

乳酸閾值(LT)與血液乳酸堆積開始點(OBLA)的 生理反應及自覺強度

陳相榮

摘 要

本研究主要目的在比較耐力運動員乳酸閾值(LT)與血液乳酸堆積開始點(OBLA)的生理反應及自覺運動強度。六名受測者平均年齡為 19.83 ± 2.13 歲，身高 175.16 ± 3.43 公分，體重 63.33 ± 2.65 公斤。在跑步機上進行持續水平跑步漸增負荷測驗，並以Gould 2900系統測量耗氧量、換氣量、心跳率及呼吸交換率。測驗過程中，每隔三分鐘測量自覺運動強度並自前臂正中靜脈採血分析乳酸濃度。結果獲得下列結論：
(一)乳酸閾值(LT)在跑速、最高速度百分比、耗氧量、最大耗氧量百分比、心跳率、最高心跳率百分比、換氣量及最大換氣量百分比方面都比乳酸堆積開始點(OBLA)低。
(二)乳酸閾值(LT)的自覺運動強度低於乳酸堆積開始點(OBLA)。

壹、前 言

傳統上最大耗氧量($VO_2\max$)一直被視為運動訓練的心肺適應效標[Taylor et al., 1955]或耐力運動的重要決定因素[DeVries, 1986]，而最大耗氧量百分比($\%VO_2\max$)亦常被當作運動強度的標準[ACSM, 1991]。自從無氧閾值的觀念[Wasserman et al., 1973]提出後，由於實驗證明無氧閾值與骨骼肌的氧化能力以及慢縮肌纖維百分比、肌肉微血管密度具有密切相關[Ivy et al., 1980; Sjodim & Jacobs, 1981]，故已廣被接受為心肺適能的有效而重要指標。無氧閾值可藉由非侵害性(noninvasive)和侵害性(invasive)方法測量。前者主要以換氣反應決定；後者則以乳酸反應為依據。就乳酸偵測方式中，最常使用的是 4mM 無氧閾值——即OBLA [Karlson & Jacobs, 1982]和乳酸閾值(LT)[Weltman, 1989]。二者在許多場合往往被混淆使用，視之為血液乳酸開始增加的運動強度。

本研究主要目的在比較耐力運動員乳酸閾值(LT)與血液乳酸堆積開始點(OBLA)的跑速、耗氧量、心跳率、換氣量以及自覺運動強度。

研究範圍以六名自願參加實驗的國立臺灣體專耐力選手，在跑步機上進行水平跑步最大負荷測驗所測的生理值及自覺反應為限。

貳、研究方法與步驟

本研究以六名國立臺灣體專長跑運動員為受測對象，平均年齡為 19.83 ± 2.13 歲，身高 175.16 ± 3.43 公分，體重 63.33 ± 2.65 公斤，最大耗氧量分別是 4.18 ± 0.48 公升/分及 65.96 ± 6.08 毫升/公斤/分。

最大耗氧量的測量採用持續性水平跑步方式[Weltman et al., 1990]。每個階段為3分鐘，開始的跑步機速度為150公尺/分，以後每個階段增快10公尺/分。跑步機坡度在整個測驗過程中固定不變。為使受測者達到最高能力(functional capacity)，在測驗中給受測者鼓勵打氣，直到衰竭為止。最大耗氧量是否達到，主要以下列各點作為判定參考〔林正常，1989〕(一)耗氧量呈水平狀態($<150\text{ml}/\text{min}$ 或 $2.1\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$) (二)受測者主觀的被勞、衰竭、無法繼續運動測驗(三)呼吸交換率在1.0或1.10以上(四)自覺運動強度量到達19或20。

心跳率測量採用日製FME cardisuny 501D心電圖儀。先以酒精擦拭受測者胸部誘導電極粘貼位置，使用 CM_5 法把負極貼在胸骨柄上端，正極貼在左側第五肋骨和鎖骨正中央下垂交點，地線貼在右側與正極相對位置，再將電極導線接在心電圖儀。測得之心電圖以標準量尺(M.E. Cardi Scale)換算心跳率。測驗過程中，記錄每分鐘最後5秒心電圖，直到衰竭為止。

採氣及分析採用Gould 2900心肺功能測量系統。受測者帶上口罩及鼻夾，呼出氣體經由蛇管連接測量系統。整個測驗過程中，每隔20秒即自自動分析及記錄數據一次，分析項目包含 VO_2 、 VCO_2 、 VE 、 R 、 VE/O_2 等，所有測驗數據均顯示於電腦畫面上。

