

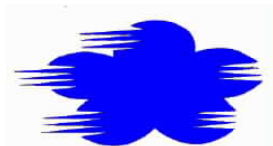
國立體育大學  
競技學院  
競技與教練科學研究所碩士論文

無氧閾值耐力對單次低氧不同負荷型態與血液乳酸  
及心跳率之效果

**The Influence on Anaerobic Threshold to Blood Lactate  
Accumulation and Heart Rate While Applying Hypoxic Training  
to Different Training Load**

指導教授：張嘉澤 博士  
研 究 生：吳聲賓 撰

中 華 民 國 104 年 1 月



國立體育大學  
National Taiwan Sport University

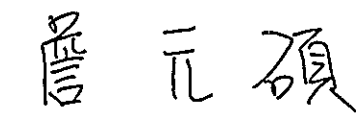
本論文：無氧閾值耐力對單次低氧不同負荷型態與血液乳酸及心跳率之效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生吳聲賓所提，  
作為審查授予體育學碩士學位之一部分。

本論文承蒙下列考試委員審查通過

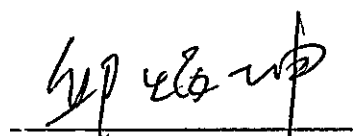
中華民國 103 年 6 月

論文考試委員



詹元碩 博士

國立臺北教育大學副教授



邱炳坤 博士

國立體育大學教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授  
(本論文指導教授)

# 無氧閾值耐力對單次低氧不同負荷型態與血液乳酸及心跳率之效果

## 摘要

近代競技運動訓練趨勢，越趨向於短週期與高負荷劑量模式。而造成改變以往長訓練週期的主因，在於運動醫學研究已發現人體在急性高負荷強度，所產生的體內調節機制與適應速度。因此本研究目的旨在探討單次低氧不同負荷型態對無氧閾值耐力改善與新陳代謝體循環負荷之影響。受試者為 7 名男性健康運動員，具備競技運動訓練 7 年以上時間。研究測試分為個人最大速度 10 槳划船測功儀、階梯式負荷上昇、低氧環境腳踏車與划船測功儀負荷等四項，每次測試間歇一天。結果顯示無氧閾值耐力增加 +5.5 Watt ( $p>0.05$ )，階梯式負荷 T-1 最大負荷平均值為 250Watt，T-2 則有 3 人達 280 Watt，其中一人達到 310 Watt。無氧閾值與低氧負荷呈現具備較佳的閾值耐力 (4 mmol/l) 者，其低氧負荷亦呈現較低乳酸堆積。恢復期最大乳酸堆積與排除速度，在低氧腳踏車與划船測試，均達顯著差異顯現 ( $p<0.05$ )。結論：研究結果顯示無氧閾值耐力能力對急性低氧負荷產生影響，因此建議欲進行低氧或急性負荷訓練，必須先改善提升個人 4 mmol/l 閾值耐力，才能達到較佳訓練效果。

**關鍵詞：**無氧閾值、低氧、乳酸

# The Influence on Anaerobic Threshold to Blood Lactate Accumulation and Heart Rate While Applying Hypoxic Training to Different Training Load

## Abstract

Modern sports training tends to high load with short-term training cycle. Sports Medicine Study found this kind of training model also affects the adjustment mechanism of human body.

This Study aims to discuss the effect on the improvement of Anaerobic threshold endurance and metabolism and circulation load while applying hypoxic training to different training Load.

Seven female and healthy players with at least 7 years sport training experience are invited to conduct the experiments: individual maximum speed in rowing 10 times rowing ergometer, stepwise increasing in load, hypoxia bike, and rowing ergometer load and each of them has one day interval.

The experimental results indicate that anaerobic threshold endurance increases +5.5 Watt ( $p>0.05$ ), the average of T-1 stepwise increasing in load is 250Watt, three players reach to 280 Watt in T-2 stepwise increasing in load while one of them reaches to 310 Watt.

The players who have better anaerobic threshold endurance (4 mmol/l) while applying hypoxic training present lower blood lactate accumulation. Both of them have good adjustment mechanism in metabolism and circulation while applying hypoxia bike and rowing ergometer load ( $p<0.05$ ).

Conclusion: applying hypoxic training improves anaerobic threshold endurance of players. When the players apply hypoxic training, their anaerobic threshold endurance should improve to 4 mmol/l for better training performance.

**Keywords: anaerobic threshold, hypoxic training, blood lactate accumulation**

## 謝 誌

此篇論文能順利完成，首先要感謝指導教授—張嘉澤博士的督促與指導，在研究過程中，不時關切進度並提供寶貴的知識，促使研究能如期完成，也從運動能力診斷團隊中，獲得正確且實用的觀念與知識，內心充滿無限感激。除學術研究外；嘉澤老師的處事態度、為人品格更是學生學習的標竿。

口試委員邱炳坤所長和詹元碩博士對論文撥允指導與批閱分析，使本論文更趨嚴謹；在此致上最誠摯的敬意與謝意。

在學期間非常感謝邱炳坤所長、湯文慈老師、張育愷老師、鄭世忠老師、詹貴惠老師等多位老師的細心指導使我奠定了專業的學理基礎，更讓我在運動科學訓練的觀念上提升不少；另外感謝實驗室德盛、敬衡學長，佳慧、月琪學姐的協助與關心以及同甘共苦的 SPDI 夥伴俊霖、松潛、青宏、智瑋、婉柔、婉禎的互相砥礪幫忙讓研究能夠順利的完成，謝謝你們！

最後，感謝我的家人、與學校師長，感謝你們在求學期間給予我精神上的支持與鼓勵，讓我能順利完成學業，謝謝你們。

# 目錄

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| 摘要 .....                       | I    |
| 英文摘要 .....                     | II   |
| 謝誌 .....                       | III  |
| 目錄 .....                       | IV   |
| 表目錄 .....                      | VII  |
| 圖目錄 .....                      | VII  |
| 中英文對照縮寫表 .....                 | VIII |
| 第壹章 緒論 .....                   | 1    |
| 第一節 研究背景 .....                 | 1    |
| 第二節 研究動機 .....                 | 4    |
| 第三節 研究目的 .....                 | 5    |
| 第貳章 文獻探討 .....                 | 6    |
| 第一節 無氧閾值 .....                 | 6    |
| 第二節 乳酸相關研究 .....               | 9    |
| 第三節 低氧訓練 .....                 | 12   |
| 第四節 運動自覺量表（RPE 量表） .....       | 15   |
| 第參章 研究方法與步驟 .....              | 17   |
| 第一節 研究對象 .....                 | 17   |
| 第二節 實驗時間與地點 .....              | 17   |
| 第三節 實驗儀器與設備 .....              | 17   |
| 第四節 實驗設計 .....                 | 18   |
| 第五節 資料處理與統計分析 .....            | 21   |
| 第肆章 結果分析與討論 .....              | 22   |
| 第一節 4 mmol/l 無氧閾值能力分析與討論 ..... | 23   |

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 第二節   | 無氧閾值耐力與階梯式負荷 .....         | 25 |
| 第三節   | 無氧閾值與低氧不同負荷最大乳酸四象限分析 ..... | 33 |
| 第四節   | 無氧閾值與恢復期乳酸排除分析.....        | 36 |
| 第伍章   | 結論.....                    | 39 |
| 參考文獻  | .....                      | 40 |
| 中文部份： | .....                      | 40 |
| 英文部分： | .....                      | 40 |



## 表目錄

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 表 2-1-1 無氧閾值理論 .....        | 7  |
| 表 2-3-1 低氧文獻整理 .....        | 13 |
| 表 2-4-1 RPE 運動量表 .....      | 15 |
| 表 3-4-1 腳踏車測功儀階梯式負荷模型 ..... | 19 |
| 表 4-1-1 無氧閾值瓦特與心跳率平均數 ..... | 23 |



# 圖目錄

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 圖 1-1-1 有氧-無氧乳酸曲線.....                 | 1  |
| 圖 2-1-1 能量代謝與運動持續時間.....               | 6  |
| 圖 2-2-1 乳酸與生理反應.....                   | 10 |
| 圖 3-4-1 實驗時間安排.....                    | 20 |
| 圖 3-4-2 實驗流程圖.....                     | 20 |
| 圖 4-2-1 無氧閾值耐力 T-1 與 T-2 瓦特數 Watt..... | 25 |
| 圖 4-2-2 腳踏車階梯式負荷前後測乳酸曲線.....           | 27 |
| 圖 4-2-3 無氧閾值 (4 mmol/l) 耐力心跳率.....     | 29 |
| 圖 4-2-4 腳踏車階梯式負荷前、後測心跳率曲線.....         | 31 |
| 圖 4-3-1 低氧環境腳踏車測功儀與無氧閾值耐力交互關係.....     | 33 |
| 圖 4-3-2 低氧環境划船測功儀最大乳酸與無氧閾值交互關係.....    | 34 |
| 圖 4-4-1 恢復期最大乳酸堆積與最後採集時間 E15 乳酸排除..... | 36 |
| 圖 4-4-2 低氧負荷恢復期乳酸排除速度與無氧閾值耐力關係分析.....  | 37 |

## 中英文對照縮寫表

| 縮寫                | 英文                           | 中文       |
|-------------------|------------------------------|----------|
| ATP               | Adenstine triphosphate       | 腺嘌呤核苷三磷酸 |
| PCr               | Phosphocreatine              | 磷酸肌酸     |
| ADP               | Adenostine dephosphate       | 腺嘌呤核苷二磷酸 |
| AMP               | Adenostine monophosphate     | 腺嘌呤核苷單磷酸 |
| HR                | Heart rate                   | 心跳率      |
| La                | Lactate                      | 乳酸       |
| m                 | Meter                        | 公尺       |
| min <sup>-1</sup> | Beat per minute              | 每分鐘心跳率   |
| m/s               | Meter per scond              | 每秒每公尺速度  |
| 2 mmol/l          | Aerobic threshold            | 有氧閾值     |
| 4 mmol/l          | Anaerobic threshold          | 無氧閾值     |
| RPE               | Rating of perceived exertion | 運動自覺量表   |
| s                 | Second                       | 秒        |
| T1                | Test-1                       | 前測       |
| T2                | Test-2                       | 後測       |

# 第壹章 緒論

## 第一節 研究背景

依據 Mader 等 (1976) 提出有氧-無氧閾值的理論，當乳酸值在 2mmol/L 時為有氧閾值，4mmol/L 為無氧閾值，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。

