

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

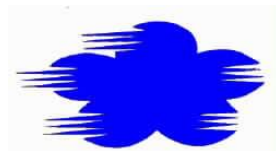
跆拳道選手閾值能力在常壓低氧環境進行不同
HIIT 負荷對心跳率與能量提供路徑之影響

Effect of **High Intensity Interval Training In Hypoxic On Taekwondo**
Athletes Of Heart Rate And Energy Systems

指導教授：張嘉澤 博士

研究生：林松潛 撰

中 華 民 國 103 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

本論文：跆拳道選手閾值能力在常壓低氧環境進行不同 HIIT 負荷對心跳率與能量提供路徑之影響

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

本論文承蒙下列考試委員審查通過

中華民國 103 年 6 月

論文考試委員

詹元碩

詹元碩 博士

國立臺北教育大學副教授

邱炳坤

邱炳坤 博士

國立體育大學教授

張嘉澤

張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授

(本論文指導教授)

跆拳道選手閾值能力在常壓低氧環境進行不同 HIIT 負荷對心跳率與能量提供路徑之影響

摘要

目的：探討跆拳道選手無氧閾值耐力在常壓低氧環境不同運動型態單次刺激對心跳率與能量提供路徑之影響。**方法：**以大專甲組跆拳道選手共 7 名 (平均年齡 19 ± 0.53 歲; 身高 176.6 ± 5.5 公分; 體重 66.6 ± 8 公斤; 訓練年數 9 ± 2.5 年), 於一週中進行四種測試, 當中包含兩種於常壓低氧艙中進行 (FIO_2 13 %) 不同運動型態之負荷, 負荷中採取 HR、La、Glu、 NH_3 、RPE、 SpO_2 。以重複量數單因子變異數 (one way ANOVA) 以及相依樣本 t 考驗進行統計分析, 差異顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。**結果：**個人有氧閾值能力負荷平均心跳率腳踏車測功儀呈現相關性, 無氧閾值瓦特數與最大乳酸值在划船測功儀負荷呈現相關; NH_3 、 SpO_2 以及 RPE 在兩種負荷下均隨負荷時間增加而改變。**結論：**在常壓低氧環境進行不同運動型態負荷時, 心跳率方面腳踏車測功儀與個人有氧閾值能力呈現相關, 表示如果需要加強跆拳道選手在間歇時心跳率能夠快速下降使恢復機轉出現, 可用腳踏車的低氧負荷模式來進行改善; 乳酸則是划船測功儀與無氧閾值能力呈現相關, 表示如果需要改善跆拳道選手在高強度負荷動作後乳酸堆積降低讓疲勞延遲出現, 就可透過划船測功儀負荷來改善無氧閾值能力而使乳酸降低。

關鍵詞： FIO_2 13 %、划船測功儀、腳踏車測功儀、乳酸

Effect of High Intensity Interval Training In Hypoxic On Taekwondo Athletes Of Heart Rate And Energy Systems

Abstract

Purpose: Explore the impact of different sports type in hypoxic of taekwondo athletes heart rate and energy supply route. **Material and Methods:** Seven male college taekwondo athletes (age: 19 ± 0.53 years, height: 176.6 ± 5.5 cm, weight: 66.6 ± 8 kg, trained for 9 ± 2.5 years) performed four tests in the week, include two test in hypoxic (FIO_2 13 %).To collected HR 、La 、Glu 、 NH_3 、RPE and SpO_2 in the test. With repeated measures one-way ANOVA and dependent samples analysis. All significant level was set as $\alpha = .05$. **Result:** The test of bicycle ergometer were correlated with aerobic threshold capacity's heart rate, and the test of rowing ergometer were correlated with anaerobic threshold capacity's lactate; NH_3 . SpO_2 & RPE were been rising with the increase exercise load. **Conclusion:** In the hypoxic, bicycle ergometer were correlated with aerobic threshold capacity's heart rate. If you improve the recovery capacity of heart rate with taekwondo athletes, it will be use bicycle ergometer training the recovery capacity in hypoxic; Rowing ergometer were correlated with anaerobic threshold capacity's lactate. If you want to reduce the accumulation of lactate after HIIT, it can use rowing ergometer training anaerobic capacity.

Keywords: FIO_2 13 % 、rowing ergometer 、bicycle ergometer 、lactate

謝 誌

在國體短短的兩年中，我相識了幫助我許多的好朋友、老師、學弟妹以及學長學姐，讓我能夠更快的融入這個國體大家庭中，再次感謝在國體幫助我的每個人。俊霖，謝謝你在許多專業上知識的指導與訓練以及實驗上的幫助與指教；育綺，從一年級開始跟我一起奮鬥最久的同學，謝謝你這兩年的互相扶持；智瑋，謝謝你在這兩年對我像親弟弟般的教導與照顧，讓我更成長、穩重；婉禎、還有跆拳道的大家，二年級謝謝你們讓我體能大幅提升考上教程，也謝謝學姐當教練的指導！敬衡，謝謝學長這兩年無條件的挺我，讓我成長更多；德盛，雖然我常常讓學長生氣，但還是謝謝學長不厭其煩的教我很多；月琪、佳慧學姐，謝謝學姐們許多方面的指導，讓我成長良多；婉柔，謝謝妳指導我許多在人生以及教育方面的知識與經驗；蔡老闆，感謝蔡老闆願意教導我這社會歷練不足的小朋友！賓哥，謝謝賓哥給予我的人生指導方針，我一定也會好好學習，不辜負賓哥送給我的柔道服！丙紳學長，謝謝學長在柔道方面指導我，讓我有機會能夠像選手那樣學習專項技術的學習過程，我一定認真學習，還請學長多多指導！

最後，謝謝 SPDI 的老大，嘉澤老師；感謝老天在三年前讓我上到老師的學分班進而開啟這個緣分，在這三年真的是我人生有了很大的轉變，未來我一定會好好活用老師傳授給我的知識與經驗在訓練選手身上，不辜負老師期望。更謝謝老爸、老媽還有姐姐對於我追尋自己真正想要的成就給予最好的後盾與支持，讓我有這個機會去挑戰未來、挑戰自己未來的可能！

林松潛 謹 識

目 錄

摘 要.....	I
Abstract.....	II
謝 誌.....	III
目 錄.....	IV
表 目 錄.....	VI
圖 目 錄.....	VII
中 英 文 對 照 縮 寫 表.....	VIII
第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究動機.....	2
第三節 研究目的.....	4
第貳章 文獻探討.....	5
第一節 高強度間歇訓練 (High intensity interval training)相關之研究.....	5
第二節 不同運動負荷型態相關之研究.....	8
第三節 低氧相關之研究.....	10
第四節 生物參數相關之研究.....	12

第五節 個人閾值相關之研究	19
第六節 文獻總結	21
第參章 研究方法.....	22
第一節 研究對象	22
第二節 實驗時間與地點	22
第三節 實驗儀器與設備	23
第四節 實驗流程	24
第五節 實驗方法與步驟	25
第六節 資料處理與統計分析	28
第肆章 結果分析與討論.....	29
第一節 個人閾值能力與不同負荷乳酸、血糖之相關	29
第二節 個人閾值能力與不同負荷心跳率之相關	37
第三節 不同運動負荷對 NH ₃ 、RPE、SpO ₂ 之影響	39
第伍章 結論.....	47
參考文獻.....	48
中文文獻	48
英文文獻	48

