

# 高強度間歇運動組間休息應用不同震動頻率對乳酸堆積濃度之影響

王璟諭 張嘉澤 鄭晉賢

## 摘要

HIIT (High-intensity interval training) 運動型態研究自 2000 年後急速的增加。這種運動方式也受到大眾的喜好，特別是競技運動員。而 HIIT 的主要特色在於，短時間內就可以改善肌肉的無氧代謝機制，另一功能則在 HIIT 能夠誘發 PGC-1  $\alpha$ 。但是，其缺點是運動強度必需接近個人的最大負荷，這種方式將造成身體組織的快速缺氧，誘發壓力荷爾蒙的產生與高乳酸堆積濃度。因此，各種不同訓練工具搭配 HIIT 的應用，也因應而生。例如：間歇期呼吸高氧、應用超低溫 (Cryo)，以及低氧-高氧交互應用等等，其目的都希望降低 HIIT 運動所產生的壓力與不適感。然而，本研究目的旨在探討 HIIT 運動負荷間歇期應用不同震動 (Vibration) 頻率刺激，對高強度間歇運動乳酸堆積濃度之影響。方法：本研究一共有 5 名受試者 (年齡：24.4 $\pm$ 2.3 歲，身高：174 $\pm$ 8.5 公分，體重：75.8 $\pm$ 13.4 公斤，運動強度：6.4 $\pm$ 0.5 m/s)。本研究運動次數為 3 x 3 x 15 秒，強度設定以個人 30 公尺衝刺最高速度的 95%。每次運動間歇時間為 60 秒，組間休息則為 3 分鐘。震動頻率應用分別為 20 Hz 與 40 Hz，震動持續時間兩項皆為 60 秒。兩項測試間隔 24 小時，數據以相依樣本 t 檢定進行分析。結果：數據分析發現 A-Test (20 Hz) 與 B-Tests (40 Hz) 運動結束血液乳酸堆積濃度分別為 9.8 $\pm$ 2.6、9.6 $\pm$ 2.6 mmol/l，平均值差異為 0.2 mmol/l ( $p > .05$ )。兩組在恢復期第十分鐘 (E10) 的血液乳酸堆積濃度，則分別為 7.8 $\pm$ 2.3 (A-Test) 與 7.2 $\pm$ 1.1 mmol/l (B-Test)，平均值差異 0.6 mmol/l ( $p > .05$ )。心跳率在 Set-1 運動負荷 A-Test 為 168 $\pm$ 10 min<sup>-1</sup>，B-Test 則為 171 $\pm$ 9 min<sup>-1</sup>，平均值差異 3 min<sup>-1</sup> ( $p > 0.05$ )。Set-2 與 Set-3 心跳率在兩項測試平均值差異分別為 3 min<sup>-1</sup> 與 4 min<sup>-1</sup> ( $p > 0.05$ )。結論：研究數據分析發現運動間歇期應用高震動頻率 (40 Hz) 可以減緩血液乳酸堆積濃度大幅提升。雖然運動當下呈現比較高心跳率反應，但是在恢復期心跳率下降的幅度較大。因此，建議在高強度的訓練，可以在間歇期應用 WBV (頻率 40 Hz)，降低肌肉的無氧代謝壓力，並且在訓練後應用也能夠使心跳率快速下降。

