

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

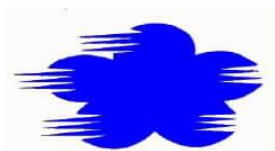
一週低氧訓練對舉重選手力量耐力恢復期之影響

Effect of One Week Hypoxic Training on Weightlifters
Recovery Period of Power Endurance

指導教授：張嘉澤 博士

研 究 生：蕭敬衡 撰

中 華 民 國 102 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

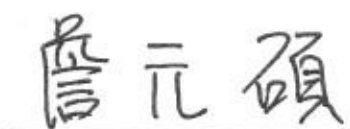
本論文：一週低氧訓練對舉重選手力量耐力恢復期之影響

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生蕭敬衡所提，
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

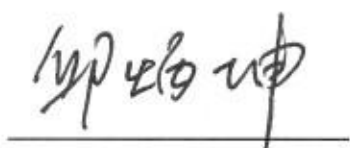
中華民國 102 年 6 月

論文考試委員



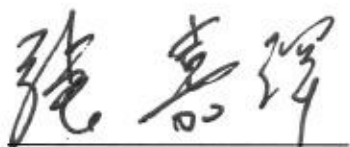
詹元碩 博士

國立臺北教育大學教授



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)

一週低氧訓練對舉重選手力量耐力恢復期之影響

摘要

目的：探討一週低氧訓練對舉重選手基礎耐力及專項力量耐力恢復期體循環與新陳代謝之影響。**方法：**以 6 名大專舉重選手為研究對象。本研究共有三種測試及一週低氧訓練。測試方式為 1 RM 測試、基礎耐力測試及專項測試。而一週低氧訓練則於常壓低氧艙以划船測功儀進行耐力訓練，氧氣濃度定為 13 %。以相依樣本 t 考驗、重複量數單因子變異數分析以及皮爾森積差相關進行分析，顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。**結論：**一、一週低氧訓練對舉重選手有氧閾值能力有提升的效果，無氧閾值部分呈現退步的情形。二、一週低氧訓練對力量耐力恢復期血乳酸部分，上肢未產生適應，無顯著改變，下肢完成後最大乳酸值顯著下降，乳酸排除顯著增加；血氨在下肢完成後達顯著下降。三、一週低氧訓練對力量耐力恢復期心跳率部分，上肢皆無顯著改變，下肢完成後心跳率達顯著下降。四、一週低氧訓練期間心跳率、血乳酸及血氧飽和濃度皆未達顯著改變，顯示受試者在一週訓練過程當中並未產生適應的反應。五、低氧訓練後個人 V4 能力與力量耐力測試之最大乳酸值未呈現相關，可能的原因在於一週低氧訓練雖有改善舉重選手專項無氧糖酵解能力，但在基礎耐力中 V4 能力未產生適應，故影響到後測之相關性。

關鍵詞：心跳率、血乳酸、血氨、血氧飽和濃度、適應

Effect of One Week Hypoxic Training on Weightlifters Recovery Period of Power Endurance

Abstract

The **purpose** of this study was investigated the effect of one week hypoxia training on weightlifters recovery period of power endurance. **Methods:** 6 university weightlifters athletes who volunteered to participate in this study. Three test and one week hypoxic training were used in this study, one was 1RM test (upper and lower limb) and threshold capacity test (2-4 mmol/l) and power endurance test. Further, one week hypoxic rowing training set at 13% oxygen concentration at normal pressure environment. The data collected were analyzed by one-way ANOVA, repeated measures, person product-moment correlation and the paired sample t-test with significant level of $\alpha=.05$. **Conclusions:** (a) one week hypoxia training can increase weightlifters' aerobic Threshold ability, but anaerobic Threshold ability was decrease. (b) one week hypoxia training on blood lactic of recovery period of power endurance, upper limb can not adapted, but lower limb La_{max} was decreased, lactic remove rate was increased. (c) one week hypoxia training on heart rate of recovery period of power endurance, upper limb was no significant difference, but lower limb heart rate was decreased. (d) The one week hypoxia training period, HR, La and SpO_2 was no significant difference. (e) After hypoxia taining, there are no Correlation between V4 ability and La_{max} of power endurance test, speculate the hypoxia training can improve weightlifters' anaerobic glycolysis ability, but V4 ability can not adapted, therefore influence T2

Correlation.

Key words: heart rate, blood lactic, NH_3 , SpO_2 , adaptation.



謝 誌

本論文得以完成，首先要感謝指導教授張嘉澤博士悉心指導以及鞭策，在學術研究上給予我盡心的指導與協助，並且不時的關切研究進度以及提供良好的建議和相關資訊，促使本論文能如期完成，在此至上最深的感謝。本論文承蒙邱炳坤教授與詹元碩教授，在論文上給予精闢的見解與啟發，使其更為完善，特此深切的表達由衷的謝意。

在學期間，除了師長們的教誨之外，非常感謝SPDI實驗室每位成員，在日常生活中或實驗過程中能有他們的協助，讓我無後顧之憂的更可專注實驗的進行。施測期間衷心感謝參與本研究受試者辛苦的配合，使本論文實驗得以順利完成。

最後，要感謝我的母親瑞琴、父親煒庭、姐姐愛童、弟弟少欽、女友潔怡以及身旁所有的朋友們，在精神上給予我支持與鼓勵，讓我得以無後顧之憂下，追求理想，完成學業及訓練。

在此願將本研究結果，獻給支持我的師長及親友，與您們共同分享這份成果，並誠摯地祝福曾經協助本研究的每一位同仁。

蕭敬衡 謹識

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝 誌	IV
目 錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
中英文對照縮寫表	IX
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	3
第貳章 文獻探討	4
第一節 有氧-無氧閾值與血乳酸之相關文獻	4
第二節 NH_3 、心跳率及 SpO_2 之相關文獻	6
第三節 常壓低氧環境下生理機轉與低氧訓練之相關研究	9
第四節 訓練適應之相關文獻	12
第五節 文獻總結	14
第參章 研究方法	16
第一節 研究對象	16
第二節 實驗時間與地點	16
第三節 實驗儀器與設備	17
第四節 實驗程序與流程	17
第五節 實驗方法與步驟	18
第六節 資料處理與分析	20

第肆章 結果與討論.....	21
第一節 有氧與無氧 2-4 mmol/l 閾值能力分析與討論	22
第二節 專項測試運動結束後之乳酸曲線分析與討論	24
第三節 專項測試結束後之 NH_3 分析與討論	27
第四節 專項測試結束後之心跳率分析與討論	29
第五節 低氧訓練後之心跳率、 SpO_2 及血乳酸之適應分析與討論	32
第六節 4 mmol/l 能力對專項最大乳酸堆積之相關分析與討論	38
第伍章 結論	40
參考文獻	41
附錄	49



表目錄

表 2-1 耐力能力藉助心跳率之分析.....	8
表 2-2 低氧環境下之症狀.....	10
表 2-3 不同高度與氧氣濃度.....	12
表 3-1 受試者資料.....	16
表 3-2 1RM 測試方式.....	18
表 3-3 專項測試內容.....	19
表 3-4 低氧訓練內容.....	19
表 4-1 2-4mmol/l 有氧-無氧閾值瓦特與心跳率平均數標準差.....	22



圖目錄

圖 2-1 乳酸閾值 2-4 mmol/l.....	6
圖 2-2 訓練的生物效果鏈.....	13
圖 2-3 主要生物參數改善所需時間.....	14
圖 3-1 實驗流程.....	17
圖 4-1 專項測試結束後之乳酸曲線（上肢）	24
圖 4-2 專項測試結束後之乳酸曲線(下肢)	25
圖 4-3 專項測試結束後之 NH_3 分析.....	27
圖 4-4 專項測試運動結束後之心跳率（上肢）	29
圖 4-5 專項測試運動結束後之心跳率（下肢）	30
圖 4-6 四天低氧訓練運動後之心跳率分析.....	32
圖 4-7 四天低氧訓練運動後之 SpO_2 分析.....	34
圖 4-8 第一天與第四天低氧訓練運動後之血乳酸分析.....	36
圖 4-9 無氧閾值 4mmol/l Watt 對專項最大乳酸堆積之相關.....	38

中英文對照縮寫表

2 mmol/l	Aerobic threshold	有氧閾值
4 mmol/l	Anaerobic threshold	無氧閾值
HR	Heart rate	心跳率
NH ₃	Ammonia	血氨
La	Lactic acid	乳酸
SpO ₂	Saturation of Peripheral Oxygen	血氧飽和濃度
s	Second	秒
min	Minute	分鐘
m	Meter	公尺
T-1	Test-1	專項力量耐力測試
T-2	Test-2	2-4 mmol/l 測試
T-3	Test-3	2-4 mmol/l 測試
T-4	Test-4	專項力量耐力測試
ATP	Adenosine triphosphate	腺嘌呤核苷三磷酸
PC	Phosphocreatine	磷酸肌酸

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

舉重運動的發展至今已有悠久的歷史，遠在公元四千多年前，就有著關於舉重活動之記載，當時的古埃及繪畫記述了法老們舉沙袋或其它重物來鍛煉身體，這就是用舉重來進行鍛煉的最早的記錄。1896 年在雅典舉行的第 1 屆奧運會上，舉重被列為正式比賽項目，是 9 個正式競賽的項目之一。而舉重發展至今是以體重分量級來比賽，男子依體重共分八級，女子共分七級進行比賽。現今的舉重比賽分為抓舉與挺舉兩式，其比賽程序是先輕級別，後重級別；先抓舉，後挺舉，兩種舉式必須在同一場內完成。運動員在該場比賽前兩個小時開始秤量體重。全場比賽共有六次試舉機會，即抓、挺各三次。場上槓鈴重量是逐步增加的。抓舉及挺舉之運動過程雖只維持數秒，但其運動強度相當大，Badtke (1987) 指出，短時間高強度之運動負荷其主要能量來源為無氧非乳酸系統。但在競賽規則中，每一舉的間歇時間往往只有 1-2 min，短時間的間歇後，又要執行下一回合之試舉，且強度向上提升，此現象將可能導致 ATP-PC 恢復不及而動員到無氧糖酵解或蛋白質以提供快速的能量需求，進而影響運動表現。決定舉重運動的勝負主要取決於最大力量及快速力量兩種能力的結合，但對於優秀的舉重運動員而言彼此的競技水平都相當接近，若想在決勝時刻把握勝機，除了技術及爆發力外，還需有較長時間維持高競技狀態的能力。此外，詹貴惠、許美智、蔡溫義 (1998) 之研究指出，舉重選手在進行專項訓練後乳酸值約 3.5-5.5 mmol/l，而在進行其它輔助性重量訓練後，乳酸值會大幅上升，甚至有些選手高達 14 mmol/l。因此，舉重選手平常在訓練時，則必須具備良好的耐力及恢復機轉，才能應付每日強大的訓練量，達到高質量的訓練效果。由

上述可知，舉重運動在比賽時必須不斷挑戰更高的重量，且每次試舉間歇時間相當短暫，屬於高強度運動，而除了比賽外平時訓練強度亦相當大，因此平時訓練時選手若無快速恢復的能力，將導致每一回合訓練時體內之磷酸肌酸 (ATP-PC) 快速耗盡，此時將啟動無氧糖酵解以提供快速的能量需求，進而產生乳酸、 NH_3 等負產物的堆積，影響訓練品質 (Fox, 2002)。

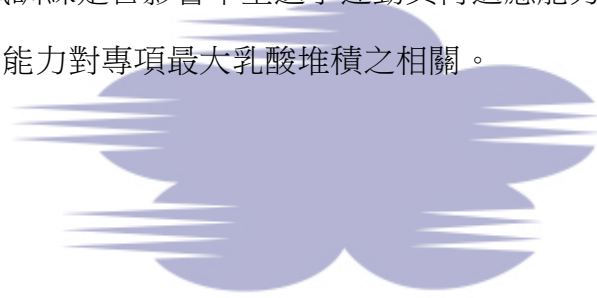
過去研究指出，透過高地訓練的目的與效果，主要在於快速提升一般耐力與改善專項耐力。其訓練型態分為自然高地與人為低氧艙 (張嘉澤，2008)。