表 目 錄

表 2-1 不同高度的空氣壓力與氧濃度.....	11
表 2-2 乳酸診斷之訊息.....	13
表 2-3 不同運動強度對應最大心跳率之百分比.....	16
表 2-4 競技選手基礎耐力能力.....	20
表 3-1 受試者基本資料.....	22
表 3-2：腳踏車測功儀階梯式負荷模型.....	26
表 3-3：運動負荷內容、休息時間以及各生物參數採集時間點.....	27

圖 目 錄

圖 2-1 體內神經肌肉組織對 HIIT 不同程度負荷所產生代謝路徑之情形.....	6
圖 2-2 HIIT 負荷模式與設定示意圖.....	7
圖 2-3 有氧-無氧乳酸閾值 (2-4 mmol/l)與能量路徑.....	20
圖 3-1 實驗流程圖.....	24
圖 3-2 實驗進行時間圖.....	25
圖 4-1 個人有氧閾值能力與兩種負荷運動中平均乳酸之相關.....	29
圖 4-2 個人無氧閾值能力與兩種負荷運動中最大乳酸之相關.....	32
圖 4-3 腳踏車測功儀負荷中 La 與 Glu 之曲線關係圖.....	34
圖 4-4 划船測功儀運動負荷中 La、Glu 之曲線關係圖.....	36
圖 4-5 個人有氧閾值能力與兩種負荷運動中平均心跳率之相關.....	37
圖 4-6 腳踏車測功儀負荷 NH ₃ 曲線圖.....	39
圖 4-7 划船測功儀負荷 NH ₃ 曲線圖.....	41
圖 4-8 腳踏車與划船測功儀負荷平均 RPE 柱狀圖.....	43
圖 4-9 兩種不同負荷於運動中與結束後 SpO ₂ 之變化.....	45

中英文對照縮寫表

縮寫	英文	中文
ATP	adenosine triphosphate	單磷酸三腺苷
CP	creatine phosphate	磷酸肌酸
FIO ₂	fraction of inspired oxygen	氧氣濃度
HIIT	high intensity interval training	高強度間歇訓練
HR	heart rate	心跳率
m	meter	公尺
mmol/l	millimol per liter	每公升所含毫莫耳數
min	minute	分鐘
min ⁻¹	beat per minute	每分鐘心跳率
m/s	meter per second	每秒公尺數
NH ₃	ammonia	血氨
pH	pondus Hydrogenii	酸鹼值
Rep	repeat	重覆
RPE	rating of perceived exertion	自覺量表
s	second	秒
SpO ₂	saturation of oxygen peripheral	血氧飽和濃度

W	watt	瓦特數
VAS	visual analogue scale	疼痛量表
$\dot{V}O_{2\max}$	maximal oxygen consumption	最大攝氧量
RPM	revolution per minute	轉速



第壹章 緒論

第一節 研究背景

競技選手的運動訓練中，高強度間歇負荷型態是很常見的訓練模式之一。在單次的急性運動負荷刺激下，體內會產生許多生理反應來接受這些運動刺激：體內體循環的改變造成心跳率的上升、乳酸濃度、 NH_3 的升高(Beneke, Leithäuser, & Hütler, 2001)。過去研究中發現，於單次的高強度間歇負荷訓練結束後，血液內的氫離子與乳酸值會快速上升，肌肉中的肝糖也會快速下降，進行單次高強度間歇訓練後由於體內的氫離子濃度的改變，使得肌肉內的 ATP 合成速率變慢，間接影響到運動表現 (Hargreaves et al., 1998)；但是在經過一段高強度間歇的訓練之後，體內產生適應，能夠適應比原先更高的運動強度，相對也讓體內的代謝速度加快，而使選手擁有更高的競技能力，尤其是耐力方面(Perry, Heigenhauser, Bonen, & Sprieta, 2008; Babraj et al., 2009)。在跆拳道比賽型態中，在一次 5 秒內的攻擊後有短暫的防禦間歇時間，剛好符合高強度間歇的訓練型態模式，如果跆拳道選手在高強度間歇訓練當中如果能夠保持高運動強度而在間歇時間獲得足夠的恢復能力，對於跆拳道選手在比賽時防禦間歇時不僅能夠更有效防禦對手，更能使下個動作完全展現出而增加得分機會。

跆拳道的訓練課表當中，內容主要為專項技術練習以及體能訓練，其中體能當中最重要就是耐力能力；過去有研究指出，競技選手在比賽時是否能夠啟動恢復機轉，讓專項技術在比賽中能否完全發揮是很重要的因素，然而恢復機轉的好壞，跟選手的耐力能力有著很重要的關聯 (Kindermann & Keul, 1977; Weicker & Strobel, 1994)。

第二節 研究動機

跆拳道比賽中，三回合每回合 2 分鐘，中間休息 1 分鐘；在場中選手做攻擊動作大多以瞬間動作為主，能量系統方面則是屬於無氧非乳酸 (ATP-CP) 系統 (Letzelter & Letzelter, 1982)。在動作與動作間以及每回合中間休息的 1 分鐘，選手的 ATP-CP 回復速度越快，對於場中攻擊節奏也較能掌握，每一次的攻擊都是最有效的攻擊，獲勝的機會也就越大；然後選手要擁有極佳的 ATP-CP 恢復的能力，耐力能力好壞有著很大的關聯，尤其是有氧閾值能力 (Hollmann & Rost, 1982; Weicker & Strobel, 1994)。身體因為許多外在因素影響，體內兒茶酚胺的釋放，提高糖酵解的活性，使安靜乳酸值較高 (Kindermann W., 1977) 隨著世界跆拳道聯盟 (World Taekwondo Federation, WTF) 規則的改變、電子護具的使用，造成比賽時選手接觸的時間增加，動作與動作間間歇時間縮短，大大加快了比賽節奏；其中轉身動作旋踢，這項需要較高體能消耗的使用頻率增加，使得 ATP-CP 耗竭而供不應求時，能量系統的提供路徑就會轉向無氧糖酵解系統 (Sahlin, Harris, Nylinde, & Hultman, 1976; 陳奕勳、張嘉澤, 2012) 平時跆拳道訓練不論是技術訓練還是體能訓練，高強度間歇型態的訓練方式很常見，這種方式的訓練效果，主要是讓體內的氫離子與乳酸濃度能夠去適應糖酵解的反應 (Beneke et al., 2001)，使得身體能夠適應較高乳酸堆積時的負荷型態。划船測功儀是以划船動作來進行的一項循環運動的訓練工具，雖然划船測功儀與實際划船運動相比少了划槳入水的專項動作，但是測功儀的風阻能夠代替實際划船的水阻，且從上肢胳膊到前臂到下肢大腿的動力鏈跟實際的划船運動皆有很高的相似且運動中體循環與新陳代謝也有很高的相關 (Martindale & Robertson, 1984)。腳踏車測功儀則是模擬自行車運動中以腳步踩踏齒輪讓自行車前進的原理的一項訓練工具，與自行車運動不同則是，腳踏車測功儀則是在測功儀上以原地踩踏的模式進行運動負荷，以瓦特數、齒輪轉數來訂定負荷強

度。利用腳踏車測功儀進行訓練，不僅能夠減輕腿部對於本身體重的壓力負荷外，根據負荷強度的不同，會產生燃燒脂肪、促進體內新陳代謝能力等訓練效果 (Bauman & Rissel, 2009)。

