

# 高強度阻力運動負荷對肌肉無氧代謝與力量輸出之急性適應反應

陳宏溢 張嘉澤 陳品言

## 摘要

競技運動員參與競賽頻率越來越多，一般人參與長距離路跑與鐵人三項運動也不斷在增加。因此，本研究目的旨在探討高負荷阻力運動對短暫間歇後之急性適應反應。方法：研究受試者為 6 名健康成人 ( $31\pm 3$  歲、 $170\pm 1$  cm、 $68\pm 6$  kg)。研究測試採用腳踏車測功儀 Wingate Typ 進行，測試進行分為兩個階段，兩次之間間歇 1 小時。運動負荷頻率為 3 次 8 秒 ( $3\times 8s$ )，每次間歇 90s，腳踏車轉速定為 120-130 RPM。結果：結果分析顯示腳踏車測功儀運動負荷第一階段 (Test-1) 最大輸出功率 (Peak power, PP) 為  $705\pm 9.34$  Watt，間歇 1 h 後第二階段 (Test-2) 平均值則為  $697\pm 1.85$  Watt，兩次平均值差異 -8 Watt。兩次測試恢復期血液乳酸堆積濃度分析顯示，在 Test-1 測試恢復期第一分鐘 (E1) 平均值為  $8.23\pm 0.5$  mmol/l，在 Test-2 則為  $8.13\pm 2.2$  mmol/l，兩次平均值差異 -0.1 mmol/l。恢復期第 5 分鐘 (E5) 乳酸濃度在 Pre 與 Post 分別為  $10.72\pm 1.7$  mmol/l、 $10.37\pm 1.2$  mmol/l，兩次差異 -0.35 mmol/l。結論：研究數據分析發現，在間歇 1 小時後運動測試呈現低乳酸堆積反應，而最大輸出功率也呈現些微的下降，但是輕微的減少功率輸出並未影響受試者的運動能力。此現象顯示在第一階段的高乳酸堆積濃度，誘發細胞與細胞的穿梭。而產生肌肉細胞分子的急性調節反應。

## 問題背景

### 無氧代謝

近代競技運動員必須面對更高的比賽要求，與必需具備高競技比賽的急性適應能力。才能應付目前高頻率的比賽制度與高節奏的規則。因此，各種不同運動方式與組合因應而生。其中高強度間歇訓練 (High-intensity Interval Training, HIIT) 方式是目前運動員在訓練上最重要的方式之一。相關 HIIT 的研究發表也在 1998 年開始急速的上昇 (Sperlich 2019)。HIIT 主要特徵是在短時間內可以誘發肌肉細胞分子無氧機制，與增加左心室壓縮力量，提升血液輸出速度，降低運動過程的肌肉缺氧反應 (張嘉澤 2008)。目前運動員另一壓力來自面臨高節奏的比賽，與競賽過程中的間歇時間越來越短，因此運動員的恢復 (Recovery) 與再生 (Regeneration) 的能力必需更快，才能符合目前的競賽要求。因此，優化恢復 (Recovery) 與快速再生 (Regeneration) 是未來提高運動表現

(Performance) 的關鍵。如何確定運動員已具備 Recovery 與 Reperation 的能力？是目前眾多教練與科學家致力的方向。因而，恢復診斷 (Recovery diagnostics) 的研究與執行因應而生。在過去的診斷有最大攝氧量 ( $VO_{2max}$ ) 與閾值耐力方式，這兩項測試主要是對運動員的基礎耐力進行分析。其他的診斷在下肢力量則有 CMJ (Counter Movement Jump) DJ (Drop Jump) 與 SJ (Squat Jump)，在肌肉伸縮循環 (SSC) 的測試則有 20 m 與 30 m 最大速度的衝刺。上述對運動員的競技能力診斷，皆必需具備：客觀性、可靠性、有效性 (Stegmann et al., 1981)。過去針對運動後的恢復機制觀察，直接快速為心跳率觀察。例如, Böhmer et al., (1975) 提出的恢復期第 5 分鐘 (E5) 心跳率  $< 120 \text{ min}^{-1}$  作為體循環功能恢復速度的分析。Neumann (1990) 則提出心臟對運動強度的適應時間，相同強度下心跳率在第 2 天即產生適應 (低於第一天)。近代研究發現在急性的低量 Wingate-base HIT 運動後，肌肉細胞內的分子 PGC-1 $\alpha$  mRNA 在 3 小時內增加 (Gibala et al. 2009; Little et al. 2011b) PGC-1 $\alpha$  是一種誘發多種細胞能量代謝和核激素受體的重要因子，對運動過程肌肉能量代謝路徑 (有氧-無氧) 與再生扮演重要角色。在無氧代謝路徑因 PGC-1 $\alpha$  的協調，進而改變了組合物中的乳酸脫氫酶 (LDH)，防止在運動過程中血乳酸增加。PGC-1 $\alpha$  積極協調乳酸恆定和傳導肌肉適應的訓練，最終提高運動能力。並改善新陳代謝，提供健康一個獨特的分子。過去研究分析在短時間的衝刺運動負荷，可以誘發肌肉細胞 PGC-1 $\alpha$ ，特別是在運動後 3 小時顯現 (Gibala et al., 2008)。HIT 增加→活化 AMPK、p38MAPK→PGC-1 $\alpha$  增加→粒線體基因的轉錄→粒線體蛋白的累積→推動粒線體生物合成。綜合上述文獻顯示，HIT 運動負荷可以提高肌肉細胞分子的再生與運動過程降低血液乳酸的堆積。但是，肌肉在最大無氧負荷刺激後，需要多少時間才能恢復？目前尚未有明確的研究發現。因此本研究應用短時間高負荷運動 (HIT) 型態探討肌肉無氧代謝與再生機制之效果。