## 問題背景

競技運動的比賽模式以高強度為主，而想要維持或提升運動員的競賽能力，就必須以高強度訓練刺激身體的神經肌肉系統以及體循環系統，因此，近代發展出以高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT) 作為競技運動員主要的訓練方式。HIIT (High-intensity interval training) 運動型態研究自 2000 年後急速的增加。這種運動方式也受到大眾的喜好，特別是競技運動員。相較於傳統中低強度長時間的訓練，高強度間歇訓練既能夠降低訓練總量，又可以讓運動員得到足夠強度的刺激，提昇肌肉肌粒線體密度、提高脂肪氧化能力、減少運動乳酸生成、提高乳酸閾值 (MacInnis & Gibala., 2017)。HIIT 的主要特色在於短時間內就可以改善肌肉的無氧代謝機制，另一功能則在 HIIT 運動誘發 PGC-1  $\alpha$ 。它對葡萄糖和脂質代謝的調節，以及在代謝壓力的反應中發揮作用。HIIT 的運動刺激所誘發的肌肉細胞功能，比持續性運動方式的效益更高 (Laursen 2010)。但是，其缺點是運動強度必需接近個人的最大負荷，這種方式將造成身體組織的快速缺氧，誘發壓力荷爾蒙與高乳酸的產生。但是 HIIT 會導致肌肉組織快速缺氧，造成高乳酸濃度堆積，而乳酸代謝過程中產生的大量氫離子 ( $H^+$ )，間接造成肌肉快速收縮的機能失調，進而影響運動表現以及運動續航力 (Hakkinen et al., 1993; Cormie et al., 2007; Fitts, 2007)。全身振動 (Whole-Body Vibration, WBV) 訓練證實對節律性神經肌肉刺激與在對抗性工作的肌肉中增加運動單位的徵召(振動反射)與神經支配 (Künemeyer et al., 1997)。但是上述震動反應在拮抗肌中也發現了效果，這種共激活的現象，也是一種疲勞指標 (Rothmuller et al., 1995)。在 Rittweger et al., (2008) 的研究發現 WBV 方式增加皮膚的血流量，相對的在震動後也提升心跳率。震動刺激的功能取決於振動頻率和振幅 (Hoffmann et al., 1999)。高強度運動後以全身震動 (Whole-body Vibration, WBV) 的方式進行恢復，可以刺激肌肉中的微血管，提升身體的血液循環，進而提升肌肉組織內的氧化反應，幫助乳酸排除，並且透過血液循環的提高，快速降低運動後過耗氧量 (Excess Post-exercise Oxygen Consumption, EPOC)，也能夠提升心率恢復率 (Heart Rate Recovery, HRR)，降低體循環壓力 (Manimmanakorn et al., 2015; Kang et al., 2017)。而在 Kosar et al. (2012) 的研究中提到，全身震動 WBV 的應用可以有效降低肌肉痠痛反應，並且提升代謝性廢物的清除效率。

## 研究方法

本研究測試分成兩組高強度間歇運動測試。運動測試前會先進行強度指標測試 30m 衝刺，並以 30m 衝刺最大速度的 95%作為高強度間歇運動測試的強度。本研究將進行 3 x 3 x 15s 間歇時間 Rep 60s 組間休息 Set 3min 的高強度間歇運動，並在每組運動後分別進行 20Hz 和 40Hz 的全身震動 60s。兩組測試間隔一天，以平衡次序法進行。測試生物參數收集血液乳酸 (La)。記錄時間點皆為運動前 (R)、每組運動後 (S1、S2、S3)、與恢復期 (E3、E5、E10)。每次實驗總時長約為 28 分鐘 (表-2)。

表-1 受試者基本資料

人數 (n)	年齡 (yr)	身高 (cm)	體重 (kg)	運動強度 (m/s)
5	24.4 ± 2.3	174 ± 8.5	75.8 ± 13.4	6.4 ± 0.5

表-2 運動生物參數紀錄

組別	運動測試	生物參數記錄
Test-A (20 Hz)	3 x 3 x 15s	乳酸 (La):
	強度:	R-S1-S2-S3-E3-E5-E10
	-30m Max Speed (95%)	
	-Rep 60s	心跳率 (HR):
	-Set 3 min	R-S1-S2-S3-E3-E5-E10
	<b>震動 Vibration (20 Hz) :</b>	
	-運動間歇期 3 次	
	-每次 60s	註：總採血量 70 µl
Test-B (40 Hz)	3 x 3 x 15s	
	強度:	
	-30m Max Speed (95%)	
	-Rep 60s	同上
	-Set 3 min	
	<b>震動 Vibration (40 Hz) :</b>	
	-運動間歇期 3 次	
	-每次 60s	