自從 1968 年墨西哥奧運之後，由於發現長距離項目的成績比起往年有所落差，結果發現是因為地形因素，於高地下的低氧環境造成 (Jokl, Jokl, & Seaton, 1969)；之後有研究也證實於低氧環境下進行負荷，能夠快速改善體內肌肉能量提供之路徑 (Hollmann & Liesen, 1973)，相同運動負荷強度於低氧環境會比在常氧環境更快動用到碳水化合物 (Brooks et al., 1991)；低氧環境下進行負荷會比常氧環境下來得高；於低氧環境下進行運動負荷雖然強度較高，但是相對地，卻能夠明顯改善體內的體循環能力 (Ponsot et al., 2006)。當外在環境改變時，人體體內的細胞能夠快速適當下環境變化所造成的影響 (McKenzie et al., 2000)，所以於當人在低氧環境進行運動負荷時，能夠對當下的環境刺激產生適應，進而提高對當下強度刺激時對人體所產生的效果。高強度間歇負荷對於人體最大的影響就是體內的氫離子與乳酸濃度的提高，使得降低當下完成負荷時人體的運動能力 (Mark Hargreaves et al., 1998)；然而在低氧環境下，讓身體壓力增加的情況下，再接受高強度間歇運動負荷；身體能夠適應外在環境，也因為多了低氧環境的刺激使得負荷增高，刺激糖酵解的活性。

透過不同訓練儀器來增加競技訓練方式的多樣性且也能改善選手的耐力能力；另外再加入常壓低氧環境的刺激，更能讓選手快速改善耐力能力，讓選手在準備期時在耐力能力上擁有更高的進步幅度。因此本研究希望能夠找出對於跆拳道選手在準備期訓練耐力上最快且最有效率的訓練方式。

第三節 研究目的

- 一、跆拳道選手個人閾值能力與常壓低氧 HIIT 負荷乳酸、血糖之相關。
- 二、跆拳道選手閾值心跳率對於常壓低氧 HIIT 負荷心跳率之影響。
- 三、常壓低氧 HIIT 負荷於低氧環境對跆拳道選手肌肉能量提供路徑之影響。



第貳章 文獻探討

第一節 高強度間歇訓練 (High intensity interval training)

相關之研究

高強度間歇訓練(High intensity interval training) 這方面的研究，最初是 Hill 於 1920 年代，在包含不同運動型態的首篇研究當中提出的訓練型態方式；1960 年代，Astrand 等人的研究當中首次發表關於 HIIT 對人體所產生的生理反應；過去的 20-50 年間皆有許多關於 HIIT 的研究，而對其所產生的效果以及適應也逐漸以被證實 (Buchheit & Laursen, 2013)。

Buchheit 與 Laursen (2013)根據過去許多關於 HIIT 的研究所歸納出 HIIT 對身體所產生的不同生理反應 (圖 2-1)；從圖中可得知，因為每位選手體內對於負荷強度適應的不同、長期適應該強度、運動需求以及運動訓練計畫，均會影響到 HIIT 對體內代謝、器官以及神經肌肉的刺激程度。一、氧氣轉換代謝：當身體接受 HIIT 運動刺激時，肌肉需要足夠且大量的氧氣使得體內心肺系統、氧化肌纖維開始運作；二、氧氣轉換代謝+神經肌肉組織：當體內為了應付 HIIT 的刺激時心肺系統、肌纖維會開始運作，但是到達某種程度後，會開始造成神經肌肉上的疲勞以及耗損；三、無氧代謝：當體內心肺系統以及氧化肌纖維無法及時供應 HIIT 所需要的氧氣量時，能量路徑就會走向無氧糖酵解系統以供身體有足夠能量能夠應對當下的 HIIT 負荷；四、無氧代謝+神經肌肉組織：當身體能量系統走向無氧路徑後，達某種程度後就會造成神經肌肉組織的負荷增加；五、部分氧化+無氧代謝+神經肌肉組織：達到此程度時，體內負荷大多以無氧糖酵解能量提供為主，且會讓神經肌肉組織產生大量的負荷；六、神經肌

肉組織勞損：主要造成神經肌肉組織上的負荷以及壓力。HIIT 所產生的生理反應大多是以上六種類，當中一至四的情況，這些情況都會使得人體內的乳酸堆積增加，能量系統會動用到糖酵解系統，進而形成無氧負荷。

然而 HIIT 訓練模式會使體內的神經肌肉組織、器官等造成許多壓力以及負荷，如何在執行 HIIT 能夠讓身體承受適當的壓力負荷下產生適應，避免超出負荷的狀況發生，在擬訂與操作訓練課表上就顯得相當重要 (Buchheit & Laursen, 2013)。Buchheit (2005) 就有明確指出在執行 HIIT 時的幾項要點：負荷強度、負荷形態、每組負荷的時間、每組負荷結束後的緩衝強度、組間的緩衝時間、一次執行 HIIT 的組數、整個 HIIT 的負荷時間 (圖 2-2)，在 HIIT 整個執行的過程中，能夠讓身體接受負荷刺激，又能夠適當的產生適應進而產生訓練效果，因此「時間」的掌控是個很重要的因素 (Astrand, Astrand, & Christensen, 1960; Christensen, Hedman, & Saltin, 1960)。

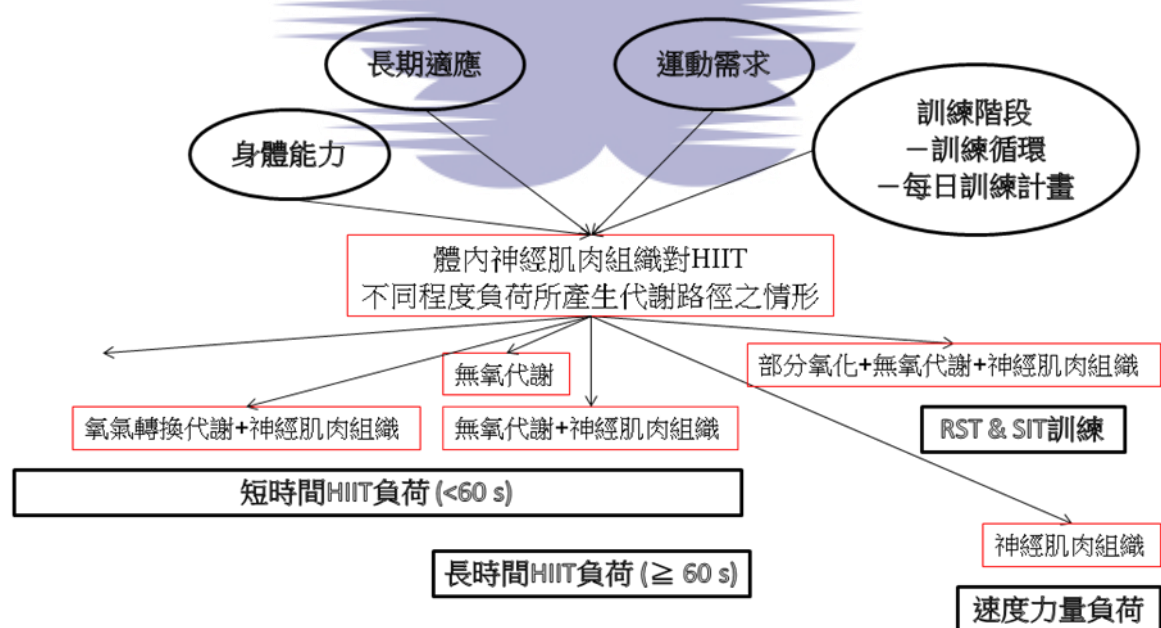


圖 2-1 體內神經肌肉組織對 HIIT 不同程度負荷所產生代謝路徑之情形(Buchheit & Laursen, 2013)

