

有氧-無氧閾值耐力對急性高強度負荷心跳率與肌肉無氧糖酵解代謝之影響

黃俊霖 陳佳慧 張嘉澤

國立體育大學競技與教練科學研究所

壹、緒論

有氧-無氧閾值為 Mader 等人於 1976 年提出的理論。當乳酸值在 2mmol/L 時為有氧閾值，其能量以脂肪為主要代謝產物。而當乳酸值為 4mmol/L 時，乳酸堆積的速度開始不成比例的增加，此時的強度稱為無氧閾值，其能量來源則以碳水化合物為主。透過乳酸軟體的分析，有氧-無氧閾值可以做為評估運動員基礎耐力與訓練負荷的依據。

有氧閾值代表運動員在運動中與運動後的恢復能力。透過耐力訓練可以提昇運動員供氧系統的能力，改善心肺適能、增加每跳輸出量與紅血球數量，以及降低安靜時的血壓(Jackson, Beard, and Wier, 1995)。在能量代謝路徑上，有氧閾值反應了粒線體接受丙酮酸進入克勞伯循環的能力，因而提高碳水化合物的使用率，減緩糖類在高強度負荷下的耗盡，減少運動當中乳酸的堆積。因此，好的有氧閾值能力也間接地提昇無氧能力。

在激烈的運動負荷下，ATP-PCr 的能量供應只能維持約 10 秒左右。若持續高強度的運動，則能量的供給必須大量依賴無氧糖酵解的路徑，因此產生高的乳酸堆積。運動員的無氧閾值能力愈好，在高強度負荷下產生的乳酸較低，愈能維持肌肉力量輸出的品質。因此，無氧閾值佳的選手較能夠在高負荷下維持動作的穩定與抵抗肌肉疲勞的發生。Hollmann 等人 (1987) 指出競技運動員的有氧閾值不得小於 100watt，無氧閾值不得小於 130watt。雖然不同運動有其所需的專項能力，但有氧-無氧閾值能力對競技運動員來說是相當重要的。在急性高強度的負荷刺激下，生理平衡受到嚴重干擾。為應付內在與外在環境所需，身體各部位將加速調節，劇烈的生理症狀反應隨之而生，其中心跳率是反應最快與最直接的生理參數。在運動負荷中，心跳率隨強度的增加而上升，直到接近個人最大心跳率為止。當最大負荷結束後，第 5 分鐘之心跳率可做為恢復速度的判斷 (Böhmer et al., 1975)。以運動員來說，最大負荷後第 5 分鐘之心跳率低於 100 min⁻¹ 代表具有高競技能力。

劇烈運動下，因為乳酸的大量生成，伴隨著氫離子濃度的上升，將造成體內 PH 值的下降，產生酸化現象。這些能量代謝的中間產物會干擾肌肉的快速收縮、影響神經傳導的速度與阻礙能源的使用，因而造成疲勞現象的發生。Mader (1994) 以急性負荷下的最大乳酸值與負荷時間為參數來計算最大乳酸形成率，作為判別無氧糖酵解的使用效率。最佳的最高乳酸形成率必須小於 0.5mmol/L·s。

貳、研究方法

本實驗研究對象為 3 名有運動習慣的健康男性，平均身高為 176 ±5.77 公分，體重 69±9 公斤，年齡為 25±3.78 歲。

本研究是依據 Mader 等人 (1976) 的有氧-無氧閾值診斷方式以室內腳踏車進行，一直至受試者 all-out 為止，並於過程中記錄心跳率及乳酸。休息 2 天後，受試者以最大努力進行一次 300 公尺速度跑，並於結束後記錄心跳率及乳酸。

參、結果分析與討論

表-1 為受試者基本耐力與最大急性負荷數據分析。結果顯示 300m 最大負荷測試，速度介於 6.0-6.91m/s 之間。其個人無氧閾值 (4mmol/l) 負荷，則介於 134-231Watt。兩者未呈現相關 ($r^2=0.19$)。個人最高速度與無氧閾值耐力分別為 6.91m/s 與 231W。如圖-1 所示。過去研究 (Mader et al. 1991) 指出，個人無氧閾值耐力影響肌肉無氧糖酵解活性，其機制反應主要在於最大乳酸穩定負荷 (LamaxSS)。在本研究此能力 (4mmol/l 閾值) 並未呈現。可能的原因在於受試者的肌肉收縮速度不足與有氧-無氧閾值能力不穩定，使得基礎耐力沒有辦法反應到急性的最大負荷上，造成 300m 的速度無法提升。在最大乳酸形成率方面，三位受試者皆小於 0.5mmol/L·s，表示無氧糖酵解的使用效率有達到標準 (Mader, 1994)。

在有氧閾值與恢復心跳率方面 (如圖-2)，個人有氧閾值介於 103-152Watt，E5 心跳率介於 123-139 min⁻¹，兩者呈現高度正相關 ($r^2=0.57$)，與過去理論『有氧閾值能力越好越可加速生物參數恢復』不符 (Hollmann et al., 1987)，推測可能原因在於受試者對於急性最大負荷後 CO₂ 的調節能力不足，以至於其有氧閾值能力不穩定。

表-1：受試者基本耐力與最大急性負荷後數據

Nr	2mmol/L Watt	4mmol/L Watt	300m (m/s)	最大乳酸形成率 (mmol/L·s)	300m HR(E5)
1	103	134	6.8	0.36	123
2	104	161	6	0.30	134
3	152	231	6.91	0.48	139

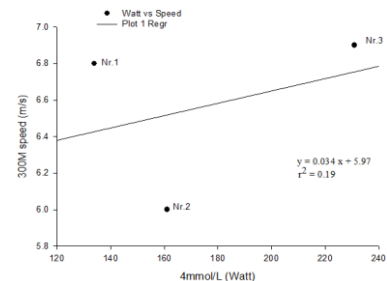


圖-1：無氧閾值 (4 mmol/l) 能力與 300m 速度之關係

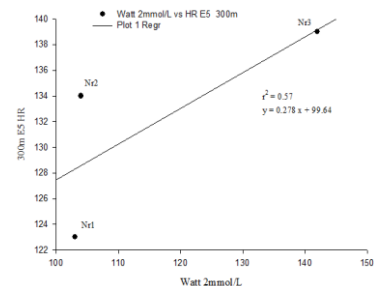


圖-2：有氧閾值 (2 mmol/l) 能力與 300m E5 恢復心跳率之關係

肆、結論

研究結果分析顯示個人有氧-無氧閾值耐力，對急性負荷肌肉能量代謝與體循環之心跳率並未產生比較大之影響。但是無氧閾值耐力佳者，其急性負荷能力亦呈現比較好的反應。因此建議當個人有氧-無氧閾值能力達穩定狀態時再進行高強度無氧糖酵解訓練，方能有效之訓練效果與恢復機轉。

伍、文獻

- Böhmer et al., (1975). Das sportmedizinische Untersuchungssystem. Leitungssport
- Hollmann. (1987). Kardiopulmonale Reaktion und aerobanaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen Dtsch. Z. Sportmed. 38(4), 144-156.
- H., J. A. M. C. (2000). The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness Sports Medicine, 29(6), 373-386.
- Mader, A. et al., (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt und Sportmedizin 27(4), 80-88.
- Mader, A., Heck, H. (1991). Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis der Humanleistungsphysiologie. Spectrum der wissenschaften 3, 5-54