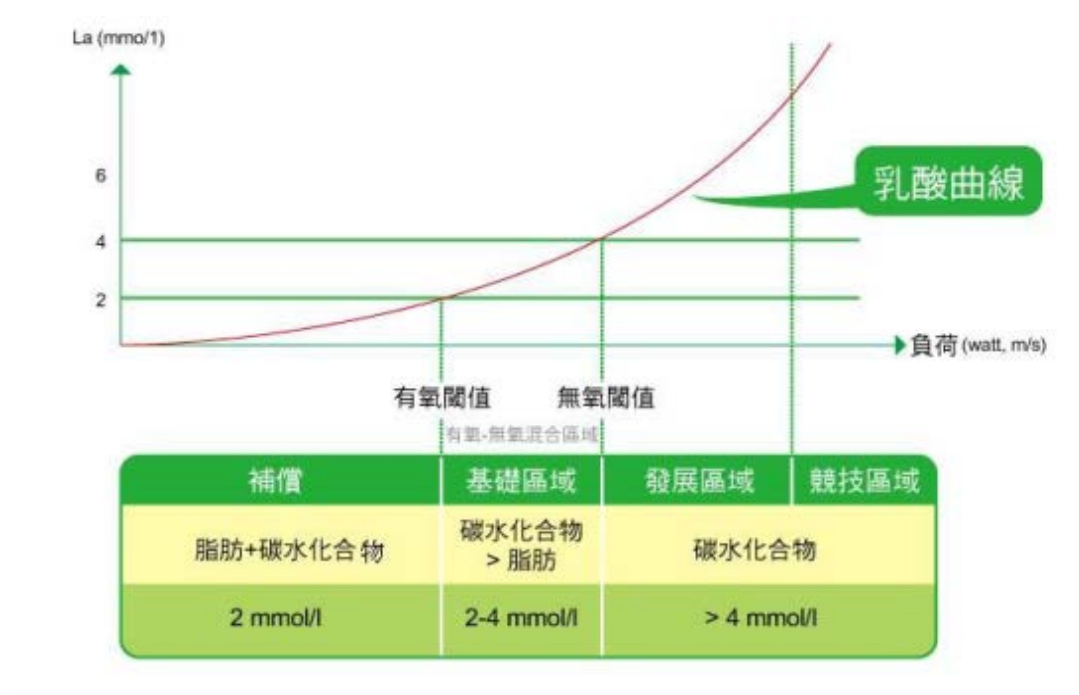


圖 1-1-1 有氧-無氧乳酸曲線

無氧能力關係運動員於高強度運動負荷下是否有足夠的能量提供，而無氧閾值能力佳的選手因可以維持高負荷下動作的穩定及肌肉不易疲勞而有較好之運動表現，換言之；運動員的無氧閾值越高，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，而 ATP 之耗盡如果沒有足夠之 PCr 再進行轉化，

肌肉收縮速度將下降 10% (Hollmann & Hettinger, 1990)。因此，無氧閾值高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。

乳酸一方面是糖無氧酵解的產物，與運動強度的大小和無氧代謝能力的高低有關；另一方面乳酸的生成與排除與人體有氧代謝能力有關 (Jaric, Sasa, Sladjan, Milos, & Radmila, 1997)。人體在運動負荷中，可以承受的負荷強度越高且乳酸濃度低時，表示運動負荷中乳酸還未大量滲透到血液中，進而延長運動表現，減緩運動中肌肉產生疲勞狀態。競技運動員之有氧閾值速度必須達大於 2.8 m/s，無氧閾值則為 3.5 m/s (Hollmann et al., 1987)，才能加速乳酸排除。

血液乳酸堆積，大於 7mmol/l 將影響技術動作協調 (Liesen, Ludemann, Schmengler, Föhrenbach, Mader, 1985)。Norman 與 Komi (1979) 以及 Komi (1984) 研究指出肌肉收縮速度受神經傳導與肌間肌內協調能力影響，因此；提昇此機轉反應，必須改善肌肉力量。Harre (1986)發現力量最佳輸出方式，是肌肉收縮循環中主動肌與拮抗肌交換是否協調為主要因素。通常，2 至 3 分鐘的最大運動，可以產生最大的血液乳酸濃度（可達安靜休息時的 20 倍，即 20 mmol/l）。由於，乳酸的產生除了受到運動強度的影響以外，還受到運動持續時間的顯著影響，因此 100 m、200 m 等短距離的「無氧性」激烈運動後，血液中的乳酸濃度，仍然會有顯著低於 800 m 跑步後的情形。由乳酸排除的觀點來看，800 m 左右的最大努力跑步，其實是評量乳酸系統能量供應能力的有效測驗方式。

運動引起肺通氣量增加，提高肺泡氧分壓，利於體內獲取較多的氧氣。同時刺激骨髓造血功能，使紅血蛋白濃度增高，從而利於氧的運輸。1968 年墨西哥奧運在 2300 公尺的高地上舉行，因高山空氣稀薄、且壓力較小，而形成低壓、低氧之狀態，因此；對於在高山訓練的運動員是否有較佳的心肺功能表現，例如；刺激運動員在缺氧條件下適應的能力，以承受較大負荷，使最大攝氧量提高引，

起有很多的討論與研究。

運動自覺量表 (rating of perceived exertion, 簡稱 RPE), 使用於運動時強度指標之一, 由瑞典生理學家 Borg (1985) 所發展出來的心理生理量表。Borg 發表過兩種運動自覺量表, 第一種量表是依據運動時心跳率的上昇狀況, 建立知覺等級從「6 (安靜心跳率約每分鐘 60 次)」至「20 (最大心跳率約每分鐘 200 次)」的運動自覺量表。研究發現, 此種 6 至 20 的運動自覺量表, 可以確實反應出運動過程中的強度變化狀況, 而且與運動時的心跳率、攝氧量和血乳酸堆積成正比 (相關值  $r = 0.8$  至  $0.9$  之間)。

由上述得知根據實驗研究與實踐證明, 低氧訓練能有效的提高運動能力及成績, 而低氧訓練提高運動能力及成績, 其與運動員之無氧閾值能力、最大乳酸堆積有相互關係, 本由就期望藉由測試而進一步瞭解於人體運動後之生理反應。

## 第二節 研究動機

早期研究認為八週的長期訓練負荷，人體才能有效提昇能力，近年來的多篇研究則以短期2週訓練負荷及可提昇能力為研究方向 (Bernardi, assino, Serebrovskaya, Serebrovskaya, & Appenzeller, 2001; Rodas, Ventura, Cadefau, Cusso, & Parra, 2000; Talanian, Galloway, Heigrnhauser, Bonen, & Spriet, 2007; 吳劭文，2009；陳德盛、張嘉澤，2010)，主要是以乳酸曲線的改變為適應效果的顯現。如何讓運動員在越短的訓練週期內有較好之運動表現，能在競賽中獲得優異之成績，是教練及研究人員所重視的。

常壓低氧訓練能加速無氧醣酵解代謝的路徑 (Dufour et al., 2006; Ponsot et al., 2006)，透過急性低氧不同負荷的刺激，增加其人體在運動中的負荷，人體為了適應環境刺激會有調節機制，可能改變其生理的適應能力及能量提供的路徑，本研究即以競技運動員透過實驗探討無氧閾值耐力對單次低氧不同負荷型態與血液乳酸及心跳率之效果。

### 第三節 研究目的

- 一、探討單次急性不同低氧負荷對無氧閾值 (4 mmol/l) 之效果
- 二、探討單次急性不同低氧負荷對無氧閾值與階梯式負荷乳酸與心跳率之效果
- 三、探討無氧閾值耐力與不同負荷最大乳酸堆積之交互關係
- 四、探討無氧閾值耐力對恢復期乳酸排除速度之效果



## 第貳章 文獻探討

### 第一節 無氧閾值

肌肉三大能量來源系統中，10 秒以內之短時間最大運動，主要來源為 ATP-PC 系統或磷化物系統；1-2 分鐘時間左右之最大運動，主要能量來源為 ATP-PC 系統與乳酸系統（醣酵解）之搭配（Neumann, 1990）。

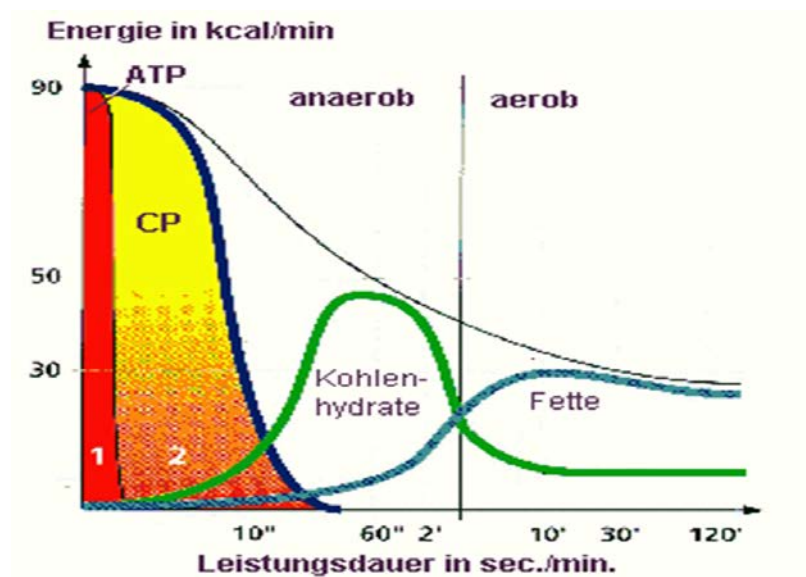


圖 2-1-1 能量代謝與運動持續時間

無氧閾值（anaerobic threshold，簡稱 AT）就是指透過人體運動時的各項生理反應判定，確認人體由「有氧運動」，開始有「無氧性能量」參與的運動強度。一般來說，AT 是判斷一個人有氧運動能力的有效指標之一。人體在 AT 以下的強度進行運動時，他所進行的運動稱為「有氧運動」，在 AT 以上的強度進行運動時，就是有「無氧性能量」參與運動時提供能量需要。

隨著運動負荷時間與強度不同，同時提高碳水化合物之使用率，當乳酸值提升高於 4mmol/l，稱為無氧閾值 (Pansold,1982)。無氧閾值相關測驗起自於 1951 年 Karrasch 等人(Heck & Hermann, 1990)直至現今仍不斷在進行中。

表 2-1-1 無氧閾值理論

| 理論                 | 年    | 閾值參數               | 方式                     | 閾值名稱              |
|--------------------|------|--------------------|------------------------|-------------------|
| Karrasch<br>Muller | 1951 | HR                 | Max.steady state<br>HR | 持續能力界線            |
| Hollmann           | 1959 | $V_E, VO_2$        | 換氣轉折點                  | 最佳呼吸反應<br>角度      |
| Wasserman et al.   | 1964 | $V_E, VO_2, VCO_2$ | 換氣轉折點                  | 無氧閾值              |
| Mader et al.       | 1976 | La                 | 4 mmol/l 速度            | 2-4 mmol/l 閾<br>值 |
| Kindermann et al.  | 1978 | La                 | 運動負荷在 2-4<br>mmol/l    | 有氧-無氧閾<br>混合值     |
| Keul et al.        | 1979 | La                 | $\tan \alpha=1.26$ 速度  | 個人閾值              |
| Sjodin et al.      | 1979 | La                 | 4mmol/l 速度             | 血液乳酸開始<br>堆積點     |
| Farrell et al.     | 1979 | La                 | 血漿乳酸上升<br>超過安靜值        | 血漿乳酸開始<br>堆積點     |
| Pessenhofer et al. | 1981 | La                 | 乳酸曲線最小<br>平方函數         | 個人有氧-無<br>氧混合閾值   |

|                 |      |                                   |                                           |                              |
|-----------------|------|-----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| Stegmann et al. | 1981 | La                                | $\tan 51^{\circ}34'$<br>乳酸曲線              | 個人無氧閾值                       |
| Berg et al.     | 1980 | La, VO <sub>2</sub>               | 最小乳酸與攝<br>氧量指數                            | La- VO <sub>2</sub> 等量<br>指數 |
| Simon et al.    | 1981 | La                                | $\tan \alpha=1$ 速度                        | 個人無氧閾值                       |
| Bachl           | 1981 | V <sub>E</sub> , VCO <sub>2</sub> | V <sub>E</sub> , VO <sub>2</sub><br>曲線轉折點 | 呼吸閾值                         |
| Bunc et al.     | 1982 | La                                | 乳酸切線曲線                                    | 個人無氧閾值                       |
| Conconi et al.  | 1982 | HR                                | 心跳率轉折點                                    | 無氧閾值                         |
| James et al.    | 1985 | 呼吸頻率                              | 呼吸頻率轉折<br>點                               | 無氧閾值                         |