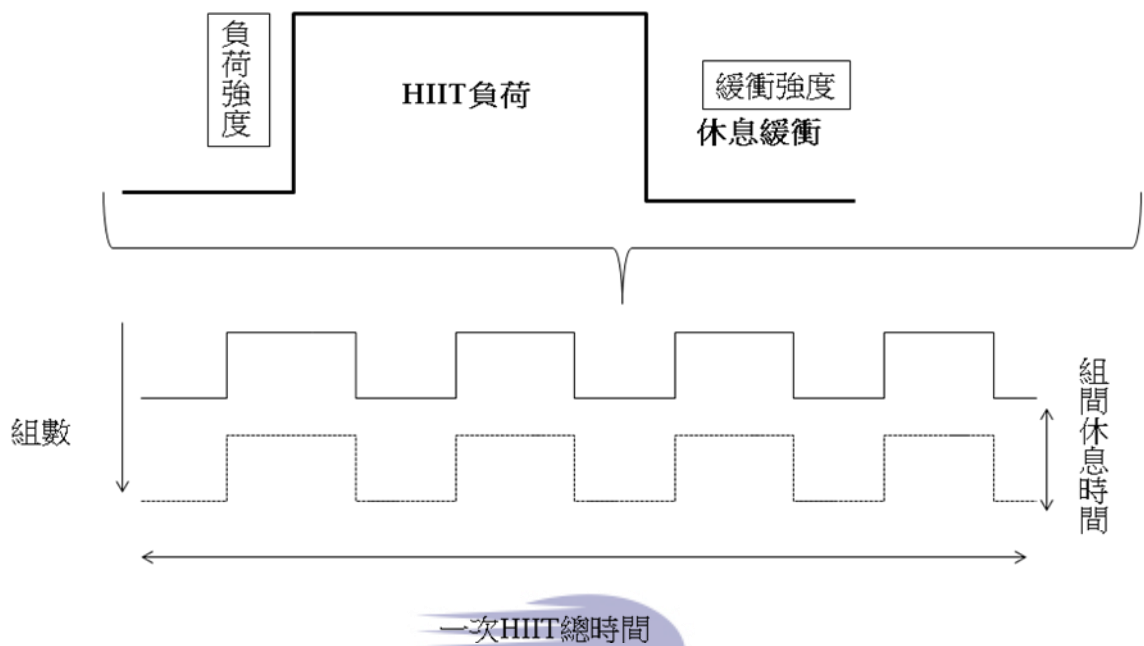


圖 2-2 HIIT 負荷模式與設定示意圖 (Buchheit, 2005)

在跆拳道比賽型態中每波攻勢不會大於 4 腳，且雖然比賽時間為 2 分鐘三回合的模式，由於暫停次數頻繁，當下的運動型態就符合高強度間歇的型態，且攻擊時間也符合無氧非乳酸 (ATP-CP) 所支持 10 秒內之短時間運動負荷 (陳奕勳、張嘉澤，2012)；如果對手強度相當，動作施展與頻率皆會大幅提升，且會常常利用到需要更大力量的轉身踢擊等等高強度負荷動作，而造成短時間內 ATP-CP 供給之耗竭，能量系統就會轉向無氧糖酵解系統 (Sahlin et al., 1976)。

第二節 不同運動負荷型態相關之研究

划船測功儀是以西式划船專項技術動作為基礎的一種訓練儀器，訓練型態是以循環運動的方式來進行。起初主要是考慮到西式划船選手並非一定要下水才可以練習到專項技術動作，以較便利性的方式就可以練習；划船測功儀是利用抵抗阻力來進行的運動，而划船這項運動主要以船隻以及船員總體重的 2/3 的輸出功率來讓船隻來前進 (Secher, 1990)。應用划船測功儀做訓練亦會出現相近於提升有氧閾值能力的效果 (Kramer, Leger, Paterson, & Morrow, 1994)；雖然在無氧閾值方面划船測功儀會比實際划船還要來得低，但是在心跳率以及乳酸關係上兩者卻有著高度相似，在運用機械動力原理的划船測功儀在訓練耐力上也較實際划船還要來得有效率 (Steinacker et al., 1993a)。之後也有研究證實划船測功儀不僅可以作為划船選手的訓練儀器而已，也能夠做為其他運動項目之選手訓練耐力時的訓練儀器之一，且能夠有效提升其耐力能力 (Schabort, Hawley, Hopkins, & Blum, 1999)。過去研究於實際水面與划船測功儀進行 2000 m，結果發現兩者的成績達到正相關 (Smith and Spinks, 1995; Nevill et al., 2010)；劉展明、張嘉澤 (2011)的研究中就發現，相較於傳統划船訓練方式，划船測功儀有穩定的槳頻數，如果突破目前槳頻數，輸出功率 (Watt) 也會跟著提高，所以訓練強度與劑量也較能夠掌握。Schabort 等 (1999) 研究中以划船測功儀來做為研究耐力訓練效果的工具，結果不僅發現本次訓練模式會讓選手產生訓練效果外，也發現划船測功儀不但可以作為划船選手的專項耐力訓練工具外，也能夠使用在其它項目的選手；且當中以划船測功儀做 2000 m 負荷也能夠有效改善選手的有氧與無氧代謝能力 (Secher, 1990; Ingham, Whyte, Jones & Nevill, 2002)。

腳踏車測功儀是以自行車運動當中腳部的動作模式做為運動負荷型態的測試與訓練儀器，且也是許多競技運動訓練以及研究訓練耐力的方式之一 (Lange

et al., 1971; Hollmann et al., 1987; Lagerström et al., 1990)。Leicht, Sealey 與 Sinclair (2011) 以 41 名健康成人使用 mechanically (ME) 與 air-braked (AE) 兩項儀器進行 30 秒的腳踏車測功儀無氧循環的測驗，間隔 7 天之後發現無氧閾值能力皆有提升。人體在進行運動負荷時，肌肉內的乳酸形成與排除與當時做該項負荷時動作的協調性有著相當大的關聯(Beneke et al., 2001; Brooks, 1986a, 1986b; Mader, 1994)；在划船測功儀的運動負荷會動用到全身的 85% 的肌肉動員量，而腳踏車測功儀則為 60%，腳踏車負荷相較於划船測功儀負荷給身體肌肉負荷壓力又提高了 25-30% (Beneke et al., 2001; Mader, Hartmann, & Hollmann, 1988)，所以不同的負荷模式以及型態都會影響到體內的生理變化。



