



無氧閾值速度對徑賽中長距離選手乳酸曲線與高速度無氧負荷之影響

蕭婉柔¹ 王月琪² 張嘉澤²

¹國立體育大學 競技與教練科學研究所 ²台灣運動能力診斷與訓練調整中心

摘要

目的：本研究旨在探討專項競技運動員無氧閾值 4mmol/l 速度對肌肉無氧糖酵解反應機制與乳酸曲線之影響。**方法：**受試者為 9 位徑賽中長距離男性選手。平均年齡 15.9 ± 0.3 歲，身高與體重 168.5 ± 6.4 cm、 58 ± 6.6 kg，訓練年數 3.5 ± 0.5 年。研究分為無氧閾值與肌肉最大無氧糖酵解測試兩項。無氧閾值測試採用階梯式負荷上昇模式進行。每階間歇 30s 進行採集血液 (10 μ l) 與紀錄心跳率。個人肌肉最大無氧糖酵解以單次 600m 最大速度跑為測試方式，測試前進行安靜值血液乳酸分析採集 (10 μ l) 每位受試者必須以個人最大速度完成 600m，數據紀錄速度與恢復期血液採集 (E1-3-5-7-10-15 min)。所有數據以平均值標準差呈現，並以 95%信賴區間分析。**結果：**無氧閾值速度平均為 3.6 ± 0.3 m/s，600m 速度平均值為 6.3 ± 0.4 m/s。恢復期第一分鐘(E1)與第十五分鐘 (E15) 乳酸堆積平均值差異 $+7.7$ mmol/l ($p < 0.05$)。最大乳酸堆積濃度與 600m 速度呈現正相關 ($r^2 = 0.4$, $p < 0.05$)，無氧閾值速度與 600 m 速度，兩項運動能力達顯著相關 ($r^2 = 0.4$, $p < 0.05$)。**結論：**無氧閾值耐力佳者，其 600m 亦呈現較快速度。恢復期乳酸曲線分析，顯示無氧閾值耐力亦影響肌肉無氧路徑能量提供。

壹、問題背景

中長距離跑，是需要耐力表現的田徑項目，要求運動員在全程跑中維持一定的跑速，盡可能減少體力的消耗。有許多研究報告 (馮煒權、翁慶章, 1990； Biilat, 1996； Madsen & Lohberg, 1987； Yoshida, Suda & Takeuch, 1982) 指出無氧閾值(Anaerobic threshold)與耐力運動表現有非常高的相關性。過去研究 (Neumann, 1991； Weinecker, 1993； Heck, 1990 等) 指出：中長跑的能量來源，以無氧糖酵解為主。糖酵解的路徑由葡萄糖分解成丙酮酸時，只會在無氧狀況下分解成乳酸。在劇烈運動負荷下，乳酸大量生成，伴隨著氫離子濃度的上昇，血液中的 pH 值將下降，而產生酸化現象 (Sahlin et al., 1976)，磷酸果糖激(PFK)活性也將受到抑制。





這些能量代謝的中間產物會干擾神經的傳導、肌肉收縮和肌肉能源，導致疲勞產生(Karlsson et al.,1975)。此時運動員想維持速度耐力相對也很困難。因此，要維持與延長高速運動的時間，其肌肉能量提供必須具備有高度的 PFK 酵素活性，以提昇無氧糖酵解效率(葉明春、張嘉澤等人)。

乳酸的上昇間接影響選手運動表現，而無氧閾值能力愈好，在高強度負荷下，乳酸濃度愈低，能夠維持肌肉的力量輸出品質。楊孟龍等人(2008)研究結果指出，無氧耐力能力越好，在高強度負荷中產生乳酸就越低。Hollmann 等人(1987)指出競技運動員有無氧閾值最低標準為 3.5 m/s。依據不同的運動項目有其專項能力，但良好基礎耐力是每個競技運動員所必備的。

Neumann et al. (2001) 依據 400m 跑者比賽結束後的乳酸排除速度判斷選手對於乳酸代謝的能力，並指出最佳乳酸曲線分析是依據運動後結束第 1min 是否達最高值，而最高乳酸值能夠延後出現較佳。

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。最佳的最大乳酸形成率必須小於 0.5mmol/l · s。Ring and Mader (1997) 以最大乳酸堆積速度(m/s)可計算出最大無氧糖酵解之效率。有研究顯示，無氧閾值與耐力能力具有高度相關(Liesen et al.,1981)。Power & Howley 於 2002 年指出，無氧閾值不但可以因訓練而提昇，以無氧閾值的強度，作為耐力型運動的負荷基準相當有效。