資料引用：張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整

如上表，自 1959-1991 共有 16 篇比較具有應用性研究理論，其中最具實用性與分析性且適用於一般人與運動員是以 Mader 等 (1976) 所提出的有氧—無氧閾值理論。有氧—無氧閾值 (2-4 mmol/l) 對最大乳酸穩定 (La<sub>max</sub>SS) 的判定是在乳酸值 mmol/kg。Mader (1998) 指出短時間高強度負荷節奏運動型態所造成之疲勞，取決於肌肉是否儲存足夠之三磷酸腺苷 (Adenosine triphosphate, ATP)。

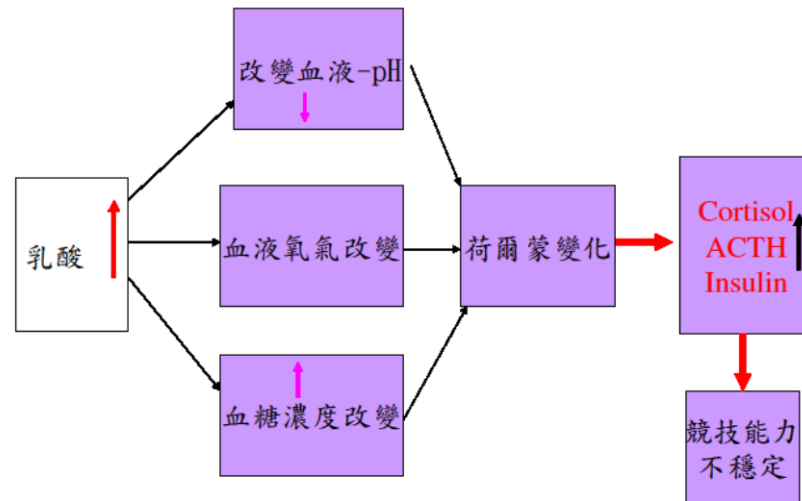
## 第二節 乳酸相關研究

無氧運動能力的來源主要是由非乳酸性和乳酸性能量系統，再生 ATP 所產生的方式 (Newsholme & Leech, 1983)。藉由血乳酸的測定可直接取得無氧閾值之數值，並且得知閾值心跳率與代謝路徑。

開始運動的初期，由於能量需求的時間效率提高，肌肉不得不透過醣解作用產生乳酸的方式來迅速產生能量，此時血乳酸的濃度即會顯著的上昇。如果，運動的強度不高，幾分鐘後，肌纖維中粒腺體的氧化作用即會活化，此時，醣解作用的要求降低，血乳酸即不會再上昇，甚至會有下降的情形出現。

在激烈的運動負荷下，ATP-PC 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醣酵解的路徑，因此產生高的乳酸堆積。由於乳酸的產生與無氧系統代謝密切關連，因此透過血乳酸濃度在達到 4 mmol/l 時的運動強度，代表無氧系統代謝的開始。

Karlsson, Peterson, Henriksson, 與 Knuttgen (1975) 指出乳酸的對肌肉會造成神經傳導及肌肉收縮能力下降，導致肌肉產生疲勞狀態，疲勞狀態下影響肌肉間的協調，而無法維持正常的動作表現。無氧路徑的副產物乳酸與氫離子過量堆積將會干擾肌肉的收縮、神經傳導的速度及能源應用，或是造成代謝能力下降，進而造成疲勞 (Stamford, Weltman, Moffatt, & Sady, 1981; Kirkendall, 1990)。Keul, Dickhuth, Lehmann, & Huber (1981) 和 Heck (1990) 的研究，以乳酸作為判斷運動能力的指標，可以正確的辨別個人最大負荷的程度。



促腎上腺素皮質醇 (Adrenocorticotrophic hormone;ACTH)

圖 2-2-1 乳酸與生理反應 (張嘉澤、2010)

張嘉澤 (2008) 指出醣酵解系統中乳酸的大量生成，血液中 pH 值會下降、血液氧氣改變，血糖濃度上昇，影響運動中賀爾蒙的改變，皮質醇 (Cortisol)、腎上腺皮質激素 (ACTH) 及胰島素 (Insulin) 賀爾蒙的上昇將影響競技能力的不穩定。

Zintal (1994) 依據運動後身體各項元素再生所需時間，表示高強度無氧負荷下乳酸排除所需時間為 15 min。Neumann (1990) 對於乳酸值在運動訓練與運動能力診斷上的應用，提出乳酸是在肌肉組織形成，然後再滲透進入血液，最後乳酸是由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 和非無氧肌群 (30%) 排除。

Kindermann, Simon, 與 Keul (1977) 等人把乳酸的排除歸為肝的功能，乳酸下降是醣質新生肝糖的轉換。通常，非最大運動 (submaximal) 時的乳酸產生和移除速率，可以達到安靜休息時的 3 至 5 倍。而且，在不同運動強度下，血乳酸濃度也常能維持不同濃度的穩定狀態。

最大乳酸穩定 ( $La_{maxSS}$ ) 是在相當高的負荷，乳酸的堆積與排除處於平衡狀況或運動負荷持續 20 分鐘以上乳酸上昇與排除  $\pm 1\text{mmol/l}$ 。公式為：最大無氧醣酵解代謝 = 最大乳酸堆積 / 速度(m/s)。



### 第三節 低氧訓練

1968 年墨西哥奧運在 2300m 的高地上舉行，因高山空氣稀薄、且壓力較小，而形成低壓、低氧之狀態，為了減低環境的影響，創造更好的成績，科學家一直在探尋合理有效的訓練方法，同時也開啟低氧訓練相關研究。

透過高地低氧環境保有提昇血液中血紅蛋白數量之效果及低練的方式維持較高強度的訓練 (Chapman, Stray-Gundersen, & Levine, 1998)。Hollmann 與 Liesen (1973) 指出高地訓練能夠提昇血紅素數量，改善血液氧氣運輸、肌肉內的氧運輸和增加血液循環容積，改善血液含氧量。

Davidson 與 Stalcup (1984) 發現急性低氧 ( $\text{PaO}_2=60\text{mmHg}$ ) 會使得心輸出量增加 (+25%)、血壓上升 (+15%)、組織血流重新分配 (增加心臟、腦部、骨骼肌之血流量) 等。經過長期高強度低氧適應後會出現血漿容積增加的現象。近年來也有研究指出高地的低氧環境耐力訓練能使骨骼肌之粒線體增生 (Hood, 2001)、肌細胞葡萄糖轉運體數量增加 (Ren, Semenkovich, Gulve, Gao, & Holloszy, 1994)、微血管密度擴大 (Gute, Fraga, Laughlin, & Amann, 1996) 等生理機轉顯著提高有氧代謝能力 (Dufour et al., 2006; Ponsot et al., 2006)，提昇耐力能力。

高地訓練目的與效果，主要在於快速提升一般耐力與改善專項耐力。高地訓練型態分為：自然高地與人為低氧艙 (常壓低氧)。兩種差異在於自然高地受壓力影響，血液氣體  $\text{pO}_2$  (氧氣分壓) 受高度增加而下降。而海平面 (一般環境) 應用低氧艙訓練之血液濃度  $\text{pO}_2$  並不會改變，而血氧飽和度 ( $\text{SaO}_2$ ) 則會輕微下降 (98% - 95%)，此症狀在離開低氧艙後恢復 (張嘉澤，2008)。

表 2-3-1 低氧文獻整理

| 文獻                                                           | 訓練                                                                                     | 環境                                                                 | 運動能力                                                  | 結果                                                          |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Truijens et al. 2003                                         | 游泳選手<br>12.5min 高強度<br>訓練，1 週 3 次，<br>為期 5 週。                                          | N=FIO <sub>2</sub> 20.9%<br>n=8<br>H=FIO <sub>2</sub> 15.3%<br>n=8 | 最大攝氧量皆上升。<br>100m 和 400m 時間<br>接進步，兩者無差異。             | 高強度低氧訓練，沒有增強作用。                                             |
| Morton and Cable. 2005                                       | 運動選手<br>10x1min<br>$\dot{V}O_{2max}$ 80%,10x2<br>min $\dot{V}O_{2max}$ 50%，<br>為期 4 週。 | N=FIO <sub>2</sub> 20.9%<br>n=8<br>H=FIO <sub>2</sub> 15%<br>n=8   | 最大攝氧量，最大<br>瓦特數，無氧閾<br>值，平均功耗和峰<br>值功率皆有進步，<br>兩者無差異。 | 常壓低氧訓練為<br>優於常氧訓練。                                          |
| Dufor et al.2006 and Ponsot et al. 2006 and Zoll et al. 2006 | 長跑選手<br>每週 5 次的訓<br>練，加上每周 2<br>次 VT2，為期 6<br>週。                                       | N=FIO <sub>2</sub> 20.9%<br>n=9<br>H=FIO <sub>2</sub> 14.5%<br>n=9 | 低氧組最大攝氧量<br>有顯著上升。                                    | 高強度的訓練效<br>果，低氧組稍微<br>優於常氧組，<br>提升粒線體功<br>能，ATP 供應更<br>有效率。 |
| Nummela et al. 1996                                          | 田徑選手<br>常壓的戶外訓練<br>10 天。                                                               | 居往常壓低氧<br>屋子<br>FIO <sub>2</sub> 15.7%                             | 49.62±2.78 進步到<br>49.13±2.74，達顯度<br>進步。               | 有效改善常氧下<br>的無氧能運動<br>力。                                     |
| Ted et al. 2001                                              | 鐵人三項選手<br>60%-70%心跳閾<br>值腳踏車訓練，                                                        | N=常氧<br>n=8<br>H=模擬 2500m                                          | 最大攝氧量，最大<br>瓦特數上升<br>峰值功率下降。                          | 間歇性低壓訓練<br>可以同時提高有<br>氧和無氧的能源                               |

|                      |                                 |              |                                |                                |
|----------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                      | 每天 2 小時，為期 10 天                 | n=8          |                                | 供應系統。                          |
| 陳佳慧，楊孟龍，王月琪與張嘉澤。2009 | 運動習慣中年人持續跑 3.5m/s，15min，為期 5 天。 | H=14%<br>n=1 | 有氧和無氧閾直速度上升，有樣閾值心跳下降，無氧閾值心跳上升。 | 體循環和新陳代謝方面產生適應，提升與改善有氧與無氧基礎能力。 |