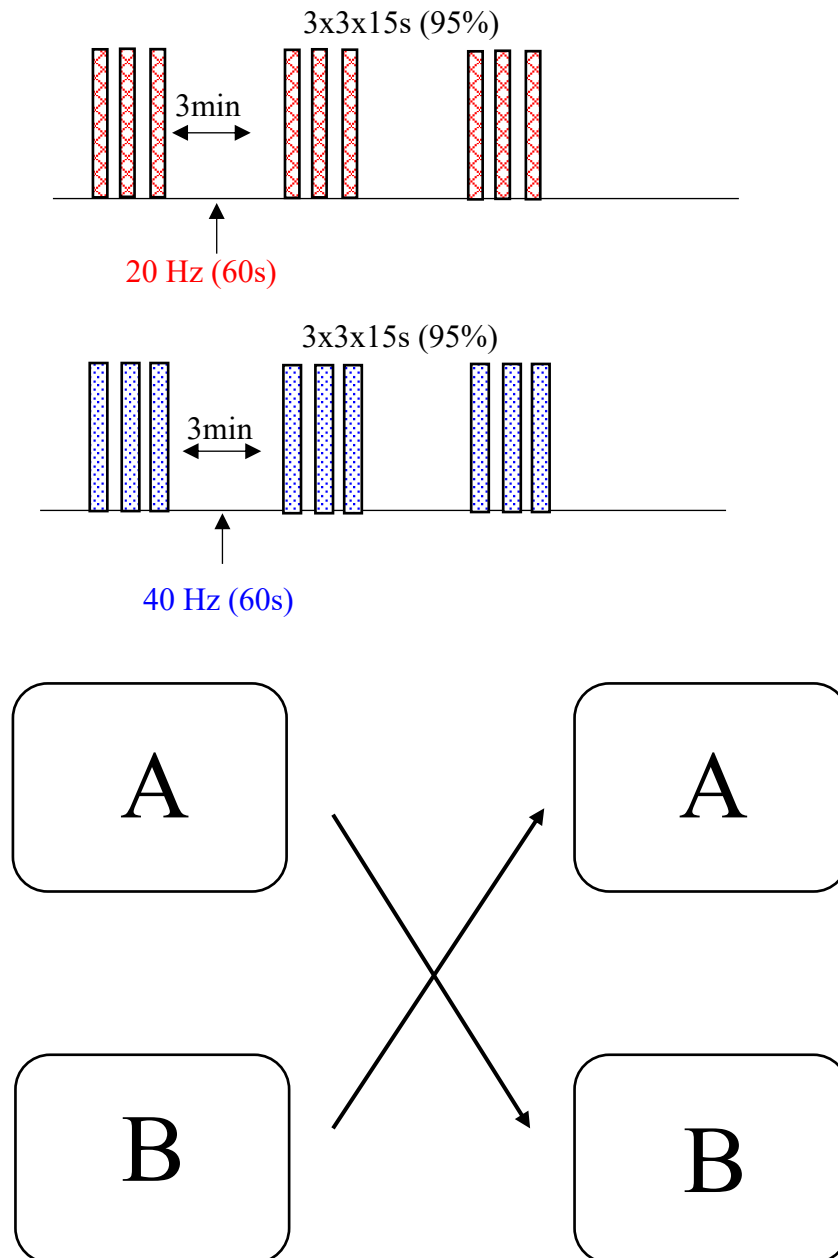


圖-1: 高強度運動測試執行程序

### 結果分析與討論

本研究結果分析顯示，血液乳酸堆積在 A-Test (20 Hz) 與 B-Test (40 Hz) 的 3 組 (S1、S2、S3) 運動負荷皆未呈現明顯差異。A-Test 在運動結束 (S3) 與恢復期第十分鐘，平均值差異為  $-2.04 \text{ mmol/l}$  ( $p>0.05$ )。B-Test 在 S3 與 E10 平均值差異則為  $-2.4 \text{ mmol/l}$  ( $p>0.05$ ) (圖-2)。