Hollmann and Liesen (1973) 指出，透過自然高地訓練主要產生之功能為：提升 Hb 數量，改善血液氧氣運輸、改善在肌肉內的氧傳輸、增加血液循環容積，改善血液含氧量、改善有氧與無氧能量代謝容積等。但進行高地訓練時，必須克服許多適應的問題，包括平地與高地往返耗時的適應，訓練強度以及訓練量下降等，故延伸出高住低練之訓練模式 (Levine & Stray-Gundersen, 1997)。而高住低練之模式雖可克服上述之情形發生，但每天高地與平地往返，在執行與應用上極為不便，因此近年來對於低氧的研究則開始朝向常壓低氧之方向，透過人為製造密閉式常壓低氧的環境，克服了高地訓練強度之不足外，並節省了高山與平地往返耗時之缺點。而過去研究指出，低壓低氧與常壓低氧兩種訓練模式，在許多的生理參數上，並無顯著差異，透過常壓低氧之訓練模式，雖無法改變血液中血球蛋白之數量，但同樣擁有高地訓練之刺激效果 (Hammond, Gale, Kapitan, Ries, and Wagner, 1986)。透過上述文獻可知，低氧訓練主要之效果為耐力的提升，而過去關於低氧訓練之研究幾乎都針對耐力性運動項目為研究主題，但對於訓練量強大的舉重選手而言，亦需安排低氧訓練做為提升耐力及恢復機轉之訓練模式。

第二節 研究目的

本研究是針對大專舉重選手進行為期 1 週的高強度低氧訓練，根據 Neumann (1990) 提出之生物參數改善所需時間之理論，心跳率及乳酸改善以日、週為單位。因此本研究訓練週期定為 1 週高強度低氧訓練，並以個人基礎耐力及專項負荷進行前後測的差異。

- 一、探討一週低氧訓練是否影響個人基礎耐力 2-4 mmol/l 閾值能力。
- 二、探討一週低氧訓練是否影響專項訓練恢復期血乳酸及血氨之變化。
- 三、探討一週低氧訓練是否影響專項訓練恢復期心跳率之變化。
- 四、探討一週低氧訓練是否影響舉重選手運動負荷適應能力。
- 五、探討個人 V4 能力對專項最大乳酸堆積之相關。



第貳章 文獻探討

第一節 有氧-無氧閾值與血乳酸之相關文獻

乳酸是糖類代謝（無氧糖酵解）之中間產物，當肌肉持續高強度運動時，主要能量來源為糖解作用所產生的 ATP，而在無氧狀態下，其產物丙酮酸則被還原而形成乳酸。當運動強度越大，所產生的乳酸就越多，將會直接影響血液之 pH 值的下降，降低運動表現 (Fox, 2002)。Brooks (1985) 指出，以無氧糖酵解提供快速的能量需求時，乳酸製造率與清除率將失去平衡，此現象表示運動強度升高，此時血液中乳酸也將迅速堆積。乳酸之生成是依據運動時間、運動強度及運動項目而有高低，同時也必須視訓練的情況，促使肝糖分解而影響乳酸值 (Hollmann & Liesen, 1973)。過去研究指出，透過急性高強度的阻力訓練將導致血液乳酸值向上堆積 (Brown et al., 1990；Kraemer et al., 1987；Tesch et al., 1986)。Heck, Liesen, Mader, and Hollmann (1981) 的研究指出，以乳酸做為判斷運動能力的指標，可正確的辨別個人最大負荷的程度。Braumann, Busse, and Maassen (1987) 的研究指出，乳酸和肝糖的測試對於運動能量代謝診斷及訓練調整上為可應用之生物參數。Numann, Pfitzner, and Hottentott (1993) 年亦提出，對於乳酸在訓練負荷的控制應用，乳酸值具有下列之功能：做為運動強度的判斷、做為有氧能力的判斷、做為訓練範圍的判斷、做為訓練類型的判斷以及做為訓練方法的判斷。過去以血乳酸在運動訓練上之應用中，以 Mader et al. (1976) 年所提出的有氧-無氧閾值 2-4 mmol/l 之理論，最具實用性及方便性，且適用於一般人與競技運動員。所謂的有氧閾值，指的是在低強度負荷下，肌肉活動從有氧糖酵解及脂肪代謝做為能量提供的來源，而其乳酸值在 2 mmol/l 之下，當強度持續上升至 4 mmol/l 以上時，主要能量來源將由

無氧糖酵解取代 (Pansold, 1982)。有氧閾值其主要特徵為乳酸值在於 2 mmol/l 之下，做為描述有氧能量代謝來源的界線，此時乳酸雖還會繼續生成，但將於肌肉內被排除。當運動強度大於 4 mmol/l 時，為了能夠在單位時間內將能量釋出，保持無氧狀態，高度的糖酵解能量生產是必要的，此時就算中止運動負荷，血乳酸之反應還是會持續上升，如圖 2-1 所示。然而在運動過程中乳酸的堆積與排除，是依據個人有氧-無氧能力而定，有氧能力越高者，乳酸排除速度就越快 (張嘉澤，2010)。Hollmann et al. (1987) 年指出，競技運動員之有氧-無氧閾值能力，其 2 mmol/l Watt 必須到達 ≥ 100 Watt；4 mmol/l Watt 則必須達到 ≥ 130 Watt。2-4 mmol/l 能力的提升，可加速生物參數之恢復速度，尤其是短時間高強度之運動，如：舉重、球類以及技擊等 (張嘉澤，2010)。Marcinik et al. (1991) 指出，透過耐力訓練將改善舉重選手訓練後的乳酸值，而乳酸閾值較高者，訓練後所產生的乳酸值也較低。過去研究亦指出，高強度的阻力訓練結合耐力訓練，將可有效改善舉重選手恢復能力、心跳率、以及減少乳酸的堆積，進而延緩疲勞的發生 (Pierce et al., 1993)。McMillan et al. (1993) 以漸增式舉重負荷之研究發現，無論是舉重選手或一般未訓練者在舉重訓練後，其乳酸值皆高達 9 mmol/l 以上。Robergs (1991) 以 8 名男性，分別於不同日進行 6x6 的腿部伸展 (Leg extension)，強度為 70 % (1RM)，以及 6x12，強度為 35 % (1RM)，結果顯示 70 % 負荷完乳酸值高達 11 mmol/l，而 35 % 高達 13 mmol/l。

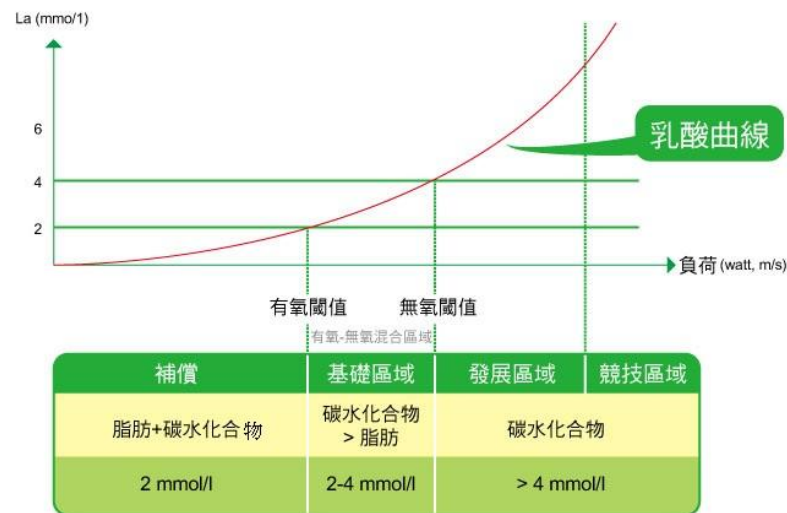


圖 2-1 乳酸閾值 2-4 mmol/l

第二節 NH_3 、心跳率及 SpO_2 之相關文獻

一、血氨:

血氨 (ammonia, NH_3) 是人體內各器官與組織代謝的產物之一，其分子非常小，它在細胞內產生後會經過細胞膜進入血液，並可透過血腦障壁 (Blood-Brain Barrier, BBB) 進入中樞神經系統，人體在短時間高強度的運動負荷中，動員大量的快縮肌，以至於血液中的氨在短時間內大量產生 (Weicker, 1988)。其生理機轉在於在短時間高強度運動中，人體原本所儲存之 ATP-PC 急速耗盡，導致肌肉動員到蛋白質做為能量來源，此時將釋放皮質醇 (Cortisol) 作為分解蛋白質轉成胺基酸型態，接著胺基酸會進入肝臟轉變為 α -酮酸 (α -Keto acid)，在此過程當中受到氧化脫胺作用的影響而解成 NH_3 (Classen, Diehl, & Kochsiek, 1993)。當人體處於一般安靜狀態下，血液之 NH_3 大多來自於食物的消化作用，主要是由於腸胃中蛋白質的消化代謝作用，以及產生尿意的代謝作用而形成，而在安靜狀態下，肌肉中動靜脈 NH_3 濃度差異接近為零 (Mutch &

Banister, 1983)；倘若在運動負荷情況下，血液 NH_3 之產生主要來自於肌肉 (Lowenstein, 1972)。而其又會依據持續時間、運動強度而有不同的生成量 (Banister et al., 1983；Itoh & Ohkuwa, 1990)。早在西元 1922 年已有人提出氨與疲勞之間是有關聯的 (Mutch & Banister, 1983)。Banister and Cameron (1990) 指出，運動時血氨值隨著運動強度上升，血氨水平將呈線性增加，因此運動亦使血氨上升，進而導致疲勞的發生。Lowenstein (1972) 指出，血氨之產生主要來源為肌肉，進行運動負荷時，血氨的產生是肌肉及工作量的比例。因此當運動強度越大時，所產生之血氨濃度越高。故可作為監測運動強度的敏感指標。Banister and Cameron (1990) 亦指出，運動中氨的堆積與疲勞間具有密切之相關，其原因為血氨的累積影響動作協調與運動技術之控制能力，在短時間高強度的運動中，血氨值的升高將反映出身體無氧功能系統的失衡，而骨骼肌能量代謝受到影響，進而影響肌肉做功能力而導致疲勞的發生。Wagenmakers (1998) 指出，短時間高強度的運動中血氨值之上升與快縮肌纖維收縮時間成正相關。由上述可知血氨可做為運動負荷強度之監控指標。

二、心跳率:

運動後心跳率之恢復可代表自主神經系統 (autonomic nervous system；ANS) 之作用徵狀，其系統包括使心肌興奮、心跳率上升之交感神經、及降低心跳率的副交感神經 (Fox, 2002)。當運動負荷中止時，受到神經中樞命令的停止、壓力的反射以及其它機制影響下，副交感神經活動度上升，而導致即使交感神經維持活躍的狀態，其心跳率仍然呈現下降的趨勢，而當運動負荷後心跳率下降速度呈現延遲或緩慢之現象，可解釋為自主神經系統作用的減弱 (O'Leary, 1993)。

Hollmann (1982) 年指出，透過耐力訓練可有效改善運動負荷後之心跳率，其主要生理適應包括：心肌肥大（增加心臟每分鐘容量）、相同負荷下心跳率減

少、安靜心跳率降低、紅血球量增加、血液容積增加及改善血液流動特性等。Marsh (2003) 以 30 名青少年為受試對象，將其分為運動員及非運動員各 15 名，並以 400 m 慢跑做為運動負荷測試，觀察其運動後心跳率之恢復，結果顯示，運動員組心跳率之恢復速度顯著優於非運動員組，並發現透過運動訓練可有效的加速心跳率恢復之時間。Gocentas, Landor, and Juozulynas (2007) 以 7 名籃球運動員為受試對象之研究指出，有氧能力較佳之選手其運動後心跳率恢復較快。Tiukinhoy, Beohar, and Hsie (2003) 亦證實透過運動訓練可有效改善運動後心跳之恢復能力。Smith (1982) 的研究指出，受試者透過耐力訓練後，不僅安靜心跳率下降，其相同負荷下之心跳率亦會下降，而每跳輸出量增加，進而提升氧氣運送至作用肌，以及排除廢物之能力，而提升運動表現。Böhmer et al. (1975) 指出，以運動結束後第 5 min 的心跳率可評價個人有氧耐力之方式，其評價分級如表 2-1。