資料引用：張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整

利用高住低練概念用於平地低氧艙，從事間歇性低氧訓練，結果發現訓練效果接近高地訓練 (Hellemans, 1999; Hamlin & Hellemans, 2007)。低氧訓練 (Interval hypoxic training)、低住高練 (Training High, Living Low)、高住低練 (Living High, Training Low)。這些訓練模式，主要是透過環境氧分壓降低，配合運動訓練，短期刺激體內紅血球數量與血紅素濃度提高、心輸出量增加與提升動靜脈血氧差，提高氧氣輸送效率之生理代償效果。

Katayama, Sato, Matsuo, Ishida, Iwasaki, & Miyamura (2004)、陳亮仔(2006)認為間歇性低氧能夠促進運動表現，其生理學基礎是低氧刺激了補償機制，在吸入低氧時補償機制已經開始運作，損傷還未造成時就已經開始休息。在休息間歇中補償機制依然活躍，肺部細胞，呼吸肌和心肌得到更多的血液、氧氣、營養與能量物質，同時帶走更多的代謝廢物，這些都有利於提高機體對低氧的適應能力，促進機體的生物合成。

## 第四節 運動自覺量表（RPE 量表）

運動自覺量表 (rating of perceived exertion，簡稱 RPE) 是評量人體運動狀況的有效資訊。由瑞典生理學家 Borg (1985)所發展出來。該量表依據運動時心跳率上升狀況劃分為 6 至 20 等級之自覺量表，從「6 (安靜心跳率約每分鐘 60 次)」至「20(最大心跳率約每分鐘 200 次)」的運動自覺量表。

表 2-4-1 RPE 運動量表

| 等級 | 運動負荷強度 |
|----|--------|
| 6  |        |
| 7  | 非常非常輕鬆 |
| 8  |        |
| 9  | 非常輕鬆   |
| 10 |        |
| 11 | 輕鬆     |
| 12 |        |
| 13 | 有些吃力   |
| 14 |        |
| 15 | 吃力     |
| 16 |        |
| 17 | 非常吃力   |
| 18 |        |
| 19 | 非常非常吃力 |
| 20 |        |

Borg (1985) 研究指出，此運動自覺量表，可反應運動過程中強度之變化狀況，且與運動時心跳率、攝氧量及血乳酸堆積成正比（相關值約在 0.8 至 0.9 之間）。

第二種運動自覺量表，則呈現非線性的自覺強度上昇比例，運動自覺強度由指標 0 為沒有感覺 (nothing at all) 至指標 10 非常非常強 (very, very strong)，最大自覺強度 (maximal) 則以超過 10 來代表。此種運動自覺量表，以 3 來代表「適度自覺強度 (moderate)」，7 以上的自覺強度就已代表非常強 (very strong)，而且，容許有小數點以下一位的自覺判斷 (例如：3.2 強度)。

本研究於低氧艙實施，採用依據運動時心跳率上升狀況劃分為 6 至 20 等級之自覺量表。雖運動自覺量表，是以運動參與者的心理感受來判定運動強度，運動者的年齡、能力、個別差異、參與訓練及心理特質，雖然會影響到運動自覺量表的正確性，但以「運動自覺量表」來判定運動的強度時，仍有其簡單、方便等特殊代表性的價值存在。

## 第參章 研究方法與步驟

### 第一節 研究對象

本研究對象為 7 名健康男性運動員，平均年齡  $23.3 \pm 1.5$  歲，身高平均  $167 \pm 6.5$  公分，體重平均  $65 \pm 7.5$  公斤，訓練年數 7 年以上，分別進行三階段不同的測驗。

### 第二節 實驗時間與地點

實驗時間：2013 年

實驗地點：國立體育大學低氧實驗室運動能力診斷與訓練調整研究室

### 第三節 實驗儀器與設備

- 一、德國製血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line; EKF-diagnostic)
- 二、心率偵測器 (Polar S725X)
- 三、採血工具（冰桶、紅血球破壞劑、10  $\mu$ l 毛管、乳酸分析儀採血針、手套及其他消毒工具）
- 四、腳踏車測功儀
- 五、划船測功儀 (Concept 2)
- 六、(RPE-Index) 量表
- 七、低氧艙

## 第四節 實驗設計

本實驗所有受試者將參與三階段測試 (圖3-4-2 實驗流程圖)。

- 一、前測基礎閾值耐力測試 (T-1)：以 Mader et al., (1976) 提出之有氧-無氧閾值 (2-4 mmol/l) 耐力階梯式進行。腳踏車開始為 100 Watt，每階負荷增加 30 Watt，每階結束採血一次 (心跳率與採集血液 10  $\mu$ l)，持續進行至受試者所能承受之最大負荷為止 (表 3-4-1)。划船測功儀個人最大努力 10 槳，求得平均瓦特數之強度。作為低氧划船測功儀負荷指標。
- 二、第二為低氧腳踏車間歇負荷與划船測功儀測試：腳踏車負荷為階梯式測試個人最大負荷，負荷範圍為 3 次 3 分鐘最大負荷 ( $254\pm 11$ Watt)，組間休息 5 分鐘 (採耳垂血液和記錄心跳)，並紀錄運動自覺量表指數 (RPE-Index)。划船測功儀測試：划船測功儀為 3 次 300m (個人最大努力 10 槳平均瓦特數之強度)，組間休息 5 分鐘 (採耳垂血液和記錄心跳)，並紀錄運動自覺量表指數 (RPE-Index)。
- 三、後測 (T-2) 基礎閾值耐力測試，同第一次測試 (T-1)。

本實驗採平衡次序法進行，為了避免實驗交叉影響，每個測試會安排在不同的日期 (圖3-3-1 實驗時間安排)。

表 3-4-1：腳踏車測功儀階梯式負荷模型 (Hollmann & Rost, 1982)

| 階數 | Watt | Time | Rpm/min |
|----|------|------|---------|
| 1  | 100  | 3min | 70-80   |
| 2  | 130  | 3min |         |
| 3  | 160  | 3min |         |
| 4  | 190  | 3min |         |
| 5  | 220  | 3min |         |
| 6  | 250  | 3min |         |
| 7  | 280  | 3min | 80-90   |
| 8  | 310  | 3min |         |
| 9  | 340  | 3min | > 90    |

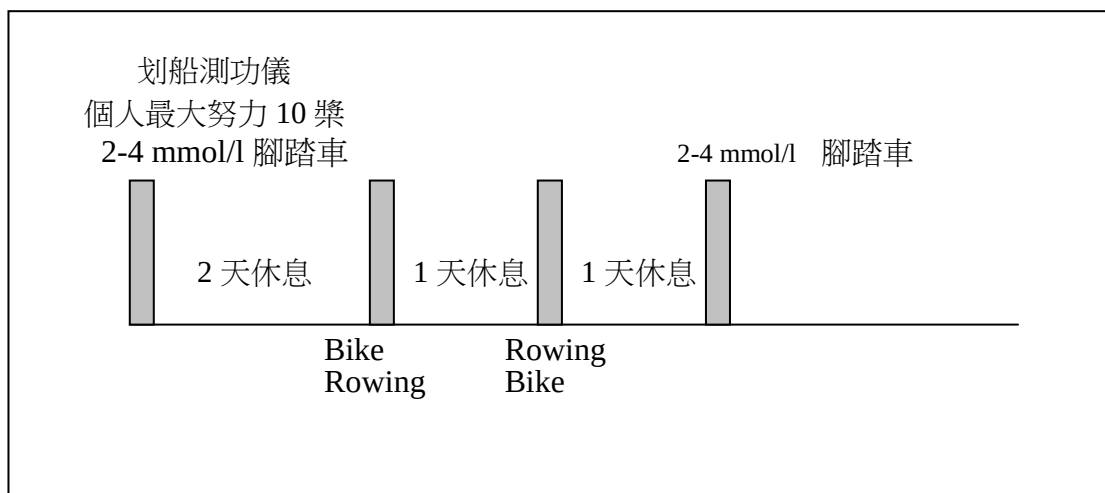


圖 3-4-1 實驗時間安排

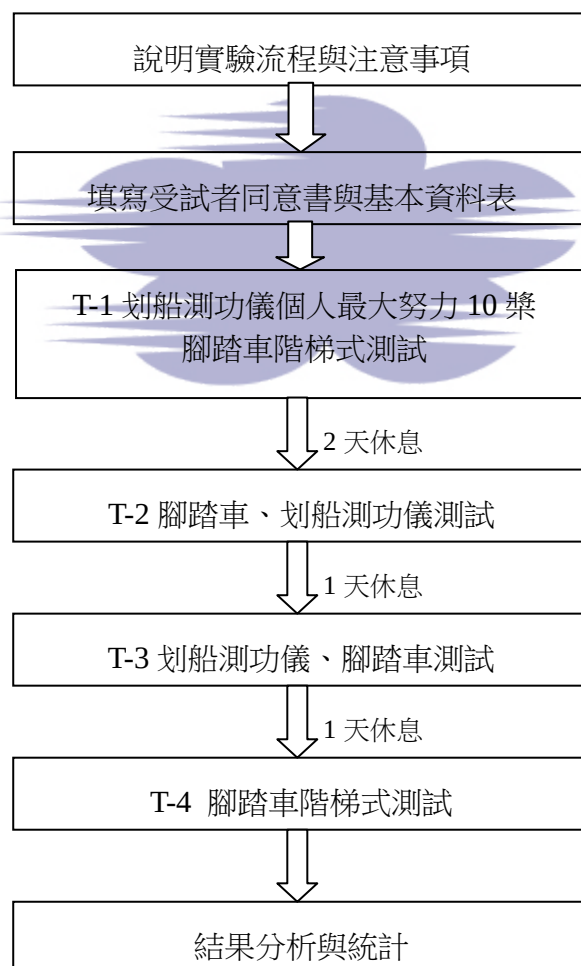


圖 3-4-2 實驗流程圖

## 第五節 資料處理與統計分析

- 1、本研究資料以 SPSS for windows 18.0 套裝軟體進行統計軟體分析，利用皮爾森積差相關分析各參數之相關。
- 2、重複單因子變異數 (One way ANOVA) 分析二種負荷型態參數之差異與前後測數據差異分析。
- 3、統計考驗水準訂為  $\alpha=.05$ 。



## 第肆章 結果分析與討論

本章依據實驗前、後所收集與測得之數據經統計分析與製圖處理後，區分成數節如下呈現：

- 第一節 無氧 4 mmol/l 閾值能力分析與討論
- 第二節 無氧閾值耐力與階梯式負荷
- 第三節 無氧閾值與不同負荷最大乳酸四象限分析
- 第四節 無氧閾值與恢復期乳酸排除分析



