

國立體育大學

競技學院

競技與教練科學研究所碩士論文

一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項

比賽恢復能力之影響

**Effects of one week normoxia and hypoxia training on endurance
capacity and recovery during the Taekwondo simulated match.**

指導教授：張嘉澤 博士

研 究 生：李婉禎 撰

中 華 民 國 103 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

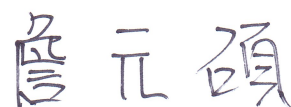
本論文：一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項比賽恢復能力之影響

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生 李婉禎 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

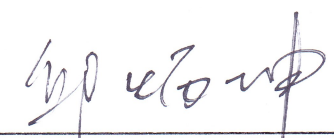
中華民國 103 年 1 月

論文考試委員



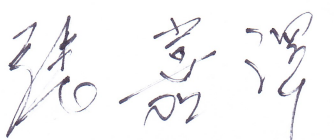
詹元碩 博士

國立台北教育大學助理教授



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)

一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項比賽 恢復能力之影響

摘要

本研究目的主要在探討一週常氧與低氧訓練對跆拳道選手基礎耐力與比賽中快速恢復能力之影響。方法：本研究對象為國內大專跆拳道甲組優秀選手（男子 6 名、女子 4 名，共 10 名），依據個人無氧閾值作為分組，分為常氧組（跑步機，持續變換跑方式， $O_2=21\%$ ）與低氧組（划船測功儀，高強度間歇模式， $O_2=13\%$ ）進行一週訓練。結論：一、基礎耐力結果顯示：常氧組能量代謝無明顯改變，體循環有適應之情形；低氧組能量代謝呈現進步，體循環呈現不穩定。二、一週常氧與低氧訓練在恢復期乳酸排除率沒有明顯改變，但恢復期乳酸曲線皆呈現下降之情形；自覺量表於兩種不同環境下皆呈現下降情形，表示在相同強度下身體的恢復機轉已達到穩定。三、模擬比賽結束後兩組之血氨值後測皆比前測高，但未達顯著差異 ($p>.05$)；最大乳酸堆積常氧組後測比前測高；低氧組無明顯改變；恢復心跳率 ($E5$) 於常氧組後測 $<$ 前測，但低氧組後測 $>$ 前測。此結果顯示，低氧環境訓練的效果反應在比賽恢復期的能量代謝上，而常氧訓練的效果則主要在體循環方面。四、經過一週訓練後，兩組在後測時模擬比賽的乳酸排除率與恢復心跳率皆未達標準 ($La_{rate} > 0.5 \text{ mmol/l} \cdot \text{min}$ ； $HR_{E5} < 100/\text{min}^{-1}$)，推測可能原因為：一週訓練造成有氧閾值下降而影響模擬比賽的恢復機轉。

關鍵詞：跆拳道、低氧訓練、恢復機轉

Effects of one week normoxia and hypoxia training on endurance capacity and recovery during the Taekwondo simulated match.

Abstract

The **Purpose** of this study was to investigate the effects of one week normoxia and hypoxia training on aerobic-anaerobic capacity and recovery during Taekwondo simulated match. **Methods** : Ten elite collage Taekwondo athletes (Six males and four females) participated in the study. They were grouped in normoxia (Treadmill) or hypoxia (Rowing ergometer) training according to their anaerobic thresholds by counter balance order. **Results & Conclusion** : 1. The metabolism of aerobic-anaerobic capacity was adapted in hypoxia group but not in normoxia group, however, the circulation was adapted in normoxia group but not of the hypoxia group. 2. Although the blood lactate clearance in the recovery period was not significant change during the one week normoxia and hypoxia training, the blood lactate curve was moved downward. The RPE also decreased, it means that the recovery mechanism of the athletes was stable at the same training load. 3. Post-match NH_3 of the two groups was higher than pre-match, but not in significant difference; post-match La_{max} of the normoxia group was also higher than pre-match, but not in the hypoxia group. The recovery heart rate was lower in the post-match of the normoxia group, but not of the hypoxia group. These results showed that the effect of the hypoxia training was major in the metabolism, but the effect of the normoxia training was on the circulation.

4. Post-match lactate clearance and recovery heart rate of the two groups were not at the standard after one week training, it may be due to the decrease in the aerobic capacity.

Key Words : Taekwondo 、 Hypoxia training 、 Recovery mechanism

致謝

首先誠摯的感謝指導教授張嘉澤博士，在學術研究上不厭其煩地給予指導，促使本研究能如期完成。在碩士班學習過程中，給予學生在運動科學訓練與生活教育上正確的觀念，使學生奠定了專業上的學理基礎。本論文承蒙口試委員邱炳坤教授、詹元碩教授殷切指導，使論文內容更臻完備，特此敬申謝意。

在學期間，感謝國立體育大學所有教師的教誨，體大跆拳道隊張榮三主任、湯惠婷總教練、廖家興教練、朱木炎教練、曾櫟騁教練與隊友們，在競技運動上給予專業指導及學術上的幫忙。感謝 SPDI 團隊的每一位夥伴們，月琪、佳慧、德盛、櫻灣、仁傑、奕棠、有祥、玉兒、心儀、敬衡、奕勳、汶淋、青宏、聲賓、俊霖、智瑋、松潛、育綺、婉柔，有您們互相砥礪與協助，研究才能順利完成。此外，感謝彰德跆拳道道館吳永龍教練、楊雅茗教練、陳亭宇教練及道館每位成員的支持，在此婉禎致上十二萬分的謝意和敬意。

最後，感謝我的父母、哥哥、弟弟們一路上辛苦的栽培與支持，讓婉禎得以無後顧之憂下，追求自我的理想，特將此榮耀與您們一同分享，謝謝您們。

李婉禎 謹識

目 錄

摘要	I
Abstract	II
致謝	IV
表目錄	VIII
圖目錄	IX
中英文對照縮寫表	XI
第壹章 緒論	1
第一節 前言	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
第貳章 文獻探討	5
第一節 低氧訓練之生理反應相關研究	5
第二節 有氧-無氧閾值之相關研究	7
第三節 無氧非乳酸耐力相關研究	9
第四節 心跳率、血乳酸、血氨與自覺量表之相關研究	10
第五節 文獻總結	14
第參章 研究方法與步驟	15

第一節	研究對象	15
第二節	實驗時間與地點	15
第三節	實驗儀器與設備	16
第四節	實驗方法與步驟	17
第五節	實驗流程	22
第六節	資料處理與統計分析	23
第肆章	結果分析與討論.....	24
第一節	兩種不同訓練方式對基礎耐力之影響	24
第二節	低氧、常氧訓練對自覺量表之影響	27
第三節	低氧、常氧訓練對恢復期乳酸之影響	29
第四節	低氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊頻率之影響	32
第五節	常氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊頻率之影響	35
第六節	低氧、常氧訓練對模擬比賽血氨之影響	38
第七節	低氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率、恢復心跳率 (E5) 之 影響.....	41
第八節	常氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率、恢復心跳率 (E5) 之 影響.....	44
第伍章	結論.....	47
第一節	結論	47

參考文獻.....	49
-----------	----

表目錄

表 2-4-1 耐力訓練效果藉助心跳率分析	11
表 2-4-2 運動自覺量表	13
表 3-1-1 受試者基本資料	15
表 3-4-1 有氧-無氧閾值測試方式	17
表 3-4-2 專項訓練內容	20
表 3-4-3 實驗內容與收集參數	21
表 4-1-1 低氧組、常氧組有氧-無氧閾值能力分析	25
表 4-2-1 一週低氧、常氧訓練 Tr.1 與 Tr.4 之 RPE 量表	26
表 4-3-1 一週低氧、常氧訓練運動負荷後血乳酸值之分析	29
表 4-6-1 低氧、常氧組模擬比賽之血氨分析表	39

圖目錄

圖 3-4-1 跑步機訓練 (A 組)	19
圖 3-4-2 低氧 (O_2 -13%) 划船測功儀訓練 (B 組).....	19
圖 3-4-3 實驗流程	22
圖 4-1-1 低氧組 2-4 mmol/l 乳酸與心跳率曲線圖	25
圖 4-1-2 常氧組 2-4 mmol/l 乳酸與心跳率曲線圖	26
圖 4-2-1 低氧組與常氧組訓練後 RPE 之量表.....	27
圖 4-3-1 低氧組訓練 Tr.1 與 Tr.4 訓練後之血乳酸	30
圖 4-3-2 常氧組訓練 Tr.1 與 Tr.4 訓練後之血乳酸	31
圖 4-4-1 低氧組模擬比賽結束後 T1 與 T2 血乳酸之比較圖	32
圖 4-4-2 低氧組模擬比賽 T1 與 T2 恢復期心跳率之比較圖	33
圖 4-4-3 低氧組模擬比賽 T1 與 T2 踢擊頻率之比較圖	34
圖 4-5-1 常氧組模擬比賽結束後 T1 與 T2 血乳酸之比較圖	35
圖 4-5-2 常氧組模擬比賽 T1 與 T2 恢復期心跳率之比較圖	36
圖 4-5-3 常氧組模擬比賽 T1 與 T2 踢擊頻率之比較圖	37
圖 4-6-1 低氧組模擬比賽 T1 與 T2 運動結束後 NH_3 之影響.....	38
圖 4-6-2 常氧組模擬比賽 T1 與 T2 運動結束後 NH_3 之影響.....	39
圖 4-7-1 低氧組 V2 與模擬比賽乳酸排除之影響	41
圖 4-7-2 低氧組 V2 與模擬比賽 E5 心跳率之影響	42

圖 4-8-1 常氧組 V2 與模擬比賽乳酸排除之影響	44
圖 4-8-2 常氧組 V2 與模擬比賽 E5 心跳率之影響	45

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
E1-E15	end of the first minute to fifteenth minute	運動結束第 1 分鐘 至第 15 分鐘
HR	Heart rate	心跳率
La	Lactate	乳酸
m	Meter	公尺
min ⁻¹	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
NH ₃	Ammonia	血氨
RPE	Rating of perceived exertion	運動自覺量表
S	Second	秒
T1	Test-1	前測
T2	Test-2	後測
V3	Velocity of 3 millimole liter	3 毫莫耳速度
V4	Velocity of 4 millimole liter	4 毫莫耳速度
V6	Velocity of 6 millimole liter	6 毫莫耳速度

第壹章 緒論

第一節 前言

跆拳道起源於韓國朝鮮半島，早期主要作為軍事上防衛之效果。1955 年由崔泓熙創造，『跆拳道』為腳部的攻擊，『拳』則是手部的攻擊，而『道』是指方法、技巧和道理。跆拳道在 2000 年被列入奧運正式比賽項目，從雪梨奧運至北京奧運，台灣共獲得兩金一銀四銅的佳績，尤其在 2004 年雅典奧運，更獲得我國史上首面奧運金牌，使台灣成為世界上眾所矚目之焦點，也成為我國重點培訓項目之一。跆拳道競賽場地為 8 m x 8 m 之無障礙平面競賽區，以顏色劃分界內與界外，紅色力波墊表示為界內，而邊界線採用藍色或黃色力波墊來區別。每場競賽時間為 2 min 3 回合，回合間休息 60 s。若 3 回合競賽結果平手，於 1 min 中場休息後，將進行第 4 回合驟死賽制的延長賽。競賽場地裁判由 1 位主審 3 位副審所組成，需有 2 位（含）以上裁判認定有效得分才構成得分標準，因此在判決時，若有模擬兩可之處，容易造成裁判主觀之影響，使判決結果之公平性受到質疑，為了公平性考量，由原本所使用的一般護具改為電子護具，以避免不必要的爭議。比賽中，所使用的護具是採用西班牙所生產之 Daedo 電子護具，現今已在國內、國外各大正式比賽中實施。Daedo 電子護具結構是採用液壓原理，中端得分之產生以選手本身所穿著的電子襪與對手電子護胸接觸作為感應，然而，有效得分需藉由踢擊目標之準確性與攻擊力量所構成，兩者缺一不可，各量級磅數皆有所不同，磅數界定標準則由世界跆拳道聯盟 (WTF) 所發佈為主。

第二節 研究動機

現今，世界跆拳道聯盟 (WTF) 不斷修正競賽規則，因一般護具更改為電子護具，中端除了正拳以外，得分產生以電子護具為感應，不得有爭議。上端與正拳是由裁判所認定之有效得分為主，新制得分標準提高，中端與正拳攻擊得分為 1 分，上端攻擊得分為 3 分，轉身動作則多加 1 分，增加高難度動作運用，使比賽精彩度提升。

比賽規則與模式的改變，也是教練安排訓練內容所考量依據之一。由於電子護具採用液壓原理，有效得分需由動作之準確性與力量達到感應標準，若只有力量沒準確性，將無法感應；反之，若只有準確性卻沒力量，則未能達到該量級磅數之標準，也無法構成得分。跆拳道一場比賽，若能順利打到冠亞軍賽至少需 4-7 場，每回合 2 min 之競賽時間，包括攻擊動作、兩人對峙、步法移位、傷停時間、抗議.....等，許多外在因素將影響整場比賽節奏。跆拳道的每波攻擊約在 10 s 內，屬於短時間高強度間歇之運動型態。此運動型態之主要能量來源為 ATP-PC 系統，而個人之有氧耐力則有助於此系統的快速恢復 (張嘉澤，2008)。