表 2-1 耐力能力藉助心跳率之分析

運動後第 5min 心跳率	評價
130min^{-1}	很差
$130-120\text{ min}^{-1}$	差
$120-115\text{ min}^{-1}$	尚可
$115-105\text{min}^{-1}$	好
$105-100\text{ min}^{-1}$	很好
$<100\text{min}^{-1}$	高競技力

三、血氧飽和濃度

依據人體生理學指出，所謂的血氧飽和濃度指的是血氧含量以及血氧容量之百分比，而血氧飽和濃度與紅血球所攜之氧氣含量具有高度的關係 (Fox,

2002)。其檢測方式現今普遍以非侵入性之方式，主要是透過兩光條波長 (660nm 及 940 nm) 通過動脈之血管，利用觀察通透性之差異，反映出血紅素以及氧血紅素之間的量。當人體進入到低氧環境時，呼吸功能上必須做許多調整，以代償低氧所減少的 pO_2 ，而這些調整包括換氣的改變、血紅素對氧的親和力以及總血紅素的濃度，因此與常氧下相比整體血氧飽和濃度將會減少，在此狀態下進行運動訓練將容易導致疲勞的發生 (Fox, 2002)。溫德生等人 (1999) 在一低壓艙艙航缺氧症狀與血氧飽和度的研究指出，在低氧環境下血氧飽和濃度會比常氧下來的低，此時細胞供應的氧氣將不足以維持有氧代謝之所需，糖解作用 (glycolysis) 將轉向乳酸去氫酶 (lactic dehydrogenase) 系統，此途徑將導致乳酸的堆積而造成血液 pH 值下降。Fabien et al. (2006)，以 12 名選手，分為常壓低氧 ($H=13\%$) 以及常氧組，進行三週腳踏車訓練，強度為 75 %最大攝氧量，其結果顯示運動過程中血氧飽和濃度下降，心跳率上升，而兩者呈現顯著的負線性關係。熊育彬等人 (2001) 以單次常氧 ($FIO_2 21\%$) 低氧 ($FIO_2 15\%$) 進行 10 次 V4 速度間歇訓練，結果顯示常氧組血氧飽和濃度較穩定，而低氧組卻呈現起伏的情形，顯示人體在接受刺激時，迅速出現調節的機制。

第三節 常壓低氧環境下生理機轉與低氧訓練之相關研究

低氧訓練之主要要求為競技運動表現之提升，尤其是耐力性的運動項目，配合各種不同模式的運動訓練，達到增進耐力表現之效果 (Wilber, 2001；2004)。Davidson and Stalcup (1984) 指出，急性低氧下所產生的生理機轉為：心輸出量增加、血壓上升以及組織血流重新分配 (心臟、腦部、骨骼肌之血流增加) 等。過去亦有研究指出，低氧可促使交感神經興奮、活化並增加心跳率。另外受到交感神經活化的影響，將導致不同血管做調節，血管擴張及血流增

加，保持重要器官氧氣的供給 (Rowell et al., 1989；Westendorp et al., 1997)。

Sheffied and Heimbace (1996) 依據 1940 德國航空生理學家所提出急性低氧四個週期之症狀，並加以修改後指出高度 3048-4572 m 為生理補償期，此時出現心跳率、心輸出量增加以及神經系統症狀，如表 2-2 所示。

表 2-2 低氧環境下之症狀 (Sheffied and Heimbach., 1996)

運動能力	高度	血氧飽和濃度	生理症狀
不影響期	3048 m	87-98 %	呼吸率及心跳率略增
補償期	3048-4572 m	80-87 %	心跳率及心輸出量增加，神經系統症狀出現。
干擾期	4572-6200 m	65-80 %	代償性生理反應逐漸無效，神經系統症狀更加明顯，肌肉協調不佳。
危險期	6200-7130 m	60-65 %	各種症狀更加惡化，不及時供應氧氣，隨時喪失意志甚至死亡。

過去研究指出，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，脂肪的氧化將轉向糖酵解路徑 (Hochachka, Stanley, Matheson, Mckenzie, Allen, &

Parkhouse, 1991)，低氧環境將降低骨骼肌細胞 ATP/AMP 以及 PCr/Cr 的比值，並提高 AMPK 活性。此現象將導致 AMPK 下游離磷化反應，進而增加葡萄糖的運輸 (Winder, 2001)。而心肌及骨骼肌在低氧下亦會提高葡萄糖吸收與糖源的利用 (Cartee, Douen, Ramlal, Klip, & Holloszy, 1991；Kohyama, Inoue, Doi, Kimura, Kitahata, & Saitoh, 1993)。陳佳慧等人 (2009) 指出，在進行 5 天低氧艙之訓練，健康中年運動愛好者其體循環及新陳代謝方面皆產生適應現象，而個人基礎耐力 2-4 mmol/l 亦有效提升及改善。邱奕棠等人 (2012) 以固定式自由車於低氧艙 ($O_2=13\%$) 進行 5 天耐力訓練之研究指出，五天訓練期間對於公路車選手新陳代謝與體循環呈現進步趨勢，五天訓練後，最大無氧乳酸耐力提升，乳酸值延後出現。Dofour 等人 (2006) 以 18 名長跑選手，分為常氧組 ($FIO_2 20.9\%$) 與低氧組 ($FIO_2 14.5\%$)，進行每週 2 次 VT2 為期 6 週之研究指出，低氧組最大攝氧量有顯著上升，提升粒線體功能與 ATP 供應效率提升。Milosz et al. (2011) 以 20 名自行車選手，共分為低氧組 (15.2%) 及控制組透過常壓低氧的方式進行耐力訓練，每周三次共三週，其結果顯示低氧組其平均功率輸出、體循環及新陳代謝能力皆有顯著提升。Akinobu et al. (2010) 以 40 名未受訓練之大專男性，共分為常氧組 (21%) 及低氧組 (16%)，進行 6 週，每週兩天，強度為 70% (1 RM) 之重量訓練，結果顯示低氧組其肌肉橫斷面積及最大肌力 (1 RM) 之提升幅度皆顯著高於常氧組。Nummela, Jousto, and Rusko (1996) 以 6 名 400 m 田徑選手維持正常訓練模式，居住在常壓低氧 ($FIO_2 15.7\%$) 的房間 10 天，結果顯示 400 m 成績從 49.62 ± 2.78 s 進步為 49.13 ± 2.74 s，並有效改善常氧環境下之無氧運動能力。Mori et al. (1999) 以 6 名健康男性於不同高度之低氧環境進行腳踏車測功儀耐力訓練，共三週，每週兩次，強度為最大功率輸出 50%，持續時間為 40 min，結果顯示心跳率及血乳酸皆有明顯的下降。McLellan Kavanagh, and Jacobs (1990) 之研究指出，以 30 s 及 45 s 之溫蓋特測試，於低氧下肌肉肝醣大量減少、血乳酸則大量生成，在恢復期時，血乳酸生成量則較

常氧環境下少。Manfred and Fuchs (1990) 指出，最佳改善專項耐力能力之高度為 3000-3500 m。而其氧氣濃度為 14.1-13.1 % (Berglund, 1992)，如表 2-3 所示：

表 2-3 不同高度與氧氣濃度 (Berglund, 1992)

高度 (m)	氧氣濃度 (%)
2000	16.1
2500	15.1
3000	14.1
3500	13.1
4000	12.2

第四節 訓練適應之相關文獻

透過運動訓練的負荷，器官組織系統之功能以及型態所產生的改變，是身體對於外來的刺激而顯現出“適應”的表現 (Grosser et al., 2001)，如圖 2-2 所示。

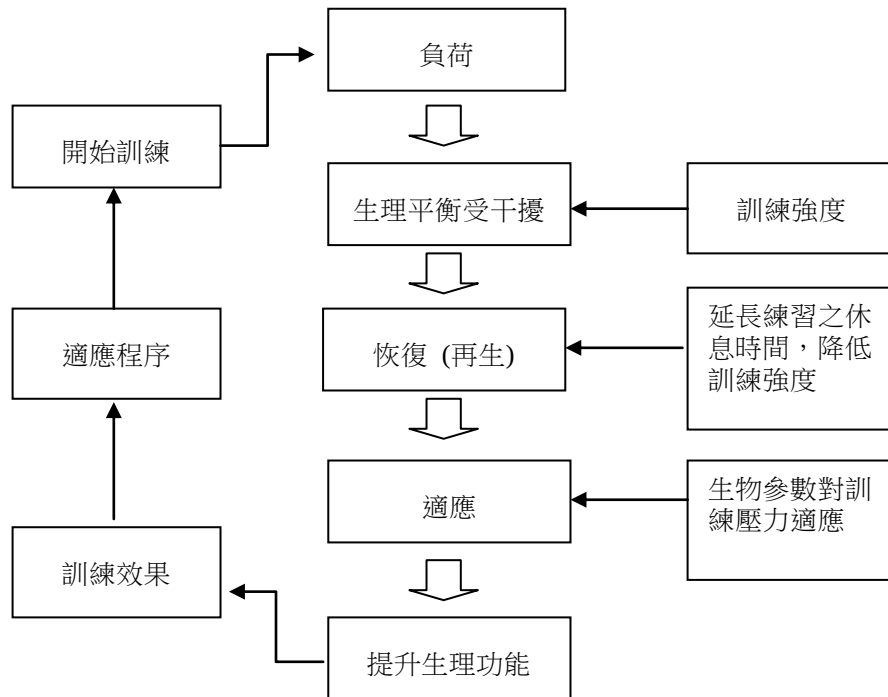


圖 2-2 訓練的生物效果鏈 (Grosser et al., 2001)

張嘉澤 (2008) 指出，當身體接受運動訓練時，人體的器官與組織即開始進入“調整”階段，器官為了應付各種不同的刺激所需的能量消耗，而隨著訓練負荷的增強而增加活性。因器官組織對於訓練產生的適應顯現，在相同運動負荷以及時間下，肌肉所代謝的乳酸值將下降，而血液乳酸的堆積，也將加速排除。Neumann (1990) 指出，在所有器官組織中，因外來的負荷刺激而最快產生適應的為心跳率的調節，其次是血液乳酸堆積以及排除的能力，至於身體其它組織的功能適應，有些則是需要比較長的時間。圖 2-3 為主要生物參數改善所需時間。

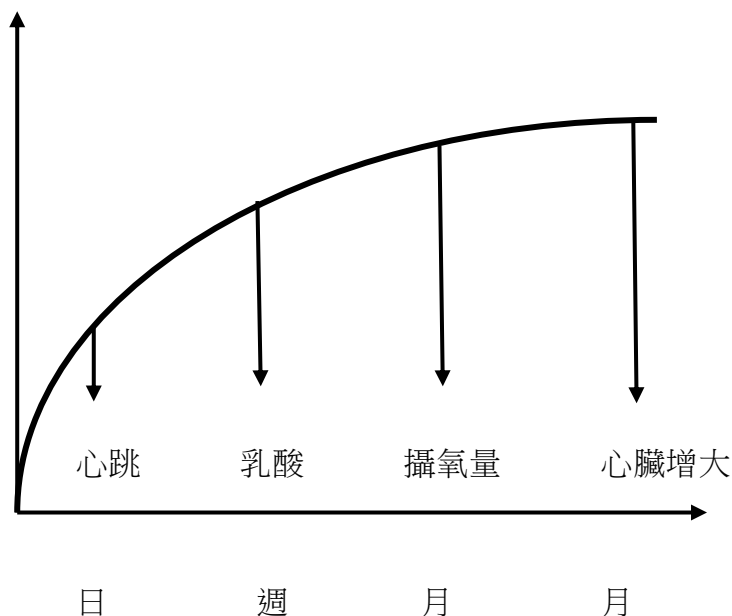


圖 2-3 主要生物參數改善所需時間 (Neumann, 1990)