第三節 低氧相關之研究

在 20 世紀中葉，蘇聯的研究者發現人體在高原環境中對於缺氧狀態能夠產生適應，又發現對於人體內的心血管系統以及體內氧代謝能力能夠有所提升，所以對參加 1956 年墨爾本奧運的選手做高原訓練，也因此取得不錯的成績。1968 年墨西哥奧運後因為墨西哥於高地環境，所以許多低氧相關的研究逐漸興起；Hollmann (1986)的研究中就指出於高地訓練下會有以下幾點效果：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、增加睪丸酮素與生長激素荷爾蒙釋放，同時改善與提升脂肪代謝、改善有氧與無氧能量代謝容積。由於過去高地低氧訓練有著交通等等不方便於訓練執行便利上的因素，近代低氧訓練以及相關低氧研究已偏向於人工常壓低氧艙中進行，且已經有研究證實高地低氧與常壓低氧間的生理反應以及訓練效果只有差別於高地低氧會使得紅血球數量增加，而常壓低氧數量則維持，其他效果皆無差異(Hammond, Gale, Kapitan, Ries & Wagner, 1986; Hollmann & Liesen, 1973)。近年低氧相關研究在海平面上的人工低氧艙中進行低氧負荷訓練，結果發現受試者的有氧以及無氧耐力獲得改善(Dufour et al., 2006; Morton & Cable, 2005; 邱奕棠、張嘉澤，2012)。低氧環境下接受中等以上強度的負荷比起在常氧會使用更多的碳水化合物，因為在高原環境攝氧量的減少，而阻礙脂肪酸代謝，進而增加碳水化合物的使用 (Brooks et al., 1991)。肝糖提早耗盡，提高蛋白質的分解；雖然在高原環境下會提高運動強度，但相對的進行耐力訓練可使得肌肉組織以及體循環能力有著顯著的改變 (Ponsot et al., 2006)。在低氧環境下進行負荷，因為體內需氧量相同但是低氧環境氧氣濃度的降低，使得體內能量系統更快進入到無氧負荷 (Brooks et al., 1991); Berglund (1992)的研究結果就有提到不同高度會有不同相對應的空氣壓力與氧氣濃度 (表 2-1)，然而 Manfred 在 1990 年指出欲在高原環境中能有效提升基礎耐力與專項耐力能力最

佳高度介於海拔 3000-3500 m，根據表-1 高地壓力與氧濃度對照表中氧氣濃度為 13%。

表 2-1 不同高度的空氣壓力與氧濃度 (Berglund, 1992)

高度 (m)	空氣壓力 (mm Hg)	氧濃度 (%)
0	760	20.9
500	716	19.7
1000	634	18.4
1500	596	17.2
2500	560	16.1
3000	526	15.1
3500	493	13.1
4000	462	12.2
4500	433	11.3
5000	405	10.5
8872	240	5.9

第四節 生物參數相關之研究

一、乳酸

乳酸由肌肉產生，透過擴散的方式進入血液，再由血液進入肝臟中排除 (Weicker et al., 1994)。然而乳酸的排除分別是由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 與非無氧肌群 (30%) 來進行排除 (Mader et al., 1979; Hermansen & Stensvold, 1972; Keul et al., 1969; Kindermann et al., 1978; Hollmann & Hettinger, 1980)，如果人體負荷超過有氧系統代謝範圍，即會造成乳酸堆積 (張嘉澤，2008)。運動後的最大乳酸值會根據運動負荷強度以及項目而有所不同，因為肌肉參與負荷的時間與肌肉量也有所不同 (Kindermann, Simon & Keul, 1978)，而在負荷期間促使肝糖分解也會影響到當下的乳酸值 (Hollmann & Liesen, 1973)。



表 2-2 乳酸診斷之訊息 (Neumann et al., 2001)

訓練的新陳代謝效果判斷	作為新陳代謝負荷在有氧，有氧-無氧或者無氧之上的判斷。
運動機能的動員能力	乳酸濃度是根據快速收縮肌纖維 (FT) 在運動項目專項動作程序和動作速度而定。乳酸將經過運動程序佔多數 FT 纖維形成。
一般有氧閾值能力的情況	藉由階梯式負荷上昇或速度可以確定運動項目專項之一般有氧閾值能力。
在專項運動的負荷強度範圍分類	訓練是發生在一個確定的新陳代謝調整區域範圍。高乳酸濃度是根據當時的訓練速度。此訓練速度將依運動項目分類為強度或範圍
由訓練措施施構成的效果	訓練措施如騎自行車、跑步、游泳或變換運動項目或固定的運動項目練習。影響它們對運動和技術控制的是來自不同的代謝。訓練措施評價在無氧代謝乳酸形成是由訓練方式構成。
訓練方式應用	訓練方式如持續跑、間歇、速度變化會產生不同代謝作用。

Neumann 等 (2001) 指出乳酸可以做為許多身體上代謝作用的指標，其中最重要的就是可以做為訓練負荷強度的判斷(表 2-2)，Hottenrott 等 (1995) 指出藉由乳酸值測試可以了解乳酸真正的代謝路徑。Baker, Thomas, Cooper, Davies and Robergs (2012) 以 8 名職業橄欖球選手為研究對象，以隨機的方式進行 10 秒以及 20 秒的腳踏車測功儀衝刺負荷，來觀察運動結束後 5 至 10 分鐘的乳酸堆積的差異，結果發現進行不同的時間強度負荷，會相對影響到運動後的乳酸恢復時間以及運動能力。過去研究中也指出，在進行運動負荷時，不同的運動型態，相對所用到的主動肌與協同肌的不同，肌肉內所產生的乳酸堆積以及乳酸排除速率也會有所不同，所以不同的肌肉收縮模式，會形成不同的乳酸堆積程度 (Beneke et al., 2001)。廖櫻灣、張嘉澤 (2012) 以青少年足球選手為研究對象，進行 20 m MST、20 m 階梯式負荷與階梯式負荷不同負荷型態間的差異比較，研究結果中，20 m MST 與 20 m 階梯式負荷不同速度的折返跑之下，其乳酸堆積也會有所不同。鄭玉兒、張嘉澤 (2012) 以高中柔道選手進行 10 m 折返跑、專項比賽模擬以及 2-4 mmol/l 階梯式負荷三種測試，結果發現在最大乳酸堆積方面，擁有較佳的無氧閾值的選手在進行高強度負荷時最大乳酸堆積會較低，且運動後乳酸排除速度與有氧閾值能力有關。過去研究中發現，跆拳道兩分鐘三回合正式專項負荷中，平均乳酸值達到 7.5 mmol/l (Bridge, Jones, & Drust, 2009; Matsushigue, Hartmann, & Franchini, 2009)；陳奕勳、張嘉澤 (2012) 探討一週常氧與低氧環境中進行負荷訓練對於跆拳道選手的影響之研究中，以划船測功儀以及跑步機訓練方式作為訓練負荷的模式，結果發現在划船測功儀組方面，於低氧環境下乳酸值呈現適應，且相較於常氧組較有改善效果出現。