## 第一節 4 mmol/l 無氧閾值能力分析與討論

二次低氧不同負荷耐力訓練，訓練前與訓練後之基礎耐力(表 4-1-1)。基礎耐力前測無氧閾值前測瓦特數為  $151 \pm 19$  Watt，後測為  $157 \pm 22.8$  Watt，兩者差異 +6Watt ( $p > 0.05$ )。心跳率前後測則分別為  $138 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ 、 $150 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，差異為 +12.3  $\text{min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。

表 4-1-1 無氧閾值瓦特與心跳率平均數

| 腳踏車測功儀階梯式負荷 |                       |         |            |       |
|-------------|-----------------------|---------|------------|-------|
| 4 mmol/l    | Watt                  | 前測      | 後測         | 差異    |
|             |                       | 151± 19 | 157 ± 22.8 | + 6   |
|             | HR                    | 前測      | 後測         | 差異    |
|             | ( $\text{min}^{-1}$ ) | 138 ± 9 | 150 ± 10   | +12.3 |

透過二次低氧不同負荷耐力訓練後，從瓦特數而言：有氧閾值閾值耐力呈現下降的趨勢，而無氧閾值能力則呈現上昇的反應，而以每分鐘心跳率而言：有氧閾值閾心跳率呈現下降的趨勢，而無閾值心跳率呈現上昇的趨勢。

Hochachka, Stanley, Matheson, Mckenzie, Allen, 與 Parkhouse, (1991) 指出，人體為適應環境的刺激，將產生許多調節機制，在低氧的狀態下，氧氣的不足促使氧化磷酸化受到抑制，故在休息狀態下，脂肪的氧化將轉向無氧糖酵解系統。本研究在透過二次低氧不同負荷耐之低氧訓練後，結果顯示有氧閾值能力方面從承受瓦特數功率而言能力未有進步符合 Neumann (1990) 之文獻，而無氧閾值能力的進步，顯示低氧訓練之效果。此外；無氧閾值心跳率卻呈現上升之狀況並達顯著差異，其原因應為承受功率較高所致。



## 第二節 無氧閾值耐力與階梯式負荷

圖 4-2-1 為 4 mmol/l 無氧閾值耐力分析。前測 (T-1) 無氧閾值耐力平均值為  $151 \pm 19$  Watt，後測 (T-2) 則為  $157 \pm 22.8$  Watt。兩次測試平均值差異 +6 Watt ( $p > 0.05$ )。

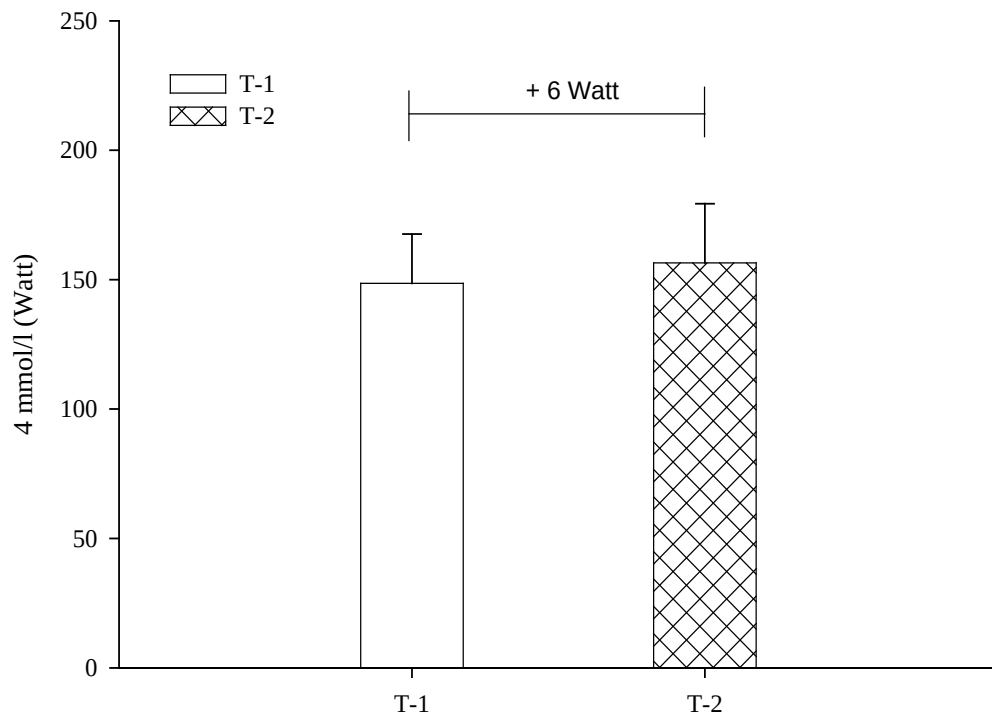


圖 4-2-1: 無氧閾值耐力 T-1 與 T-2 瓦特數 Watt

本研究受試者在前、後測 4 mmol/l 瓦特數皆大於 150 Watt。Hollmann (1987) 指出，競技運動員之有氧-無氧閾值能力，其 2 mmol/l 瓦特數必須到達  $\geq 100$  Watt，4 mmol/l 瓦特數則必須達到  $\geq 130$  Watt，運動員須具備此能力，才能具備在短時間內恢復之能力。本研究顯示受試者在無氧閾值能力方面已達文獻之水準。前、後測無氧閾值耐力，兩次測試平均值差異 +6 Watt ( $p>0.05$ )，受試者無氧閾值瓦特數雖有進步，但未達顯著之差異。



結果分析顯示階梯式負荷方式，血液乳酸呈現直線上升趨勢。T-1 開始負荷 100 Watt 血液乳酸堆積平均值為  $2.3 \pm 0.5$  mmol/l，第二次測試 (T-2) 則為  $2.4 \pm 0.2$  mmol/l，兩次平均值差異  $+0.1$  mmol/l ( $p > 0.05$ )。T-1 最大負荷 250 Watt 血液乳酸平均值為  $9.3 \pm 1.5$  mmol/l，其與開始負荷 100 Watt 平均值差異  $+7$  mmol/l ( $p < 0.05$ )。T-2 最大負荷 280 Watt 血液乳酸堆積平均值則為  $11.3 \pm 2.3$  mmol/l，與開始負荷平均值差異  $+8.9$  mmol/l ( $p < 0.05$ )。如圖 4-2-2 所示。

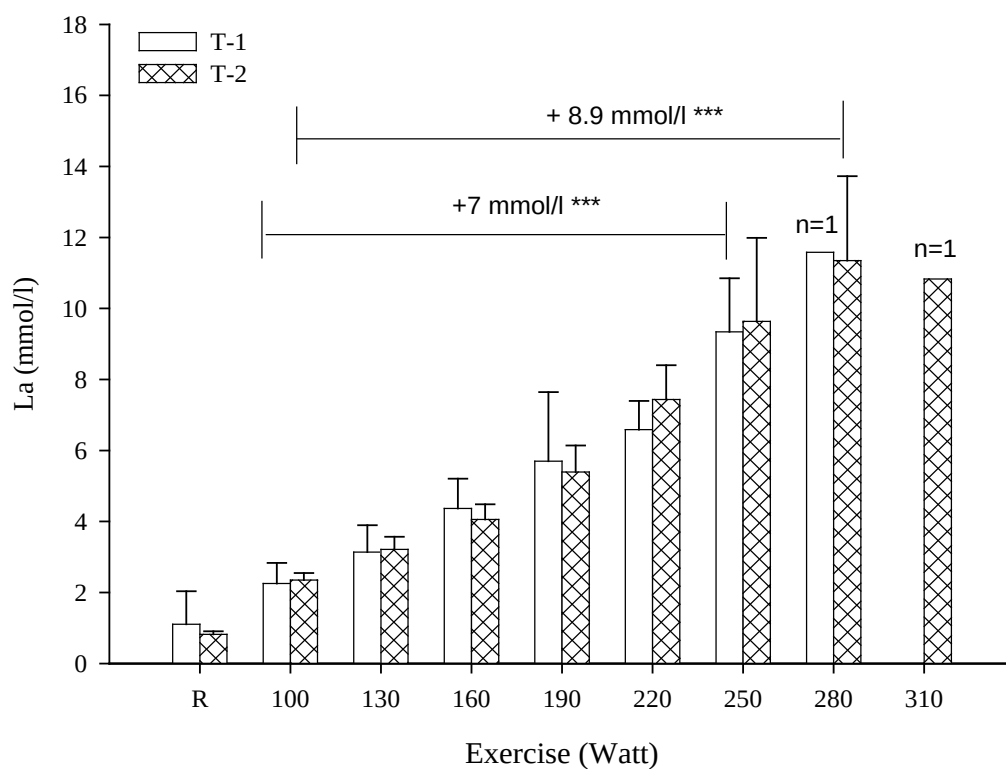


圖4-2-2：腳踏車階梯式負荷前後測乳酸曲線

乳酸在運動訓練上的應用可分為:一、運動強度的判定；二、能量代謝負荷的判斷；三、訓練與比賽時選手運動能力判斷；四、作為有氧能力的判斷；五、作為訓練強度的判斷；六、作為訓練類型的判斷與訓練方式的判斷 (Neumann, Pfützner, & Hottentott, 1993)。結果分析顯示運動中隨著負荷增加及時間延長乳酸開始大量堆積，因此；階梯式負荷方式，血液乳酸呈現直線上昇趨勢。



無氧閾值心跳率於T-1平均值為 $137 \pm 9.0 \text{ min}^{-1}$ ，第二次測試 (T-2) 則為 $151 \pm 10.7 \text{ min}^{-1}$ 。兩次測試平均值差異為  $+13 \text{ min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。個人最大值為 $154 \text{ min}^{-1}$  (T-1)，T-2個人最大值則為  $165 \text{ min}^{-1}$ 。如圖 4-2-3所示。

