

# HIIT 腳踏車不同轉速與間歇期震動刺激對無氧代謝與體循環之急急性調節效果

陳品言 張嘉澤 黃沛蓁

## 摘要

訓練工具隨著競賽強度的提升，被應用的頻率也隨著增加。其目的皆在提升改善運動員的競技能力，特別是無氧的代謝機制。HIIT 能夠在短時間的訓練下提升體循環以及新陳代謝的效果，但其快速缺氧的運動模式也會導致較大的生理壓力。而震動訓練具有促進運動後恢復的功用，且也較少有研究探討震動於運動間歇期的恢復作用。因此，本研究目的旨在探討震動訓練對不同轉速腳踏車 HIIT 間歇期的無氧代謝與體循環之急急性調節效果。方法：受試者為 5 名健康成人 (32±8.7 歲、173±13.4 cm、73±16.9 kg)。研究採用腳踏車測功儀 (Bicycle Ergometer) 與高頻震動機作為測試器材。腳踏車踩踏轉速為 80-90 RPM 與 120-130 RPM 兩項，震動頻率則設定為 60 Hz。腳踏車運動強度設定 4.5 W/kg，HIIT 運動共 3 組 2 次 20 秒 (3x2x60s)。結果：腳踏車測功儀轉速在 80-90 RPM (A) 運動負荷，血液乳酸堆積濃度在第二組結束第三分鐘 (E3) 與第三組 (S3) 平均值為 6.26±2.9、6.2±2.4 mmol/l，下降 0.06 mmol/l。轉速 120-130 RPM (B) 則為 9.99±3.7、10.1±3.2 mmol/l，上升 0.11 mmol/l (p>0.05)。心跳率 (HR) 在 80-90RPM 組的第一組(S1) 和第三組 (S3) 平均值為 142、146 min<sup>-1</sup>，兩組心跳率上升 4 min<sup>-1</sup> (p>0.05)，在 120-130RPM 組的第一組(S1) 和第三組 (S3) 平均值為 159、166 min<sup>-1</sup>，兩組心跳率上升 7 min<sup>-1</sup> (p>0.05)。結論：震動訓練在不同轉速的 HIIT 下皆能維持運動時的無氧壓力，但在體循環則無明顯效果。建議未來在進行高強度的訓練時可以加入震動訓練來減少生理壓力的累積。

## 問題背景

腳踏車測功儀是高強度間歇訓練 (High intensity interval training, HIIT) 中經常使用的一項阻力運動負荷，過去有許多研究發現 Wingate 模式 HIIT 能夠提升無氧動力和無氧代謝能力 (Vera-Ibañez et al., 2017; Akgül, 2019; Astorino et al., 2012; Ko et al., 2021)。

在腳踏車測功儀的訓練當中，強度設定依據主要包括了轉速、阻力、持續時間等等，其中轉速的快慢是腳踏車測功儀訓練時重要的強度設定依據。不同的轉速確實會影響到腳踏車運動時的負荷強度，此現象勢必也會使身體產生不同的生理反應。

震動訓練 (whole-body vibration) 是一項較新的神經肌肉訓練器材，過去的研究中發現在恢復期使用震動訓練能夠有效的加速乳酸的排除 (Rashidi et al., 2018) 過往較為在運動結束後使用長時間震動的研究，但較少研究探討在運動間歇期介入短暫震動訓練對於血液乳酸的影響。

高強度間歇訓練 (High-intensity interval training, HIIT) 是近代競技運動員與一般人健康的運動方式之一。其特徵是在極短的時間內，就可達到體循環與新陳代謝系統的效果。過去 Laursen (2010) 應用持續與間歇兩項運動方式比較研究，結果發現 HIIT 方式也可以達到與長時間持續運動的相同效果。

HIIT 通常代表在短時間內進行強度設定為最大努力或者接近最大攝氧量百分比的高強度運動，並且在每次運動之間加入幾秒至幾分鐘的完全休息或低強度運動來達到短暫的間歇 (Gibala & McGee, 2008)，HIIT 主要訓練效果，是在短時間內能夠提升運動員粒線體數量、功能以及提高乳酸閾值的訓練 (MacInnis & Gibala, 2017)。