二、血糖

肌肉肝糖的功能是作為肌肉細胞本身進行糖酵解作用時的有效來源；肝臟內的肝糖則主要用於儲存，以維持血糖濃度。無氧糖酵解當中糖酵解作用最重

要的是身體在承受無氧負荷時還能夠產生 ATP ；人體在接受運動負荷，肌肉收縮如果是在有氧下進行收縮，則乳酸不會堆積，丙酮酸雖成為糖酵解最終產物但是並不會產生堆積，而是進一步氧化成二氧化碳以及水，但是相反地，在進行無氧收縮時則會產生乳酸堆積，所以就固定的能量而言，在無氧狀態下所進行的糖酵解作用，比在有氧狀態下需要消耗更多的葡萄糖；然而葡萄糖是能供給骨骼肌肉在無氧狀態下所需要的唯一物質，在葡萄糖耗盡時就會啟動糖質新生作用，將體內非糖類的能量來源轉換為葡萄糖或肝糖繼續使用，另外，糖質新生作用也能夠清除肌肉與紅血球所產生的乳酸 (Murray, Granner, Mayes and Rodwell, 1990)，所以相對來說糖質新生功能越佳對選手在比賽中恢復是非常重要的。Beneke et al. (2001)的研究當中，經由兩種不同運動型態的負荷做單次刺激，結果當中顯示，肌肉經過不同的運動型態負荷的刺激，產生不同方式的肌肉收縮，不僅會造成乳酸堆積值的不同，其血糖消耗量也跟著不同；換句話說，隨著運動模式的不同，其體內的糖酵解作用以及丙酮酸的氧化也會有所變化。Busse 等 (1986)的研究當中，利用平衡次序的方式測試正常血糖與低血糖時乳酸濃度的差異，結果顯示在相同訓練強度下，當正常血糖相較於血糖虧空時進行測試，乳酸濃度明顯高於低血糖。

三、心跳率

隨著時代科技日益的進步，心率錶的日益普及，使得現在在運動中就能夠立即知道選手在承受該強度時的心跳率 (HR)，間接的發現選手是否適應或是強度過高等等的即時訓練診斷，所以對於運動負荷的分析中，心跳率即是最快速且直接的生理參數。最大心跳率 (HR_{max}) 是透過 220-年齡 (男性) 與 200-年齡 (女性) 所得，隨著年齡增加最大心跳率也會跟著降低；而最佳耐力運動負荷劑量為最大心跳率的 70-80% (Engelhardt & Neumann, 1994)(如表 2-3 所

示)。

表 2-3 不同運動強度對應最大心跳率之百分比 (Hollmann et al., 1978)

心跳率	訓練強度
100-90 % HR	最大訓練
90-80 %HR	無氧訓練
80-70 %HR	有氧-無氧綜合訓練
60-50 %HR	有氧訓練
60-50 %HR	適度訓練

未接受訓練者的安靜心跳率在接受為期數週運動訓練負荷的刺激後，安靜心跳率明顯下降，此代表體內的體循環獲得改善 (Wilmore & Costill, 1994); McArdle, Katch, 與 Katch (2001) 的研究當中就發現，心跳率能夠做來評量身體能量消耗的指標之一，在研究中能證實即是身體在承受負荷時，心跳率增加，相對體內攝氧量也會隨之增加。

四、血氨

選手在接受訓練時，體內除了乳酸、血糖、心跳率等生理狀況會改變之外，血氨 (ammonia, NH_3) 也是其中伴隨著運動負荷所產生的代謝產物之一，然而許多訓練上的因素 (運動強度、時間等等) 皆會影響血氨的濃度。Mutch 與 Banister (1983) 的研究當中就有提到，在西元 1922 有學者提出 NH_3 與身體疲勞之間是有相關性的；人體在接受短時間高強度的運動負荷時，體內對於 ATP 需求增加，使得需要大量的 ADP 與 P_i 結合以應付 ATP 的需求，每 2 分子的 ADP 與 P_i 結合會產生 1 分子的 ATP 與 AMP，當 AMP 進入到嘌呤核苷酸循環，透過 AMP 的催化產生氨與 IMP (Weicker, 1988; 黃麟棋、張嘉澤, 2007; 陳德盛、張嘉澤, 2010)。因為在運動中，血氨主要是由骨骼肌當中產生，所以換句話說，不管從事耐力性或者是短時間高強度的運動皆會讓血氨的濃度提高，特別是白肌較多的選手血氨產生的濃度會比較高，所以血氨的濃度也取決於人體內的肌肉組成。一般人在進行中低強度運動時 NH_3 濃度並沒有很大的改變，不過在進行高強度運動時濃度就會增加安靜值時的 400 倍之多 (Allen and Conn, 1960)，且當運動強度在最大攝氧量的 60-70% 時，會提高 NH_3 生成，提升至 90-100% 則生成斜率為最大 (Buono, 1984)。以上我們可得證實 NH_3 可作為運動強度判斷的指標之一。

五、血氧飽和濃度

氧氣是人生活在地平面上不可或缺的物質之一，然而呼吸進入體內的氧氣則是經由血液來進行輸送至全身，血氧飽和濃度指血氧含量與血氧容量的百分比，然而血氧飽和濃度和血球所攜帶的氧氣含量有關 (Vande, Sherman & Luciano, 2001)。相對地，在低氧環境下，體內的血氧飽和濃度比在常氧下就會有所差異；Fabien 等 (2006) 分別以 7 名男性與 5 名女性選手為研究對象，進行三週，每週連續 2 天 75% 最大攝氧量的腳踏車訓練，結果發現血氧飽和濃度

降低，心跳率上升，兩者間達到負線性關係，可能原因為血液中氧氣量的降低，但是體內的需氧量不變，使得心臟需要輸送更多次的氧氣，才導致心跳率的升高。邱奕棠、張嘉澤 (2012)以 8 名高中男子短距離徑賽選手 8 名，一週共三次的 4 次個人 6 mmol/l 速度的跑步機訓練於低氧艙中進行，結果顯示在負荷當中血氧飽和濃度有下降趨勢但是越趨穩定，而在運動結束後恢復期方面有著上升的趨勢，表示受試者有產生適應的現象。在單次 10 次個人 4 mmol/l 速度的間歇急性負荷分別在常氧環境與低氧環境中進行，結果發現常氧組的血氧飽和濃度呈現穩定，相對在低氧方面則是呈現起伏不定 (熊育彬、陳佳慧、張嘉澤，2011)。

六、自覺量表 (Rating of Perceived Exertion, RPE)

不論是一般人還是選手，在從事訓練或者是運動活動時，對於目前強度對自己是否太低或太高，除了一般心跳率、乳酸等等生理數據能夠顯示說明以外，不外乎自己對當時承受該強度時的感覺也是相當重要的。在西元 1962 年就有生理學家 Borg 以人體在接受運動負荷時根據研究對象對於當下運動負荷的感覺共分成 6-20 等級，且結果也發現該量表與運動當中負荷心跳率呈現線性相關，而且與乳酸堆積呈現高度的相關。Brog (1982)的研究當中就提出一個自覺量表與心跳率間關係的公式：自覺量表 $\times$ 10=心跳率，例如該選手在運動負荷時所指出自覺量表為 14，那他在該負荷時的心跳率為每分鐘 140 下。目前 Borg 所提出的自覺量表是目前廣泛利用在研究中受試者對當下負荷感覺的回饋方式。