由上述所知，跆拳道一場競賽中，場次與場次間、回合與回合間，又加上新規則實施，上端與高難度轉身動作攻擊為主要逆轉之最佳動作，相對的，體能上勢必消耗更多，因此，能夠在最短時間內恢復足夠體能，以維持比賽中最佳技術表現是相當重要。

運動科學的發達，國內許多運動生理研究，透過儀器檢測個人之基礎能力、專項能力...等等，並運用此參數作為訓練負荷與調整，希望能在最短時間內，達

到最佳訓練效果。過去研究發現，在低氧環境中進行訓練對心肺功能及運動表現有明顯改善 (李辰鐘，1993)。Fuchs & Manfred (1990) 研究指出，低氧環境中最佳改善耐力之高度為 3000-3500 m，氧氣濃度 14.1-13.1 % (Berglund, 1992)。

高住低練經常被競技運動員採用 (Fulco, Rock & Cymerman, 2000)。利用高住低練概念用於平地低氧艙，從事間歇性低氧訓練，結果顯示訓練效果接近高地訓練 (Hellemans, 1999; Hamlin & Hellemans, 2007)。同時在常壓低氧環境下訓練，其運動表現上與生理反應上都優於一般常氧環境 (李文志、陳俊忠，1996)。顏克典 (2006) 以 10 名男性運動員連續執行 15 天間歇低氧刺激，結果發現低氧結合運動訓練，可增加受試者之攝氧峰值絕對值、攝氧峰值相對值、乳酸閾值作功值，有助於提昇有氧運動能力。

綜合上述所知，跆拳道屬於短時間高強度之型態，又因新規則實施，場地縮小與分數加權上，使得比賽節奏加快，動作之變化性增加，體能消耗速度較快，因此在每波攻擊中，個人恢復能力是非常重要。過去研究 (Hendriksen & Holewijn, 2001; Dufour, Ponsot, Zoll, Doutreleau, Lonsdorfer-Wolf, Geny & Billat, 2006) 主要以耐力型選手透過低氧環境進行腳踏車與跑步機訓練皆有良好的效果，但是對於在低氧中利用划船機對技擊類選手的訓練效果卻不明瞭。因此，本研究主要在探討，低氧環境中使用划船機進行高強度間歇訓練是否能快速提升非循環項目選手之基礎耐力，以及在跆拳道比賽中快速恢復之能力。

第三節 研究目的

- 探討一週常氧與低氧訓練是否影響有氧-無氧閾值能力
- 探討一週常氧與低氧訓練中是否影響乳酸排除與自覺量表之生理反應
- 探討一週常氧與低氧訓練是否影響跆拳道模擬比賽後血氨值、最大乳酸堆積、乳酸排除、恢復心跳率之生理反應
- 探討一週常氧與低氧訓練是否影響有氧閾值對模擬比賽乳酸排除及恢復心跳率之關係

第四節 名詞解釋

一、有氧-無氧閾值 (2-4 mmol/l)

基礎耐力是依據 Mader et al. (1976) 所提出的 2-4 mmol/l 理論；當乳酸值在 2 mmol/l 時為有氧閾值，乳酸值在 4 mmol/l 時為無氧閾值。競技運動員之標準，有氧閾值能力速度 ≥ 2.8 m/s，心跳率 $<140 \text{ min}^{-1}$ ，無氧閾值能力速度必須 ≥ 3.5 m/s，心跳率 $<156 \text{ min}^{-1}$ 。

二、恢復心跳率

本研究以運動最大負荷後第 5 分鐘 (E5) 心跳率作為恢復速度之判斷。

三、乳酸排除率

競技運動員於最大負荷結束後，乳酸排除速度須達 0.5 mmol/l/min (Neumann et al., 1991)。

四、跆拳道模擬比賽

本研究中專項比賽是指受試者以在正式跆拳道場地進行 2 分鐘 3 回合的模擬比賽模式，並採用世界跆拳道聯盟 (WTF) 所公布之最新競賽規程。

第貳章 文獻探討

第一節 低氧訓練之生理反應相關研究

低氧環境下從事中等強度的運動會使用更多的碳水化合物作為燃料來源 (Brooks, Butterfield, Wolfel, Groves, Mazzeo & Sutton, 1991)。Willam and Ganong (1981) 指出，低氧會刺激主動脈與頸動脈內的化學接受器，發出訊號至延腦的呼吸中樞產生補償性反應，使呼吸變深變快。在急性的低氧環境，安靜狀態或進行運動負荷時皆會增加心跳率，其海拔高度也會影響心跳率之變化 (Kontos, H. A., Levasseur, J. E., & Richardson, D. W., 1967; Vogel & Harris, 1967)。

常壓低氧下訓練對人體雖然無法能改變血液的血紅素濃度，但可以快速改善肌肉能量路徑 (Hollmann & Liesen, 1973)。Tkatchouk, E., Kondrykinskaya, I., & Ehrenborg, I. (1993) 發現，常壓低氧訓練生理機制為增加心輸出量為補償使心跳率降低。Dufou et al. (2006) and Ponsot et al. (2006) 的研究指出，低氧進行訓練使肌肉組織與體循環系統能力獲得明顯提升。透過低氧訓練能有效改善人體心血管功能，提高血液氧氣運輸與氧氣利用的能力促使運動能力提升。李美誼 (2009)、廖焜福、王榮錫 (2007) 與顏克典 (2006) 研究顯示，低氧訓練能促使肌肉內的微血管增生，提昇組織的血流與氧氣利用的能力，進而增加血液循環容積而改善血液含氧量。由此可知，在低氧環境下進行訓練可以增加負荷對身體的刺激，進而提升生理功能。

Hendriksen and Holewijn (2001) 以 16 名鐵人三項選手分為常氧組與低氧組 (2500 m)，進行每天 2hr 心跳閾值(60% - 70%) 腳踏車訓練，為期 10 天。結果顯示，受試者之最大攝氧量、最大瓦特數上昇，峰值功率下降。研究者認為常壓低氧訓練可以同時提高有氧和無氧的能源供應系統。邱奕棠與張嘉澤 (2011) 研究徑賽選手於五天低氧跑步機訓練，氧氣濃度 13%，以 4 x V6 之速度進行 3 min 間歇訓練。研究發現，5 天低氧訓練能有效改善徑賽選手新陳代謝與體循環功能。張家豪與王淑華 (2012) 探討徑賽 400 m 青少年選手在 5 天低氧訓練後對無氧耐力之影響。結果顯示，無氧閾值 (V4) 速度呈現進步，且血乳酸與心跳率明顯降低，並在 300 m 最大努力跑步成績呈現進步。陳佳慧、楊孟龍、王月琪與張嘉澤 (2009) 則以一名有運動習慣的中年人在低氧 (14%) 以 3.5 m/s 持續跑 15 min，為期 5 天。結果顯示，有氧和無氧閾值速度上昇，有氧閾值心跳下降，無氧閾值心跳上昇，對於體循環和新陳代謝方面產生適應，並提昇與改善有氧與無氧基礎能力。

第二節 有氧-無氧閾值之相關研究

Hollmann et al. (1982) 研究發現，有氧耐力訓練可以提升抗壓能力，其生理反應為在壓力狀態下減少釋放兒茶酚胺 (Catecholamine)，對於比賽心跳率具有穩定作用。透過耐力訓練，會使骨骼肌粒線體數量增加、微血管密度增加，同時肌肉的血流量也會增大，並使乳酸的排除速度增快 (Spina et al., 1996)。此外，運動員有氧閾值能力越佳，其運動中能量供應的恢復越快 (Neumann & Berbalk, 1991)。

Mader et al. (1976) 所提出 2–4 mmol/l 階梯式負荷為基礎耐力測試方式，亦可提供訓練負荷之依據及訓練效果的評價與調整。當乳酸值在 2mmol/l 時為有氧閾值，其能量代謝以脂肪為主。隨著運動負荷時間與強度的上升，碳水化合物的使用率也隨之提高。而乳酸值提升高至 4 mmol/l 時，稱為無氧閾值 (Pansold, 1982)。Hollmann et al. (1987) 指出，競技運動員有氧閾值 (2 mmol/l) 速度必須 ≥ 2.8 m/s，心跳率 $< 140 \text{ min}^{-1}$ ；無氧閾值 (4 mmol/l) 速度 ≥ 3.5 m/s，心跳率 $< 156 \text{ min}^{-1}$ 。此能力可提升生物參數恢復速度，尤其是短時間高強度的運動型態中，專項能量系統無氧非乳酸之恢復 (張嘉澤，2010)。

李後政、許志耀與呂學冠 (2005) 指出，一位優秀的跆拳道選手除應具備良好的無氧代謝系統功能之外，還應具備能打完全場比賽的體力，其中有氧代謝系統的運用也是相當重要的。陳江圳 (2005) 探討 5 週耐力訓練對有氧與無氧非乳酸能力及網球專項能力的影響，依據閾值心跳率作為運動強度指標，以持續跑方式進行 5 週，每週 3 天，每次 20 min 的有氧耐力訓練。結果顯示，5 週耐力訓練能有效提升選手有氧能力、無氧非乳酸能力及有效降低網球選手擊球失誤率。

在激烈的運動負荷下，ATP-PCr 的能量供應只能維持約 10 s 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糖酵解的路徑，因此產生高的乳酸堆積。而運動員的無氧閾值能力愈好，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。因此，無氧閾值佳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。

第三節 無氧非乳酸耐力相關研究

能量系統使用路徑，取決於運動負荷時間的長短。肌肉三大能量來源系統中，10 s 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 min 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；至於 3 min 以上的低強度長時間運動則為有氧系統（Neumann, 1990）。

跆拳道比賽過程中會因為對手關係而改變比賽節奏，隨時都需處於備戰狀態，每波攻擊約在 10 s 內完成，為短時間高強度間歇運動型態。Newsholme et al. (1992) 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 ATP。ATP-PC 在 20 s 恢復 50%；40 s 恢復 75%；60 s 恢復 87%，因此儲存於肌肉內大部份的 ATP 和 PC 在 3-4 min 可重新恢復（Fleck & Kraemer, 1997）。ATP-PC 系統之恢復能力是建立在高能力的有氧耐力上（Weicker et.al., 1994）。

第四節 心跳率、血乳酸、血氨與自覺量表之相關研究

一、心跳率：

訓練中，最容易取得且最快改善的生物參數為心跳率，以日為單位 (Neumann, 1990)。人體運動時，心跳率會隨著運動強度，增強而提高，這是因為運動強度增強時，身體組織缺氧的情況下，造成副交感神經下降所導致 (Christensen & Galbo, 1983)。Hottenrott (1993) 指出心跳率可用來判斷個人的訓練效果及承受負荷的能力。一般判斷最大心跳率，以男性 220 -年齡與女性 200 -年齡 (Engelhardt & Neumann, 1994)。

李佳融 (2001) 研究指出，在縣級跆拳道比賽及友誼賽等，以 polar 心跳率測量儀檢測選手比賽中心跳率強度，得知跆拳道比賽選手有 80% 的選手心跳率在 190-210 次/分之間。Nikiforov (1974) 指出運動訓練平均心跳率 $120-150 \text{ min}^{-1}$ 為低強度型態， $150-170 \text{ min}^{-1}$ 為中強度型態， $170-185 \text{ min}^{-1}$ 屬於高強度型態， $> 185 \text{ min}^{-1}$ 屬於最大強度型態。由此可知，跆拳道屬於高強度之運動型態。人體經過最大運動負荷時，其心跳率的恢復能力，會受個人有氧能力而影響 (Hollmann & Hettinger, 1990)。因此，透過耐力訓練，可改善高心跳率之問題，以維持運動中高技術水準表現。研究指出，最大運動負荷結束後第 5 分鐘 (E5) 之心跳率可作為體循環恢復機轉之判斷，其判斷標準如 表 2-4-1。

表 2-4-1：耐力訓練效果藉助心跳率分析 (Böhmer et al., 1975)

運動結束後 (E5) HR	評價
$> 130 \text{ min}^{-1}$	很差
$130-120 \text{ min}^{-1}$,	差
$120-115 \text{ min}^{-1}$,	可以
$115-105 \text{ min}^{-1}$	好
$105-100 \text{ min}^{-1}$	很好
$< 100 \text{ min}^{-1}$	高競技運動能力

二、血乳酸：

血乳酸為肌肉在運動時產生的能量代謝之一。Weicker et al. (1993) 指出運動負荷在肌肉中產生乳酸，並以擴散的方式進入血液，最後至肝臟。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，再滲透進入血液。最後乳酸是由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 和不活動肌 (30%) 排除 (Mader et al., 1997； Hermansen & Stensvold, 1972)。

乳酸主要受運動強度、參與的肌肉量與持續時間之影響 (Hultman & Saholm, 1980)。Neumann et al. (1993) 指出乳酸在訓練負荷的控制應用上具有以下判斷功能：作為運動強度之判斷；作為能量代謝負荷之判斷；作為訓練與比賽之運動能力判斷；作為有氧能力之判斷；作為訓練範圍之判斷；作為訓練類型之判斷；作為訓練方法之判斷。

Weltman (1995) 研究發現，乳酸會隨著運動負荷強度增加而上升。乳酸在肌肉中開始大量堆積，身體中的酸鹼值將會失去平衡，而氫離子濃度逐漸升高，導致血液 pH 值下降，影響肌肉收縮能力 (Sahlin, Harris, Nylinde & Hultman, 1976)。

