

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

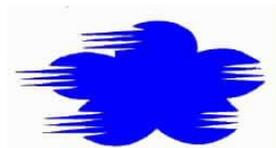
四天低氧訓練對舉重選手
力量耐力之影響

**Effects of Strength-endurance after Four Day
Hypoxic Train with Weightlifters**

指導教授：張思敏 博士

研究生：黃新荃 撰

中華民國 102 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

本論文：四天低氧訓練對舉重選手力量耐力之影響

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生黃新荃所提，
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

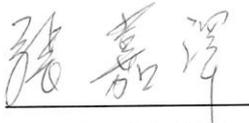
中華民國一零一年十二月

論文考試委員



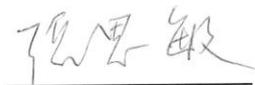
周建智博士

台北市立體育學院教授



張嘉澤博士

國立體育大學助理教授



張思敏博士

國立體育大學教授

(本論文指導教授)

四天低氧訓練對舉重選手力量耐力之影響

摘要

目的：探討四天低氧訓練是否影響舉重選手力量耐力。方法：以六名全國排名前 15 名之男子舉重運動員(平均年齡 21 ± 1.96 歲；身高： 170.83 ± 4.79 公分；體重： 83.51 ± 11.41 公斤；訓練年數： 7.83 ± 3.18 年)參與四天低氧訓練。訓練前實施 3 項前測，最大肌力測試：上肢與下肢分別以仰臥推舉及後半蹲持續至最大負荷，組間休息 3min。專項測試：上肢(仰臥推舉)與下肢(後半蹲)以 40%(1RM)的重量進行，負荷範圍為 4x20 次，組間休息 60 秒，測試中採集乳酸(2x,4x)和心跳(2x,4x,E5)，並採集結束後血氨(E5)。2-4mmol/l 測試：用腳踏車測功儀進行有氧-無氧閾值診斷，開始負荷瓦特數為 100 Watt，每階上升 30Watt，每階持續 3min，間歇 30 秒，每階結束後採集乳酸及心跳，直至個人最大負荷為止。四天訓練於常壓低氧($FIO_2 13\%$)，以 Concept II 划船測功儀進行 4x4x200m(400-500Watt)訓練。Tr-1 與 Tr-5 採集乳酸(E1,E3,E5,E7)、血氨(E5)、心跳(E1)與(E5)。以相依樣本 t 考驗檢驗與皮爾遜積差相關進行數據分析。

關鍵詞：常壓低氧、乳酸、血氨

Effects of Strength-endurance after Four Day Hypoxic Train with Weightlifters

Abstract

Object: The purpose of this study was to examine the effects of four days hypoxic training on strength-endurance in weightlifters. **Methods:** Six collegiate male weightlifters whose ranking was in top 15 of Taiwan (mean age 21 ± 1.96 years; Height: 170.83 ± 4.79 cm; Weight: 83.51 ± 11.41 kg; training experiences: 7.83 ± 3.18 years) participant in present study. Prior to training, they underwent three tests (1RM, Specific test and anaerobic/aerobic test) ; the blood lactate and heart rate were measured during Specific test. Thereafter, who conducted 4 days normobaric hypoxic ($F_{iO_2}=13\%$) training (4x4x200m interval rest 90s exercise load between was between 400 and 500 watt) with rowing ergometer (Concept II) Blood Lactate, ammonia and heart rate were measured on anaerobic aerobic test. In the period of hypoxic training the biomarkers were also measured before during and after training. Dependent t-test and Pearson correlation were used to analysis the data.

Keywords: normobaric hypoxia, blood lactate, ammonia.

致謝

本論文得以順利完成，首先得感謝指導教授張思敏博士於本人在學期間，細心的指導與督促，在關鍵時候能夠提供多元化的資訊及建議，使得此篇論文寫得更順手更完善，特在此感謝。而本論文更承蒙周建智博士與張嘉澤博士多方面的意見與指導，使得此論文更加的完整順暢，在此特別感謝兩位老師的指教與建議。

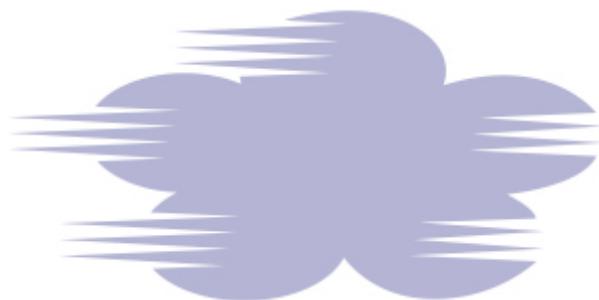
在研究所的這些年間，得感謝姚漢禱老師、邱炳坤老師、李敏華老師、陳詩園老師、陸雲鳳老師、江明政教練、蔣明雄教練、陳淑枝教練、陳葦綾教練、張茵婷助教等人從旁指導與支持，本人深深的感謝。

然而在實務運用上，特別要感謝張嘉澤博士以及他所領導的SPDI團隊，讓我在不管是實驗操作以及實驗耗材上都無後顧之憂，也感謝SPDI裡面的所有成員包括佳慧、月琪、櫻灣、曉芬、韋如、德盛、育彬、仁傑、展明、宗翰、有祥、詠日、心儀、玉兒，奕勳、敬衡、松潛、汶琳、思涵、婉禎，另外感謝蔣明雄教練以及其他選手的參與，以上所有人，缺了任何一位可能論文就無法完成了，因此本人再次獻上萬分的感謝。最後我要感謝我的父母及我的哥哥姐姐們，今天能完成研究所學業，我感謝家人背後默默的支持與鼓勵，使我能把研究所學業完成，特在此將所有成果歸功於以上所有人並與各位分享。

目錄

第一章	緒論	1
第一節	研究背景	1
第二節	研究動機	2
第三節	研究目的	4
第四節	名詞解釋	4
第二章	文獻探討	6
第一節	低氧生理反應	6
第二節	血乳酸(La)與訓練之關係	8
第三節	血氨(NH ₃)與訓練之關係	10
第四節	心跳率(HR)與訓練之關係	12
第五節	生理適應之變化	14
第六節	文獻總結	16
第三章	研究方法	17
第一節	研究對象	17
第二節	實驗時間與地點	18
第三節	實驗儀器與設備	19
第四節	實驗步驟與設計	20
第五節	實驗流程	24
第六節	資料處理與統計分析	25
第四章	結果分析與討論	26
第一節	低氧訓練心跳率	26

第二節	階梯式負荷	33
第三節	專項測試上肢與下肢血液乳酸濃度	34
第四節	無氧閾值耐力與專項測試上肢乳酸	36
第五節	無氧閾值耐力與專項測試下肢乳酸	38
第五章	結論	40
第一節	結論	40
參考文獻		41
一、	中文部分	41
二、	外文部分	42

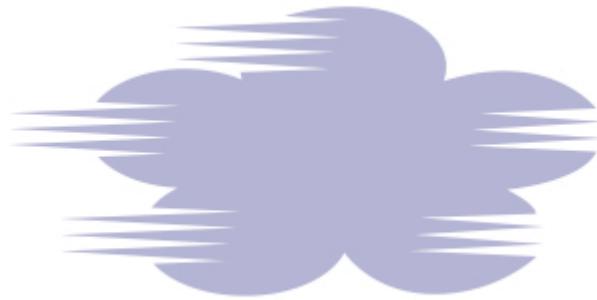


表目錄

表 2-1	運動能力與高度 -----	7
表 3-1	受試者資料表 -----	17
表 3-2	最大肌力、2-4mmol/l 及上下肢專項測試內容	22
表 3-3	低氧訓練內容 -----	23
表 4-1	划船機測功儀(低氧)心跳率平均值與標準差 --	27
表 4-2	低氧訓練 SO_2 -----	32
表 4-3	個人最大負荷平均值與標準差 -----	33
表 4-4	上肢血液乳酸濃度平均值與標準差 -----	34
表 4-5	下肢血液乳酸濃度平均值與標準差 -----	35

圖目錄

圖 3-1	血糖乳酸分析儀 -----	19
圖 3-2	實驗流程圖 -----	24
圖 4-1	划船機測功儀血液乳酸堆積 -----	28
圖 4-2	划船機測功儀血氨 -----	30
圖 4-3	上肢最大乳酸與 V4(watt)之關係圖 -----	37
圖 4-4	下肢最大乳酸與 V4(watt)之關係圖 -----	38



中英文對照縮寫表

英文	縮寫	中文
adenosine monophosphate	AMP	單磷酸腺苷
adenosine monophosphate protein kinase	AMPK	單磷酸腺苷蛋白酶
adenosine triphosphate	ATP	單磷酸三磷酸
creatine phosphate	CrP	磷酸肌酸
end of the first minute to fifteenth minute	E1-E15	運動結束第一分鐘至第十五分鐘
fraction of inspired oxygen	FIO ₂	氧氣濃度
hypoxia	H	低氧
heart rate	HR	心跳
inosine monophosphate	IMP	肌核苷
meter	m	公尺
microliter	μl	微升
millimol per liter	mmol/l	每公升所含有之毫莫耳數
minimum	min	分鐘
Beat per minute	min ⁻¹	每分鐘心跳數
meter per second	m/s	每秒公尺數
normoxia	N	常氧
ammonia	NH ₃	血氨
Pondus Hydrogenii	pH	酸鹼值
phosphate	Pi	磷酸根
Repeat	Rep	重覆
Rating of perceived exertion	RPE	自覺費力分數
second	s	秒
saturation of oxygen peripheral	SpO ₂	血氧飽和濃度
velocity	V	速度
velocity of 4 millimol per liter	V4	4 莫耳速度
velocity of 6 millimol per liter	V6	6 莫耳速度
maximal oxygen consumption	$\dot{V}O_{2max}$	最大攝氧量