## 方法

本研究受試者為共 6 名健康成人 (4 男 2 女)，受試者資料分別為  $31\pm 3$  歲、 $170\pm 1$  cm、 $68\pm 6$  kg。研究測試採用 Wingate Typ 方式進行，運動頻率為 3 次 8 秒 (3x8s)，腳踏車測功儀踩踏轉速為 120-130 RPM，每次間歇 90 s。共進行兩次 (3x8s)，兩次之間間隔 1 小時 (1 h)。研究數據記錄包含最大輸出功率 (Peak power) 與血液乳酸 (La)。數據採用 t-Test 進行分析。

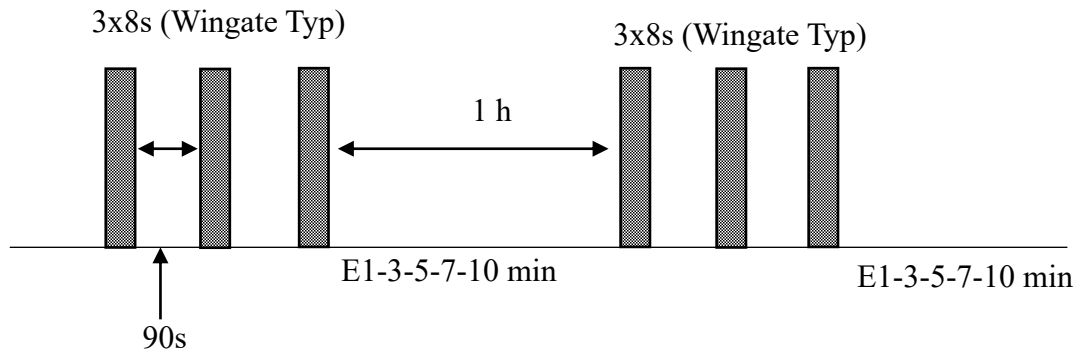


圖-1: 研究測試執行程序與參數記錄時間

### 結果分析與討論

結果分析顯示腳踏車測功儀運動負荷第一階段 (Test-1) 最大輸出功率 (Peak power, PP) 為  $705 \pm 9.34$  Watt，間歇 1 h 後第二階段 (Test-2) 平均值則為  $697 \pm 1.85$  Watt，兩次平均值差異 -8 Watt (圖-2)。

兩次測試恢復期血液乳酸堆積濃度分析顯示，在 Test-1 測試恢復期第一分鐘 (E1) 平均值為  $8.23 \pm 0.5$  mmol/l，在 Test-2 則為  $8.13 \pm 2.2$  mmol/l，兩次平均值差異 -0.1 mmol/l。恢復期第 5 分鐘 (E5) 乳酸濃度在 Pre 與 Post 分別為  $10.72 \pm 1.7$  mmol/l、 $10.37 \pm 1.2$  mmol/l，兩次差異 -0.35 mmol/l (圖-3)。