Weineck (1996) 指出，影響適應程序的因素有:訓練強度類型、訓練情況、訓練方式、訓練內容、訓練器材、訓練時間、心理因素、季節、性別、年齡等。在適當的訓練負荷情況下，又具有足夠的恢復時間，即產生正適應的反應，相對的產生負的適應症狀則有下列幾點因素:訓練計畫不明確、沒有準確的訓練劑量、訓練單元順序恢復時間不足等 (張嘉澤，2008)。

第五節 文獻總結

綜合上述文獻可知，透過運動負荷會導致心跳率、血乳酸、及血氨的上升，進而導致肌肉疲勞而影響運動技術表現。雖然舉重項目主要能量來源為 ATP-PC 系統，但由於比賽及訓練型態為間歇模式，在負荷強大的情況下，亦有可能導致 ATP 的耗盡，在來不及恢復的情況下，進而動用到蛋白質及無氧糖酵解以提供快速的能量需求，此時將產生上述物質而導致疲勞的發生，影響到訓練的品質。而透過低氧訓練的模式可在短時間內提升無氧糖酵解的活性、

降低心跳率並提升耐力，使運動員在相同負荷下血乳酸及心跳率下降，並於短時間的間歇期中，改善選手恢復機轉，延緩疲勞的發生而維持訓練的質量。



第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究以 6 名大專男子舉重選手為研究對象，測試前先向受試者詳細說明研究目的及實驗流程，隨即給予每位受試者一份「受試者須知」、「運動能力診斷疾病調查表」與「受試者同意書」，請受試者詳細閱讀後填寫完畢，並確實於測試同意書上簽名。

表 3-1 受試者資料 (M±SD)

受試者	年齡(age)	身高(cm)	體重(kg)	訓練年數(years)
N=6 (男)	21.33±1.97	170.83±4.79	83.52±11.41	7.83±3.18

第二節 實驗時間與地點

時間:2012 年

地點:國立體育大學舉重訓練場、低氧實驗室。

第三節 實驗儀器與設備

- 一、EFK 德國制血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line;EFK-diagnostic)
- 二、心率偵測器 (Polar 610i)
- 三、採血設備一套 (酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、外科用手套等)
- 四、腳踏車測功儀
- 五、划船測功儀 (Concept II)
- 六、碼錶
- 七、血氨測定儀 (PocketChem BA PA-4130;ARKRAY)
- 八、低氧艙

第四節 實驗程序與流程

Wed	Thu	Fri	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Mon	Wed
1RM	專	2-4	低	低	休	低	低	休	2-4	專
	項	T2	氧	氧	息	氧	氧	息	T3	項
	測		訓	訓		訓	訓			測
	試		練	練		練	練			試
	T1									T4

圖 3-1 實驗流程

第五節 實驗方法與步驟

本研究共有三個測試，一為 1RM 測試，二為基礎耐力測試，三則為專項測試，基礎耐力與專項測試皆以前後測比較一週低氧訓練後之效果，測試內容及方式如下：

一、1RM 測試：

因選手平時皆會進行 1 RM 測試，故以原有之 1 RM 重量做為第一次測試，每 Set 間隔 3 min，不超過 3 Set，其測試方式如下：

表 3-2 1 RM 測試方式

	Test		
	1	2	3
仰臥推舉	選手現有之 1RM 重量	$\pm 2.5-5$ kg	$\pm 2.5-5$ kg
後半蹲 (Squat)	選手現有之 1RM 重量	$\pm 2.5-5$ kg	$\pm 2.5-5$ kg

二、基礎耐力測試 (T2、T3):

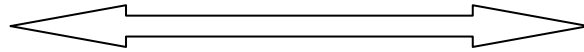
基礎耐力是使用腳踏車測功儀做有氧-無氧閾值為診斷方式，開始負荷瓦特數為 100 Watt，每階持續 5 min，每階上升 30 Watt，至個人最大負荷為止 (Hollmann et al., 1982)。

三、專項測試 (T1、T4):

熱身為慢跑 5 min，並進行 20 min 伸展後開始進行測試。

表 3-3 專項測試內容

間隔 15min



	仰臥推舉	後半蹲
負荷	40 %	40 %
範圍	4x20	4x20
休息	Set-60 s	Set-60 s
生物參數	HR: E1、E5 La: R、E1、E14 NH ₃ : R、E1	HR: E1、E5 La: E1、E3、E5、E7、E10、E15 NH ₃ : E1

四、低氧訓練內容:

於低氧實驗室進行，環境溫度控制在常溫 23-25 °C，濕度則為 45~55% RH。熱身負荷及範圍為 Level 2，1x300 m，結束後以坐姿休息 3 min，並開始進行訓練，從熱身至測試結束，選手待在低氧環境時間為 30-35 min。

表 3-4 低氧訓練內容

	常壓低氧間歇訓練 (划船測功儀)
負荷	300-400 Watt, Level 4，氧氣濃度 13 %
範圍	4x200 m
休息	Rep-90 s
生物參數	HR: E1、E5 La: R、E1、E3、E5、E7、E10、E15 SpO ₂ : E1

第六節 資料處理與分析

- 一、將所測得之數據以平均數與標準差呈現。
- 二、以相依樣本 t 考驗分析各參數前後測之差異
- 三、以重複量數單因子變異數分析比較單一測試之各時間點參數之差異
- 四、以皮爾森積差相關分析各參數之相關
- 五、以 SPSS 18.0 套裝軟體進行統計。
- 六、以 SigmaPlot 8.0 製作圖型。
- 七、顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。



第肆章 結果與討論

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 有氧與無氧 2-4 mmol/l 閾值能力分析與討論

第二節 專項測試運動結束後之乳酸曲線分析與討論

第三節 專項測試結束後之 NH_3 分析與討論

第四節 專項測試結束後之心跳率分析與討論

第五節 低氧訓練結束後之心跳率、 SpO_2 及乳酸之適應分析與討論

第六節 V4 能力對專項最大乳酸堆積之相關分析與討論



第一節 有氧與無氧 2-4 mmol/l 閾值能力分析與討論

一週低氧耐力訓練，訓練前與訓練後之基礎耐力結果如表 4-1 所示。基礎耐力前測 (T2) 有氧閾值 (2 mmol/l) 瓦特數為 70.4 ± 30.5 Watt，後測 (T3) 為 75.5 ± 37 Watt，兩者差異 $+5.1$ Watt ($p < .05$)。心跳率前後測則分別為 114 ± 15.5 min^{-1} 、 117 ± 16.1 min^{-1} ，差異為 $+3$ min^{-1} ($p > .05$)。無氧閾值 (4 mmol/l) 瓦特數前測 (T2) 為 150.5 ± 26.9 Watt，後測 (T3) 為 141.3 ± 25.0 Watt，兩次差異則為 -9.2 Watt ($p < .05$)。心跳率 T2 與 T3 分別為 155 ± 18 min^{-1} 、 156 ± 7 min^{-1} ，差異則為 $+0.5$ min^{-1} ($p > .05$)。

表 4-1 2-4 mmol/l 有氧-無氧閾值瓦特與心跳率平均數標準差。*為顯著差異。

	2 mmol/l		4 mmol/l	
	Watt	HR	Watt	HR
T2	70.4 ± 30.5	113.8 ± 15.5	150.5 ± 26.9	155.2 ± 18
T3	75.5 ± 37	116.8 ± 16.1	141.3 ± 25.0	155.7 ± 6.9
Diff.	$+5.1$ *	$+3$	-9.2 *	$+0.5$

Hollmann et al. (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 ≥ 100 Watt；4 mmol/l 瓦特數則必須達到 ≥ 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。本研究受試者在前、後測 2 mmol/l 瓦特數皆小於 100 Watt、4 mmol/l 瓦特數皆大於 130 Watt，顯示選手在無氧能力方面已有達文獻水準，而有氧能力則必須繼續加強。

透過一週訓練後，有氧閾值耐力速度呈現上升的趨勢，而無氧閾值則呈現下降的反應 (表 4-1)。過去研究指出，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(Hochachka, Stanley, Matheson, Mckenzie, Allen, & Parkhouse, 1991)。Neumann (1990) 指出，有氧能力要改善，必須透過長時間低強度之負荷才能有效改變。但本研究結果在透過一週之低氧間歇訓練後，無氧能力下降，但有氧能力卻是進步的，未達到上述理論之效果，其原因可能與平時訓練模式有關，由於舉重選手平時訓練時皆著重在高阻力及力量耐力之訓練，且為間歇模式，因此選手在 T2 時無氧閾值能力已達一定的水準，但在低氧訓練時，划船測功儀阻力負荷之強度可能還未能使舉重選手達到穩定的適應，且訓練週期只為期一週，故雖然在低氧艙可增加無氧糖酵解之使用率，但對於舉重選選手之無氧能力而言仍然是不穩定的。至於有氧閾值方面，Badtke et al. (1986) 指出，在運動過程中能量提供路徑並非單一性提供。故雖然在低氧環境下，主要能量來源為碳水化合物，但仍會動員到少數的脂肪以提供能源。且舉重選手平時皆以無氧性訓練為主，甚少做有氧耐力訓練。因此在經過一週低氧耐力訓練後，自由脂肪酸代謝呈現適應的情形。

第二節 專項測試運動結束後之乳酸曲線分析與討論

上肢運動結束後 E1，前測 (T1) 乳酸值為 5.47 ± 0.94 mmol/l，後測 (T4) 則為 5.78 ± 0.81 mmol/l，差異為 $+0.31$ ($p > .05$)；E14 之前後測乳酸值分別為 5.16 ± 0.88 mmol/l、 5.51 ± 0.53 mmol/l，差異為 $+0.35$ ($p > .05$)，皆未達顯著差異。如圖 4-1 所示。

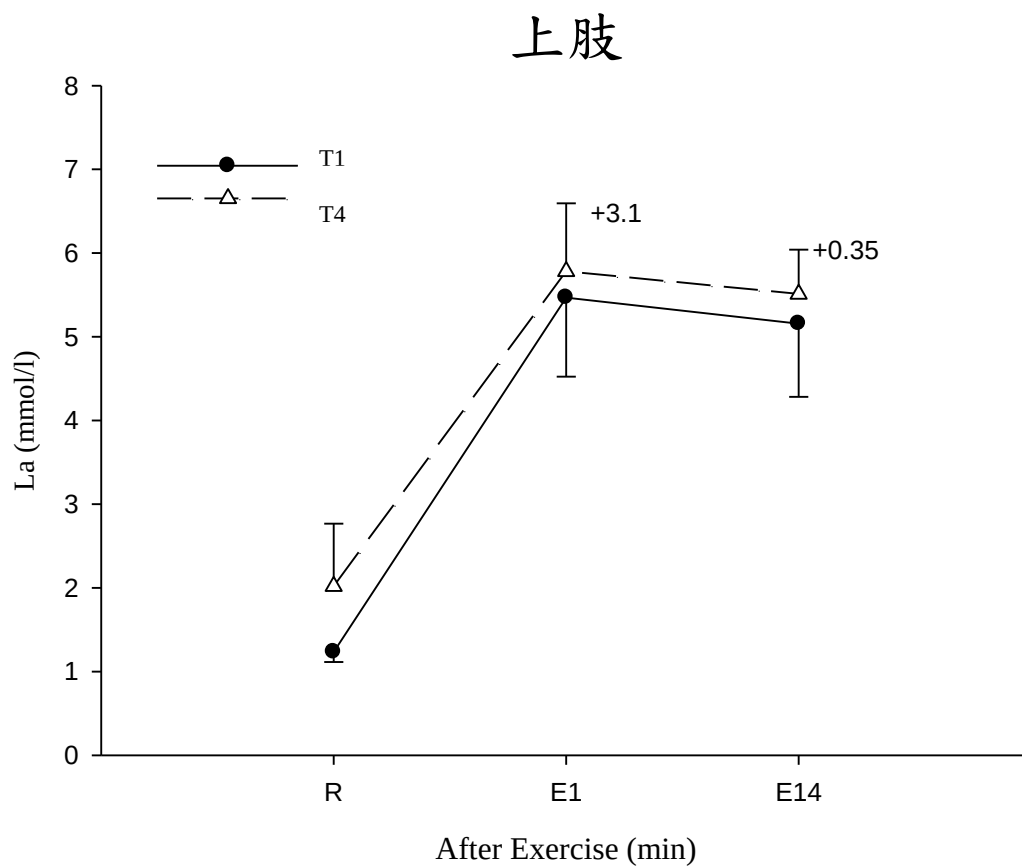


圖 4-1 專項測試結束後之乳酸曲線 (上肢)