本研究另一發現，在運動負荷心跳率，兩次運動測試 (A-B Test) 皆未呈現明顯差異 (圖-3)。在 A-Test 與 BTEST 運動負荷 S1 與 S3 心跳率平均值差異均為 4

min-1 ( $p>0.05$ )。運動結束 (S3) 與恢復期第 5 分鐘 (E5) 心跳率差異在 A-Test 為  $-67 \text{ min}^{-1}$  ( $p<0.05$ )，在 B-Test 則為  $-68 \text{ min}^{-1}$  ( $p<0.05$ )。

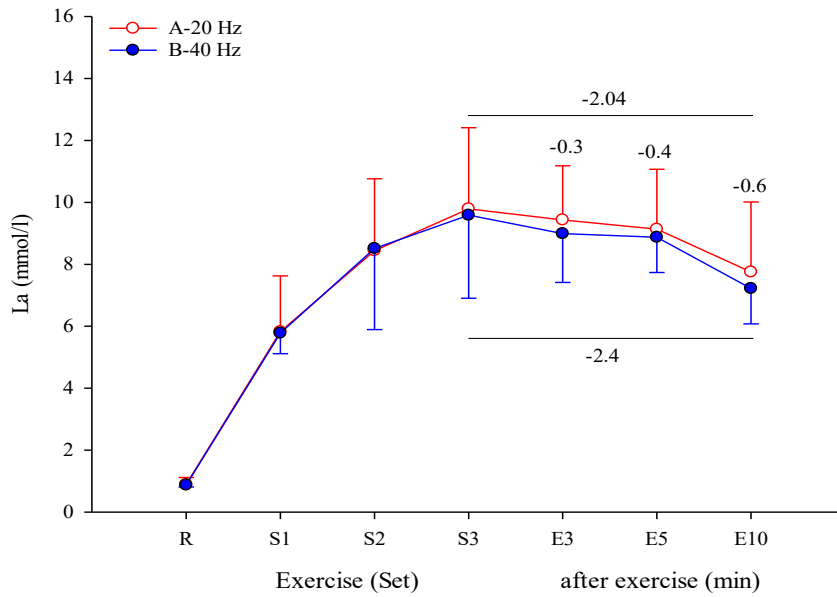


圖-2: 間歇期不同震動頻率 (A-20 Hz、B-40 Hz) 乳酸 (La) 堆積濃度分析

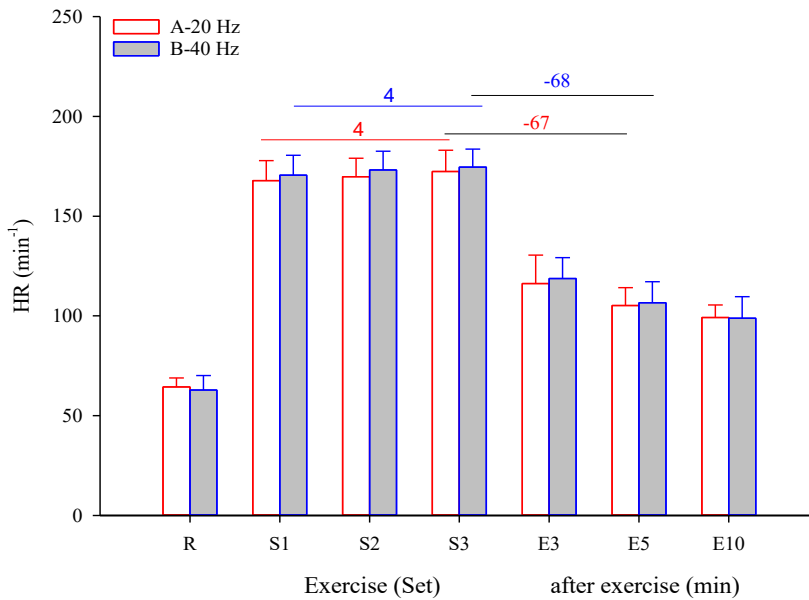


圖-3: 間歇期不同震動頻率 (A-20 Hz、B-40 Hz) 心跳率分析

上述結果分析發現，A-B Test 在運動負荷 (S1、S2、S3) 血液乳酸堆積曲線，並未呈現明顯差異。但是在恢復期，B-Test (40 Hz) 的乳酸曲線則呈現比較快速排除的反應。這種現象顯示運動間歇期應用震動 (40 Hz) 可以提升運動後的乳酸代謝。在 Goldspink (1994) 的研究發現，震動刺激可以提高運動刺激神經訊號傳遞速度，快速改善 SSC 機制，並提升肌間-肌內纖維的協調，降低在高運動負荷時，肌肉伸縮循環的壓力。本研究 B-Test 應用 40 Hz 震動所產生的效果，可能來自肌間-肌內纖維協調機制提升，而降低肌肉的無氧負荷壓力所致。B-Test 的反應現象另一原因可能在急性高負荷的無氧刺激下，瞬間產生的高乳酸在細胞之間穿梭有關。過去 Brooks (1985) 提出 “乳酸穿梭” 理論，這種機制反應主要為乳酸在細胞穿梭代謝，乳酸將作為能量轉換。因此，本研究 B-Test 在震動刺激造成身體血流量、血液含氧量提升與乳酸的穿梭機制下，產生比較低的乳酸堆積現象 (圖-2)。

而在心跳率分析，本研究在恢復期 E5 心跳率發現，A-Test 心跳率為  $105 \pm 8.9 \text{ min}^{-1}$ ，B-Test 則為  $106 \pm 10 \text{ min}^{-1}$  (圖-3)。過去 Böhmer et al. (1975) 研究指出，在最高運動結束第 5 分鐘 (E5) 心跳率可以下降  $< 120 \text{ min}^{-1}$  可以判斷為恢復能力佳。本研究這種現象，可能來自運動的間歇期應用震動，舒緩體循環的效果所致。

## 結論

研究數據分析發現運動間歇期應用高震動頻率 (40 Hz) 可以減緩血液乳酸堆積濃度大幅提升。雖然運動當下呈現比較高心跳率反應，但是在恢復期心跳率下降的幅度較大。因此，建議在高強度的訓練，可以在間歇期應用 WBV (頻率 40 Hz)，降低肌肉的無氧代謝壓力，並且在訓練後應用也能夠使心跳率快速下降。

## 參考文獻

- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. *Journal of Applied Biomechanics*
- Fitts R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 104(2), 551–558.  
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01200.2007>
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1993). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*