第一章 緒論

第一節 研究背景

舉重起源於古希臘人，他們曾用舉石頭來訓練和檢測人的體力，而羅馬人在棍的兩頭以石塊來訓練體力和訓練士兵。中國的舉重活動，在兩千多年前的楚漢時代就有記錄。從晉代至清代，舉重均列為武考項目。然而在現代舉重運動始於 18 世紀的歐洲。19 世紀初，英國成立舉重俱樂部。最初槓鈴兩端是金屬球，重量不能調整，比賽以次數分勝負。直到 1910 年伯格 (Casper Berg) 將金屬球改成重量不同、大小不一的金屬片。1891 年在倫敦皮卡迪裡廣場舉行首屆世界舉重錦標賽。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。在 1920 年的第 7 屆奧運會上，開始按運動員的體重分成 5 個級別，更改為單手抓舉、挺舉和雙手挺舉。這為近代舉重比賽奠定了基礎。1924 年改為單手抓、挺舉和雙手推、抓、挺舉 5 種。1928 年取消單手舉，保留了雙手舉的 3 種形式。一直到 1932 年的奧運會上舉重被分成了 5 個級別，3 個正式比賽項目-抓舉、挺舉和推舉，又於 1972 年奧運會舉重比賽後，正式公布取消推舉。2000 年雪梨奧運會上男子舉重已發展到有 8 個級別。女子舉重首度登上奧運舞臺也是在 2000 年雪梨奧運會上，而分為 7 個級別競爭。1920 年至 1998 年間，舉重選手的量級一直在增加，體重限制也一

直在更改，直到 1998 年國際舉重聯合會將男子 10 個級別減為 8 個：56 公斤級、62 公斤級、69 公斤級、77 公斤級、85 公斤級、94 公斤級、105 公斤級、105 公斤以上級。女子調整為 7 個級別：48 公斤級、53 公斤級、58 公斤級、63 公斤級、69 公斤級、75 公斤級、75 公斤以上級，目前奧運會上，舉重比賽仍沿用以上之量級為依據。

第二節 研究動機

力量耐力是力量加耐力，它是表示肌肉疲勞的抵抗能力。力量耐力訓練的目的是要改善肌肉內的能量流動和維持長時間高力量衝刺的能力。在運動負荷的持續時間內，扮演著快速提供能量與醣質新生，及長時間維持衝刺的力量能力。力量耐力可以傾向最大力量，也可以傾向快速力量。耐力的類型是由多種耐力型態組成，在訓練上區分為一般耐力與專項耐力兩種。一般耐力是屬於基礎訓練，主要目的是提升有氧的能力。專項耐力要求是依據比賽時間與所需能量提供系統區分(張嘉澤，2008)。短時間高強度比賽負荷，主要能量來源為無氧非乳酸系統，而無氧非乳酸的能量恢復，必須依賴高度的有氧耐力能力，在短時間的間歇，快速填滿肌肉之 CrP。因此非循環性之運動項目，主要訓練目的是快速再生能力。專項耐力是與一般耐力訓練目的之不同，它的訓練要求是最佳專項運動項目的耐力與專項比賽的能力。專項

耐力的訓練是直接發展運動專項比賽能力，它的訓練要求必須包含：1.速度與動作交換頻率的改善，促使技術最佳化，並與速度相連繫。2.在高速度的比賽型態練習。3.在比賽的速度型態進行適合有變化的技術練習，使其在比賽的最後距離還有能力維持。4.練習其他的比賽條件能力(各種不同的距離能力)。5.取得抵抗高負荷與維持能力的意志特性(張嘉澤，2008)。

在一週平均 6-9 場的訓練中，舉重運動員每場訓練時數平均 2H-2.5H，每場平均訓練總重量達到 15ton-20ton。所以在訓練當中，為了維持長時間高力量輸出的能力，力量耐力的提升是必須的。而在高強度的舉重比賽場上，國際舉重總會規定之試舉規則，每一位舉重運動員有 6 次試舉機會(抓舉 3 次挺舉 3 次)，每次試舉時間 1min，連續試舉時間 2min。因此在這種短時間試舉間隔的情況下，舉重運動員快速再生能力之優劣，將取決於力量耐力之能力。

Hollmann et al.(1973)研究指出高地訓練的優點有以下：提升 Hb 數量，改善血液氧氣運輸、改善在肌肉內氧的傳輸、增加血液循環容積、改善血液含氧量、增加睪丸素酮(testosterone)與生長激素(somatotrophin)荷爾蒙釋放，同時改善與提升脂肪代謝、改善有氧與無氧能量代謝容積。過去研究也發現，常壓低氧(低氧艙)與低壓低氧(高地)在訓練上有著相同的效果，然而兩者之間明顯的差異在於，常壓低氧訓練無法改變血球蛋白數量(Hammond, Gale, Kapitan, Ries,

and Wagner,1986)。Hollmann, & Liesen.(1973)研究發現在常壓低氧下，可以快速改善肌肉能量提供路徑。

第三節 研究目的

本研究之研究目的有下列四點：

- 一、探討四天低氧訓練是否可以快速改善體循環？
- 二、探討四天低氧訓練是否提高力量耐力對阻力適應能力？
- 三、探討四天低氧訓練是否可以快速改善上肢力量耐力？
- 四、探討四天低氧訓練是否可以快速改善下肢力量耐力？

第四節 名詞解釋

一、力量耐力

力量耐力是力量+耐力，它是表示肌肉疲勞的抵抗能力，在運動負荷的持續時間內，扮演著快速提供能量與醣質新生，及長時間維持衝刺的力量能力。力量耐力可以傾向最大力量，也可以傾向快速力量。

二、血乳酸(La)

醣類的代謝過程中會產生的一種產物，當肌肉運動強度越大時，所產生之乳酸的量就會越多。當乳酸產生越多時，我們的運動能力會受到抑制。

三、血氨(NH₃)

大多是來自於食物的消化作用。 NH_3 主要是由於腸胃中蛋白質的消化代謝作用以及產生尿液的代謝作用所形成。

四、心跳(HR)

心臟每分鐘跳動次數我們就稱之為心跳率，通常我們在最大心跳率的預測公式為(220-年齡)。

五、 SpO_2

就是所謂的(脈動氧血紅素飽和度)，它是透過紅外線探測器裝置偵測肢體局部血流脈動間對紅外線的吸收率而得。

六、IHT(intermittent hypoxia training)

它是由 Hoppeler and Vogt (2001)提出的一種模擬高原訓練(低住高訓)的方法，其使用方式稱為間歇性低氧訓練。

第二章 文獻探討

本研究的目的是在探討低氧訓練對舉重選手肌肉能量代謝之影響，本章分為六節，其內容分別為：第一節、低氧生理反應；第二節、血乳酸(La)與訓練之關係；第三節、血氨(NH₃)與訓練之關係；第四節、心跳率(HR)與訓練之關係；第五節、生理適應之變化；第六節、文獻總結。

第一節 低氧生理反應

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 pO₂ (氧氣分壓)受高度增加而下降。而在海平面(一般環境)應用低氧艙訓練之血液 pO₂ 濃度並不會改變，而血氧飽和度(SaO₂)則會輕微下降(98-95%)，此症狀在離開低氧艙後恢復(張嘉澤，2008)。陳光仁(1993)研究指出在常壓低氧下，以漸進式負荷，對男性受試者做測試，發現其最大有氧能力下降，但是降低量和最大有氧能力無關，而且降低換氣閾值。然而在最大負荷時，動脈血氧飽和度在低氧時低於常氧。常壓低氧之訓練對血液沒有影響，但是卻可以提升運動表現及改善心肺功能(李晨鐘，1993)。Fuchs et al.(1990)對於運動能力與自然環境(高度)指出，0-2000m 為適度生理反應區域，2000-3000m 為生理補償負荷區域，如(表 2-1)所示。

表 2-1 運動能力與高度 (Fuchs et al. 1990)

0-2000m	適度生理反應區域
2000m	閾值反應區域
2000-3000m	生理補償負荷區域
4000m	閾值干擾區域
4000-6000m	生理補償能力下降
6000m	生理危險閾值
6000-8000m	生命危險區域
8000m	死亡區域

過去研究指出在平地低氧艙無法改變 Hb(血球蛋白)數量，但是可以提升肌肉無氧醣酵解活性 (Hammond, Gale, Kapitan, Ries, and Wagner, 1986)。

Yi, Xu, Yan, & Ji.(2011)研究發現以功率腳踏車利用 S_{pO_2} 比較 EIAH 現象，比較不同低氧訓練的成效。從研究顯示低氧環境下進行次最大強度運動， S_{pO_2} 容易受外界氧濃度的影響，而至力竭運動影響較小，而高地運動發生 S_{pO_2} 最低值是在運動過程中的前 5 分鐘 ($86.11 \pm 5.11\%$) 卻不在力竭運動，力竭運動刺激反而是最高值 ($86.33 \pm 4.42\%$)。

陳燕瑩 (2011) 發現七天間歇性低氧環境運動訓練 (IHT trial) 期間，運動員因環境與訓練的生理適應，當運動員由低氧環境恢復至常氧環境運動時，身體對相同程度的運動耐受性高。李文志、陳俊忠 (1996) 在探討常壓低氧模擬登山訓練

之研究指出，常壓低氧的訓練效果、生理反應及運動表現上皆優於常壓常氧組。所以適當的低氧運動訓練，能增進體適能表現，藉此促進人體能量代謝調節效益。並且可提升心臟收縮力、骨骼肌血液灌流與利用氧氣的程度、血管內皮前驅細胞的徵召與血管新生作用、與血液動力效能 (Hayashi et al,2000)。

第二節 血乳酸(La)與訓練之關係

醣類的代謝過程中會產生一種叫乳酸的物質，肌肉持續高強度的運動時，醣酵解作用會產生一種叫丙酮酸的物質，在達到缺氧狀態下時，丙酮酸會轉化成乳酸，此時會形成乳酸堆積現象，此種情形為的是補充緊急所需的ATP(Karlsson & Saltin,1971)。當肌肉運動強度越大時，所產生乳酸的量就會越多，當乳酸產生越多時(>6mmol/l)，運動技術表現將會受到影響(Janssen and Peter,2001)。