圖 4-2 為下肢運動結束後之乳酸曲線，運動結束後 E1 乳酸值前後測分別為 10.18 ± 1.59 mmol/l、 8.49 ± 1.10 mmol/l，差異為 -1.69 mmol/l ($p < .05$)；最高乳酸堆積前後測皆出現在 E5，分別為 12.43 ± 3.28 mmol/l、 8.81 ± 2.50 mmol/l，差異為 -3.62 mmol/l ($p < .05$)；運動結束後 E15 前測乳酸值為 9.68 ± 3.01 mmol/l，後測為 5.61 ± 1.61 mmol/l，兩者相差 4.07 mmol/l ($p < .05$)，三者皆達顯著差異。而 T1 運動結束後最高乳酸值出現在 E5，為 12.43 ± 3.28 mmol/l，到 E15 時下降至 9.68 ± 3.01 mmol/l，差異為 -2.75 mmol/l ($p < .05$)；T4 最高乳酸值亦出現在 E5，為 $8.80 \pm .50$ mmol/l，E15 下降至 5.61 ± 1.61 ，差異則為 3.19 ($p < .05$)，兩者亦達顯著差異。

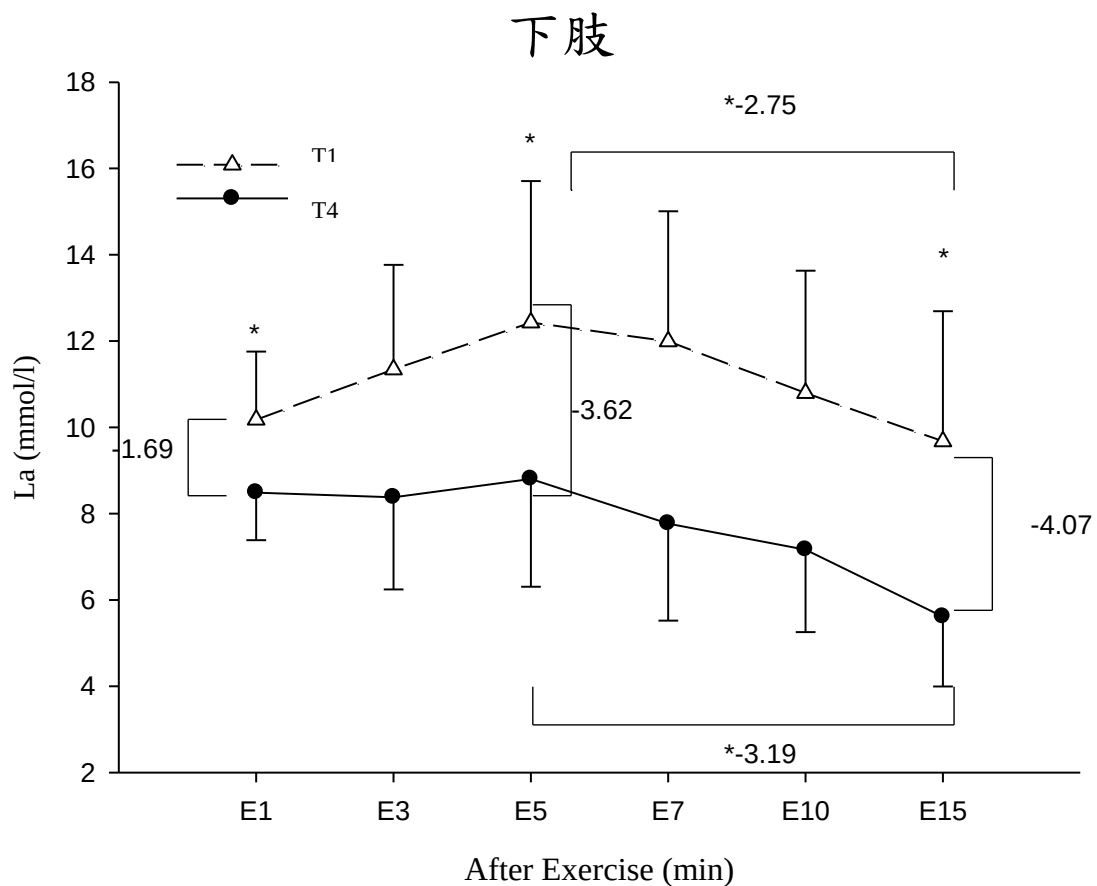


圖 4-2 專項測試結束後之乳酸曲線(下肢)。*為顯著差異。

本研究發現，透過一週低氧訓練後，受試者在下肢運動結束後產生較明顯的適應。過去研究指出，透過常壓低氧訓練後，可提升運動中新陳代謝的能力，且會降低運動後最大乳酸值 (Milosz et al., 2011)。與本研究結果相符。圖 4-2 可明顯看出受試者無論是運動結束後的第 1 分鐘 (E1) 及第 5 分鐘 (E5) 出現的最大乳酸值，皆有明顯下降的情形。Dofour et al. (2006) 指出，在低氧環境下從事中強度運動，會使用更多碳水化合物做為能量來源，而在此環境進行耐力訓練，將可明顯改善選手無氧糖酵解之能力。Hollmann and Liesen (1973) 指出，常壓低氧環境，無法改變血液血紅素濃度，但可以快速改善肌肉能量提供路徑。因此，本研究在後測之最大乳酸值下降，可能的原因為受到一週低氧耐力訓練刺激的影響，無氧糖酵解的活性提升，因此在相對強度下，乳酸值呈現下降的情形。從恢復的角度來看，受試者在恢復期乳酸值的下降亦為進步，推測因為一週耐力訓練使舉重選手在有氧能力的部分快速產生適應所導致，因此後測無論是有氧閾值 (V2) 能力及專項測試乳酸排除能力皆為呈現進步的情形。此外，在本測試之前半段上肢的部分，受試者乳酸皆呈現上升，可能的原因與可能的原因與划船測功儀肌肉動員的多寡有關，由於本研究受試者平時在進行專項訓練時，上肢與下肢的訓練量相等，但在進行低氧划船測功儀訓練時，下肢的肌群與上肢相較下來的多，因此動員的量較多，而上肢則較少，因而導致上肢訓練量低於平時之專項訓練，因此在上肢的部分肌肉無法產生適應，甚至有退步的情形產生，但在後半段下肢的測試完成後是進步的。

。

第三節 專項測試結束後之 NH_3 分析與討論

圖 4-3 為專項測試運動結束後 NH_3 分析，上肢 (Upper) 運動結束後 E5 之 NH_3 前測為 $109.50 \pm 15.76 \mu\text{mol/l}$ ，後測為 $155.17 \pm 23.88 \mu\text{mol/l}$ ，兩次測試差異為 $+45.67 \mu\text{mol/l}$ ，達顯著差異 ($p < .05$)；而下肢 (Lower) 前後測分別為 $124.67 \pm 54.78 \mu\text{mol/l}$ 、 $88.83 \pm 19.23 \mu\text{mol/l}$ ，差異則為 $-35.84 \mu\text{mol/l}$ ($p < .05$)，達顯著差異。

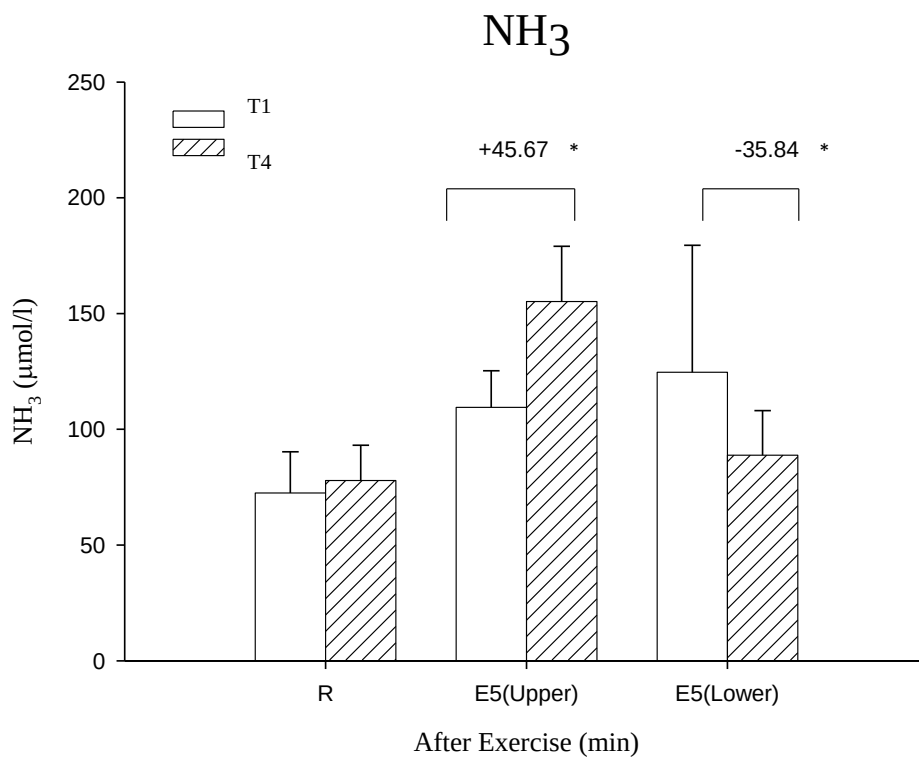


圖 4-3 專項測試結束後之 NH_3 分析。*為顯著差異。

本研究結果發現，透過力量耐力負荷後，血氨濃度呈現上升（圖 4-3），此為第一點症狀。過去研究指出，在短時間的運動中血氨生成機轉在於為供應快速的能量需求，人體原本所儲存之 ATP-PC 急速耗盡，此時若無氧糖酵解能量供給速率太慢，將導致肌肉動員到蛋白質做為緊急能量來源，此時將釋放皮質醇 (Cortisol) 作為分解蛋白質轉成胺基酸型態，接著胺基酸會進入肝臟轉變為 α -酮酸 (α -Keto acid)，在此過程當中受到氧化脫胺作用的影響而分解成 NH_3 (Classen, Diehl, & Kochsiek, 1993)。因此本研究運動結束後血氨都是上升的。第二點症狀，受試者在一週低氧訓練後，下肢測試完成後呈現下降的趨勢。過去研究指出，透過低氧訓練可提高無氧糖酵解的活性 (Dofour et al., 2006)。張嘉澤 (2008) 指出，透過人為低氧艙之訓練可快速改善肌肉能量提供路徑。因此本研究在無氧糖酵解活性提高的情況下，減少了對蛋白質的需求，因此在後測結束後血氨值呈現下降的情形。過去許多研究證實，運動強度與血氨呈現正相關 (Itoh & Ohkuwa, 1990 ; Itoh & Ohkuwa, 1991 ; Urhausen & Kindermann, 1992)。而本研究血乳酸在訓練後亦呈現下降的趨勢（圖 4-2）。

第四節 專項測試結束後之心跳率分析與討論

一週低氧訓練後，選手專項前後測之心跳率上肢運動結束後 E1，前測 (T1) 心跳率為 $134 \pm 25 \text{ min}^{-1}$ ，後測 (T4) 則為 $134 \pm 25 \text{ min}^{-1}$ ，未呈現差異 ($p > .05$)；E5 之前後測心跳率分別為 $109 \pm 32 \text{ min}^{-1}$ 、 $108 \pm 16 \text{ min}^{-1}$ ，差異為 -1 min^{-1} ($p > .05$)，亦未達顯著差異。如圖 4-4 所示。

