的攝氧量皆顯著高於HVT處理與LVT處理($p<0.05$)。此外, 在不同時間的單純主效果變異數分析發現, 在CON處理中($F=372.479$, $p=0.000$)達顯著差異($p<0.05$), 且事後比較結果 $E15>E10>E5>R5>R10>R15$; 在HVT處理中($F=194.885$, $p=0.000$)達

顯著差異($p<0.05$)，且事後比較結果 $E15>E10>E5>R5>R10>R15$ ；LVT 處理中 ($F=280.914$, $p=0.000$) 達顯著差異 $p<0.05$)，且事後比較結果 $E15>E10>E5>R5>R10>R15$ 。

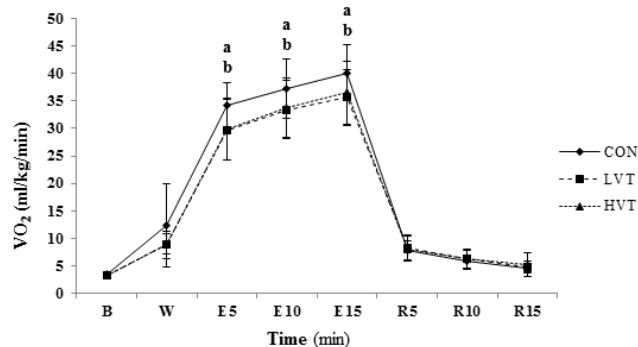


圖 1 運動期攝氧量變化圖 (HVT: 高頻率振動處理；LVT:低頻率振動處理；CON:控制處理；B:安靜值；W:熱身後；E5:運動期 5 分鐘；E10:運動期 10 分鐘；E15:運動期 15 分鐘；R10:恢復期 10 分鐘；R15:恢復期 15 分鐘；a 表示 HVT 與 CON 達顯著差異；b 表示 LVT 與 CON 達顯著差異 ($p<.05$.)

二、不同頻率之全身性振動熱身心跳率之變化

參與者在運動中和運動後恢復期的心跳率變化如圖 2 顯示，以相依樣本二因子變異數分析後發現在振動後在 CON 處理、HVT 處理及 LVT 處理之間各時間點並無顯著差異存在。

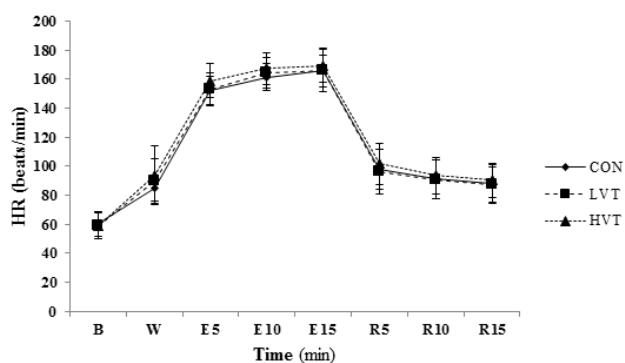


圖 2 運動期心跳率變化圖 (HVT: 高頻率振動處理；LVT:低頻率振動處理；CON:控制處理；B:安靜值；W:熱身後；E5:運動期 5 分鐘；E10:運動期 10 分鐘；E15:運動期 15 分鐘；R10:恢復期 10 分鐘；R15:恢復期 15 分鐘)