在 Manuel et al. (2021) 的文獻回顧研究發現，在單次 HIIT 運動後增加睪固酮 (testosterone) 與皮質醇 (Cortisol) 濃度。這兩項參數在 24 h 後，又回到基準值。運動員或一般人在運動訓練過程，都必需面對運動負荷所造成缺氧的壓力。這種反應將帶來身體 "戰鬥或逃跑" 的反應。這種反應的 Level 是取決於

Cortisol 產生的濃度 (Hackney et al., 2015)。

運動過程 Cortisol 的增加會提高我們的呼吸頻率，有助於分解燃料並收縮肌肉。運動期間皮質醇短暫增加是正常現象 (Vingren et al., 2010 & Hooper et al., 2017)。HIIT 運動後皮質醇濃度上升，這種反覆的運動刺激，也隨著運動週期的延伸，而降低 Cortisol 的產生。這種生理反應即為運動負荷刺激的調節適應 (Hayes et al., 2015)。

睪固酮 (testosterone) 與皮質醇 (Cortisol) 是扮演合成與代謝的作用功能，特別是在急性運動負荷能量代謝調節作用 (Hayes et al., 2010)。上述兩項參數反應，也將直接影響運動過程的呼吸頻率已高心跳率反應 (Manuel et al., 2021)。

Kang et al. (2017) 的研究發現全身的震動訓練應用在恢復期能夠使震動效果產生肌肉幫浦的作用使靜脈回流增加，導致震動後的心跳恢復速率，同時這樣的主動恢復也能維持肌肉中的血流量來增加乳酸的氧化，加快乳酸排除的速率。

Ahlquist et al. 1992 的研究發現腳踏車的運動在相同強度下，低轉速會相較於高轉速需要更大的肌肉力量來對抗較大的阻力。Barker et al. (2006) 研究中也發現在高轉速時的臨界功率會顯著小於低轉速。

雖然 HIIT 可以縮短運動的時間，但是因高負荷帶來急性的缺氧反應，也造成體循環與肌肉代謝的壓力。因此，如何在 HIIT 的運動負荷下，延緩肌肉能量代謝壓力，維持持續運動能力的穩定。因此，眾多減輕肌肉疲勞的儀器設備因應而生。因此，如何降低 HIIT 運動負荷過程無氧代謝壓力，也是本研究主要探討的目的。

綜合以上文獻，本研究的研究目的為探討震動訓練對不同轉速腳踏車 HIIT 間歇期的無氧代謝與體循環之急性調節效果。

## 研究方法

受試者為 5 名健康成人，平均年齡、身高、體重為  $32\pm 8.7$  歲、 $173\pm 13.4$  cm 以及  $73\pm 16.9$  kg，並且平均的腳踏車阻力為  $330.3\pm 60.6$  watt。本研究器材採用腳踏車測功儀 (Bicycle Ergometer) 與高頻震動機作為測試器材。腳踏車踩踏轉速為 80-90 RPM 與 120-130 RPM 兩項，震動頻率則設定為 60 Hz。腳踏車運動負荷設定 4.5 W/kg，HIIT 共 3 組 2 次 20 秒 ( $3\times 2\times 60s$ )，組間休息 3 分鐘，每次間歇 60 秒。生物參數收集包括心跳率 (HR) 與乳酸 (La)。採集時間分別為運動前 (R)、每組結束、第一、二組結束的第 3 分鐘 (E3) 以及全部運動結束的第 5 分鐘 (E1、E5)。本研究使用相依樣本，受試者以 S 型方式分配為兩組，兩項測試 (80-90 RPM、120-130 RPM) 間隔 24 h (圖-1)。