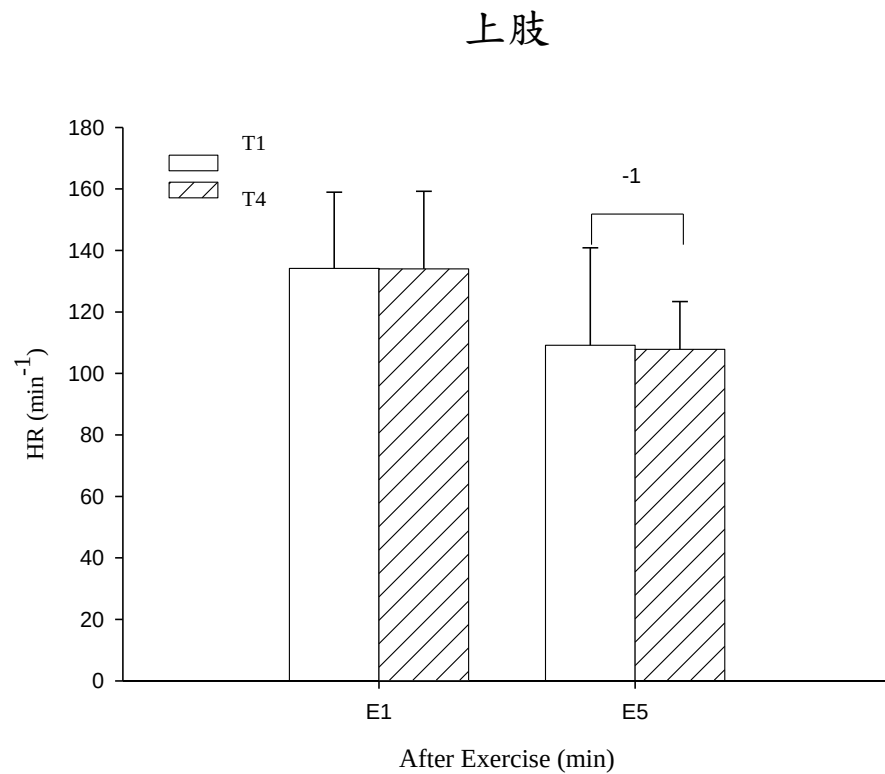


圖 4-4 專項測試運動結束後之心跳率 (上肢)

圖 4-5 為下肢運動結束後之心跳率，運動結束後 E1 心跳率前後測分別為 $172 \pm 18 \text{ min}^{-1}$ 、 $162 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ ，差異為 -10 min^{-1} ($p < .05$)，達顯著差異；運動結束後 E5 前測心跳率為 $117 \pm 19 \text{ min}^{-1}$ ，後測為 $104 \pm 19 \text{ min}^{-1}$ ，兩者 -13 min^{-1} ($p > .05$)，未達顯著差異。

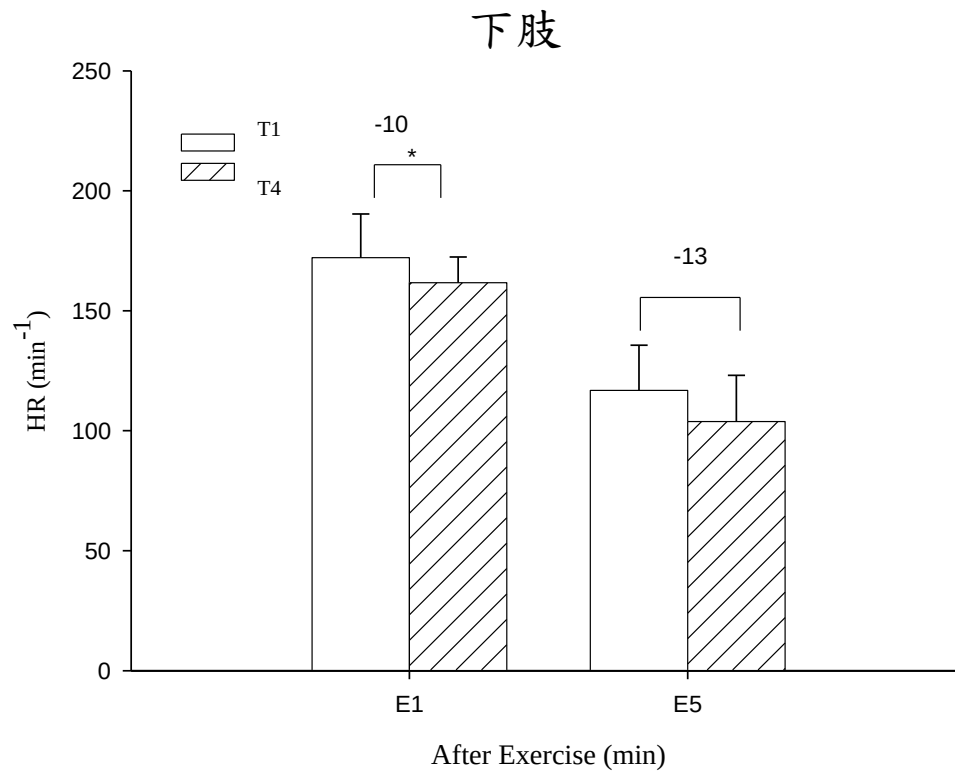


圖 4-5 專項測試運動結束後之心跳率（下肢）。*為顯著差異。

運動後心跳率之探討，研究結果顯示受試者在上肢完成後心跳率無明顯的改變，而在整體測試完成後，後測心跳率達顯著的下降，如圖 4-5 所示。過去許多研究亦證實，透過低氧訓練可有效降低相同負荷下之心跳率 (Morton & Cable., 2005 ; Milosz et al., 2011)。Hollmann (1982) 年指出，透過耐力訓練可有效改善運動負荷後之心跳率，其主要生理適應包括：心肌肥大 (增加心臟每分鐘容量)、相同負荷下心跳率減少、安靜心跳率降低、紅血球量增加、血液容積增加及改善血液流動特性等。Tkatchouk et al. (1993) 指出，低氧訓練可明顯降低運動時心跳率及肺通氣量，其機轉可能為增加心輸出量來補償心跳率降低。因此本研究與上述之文獻症狀相符，在一週低氧訓練後之最大心跳率及恢復期之心跳率皆有下降的趨勢，且運動結束後第一分鐘達顯著下降。至於本研究專項測試之血乳酸、心跳率以及 NH_3 ，在上肢部分皆無產生正適應，推測皆與划船測功儀之上下肢肌肉動員多寡有關。



第五節 低氧訓練後之心跳率、SpO₂ 及血乳酸之適應分析 與討論

圖 4-6 為 4 天低氧訓練之心跳率分析。第一天低氧訓練結束後 E1 心跳率為 $186 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ ，第四天為 $186 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，兩者未呈現差異 ($p > .05$)；第一天及第四天 E5 心跳率則分別為 $118 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ 、 $132 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ ，差異為 $+14 \text{ min}^{-1}$ ，達顯著差異 ($p < .05$)。

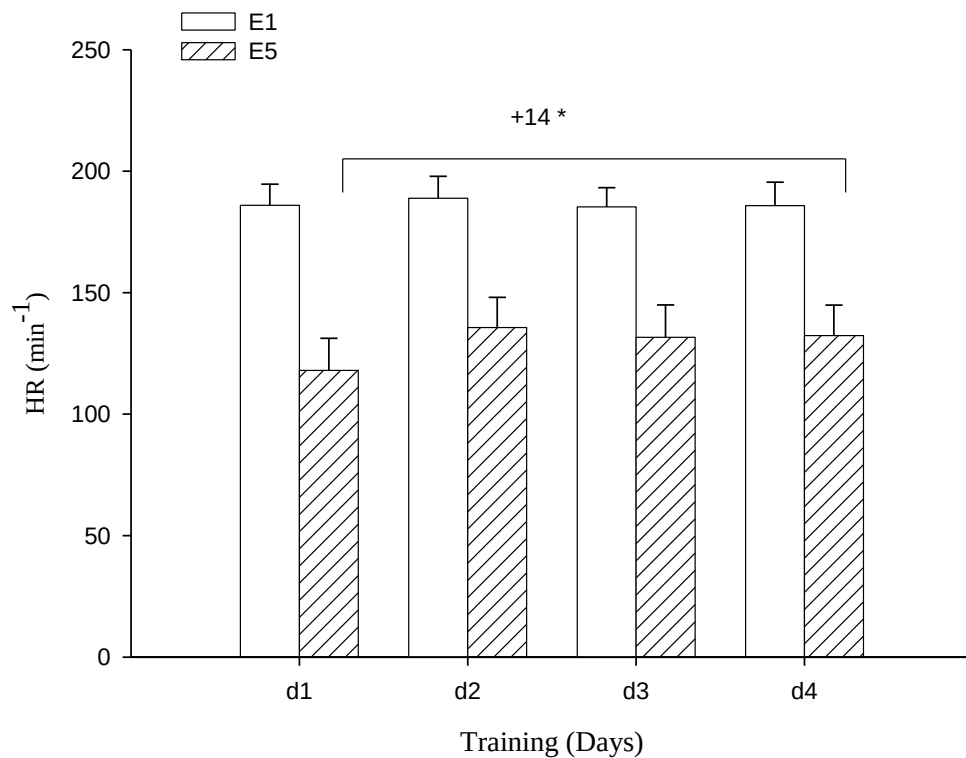


圖 4-6 四天低氧訓練運動後之心跳率分析。*為顯著差異。

四天低氧訓練運動結束後之心跳率探討，研究結果四天低氧訓練之心跳率皆達到接近受試者之最大心跳率。Davidson and Stalcup (1984) 指出，急性低氧下所產生的生理機轉為：心輸出量增加、血壓上升以及組織血流重新分配（心臟、腦部、骨骼肌之血流增加）等。過去亦有研究指出，低氧可促使交感神經興奮、活化並增加心跳率 (Westendorp et al., 1997)。另外受到交感神經活化的影響，將導致不同血管做調節，血管擴張及血流增加，保持重要器官氧氣的供給 (Rowell et al., 1989；Westendorp et al., 1997)。因此受試者四天皆處於高心跳率的狀態，顯示此訓練強度接近受試者之最大負荷。從適應的角度而言，四天低氧訓練心跳率有下降的情形，但未達顯著差異，且第四天運動結束後第 5 min 呈現上升。Neumann (1990) 指出，生物參數改善所需時間，最快改善的為心跳率，以日為單位，與本研究相符。過去研究指出，運動中之心跳率與運動強度呈正相關，當強度越高心跳率越高 (Fox, 2002)。而本研究四天的高強度訓練中，受試者平均輸出功率皆產生上升的情形，因此雖心跳率有下降的反應，但受到運動強度上升的影響下，在統計上仍未達顯著差異。

第一天低氧訓練後 E1 之 SpO_2 為 81.8 ± 7 ，第二天為 73.2 ± 6.8 ，兩天測試差異 -8.6 ($p > .05$)；第二天與第三天之 SpO_2 則分別為 73.2 ± 6.8 、 80.7 ± 4.4 ，差異為 +7.5 ($p > .05$)；第一天與第四天差異則為 -1.8 ($p > .05$)，三者皆未達顯著差異，如圖 4-7 所示。