- Kang, S. R., Min, J. Y., Yu, C., & Kwon, T. K. (2017). Effect of whole body vibration on lactate level recovery and heart rate recovery in rest after intense exercise. *Technology and health care : official journal of the European Society for Engineering and Medicine*, 25(S1), 115–123. <https://doi.org/10.3233/THC-171313>
- Kosar, A. C., Candow, D. G., & Putland, J. T. (2012). Potential beneficial effects of whole-body vibration for muscle recovery after exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 26(10), 2907–2911.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318242a4d3>
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* : 20 (Suppl. 2): 1–10.
- Manimmanakorn, N., Ross, J. J., Manimmanakorn, A., Lucas, S. J., & Hamlin, M. J. (2015). Effect of whole-body vibration therapy on performance recovery. *International journal of sports physiology and performance*, 10(3), 388–395. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0225>
- Rittweger, J., Schiessl, H., & Felsenberg, D. (2001). Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *European journal of applied physiology*, 86(2), 169–173.  
<https://doi.org/10.1007/s004210100511>
- Goldspink G (1994). Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels. In: Kraft und Schnellkraft im Sport. Nr. 002, S213.

George A Brooks (1985). Lactate: Glycolytic End Product and Oxidative Substrate During Sustained Exercise in Mammals — The “Lactate Shuttle”.

Böcker, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., Jäger, D., Martin, L., Malfahrt, J., Nöcker, P., Nowacki, G., Rompe, A., Thiel, B., Schmücker, O. (1975): Das sportmedizinische Untersuchungssystem. Leistungssport, Beiheft .