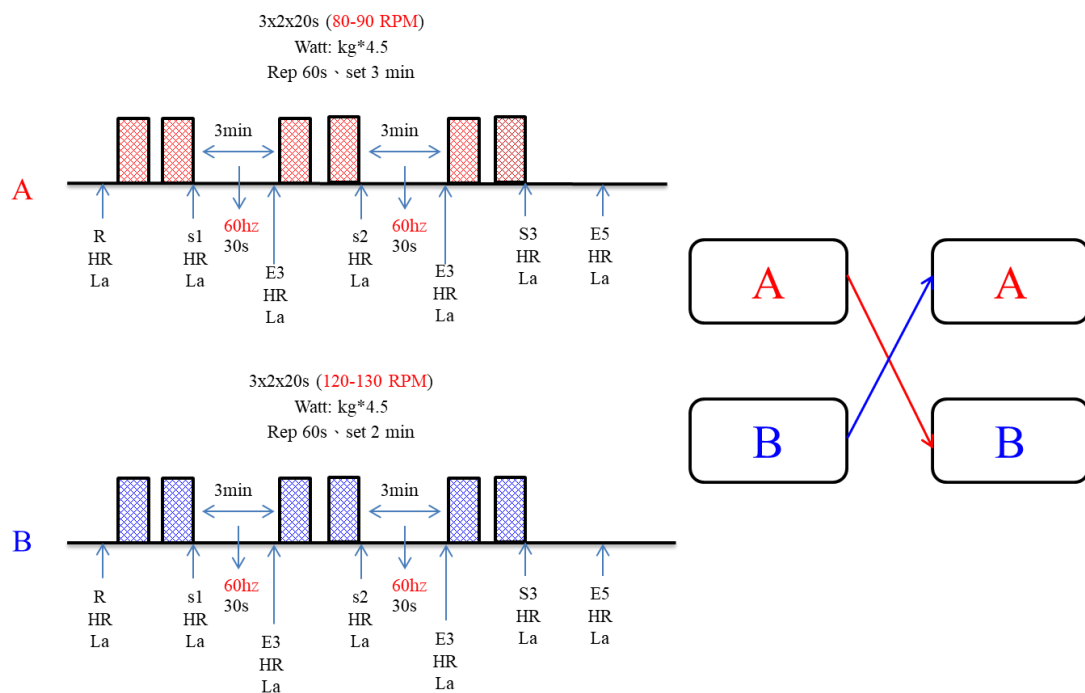


圖-1: 研究實驗執程序

## 結果分析與討論

結果分析顯示，在 S2 以及 S3 的時候，120-130 轉組別的血液乳酸堆積對比 80-90 轉的組別皆有顯著提升，分別上升了 2.82mmol/l 以及 3.91mmol/l。

腳踏車測功儀轉速在 80-90 RPM (A) 中第二趟 E3 以及 S3 的乳酸值分別為 6.26、6.2mmol/l，下降 0.06mmol/l，而 120-130 RPM (B) 的第二趟 E3 以及 S3 的乳酸值則為 9.99 和 10.12 mmol/l，上升 0.13mmol/l，上述兩項比較均無顯著差異。

心跳率 (HR) 在 A 測試 3 組平均值為 142±21 (S1)、144±23 (S2)、146±23 (S3)，當中 S1 到 S3 的心跳率平均值上升 4 min<sup>-1</sup>，B 測試心跳率在 3 組運動負荷平均值則分別為 159±17 (S1)、163±17 (S2) 與第 3 組 (S3) 為 166±17，從 S3 相較於 S1 的心跳率平均值上升 7min<sup>-1</sup>。