因此乳酸此種物質會影響神經的傳導速度及肌肉的收縮，能源利用方面亦會受此干擾，漸漸的在肌肉及血液當中產生堆積，使肌肉維持同等收縮能力下降，此時肌肉開始產生暫時性疲勞。因為乳酸堆積因素，導致選手想維持肌肉收縮及速度維持無法正常發揮(Stamfor , Weltman , Moffatt & Sady, 1981 ; Kirkendall,1990)。在運動中產生乳酸的現象被學者認為是一種組織缺氧的現象。爲了提高氧氣運送的能力

以及提升肌肉的有氧代謝能力，耐力的提升是必須的，耐力的提升能夠提高血流的循環速度及肌肉排除乳酸和氫離子的速度，藉此使得肌肉疲勞的產生得到延遲 (Kemper , Lindstedt , Hartzler , Hicks , & Conley,2001) 。乳酸為評定運動訓練強度及監控，經過不同的運動強度、參與的肌肉量與持續時間，都會影響乳酸濃度 (Hultman&Sholm,1980) 。

採集乳酸是最容易之措施，在平時的訓練情況下，可以藉助運動中或是運動結束後所產生的血液乳酸堆積濃度做出訓練之判斷 (Hultman et al,1981) 。

所以目前能夠在短時間內，提供準確之生理反應之生物參數，唯有血乳酸值，可以藉由簡單的檢測方式與不同之檢測目的，判斷運動員在訓練負荷時的能量代謝狀況與恢復情形。乳酸在運動訓練和測驗上除了用來評定無氧閾值、耐乳酸能力、或做為耐力性運動項目訓練強度的指標之外，還可用來判定疲勞程度、體內血液高乳酸堆積，會使肌肉出現短暫性的疲勞 (Hcck,1990) 。

Neumann et al. (1991)研究指出個人有氧能力之優劣，可以從運動中乳酸的堆積與排除能力來判斷，有氧能力越高者，乳酸的排除速度會越快。當運動強度提高時，乳酸的生成率與清除速率就會失去平衡，此時需要以無氧醣酵解的方式提供能量，因此產生乳酸堆積現象 (Gasser & Brooks,1984)。

而運動員專項耐力訓練需著重比賽負荷要求，練習強度必須達到血液乳酸堆積 $> 6\text{mmol/l}$ 以上 (Engelhardt, &

Neumann,1994)。張嘉澤(2008)指出血乳酸堆積是僅次於心跳率被廣泛應用之生物數據，它能準確的分析判斷1.訓練劑量2.訓練方式作用反應3.有氧-無氧能力4.負荷強度5.肝醣儲存情況等生理反應。因此血乳酸可以做為運動強度之參考依據，也可用來判斷無氧閾值，經過簡單的血乳酸檢測方式，也可用來判斷運動員在運動訓練負荷下，能量代謝之狀況及恢復情形，以此做為教練在擬訂訓練課表時的一種參考指標。

第三節 血氨(NH₃)與訓練之關係

人體內的血液NH₃大多是來自於食物的消化作用，而安靜時肌肉中動靜脈NH₃，濃度差異幾乎接近零。NH₃主要是由於腸胃中蛋白質的消化代謝作用以及產生尿液的代謝作用所形成。Mutch & Banister(1983)然而在短時間高強度運動後血液NH₃產生的由來，是因為在短時間高強度的運動中，人體於短時間內對於ATP(三磷酸腺苷)的需求急遽，致使大量的ADP(二磷酸腺苷)與磷酸根(Pi)結合以供給ATP的來源。然而肌肉纖維中的快速肌纖維也就是白肌纖維擔任著主要NH₃的生產者。在每2分子的ADP與Pi結合就會產生1分子的ATP與1分子的AMP(一磷酸腺苷)，而AMP接著會再進入嘌呤核酸循環，並在過程中受到腺甘酸脫氨酶的催化作用而產生IMP(肌核苷)與NH₃。Weicker(1988)研究指出血氨的堆積會影響動作的協調性與動作技術的控制能力，所以在運動中血氨

的堆積與疲勞具有密切的相關性。在短時間高強度的運動類別中，血氨值的升高反映了身體無氧供能系統的失衡，造成骨骼肌的能量代謝受到影響，也影響了肌肉纖維作功的能力因而產生疲勞現象。Banister(1983) & Allaen and Conn(1960)發現在高負荷下進行運動，血氨濃度可能增加至安靜值的400%倍之多，但若是以中低強度進行運動後，血液中的血氨濃度並不會有大幅的改變。鄭陸(2004)指出在血氨與血乳酸的生成當中，以無氧代謝為主要能量系統的短時間高強度運動中，兩者呈現相關性。在運動負荷強度60%~70% ($\dot{V}O_2\max$) 時血氨的產生是顯著升高，而當強度提升至90%~100%時血氨的生成斜率最大(Buono,1984)。侯碧燕(2009)研究指出在短時間高強度的運動類別中，血氨值的升高反映了身體無氧供能系統的失衡，造成骨骼肌的能量代謝受到影響。血氨的堆積會影響動作的協調性與動作技術的控制能力，同時也影響了肌肉纖維做功的能力因而產生疲勞現象。

第四節 心跳率(HR)與訓練之關係

心臟每分鐘跳動次數我們就稱之為心跳率，通常我們在最大心跳率的預測公式為(220-年齡)，它會受到我們在活動或是運動時強度高低的影響(Hottenrott, 1993)。另外會影響心跳率的因素還有，疲勞、氣候、飲食、年齡、性別。心跳率可以讓我們做為心肺功能優劣、運動負荷高低及身體狀況好壞的依據(黃雅陵等，2008)。錢韋成等(2005)指出心跳率是用來觀察生理反應的一種生理指標，比照一般人來說，安靜值心跳率平均每分鐘在72次左右，而運動選手大部分都會低於這個數字。依照生物參數改善所需時間，最快速改善的是心跳，以日為單位 (Neumann,1990)。

在一般來說人體的情況是每分每秒的反應在心跳率上，所以利用心跳率來作為運動訓練上強度的設定以及訓練效果的檢定是現今教練常使用的方式。Hollmann(1959)研究指出心跳率的測量可以評估人體的身體狀態，還可以判定心肺功能的優劣、運動強度指標、評估運動能量消耗及運動訓練效果。心跳率在生理學以及訓練學上是最常被運用的生理指數。用來做為運動強度的設定及訓練效果的檢測。

心跳率是最直接反映生理機能的指標，可以在訓練的同時快速獲得的一種生理反應，以做為立即調整訓練強度之依據。Böhmer et al. (1975)研究指出可利用最大運動結束後五分鐘的恢復心跳率來判斷訓練效果及評估體能，超過

130min⁻¹ 表示差；120-130min⁻¹ 表示不好；115-120min⁻¹ 表示好；105-100min⁻¹ 表示非常好；100min⁻¹ 以下表示擁有高競技運動能力。張嘉澤(2008)指出心跳率是最容易取得與應用之生理參數，它可以用來判斷 1.承受負荷能力 2.體循環調節 3.健康情況 4.訓練效果 5.運動能力等生理反應。

所以一般教練在訓練時，對於訓練強度的設定，常以選手運動時的心跳率來做為評估訓練之效果。在運動訓練上負荷強度越高、頻率越多與訓練期越長，越能收到訓練產生的適應效果。然而心跳率的變化速率可以反映出一個人的攝氧量變化及運動時的運動強度(Zintl, 1994)。



第五節 生理適應之變化

訓練負荷強度、時間與方式，是直接影響體內生物參數再生的主要因素，例如高強度間歇訓練型態，需要較長時間的恢復。體內各項元素再生速度，是依據訓練強度與運動型態，分為短時間、中時間與長時間三個階段。生理適應與恢復(再生)是顯現訓練效果，擬定訓練計畫內容之重要指標。唯有足夠的恢復時間，才能產生好的訓練適應與增加肌肉能量儲存(Neumann,1998)。過去研究發現，影響高地環境訓練能量代謝的因素有：攝氧量減少影響能量代謝、阻礙脂肪酸代謝進而增加碳水化合物的分解、相同強度負荷下，高地產生的乳酸會大於平地、肝醣提早耗盡，阻礙醣質新生，相對的提高蛋白質的分解(張嘉澤，2010)。然而運動訓練強度，對身體組成有一定的關聯性，長期從事中等強度運動訓練對身體組成有明顯的影響。運動對人體體重的控制與身體組成的改變也有著一定的效果，它所帶來的改變更是近年來熱門的研究(廖家祺，2001)。所以競技運動員對訓練強度的適應比較快，依據 Neumann (1991)研究指出的生理適應週期為 4-6 週。教練如能掌握運動員之生理適應特徵，既能縮短訓練週期，亦能提早進入下一階段之訓練。在經過兩年以上專項訓練之選手，其訓練週期計畫只需要 4 週即可，訓練週期的前兩週為強度適應期，後兩週訓練則為適應穩定期(Hollmann & Rost, 1981)。所以我們在非最大運動後其心跳率亦會很快的

恢復到安靜值的水準，而心肺適能的優劣顯示在運動時心跳率反應速度，及運動結束後恢復至安靜狀態的速率(Bö hmer et al, 1975)。而當身體接受運動訓練的刺激後，體內的器官會因訓練負荷的增強而增加其活性，以應付刺激所需的能量消耗，此時各個組織器官進入調整階段，在這些組織器官當中，最快達到生理適應的是心跳調節，其次是血液乳酸堆積與排除的能力(Grosser, 2001)。Jungermann/Möhler (1984)指出骨骼肌在運動負荷時轉化儲存在肌肉的肝醣，並擴大來自血液的葡萄糖供肌肉使用，而心肌也提高對乳酸的再利用。肌肉內部能量補償的比例，在碳水化合物和脂肪。其安靜狀態是 20：80%，在一般的體適能運動是 40：60%在高強度運動負荷是 70：30%。這種轉化的規模大小是依據肌肉運動的強度、時間與形態決定。然而肌肉內部的能量代謝轉換從安靜值到身體運動，這段變化不是定性的。而是會依據運動強度自然的擴大非定性轉換。