第五節 個人閾值相關之研究

個人閾值是一項透過生理數據計算出對於個人耐力能力的一種測試方式；過去有許多關於個人閾值的研究以及計算方式，利用的生物參數也有所不同：心跳率、換氣轉折點、乳酸等 (Heck, 1990)。然而在眾多的研究當中，以 Mader 等 (1976) 利用人體內的乳酸值來界定個人閾值的 2-4 mmol/l 方式最廣為應用，因為本研究不僅能夠做為競技運動員評估耐力能力的方式外，也能夠用來判斷一般人體適能方面的判斷依據之一。圖 2-3 為 Pansold (1982) 以 2-4 mmol/l 有氧-無氧閾值理論中，身體經由不同強度之運動負荷，所產生體內能量代謝的來源；由圖中可看出當運動負荷所產生之乳酸值小於 2 mmol/l 的有氧閾值範圍時，其身體的能量提供來源主要為脂肪以及碳水化合物，於有氧閾值範圍時，肌肉產生之乳酸值產生後會在肌肉中被排除；然而在 2-4 mmol/l 有氧以及無氧閾值的混合區間則碳水化合物使用量會大於脂肪，此時體內能量代謝路徑即開始走向無氧糖酵解路徑，此時乳酸的形成以及排除達到平衡，如果運動強度沒有再度增加，則乳酸會產生穩定情況 (steady-state)；當乳酸值大於 4mmol/l 的無氧閾值範圍時，則都以碳水化合物做為能量提供的路徑，此時肌肉內的乳酸開始大量堆積，直至運動結束後的 15 分鐘，乳酸才漸漸會排除。Hollmann 等 (1987) 指出選手之有氧-無氧閾值能力於腳踏車測功儀上有氧閾值必須達到瓦特數 ≥ 100 Watt、心跳率小於 140 min^{-1} ，於無氧閾值則須達到瓦特數 ≥ 130 Watt、心跳率小於 156 min^{-1} (表 2-4)；且此能力之提升可加速體內生物參數在運動負荷中的恢復速度，特別是短時間高強度運動型態(非循環項目)負荷所需要的能量來源無氧非乳酸之能力。

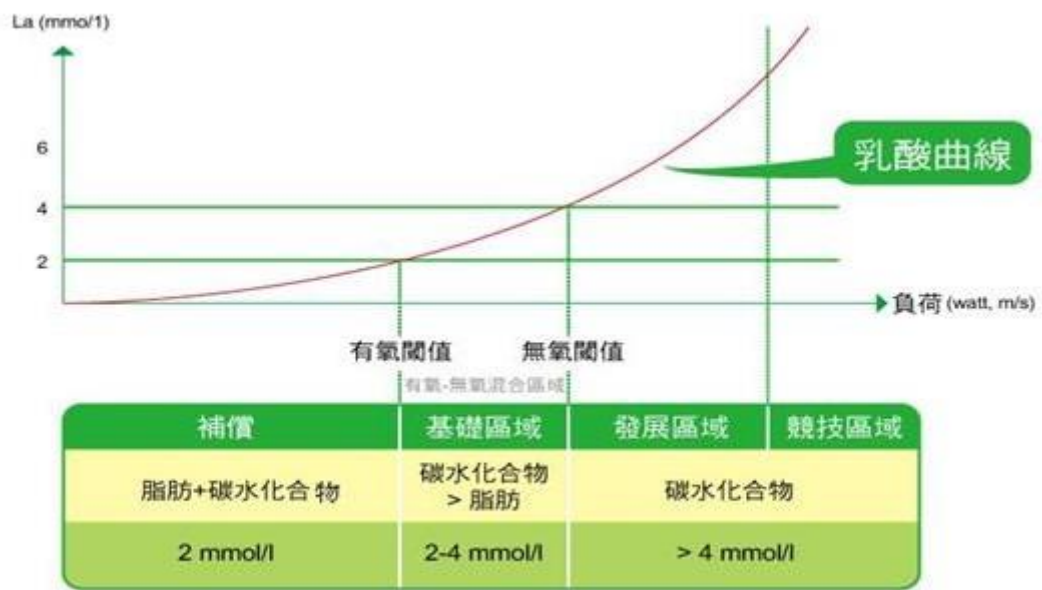


圖 2-3 有氣-無氣乳酸閾值 (2-4 mmol/l)與能量路徑 (Pansold, 1982)

表 2-4 競技選手基礎耐力能力 (Hollmann et al., 1987)

	腳踏車	
	Watt	HR
2 mmol/l	≥ 100	< 140
4 mmol/l	≥ 130	< 156

第六節 文獻總結

綜合上述文獻能夠得知：HIIT 訓練法雖能夠有效改善選手耐力之能力，但是負荷時間、負荷強度、間歇時間等細節需要清楚掌控，讓 HIIT 訓練有最佳的訓練效果。划船測功儀以及腳踏車測功儀不僅能夠給划船以及腳踏車專項選手做為耐力訓練的工具而已，亦能夠提供給各類型的選手訓練的儀器之一；於常壓低氧的環境能夠改善選手的耐力能力、體內的體循環系統。根據文獻指出，氧氣濃度訂為 13% 為最佳訓練的低氧環境；所以本研究目的主要透過跆拳道選手閾值能力來探討與低氧環境下進行 HIIT 所產生之生理反應做探討。



第參章 研究方法

第一節 研究對象

本實驗以大專甲組男性跆拳道選手共 7 名，且無運動傷害。實驗期間每位受試者皆停止訓練，且無接受其他任何實驗或測試。所有受試者欲研究前填寫個人資料、疾病調查表以及受試者同意書。

表 3-1 受試者基本資料

	年齡(age)	身高(cm)	體重(kg)	訓練年數(yr)
平均數	19	176.6	66.6	9
標準差	0.53	5.5	8	2.5

第二節 實驗時間與地點

實驗時間：2013 年 8 月

實驗地點：國立體育大學低氧艙、競技與教練科學研究所運動能力診斷研究室。

第三節 實驗儀器與設備

- 一、心率偵測器(i Heart)
- 二、採血工具 (酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、外科用手套等等)
- 三、乳酸血糖分析儀 (Diagnostic Biosen C-line;EFK-diagnostic)
- 四、Borg's Scale 自覺量表 (6-20 Scales)
- 五、血氨測定儀 (PocketChem BA PA-4130;ARKRAY)
- 六、腳踏車測功儀。
- 七、低氧艙。
- 八、划船測功儀 (Concept II)。
- 九、脈動測氧氣 (pulse oximeter OxiHeart OX-700)。