三、不同頻率之全身性振動熱身自覺量表之變化

參與者在跑步經濟性中的 RPE 變化如圖 3，以相依樣本二因子變異數分析後發現在四的時間的平均中，CON 處理、HVT 處理及 LVT 處理之間無顯著差異

($p>0.05$)，但數值上 CON 處理在 E10 及 E15 皆高於其它處理。

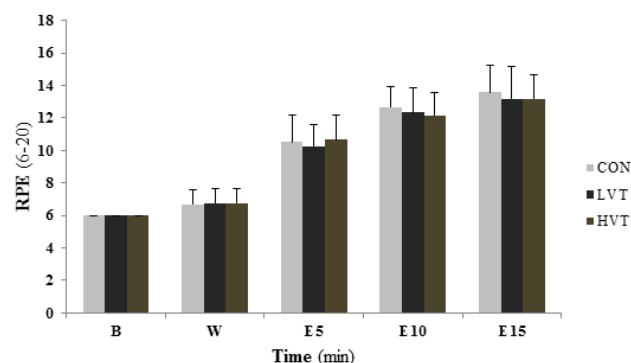


圖 3 運動中 RPE 變化圖 (HVT: 高頻率振動處理；LVT:低頻率振動處理；CON:控制處理；B:安靜值；W:熱身後；E5:運動期 5 分鐘；E10:運動期 10 分鐘；E15:運動期 15 分鐘；R10:恢復期 10 分鐘；R15:恢復期 15 分鐘)

四、不同頻率之全身性振動熱身血乳酸之變化

在全身性振動熱身下，運動中和運動後血液乳酸值差異數分析摘要如圖 4 呈現，單純主要效果變異數分析發現不同頻率之全身性振動熱身對於血乳酸的影響在 E10 ($F=3.081$, $p=0.066$)；E15 ($F=3.253$, $p=0.058$)；R5 ($F=2.938$, $p=0.074$)；R10 ($F=3.417$, $p=0.051$)，並無顯著差異。運動時間對於血液乳酸值的影響，在 CON 處理的條件下達顯著差異 ($F=17.492$, $p=0.000$)，且 $E15>E10>R5>R10$ ；在 HVT 處理的條件下達顯著差異 ($F=6.092$, $p=0.002$)，且 $E15>E10>R5>R10$ ；在 LVT 處理的條件下達顯著差異 ($F=12.099$, $p=0.000$)，且 $E15>R5>E10>R10$ 。

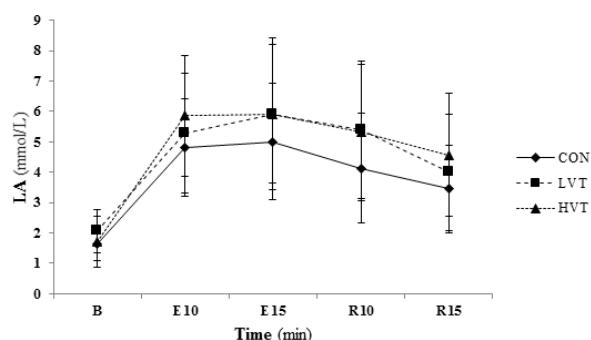


圖 4 運動期血乳酸變化圖(HVT: 高頻率振動處理；LVT:低頻率振動處理；CON:控制處理；B:安靜值；W:熱身後；E5:運動期 5 分鐘；E10:運動期 10 分鐘；E15:運動期 15 分鐘；R10:恢復期 10 分鐘；R15:恢復期 15 分鐘)

肆、結論與建議

一、綜合討論

本研究的主要發現是全身振動式之熱身模式可提升健康成年男性之跑步經濟性。研究結果顯示, 參與者在運動中與運動後恢復期之攝氧量的變化, 在不同頻率之全身性振動熱身對跑步經濟性達顯著水準。因此, 本研究結果證實振動訓練之熱身模式可以改善跑步經濟性。對於訓練前之熱身課程設計上的參考, 提供教練與運動員另一個選擇。