當選手血液乳酸值達到 6~8 mmol/l，會影響技術表現，使其穩定性下降，進而影響到運動表現 (Janssen & Peter, 2001)。Gasser and Brooks (1984) 指出當運動強度增加時，乳酸即被大量的產生，而產生堆積作用，造成疲勞。在運動時的乳酸排除率，是會依據有氧代謝的轉換程度、乳酸的濃度之因素而有所影響 (Heck, 1990)。葉明春、呂欣善與張嘉澤 (2006) 指出，對象、休息形式、個人之恢復能力將會影響乳酸排除速度，但經過訓練之後身體器官會產生適應現象，在同樣的運動負荷下，乳酸會產生下降的效果。

最佳乳酸曲線分析是依據：(1) 運動結束第 1 分鐘 (E1) 乳酸是否已達最高；(2)最高乳酸曲線出現時間點延後較佳；最高乳酸濃度出現時間與最後採集時間之乳酸差異。競技運動員在最大負荷結束，血液乳酸排除速度可達 0.5 mmol/l/min，未訓練者排除速度 0.3 mmol/l/min，動態活動休息優於靜態方式 (Neumann et al.,1991)。

三、血氨 (NH₃)：

血氨 (ammonia, NH₃) 為能量代謝中間產物之一，其生理機轉在於短時間高強度運動中，人體原先儲存之 ATP (三磷酸腺苷) 的需求急劇，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，則每 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 (Purine nucleotide cycle, PNC)，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)。Schlicht, Naretz, Witt and Rieckert (1990) 指出，運動訓練上的運用除了乳酸之外，NH₃ 亦可作為訓練強度與疲勞指標之一。Banister and Cameron (1990) 指出，運動中氨的堆積與疲勞間具有密切之相關。Wagenmakers (1998) 研究發現，血氨值與運動負荷強度與作業時間的相關性遠高於血乳酸。

鄭陸 (2004) 指出以無氧代謝為主要能量系統的短時間高強度運動中，血氨與血乳酸的生成呈現正相關，其原因為血氨的累積影響動作協調與運動技術之控制。在短時間高強度的運動中，血氨值的升高反應出身體無氧供能系統的失衡，使骨骼肌能量代謝受到影響，導致肌肉作功能力受到限制。血氨的濃度亦取決於肌肉的型態 (Lowenstein, 1972)。Buono (1984) 指出，運動強度在 60% ~ 70% $\dot{V}O_{2max}$ 時血氨生成顯著升高，當運動強度到達 90% ~ 100% $\dot{V}O_{2max}$ 時血氨生成斜率最大。

四、自覺量表：

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 Gunnar Borg (1962) 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)」(表-2)。Borg (1982) 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相關 (相關值約在 0.8 至 0.9 之間)。

表 2-4-2：運動自覺量表 (Gunnar Borg, 1962)

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	

第五節 文獻總結

跆拳道屬於短時間高強度運動型態，比賽能量系統為 ATP-PC 系統，比賽中的恢復速度是依據個人之耐力能力。在低氧環境中氧氣含氧量較低，透過低氧訓練可以增加運動負荷對身體的刺激，誘發生理功能適應能力，加速改善體循環與新陳代謝路徑，進而提升選手運動表現。過去研究指出，以低氧艙氧氣濃度 13.1 - 14.1 % (約海拔高度 3000 – 3500 m) 能明顯改善耐力能力。因此本研究透過常氧與低氧進行短時間高強度訓練，觀察兩種不同環境訓練下對跆拳道基礎耐力與跆拳道比賽恢復之情形。

第參章 研究方法與步驟

第一節 研究對象

本研究對象以國內大專跆拳道甲組優秀選手，男 6 名、女 4 名，共 10 名受試者，依據個人之 4 mmol/l 速度、性別、量級與比賽成績實力相當者，以平衡次序法進行分組。進行實驗前將告知教練與受試者並充分說明實驗流程，且給予填寫運動能力診斷疾病調查表及實驗同意書並簽名。

表 3-1-1：受試者基本資料

受試者人數	年齡 (years)	身高 (cm)	體重 (kg)	訓練年數 (years)
N=10	21±1	170±8	63±9	9±1

第二節 實驗時間與地點

實驗時間：中華民國 102 年

實驗地點：國立體育大學運動能力診斷研究室

國立體育大學低氧艙

國立體育大學跆拳道道場

第三節 實驗儀器與設備

1. 採血工具 (採血針、毛管、紅血球破壞劑、外科用手套...等等)
2. POLAR Team System：內含充電器、傳輸座各乙個，心律感應器、心律帶各 10 組。
3. Hp 高速跑步機 (made in Germany) 。
4. WTF 規定之正式比賽服裝及基本裝備 (頭盔、護手、護腳、手套、牙套及 Dae do 護胸與電子襪)。
5. Dae do 電子計分系統。
6. 碼表 (SEIKO)。
7. 血糖乳酸分析儀 (BIOSEN C_line Clinic) 。
8. 血氨測定儀 (PocketChem BA PA-4130; ARKRAY) 。
9. 攝影機 (SONY) 。
10. 記錄表 (心跳、踢擊頻率)。
11. 國立體育大學 低氧艙。
12. 國立體育大學 跆拳道道場。

第四節 實驗方法與步驟

本研究分別進行前測、後測比較，測試內容為基礎耐力與跆拳道模擬比賽兩項，再以分組方式，5 人低氧艙、5 人常氧進行一週（四天）基礎耐力訓練。此測試與訓練採取生物參數為乳酸、心跳率、 NH_3 、RPE、踢擊頻率，以便資料處理與分析探討。

一、前測 (T1)、後測 (T2) 測試方式:

(一) 基礎耐力測試

本研究採用 Mader (1976) 有氧-無氧閾值能力診斷 (2-4 mmol/l)，以室內 Hp 高速跑步機 (made in Germany) 進行，如表 3，測試開始速度 2.5 m/s，每階上升 0.5 m/s，每階持續 5 min 之階梯式負荷方式，至個人最大負荷為止。

表 3-4-1: 有氧-無氧閾值測試方式 (Mader et al., 1976)

階次	速度(m/s)	負荷時間(min)
1	2.5	5
2	3.0	5
3	3.5	5
4	4.0	5
5	4.5	5
6	5.0	5
至個人最大負荷		

(二) 跆拳道模擬比賽測試

- 1、 本研究以 WTF (世界跆拳道聯盟) 所規定之正式比賽場地進行，競賽場地單位為 8 m x 8 m 之無障礙平面競賽區
- 2、 競賽時間 2 分鐘 3 回合，回合間休息 1 分鐘，若三回合結束比數平手，並不再將進行驟死賽。
- 3、 裁判人員需 4 名 (1 名主審、3 名副審)、裁判長 1 名，皆具備中華民國跆拳道協會所認可 C 級以上之裁判證，並以公平公正方式進行判決。
- 4、 受試者皆有自己的指導教練一名，與正式比賽相符，以提供臨場戰術之指導。
- 5、 受試者全程皆配戴 POLAR Team System，同時採集安靜值 (R) 以及第三回合結束後至第 10 min 之血乳酸參數。
- 6、 比賽將全程錄影，以便資料處理與分析。

二、一週訓練

本研究一週訓練分為 A 組常氧跑步機與 B 組低氧划船器，依個人 4 mmol/l 速度，以平衡次序法分組。

(一) A 組常氧跑步機

以室內 Hp 高速跑步機 (made in Germany)，共 5 人進行一週訓練，先以 2.5 m/s 熱身 3 min，並依據個人 V6 與 V3 閾值速度，以 V6-V3-V6-V3-V6 持續變換跑方式，負荷時間 3-90 s-3-90 s-3 min，共 12 min。一週訓練內容如下：

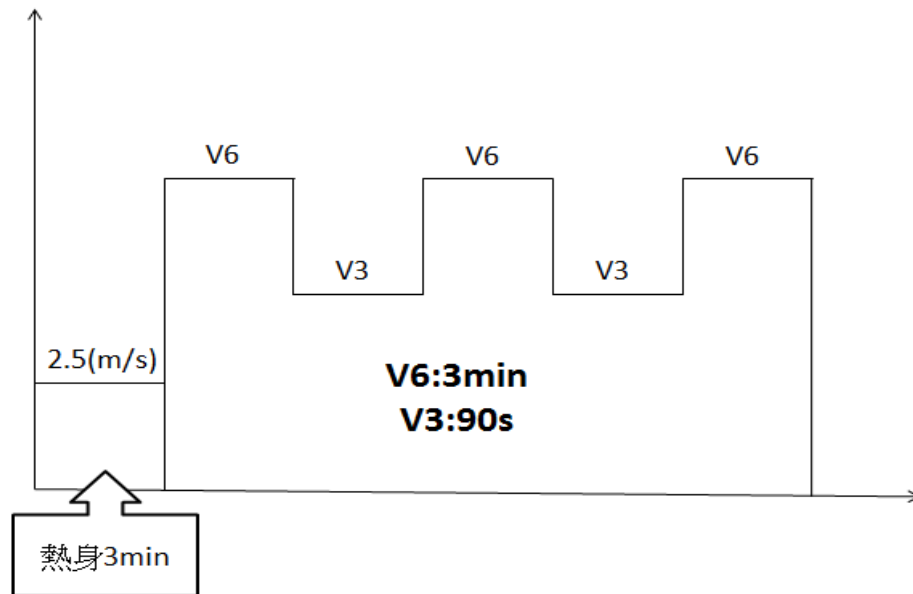


圖 3-4-1：跑步機訓練 (A 組)

(二)組低氧艙划船測功儀

本研究於低氧艙 (O_2 -13%) 進行划船測功儀訓練共 5 人，以 300 m 距離、阻力為 2 之個人速度熱身，熱身後休息 3 min，並將進行 4 x 200 m 划船測功儀，間歇休息 2 min，依個人最大速度。如下 (圖 3-4-2)：

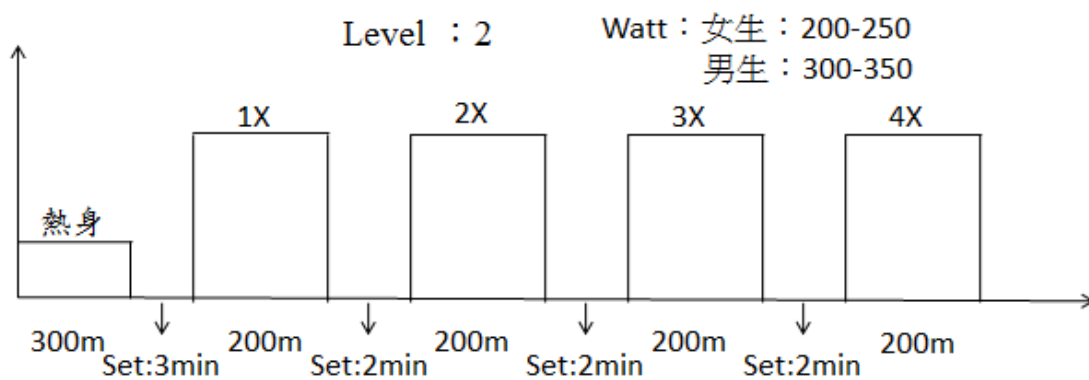


圖 3-4-2：低氧 (O_2 -13%) 划船測功儀訓練 (B 組)

(三) 專項訓練內容

本研究專項訓練，以個人最佳動作重複方式，進行左、右腳單一基本動作踢擊，左腳與右腳各 8 下，間歇休息時間為 5 分鐘，如表 3-4-2：

表 3-4-2：專項訓練內容

	專項訓練內容
目的	技術
方式	重複
負荷	最佳動作
範圍	2 x 8 (前踢、下壓、中端旋踢、上端旋踢、滑步旋踢、滑步下壓、後踢、後旋、反擊旋踢、反擊上端旋踢、前腳旋踢、前腳下壓、反擊後踢)
休息	Set：5 min

(四) 測驗內容及採集生物參數

表 3-4-3：實驗內容與收集參數

	實驗內容	BIO
前測 (T1)	基礎耐力 (2-4 mmol/l)	La：E1、E3、E5、E7、E10 HR：E1、E5
	模擬比賽	La：E1、E3、E5、E7、E10 HR：E1、E5 NH ₃ ：R、E1、E5 紀錄：總踢擊頻率
一週常氧、 低氧訓練 (Tr.)	跑步機 (常氧 O ₂ -20%) V6-V3-V6-V3-V6 (3-90s-3-90s-3 min)	La：E1、E3、E5、E7、E10、 E15 (Tr.1、Tr.4) RPE：E1 (Tr.1~Tr.4)
	划船測功儀 (低氧 O ₂ -13%) 4 x 200 m	
後測 (T2)	同於前測 (T1)	