第六節 文獻總結

綜合上述文獻所述，歸納出以下幾點：

- 一、常壓低氧下，不會有高地環境改變血液血紅素濃度的影響，但是卻可以提升運動表現及快速改善肌肉能量提供路徑。
- 二、血乳酸可以做為運動強度之參考依據，也可用來判斷無氧閾值，經過簡單的血乳酸檢測方式，也可用來判斷運動員在運動訓練負荷下，能量代謝之狀況及恢復情形，以此做為教練在擬定訓練課表時的一種參考指標。
- 三、人體內的血液 NH_3 大多是來自於食物的消化作用， NH_3 主要是由於腸胃中蛋白質的消化代謝作用以及產生尿液的代謝作用所形成。然而每 2 分子的 ADP 與 P_i 結合就會產生 1 分子的 ATP 與 1 分子的 AMP (一磷酸腺苷)，而 AMP 接著會再進入嘌呤核酸循環，並在過程中受到腺苷酸脫氨酶的催化作用而產生 IMP (肌核苷)與 NH_3 。
- 四、心臟每分鐘跳動次數我們就稱之為心跳率，通常我們在最大心跳率的預測公式為(220-年齡)，它會受到我們在活動或是運動時強度高低的影響。
- 五、訓練負荷強度、時間與方式，是直接影響體內生物參數再生的主因。長期從事中等強度運動訓練對身體組成有明顯的影響。運動對人體體重控制與身體組成的改變也有一定的效果，它所帶來的改變是近年來熱門的研究。

第三章 研究方法

第一節 研究對象

本研究以 6 名全國排名前 15 名之男子舉重運動員為對象，皆無受傷。

表 3-1 受試者資料表

編號	年齡 (years)	身高 (cm)	體重 (kg)	訓練年 (years)
1	24	168	77.5	12
2	23	180	82.4	11
3	22	171	77.4	8
4	20	167	101.6	5
5	20	171	70.2	7
6	19	168	92	4
平均	21 ± 1.96	170.8 ± 4.79	83.51 ± 11.41	7.8 ± 3.18

第二節 實驗時間與地點

一、前測(T-1)

時間：中華民國 101 年 6 月 13、14、15 日。

地點：國立體育大學舉重場、低氧艙。

二、訓練

時間：中華民國 101 年 6 月 18、19、21、22 日。

地點：國立體育大學舉重場、低氧艙。

三、後測(T-2)

時間：中華民國 101 年 6 月 25、26 日。

地點：國立體育大學舉重場、低氧艙。



第三節 實驗儀器與設備

一、血糖乳酸分析儀 (BIOSEN C_line Clinic)。

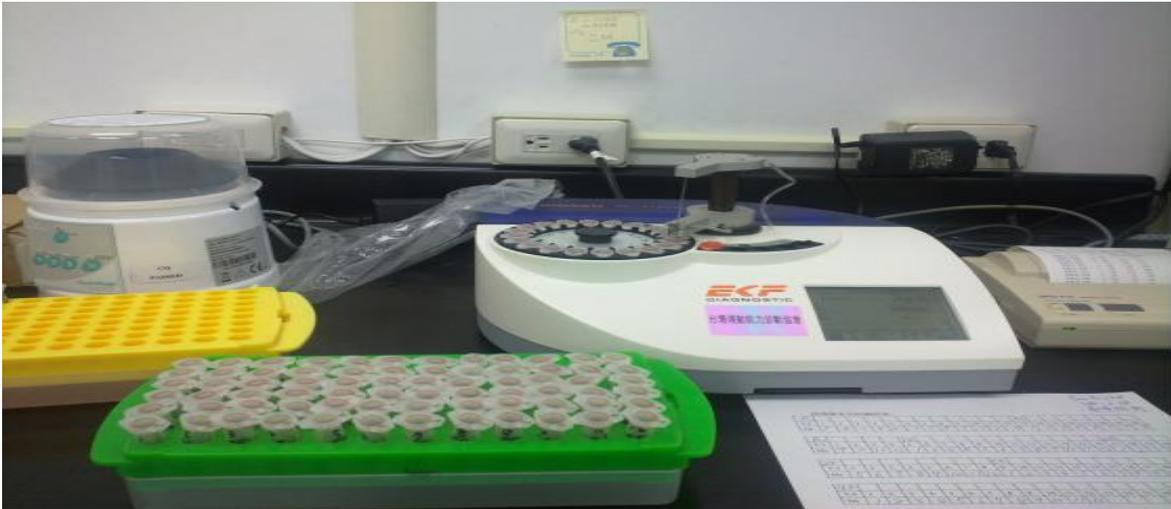


圖 3-1 血糖乳酸分析儀

- 二、血氨分析儀 (PocketChem BA PA-4130; ARKRAY)。
- 三、polar(610i)心跳偵測器。
- 四、InBody(Body Composition Analysis)身體組成分析儀。
- 五、低氧艙。
- 六、碼錶(JEX500)。
- 七、採血工具(酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、外科用手套、冰桶、衛生紙等)。
- 八、舉重專用裝備及重量訓練器材。

第四節 實驗步驟與設計

一、實驗步驟

(一) 實驗前的準備

1. 填寫實驗同意書及運動專項能力診斷疾病調查表，接著讓受試者填寫個人資料包括：年齡、身高、體重、訓練年數等。
2. 說明實驗目的、步驟、訓練方式與注意事項。把所有受試者集合，詳細說明訓練內容及測試方式。

(二) 實驗測試方法

1. 最大肌力測試：受試者先於舉重場外進行熱身，慢跑(5min)、伸展(5min)接著進行上肢與下肢的最大肌力測試，上肢部分以仰臥推舉持續至最大負荷，組間休息 3min，下肢部分以後半蹲持續至最大負荷，組間休息 3min。此測試用來做為上肢與下肢前後測之強度(40%)，如(表 3-2)所示。
2. 專項測試：受試者先於舉重場外進行熱身，慢跑(5min)、伸展(5min)。接著進行上肢與下肢的專項測試，上肢部份以 40%(1RM)的仰臥推舉重量，實施 4x20 專項測試，組間休息 60 秒。在下肢部份以 40%(1RM)的後半蹲重量，實施 4x20 專項測試，組間休息 60 秒。上肢測試中採集乳酸(2x,4x)和心跳(2x,4x,E5)，並採集結束後血氨(E5)。在下肢測試中採集乳酸(2x,4x)

和心跳 (2x.4x.E5)，並採集結束後血氨 (E5)，如(表 3-2) 所示。

3.2-4mmol/l 測試：用腳踏車測功儀做有氧-無氧閾值診斷，開始負荷瓦特數為 100 Watt，每階上升 30Watt，每階持續 3min，間歇 30 秒，直至個人最大負荷為止。此測試用來做為低氧腳踏車測功儀之訓練強度 (V2-Watt)，如(表 3-2)所示 (Hollmann et al, 1982)。

(三) 實驗設計

1. 低氧訓練

受試者進入低氧艙 (FIO₂13%) 以划船機測功儀 Level2 進行 300m 熱身，結束後休息 3min。接著再以 Level4 實施 4x200m(400-500Watt) 訓練，間歇 90s。Tr-1 與 Tr-5 訓練結束後採集乳酸 (E1,E3,E5,E7) 和血氨 (E5)，並記錄結束後心跳 (E1) 與第五分鐘心跳 (E5) 於低氧艙內，採站立式休息，如(表 3-3) 所示。

(四) 實驗之限制

1. 六位受試者在受試期間，皆不能補充含有肌酸、高蛋白及其它任何營養補給品。

表 3-2 最大肌力、2-4mmol/l 及(上下肢)專項測試內容 T1/T2

T1/T2	最大肌力	2-4mmol/l	上肢	下肢
測試動作	仰臥推舉 / 後半蹲	腳踏車測 功儀	仰臥推舉	後半蹲
負荷劑量	1RM	100Watt 每 階 +30Watt	40%	40%
負荷範圍	持續至最 大負荷	每階持續 3min 至最 大負荷	4x20	4x20
休息時間	Set 3min	Rep30s	Set 60s	Set 60s
生物參數	前後測強 度 (40%)	La、HR: 每階結束 後採集	La、HR:2x 4x(HR:E5) NH ₃ :E5	La、HR:2x 4x(HR:E5) NH ₃ :E5

表 3-3 低氧訓練內容

	負荷內容	生物參數
	划船機測功儀/熱身/訓練(FIO ₂ 13%)	La、HR、NH ₃
Mon	熱身 Level-2x300m Set3min	無
	Level-4 4x200m(400-500Watt) Rep90s	La:E1,3,5,7 HR: E1,E5 NH ₃ :E5
Tue	熱身 Level-2x300m Set3min	無
	Level-4 4x200m(400-500Watt) Rep90s	無
Wed	休息	休息
Thu	熱身 Level-2x300m Set3min	無
	Level-4 4x200m(400-500Watt) Rep90s	無
Fri	熱身 Level-2x300m Set3min	無
	Level-4 4x200m(400-500Watt) Rep90s	La:E1,3,5,7 HR: E1,E5 NH ₃ :E5