在跑步經濟性的影響因素方面, 研究指出 (Daniels, 1985; Morgan, Baldind, & Martin, 1989; Conley & Krahenbuhl, 1980; Daniels & Daniel, 1992) 跑步的經濟性會影響長距離跑步選手的運動表現。而跑步經濟性的改善可以使長跑選手的速度增快或是在固定的速度下跑更遠的距離。Noakes (1988) 指出肌肉的肌力與爆發力可能是影響運動經濟性的因素之一。Hoff 等 (1999) 以越野滑雪選手為訓練對象, 進行 9 週高強度的傳統阻力訓練, 訓練後發現當選手肌肉力量增加 (14.5%), 運動經濟性亦隨之增加 (22%)。此外, Paavolainen (1999) 對優秀的長跑選手進行類似的研究亦發現爆發力的增加可以透過神經肌肉功能的改善而增加跑步經濟性 (8.1%)。先前 (Spurrs, Murphy, and Watsford, 2003; Turner, Owings, and Schwane, 2003) 研究發現肌力、爆發力或不間斷的訓練計畫能有效改善 RE 跑者的神經肌系統的適應。下肢肌力的刺激在 WBV 訓練後能夠改善爆發能力 (Cardinale, and Bosco, 2003; Ritzmann, Kramer, Gruber, Gollhofer, and Taube, 2010.)。Anderson (1996) 提出運動經濟性提升的關鍵因素包括運動中力學效率的增加、肌肉協調能力和神經肌肉招募模式的改善, 而這些改變對於長跑選手的表現可能是有利的。(Aagaard, Simonsen, Magnusson and Dyhre-Poulsen, 2003) 表示增加 FRD 在阻力訓練的收縮機制能增強神經驅動。先前的研究即發現單一次的 WBV 即可改善運動員的肌力、爆發力與肌肉神經效率 (Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi, & Di Salvo, 2006; Mahieu et al., 2006; Sands et al., 2006)。本研究發現在中或高頻率的 WBV (50 或 30 Hz) 後可以顯著改善運動中的跑步經濟性, 雖然在本研究沒有進行肌電圖的測量, WBV 熱身後能改善跑步經濟性應該是神經肌肉系統的效率所引起。從這些研究的結果可以了解從肌力、爆發力與神經系統是似乎可以改善跑者的動作效率進而改善跑步經濟性。

研究發現單一次的振動刺激即可顯著提升運動員之關節活動度 (range of motion) (Kinser et al., 2008; Sands et al., 2008), 而肌肉纖維收縮能力與關節活動度的提升似乎有利於運動中力學效率的提升。(de Ruiter, Linden, Zijden, Hollander and Haan, 2003) 發現 2 周 WBV 訓練未能夠改善未受過訓練者的膝伸肌。結果根據腳底屈肌的 RFD 有明顯增加和膝伸肌的 RFD 可以改善男性大學運動員在八周 WBV 的訓練。(Colson, Pensini, Espinosa, Garrandes, and Legros, 2010) 建議高頻率振幅或長時間 WBV 訓練比 4 周的 WBV 訓練更能夠使運動員在爆發能力中得到明顯的改善, 例如反向跳或 10 公尺的衝刺模式。(Annino, Padua, Castagna, Di Salvo, Minichella, Tsarpela, Manzi, and D'Ottavio, 2007) 表示八週 WBV 訓練 (30Hz, $\pm 5\text{mm}$) 能有效提升反向跳的菁英芭蕾舞著。(Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi, and Di Salvo, 2006) 也發現 8 週 WBV 訓練 (35Hz, $\pm 4\text{mm}$) 能改善等長膝伸肌肌力和反向跳的女性運動員爆發力。而本研究的結果發現高與中頻率的 WBVT 配合熱身模式 (50 Hz, 30 Hz, 1.5 mm, 60s \times 5) 在中、高頻率振動模式可以顯著提昇健康成年男性的跑步經濟性, 然而, 對於運動中之心跳率、RPE 與血乳酸濃度皆無顯著影響, 先前有研究探討運動後恢復期進行 WBV 是否可以改善血乳酸代謝, 但這些研究的結果並不一致 (黃彥霖 等, 2013; 鄭景峰 等, 2010)。但是在 WBV 作為熱身模式的研究方面, Aminian-Far, Hadian, Olyaei, Talebian, 與 Bakhtiary (2011) 發現在離心運動前進行 WBV 可以顯著降低運動後延遲性肌肉酸痛 (delayed onset of muscle soreness) 指標之水準, 而此研究認為離心運動前的振動刺激可以增加肌梭的活動並同步活化運動神經, 使神經肌肉系統的功能在運動前達到最佳化, 因而降低離心運動中肌肉損傷的程度。研究指出, 全身式振動訓練可以刺激神經肌肉系統, 促進肌肉表現, 使參與者在運動中可以降低疲勞感, 增強運動表現 (Da Silva et al., 2007)。從這些研究的結果可以了解在訓練中採用較大的振幅或頻率似乎可以增強 WBV 的效果而縮短訓練所需的時間。國外的研究指出 8 周的 WBV 全身性振動訓練改善下肢, 膝伸肌的 RFD 收縮和腳屈肌的 RFD 及大學運動員的 RE, 也需要確認高強度的 WBV 在 RE 和爆發表現 (Cheng, C. F., Cheng, K. H., Lee, Y. M., Huang, H. W., Kuo, Y. H., & Lee, H. J. 2012)。而本研究的結果指出單一次的高與中頻率 (50Hz 與 30Hz) 的 WBV 熱身模式即可以顯著提昇跑者之經濟性的表現, 因此, 本研究