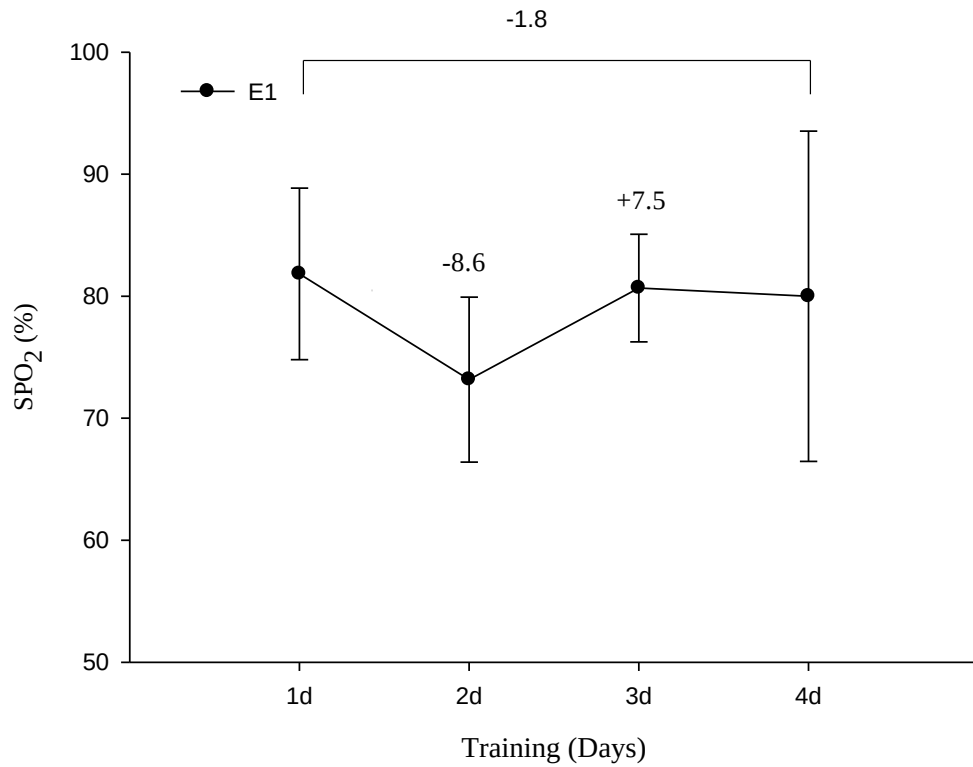


圖 4-7 四天低氧訓練運動後之 SpO_2 分析

血氧飽和濃度平均值於每天運動結束後並無顯著差異，但四天訓練後皆低於 98 %之標準值。過去研究指出，當人體進入到低氧環境時，呼吸功能上必須做許多調整，以代償低氧所減少的 pO_2 ，而這些調整包括換氣的改變、血紅素對氧的親和力以及總血紅素的濃度，因此與常氧下相比整體血氧飽和濃度將會減少，在此狀態下進行運動訓練將容易導致疲勞的發生 (Fox, 2002)。溫德生 (1999) 亦指出，在低氧環境下血氧飽和濃度會比常氧下來的低，此時細胞供應的氧氣將不足以維持有氧代謝之所需，糖解作用 (glycolysis) 將轉向乳酸去氫酶 (lactic dehydrogenase) 系統，此途徑將導致乳酸的堆積而造成血液 pH 值下降。本研究四天訓練受試者之血氧飽和濃度皆下降至 85 %以下，此症狀顯示在低氧下進行耐力訓練，對選手造成的負荷大於常氧環境。此外，雖然四天訓練運動結束第 1 min 雖無顯著差異，但從曲線圖來看仍呈現起伏的情形 (圖 4-7)。熊育彬等人 (2011) 指出，在低氧下進行耐力訓練，血氧飽和濃度與常氧下相較較為起伏。與研究結果相似。顯示血氧飽和濃度受到低氧環境影響，人體會不斷接受刺激而做調整。至於第二天訓練下降幅度較大，可能的原因為受到第一天訓練疲勞堆積的影響，人體還無法快速調節體內的二氧化碳，此現象在經過一天休息之後第三次進行訓練將有改善。

圖 4-8 為第一天與第四天低氧訓練後之乳酸值分析。第一天訓練後最大乳酸值為 14.4 ± 1.4 mmol/l，第四天為 13.9 ± 2.6 mmol/l，兩天相差-0.5 ($p > .05$)；兩天訓練後 E5 乳酸值則分別為 14.42 ± 1.43 mmol/l、 13.65 ± 2.43 mmol/l，差異為-0.77 ($p > .05$)，兩者皆未達顯著差異。

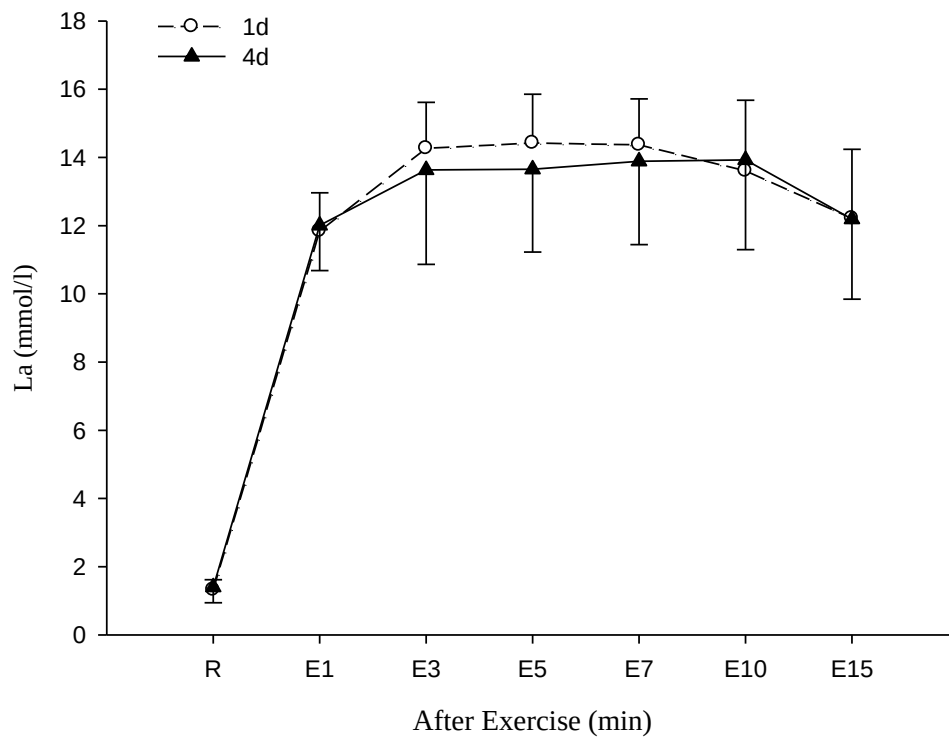


圖 4-8 第一天與第四天低氧訓練運動後之血乳酸分析

第一天與第四天訓練運動結束後乳酸值之探討，結果顯示第四天訓練之乳酸值向下且向右移，最大乳酸值延後出現，但未達顯著差異。過去研究指出，最佳乳酸曲線之分析是依據一、運動結束第 1 min (E1) 乳酸濃度是否達最高值。二、最高乳酸濃度出現時間 (越晚越好)。而本研究在第四天訓練時最高乳酸延後至運動後第 10 min，且與第一天訓練相較下減少了 0.5 mmol/l。Hollmann and Liesen (1973) 指出，常壓低氧環境可快速改善肌肉能量提供路徑。Neumann (1990) 亦指出，乳酸改善時間以週為單位。因此本研究在第四天訓練時乳酸曲線呈現適應的症狀，最高乳酸值延後出現且下降。過去研究指出，訓練計畫安排必須符合 Jakowlew (1972) 所提出之超補償理論 (運動負荷與生物參數適應時間)，才能達到超補償的作用。而本研究設計為連續四天之高強度訓練，且中間只間隔一天的休息，因此推測受試者在第四天訓練時仍處於疲勞的狀態，因此乳酸曲線雖有下降的情形，但在統計上仍未達顯著差異。

第六節 4 mmol/l 能力對專項最大乳酸堆積之相關分析與討論

前測無氧閾值瓦特數與專項最大乳酸堆積，分別介於 10.06-14.74 mmol/l 與 132.8-190 Watt，兩者呈現負性相關 ($r=0.8$, $p<.05$)，直線回歸方程式為 $y=26.51-0.09x$ ，如圖 4-9 所示。後測則分別介於 7.95-12.58 mmol/l 與 116.1-154.8 Watt，兩者呈現無顯著相關 ($r=0.23$, $p>.05$)，直線回歸方程式則為 $y=12.05-0.02x$ 。

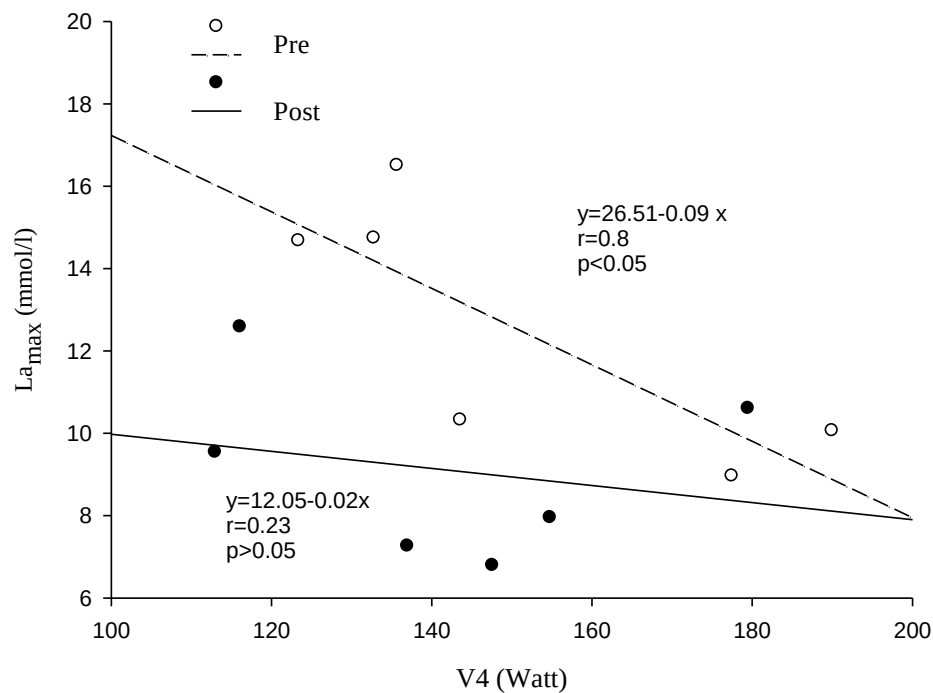


圖 4-9 無氧閾值 4mmol/l Watt 對專項最大乳酸堆積之相關

圖 4-9 顯示，在前測時個人無氧閾值 (V4) 能力與最大乳酸值呈現顯著的負相關。過去研究指出，當個人 V4 能力越高，在運動負荷中所呈現的最大乳酸值就越低，兩者為負相關。與本研究前測結果相符。但在後測時，兩者卻呈現無顯著相關的情形，可能的原因為受到訓練後個人 V4 能力退步，但專項乳酸值進步之影響 (表 4-1、圖 4-2)。過去研究皆指出，透過低氧訓練可有效改善選手無氧糖酵解的能力 (Dofour et al., 2006；Milosz et al., 2011；Mori et al., 1999；陳佳慧、楊孟龍、王月琪與張嘉澤，2009；邱奕棠、蕭敬衡、王胤之與張嘉澤，2012)。因此本研究圖 4-2 及圖 4-9 皆可明顯看出，在後測專項測試時最大乳酸值皆向下，呈現進步的情形，但在基礎耐力中 V4 能力未產生適應，故影響到後測之相關性。



第伍章 結論

- 一、一週低氧訓練對舉重選手有氧閾值能力有提升的效果，無氧閾值部分呈現退步的情形。
- 二、一週低氧訓練對力量耐力恢復期血乳酸部分，上肢未產生適應，無顯著改變，下肢完成後最大乳酸值顯著下降，乳酸排除顯著增加；血氨在下肢完成後達顯著下降。
- 三、一週低氧訓練對力量耐力恢復期心跳率部分，上肢皆無顯著改變，下肢完成後心跳率達顯著下降。
- 四、一週低氧訓練期間心跳率、血乳酸及血氧飽和濃度皆未達顯著改變，顯示受試者在一週訓練過程當中並未產生適應的反應。
- 五、低氧訓練後個人 V4 能力與力量耐力測試之最大乳酸值未呈現相關，可能的原因在於一週低氧訓練雖有改善舉重選手專項無氧糖酵解能力，但在基礎耐力中 V4 能力未產生適應，故影響到後測之相關性。