第五節 實驗流程

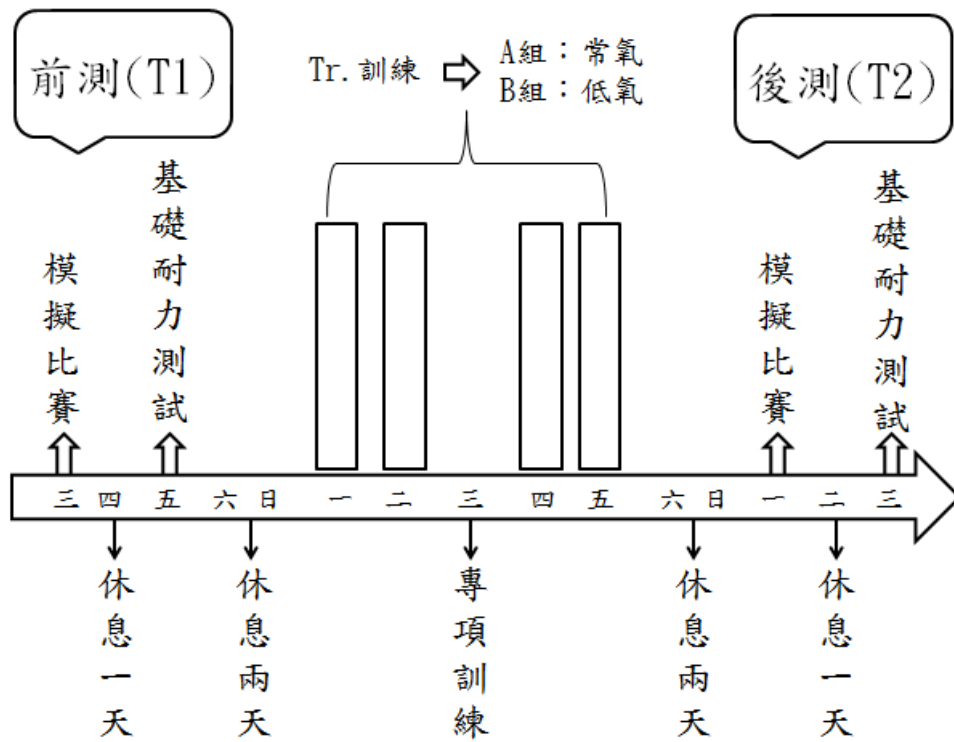


圖 3-4-3：實驗流程

第六節 資料處理與統計分析

- (一)本研究以 SPSS for windows 18.0 套裝軟體進行統計分析，並以 Sigmaplot 8.0 進行製圖。
- (二)本研究所有數據將以平均值與標準差呈現。
- (三)個人乳酸閾值速度判斷是採用德國研發之 Lactate Express 軟體進行分析，並計算出個人有氧-無氧閾值 (2-4 mmol/l) 之速度。
- (四)專項負荷心跳率數據以 Polar Precision Performance TM 4 SW 官方應用軟體進行資料整理。
- (五)皮爾遜積差相關進行結果分析。
- (六)常氧組與低氧組分別以相依樣本 t 檢定進行前後測分析，兩組以進 (退) 步百分比進行對照。
- (七)統計顯著水準為 $\alpha = .05$ 。

第肆章 結果分析與討論

第一節 兩種不同訓練方式對基礎耐力之影響

低氧組之基礎耐力前測 (T1)、後測 (T2) 結果顯示，有氧閾值 (2 mmol/l) 在前、後測之平均速度分別為 2.8 ± 0.2 m/s (T1)、 2.4 ± 1.2 m/s (T2)，兩次差異為 0.4 m/s，未達顯著差異 ($p > .05$)；平均心跳率 149 ± 14 min⁻¹ (T1)、 143 ± 27 min⁻¹ (T2)，兩次差異為 6 min⁻¹，未達顯著差異 ($p > .05$)。無氧閾值 (4 mmol/l) 前後測平均速度 3.4 ± 0.4 m/s (T1)、 3.6 ± 0.3 m/s (T2)，兩次差異為 -0.2 m/s，未達顯著差異 ($p > .05$)；心跳率平均值為 172 ± 12 min⁻¹ (T1)、 179 ± 9 min⁻¹ (T2)，平均值差異為 -7 min⁻¹，未達顯著差異 ($p > .05$)。

常氧組之基礎耐力前、後測結果顯示，有氧閾值 (2 mmol/l) 前後測之平均速度為 2.9 ± 0.3 m/s (T1)、 2.7 ± 0.7 m/s (T2)，兩次差異為 0.2 m/s，未達顯著差異 ($p > .05$)；平均心跳率 161 ± 7 min⁻¹ (T1)、 149 ± 18 min⁻¹ (T2)，兩次差異為 12 min⁻¹，未達顯著差異 ($p > .05$)。無氧閾值 (4 mmol/l) 前後測之平均速度 3.6 ± 0.2 m/s (T1)、 3.6 ± 0.3 m/s (T2)，兩次無差異，未達顯著差異 ($p > .05$)；平均心跳率 182 ± 8 min⁻¹ (T1)、 178 ± 6 min⁻¹ (T2)，兩次差異為 4 min⁻¹，均未達顯著差異 ($p > .05$)。本研究低氧、常氧組之個人有氧-無氧閾值能力結果與乳酸曲線圖如表 4-1-1、圖 4-1-1 及圖 4-1-2 所示。

表 4-1-1：低氧組、常氧組有氧-無氧閾值能力分析

		2 mmol/l		4 mmol/l	
		Speed (m/s)	HR (min ⁻¹)	Speed (m/s)	HR (min ⁻¹)
Rowing (O ₂ -13%)	T1	2.8±0.2	149±14	3.4±0.4	172±12
	T2	2.4±1.2	143±27	3.6±0.3	179±9
	Diff.	0.4	6	-0.2	-7
Treadmill (O ₂ -20%)	T1	2.9±0.3	161±7	3.6±0.2	182±8
	T2	2.7±0.7	149±18	3.6±0.3	178±6
	Diff.	0.2	12	0	4

皆未達顯著差異 ($p > .05$)

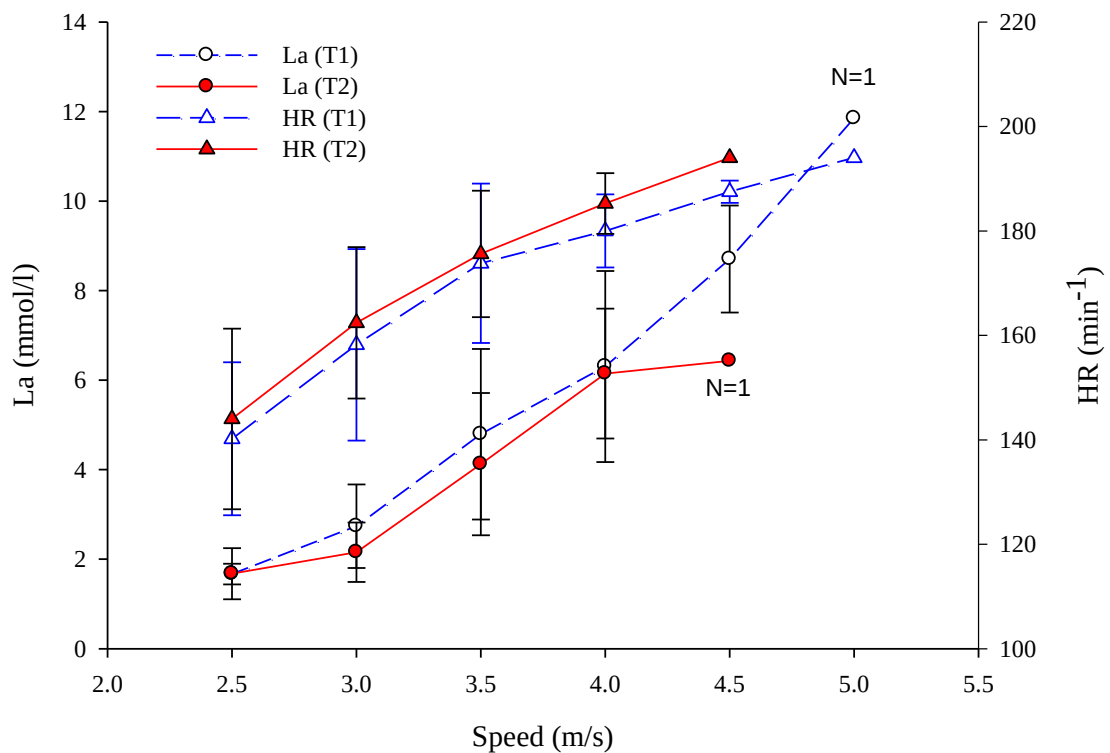


圖 4-1-1：低氧組 2-4 mmol/l 乳酸與心跳率曲線圖

過去研究指出，常壓低氧環境可以快速改善肌肉能量提供路徑 (Hollmann & Liesen, 1973)，降低運動時的心跳率，提高運動中的每跳輸出量 (Tkatchouk et al., 1993)。本研究中，透過一週低氧訓練後基礎耐力血乳酸曲線呈現向下的趨勢 (圖 4-1-1)，但心跳率曲線方面卻呈現上升之情形。研究者推論，可能原因為低氧划船訓練對體循環壓力過高，且划船訓練每槳的力量輸出不固定，心臟跳動的節奏較不規律，影響體循環的適應。

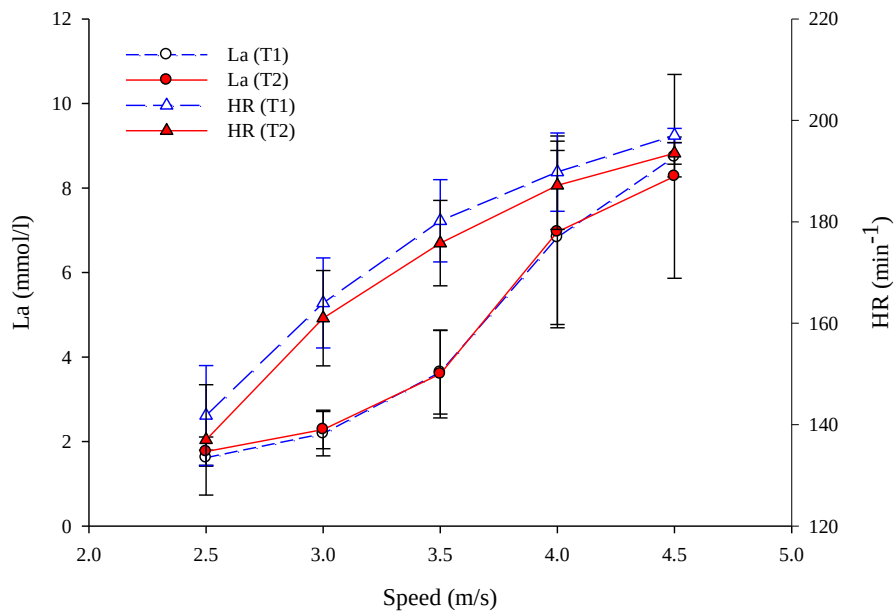


圖 4-1-2：常氧組 2-4 mmol/l 乳酸與心跳率曲線圖

研究結果於前、後測在相同強度之下，結果顯示能量代謝並無明顯的改變，但心跳率呈現下降之情形，表示體循環已達到適應之效果。過去研究指出，最快改善的生物參數為心跳率以日為單位 (Neumann, 1990)，與本研究於一週常氧訓練後有效改善體循環系統相符。過去文獻指出，常氧下能量代謝的適應是以週為單位，因此也許再經過一週以上的時間才能有改善的情形。

第二節 低氧、常氧訓練對自覺量表之影響

表 4-2-1 為一週低氧與常氧訓練運動負荷結束後 RPE 量表分析。訓練第 1 天 (Tr.1) 低氧與常氧 RPE 平均值分別為 17 ± 2 、 18 ± 1 ，第 4 天 (Tr.4) 訓練低氧與常氧 RPE 平均值為 16 ± 2 、 17 ± 2 。Tr.1 與 Tr.4 低氧、常氧平均值差異皆為 1，皆未顯著差異 ($p>.05$)，低氧組進步百分比為 -4%，常氧組則為 -8%。

表 4-2-1：一週低氧、常氧訓練 Tr.1 與 Tr.4 之 RPE 量表

RPE	Tr.1	Tr.4	Diff.	%
Rowing (O ₂ -13%)	17 ± 2	16 ± 2	1	-4
Treadmill (O ₂ -20%)	18 ± 1	17 ± 2	1	-8

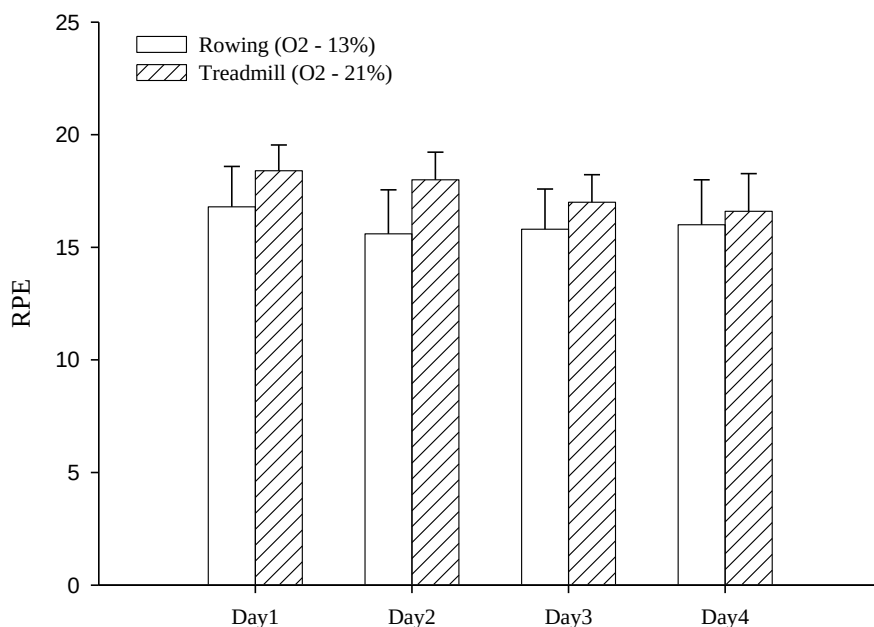


圖 4-2-1：低氧組與常氧組訓練後 RPE 之量表

一週低氧、常氧運動後受試者自覺量表結果 (圖 4-2-1) 顯示，第一天 (Day 1) 訓練結束，RPE 最高平均指標為 19 ~ 20，第五天訓練結束，最低 RPE 平均指標為 16 ~ 17。Borg (1982) 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相關。研究結果顯示，透過五天低氧、常氧訓練後，受試者對於相同的負荷強度下身體壓力有降低之效果。