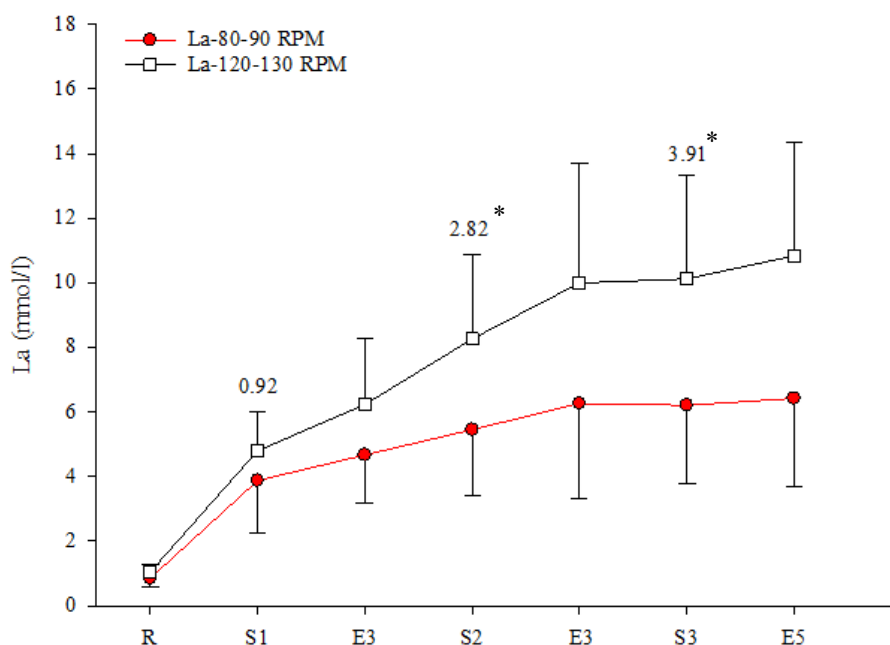


圖-2: 腳踏車測功儀不同轉速 (RPM) 的乳酸堆積濃度於兩組之差異。

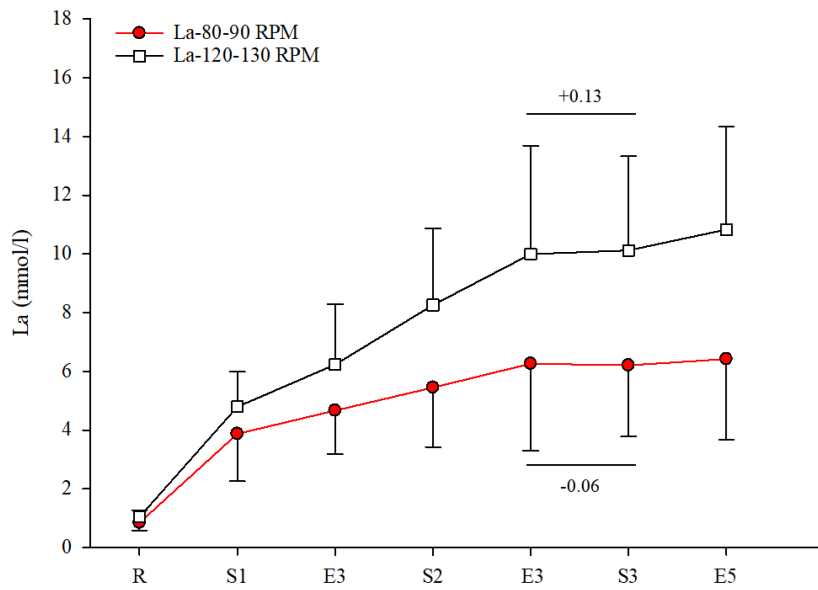


圖-3: 腳踏車測功儀不同轉速 (RPM) 運動負荷血液乳酸 (La) 堆積濃度

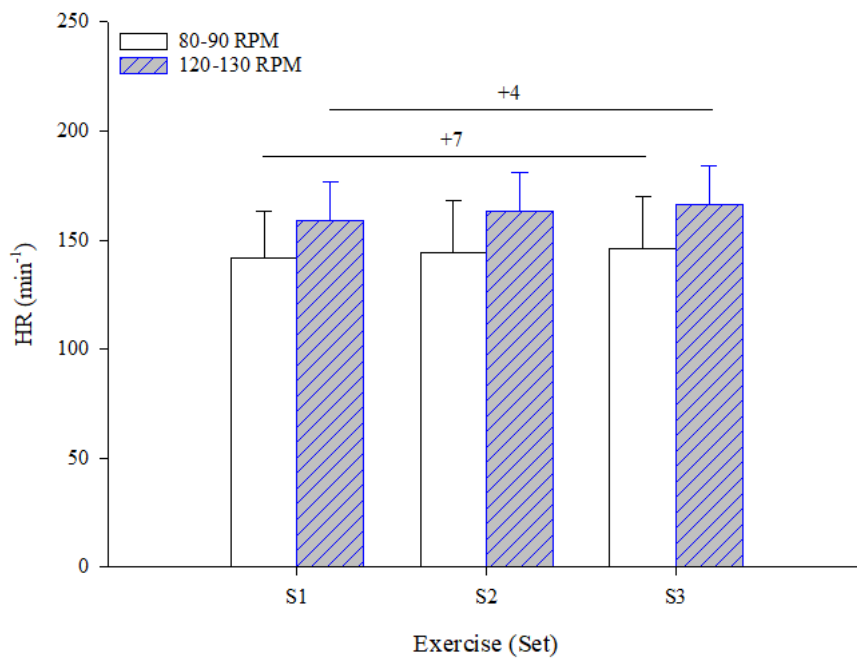


圖-4: 腳踏車測功儀不同轉速 (RPM) 運動負荷心跳率 (HR) 堆積濃度

研究結果分析顯示，高轉速 (120-130 RPM)運動負荷呈現高乳酸 (La) 堆積現象 (圖-2)。本研究另一發現，在兩項不同轉速第 3 次 (S3) 運動負荷，血液乳