第五節 實驗流程

一、訓練週期與檢測時間點

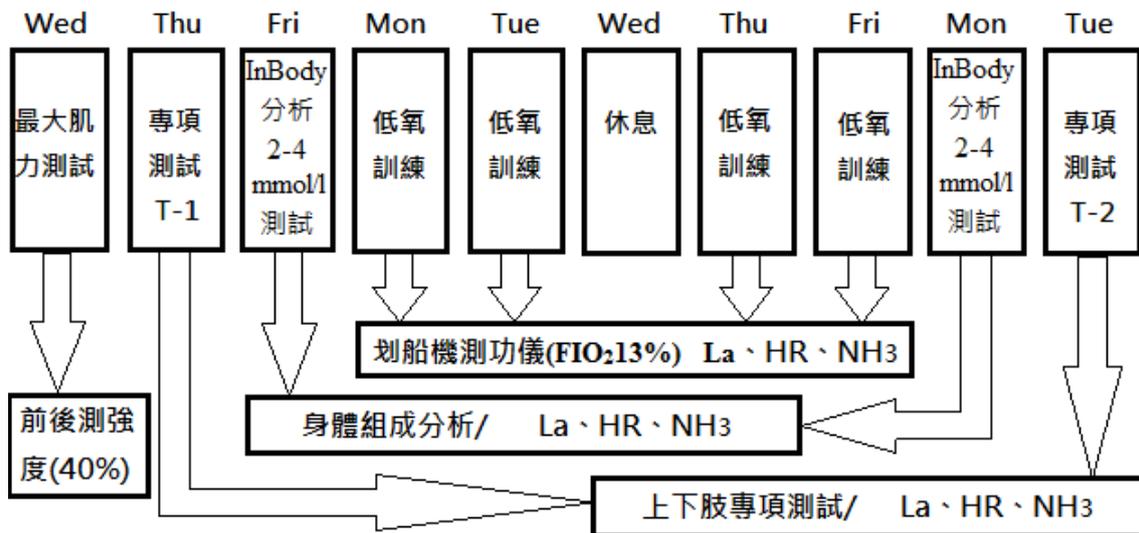


圖 3-2 實驗流程圖

第六節 資料處理與統計分析

- 一、以 SPSS for Windows 18.0 進行統計分析及 Sigma8.0 繪圖軟體製作圖形。
- 二、所有數值以平均數±標準差表示。
- 三、以相依樣本 t 考驗檢驗前後測上肢(仰臥推舉)、下肢(後半蹲)，乳酸、心跳與血氨之差異。
- 四、以重複量數變異數分析個別探討低氧訓練期間對舉重選手乳酸與心跳率的影響以及血氧飽和度的變化。
- 五、以皮爾遜積差相關探討上下肢最大乳酸與 V4(watt) 之關係。
- 六、個人乳酸閾值速度判斷是採用德國研發之軟體(Lactate-Express)分析。
- 七、統計顯著水準為 $\alpha = .05$

第四章 結果分析與討論

本研究的目的是在探討低氧訓練對舉重選手肌肉能量代謝之影響，本章分為五節，其內容分別為：第一節、低氧訓練心跳率；第二節、階梯式負荷；第三節、專項測試上肢與下肢血液乳酸濃度；第四節、無氧閾值耐力與專項測試上肢乳酸；第五節、無氧閾值耐力與專項測試下肢乳酸。

第一節 低氧訓練心跳率

表 4-1 為划船機測功儀測試。強度為 Level4x4x200m，在第一天(1d)第一組(1x)平均值為 $160 \pm 13.9 \text{ min}^{-1}$ ，第四組(4x)則為 $186 \pm 8.6 \text{ min}^{-1}$ 。兩次平均值差異 $+26 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)。第四天(1d)第一組(1x)平均值為 $173 \pm 8.4 \text{ min}^{-1}$ ，第四組(4x)則為 $186 \pm 9.6 \text{ min}^{-1}$ 。兩次平均值差異 $+13 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)。

第一天(1d)與第四天(4d)訓練第一組(1x)平均值差異 $+13 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)，四天訓練之第四組(4x)心跳率平均值均未達顯著差異。

表 4-1 划船機測功儀(低氧)心跳率平均值與標準差

	1 x	2 x	3 x	4 x
1 d	160±13.9	178±10.6	183±9.8	186±8.6
2 d	173±8.2	180±6.8	185±8.4	188±8.4
3 d	176±8.2	184±8.9	187±8.2	188±8.9
4 d	173±8.4	179±8.2	184±8.1	186±9.6

由表 4-1 所示，第二天(2d)與第三天(3d)，心跳率高於第一天(1d)與第四天(4d)。此症狀顯示初期接觸低氧環境(FIO₂13%)，身體出現補償性反應，導致心跳率上升，(Sheffied & Heimbach, 1996)，與本研究相符。Willam and Ganong(1981)指出低氧會使交感神經興奮，進而出現腎上腺髓質磷苯二酚胺分泌增加及過度呼吸，產生心輸出量與心搏增加，本研究結果第 4 組亦呈現高心跳。而交感神經神經活化，能夠促使不同的血管做調節，使血管擴張，血流增加，維持重要器官氧的供應(Westendorp et al,1997)。

Wells, Balke and Van Fossan(1957)指出心跳率運動強度分類標準，在心跳率大於 100min⁻¹ 為溫和；大於 120min⁻¹ 為適量；大於 140min⁻¹ 為中等強度；大於 160min⁻¹ 為劇烈強度；小於 180min⁻¹ 為最大強度；大於 180min⁻¹ 為衰竭運動強度。研究結果發現，6 位受試者之有氧耐力能力偏差，而有

氧耐力較佳者，心跳率相對較低。

圖 4-1 為划船機測功儀測試。在第一天(1d)第一組(1x)乳酸平均值為 $4.3 \pm 0.5 \text{ mmol/l}$ ，第四組(4x)則為 $11.8 \pm 1.1 \text{ mmol/l}$ ，兩次平均值差異 $+7.5 \text{ mmol/l}$ ($p < 0.05$)。在第四天(1d)第一組(1x)乳酸平均值為 $4.6 \pm 0.9 \text{ mmol/l}$ ，第四組(4x)則為 $12.0 \pm 1.3 \text{ mmol/l}$ ，兩次平均值差異 $+7.4 \text{ mmol/l}$ ($p < 0.05$)。

第一天(1d)與第四天(4d)的第一組(1x)平均值差異為 $+0.3 \text{ mmol/l}$ ($p < 0.05$)，第四組(4x)平均值差異為 $+0.2 \text{ mmol/l}$ ($p < 0.05$)。

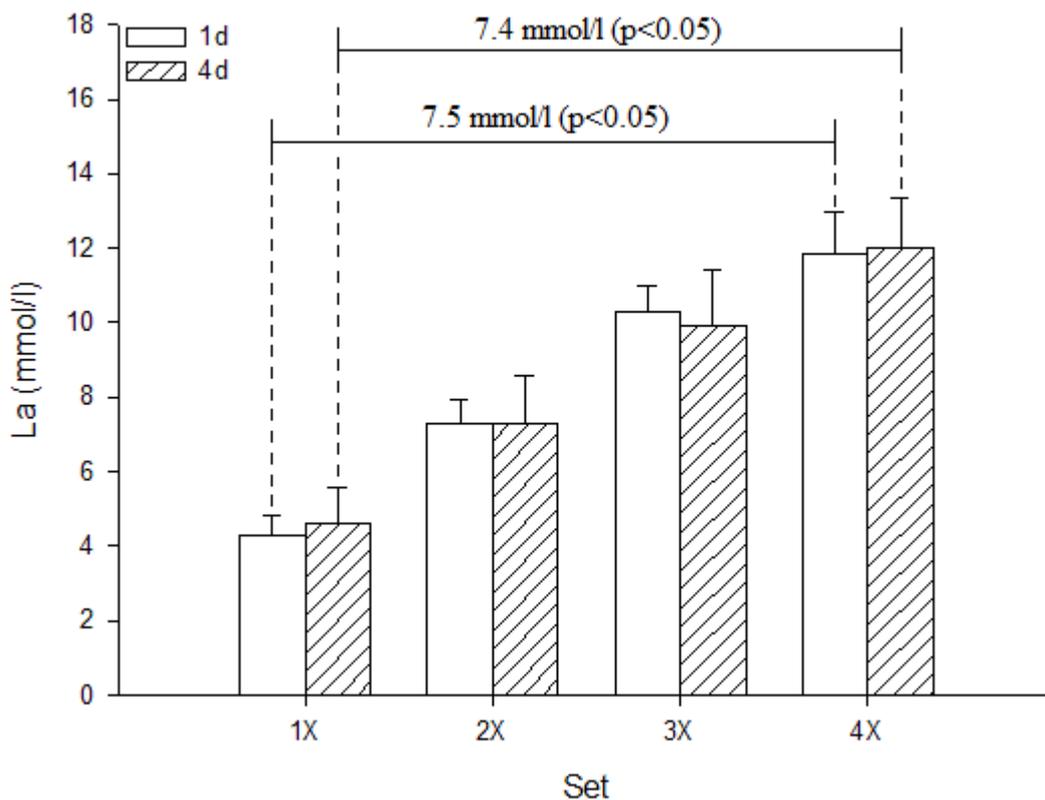


圖 4-1 划船機測功儀血液乳酸堆積

由圖 4-1 所示，第 1 天(1d)的 1x 與 4x 乳酸值皆低於第四天(4d)的 1x 與 4x。此症狀顯示舉重選手在改變肌肉收縮型態之運動負荷，其適應能力之速度，未達理論上(Neumann 1980)之效果。而另外因素可能在於受試者之無氧動力能力(表 4-3)未能反應於生理負荷之適應效果。而在無氧醣酵解的路徑下，乳酸與氫離子堆積過量會干擾肌肉的收縮、神經傳導速度與能源的應用，或是造成代謝能力下降，而導致疲勞(Kirkendall,1990)。Mader et al. (1991) 研究指出運動員無氧動力效果影響能量提供路徑(無氧醣酵解)，因此如亦提高肌肉無氧醣酵解之效率，必須先改善肌肉之動力。

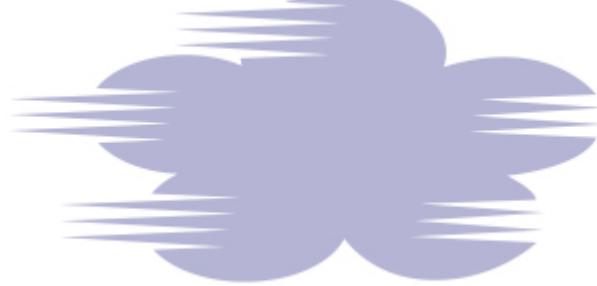


圖 4-2 在第一天(1d)第一組(1x)與第四組(4x)血氨堆積平均值分別為 $72.8\mu\text{mol/l}$ 與 $130.7\mu\text{mol/l}$ 。兩次差異為 $57.9\mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。第四天(4d)的第一組(1x)與第四組(4x)血氨堆積平均值分別為 $52.8\mu\text{mol/l}$ 與 $104.1\mu\text{mol/l}$ 。兩次差異為 $51.3\mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。第一天(1d)與第四天(4d)的第一組(1x)平均值差異為 $-20\mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)，第四組(4x)平均值差異為 $-26.6\mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。