第三節 低氧、常氧訓練對恢復期乳酸之影響

(一) 一週低氧訓練對恢復期乳酸之影響：

一週低氧訓練第 1 天 (Tr.1) 與第 4 天 (Tr.4) 恢復期乳酸分析。Tr.1 乳酸最大值於運動負荷後第 5 分鐘 (E5) 出現 (13.51 ± 1.55 mmol/l)，至採血點結束第 15 分鐘 (E15) 為 10.28 ± 1.87 mmol/l，兩者差異為 -3.23 mmol/l，達顯著差異 ($p < .05$)；Tr.4 乳酸最大值則出現於結束後第 3 分鐘 (E3) 為 11.90 ± 1.21 mmol/l，至第 15 分鐘 (E15) 為 9.08 ± 1.65 mmol/l，兩者差異為 -2.82 mmol/l，達顯著差異 ($p < .05$)。

表 4-3-1：一週低氧、常氧訓練運動負荷後血乳酸值之分析

La		E1	Lamax	E15	Diff.	La _{rate}	%
Rowing (O ₂ -13%)	Tr.1	11.99 ± 2.35	13.51 ± 1.55 (E5)	10.28 ± 1.87	3.38	0.33	25%
	Tr.4	9.77 ± 1.33	11.90 ± 1.21 (E3)	9.08 ± 1.65	2.82	0.29	24%
Treadmill (O ₂ -20%)	Tr.1	7.86 ± 0.76	8.38 ± 1.66 (E3)	5.22 ± 1.39	3.4	0.26	38%
	Tr.4	7.12 ± 1.87	7.12 ± 1.87 (E1)	4.32 ± 1.96	3.17	0.28	39%

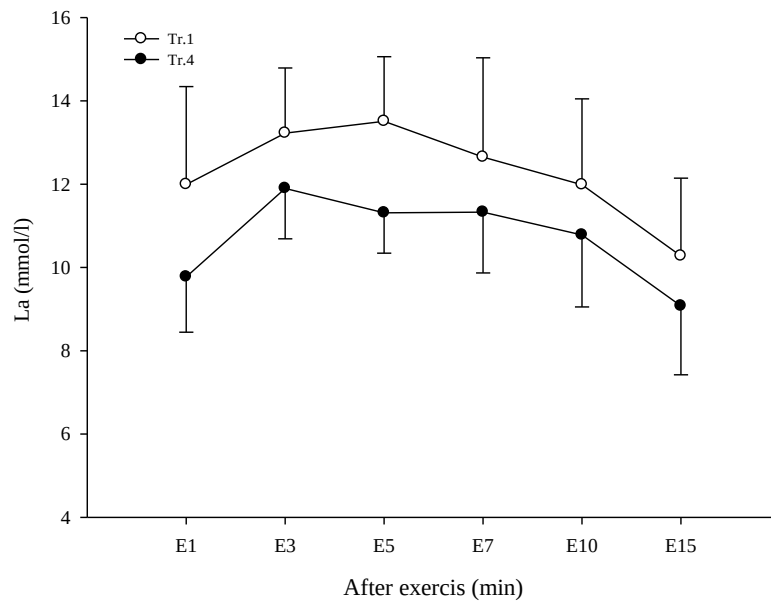


圖 4-3-1：低氧組訓練 Tr.1 與 Tr.4 訓練後之血乳酸

(二) 一週常氧訓練對恢復期乳酸之影響：

一週常氧訓練第 1 天 (Tr.1) 與第 4 天 (Tr.4) 恢復期乳酸分析。一週常氧訓練 Tr.1 乳酸最大值於運動負荷後第 3 分鐘 (E3) 出現為 8.38 ± 1.66 mmol/l，至採血結束第 15 分鐘 (E15) 為 5.22 ± 1.39 mmol/l，兩者差異為 3.16 mmol/l，達顯著差異 ($p < .05$)；則 Tr.4 乳酸最大值於結束後第 1 分鐘 (E1) 出現為 7.12 ± 1.87 mmol/l，至第 15 分鐘 (E15) 為 4.32 ± 1.96 mmol/l，兩者差異為 2.78 mmol/l，達顯著差異 ($p < .05$)。

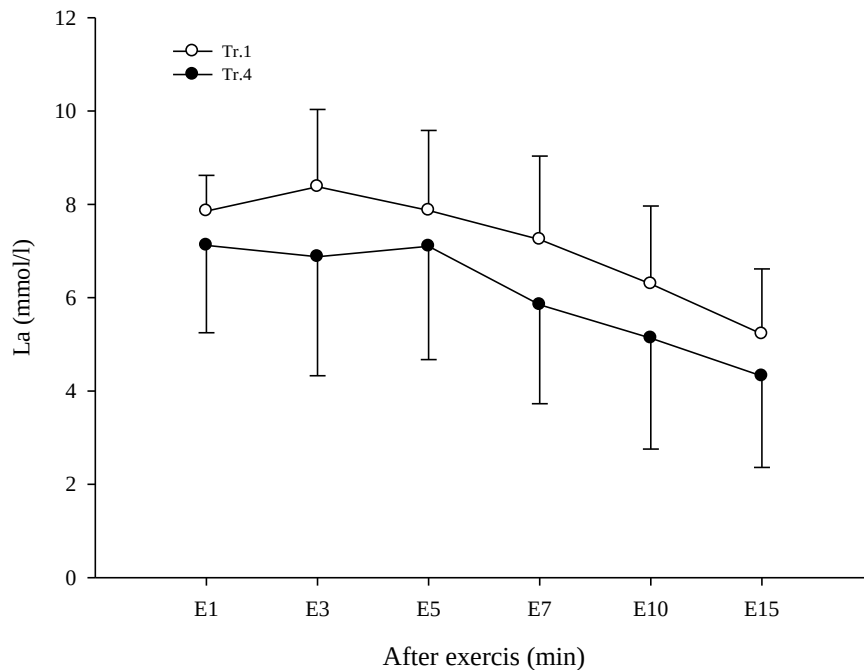


圖 4-3-2：常氧組訓練 Tr.1 與 Tr.4 訓練後之血乳酸

圖 4-3-1 與圖 4-3-2 為一週低氧、常氧訓練對恢復期乳酸之影響。Neumann et al. (2001) 指出最佳乳酸曲線，結束後最高乳酸值出現時間點延後較佳，本研究一週低氧、常氧訓練後最大乳酸值皆提前出現，但恢復期血乳酸值於 Tr.4 皆呈現下降之情形。此結果顯示，於相同環境與強度下血乳酸曲線呈現下降，表示受試者在一週訓練下，能量代謝的恢復機轉已達到適應。葉明春、呂欣善與張嘉澤 (2006) 指出經過訓練之後身體器官會產生適應現象，在同樣的運動負荷下，乳酸會產生下降的效果。

第四節 低氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊

頻率之影響

(一) 低氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸之影響：

一週低氧訓練對跆拳道模擬比賽運動負荷後恢復期乳酸之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。T1 與 T2 運動結束後，乳酸最大值皆為負荷後第 1 分鐘 (E1)，其乳酸值皆為 10.79 ± 3.9 mmol/l (T1)、 10.71 ± 3.56 mmol/l (T2)，兩者差異為 0.08 mmol/l，未達顯著差異 ($p > .05$)；採血結束第 10 分鐘 (E10) 乳酸值 T1 為 7.83 ± 3.8 mmol/l、T2 為 8.36 ± 3.57 mmol/l，兩者差異為 -0.23 mmol/l，未達顯著差異 ($p > .05$)。T1 與 T2 乳酸排除分別為 0.33 mmol/l、0.25 mmol/l，兩者皆達顯著差異 ($p < .05$)。

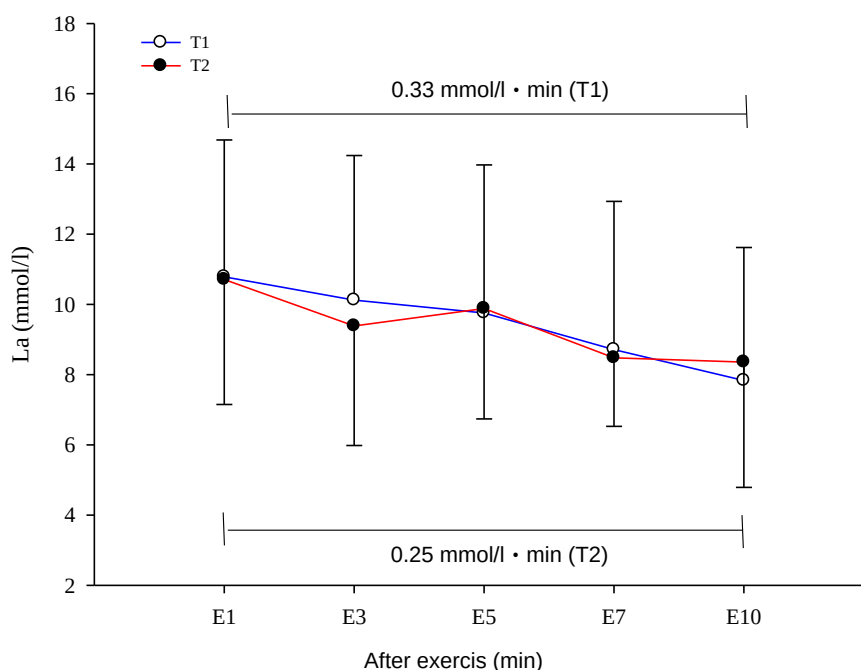


圖 4-4-1：低氧組模擬比賽結束後 T1 與 T2 血乳酸之比較圖

(二) 低氧訓練對模擬比賽恢復期心跳率之影響

一週低氧訓練對跆拳道模擬比賽運動負荷後恢復期心跳率之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。運動負荷結束後第 1 分鐘 (E1) 平均心跳率分別為 $160 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ (T1)、 $170 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ (T2)，兩次差異為 -10 min^{-1} ，未顯著差異 ($p > .05$) 則恢復期心跳率第 5 分鐘 (E5) 平均心跳率分別為 $115 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ (T1)、 $124 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ (T2)，兩次差異為 -9 min^{-1} ，未顯著差異 ($p > .05$)。

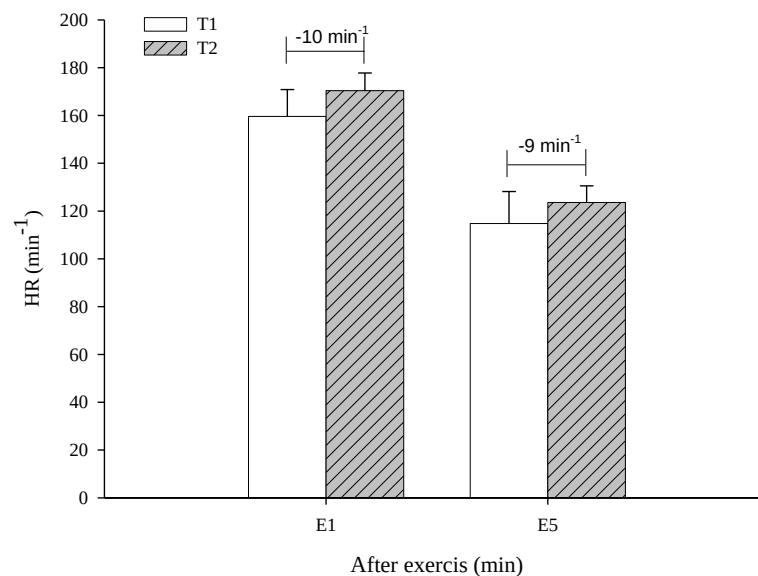


圖 4-4-2：低氧組模擬比賽 T1 與 T2 恢復期心跳率之比較圖

(三) 低氧訓練對模擬比賽踢擊頻率之影響

一週低氧訓練對跆拳道模擬比賽踢擊頻率之分析。前測 (T1) 踢擊頻率為 34 ± 10 次，後測 (T2) 為 41 ± 8 次，兩者差異為 -7 次。

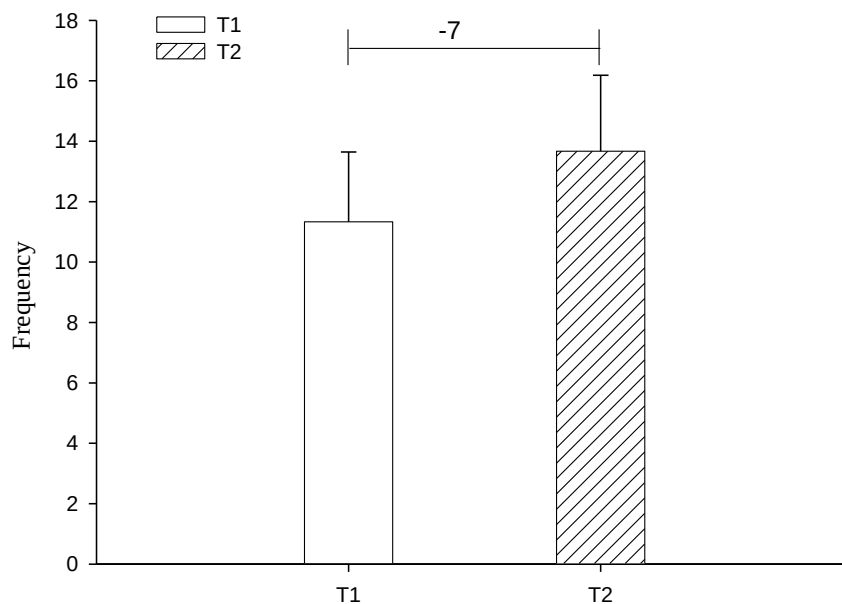


圖 4-4-3：低氧組模擬比賽 T1 與 T2 踢擊頻率之比較圖

低氧訓練後對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊頻率之影響，根據基礎耐力前後測（圖 4-1-1），低氧組在經過一週訓練後，能量代謝方面呈現進步，但體循環方面未達適應。由此可推論，在模擬比賽後測時由於基礎耐力與踢擊頻率的影響，反應在生理症狀上即呈現血乳酸曲線維持、體循環為退步之情形。Berlgund (1992) 人體於低氧環境訓練後，需時間來適應生理之改變，才能達到穩定狀態，但訓練適應的節奏性仍不明確。許多研究發現，低氧可誘發生理之變化，但對於專項能力方面並未有明顯改善效果 (Truijens et al., 2003; Morton & Cable., 2005; Nummela et al., 1996; Dufor et al., 2006 ; Meeuwsen et al., 2001)。此外，在常氧環境下的訓練原則與效果在低氧中不一定會呈現 (Buchheit & Laursen, 2013)。因此低氧訓練模式對模擬比賽之影響仍有待研究。