酸均未呈現上昇現象 (圖-3)，這種現象顯示運動過程未產生疲勞堆積的反應症狀。過去 Lehmann (1953) 發現在運動頻率與時間增加，血液乳酸濃度也將隨著提升，即所謂的疲勞堆積理論。Rashidi et al. (2018) 的研究中發現震動訓練能夠降低恢復期的乳酸值，與本研究在 S3 的乳酸值無上升的趨勢有類似結果。血液乳酸 (La) 在 S3 產生恆定現象，可能來自運動間歇期的震動放鬆有關。這種生理機制調節主要是肌肉在腳踏車負荷，產生肌肉擠壓現象，造成周邊微血管血液流動速度降低。而 Kang et al. (2017) 發現震動後會使身體血液回流增加，並且 Kerschman et al. (2011) 也發現全身震動後能夠提升血液流動的速度。上述的反應使乳酸的排除速度上升，可能是導致本研究中 S3 乳酸值沒有持續上升的原因。

本研究另一數據分析顯示，心跳率 (HR) 在兩項不同轉速運動負荷，第 3 次 (S3) 運動心跳率皆呈現上昇趨勢 (圖-4)。特別是在低轉速 (80-90 RPM) 運動負荷，S3 心跳率平均值增加  $+7 \text{ min}^{-1}$ 。這種反應可能來自低轉速增加阻力，因而提高換氣頻率。另一因素可能來自 Corstisol 誘發兒茶酚胺 (Chotecolamine)，提升交感神經活性，使心跳率上升，導致震動訓練在體循環並無顯著成效。

## 結論

震動訓練在不同轉速的 HIIT 下皆能維持運動時的無氧壓力，但在體循環則無明顯效果。建議未來在進行高強度的訓練時可以加入震動訓練來減少生理壓力的累積。

## 參考資料

- Barker, T., Poole, D. C., Noble, M. L., & Barstow, T. J. (2006). Human critical power-oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies. *Experimental physiology*, 91(3), 621–632. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2005.032789>
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?. *Exercise and sport sciences reviews*, 36(2), 58–63. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318168ec1f>

- Gollnick, P. D., Karlsson, J., Piehl, K., & Saltin, B. (1974). Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibres of man following sustained contractions. *The Journal of physiology*, 241(1), 59–67. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1974.sp010640>
- Haase, R., Dunst, A. K., & Nitzsche, N. (2024). The Influence of Pedaling Frequency on Blood Lactate Accumulation in Cycling Sprints. *International journal of sports medicine*, 10.1055/a-2255-5254. Advance online publication. <https://doi.org/10.1055/a-2255-5254>
- Hackney AC, Lane AR. Exercise and the regulation of endocrine hormones. *Prog Mol Biol Transl Sci*. 2015;135:293-311
- Hayes LD, Grace FM, Baker JS, Sculthorpe N. Exercise-induced responses in salivary testosterone, cortisol, and their ratios in men: a meta-analysis. *Sports Med*. 2015;45(5):713-726.
- Hayes, L.D.; Bickersta, G.F.; Baker, J.S. Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: Influence of circadian rhythms. *Chronobiol. Int*. 2010, 27, 675–705.
- Hooper DR, Kraemer WJ, Focht BC, et al. Endocrinological roles for testosterone in resistance exercise responses and adaptations. *Sports Med*. 2017;47(9):1709-1720.
- Hwang, C.L.; Wu, Y.T.; Chou, C.H. Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk
- 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>
- Kerschman-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., & Imhof, H. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical physiology (Oxford, England)*, 21(3), 377–382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2001.00335.x>
- 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
- Lehmann, G. (1953). *Praktische Arbeitsphysiologie*. Thieme. Stuttgart. In: Hollmann et al.: *Sportmedizin*. 120.125.
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- Manuel Dote-Montero., Almudena Carneiro-Barrera., Vicente Martinez-Vizcaino., Jonatan R. Ruiz., Francisco J. Amaro-Gahete (2021). Acute effect of HIIT on testosterone and cortisol levels in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. Wiley. Onlinelibrary.



- Rashidi, M., Eizadi, M., Sedaghat, M., & Safakha, H. A. (2018). Effects of whole body vibration with different frequencies on blood lactate during recovery phase after exhaustive exercise.
- Rittweger, J., Beller, G., & Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical physiology (Oxford, England)*, 20(2), 134–142. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2000.00238.x>
- Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Med.* 2010;40(12):1037-1053.