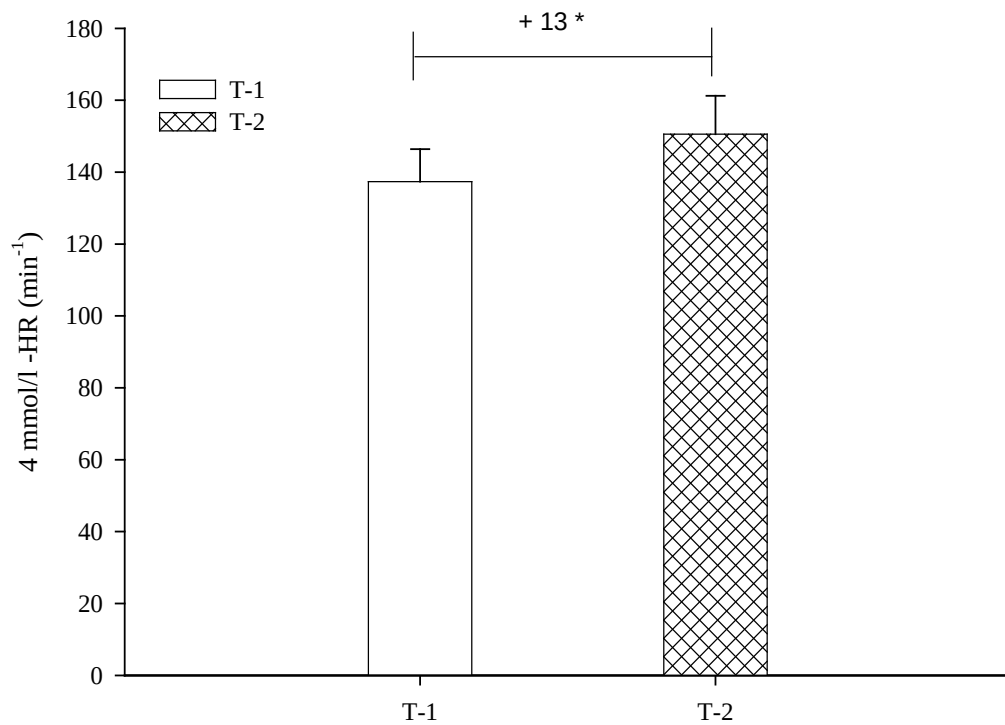


圖 4-2-3: 無氧閾值 (4 mmol/l) 耐力心跳率

心跳率會隨著身體的活動而有所改變。年齡、性別、飲食、氣候、疲勞、運動很多因素都會影響到心跳率。一般預測最大心跳率公式為  $220 - \text{年齡}$  (男性) 與  $200 - \text{年齡}$  (女性)，隨著年齡的增長最大心跳率也會呈現下降趨勢。不管是安靜心跳率、運動時心跳率及運動後恢復心跳率的次數都能代表心肺功能的優與劣；心跳率的次數愈低表示身體體能狀況愈佳。

Hollmann 等 (1987) 指出競技運動員之有氧耐力 ( $2\text{mmol/l}$ ) 不得小於  $2.8\text{m/s}$ ，心跳率  $140\text{ min}^{-1}$ ；無氧閾值 ( $4\text{mmol/l}$ ) 最低標準為  $3.5\text{m/s}$ ，心跳率  $156\text{ min}^{-1}$ 。Nikiforov (1974) 研究指出全程平均心跳  $150-170\text{ min}^{-1}$  為中強度型態， $170-185\text{ min}^{-1}$  屬高強度型態。心跳的訓練閾值受個人安靜心跳率與最大心跳率的影響而有不同。乳酸閾值心跳率 = 安靜 HR +  $(220 - 3/4 \text{ 年齡} - \text{安靜 HR}) \times 0.75$ 。(Hollmann et al., 1978)。

Hollmann 與 Rost (1982) 指出非運動員之無氧閾值強度 ( $4\text{mmol/l}$ )  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  介於 50-70% 心跳率  $140-150\text{ min}^{-1}$ ；運動員之無氧閾值強度 ( $4\text{mmol/l}$ )  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  介於 70-80% 心跳率  $170-175\text{ min}^{-1}$ ；而高競技運動員之無氧閾值強度 ( $4\text{mmol/l}$ )  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  則介於 85-95% 心跳率  $180-190\text{ min}^{-1}$ 。Hollmann 等 (1987) 指出競技運動員之有氧耐力( $2\text{mmol/l}$ ) 不得小於  $2.8\text{m/s}$ ，心跳率  $140\text{ min}^{-1}$ ；無氧閾值 ( $4\text{mmol/l}$ ) 最低標準為  $3.5\text{ m/s}$ ，心跳率  $156\text{ min}^{-1}$ 。本研究受試者無氧閾值 ( $4\text{ mmol/l}$ ) 耐力心跳率前 (T-1)、後 (T-2) 測分別為  $137 \pm 9.0\text{ min}^{-1}$ 、 $151 \pm 10.7\text{ min}^{-1}$ ，兩次測試平均值差異為  $+13\text{ min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )，皆符文獻之描述，且達顯著之差異。

圖 4-2-4 為階梯式負荷上昇測試心跳率分析。結果顯示開始負荷 100 Watt 第一次測試 (T-1) 心跳率平均值為  $112 \pm 10.5 \text{ min}^{-1}$ ，T-2 則為  $117 \pm 10.4 \text{ min}^{-1}$ 。兩次平均值差異  $+5 \text{ min}^{-1}$  ( $p > 0.05$ )。T-1 最大負荷 250 Watt 心跳率平均值為  $182 \pm 8.0 \text{ min}^{-1}$ ，其與 100Watt 負荷心跳率差異  $+70 \text{ min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。T-2 最大負荷 280 Watt，心跳率平均值為  $188 \pm 6.3 \text{ min}^{-1}$ ，其與開始負荷 100 Watt 平均心跳率差異  $+72 \text{ min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。

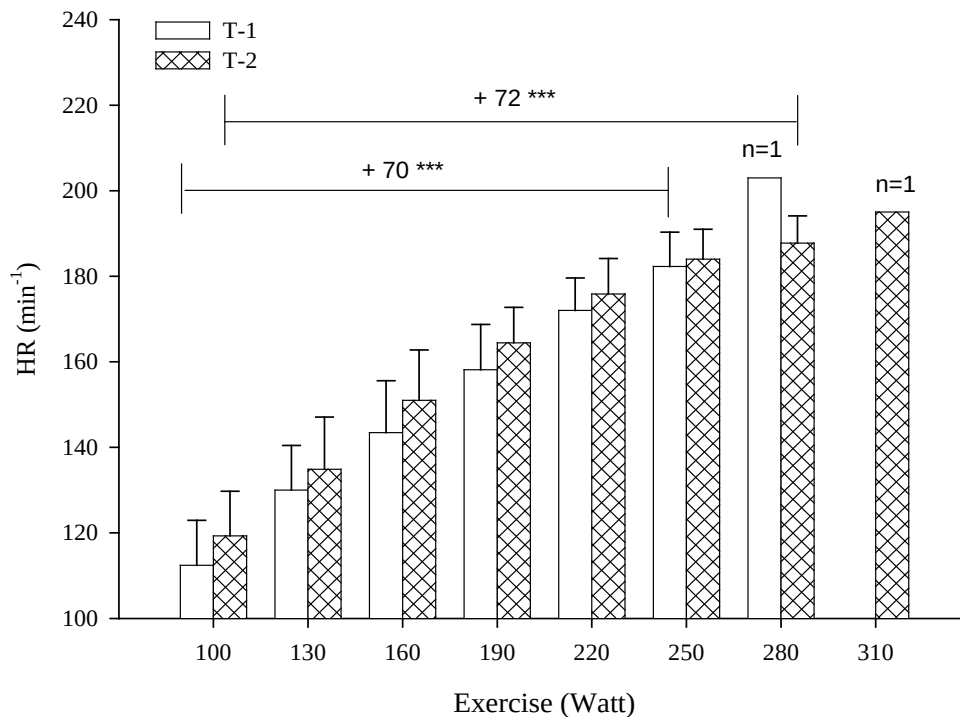


圖 4-2-4：腳踏車階梯式負荷前、後測心跳率曲線

Neumann (1990) 依生物參數改善所需的時間，最快改善的是心跳，以日為單位。Hottenrott (1993) 指出心跳率可用來判斷個體的訓練效果及承受負荷的能力。本研究結果如圖 4-2-3:，無氧閾值 (4 mmol/l) 耐力心跳率於 T-1 平均值為  $137 \pm 9.0 \text{ min}^{-1}$ ，第二次測試 (T-2) 則為  $151 \pm 10.7 \text{ min}^{-1}$ 。兩次測試平均值差異為  $+13 \text{ min}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。個人最大值為  $154 \text{ min}^{-1}$  (T-1)，T-2 個人最大值則為  $165 \text{ min}^{-1}$ 。顯示低氧訓練能提升無氧閾值 (4 mmol/l) 心跳率，並符合上述之文獻。



### 第三節 無氧閾值與低氧不同負荷最大乳酸四象限分析

無氧閾值耐力 (4mmol/l) 與腳踏車測功儀負荷最大乳酸堆積交互關係分析，結果顯示無氧閾值耐力佳者 (Nr 3、Nr 5、Nr 8)，其腳踏車測功儀負荷乳酸堆積濃度，亦呈現較低現象 (D 區域)。受試者 Nr 4 個人無氧閾值耐力呈現在比較高的 Watt，但是此耐力機制並未影響其在低氧環境的腳踏車測功儀負荷。在 C 區域的 Nr 1、Nr 2、Nr 6 三位受試者，其在低氧負荷並未呈現高乳酸堆積現象，但是其無氧閾值耐力 (Watt)，亦未呈現較佳現象 (圖 4-3-1)。

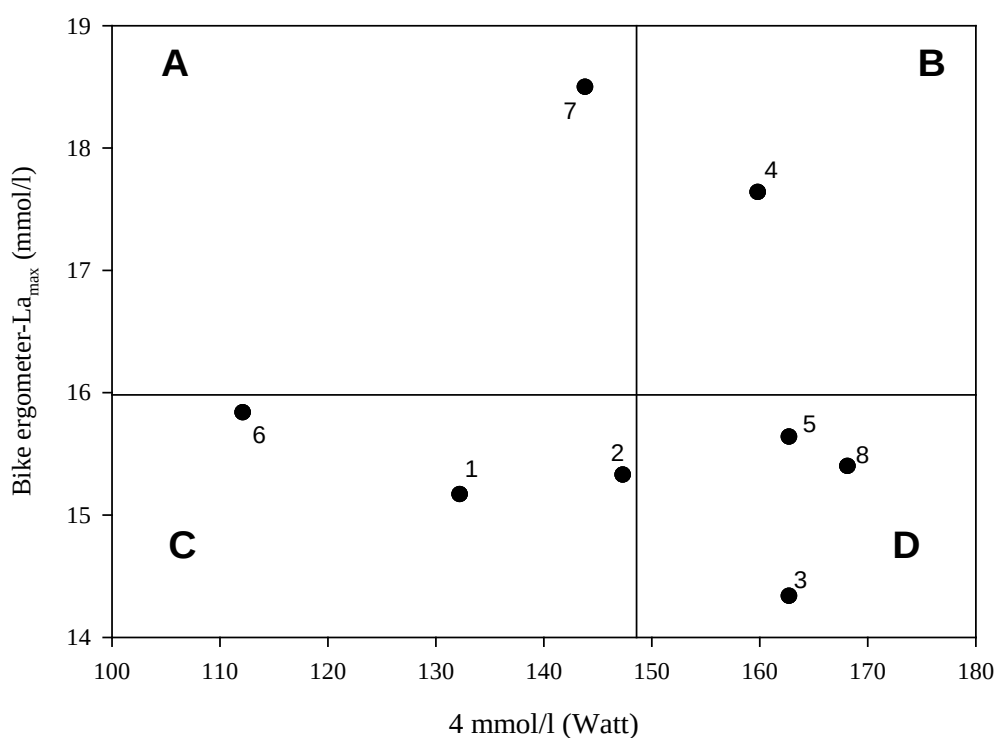


圖 4-3-1: 低氧環境腳踏車測功儀與無氧閾值耐力交互關係

圖 4-3-2 為無氧閾值耐力 (4 mmol/l) 與划船測功儀 (Rowing) 負荷最大乳酸堆積交互關係分析。結果顯示無氧閾值耐力佳者 (Nr 3、Nr 4、Nr 5、Nr 8)，其划船測功儀 (Rowing) 負荷乳酸堆積濃度，亦呈現較低現象 (D 區域)。受試者 Nr 6 與 Nr 7 則呈現在高乳酸堆積與比較低的無氧閾值區域 (C 區域)。