第五節 常氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊

頻率之影響

(一) 常氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸之影響

一週常氧對模擬比賽運動負荷後恢復期乳酸之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。T1 與 T2 運動結束後，乳酸最大值皆為負荷後第 1 分鐘 (E1)，其乳酸值 T1 為 8.48 ± 2.31 mmol/l，T2 為 8.88 ± 1.89 mmol/l，兩者差異為 -0.4 mmol/l，未達顯著差異 ($p > .05$)；採血結束第 10 分鐘 (E10) 乳酸值 T1 為 5.83 ± 1.91 mmol/l、T2 為 5.81 ± 2.59 mmol/l，兩者差異為 0.02 mmol/l，未達顯著差異 ($p > .05$)。T1 與 T2 乳酸排除率分別為 0.27 mmol/l · min、 0.31 mmol/l · min，皆未達顯著差異 ($p > .05$)。

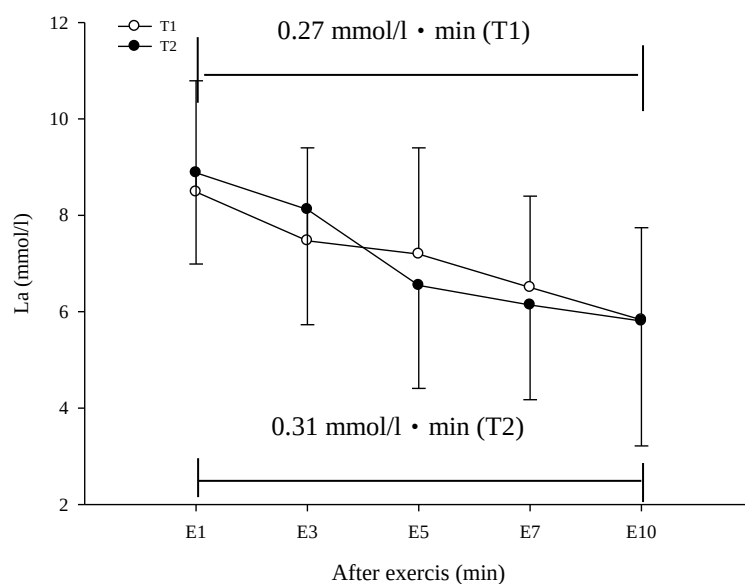


圖 4-5-1：常氧組模擬比賽結束後 T1 與 T2 血乳酸之比較圖

(二) 常氧訓練對模擬比賽恢復期心跳率之影響

一週常氧訓練對模擬比賽運動負荷後恢復期心跳率之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。運動負荷結束後第 1 分鐘 (E1) 平均心跳率分別為 $155 \pm 14 \text{ min}^{-1}$ (T1)、 $149 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ (T2)，兩次差異為 6 min^{-1} ，未顯著差異 ($p > .05$)。恢復期心跳率第 5 分鐘 (E5) 平均心跳率分別為 $113 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ (T1)、 $107 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ (T2)，兩次差異為 7 min^{-1} ，未顯著差異 ($p > .05$)。

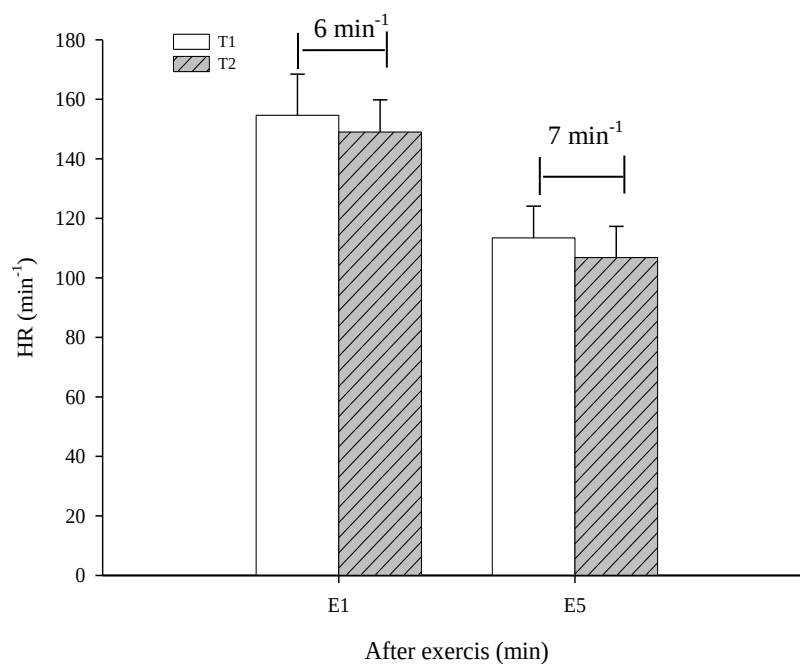


圖 4-5-2：常氧組模擬比賽 T1 與 T2 恢復期心跳率之比較圖

(三) 常氧訓練對模擬比賽踢擊頻率之影響

一週常氧訓練對模擬比賽踢擊頻率之分析。前測 (T1) 踢擊頻率為 38 ± 7 次，後測 (T2) 為 39 ± 15 次，兩者差異為 -2 次。

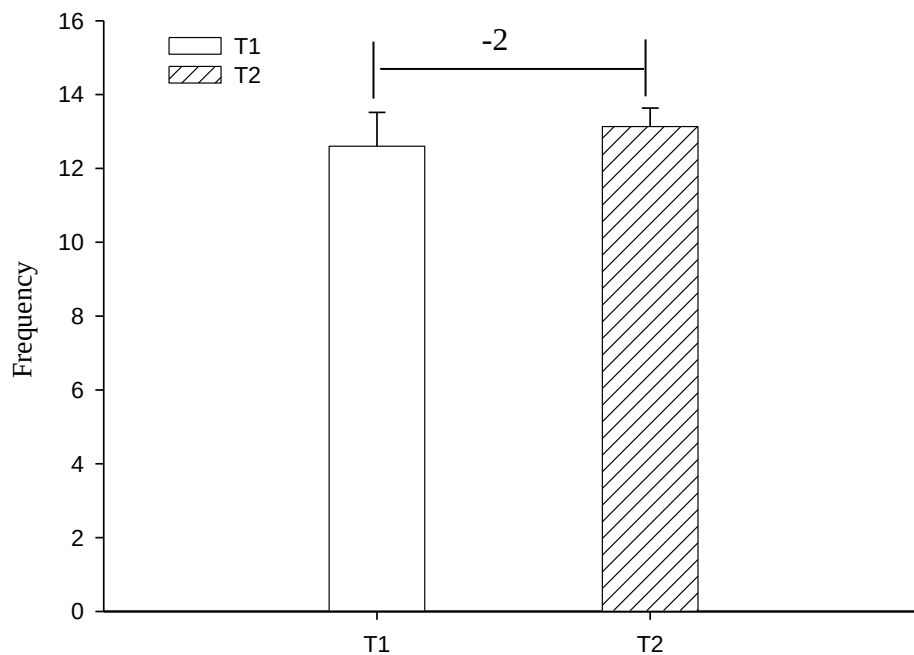


圖 4-5-3：常氧組模擬比賽 T1 與 T2 踢擊頻率之比較圖

一週常氧訓練對模擬比賽恢復期乳酸、心跳率與踢擊頻率之影響。對照常氧組基礎耐力生理症狀反應 (圖 4-1-2)，在後測模擬比賽的血乳酸曲線並無明顯改變，但最大乳酸值 T2 較 T1 高，可能與 T2 踢擊頻率增加 (2 ± 8) 有關。Kindermann (1978) 指出，最大乳酸堆積是與運動負荷時間、強度及所參與的肌肉量有關；而模擬比賽之生理變化，則來自於選手本身與對手對抗強度之影響。Sedlock (1996) 指出，運動後恢復心跳率與基礎體能有關，且會因訓練而有所影響，恢復心跳率較低者代表左心室壓縮的機轉能力較佳。研究結果顯示，經過一週常氧訓練體循環適應之效果反應在結束後心跳率的恢復速度，在後測 (T2) 模擬比賽後第 5 分鐘心跳率 (E5) 呈現較低之狀況。

第六節 低氧、常氧訓練對模擬比賽血氨之影響

(一) 低氧訓練對模擬比賽恢復期血氨之影響

一週低氧訓練對跆拳道模擬比賽運動負荷後血氨值之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。T2 血氨值分別為 $63.4 \pm 17.4 \mu\text{mol/l}$ (R 值)、 $105.2 \pm 50.79 \mu\text{mol/l}$ (E1)，結束後第 5 分鐘 (E5) 為 $77 \pm 6 \mu\text{mol/l}$ 與 T1 之 E5 差異為 $-11.2 \mu\text{mol/l}$ ，兩者未顯著差異 ($p > .05$)。

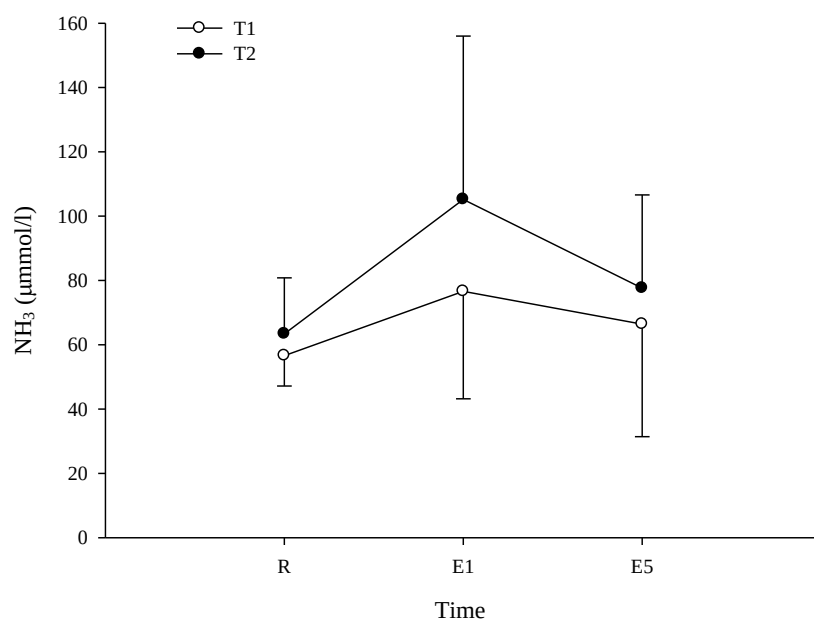


圖 4-6-1：低氧組模擬比賽 T1 與 T2 運動結束後 NH₃ 之影響

(二) 常氧訓練對模擬比賽恢復期血氨之影響

一週常氧訓練對模擬比賽運動負荷後血氨值之前測 (T1)、後測 (T2) 分析。血氨安靜值 (R) 為 $51.2 \pm 48.8 \mu\text{mol/l}$ (T1)、 $48.8 \pm 4.09 \mu\text{mol/l}$ (T2)，結束後第 1 分鐘 (E1) 為 $60.2 \pm 67.8 \mu\text{mol/l}$ (T1)、 $67.8 \pm 13.75 \mu\text{mol/l}$ (T2)，則負荷後第 5 分

鐘 (E5) 為 $48.6 \pm 15.14 \mu\text{mol/l}$ (T1)、 $62 \pm 18.03 \mu\text{mol/l}$ (T2)。兩次差異 R、E1、E5 分別為 $-2.4 \mu\text{mol/l}$ 、 $-7.6 \mu\text{mol/l}$ 、 $-13.4 \mu\text{mol/l}$ ，T1 與 T2 結束後第 5 分鐘 (E5) 兩者差異為 $-13.4 \mu\text{mol/l}$ ，未顯著差異 ($p > .05$)。