參考文獻

- 王峰、陽留才、夏鵬飛 (2007)。舉重運動員比賽前後血常規、CPK 及 SOD 的動態監測。重慶科技學院學報(自然科學版)，9 卷 4 期，119-121。
- 邱奕棠、蕭敬衡、王胤之、張嘉澤 (2012)。五天訓練對公路車選手體循環與新陳代謝之個案研究。2012 年國際運動教練科學研討會，2012.6.9，國立體育大學。
- 陳佳慧、楊孟龍、王月琪、張嘉澤 (2009)。5天低濃度氧氣訓練對健康中年愛好運動者耐力表現之影響(個案研究)。2009年國際體育運動與健康休閒學術研討會，2009.03.07，台北市銘傳大學。
- 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。
- 黃麟棋、張嘉澤 (2007)。血液NH₃ Index與田徑運動訓練上之研究。國立體育學院論叢，18卷3期，73-80。
- 詹貴惠、許美智、蔡溫義 (1998)。舉重選手重量訓練後血液生化值的變化。中華體育季刊，12卷2期，79-85。
- 溫德生、司徒閩、沈儀文 (1999)。低壓艙艙航缺氧症狀與血氧飽和度的研究。航空醫學會會刊，13 卷 1 期，51-64。
- 熊育彬、陳佳慧、張嘉澤 (2011)。常氧與低氧間歇訓練對於人體血氧飽和濃度、血乳酸、心跳率之影響。國際體育運動與健康休閒學術研討會，台北市銘傳大學。
- Akinobu, N., Masaaki, S., K, K., Aki, F., Akihiro, S., Atsumasa, U. (2010). Hypoxia Increases Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *International Journal of Sports Phyciology and Performance*, 5, 497-508.
- Bohmer, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., Jager, D.,

- Martin, L., Muhlfahrt, J., Nocker, P., Nowacki, G., Rompe, A., Thiel, B., Schmucker, O. (1975): Das sportmedizinische Untersuchungssystem. Leistungssport, Beiheft.
- Banister, E. W. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51, 195-202.
- Banister, E. W. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51, 195-202.
- Buono, M. J., Clancy, T. R., & Cook, J. R. (1984). Blood lactate and ammonia ion accumulation during graded exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57, 135-139.
- Brooks, G. A. (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science Sports and Exercise*, 17, 22-30.
- Badkte, G, U, A. (1987). *Sportmedizinische Grundlagen der Körpererziehung und des sportlichen Trainings*. Leipzig.
- Braumann, K., Busse, M., Maassen, N. (1987). Zur Interpretation von Laktat-Leistungskurven. *Leistungssport* 4. 35. Deutsche Olympischer Sportbund.
- Brown, S. W., Thompson, J. Bailey, K. Johnson, L. Wood, M. Bean & Thompson, D. (1990). Blood lactate response to weightlifting in endurance and weight tained men. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 4(4), 122-130.
- Banister, E. W., & Cameron, B. J. C. (1990). Exercise induced hyper-ammonemia peripheral and central effects. *International Journal of Sports Med ici nell (suppl, 2)*, 129-142.

- Berglund, B. (1992). High-altitude Training. Aspects of Haematological Adaptation. *Sports Med.* 14, 289-303.
- Cartee, G. D., Douen, A. G., Ramlal, T., Klip, A., & Holloszy, J. O. (1991). Stimulation of glucose transport in skeletal muscle by hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 70(4), 1593-1600.
- Classen, M., Diehl, V., Kochsiek, K. (1993). *Innere Medizin*, 2 Auflage. Urban & Fischer. Verlag.
- 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. *J Clin Invest*, 73(2), 317-328.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., Lampert, E., Fluck, M., Hoppeler, H., Billat, V., Mettauer, B., Richard, R., Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1238-1248.
- Eriksson, L. S., Broberg, S., Bjorkman, O., & Wahren, J. (1985). Ammonia metabolism during exercise in man. *Clinical Physiology*, 5, 325-336.
- Fox, S. I. (2002). *Human Physiology*, 7th ed. McGraw-Hill, Inc. 508-531.
- Fabien, A. B., Denis, R. J., Federic, B., Boivin, J. S. O., Francois, B., Jean, D., Richard, C., Guy, F., Denis, R., & Marcel, R. B. (2006). Effects of short-term normobaric hypoxia on haematology, muscle phenotypes and physical performance in highly trained athletes. *Experimental Physioigy*, 91, 2, 391-402.
- Grosser, M., Starischka, S., Zimmermann, E. (2001). Das neue Konditionstraining.
- Gocentas, A., Landor, A., & Juozulynas, A. (2007). Recovery after repeated sprints

- ass with aerobic capacity in basketball player (recovery after sprints in basketball players). *Papers on Anthropology*, 16, 92-99.
- Hollmann, W., Liesen, H. (1973). Der Einfluben eines zweiwochigen Hohentrainings auf die Leistungsfahigkeit im Flachland, gemessen an spiroergometrischen und metaboloschen Parametereen.
- Heck, H., Liesen, H., Mader, A., Hollmann, W. (1981). Der Einfluss der Stfendauer und der Pausendauer bei Laufbanduntersuchungen auf die Sauerstoffaufnahme und das Laktatverhalten. In: Kindermann et al. : Sportmedizin für Breiten –und Leistungssport.
- Hollmann, W., & Rost, R. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. *Grundlagen Technik und Interpretation*.
- Hammond, M. D., Gale, G. E., Kapitan, K. S., Ries, A., & Wagner, P. D. (1986). Pulmomary gas exchange inhumans during normobaric hypoxic exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61(5), 1749-1757.
- Hollmann, H., Schurch, 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.
- 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 .
- Itoh H., & Ohkuwa, T. (1990). Peak blood ammonia and lactate after submaximal,maximal and supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 60(4), 271-276.

- Jakowlew, N. (1972). Die Bedeutung der Homöostasestörung für die Effektivität des Trainingsprozesse. *Medizin und sport* 13, 367-370.
- Keul, J., Berg, M., Lehmann, H., Dickhuth, H. (1981). Metabolische Anpassung durch Training und ihre Aussagewert für die Leistungsdiagnostik.
- Kraemer, W, J., Noble B, J., Clark, M, J., Culver, B, W. (1987). Physiologic responses to heavy resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8, 247-251.
- Kohyama, A., Inoue, M., Doi, T., Kimura, H., Kitahata, H., & Saitoh, T. (1993). Left ventricular function during hypoxia. 1: Effect of blood glucose level. *Masui*, 42(5), 713-720.
- Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues: The purine nucleotide cycle. *Physiology Reviews*, 52, 382–413.
- Lo, P., & Dudley, G. A. (1987). Endurance training reduces the magnitude of exercise-induced hyperammonemia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 62, 1227-1230.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). Living high-training low: The effect of moderate altitude acclimatization with low altitude training on sea level performance in trained runners. *Journal of Applied Physiology*, 83, 102-112.
- Mader, A., Lisen, H., Heck,., Philippi, R., Schurch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportpezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit in Labor. *Sportarzt und Sportmed.* 27(4), 80-88.
- Mutch, B. J., & Banister, R. B. (1983). Ammonia metabolism in exercise and fatigue : a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(1), 41-50.
- Manfred R., Fuchs, U. (1990). Höhentaining. Trainer Bibliothek 27, Münster Philippka Verlag. 116-118.

- McLellan, T. M., Kavanagh, M. F., & Jacobs, I. (1990). The effect of hypoxia on performance during 30s or 45s of supermaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 60 (2), 155-161.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc*, 23, 739-743.
- McMillan, J. L., Stone, M. H., Sartin, J., Keith, R., Marple, D., Brown, C., Lewis, R. D. (1993). 20-hour physiological responses to a single weight-training session. *J. Strength and Cond. Res.* 7(1), 9-21.
- Mori, M., Kinugawa, T., Endo, A., Kato, M., Kato, T., Osaki, S.,.....Shigemasa, C. (1999). Effect of hypoxic exercise conditioning on work capacity, lactate, hypoxanthine and hormonal factors in men. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 26, 309-314.
- Marsh, M. K. (2003). *How Quick is your heart rate recovery?* California State Science Fair, 2003 Project Summary. Project Number J1010.
- Milosz, C., Zbigniew, W., Adam, Z., Stanislaw, P., Jaroslaw, C., Robert, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 175-183.
- Neumann, G. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. In: Das gross Buch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag. 222-223.
- Neumann, G., Pfitzner, A., Hottentott, K. (1993). Alles unter Kontrolle. 1 Auflage. Aachen: Meyer & Meyer.
- Nemmela, A., Jouste, P., & Rusko, H. (1996). Effect of living high and training low on sea level anaerobic performance in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 124.

- O'Leary, D. S. (1993). Autonomic mechanisms of muscle metaboreflex control of heart rate. *Journal of Applied Physiology*, 74(4), 1748-1754.
- Pansold, B., Roth, W., Zinner, J. (1982). Die Laktat-Leistungskurve – ein Grundprinzip sportmedizinische Leistungsdiagnostik. *Med und Sport Berlin* 22.107-112.
- Pierce, K., Rozenek, R., Stone, M, H. (1993). Effects oh high volume weight training on lactate, heart rate and perceive exertion. *Journal of strength and conditioning research*, 7(4), 211-215.
- Rowell, L. B., Johnson, D. G., & Chase, P. B. (1989). Hypoxemia raises muscle athetic activity but not norepinephrine. *Journal of Applied Physiology*, 66, 1736-1743.
- Robergs, R, A., Pearson, D, R., Costill, D, L., Fink, W, J., Pascoe, M, A., Benedict, C, P., Lambert & Zachweija, J, J. (1991). Muscle glycogenolysis during differing intensities of weight-resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 70, 1700-1706.
- Smith, B. W. (1982). Anaerobithe shold of trained swimmers. Unpublished Master' sthesis. *University of North Corolina Dtsch. Z. Sportmed.* 32, 7-14.
- Sheffied, P. J., & Heimbach, R. D. (1996). Respiratory Physiology. In: De-Hart (ed).: *Fundamental of Aerospace Medicine*, pp. 69-108. Baltimore: Willian & Wilkins.
- Stuart Ira Fox. (2002). *Human Physiology*, 7th ed. McGraw-Hill, Inc. 508-531.
- Tesch , P, A., Colliander, E, B., Kaiser, P. (1986). Mucsle metabolism during intense, heavy resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol*, 55, 362-366.
- Tkatchouk, E., Kondrykinskaya, L., & Ehrenbourg, I. (1993). Interval hypoxic training A method of improving occupational health/ Prod.24th Congress of the

- International Commision on Occupational Health. France. Nice.
- Tiukinhoy, S., Beohar, N., & Hsie, M. (2003). Improvement in heart rate recovery after cardiac rehabilitation. *Journal of cardiopulmonary Rehabilitation*, 23(2), 84-87.
- Weicker, H. (1988). Purinnukleotidzyklus und muskulare ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed*, 39, 172-178.
- Weineck, J. (1996): Sportbiologie. 5 Auflage, 26-27.
- Westendorp, R, G. J., Blauw, G. J., Frolich, M., & Simons, R. (1997). Hypoxic Syncope. *Aviation Space Environment Medicine*, 68, 410-414.
- Wagenmakers, A. J. (1998). Protein and amino acid metabolism in human muscle. *Advances in experimental medicine and biology*, 441, 307-319.
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance* Champaign, IL Human Kinetics.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 39(9), 1610-1624.

附錄



運動能力診斷與訓練調整研究中心

訓練生理與健康實驗室 疾病調查

姓 名：	出生年月：	身高 (cm)：	體重 (kg)：	性別：
項目：		最佳成績：	訓練年數：	
請據實回答以下問題：				
1. 是否有心臟疾病 2. 是否有血液疾病 3. 是否有糖尿病 4. 是否有高血壓 5. 是否有氣喘疾病 6. 是否有癲癇症 7. 是否有肌肉疼痛 8. 是否有感冒症狀 9. 最近六個月是否有開刀手術 10. 其他： ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 				
1) _____ 2) _____ 3) _____ 4) _____				
運動員簽名：_____			日期：_____	
教 練 簽 名：_____				