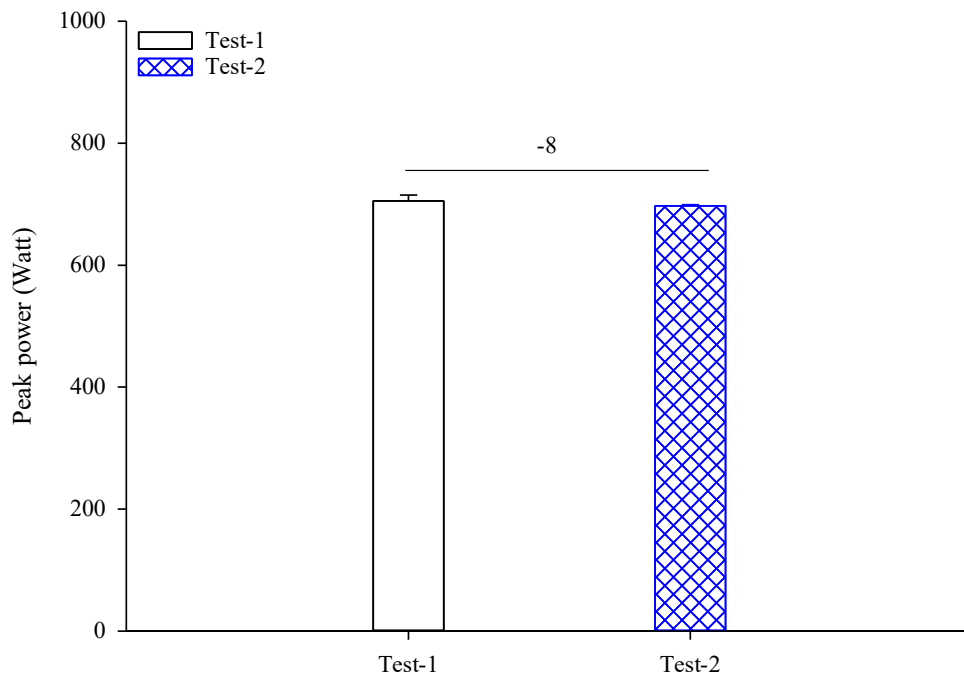


圖-2: 兩次腳踏車測功儀測試最大功率 (PP) 輸出分析

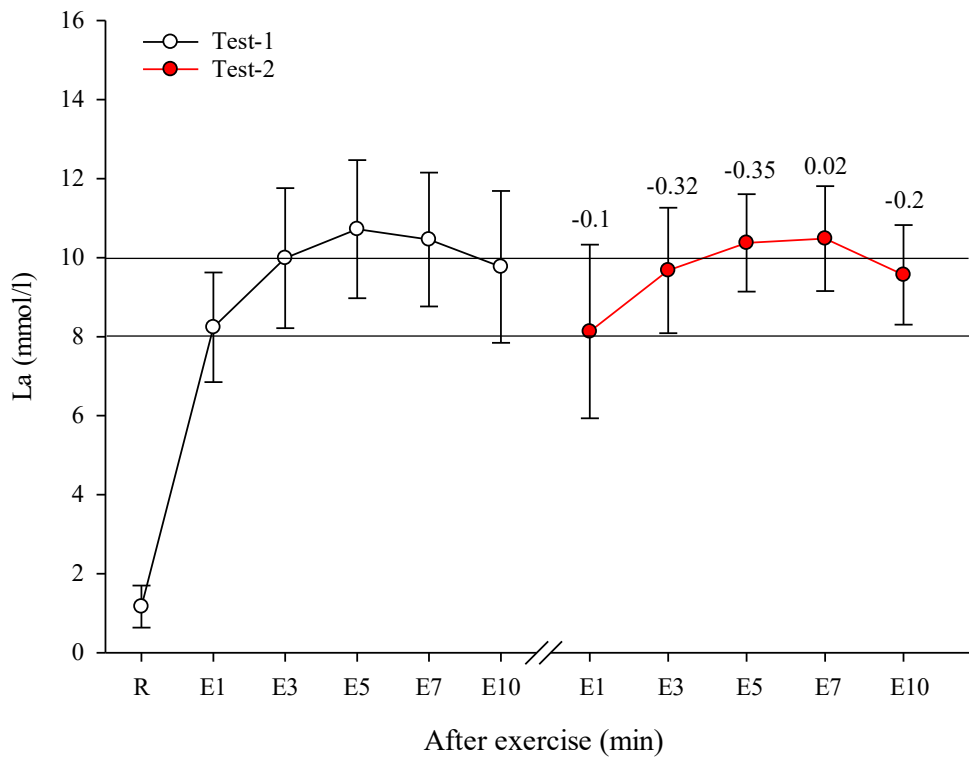


圖-3: 兩次腳踏車測功儀測試恢復期乳酸堆積濃度分析

## 結論

研究數據分析發現，在間歇 1 小時後運動測試呈現低乳酸堆積反應，而最大輸出功率也呈現些微的下降，但是輕微的減少功率輸出並未影響受試者的運動能力。此現象顯示在第一階段的高乳酸堆積濃度，誘發細胞與細胞的穿梭。而產生肌肉細胞分子的急性調節反應。

## 文獻

Bergman, B.C., Wolfel, E.E., Butterfield, G.E., Lopaschuk, G.D., Casazza, G.A., Horning, M.A., and Brooks, G.A. (1999b). Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *J. Appl. Physiol.* 87, 1684–1696

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

Brooks GA, Jose A. Arevalo, Adam D. Osmond, Robert G. Leija, Casey C. Curl and Ashley P. Tovar (2022). Lactate in contemporary biology: a phoenix risen. *J Physiol* 600.5 .pp 1229–1251

George A Brooks (1984). Lactate: Glycolytic End Product and Oxidative Substrate During Sustained Exercise in Mammals — The “Lactate Shuttle”.

Jones R (2009) An Acetylcholine Receptor Keeps Muscles in Balance. *PLoS Biol* 7(12).

Neumann, G. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. In: *Das gross Buch vom Laufen*. Meyer & Meyer Verlag. 222-223

Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A: Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 2 (1981) 160-165.