貳、方法

一、對象

研究受試者為 9 位徑賽中長距離男性選手，資料如表-1。

表-1 受試者基本資料 (N=9)				
	年齡 (歲)	身高 (cm)	體重 (kg)	訓練年數 (年)
M±SD	15.88 ± 0.3	168.5 ± 6.4	58 ± 6.6	3.5 ± 0.5

二、方法

研究分為無氧閾值與肌肉最大無氧糖酵解測試兩項。無氧閾值測試採用 Mader et al. (1976)階梯式負荷上昇模式進行，開始速度為 2.5 m/s，每階持續時間 5 分鐘，每階速度上昇 0.5 m/s，每階間歇 30s 進行採集血液 (10μl) 與紀錄心跳率。每階數據 (La，HR)再以 Lactate Express 2.5 軟體進行 4 mmol/l 閾值速度分析。個人肌肉最大無氧糖酵解以單次 600m 最大速度跑為測試





方式，測試前進行安靜值血液乳酸分析採集 (10 μ l)。測試進行依據受試者個人 100 m 速度分為 3 組，每位受試者必須以個人最大速度完成 600m，數據紀錄速度與恢復期血液採集 (E1-3-5-7-10-15 min)。

所有數據以平均值標準差呈現，並以 95%信賴區間分析。

參、結果分析

無氧閾值速度平均為 3.6 ± 0.3 m/s，600m 最高速度平均值為 6.3 ± 0.4 m/s，個人最大與最小速度分別為 6.52 與 5.58m/s。600m 最大速度衝刺結束，恢復期第一分鐘 (E1) 乳酸平均值為 9.42 ± 1.77 mmol/l，最高乳酸曲線於 E10 呈現 (17.4 ± 2.2 mmol/l)，E15 平均為 16.5 ± 2.26 mmol/l。E1 與 E10 乳酸堆積平均值差異 $+7.97$ mmol/l ($p < 0.05$)。恢復期 10 分鐘內，每分鐘上昇 0.797 mmol/l。如圖-1 所示。

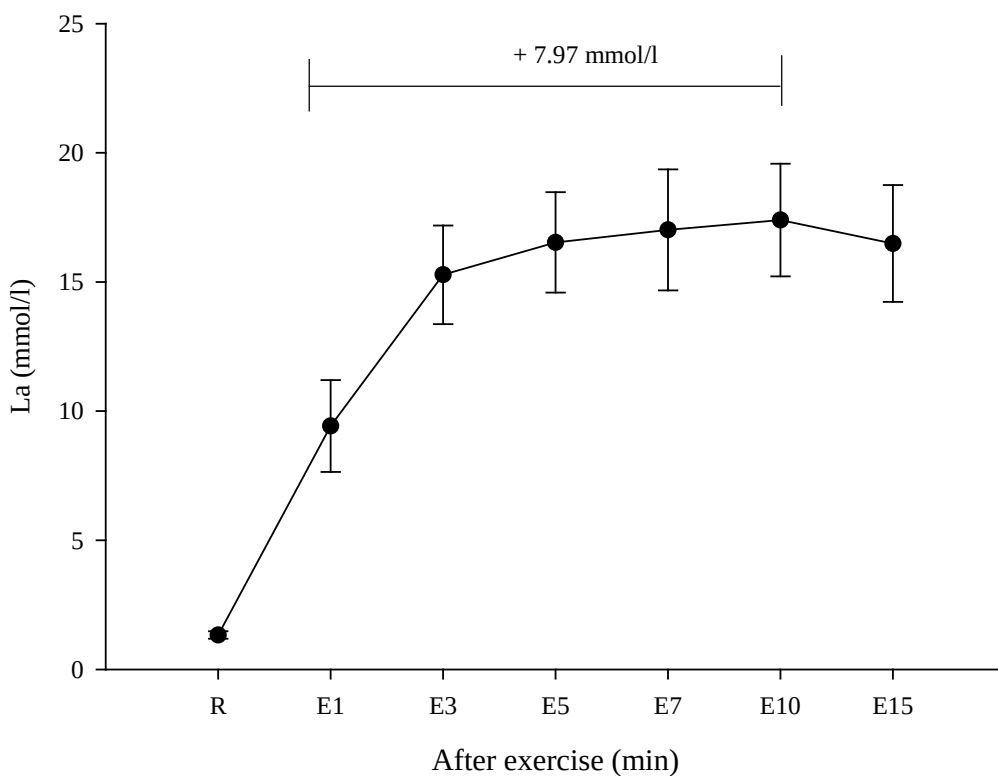


圖-1：恢復期血液乳酸曲線分析



圖-2 為最大乳酸堆積與 600m 速度分析。個人 600m 速度 6.75m/s，其 95%信賴區內之最大乳酸堆積濃度在 16.2-21 mmol/l 之間。速度在 6.1 m/s，血液乳酸堆積濃度則介於 15.1 – 18.5 mmol/l 之間，兩項運動能力達顯著相關 ($r^2=0.4$, $p<0.05$)。