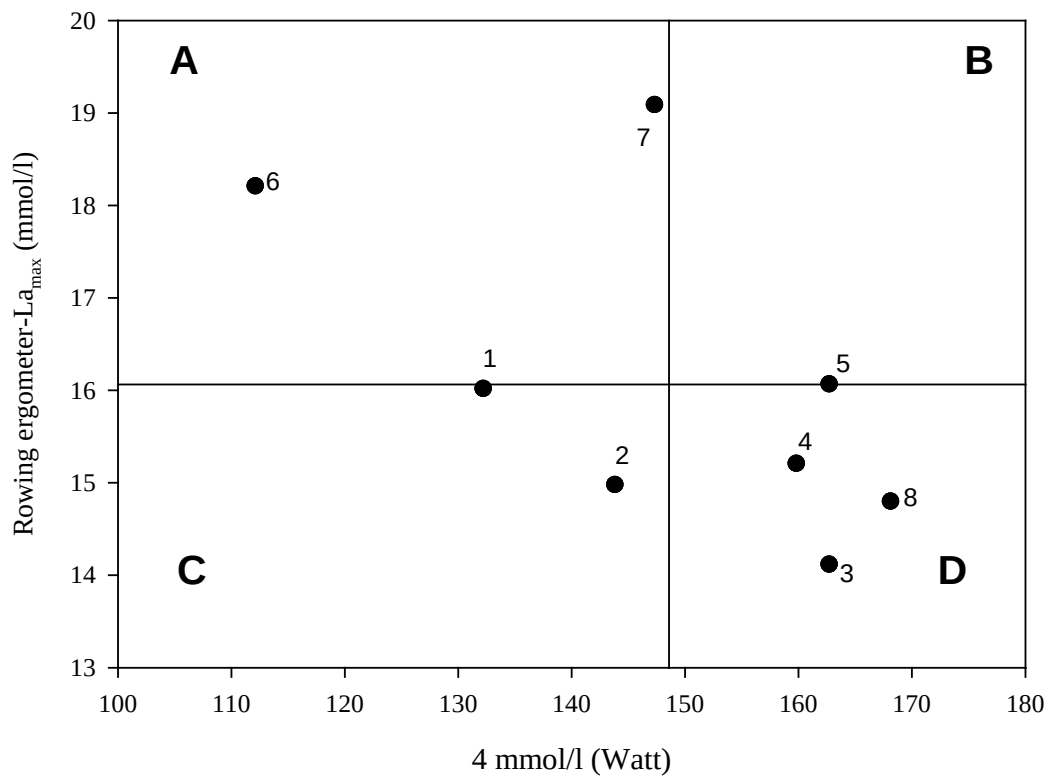


圖 4-3-2：低氧環境划船測功儀最大乳酸與無氧閾值交互關係

四象限體能交互關係分析顯示，在無氧閾值耐力佳者，其在腳踏車負荷產生的乳酸堆積濃度，亦呈現在比較低的 D 區域 (圖 4-3-1)。Pessenhofer, Schwabberger, Sauseng, & Kenner (1987) 無競技運動員之最大醣酵解活性，可以藉助個人無氧閾值能力，其在無氧性運動負荷是重要判斷因素之一。過去研究提出體能交互關係模式的分析，可以有效的對運動員體能缺點進行調整修正 (Harre, 1986)。

在研究結果 C 區域 (圖 4-3-1) 是腳踏車負荷症狀反應：呈現低的腳踏車負荷乳酸堆積濃度，低的無氧閾值耐力反應 (Nr.1、2、6)。而划船測功儀負荷同樣在 C 區域 (圖 4-3-2) 呈現相同症狀反應，這個區域的受試者有兩個 (Nr. 1、2)。此症狀顯示受試者在運動負荷中肌肉能量路徑，可能進入蛋白質的代謝模式。會引起此現象的生理機制，主要在於個人無氧閾值耐力差所致 (Mader & Heck, 1991)。Weicker 與 Strobel (1994) 亦指出當肌肉進入無氧症狀，能量路徑以無氧糖酵解模式進行，若無氧醣酵解代謝效率差，此時肌肉立即轉向蛋白質分解成氨基酸模式作為能量來源。但是此機制將會造成血液大量的血氨 ( $\text{NH}_3$ ) 的堆積。

## 第四節 無氧閾值與恢復期乳酸排除分析

恢復期最大乳酸濃度與最後採集血液時間為第 15 分鐘 (E15) 分析，結果顯示低氧腳踏車負荷恢復期最大乳酸堆積濃度達  $15.9 \pm 1.4$  mmol/l，E15 則為  $12.0 \pm 0.7$  mmol/l。兩者乳酸平均值差異  $-3.9$  mmol/l ( $p < 0.0001$ )。划船測試恢復期最大乳酸堆積濃度與 E15 採集點分別為  $16.1 \pm 1.7$ 、 $13.3 \pm 2.7$  mmol/l，兩次差異  $-2.8$  mmol/l ( $p < 0.001$ )。如圖 4-4-1 所示。

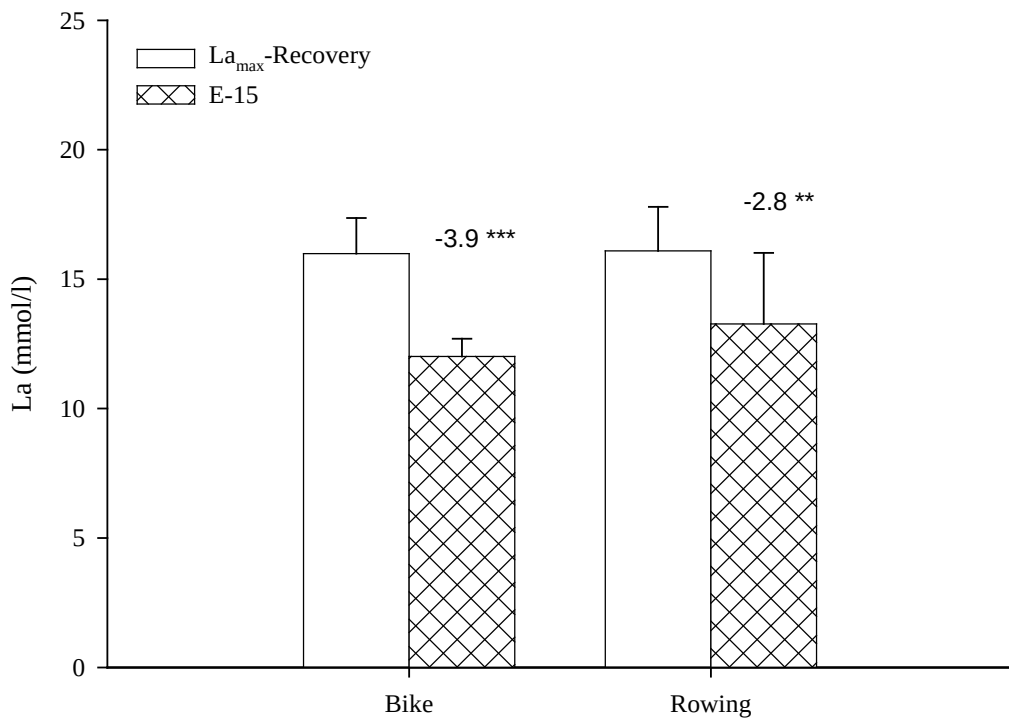


圖 4-4-1: 恢復期最大乳酸堆積與最後採集時間 E15 乳酸排除

圖 4-4-2 為無氧閾值 (4mmol/l) 耐力與低氧負荷腳踏車 (Bike)、划船 (Rowing) 恢復期乳酸排除速度關係分析。腳踏車測試恢復期最大乳酸堆積與最後採集時間，血液乳酸排除介於 2.3 - 5.4 mmol/l，划船負荷則介於 0.8 - 4.5 mmol/l 之間。腳踏車負荷恢復期乳酸排除速度與 4 mmol/l 無氧閾值耐力未呈現顯著相關 ( $r^2 = 0.1$ )，划船負荷與無氧閾值耐力亦未顯現相關 ( $r^2 = 0.01$ )。

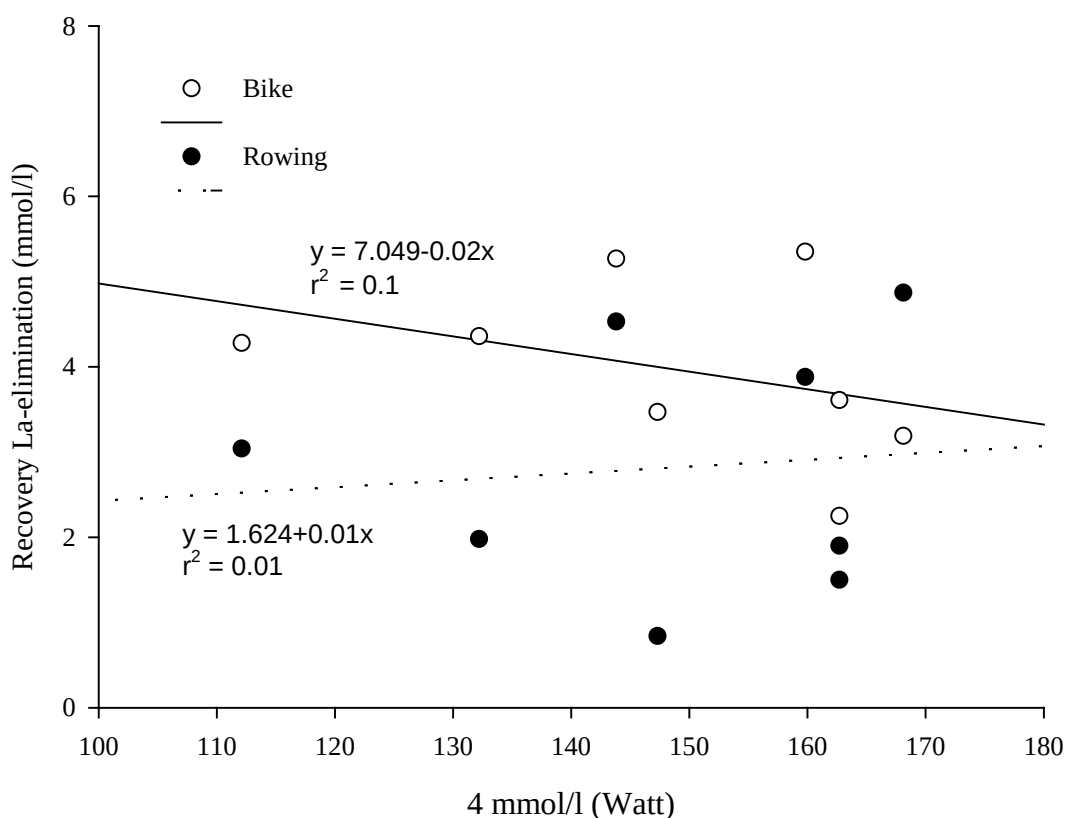


圖 4-4-2：低氧負荷恢復期乳酸排除速度與無氧閾值耐力關係分析

結果分析顯示兩項在低氧負荷測試，最大乳酸堆積濃度未呈現顯著差異 (圖 4-4-1) 。此顯示兩項運動型態，雖然在肌肉應用方式不同，但是相同的是肌肉必須承受比較大的阻力，因此在低氧環境造成無氧症狀反應是相同的。Grosser Starischka, 與 Zimmermann (1981) 提出肌肉收縮方式與疲勞反應之理論解說，在相同是阻力模式運動負荷，均會造成血液大量乳酸堆積現象。本研究結果分析，在腳踏車與划船測功儀負荷亦顯現相同症狀。恢復期乳酸排除速度受到三個生理機制影響，個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量 (Hollmann & Rost, 1982) 。此現象顯示受試者具備良好的生理機制。