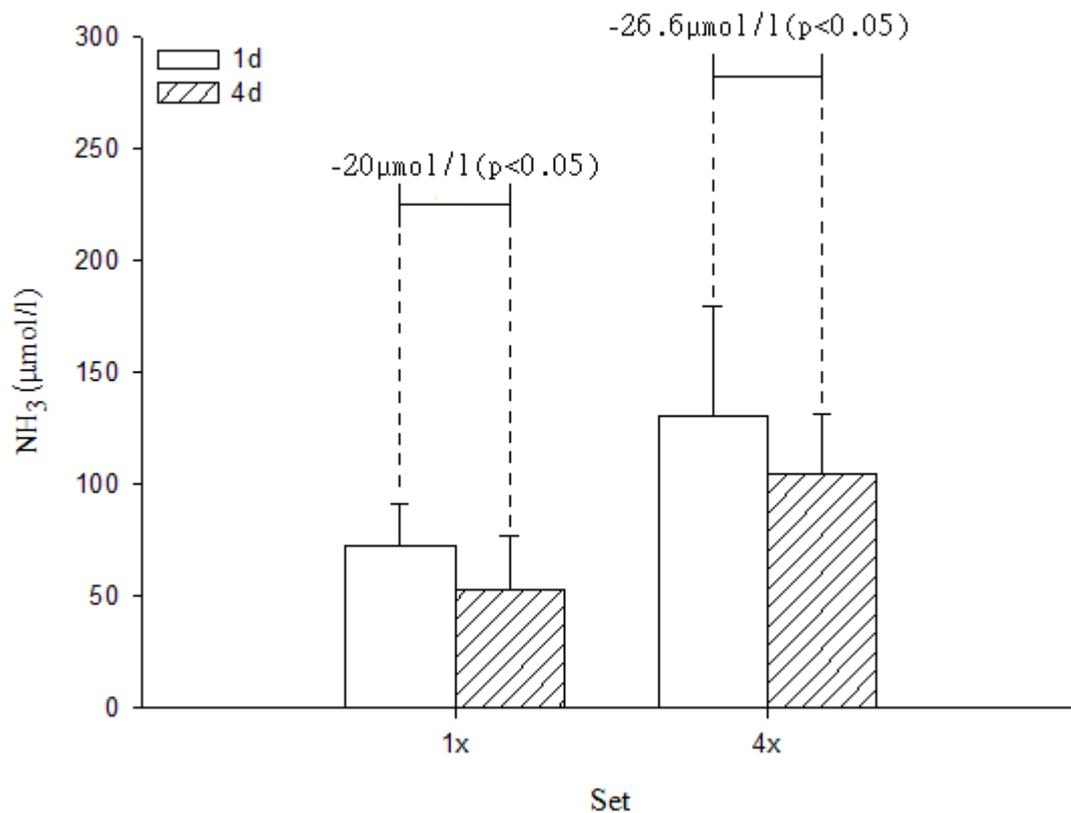


圖 4-2 划船機測功儀血氨

第一天與第四天低氧訓練中血氨平均值呈現下降趨勢(圖 4-2)，此症狀顯示無氧醣酵解效率增加，蛋白質分解下

降。Lowenstein(1972)血氨的濃度取決於肌肉的生成，而骨骼肌中的快縮肌是產生氨的主要來源。過去研究發現個人有氧 - 無氧閾值能力，會影響運動中血液 NH_3 濃度 (Urhausen,1989)。研究結果發現受試者對於四天低氧訓練產生適應，以及有氧 - 無氧閾值能力提升，促使血液中 NH_3 在第四天的第一組 (1x) 與第 4 組 (4x)，均呈現下降趨勢。

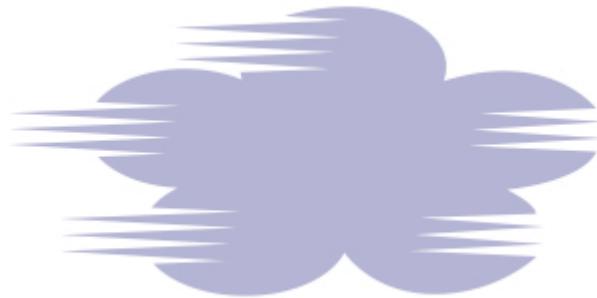


表 4-2 為血氧飽和度。在第一天(1d)的第一組(1x)與第四組(4x) SO_2 平均值分別為 83.16 ± 8.06 與 81.83 ± 7.02 兩次差異為 $-1.33(p < 0.05)$ 。第四天(4d)的第一組(1x)與第四組(4x) SO_2 平均值分別為 88.16 ± 5.38 與 80 ± 13.53 兩次差異為 $-8.16(p < 0.05)$ 。第一天(1d)與第四天(4d)的第一組(1x)差異為 $-5(p < 0.05)$ ，第四組(4x)差異為 $1.83(p < 0.05)$ 。

表 4-2 低氧訓練 SO_2

	1x	2x	3x	4x
1d	83.16 ± 8.06	80.83 ± 12.28	82.83 ± 6.46	81.83 ± 7.02
2d	82.16 ± 11.14	82.16 ± 6.52	79.83 ± 8.93	73.16 ± 6.76
3d	84 ± 6.98	83.16 ± 2.48	76.66 ± 8.75	80.66 ± 4.41
4d	88.16 ± 5.38	87.16 ± 5.49	79.83 ± 12.46	80 ± 13.53

血氧飽和度在每天 4 組訓練中並無顯著差異，第二天(Tr-2)呈現顯著下降(表 4-2)。研究結果發現，第三天(Tr-3)血氧飽和濃度平均值較為起伏，第一天(Tr-1)血氧飽和濃度平均值較為平穩(表 4-2)。Wilber (2004)指出低氧環境訓練下，因為肺循環氣體交換供氧不足，導致輸送至身體週邊組織含氧血量下降。低氧環境會影響血氧飽和濃度，因此人體會因為低氧刺激而不斷做調整，與本研究相符。過去研究指

出在常壓低氧(低氧艙)無法改變 Hb(血球蛋白)數量，(Hammond, Gale, Kapitan, Ries, and Wagner,1986)。

第二節 階梯式負荷

在表 4-3 階梯式負荷(T-1)與(T-2)，最大瓦特平均值為 255 ± 35.07 Watt 與 255 ± 29.49 Watt。T-1 與 T-2 最大瓦特數皆為 310Watt，最小瓦特數皆為 220 Watt。

表 4-3 個人最大負荷平均值與標準差

	Watt _{max}	max	Min
T-1	255 ± 35.07	310	220
T-2	255 ± 29.49	310	220

在表 4-3 前測(T-1)與後測(T-2)，最大瓦特數與最小瓦特數皆呈現維持狀態，在四天低氧訓練中，因為沒有做專項訓練，因此研究結果顯示，划船機測功儀能夠維持其最大瓦特數。過去研究指出專項耐力著重於比賽負荷要求，練習的強度必須達到血液乳酸堆積 $>6\text{mmol/l(V6)}$ 以上才能達到訓練要求(張嘉澤，2008)。而能夠維持住最大瓦特數的原因在於，划船機測功儀的訓練當中，乳酸值皆達到上述之理論之要求。

第三節 專項測試上肢與下肢血液乳酸濃度

表 4-4 在上肢乳酸前測 (T-1) 的第一組 (1x) 與第四組 (4x) 平均值分別為 2.1 ± 0.43 mmol/l 與 5.46 ± 0.94 mmol/l。後測 (T-2) 的第一組 (1x) 與第四組 (4x) 平均值分別為 2.66 ± 0.51 mmol/l 與 5.78 ± 0.81 mmol/l。前後測 (T-1/T-2) 的第一組 (1x) 差異為 0.56 mmol/l ($p < 0.05$)，第四組 (4x) 差異則為 0.32 mmol/l ($p < 0.05$)。

表 4-4 上肢血液乳酸濃度平均值與標準差

	1x	2x	3x	4x
T-1	2.1 ± 0.43	2.77 ± 0.47	3.85 ± 0.55	5.46 ± 0.94
T-2	2.66 ± 0.51	2.95 ± 0.5	4.10 ± 0.57	5.78 ± 0.81
Diff.	+0.56	+0.18	+0.25	+0.32

* $p < 0.05$

結果分析顯示上肢乳酸堆積濃度前後測 (T-1/T-2) 並無顯著差異 (表 4-4)。其原因可能在於透過低氧訓練後，受試者在後測 (T-2) 相同重量的負荷當中，肌肉動員及力量的輸出，比前測 (T-1) 來的大，乳酸堆積速度因此上升，使得後測乳酸值高於前測。過去研究指出乳酸是依據運動時間、運動強度並且會因為當下負荷強度促使肌肉能量提供路徑受到影響 (Hollmann & Liesen, 1973)。因此當負荷提升時，乳酸也隨著

醣酵解活性的提高而上升，與本研究相符。

表 4-5 在下肢乳酸前測 (T-1) 的第一組 (1x) 與第四組 (4x) 平均值分別為 5.63 ± 0.59 mmol/l 與 10.17 ± 1.58 mmol/l。後測 (T-2) 的第一組 (1x) 與第四組 (4x) 平均值分別為 5.45 ± 0.32 mmol/l 與 8.48 ± 1.1 mmol/l。前後測 (T-1/T-2) 的第一組 (1x) 差異為 -0.18 mmol/l ($p < 0.05$)，第四組 (4x) 差異則為 -1.69 mmol/l ($p < 0.05$)。