個人 4mmol/l 速度於 3.2m/s，其 95%信賴區內之 600m 速度在 5.2 至 6.4m/s 之間。V4 閾值達 3.9 m/s 時，其 600m 速度則介於 6.2 - 6.8 m/s 之間。兩項運動能力達顯著相關 ($r^2=0.4$, $p<0.05$)。如圖-3 所示。

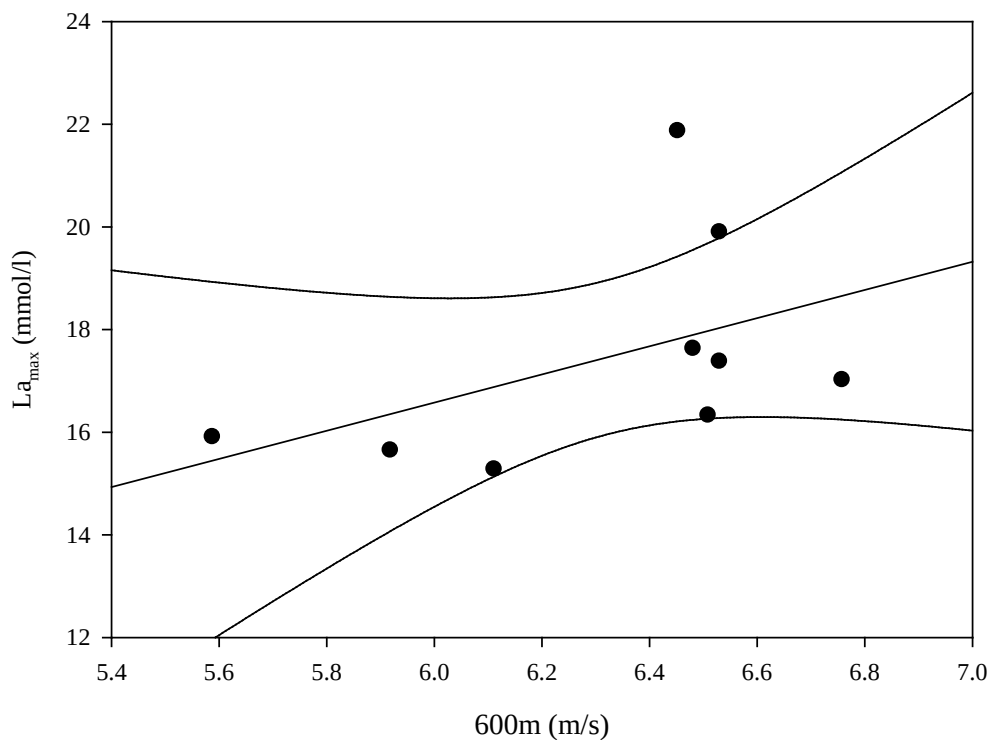


圖-2：600m 最大速度與最大乳酸堆積濃度分析



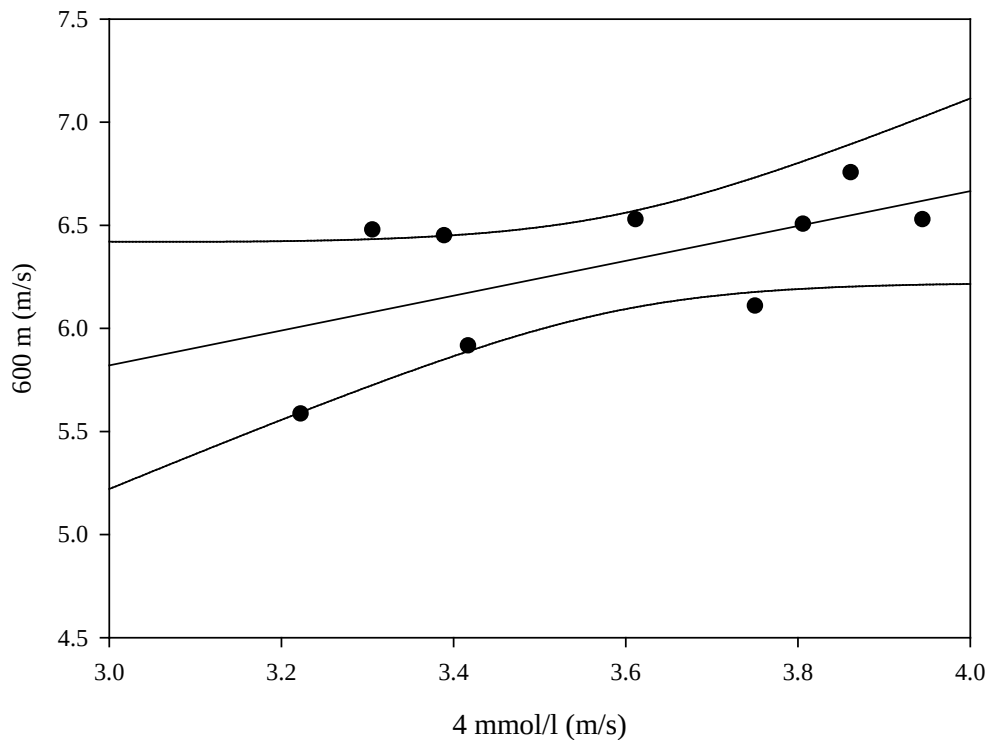


圖-3：無氧閾值速度 (4 mmol/l)與 600m 速度分析

肆、討論與結論

一、討論

結果分析顯示受試者無氧閾值速度大於標準值，Hollmann 等人 (1987) 指出競技運動員有無氧閾值速度必須達 3.5 m/s。依據無氧負荷乳酸上昇速度分析 (Mader & Heck 1991)，運動員必須 $< 0.4 \text{ mmol/l}\cdot\text{s}$ 。從結果分析乳酸曲線顯示，在恢復期 E1 至最高乳酸濃度顯現，共 10 分鐘乳酸堆積平均值達 $+7.97 \text{ mmol/l}$ (圖-1)。其乳酸上昇速度為 $0.18 \text{ mmol/l}\cdot\text{s}$ ，此結果顯示受試者無氧閾值耐力速度佳，因此在高負荷肌肉無氧能量路徑產生高效率的糖酵解，因此血液乳酸濃度上昇速度產生趨緩現象。從圖-2 與圖-3 分析顯示在高無氧閾值速度下，其 600m 速度亦呈現較快現象。而另一現象則在無氧閾值能力影響個人最大乳酸堆積。Mader (1994) 進行徑賽運動員無氧閾值診斷發現，個人無氧閾值速度高者，其專項成績亦呈現較佳成績。此主要機轉來自肌肉的無氧糖酵解效率提昇所致。

二、結論





無氧閾值耐力佳者，其 600m 亦呈現較快速度。恢復期乳酸曲線分析，顯示無氧閾值耐力亦影響肌肉無氧路徑能量提供。徑賽項目選手亦提昇個人專項成績，建議先改善個人無氧閾值能力，才能克服肌肉快速收縮無氧症狀的反應。

伍、參考文獻

- 馮煒權、翁慶章(民 79)。血乳酸與運動訓練－應用手冊。北京：人民體育出版社。
- Billat, L. V. (1996). Use of blood lactate measurements for Prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Medicine*, 22, 157-175.
- Liesen, H. und Hollmann, W. (1981). *Ausdauersport und Stoffwechsel*. Schorndorf.