每個階段最後10秒，以Borg 6-20點的RPE量表詢問受測者，藉以瞭解自覺運動強度。“6”代表最輕鬆的感覺，“20”則表示最吃力的感覺。

採血方式是在運動測驗前先把靜脈留置針插入受測者前臂正中靜脈，並接上一條點滴輸送管。待抽出3ml血液後，打入約2ml肝制凝素鹽液以防止血液凝固，然後鎖緊點滴控制器，再以橡膠軟塞堵住輸送管入口端。每個階段末尾抽血時，先以5ml針管抽出輸送管內的肝制凝素鹽液，復以5ml新針管抽血，同樣再打入肝制凝素鹽液。每次抽出的血液立即注入含有抗凝血劑之真空試管中。

血液樣本隨即使用YSI Model 23L自動乳酸分析儀進行分析乳酸濃度。

從受測者各階段運動測驗的乳酸對應速度關係做為基準，進而求出各乳酸濃度的生理值。乳酸閾值(LT)係以運動測驗時血液乳酸濃度開始升高超出安靜值的起點來認定[Yoshida, 1987]；OBLA則以血液乳酸達 4mM 做為標準[Sjodin & Jacobs, 1981]。

本研究所有資料經由SPSS/PC+分析處理，以重複量數t檢定法考驗LT和OBLa的各項生理及自覺反應值有無差異。顯著水準定為5%。

參、結 果

由表一可知六名耐力運動員乳酸閾值(LT)的跑步速度顯著低於4mM(OBLA)乳酸水準($P<0.01$)。在最高速度百分比方面亦復如是，即LT比OBLA低($P<0.01$)。

表一 LT與OBLA的運動速度及最高速度百分比平均值

	Speed (m/min)	% Speed max
LT	213.33 ± 19.66	74.81 ± 3.86
OBLA	260.00 ± 11.36	91.34 ± 2.94
t	-8.52**	-8.00**

** $P<.01$

* $P<.05$

由表二LT與OBLA的耗氧量(VO_2)或最大耗氧量百分比(% VO_2 max)，可知LT的對應值都比OBLA低($P<0.01$)。

表二 LT與OBLA的耗氧量及最大耗氧量百分比平均值

	VO_2 (ml/kg/min)	% VO_2 max
LT	52.64 ± 5.0	79.94 ± 6.64
OBLA	62.00 ± 5.0	94.06 ± 2.34
t	-6.45**	-6.92**

** $P<.01$

* $P<.05$

從表三可以發現，LT與OBLA的心跳率(HR)或最高心跳率百分比(%HR max)方面，LT的對應值均比OBLA低($P<0.01$)

表三 LT與OBLA的心跳率及最高心跳率百分比平均值

	HR (beats/min)	% HR max
LT	152.66 ± 6.62	83.24 ± 2.74
OBLA	171.83 ± 10.61	93.60 ± 2.15
t	-7.41**	-8.38**

** $P<0.01$

* $P<0.05$

由表四得知，LT與OBLA的換氣量(VE)或最大換氣量百分比(%VE max)方面，LT的對應值均比OBLA小($P<0.01$)。

表四 LT與OBLA的換氣量及最大換氣量百分比平均值

	VE (L/min)	% VE max
LT	86.16 ± 12.04	60.31 ± 8.8
OBLA	116.16 ± 6.76	81.31 ± 6.0
t	-6.44**	-6.38**

** $P<0.01$

* $P<0.05$

由表五可得知，LT的自覺運動強度(RPE)比OBLA的對應值低($P<0.01$)，亦即表示OBLA的強度較為劇烈。

表四 LT與OBLA的自覺強度平均值

	RPE
LT	11.5 ± 2.81
OBLA	15.0 ± 2.82
t	-4.87**

**P<.01

*P<.05

肆、討 論

本研究的各項生理反應值係根據受測者各階段的乳酸濃度與跑步速度間的曲線關係作為基準而求出。易言之，六名受測者的乳酸閾值(LT)的乳酸濃度平均為1.5mM，相對應跑步速度為213.3m/min；血液乳酸積聚開始點(OBLA)則以4mM乳酸濃度為準，相對應跑步速度為260m/min。由表一可知，OBLA的跑步速度顯著高於LT。在最高速度百分比方面，OBLA高達91.34%，LT只達74.81%，兩者有非常顯著的差異(P<0.01)。

如上所述，在不同的跑步速度及最高速度百分比之前提下，LT的最大耗氧量百分比為79.94%，OBLA則達94.06%，兩者間亦有顯著的差異。本研究受測者雖然都是耐力選手，如以OBLA的%VO₂max作為比較，似乎較高[Smith, 1982]。其原因可能與本研究使用的持續性水平跑步機Protocol有關係。Weltman等人[1990]的研究指出，此種Protocol測得的最大耗氧量比有坡度的Protocol測量值略低。由於最大耗氧值較低，從而各乳酸濃度的最大耗氧百分比亦相對提高。