表 4-5 下肢血液乳酸濃度平均值與標準差

	1x	2x	3x	4x
T-1	5.63 ± 0.59	6.95 ± 1	7.91 ± 0.86	10.17 ± 1.58
T-2	5.45 ± 0.32	6.43 ± 0.75	6.96 ± 1.35	8.48 ± 1.1
Diff.	-0.18^*	-0.52^*	-0.95^*	-1.69^*

* $p < 0.05$

在下肢乳酸前後測 (T-1/T-2) 的 4 組測試中，乳酸隨著組數的增加而呈現上升趨勢 (表 4-5)，在後測 (T-2) 乳酸平均值第一組 (1x) 至第四組 (4x) 與前測 (T-1) 比較下皆有下降趨勢，其中在第四組下降幅度最大。

Hollmann and Liesen (1973) 研究發現常壓低氧環境可以

快速改善肌肉能量提供路徑，與本研究相符。又因舉重平時專項訓練常以硬舉、深蹲等著重於訓練下肢肌群的項目做為主軸，而在四天低氧訓練(划船機測功儀)當中，下肢肌群的訓練比例也比上肢多，因此下肢得到充分的訓練進而改善。Neumann(1990)指出依照生物參數改善所需之時間，乳酸的改善是以週為單位，而本研究透過四天低氧訓練後，下肢乳酸濃度呈現明顯改善趨勢。

第四節 無氧閾值耐力與專項測試上肢乳酸

圖 4-3 為前後測上肢最大乳酸與 V4(watt)之相關分析。前測(T-1)上肢最大乳酸介於 4.67-7.26mmol/l，無氧閾值負荷 V4(watt) 則在 123-190Watt 之間，兩者未達相關。T-2 上肢最大乳酸與 V4(watt) 閾值負荷分別介於 4.25-6.48mmol/l 與 113-179Watt 之間，兩項參數未達相關。

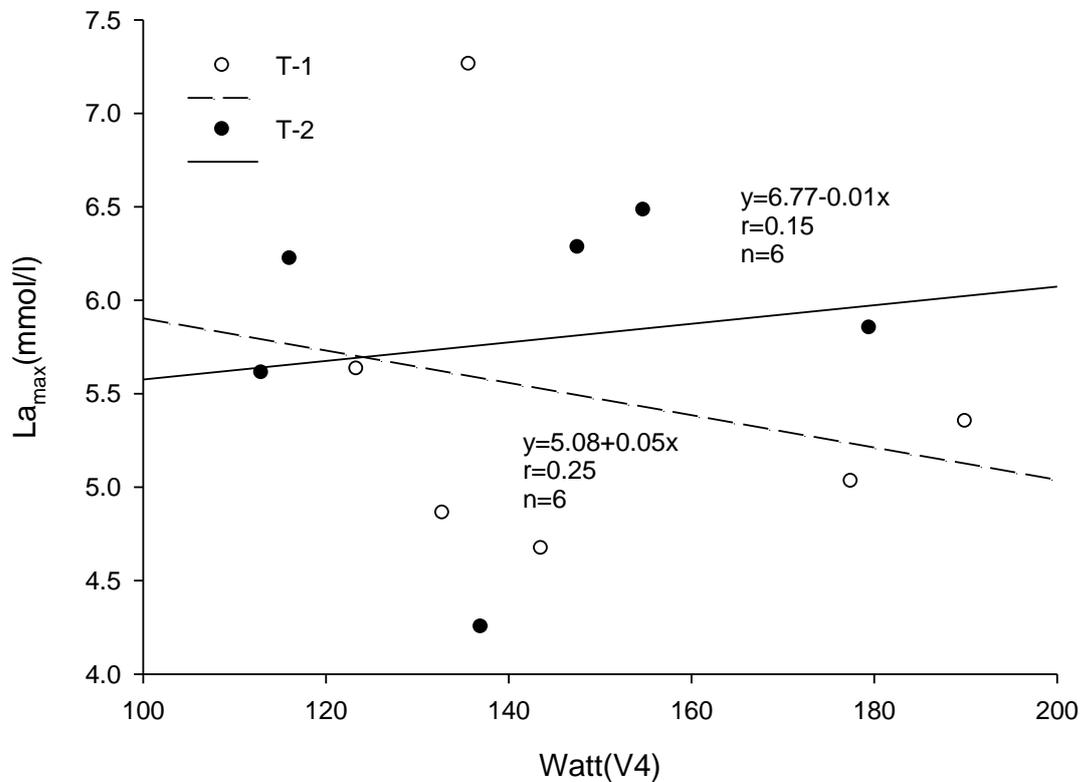


圖 4-3 上肢最大乳酸與 V4(Watt)之關係圖

上述分析顯示(圖 4-3) T-2 上肢測試最大乳酸堆積高於 T-1($p>0.05$)，此症狀顯示受試者之專項耐力未受基礎耐力 (V4, 4mmol/l) 影響。過去研究指出無氧閾值耐力 (V4) 高者，其最大乳酸堆積濃度亦低 (Mader et al.1991 & Heck et al. 2002)，與本研究不符。研究結果此生理機轉反應，可能在於實驗期間以划船機測功儀進行訓練，受試者之腿部肌群負荷大，上肢相對減少，因此造成肌肉新陳代謝效率下降。Harre,D.(1986) 指出週期訓練減少專項練習頻率，將影響其個人專項能力之呈現。

第五節 無氧閾值耐力與專項測試下肢乳酸

圖 4-4 為前後測下肢最大乳酸與 V4(watt)之相關分析。前測(T-1)下肢最大乳酸介於 8.26-11.72mmol/l，無氧閾值負荷 V4(watt) 則在 123-190Watt 之間，兩者呈現負相關($r=-0.91$)。T-2 下肢最大乳酸與 V4(watt) 閾值負荷分別介於 7.26-10.01mmol/l 與 113-179Watt 之間，兩者未達相關($r=0.44$)。

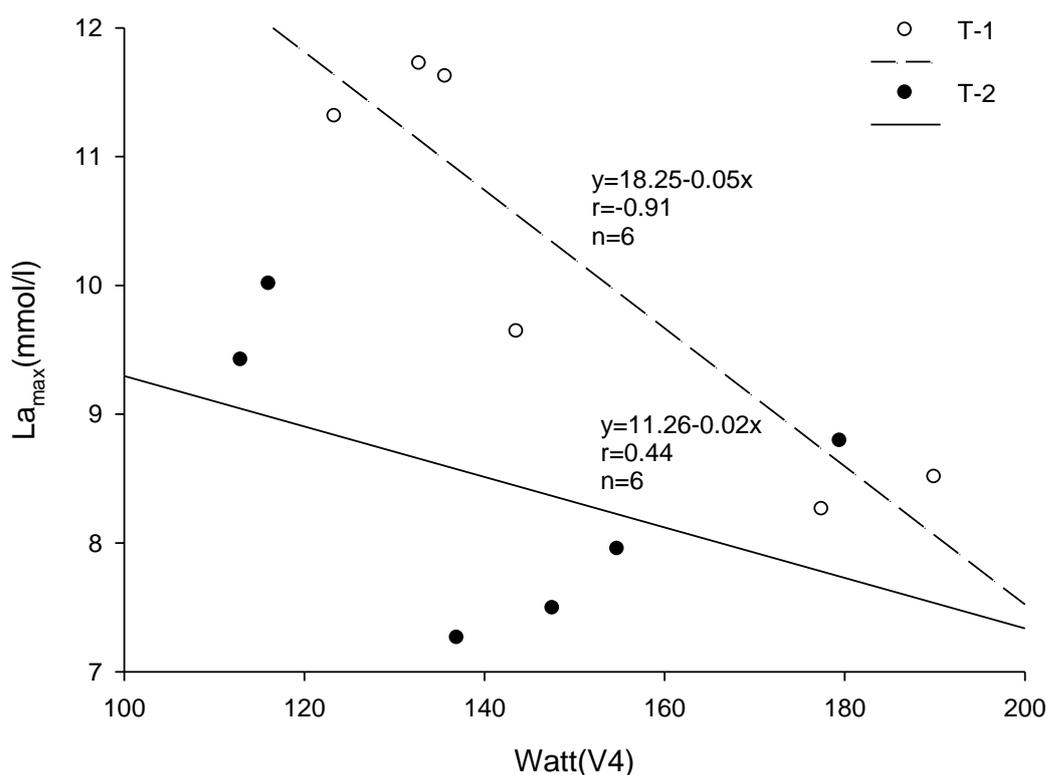


圖 4-4 下肢最大乳酸與 V4(Watt)之關係圖

上述分析顯示(圖 4-3) T-2 下肢測試最大乳酸堆積低於 T-1($p>0.05$)，此症狀顯示受試者之專項耐力受無氧閾值($V_{4, 4\text{mmol/l}}$)影響。研究結果發現低氧刺激能夠使人體出現補償性反應，並增進醣酵解代謝能力，與本研究相符。過去研究指出在進行相同強度下之運動，生理產生適應進而使最大乳酸下降，其最大原因為乳酸製造率降低或是乳酸代謝率增加的效果(Heck, 1990)，與本研究相符。過去研究指出低氧確實可以誘發生理上的變化，但是對於無氧能力與專項能力卻不一定有改善(Nummela, 1996)，與本研究相符。過去研究發現同樣低氧訓練的環境下，運動員適應的程度有所不同，受試者對低氧適應程度的不同，影響其研究的結果(Hoppeler, Klossner and Vogt, 2008)。

第五章 結論

第一節 結論

- 一、透過四天低氧訓練，血氨明顯下降，推測原因可能在於無氧醣酵解效率增加，蛋白質分解下降。
- 二、透過四天低氧訓練，心跳率無明顯差異，可能原因在於初期接觸低氧環境，身體出現補償性反應，導至心跳率上升。
- 三、四天低氧訓練，血氧飽和度無明顯差異，推測原因在於低氧環境會影響血氧飽和濃度，因此人體會因為低氧刺激而不斷做調整。
- 四、四天低氧訓練，下肢乳酸明顯下降，可能原因為常壓低氧環境可以快速改善肌肉能量提供路徑。
- 五、透過四天低氧訓練後，乳酸值呈現改善趨勢，但不穩定，因此可能在訓練上需再做調整，才能達到穩定適應。