- 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 Sportwissenschaften* 3: 5-54.
- Mader A. (1994). Die Komponenten der Stoffwechselleistung in den leichtathletischen Ausdauerdisziplinen – Bedeutung für die Wettkamplleistung und Möglichkeiten zu ihrer Bestimmung. In: Tschiene P (Hrg). *Neue Tendenzen im Ausdauersport*. Bundesausschuß Leistungssport, 1994; 127-220
- Madsen, O., & Lohberg, M. (1987). The lowdown on lactates. *Swimming Technique*. 21-26.
- Neumann, G. (1991) Zur Leistungsstruktur der kurz- und Mitteleistungs-Sportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport* 21, 29.
- Neumann, G.; Ptützner, A.; Hottentott, K. (1993): *Alles unter Kontrolle*. 1 Auflage. Aachen: Meyer & Meyer.
- Power, S. K., & Howley, E. (2002). 運動生理學：體適能與運動表現的理論運用 (林貴福，徐台閔 & 吳慧君，Trans. 林正榮總校閱 ed.)。台北市：麥格羅希爾國際股份有限公司
- Weinecker, H.; Strobel, G. (1993). *Sportmedizin : Biochemisch-Physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung*.
- Yoshida, T., Suda, Y., & Takeuchi, N. (1982). Endurance training regimen based upon arterial lactate. Effects on anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49, 223-230.