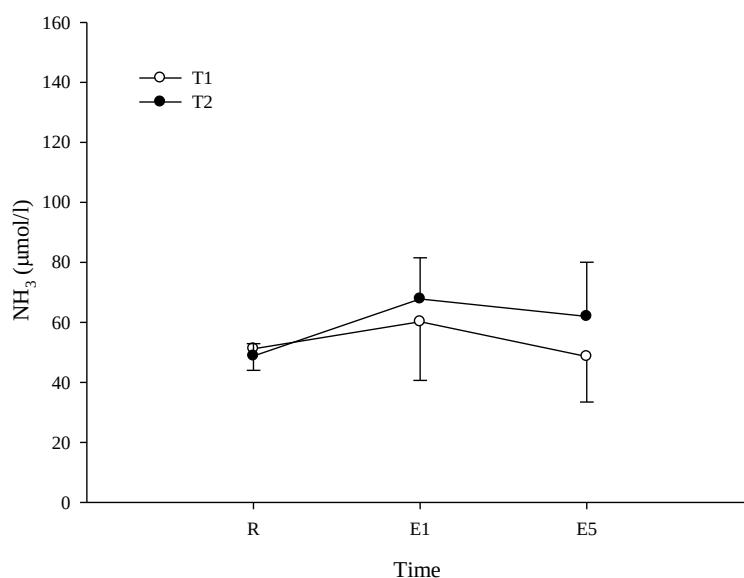


圖 4-6-2：常氧組模擬比賽 T1 與 T2 運動結束後 NH₃ 之影響

表 4-6-1：低氧、常氧組模擬比賽之血氨分析表

NH ₃		R	E1	E5
Rowing (O ₂ -13%)	T1	56.6±9.45	76.60±33.42	66.40±34.98
	T2	63.4±7.4	105.20±50.79	77.60±29.01
	Diff.	-6.80	-28.60	-11.20
Treadmill (O ₂ -20%)	T1	51.2±7.19	60.2±19.54	48.6±15.14
	T2	48.8±4.09	67.8±13.75	62±18.03
	Diff.	-2.4	-7.6	-13.4

運動過程中，血氨主要是由腺嘌呤核苷酸循環 (PNC) 路徑刺激而產生 (Meyer, Dudley & Terjung, 1980)。在短時間高強度的運動中，血氨值的升高反應出身體無氧供能系統的失衡，使骨骼肌能量代謝受到影響，導致肌肉產生疲勞 (Lowenstein, 1972)。運用血氨值可做為評估訓練負荷的強度與選手的體能狀況及疲勞程度 (Yuan, 2000)。本研究結果顯示，於兩種不同環境訓練下，模擬比賽之血氨值皆呈現上升之情形。作者推論，可能與兩組在後測時踢擊頻率與對抗強度皆增加的情況下，使得 NH_3 於模擬比賽 T2 大於 T1 之情形。

第七節 低氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率、恢復心跳率 (E5) 之影響

(一) 低氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率

一週低氧組訓練於有氧閾值 (V2) 速度對模擬比賽前測 (T1)、後測 (T2) 乳酸排除率之關係分析。結果顯示有氧閾值速度前測 (T1) 介於 2.6~3.1 m/s 之間，乳酸排除率介於 0.25~0.45 mmol/l·min 之間，兩者間為正相關 ($r^2 = 0.27$)。後測 (T2) 有氧閾值速度介於 0.4~3.3 m/s 之間，乳酸排除率介於 0.17~0.4 mmol/l·min 之間，兩者間為低相關 ($r^2 = 0.2$)。

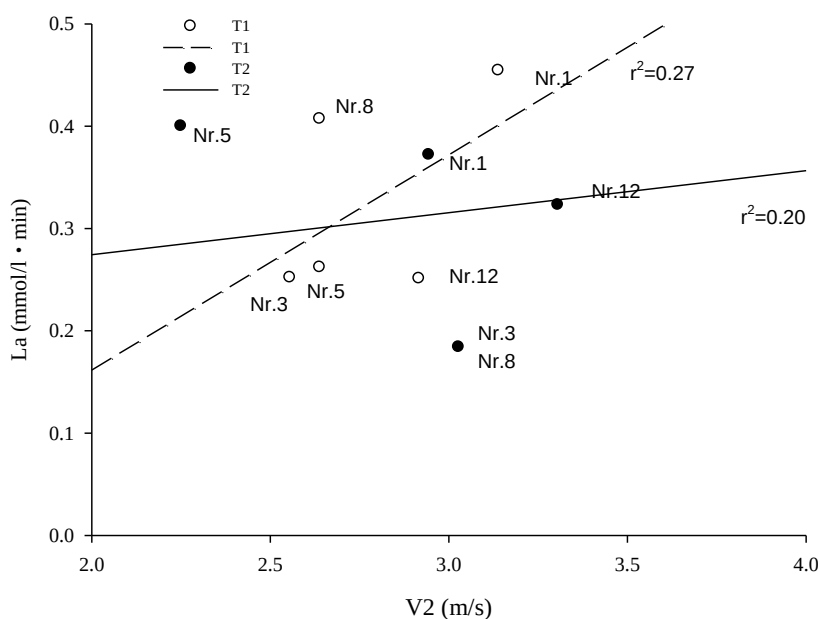


圖 4-7-1：低氧組 V2 與模擬比賽乳酸排除之影響

(二) 低氧訓練之 V2 速度與模擬比賽 E5 心跳率之影響

一週低氧訓練於有氧閾值 (V2) 速度對模擬比賽前測 (T1)、後測 (T2) 恢復心跳率之關係分析。結果顯示有氧閾值速度前測 (T1) 介於 2.6~3.1 m/s 之間，運動負荷結束後第 5 分鐘 (E5) 介於 103~133 min⁻¹ 之間，兩者間為負相關 ($r^2 = -0.54$)。後測 (T2) 有氧閾值速度介於 0.4~3.3 m/s 之間，模擬比賽結束後第 5 分鐘 (E5) 介於 117~132 min⁻¹ 之間，兩者間為正相關 ($r^2 = 0.44$)。

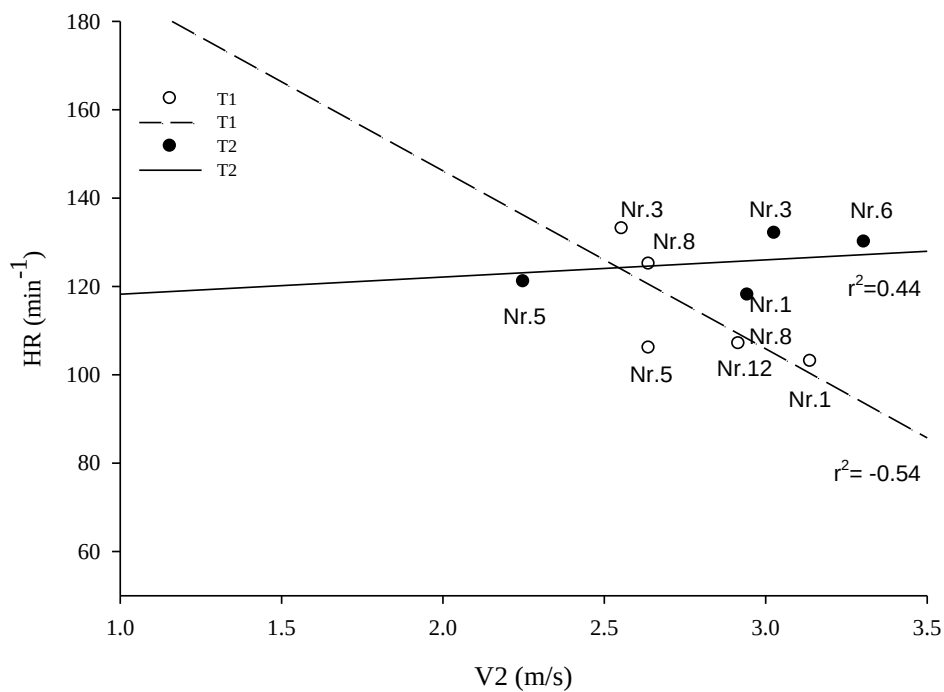


圖 4-7-2：低氧組 V2 與模擬比賽 E5 心跳率之影響

過去研究指出，血乳酸的濃度主要受運動強度、參與的肌肉量、持續時間之影響 (Neumann, 1990; Weicker et al., 1993)；而運動結束後肌肉中乳酸堆積與排除也是依據個人有氧能力，有氧能力越佳者血乳酸排除速度越快 (Neumann et al., 1991)。由圖 4-7-1 可知，T1 與 T2 曲線皆呈現為正相關，相關值由 $r^2=0.27$ (T1) 下降至 $r^2=0.20$ (T2)。模擬比賽會受到對手之強度與選手本身踢擊能力等原因而影響，後測時可能因為選手的恢復機轉對新的負荷刺激還在適應中，因此恢復期的有氧閾值能力反應至乳酸排除率呈現些微下降。

Sedlock (1994) 提出運動強度與運動後恢復期的心跳率有密切關係，而最大運動負荷結束後的第 5 分鐘 (E5) 心跳率可做為判斷體能及訓練效果的指標 (Böhmer et. al., 1975)。本研究結果顯示，T2 結果呈現正相關 ($r^2 = 0.44$)。推測可能因為，後測時對抗強度與選手踢擊能力的改變，使得體循環的恢復機轉對新的負荷刺激仍未產生適應。E5 心跳率越高表示其恢復能力越差，即代表有氧閾值能力與 E5 心跳率呈正相關。本研究結果與理論相符。

第八節 常氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率、恢復心跳率 (E5) 之影響

(一) 常氧訓練之 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率

一週常氧訓練於有氧閾值 (V2) 速度對模擬比賽前測 (T1)、後測 (T2) 乳酸排除率之關係分析。結果顯示有氧閾值速度前測 (T1) 介於 2.6~3.3 m/s 之間，乳酸排除率介於 0.17~0.34 mmol/l·min 之間，兩者間為負相關 ($r^2 = -0.06$)。後測 (T2) 有氧閾值速度介於 1.6~3.5 m/s 之間 ($r^2 = 0.01$)，乳酸排除率介於 0.15~0.46 mmol/l·min 之間，兩者間為正相關 ($r^2 = 0.01$)。

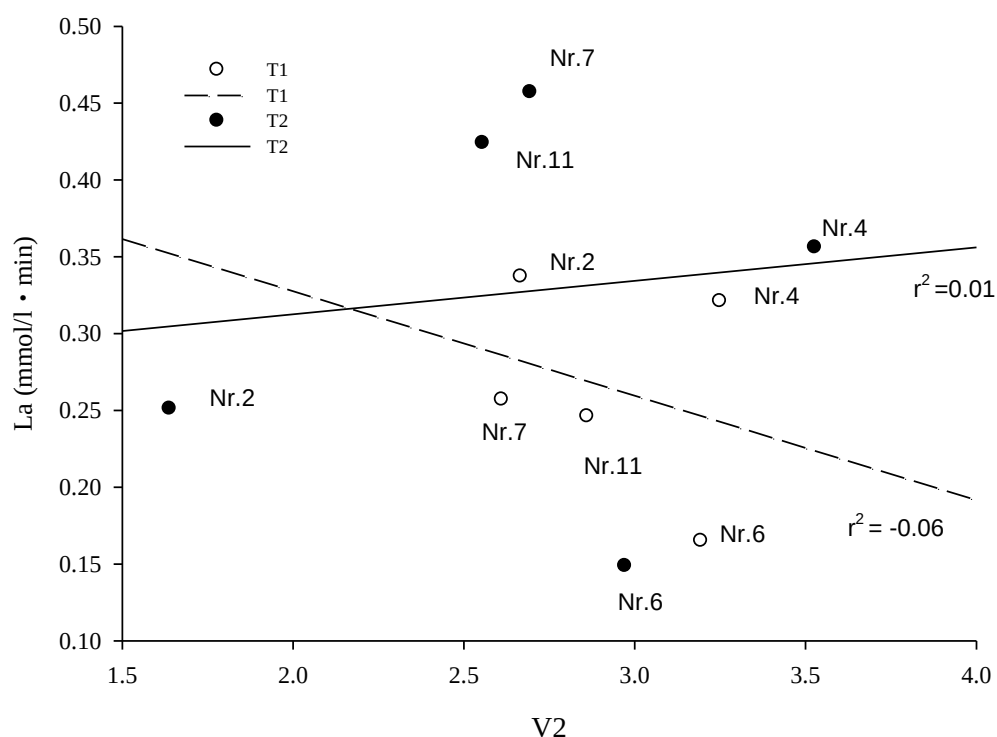


圖 4-8-1：常氧組 V2 與模擬比賽乳酸排除之影響

(二) 低氧訓練之 V2 速度與模擬比賽 E5 心跳率之影響

一週常氧訓練於有氧閾值 (V2) 速度對模擬比賽前測 (T1)、後測 (T2) 恢復心跳率之關係分析。結果顯示有氧閾值速度前測 (T1) 介於 2.6~3.3 m/s 之間，運動負荷結束後第 5 分鐘 (E5) 介於 103~131 min^{-1} 之間，兩者間為負相關 ($r^2 = -0.48$)。後測 (T2) 有氧閾值速度介於 1.6~3.5 m/s 之間，運動負荷結束後第 5 分鐘 (E5) 介於 90~119 min^{-1} 之間，兩者間為正相關 ($r^2 = 0.96$)。