另一症狀分析分析無氧閾值耐力能力，對恢復期乳酸排除未呈現相關症狀 (圖 4-4-2) 。此交互關係主要在於無氧路徑與恢復期的生物再修補機制不同所致。Schulz, Rautenberg, Horn, 與 Heck (1999) 指出恢復期動態休息方式，亦可加速血液乳酸排除速度。

## 第伍章 結論

- 一、低氧不同負荷訓練對4 mmol/l無氧閾值能力有提昇的效果，但仍需要時間的適應，才能使體循環達顯著的改善。
- 二、乳酸的生成與排除與人體有氧代謝能力有關，更受到負荷強度的大小 和無氧代謝能力的高低有關。
- 三、無氧閾值與低氧負荷呈現具備較佳的閾值耐力 (4mmol/l) 者，其低氧負荷亦呈現較低乳酸堆積。
- 四、研究結果顯示無氧閾值耐力能力對急性低氧負荷產生影響，因此建議欲進行低氧或急性負荷訓練，必須先改善提升個人4 mmol/l 閾值耐力，才能達到較佳訓練效果。

## 參考文獻

### 中文部份：

- 蕭敬衡 (2013)。一週低氧訓練對舉重選手力量耐力恢復期之影響 (未出版碩士論文)。國立體育大學，桃園縣。
- 陳德盛 (2010)。單次不同型態高強度運動對肌肉疲勞及損傷之探討 (未出版碩士論文)。國立體育大學，桃園縣。
- 陳亮仔 (2006)。不同的間歇性低氧環境對血管功能及血液動力控制之短、長期效應 (未出版論文)。國立體育學院，桃園縣。
- 邱奕棠、李黛安、陳佳慧、張嘉澤 (2012)。無氧閾值速度對最大乳酸堆積之影響。中華民國運動教練協會春季研討會。國立體育大學。
- 吳劭文 (2009)。兩週不同負荷訓練對青少年跳繩選手3 min 耐力賽專項表現之影響(未出版碩士論文)。國立臺灣體育大學，台北。
- 張嘉澤 (2008)。訓練學。台北縣林口鄉：運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整。台北縣林口鄉：運動能力診斷協會。

### 英文部分：

- Bernardi, L., Passino, C., Serebrovskaya, Z., Serebrovskaya, T., & Appenzeller, O. (2001). Respiratory and cardiovascular adaptations to progressive hypoxia. *European Heart Journal*, 22 (10), 879-886.
- Borg, G. (1985). *An introduction to Borg's RPE-scale*. Ithaca, NY: Mouvement.
- Chapman, R. F., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology*, 85, 1448-1456.
- Davidson, D., & Stalcup, S. A. (1984). Systemic circulatory adjustments to acute hypoxia and reoxygenation in unanesthetized sheep: Role of renin, angiotensin II, and catecholamine interactions. *Journal of Clinical Investigation*, 73(2), 317-328

- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B...Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1238-1248.
- Grosser, M., Starischka, S., & Zimmermann, E. (1981). Allgemeine Trainingsprinzipien und biologische adaptation. In: Koelner Beitrage zur Sportwissenschaft, Bd. 8/9, 113-132.
- Gute, D., Fraga, C., Laughlin, M. H., & Amann, J.F. (1996). Regional changes in capillary Supply in skeletal muscle of high-intensity endurance-trained rats. *Journal of Applied Physiology*, 81(2), 619-626.
- Hamlin, M. J., & Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Science*, 25 (4), 431-441.
- Harre, D. (1986). *Trainingslehre*. Berlin (DDR). 282-292.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Trainerakademie Köln, schorndorf. Hofmann. 39-46.
- Heck , H., & Schulz, H. (2002). Method end eranaeroben Leistungsdiagnostik *Deutsche Z SportMed*, 53, 7-8 .
- Hellemans, J. (1999). Intermittent hypoxic training: A review. *Book of Abstract* (p. 7-8). Proceedings of the Gatograde International Triathlon Science II Conference, Noosa.
- Hochachka, P. W., Stanley, C., Matheson, G. O., Mckenzie, D. C., Allen, P. S., & Parkhouse, W. S. (1991). Metabolic and work efficiencies during exercise during exercise in Andean natives. *Journal of Applied Physiology*, 70(4), 1720-2730 .
- Hollmann, W. (1959). The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial and venous blood, the ventilation (PoW) and puls frequency during

- increasing spiro-ergometric work in endurance-trained and untrained person. *Pan American Congress for Sports Medicine*, Chicago.
- Hollmann, W., & Liesen, H. (1973). Der Einfluß eines zweiwöchigen Höhentrainings auf die Leistungsfähigkeit im Flachland, gemessen an spiroergometrischen und metabolischen Parametern
- Hollmann, W., Liesen, H., Rost, R., & Kawahats, K. (1978). Über das Leistungsverhalten und die Trainierbarkeit im Alter. *Z. Geront*, 11, 312.
- Hollmann, H., Schürch, P., Heck, H., Mader, A., Rost, R., & Hollmann, W. (1987). Kardiopulmonale Reaktion und aerob anaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Dtsch. Z. Sportmed*, 38 (4), 144-156
- Hollmann, W., & Rost, R. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren. 120-126.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. H. (1990). *Sportmedizin*. Grundlagen für Arbeit Training und Präventivmedizin. Auflage 2.
- Hood, D. A. (2001). Plasticity in skeletal, cardiac, and smooth muscle: Invited review: Contractile activity induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 90(3), 1137-1157.
- Hottenrott, K. (1993). Trainingssteuerung im Ausdauersport: Theorien-Untersuchungen-Beispiele. *Sportwissenschaft und sportpraxis*, 92, Czwalina Verlag.
- Jaric, S., Sasa, R., Sladjan, M., Milos, L., & Radmila, A. (1997). A comparison of the effect of agonist and antagonist muscle fatigue on performance of rapid movement. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 41-47.
- Keul, J., Dickhuth, H. H., Lehmann, & Huber, G. (1981). Allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik im Hochleistungsbereich.

- Kirkendall, D. T. (1990). Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (4), 444-449
- Karlsson, J., Peterson, F.B., Henriksson, J., & Knuttgen, H. G. (1975). Effect of previous exercise with arm and legs on metabolism and performance in exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 38, 763-767.
- Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., Iwasaki, K. I., & Miyamura, M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *European Journal of Applied physiology*, 92, 75-83.
- Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In: *Kraft und Schnellkraft im Sport*, 178-182.
- Liesen, H., Ludemann, E., Schmengler, D., Föhrenbach, R., & Mader, A. (1985). Trainingssteuerung im Hochleistungssport: einige Aspekte und Beispiele. *Dtsch Ztschr Sportmed*, 36, 8-18.
- Mader, A., Liesen, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P., & Hollmann, W. (1976) Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportart Sportmed*, 27, 80—88
- Mader, A. (1988). A Transkription-translation Activation Feedback Circuit as a Function of Protein Degradation, with the Quality of Protein Mass Adaptation Related to the Average Functional Load. *Journal of Theoretical Biology*, 134-135.
- Mader, A., & Heck, H. (1991). Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis der Humanleistungsphysiologie. *Spectrum der wissenschaften*, 3, 5-54.
- Neumann, G. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. In: Das grosse Buch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag, 222-223. In：張嘉澤，運動能力診斷與訓練調整。
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottentott, K., (1993). Alles unter Kontrolle. 1 Auflage.

- Aachen: Meyer & Meyer. In：張嘉澤，運動能力診斷與訓練調整。
- Newsholme, E. A., & Leech, A. R. (1983). *Biochemistry for the medical Science*. Toronto: Wiley.
- Power, S. K., & Howley, E. (2002). 運動生理學：體適能與 46 運動表現的理論運用 (林貴福，徐台閣& 吳慧君，Trans. 林正堂總校閱 ed.)。台北市：麥格羅希爾國際股份有限公司。
- Nikiforov, I. (1974). About the structure of raining in boxing. *Scientific Work (Moscow)* 6, 81-91.
- Norman, R.W., & Komi, P.V. (1979). Electromyographic delay in skeletal muscle under normal movement conditions. In: *Kraft und Schnellkraft im Sport*, 173-175.
- Pessenhofer, H., Schwaberg, G., Sauseng, N., & Kenner, T. (1987). Modellorientierte Berechnung der laktaziden Energiekomponente bei Kurzzeitbelastungen ausgehend vom Laktat-Konzentrationsverlauf im Blut. *Sportmedizin Kurzbestimmung Springer Berlin*. 477-481.
- Ponsot, E., Dufour, S. P., Zoll, J., Doutreleau, S., N'Guessan, B., Geny, B... Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II: Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1249-1257.
- Ren, J. M., Semenkovich, C. F., Gulve, E. A., Gao, J., & Holloszy, J. O. (1994). Exercise induces rapid increases in GLUT4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. *The Journal of Biological Chemistry*, 269(20), 14396-14401.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cusso, R., & Parra J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 82, (5-6), 480-486.
- Schulz, H., Rautenberg, B., Horn, A., & Heck, H. (1999). Herzkreislauf und

- Stoffwechselverhalten beim Inline-Skaten. Schorndorf, Hoffmann Verlag.
- Stamford, B. A., Weltman, A., Moffatt, R., & Sady, S. (1981). Exercise recovery above and below the anaerobic threshold following maximal work. *Journal of Applied Physiology*, 51(4), 840-844.
- Talanian, J. L., Galloway, S.D., Heigronhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of High-intensity aerobic interval training increase the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102, 1439-1447.
- Wassnermann, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., & Beaver, W.L. (1973). Anaerobic threshold and Respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35, 236-243
- Weicker, H., & Strobel, G. (1994). *Sportmedizin: Biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung*: G. Fischer Verlag, S.25-28.  
In : 張嘉澤，運動能力診斷與訓練調整。
- Zintl, F. (1994): Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. In : 張嘉澤，訓練學。