其他生理反應值心跳率及換氣量方面，LT和OBLA之間如同耗氧量一樣，兩者均明顯差異存在(表三、表四)。事實上其原因不難理會，因為運動時心跳率的增加與運動負荷成線性增加[Astrand & Rodahl, 1986]，而運動時的換氣量的增加在OBLA到達前亦與耗氧量成比例增加[Noble, 1986]。由表三及表四可知，最高心跳率百分比方面，LT為83.24%，OBLA為93.6%，此值與最大耗氧百分比接近，尤其是OBLA對應值幾乎相同。惟在最大換氣量百分比方面，LT達60.31%，OBLA達81.31%，與最大耗氧量百分比(表二)差距較大。

自覺運動強度(RPE)方面，LT的對應值為11.5，屬於“輕鬆”，OBLA為15，已經到達“吃力”的強度，二者的差異達到顯著水準($P<.01$)。依據Demello等人[1987]的研究結果，有訓練及未訓練男女在中等至重度運動中，LT的自覺強度為13~14，屬於“有些吃力”，比本研究的11.5強度高。另外，筆者本人[1992]的另一研究發現，非耐力選手（短距離及投擲選手）OBLA的自覺強度為13.16，比本研究中的六名耐力選手所測強度值低，主要原因應是非耐力選手在OBLA的速度(183.16m/min)低於耐力選手(260m/min)所致。同理，本研究中LT的自覺強度之所以跟OBLA產生差異主要也是二者的速度不同（相差47m/min）的緣故。

伍、結 論

本研究以六名耐力運動員為受測者，比較乳酸閾值(LT)與血液乳酸堆積開始點(OBLA)的生理反應及自覺強度，結果經分析後得到以下結論：

- 一、乳酸閾值在跑速及最高速度百分比、耗氧量及最大耗氧百分比、心跳率及最高心跳率百分比、換氣量及最大換氣量百分比方面均比血液乳酸堆積開始點低。
- 二、乳酸閾值的自覺運動強度低於血液乳酸堆積開始點。

陸、參考文獻

- 林正常：運動生理學實驗指引，師大書苑有限公司，民國78年。
- 陳相榮：運動員在有氧至無氧轉移中固定乳酸濃度的生理反應與自覺強度之比較，國立臺灣體專學報第一期，民國81年。
- American College of Sports Medicine: Guidelines for exercises testing and prescription, 4th ed. Lea & Febiger, 1991.
- Astrand, P.O. and Rodahl, K.: Textbook of work physiology, 3rd ed. McGraw-Hill, 1986.
- Demello, J., Cureton, K. J., Boineau, R. E. and Singh, M. M.: Ratings of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and woman. Medicine and Science in Sports and Exercise, 19(4):354-362, 1987.
- Devries, H.A.: Physiology of exercise, 4th ed, Wm. C. Brown Publishers, 1986.
- Ivy, J.L., Withers, R.T., Van, Handel, P.J., Elger, D.H. and costills, D.L.: muscle respiratory capacity and fiber type as determinant of the lactate threshold. Journal of Applied Physiology, 48:523-527, 1980.

- Karloson, J. and Jacobs, I.: Onset of blood lactate accumulation during muscular exercises as a threshold concept. *International Journal of Sports Medicine*, 3:190-201, 1982.
- Noble, B. J.: *Physiology of exercise and sport*. Mosby College Publishing, 1986.
- Sjodin, B. and Jacobs, I.: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2:23-6, 1981.
- Smith, B. W.: Anaerobic threshold of trained swimmers. Unpublished Master's thesis. University of North Carolina, 1982.
- Taylor, H.L., Buskirk, E. R. and Henschel, A.: Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *Journal of Applied Physiology*, 8:73-80 1955.
- Waserman, K., Whipp, B. J., Sankar, N.K. and Beaver, W.L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercises. *Journal of Applied Physiology* 35(2):236-243, 1973.
- Weltman, A.: The lactate threshold and endurance performance. *Adv. Sports Med. Fitness*, 2:91-116, 1989.
- Weltman, A., Snead, D., Stein, P., Seip, R., Schurrer, Rutt, R. and Weltman, J.: Reliability and Validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and $\dot{V}O_2$ max. *International Journal of Sports Medicine*, 11 (1):26-32, 1990.
- Yoshida, T., Chida, M., Ichioka, M. and Suda, Y.: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, 56:7-11, 1987.