的結果支持先前之相關研究。未來仍須進行相關研究進一步分析此套訓練模式是否能套用在提升運動員之相關耐力運動表現的指標。

二、結論

先前國內外的研究很少探討 WBVT 對跑步經濟性之影響，而本研究證實高頻率振動與中頻率振動(頻率：50Hz, 30Hz) 的熱身模式有顯著提升跑步經濟性之訓練效果，因此，本研究的數據很具有參考價值。在競技訓練方面，運動選手若能在運動競技前能有合適的熱身模式，即可提升運動表現，延緩運動中疲勞的出現。本研究對象為一般大學生，沒有長期受過訓練，因此，建議將此模式套用在運動員，還需要有更多研究做為佐證，並可對於從事競技運動選手在訓練時有更合式的熱身模式參考。本研究結論為不同頻率全身性振動熱身顯著提升跑步經濟性，但其不同振動頻率間對跑步經濟性之血乳酸、心跳率與自覺量表並無明顯效果存在。

伍、參考文獻

- 黃彥霖、張晃源、程文欣、謝易親、高從耀、王順正 (2013)。振動式動態恢復對衰竭運動後 血乳酸清除的影響。**體育學報**，46 (4)，319-328。
- 鄭景峰、李佳倫、楊懿珊 (2010)。振動運動對高強度間歇握力運動後握力表現 與生理恢復之急性影響。**大專體育學刊**，12 (3)，98-105。
- 吳柏翰、葉乃菁、吳家慶 (2011)。全身性振動伸展對減緩離心運動後延遲性肌肉酸痛之影響。**大專體育學刊**，13 (4)，470-478。
- 林信甫、莊泰源 (2003)。跑步經濟性及其相關影響因素探討。**中華體育季刊**，17(3)，53-60。
- 陳文彥、陳婉菁、陳鈺澍、林連池 (2012)。六分鐘震動訓練對於跆拳道選手踢擊表現之影響。**華人運動生物力學期刊**，7，125-129。
- 陳婉菁、胡金榮、相子元 (2009)。六周震動訓練介入對青少年短跑選手100公尺表現之影響。**華人運動生物力學期刊**，1，11-16。
- 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。
- 徐煒杰、鄭景峰 (2010)。單次不同振幅全身振動運動對下肢爆發力的影響。**體育學報**，43 (1)，1-12。
- 國立臺灣師範大學(2009)。全人教育百寶箱。2013 年 10 月 22 日，取自 <http://hep.ccic.ntnu.edu.tw/browse2.php?s=436>
- Aminian-Far, A., Hadian, M. R., Olyaei, G., Talebian, S., & Bakhtiary, A. H. (2011). Whole-body vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. *Journal of athletic training*, 46(1), 43.
- Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports medicine*, 22(2), 76-89.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*, 93(4), 1318-1326.
- Annino, G., Padua, E., Castagna, C., Di Salvo, V., Minichella, S., Tsarpela, O., & D'ottavio, S. (2007). Effect of whole body vibration training on lower limb performance in selected high-level ballet students. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1072-1076.
- Bakhtiary, A. H., Safavi-Farokhi, Z., & Aminian-Far, A. (2007). Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 41(3), 145-148
- Bosco, C., Colli, R., Intorini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A. & Viru, A. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology-Oxford-*, 19, 183-187.
- Bulbulian, R. O. N. A. L. D., Wilcox, A. R., & Darabos, B. L. (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 18(1), 107-113.
- Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Sargeant, A. J., & Rittweger, J. (2008). The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *European journal of applied physiology*, 103(4), 441-448.
- Costill, D. L. (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running

- performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 7(2), 61.
- Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and sport sciences reviews*, 31(1), 3-7.
- Cheng, C. F., Cheng, K. H., Lee, Y. M., Huang, H. W., Kuo, Y. H., & Lee, H. J. (2012). Improvement in running economy after 8 weeks of whole-body vibration training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3349-3357.
- Colson, S. S., Pensini, M., Espinosa, J., Garrandes, F., & Legros, P. (2010). Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 999-1006.
- Daniels, J. T. (1985). A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 332-338.
- Daniels, J. A. C. K., & Daniels, N. A. N. C. Y. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(4), 483-489.
- Da Silva, M. E., Fernandez, J. M., Castillo, E., Nuñez, V. M., Vaamonde, D. M., Poblador, M. S., & Lanchos, J. L. (2007). Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 470-475.
- De Ruiter, C., Van Der Linden, R., Van der Zijden, M., Hollander, A., & De Haan, A. (2003). Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *European journal of applied physiology*, 88(4-5), 472-475.
- DOUGLAS, L., & KRAHENBUHL, C. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 12(5), 357-360.
- Delecluse, C., Roelants, M., & Verschueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(6), 1033-1041.
- Fagnani, F., Giombini, A., Di Cesare, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(12), 956-962.
- Fagnani, F., Giombini, A., Di Cesare, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(12), 956-962.
- Issurin, V. B., Liebermann, D. G., & Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *Journal of sports sciences*, 12(6), 561-566.
- Issurin, V. B., & Tenenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of sports sciences*, 17(3), 177-182.
- Kannus, P. (2002). Effect of 4-min vertical whole body vibration on muscle performance and body balance: a randomized crossover study. *Int J Sports Med*, 23(5), 374-379.
- Torvinen, J. (2002). Effect of 4-min vertical whole body vibration on muscle performance and body balance: a randomized crossover study. *Int J Sports Med*, 23(5), 374-379.
- Kinser, A. M., Ramsey, M. W., O'Bryant, H. S., Ayres, C. A., Sands, W. A., & Stone, M. H. (2008). Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(1), 133.
- Luo, J., McNamara, B., & Moran, K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Medicine*, 35(1), 23-41.
- Mahieu, N. N., Witvrouw, E., Van de Voorde, D., Michilsens, D., Arbyn, V., & Van den Broecke, W. (2006). Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training. *Journal of athletic training*, 41(3), 286.
- Mahieu, N. N., Witvrouw, E., Van de Voorde, D., Michilsens, D., Arbyn, V., & Van den Broecke, W. (2006). Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training. *Journal of athletic training*, 41(3), 286.
- Morgan, D. W., Baldini, F. D., Martin, P. E., & Kohrt, W.

- M. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(1), 78-83.
- Noakes, T. D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(4), 319-330.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Härmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86(5), 1527-1533.
- Ritzmann, R., Kramer, A., Gruber, M., Gollhofer, A., & Taube, W. (2010). EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes?. *European journal of applied physiology*, 110(1), 143-151.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Kimmel, W. L., Gregory Haff, G., & Jemni, M. (2008). The effect of vibration on active and passive range of motion in elite female synchronized swimmers. *European Journal of Sport Science*, 8(4), 217-223.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Russell, E. M., & Jemni, M. O. N. E. M. (2006). Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(4), 720.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European journal of applied physiology*, 89(1), 1-7.
- Turner, A. M., Owings, M., & Schwane, J. A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 60-67.