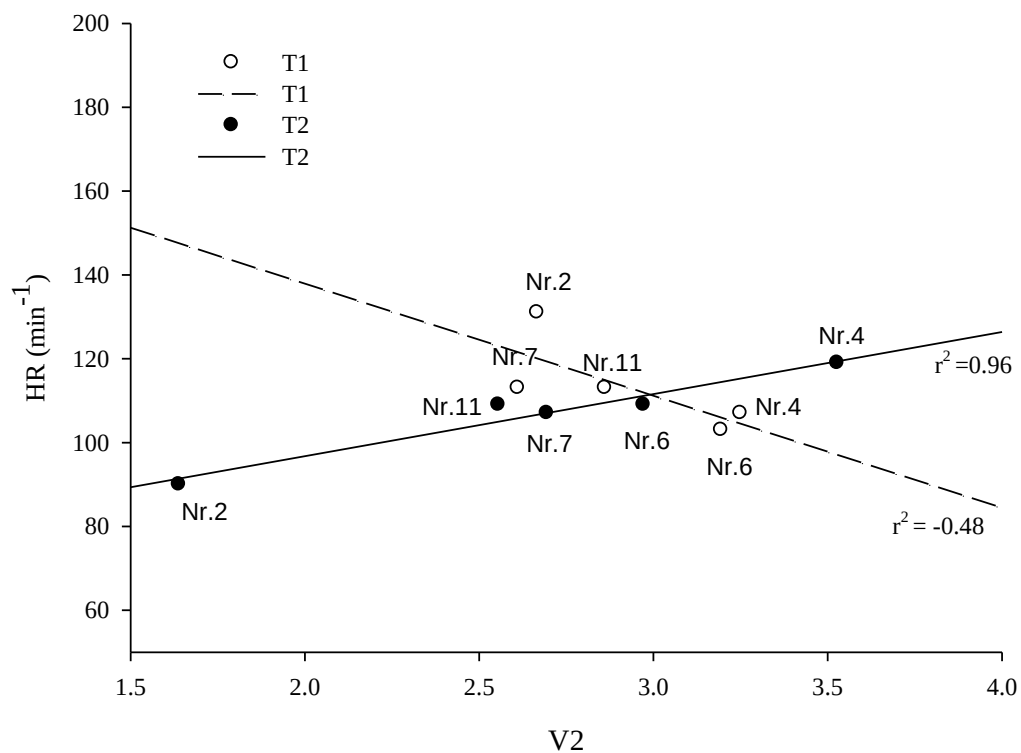


圖 4-8-2：常氧組 V2 與模擬比賽 E5 心跳率之影響

一週常氧訓練後 V2 速度與模擬比賽乳酸排除率之關係，從圖 4-8-1 可知，由負相關 ($r^2 = -0.06$) 轉為正相關 ($r^2=0.01$)，與過去研究 (Heck, 1990) 『乳酸排除率是根據有氧代謝的轉換程度之影響，有氧能力越佳，乳酸排除率越快』相符，但後測 V2 未達到運動員之標準 (>2.8 m/s)。而在模擬比賽乳酸排除率方面，在後測雖然有進步，但仍未達每分鐘須排除 $0.5 \text{ mmol/l} \cdot \text{min}$ 之標準 (Neumann et al., 1993)。研究結果顯示，經過一週常氧跑步機訓練後，受試者基礎有氧耐力趨於穩定，反應在後測時模擬比賽乳酸排除率的提升。

圖 4-8-2 為常氧組 V2 與模擬比賽 E5 心跳率之關係。結果顯示，結束後第 5 分鐘心跳率與 V2 速度由負相關 ($r^2 = -0.48$) 轉為正相關 ($r^2=0.96$)，且在後測中心跳率有下降的情形。可能原因在於，雖然有氧耐力的穩定使結束後心跳率在後測時呈現下降趨勢，但由於比賽的對抗性來自於本身與對手，因此在強度的影響下改變了前後測 V2 與心跳率的曲線關係。

第伍章 結論

第一節 結論

本研究利用一週常氧、低氧環境下訓練，觀察受試者以不同訓練模式對跆拳道模擬比賽生理機轉之影響，結果發現在基礎耐力前後測，常氧組能量代謝無改變，體循環有適應之情形；低氧組能量代謝呈現進步，體循環則是尚未產生適應。可能原因為低氧划船訓練對體循環的壓力過高，使心臟跳動的節奏較不規律，影響體循環適應之情形。

在一週訓練前後的恢復期乳酸排除率方面，常氧組與低氧組雖然沒有明顯改變，但恢復期乳酸曲線皆呈現下降，而自覺量表兩組也呈現下降情形。此結果顯示，兩組受試者在相同強度負荷下身體的恢復機轉已達到適應且趨於穩定。

一週訓練對模擬比賽結束後之血氨值兩組後測皆比前測高，但未達顯著差異；最大乳酸堆積值常氧組後測比前測高，但低氧組無明顯改變。在恢復心跳率 (E5) 方面，常氧組後測小於前測，而低氧組則是後測大於前測。由上述結果顯示，低氧環境訓練的效果反應在比賽恢復期的能量代謝上，而常氧訓練的效果則主要在體循環方面。後測時兩組之有氧閾值 (T2) 能力皆呈現些微下降，而模擬比賽是受到對手之強度與選手本身踢擊能力等原因而影響，因此後測時可能因為選手的恢復機轉對新的負荷刺激還在適應中，因此恢復期的乳酸排除率未達標準值 ($>0.5\text{mmol/l} \cdot \text{min}$)，恢復心跳率 (E5) 也未達高競技水準 ($<100/\text{min}^{-1}$)。

本研究主要發現為利用一週低氧划船訓練可以快速改善跆拳道選手能量代謝路徑與恢復機轉，在訓練上建議可作為週期與週期間的銜接 (準備 II 到專項 I)，

運用低氧高強度間歇的模式對身體刺激，使選手在短時間內得以提升基礎體能與恢復能力，進到下一階段專項訓練時能較快產生適應速度。

參考文獻

(一) 中文部分:

中華民國跆拳道協會官網。2011年01月07日，資料引自

<http://www.taekwondo.org.tw/modules/tadnews/index.php?nsn=169>

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之影響. Paper presented at the 中華民國大專院校八十五年度體育學術研討會專刊, 臺北：中國文化大學.

李辰鐘. (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. 未出版碩士論文, 國立體育學院, 桃園縣。

李佳融. (2011). 間歇訓練對跆拳道選手踢及表現、功率與乳酸的影響. 大專跆拳道學刊, 1, 80-86.

李後政, 許志耀, & 呂學冠. (2005). 間歇訓練的理論實際運動：以跆拳道為例. 運動教練科學, 5, 35-51.

林榮培. (2002). 跆拳道運動員專項體能與制勝要素探討. 中華體育, 16(1), 112-160.

邱奕棠. (2012). 五天低氧訓練對徑賽選手體循環與新陳代謝之影響. 未出版碩士論文。 , 國立體育大學, 桃園縣.

崔泓熙. (1988). 跆拳道百科全書. 韓國：文智出版社。

張家豪. (2012). 五天低氧間歇訓練與調整對徑賽選手專項能力與無氧耐力之影響. 未出版碩士論文。 , 臺北市立體育學院, 臺北市

張嘉澤. (2008). 訓練學. 臺北縣：臺灣運動能力診斷協會.

陳江圳. (2005). 五週耐力訓練對國小網球選手專項能力表現的影響. 桃園縣, 國立體育學院, 桃園縣.

陳佳慧, 楊孟龍, 王月琪, & 張嘉澤. (2009). 五天低氧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). Paper presented at the 2009

- 年國際體育運動與健康休閒學術研討會，台北市銘傳大學。
- 詹蕙真，& 張嘉澤. (2005). 手球選手訓練負荷藉助心跳率對有氧-無氧閾值之影響. Paper presented at the 2005 年國際運動教育學術研討會，桃園縣。
- 葉明春，呂欣善，& 張嘉澤. (2006). 徑賽中長距離快速耐力訓練與效果判斷藉助 Mader 2× Test. Paper presented at the 大葉大學研討會。
- 廖焜福，& 王榮錫. (2007). 低氧環境對組織生理理及運動表現的影響. *大專體育*, 93, 168-174.
- 鄭陸. (2004). 運動與氮代謝關係的研究發展. *中國：山東體育學院*, 20(61), 41-42.
- 顏克典. (2006). 間歇低氧訓練對有氧適能與心跳率變異性表現之影響. 未出版博士論文，國立台灣師範大學，臺北市。

(二) 外文部分:

- Böhmer, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., . . . Schmücker, O. (1975). Das sportmedizinische Untersuchungssystem. *Leistungssport*.
- Berglund, B. (1992). High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. *Sports Medicine*, 14, 289-303.
- Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-Sprint Ability—Part II. *Sports Medicine*, 41(9), 741-756.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 371-381.
- Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Wolfel, R. R., Groves, B. M., Mazzeo, R. S., & Sutton, J. R. (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300m. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 919-929.
- Buchheit, M., & Laursen, P. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to

- the Programming Puzzle. *Sports Medicine*, 1-28. doi: 10.1007/s40279-013-0066-5
- Christensen, N. J., & Galbo, H. (1983). Sympathetic nervous activity during exercise. *Annual Review of Physiology*, 45, 139-145.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., . . . Billat, V. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1238-1248.
- Fulco, C. S., Rock, P. B., & Cymerman, A. (2000). Improving athletic performance is altitude residence or altitude training helpful? *Aviation Space Environment Medicine*, 71(2), 162-171.
- Gasser, G., & Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine Science & Exercise*, 16, 23-43.
- 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 & Medicine*, 25(4), 431-441.
- Hargreaves, M., & Spriet, L. (1995). *Exercise Metabolism*.ampaign , IL: Human kinetics.
- Harris, R. C., Edwards, R., Hultman, E., Nordesjö, L., Ny Lind, B., & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv*, 367(2), 137-142.
- Heck, H. (1990). *Energietoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Köln: schorndorf. Hofmann.
- Hoff, J., Wisloff, U., & Enen, L. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 218-221.

- Hollman, W., & Liesen, H. (1973). Der Einfluss eines zweiwöchigen Höhentrainings auf die Leistungsfähigkeit im Flachland, gemessen an spiroergometrischen und metabolischen Parametern.
- 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*.
- Hultman, K., & Saholm, K. (1980). Acid-base balance during Exercise. *Exercise and Sport science Review*, 8, 41-128.
- Itoh, H., & Ohkuwa, T. (1990). Ammonia and lactate in the blood after short-term sprint exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 62, 22-25.
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1978). Dauertraining-Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*, 8(1), 34-39.
- Kontos, H. A., Levasseur, J. E., & Richardson, D. W. (1967). Comparative circulatory responses to systemic hypoxia in man and in unanesthetized dog. *Journal of Applied physiology*, 23, 73-81.
- Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues : The purine nucleotide cycle. *Physiology Reviews* 52, 381-413.
- Mader, A., Heck, H., Fahrenbach, R., & Hollmann, H. (1979). Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Saure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400-m- und 800-m-Läufen beider Geschlechter nach Belastungsabbruch. *Dtsch Z. Sportmed*, 7(8), 203-249.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philipp, H., Rost, R., Schürch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportpezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit. *Labor.Sportarzt und Sportmed*, 27(4), 80-88.

- Meeuwsen, T., Hendriksen, I. J., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 283-290.
- Morton, J. P., & Cable, N. T. (2005). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. *Ergonomics*, 48(11-14), 1535-1546.
- Neumann, G. (1990). Die Leistungsstruktur in den ausdauersportarten aus sportmedizin-ischer Sicht. *Leistungssport* 20, 14-20.
- Neumann, G. (1991). Zur Leistungsstruktur der Kurz-und Mittelzeitausdauer-Sportarten aus sport –medizinischer Sicht. *Leistungssport* 21, 29-31.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Berbaik, A. (2001). *Optimiertes Ausdauertraining*.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottentott, K. (1993). *Alles unter Kontrolle*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Neumann, G., & Schüler, K. (1994). *Sportmedizinische Funktionsdiagnostik*. Leipzig: J. A . Barth.
- Newsholme, E. A., Blomstrand, E., McAndrew, N., & Parry-Billings. (1992). *Sportmedizin*
- Nikiforov, I. (1974). About the structure of training in boxing. *Scientific Work Moscow*, 6, 81-91.
- 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).
- Sahlin, K., Harris, R. C., Nyling, B., & Hultman, E. (1976). Lactate content and pH in muscle obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv*, 367(2), 143-149.
- Spina, R. J., Chi, M. M., Hopkins, M. G., Nemeth, P. M., Lowry, O. H., & Holloszy, J. O. (1996). Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10

- days of cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80(6), 2250-2254.
- Tkatchouk, E., Kondrykinskaya, I., & Ehrenborg, I. (1993). *Interval hypoxic training: A method of improving occupation health*. Paper presented at the The 24th Congress of the international Commission on Occupation Health., Nice, France.
- Truijens, M. J., Toussaint, H. M., Dow, J., & Levine, B. D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *Journal of Applied Physiology*, 94(2), 733-743.
- Weicker, H. (1988). Purinnukleotidzyklus und muskuläre ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed*, 39, 172-178.
- Weicker, H., & Strobel, G. (1993). *Sportmedizin und Biochemischphysiologische Grundlagen und ihre sportarttspezifische Bedeutung*: Gustav Fischer Verlag.
- Weltman, A. (1995). *Factor affecting the blood lactate response. The blood lactate esponse to exercise*. Canada: Human Kinetics.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.