參考文獻

一、中文部分

中華民國舉重協會(舉重運動歷史與簡介)

http://www.ctwa.org.tw/about_weight/about_04.asp

李文志、陳俊忠(1996)。常壓低氧與常壓常氧模擬登山訓練對運動表現與生理反應的影響。中華民國大專院校八十五學年度體育學術研討會專刊。

李晨鐘(1993)。常壓低氧與常氧耐力訓練對運動表現與生理反應之影響。國立體育學院運動科學研究所，未出版碩士論文，桃園縣。

侯碧燕、劉金龍、蘇耿賦(2009)。柔道選手基礎肌力、身體組成與NH₃-Index相關之探討。嘉大體育健康休閒期刊第八卷一期 199-207。

張嘉澤(2008)。訓練學，台灣運動能力診斷協會。

張嘉澤(2010)。運動能力診斷與訓練調整，台灣運動能力診斷協會。

陳光仁(1993)。常壓溫和低氧對非運動員踏車測驗生理反應之影響。國立體育學院運動科學研究所，未出版碩士論文，桃園縣。

陳燕瑩、呂香珠、蔡岑瑋、邱彥成、程一雄(2011)。大專體育學刊，短期間歇性低氧運動訓練對肌肉肝醣合成之影響。(13)1，87-94。

黃雅陵、張嘉澤、邱炳坤(2008)。兩周不同持續跑訓練方式對耐力運動表現效果之探討。國立台灣體育大學(桃園)教練研究所，碩士論文，桃園縣。

廖家祺(2001)。中強度有氧舞蹈訓練對女性身體組成、血液生化值及抗氧化能力之影響。國立體育學院教練研究所未出版碩士論文，桃園縣。

鄭陸(2004)。運動與氨代謝關係的研究發展。中國山東體育學院，20(61)，41-42。

錢韋成、張嘉澤(2005)。無氧耐力能力訓練後對輪椅籃球選手生理變化與技術表現變化之探討。國立體育學院教練研究所，碩士論文，桃園縣。

二、外文部分

Buono, M. J. (1984). Blood lactate and ammonia accumulation during graded exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57, 135-141.

Böhmer, D. , Baron, D. , (1975) Bausenwein, I. , Fischer, H. , Groher, W. , Hess, M. , Jager, D. , Martin, L. , Muhlfahrt, J. , Nocker, P. , Nowacki, G. , Rompe, A. , Thiel, B. , &

Banister, E. W. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle ergometers exercise in man. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 135-141.

Engelhardt, M., & Neumann, G. (1994) *Sportmedizin*.

- Munchen. In: Ausdauertraining. BLV Sportwissen. 104-105.
- Fuchs, & Manfred, R. (1990). Hohentraining. Deutscher Sportbund Bundesaussch_Leistungssport. Munster Philippka. 49-50. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。
- Grosser, M., Starischka, S., & Zimmermann, E. (2001). Das neue Konditionstraining. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。
- Gasser, G., and G. Brooks (1984). Metabolic base of exercise post-exercise oxygen consumption: a review. *Med. Science Exercise*. 16, 29-43.
- Hayashi, T., Hirshman, M. F., Fujii, N., Habinowski, S. A., Witters, L. A., & Goodyear, L. J. (2000). Metabolic stress and altered glucose transport: Activation of AMP-activated protein kinase as a unifying coupling mechanism. *Diabetes*, 49(4), 527-531.
- Hollmann, W (1959). The Relationship Between pH, Lactic Acid, Potassium in the Arterial & Venous Blood, the ventilation, (PoW) and Pulse Frequency During Increasing Spiro-ergometric Work in Endurance trained and Untrained Persons. Pan-American Congress for Sportmedicine, Chicago. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。

- Hollman, W., Liesen, H. (1973). Der Einfluß eines zweiwöchigen Höhentrainings auf die Leitungsfähigkeit im Flachland, gemessen an spiroergometrischen und metabolischen Parametern. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。
- Hammond, M. D., Gale, G. E., Kapitan, K. S., Ries, A., & Wagner, P. D. (1986). Pulmonary gas exchange in humans during normobaric hypoxic exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61(5), 1749-1757.
- Hollmann, W.; Hettinger, T. H. (1982): Sportmedizin, Grundlagen für Arbeit Training und Präventivmedizin. Schattauer. 382-386. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。
- Hollmann, W., & Rost, R. (1981). Ergometrie zur Hypertoniediagnostik. *Dt Med. Wschr.* 106.
- Hollmann, W., Liesen H., Rost, R., & Kawahats, K. (1987) Das Leistungsverhalten und die Trainerbarkeit im Alter. *Z. Geront.* 11, 312.
- Heck, H. (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. *Koln.* 78-80.
- Hultman, E., & Saholm, K. (1980). Acid-base balance during Exercise. *Exercise and Sport Science Review*, 8, 41-128.
- Hottenrott, K. (1993). Trainingssteuerung im Ausdauersport: Theorien - Untersuchungen - Beispiele. *Sportwissenschaft*

und sportpraxis Bd. 92, CzwalinaVerlag.

Hollman, W., Liesen, H. (1973). Der Einfluß eines
zweiwöchigen Höhentrainings auf die Leistungsfähigkeit
im Flachland, gemessen an spirometrischen und
metabolischen Parametern.

Heck, H., Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben
Leistungsdiagnostik. Deutsche Z SportMed 53, 7+8,
202-212.

Harre, D. (1986): Trainingslehre. Berlin. In: Grosser et al.:
Das neue Konditionstraining. 12-14.

Hoppeler, H., Klossner, S. & Vogt, M. (2008) Training in hypoxia
and its effects on skeletal muscle tissue. Medicine and
Science in Sports and Exercise, 18(suppl.1):38-49.

Jungermann, K. und Mohler, H. (1984) Biochemie. Berlin-Heidel-
berg-New York..

Janssen, & Peter G. J. M., (2001). Lactate Threshold
Training, 6-7

Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Diet, muscle glycogen, and
endurance performance. Journal of Applied
Physiology, 31(2), 203-206.

Kemper, W. F., Lindstedt, S. L., Hartzler, L. K., Hicks, J.
W., & Conley, K. E. (2001). Shaking up glycolysis:

- Sustained , high lactate flux during aerobic rattling. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America ,98(2) ,723-728.
- Kirkendall , D . T . (1990) . Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4),444-449
- Lowenstein,J.M.,(1972).Ammonia production in muscle and oter tisseues:The purine nucleotide cycle.*Physiology Reviews*, 52, 382-413
- Mader, A., Heck, H. (1991). Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis derHumanleistungsphysiologie. *Spectrum der wissenschaften* 3, 5-54
- Mutch,B.J. ,& Banister, E.W.(1983).Ammonia metabolism in exercise and fatigue:a review.*Medicine and Science in Sports and Exercise*,15(1) ,41-50.
- Neumann,G.(1990).UmstellungundAnpassungderFunktionssysteme. In: Das grossBuch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag. 222-223.
- Nummela, 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,S124.
- Neumann, G. (1990). Umstellung und Anpassung der

- Funktionssysteme. In: Das grossBuch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag. 222-223.
- Neumann, G. ,& Berbalk, A. (1991). Umstellung und Anpassung des Organismus - grundlegende Voraussetzung der sportlichen Leistungsfähigkeit. In: 張嘉澤: 運動能力診斷與訓練調整 (2010 出版), 台灣運動能力診斷協會。
- Neumann, G. (1991): Zur Leistungsstruktur der Kurz- und Mittelzeitausdauer Sportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport* 21, S. 29-31.
- Neumann, G., Pfitzner, A., & Berbalk, A. (1998) *Optimiertes Ausdauertraining*. Meyer Verlag。
- Sheffield, P. J., & Heimbach, R. D. (1996). Respiratory physiology. In: De-Hart (ed.): *Fundamental of Aerospace Medicine*, pp. 69-108. Baltimore: William & Wilkins.
- Schmucker, O. (1975). Das Sportmedizinische Untersuchungssystem. *Leistungssport*, Beiheft.
- Stamford, B. A., Moffatt, R., & Sady, S. (1981). Exerciserecovery above, and below the anaerobic threshold following maximal work. *Journal of Applied Physiology*, 51 (4), 840-844.
- Urhausen, A., Heckmann, M., Kindermann, W. (1989): Verhalten von Ammoniak bei aeroben und anaeroben leistungsdiagnostischen Untersuchungen. In: Böning, D.,

- Braumann, K.M. , Busse, M. W. , Maassen, N. , Schmidt, W.(Hrsg.): Sport-Rettung oder Risiko für die Gesundheit? Dtsch. Ärzte Verlag, Köln, S. 343-347
- Weicker, H. (1988): purinnukleotidzyklus und muskulare ammoniakproduktion.Dtsch Z Sportmed 39,172-178.
- Wells, J. , Balke, B. , & Van Fossan, D. (1957). Lactic Acid Accumulation During Work-A Suggested Standardization of Work classification. *Journal of Applied Physiology*, 10, 51.
- Westendorp,R,G.J.,Blauw,G.J.,Frolich,M., & Simons,R.(1997) .Hypoxic Syncope.*Aviation Space Environment Medicine*, 68, 410-414.
- Yi, Long-Yan, Xu, Fei, Yan, Bing & Ji, Huan. (2011). Effect of hypoxic training on exercise-induced arterial hypoxaemia during progressive exercise in male runners[Abstract].*Book of Abstracts* (p.4). Kaohsiung , Taiwan: The 10th Annual Conference for the Society of Chinese Scholars Exercise Physiology and Fitness.
- Zintl,F.(1994): Ausdauer-Training, Grundlagen-Methoden-Trainingssteuerung.BLV,Sportwissen.Zürich.