第四節 實驗流程

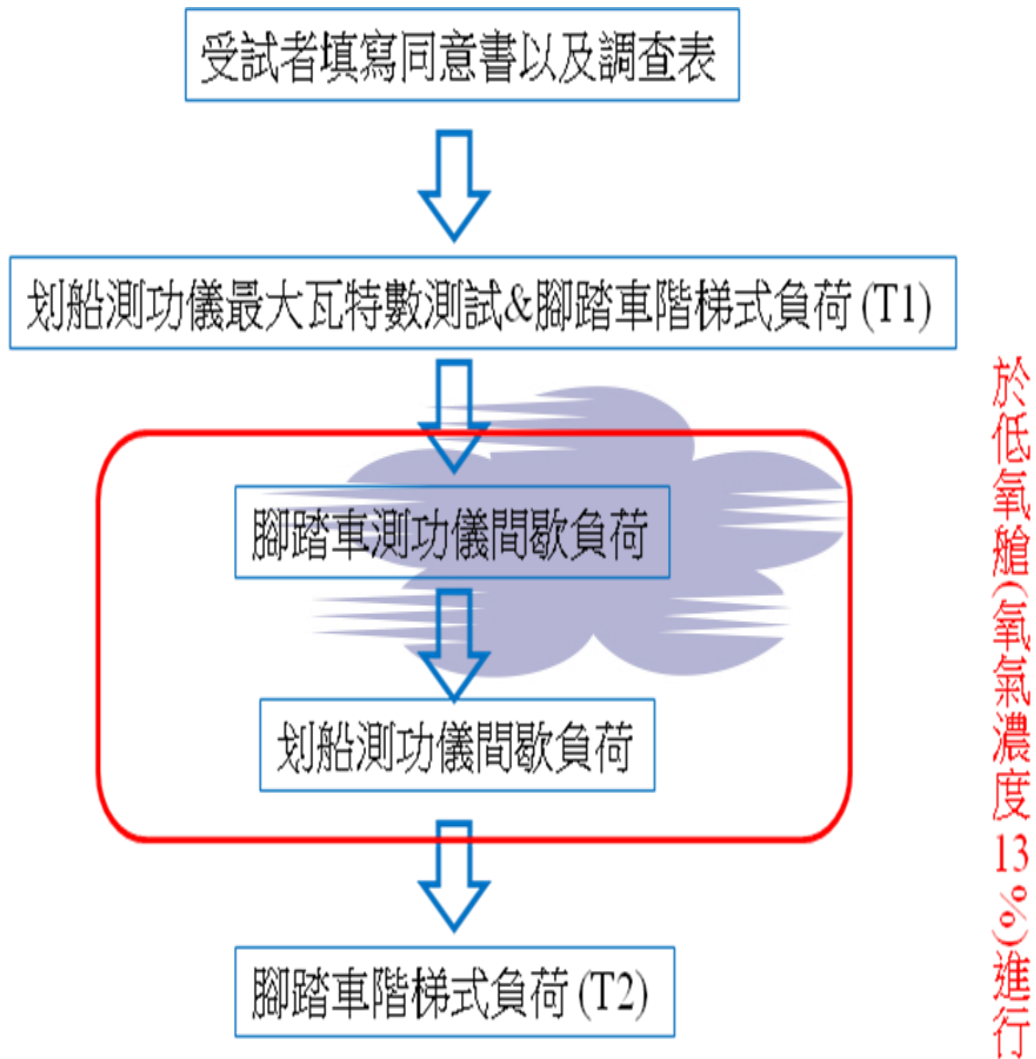


圖 3-1 實驗流程圖

第五節 實驗方法與步驟

本實驗共分為四部分：划船測功儀最大瓦特數測試、腳踏車階梯式負荷、腳踏車測功儀負荷以及划船測功儀負荷。

一、划船測功儀最大瓦特數測試：

每位受試者於划船測功儀（風阻為 Lv.4）上進行 11 槳最大努力負荷，11 槳完成後記錄面板上之平均瓦特數，利用 Concept2 官方網站所提供之瓦特數換算方式($\text{watts} = 2.80/\text{pace}^3$)，計算出每 500 m 完成之時間為做之後划船測功儀負荷之依據。

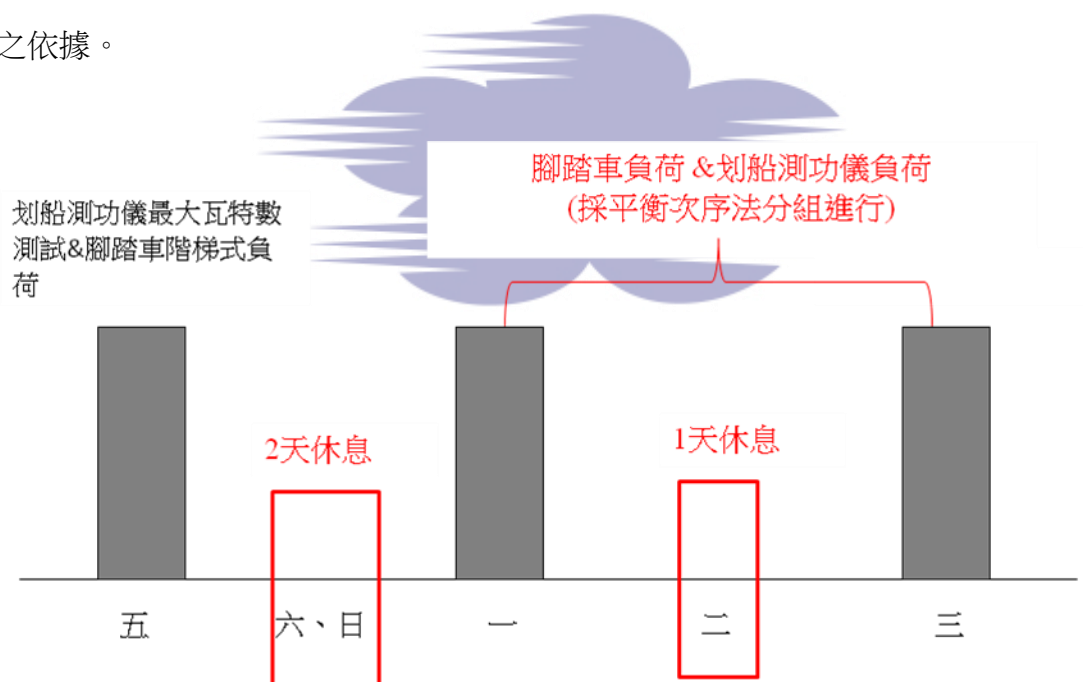


圖 3-2 實驗進行時間圖

二、閾值能力－腳踏車階梯式負荷：

受試者於腳踏車測功儀上進行測試，第一階為 100W (Watt)、70 轉速 (rpm)，進行 3 分鐘，結束後 1 分鐘採血並記錄參數進行下一階，每一階上升 30W，rpm 隨著負荷階數升高而提高，測試至受試者無法負荷當下負荷為止。(表 3-2)

表 3-2：腳踏車測功儀階梯式負荷模型 (Hollmann et al., 1982)

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

三、常壓低氧腳踏車測功儀間歇負荷：

以階梯式負荷完成之最後一階為負荷強度於低氧艙 (FIO₂ 13%) 中進行，持續時間為 3 分鐘，轉速 (rpm) 定為 90，中間休息 5 分鐘並採集生物參數，本測試共進行 3 次負荷。

四、常壓低氧划船測功儀間歇負荷：

於低氧艙 (FIO₂ 13%) 中以划船測功儀進行負荷，以全力 (100%) 完成 300 m 負荷，中間休息 5 分鐘並採集生物參數，本測試共進行 3 次負荷。

五、各負荷訓練內容與生物參數採集時間點 (表 3-3)：

表 3-3：運動負荷內容、休息時間以及各生物參數採集時間點

	測試內容	強度	生物參數採集時間點
腳踏車階梯式負荷	2-4 mmol/l 階梯式負荷	開始 100 W、70 rpm， 每階上升 30 W，rpm 隨皆數上升而變化，每 階持續 3min。 ※常氧環境進行	HR：每階採取至最大 負荷階數 La：每階採取至最大負 荷階數 Glu：每階採取至最大 負荷階數
腳踏車測功儀間歇負荷	3× 3min (Watt _{max} 最後一階) Warm-up: 100Watt (90rpm) 90s 後個人最後一階瓦特 數 (90rpm) 30s (休息 3 min)	個人最後一階 Watt (90rpm/min) Rep：5 min ※低氧艙濃度 FIO ₂ 13%	HR：1×、2×、3× La：R、1×、2×、3× Glu：R、1×、2×、3× NH ₃ ：R、1×、3× SpO ₂ ：R、1×、2×、3× RPE：1×、2×、3×
划船測功儀間歇負荷	3×300 m Warm-up: 90s 慢划後 30s 間歇衝 刺 (休息 3 min)	個人最大努力 10 槳平 均瓦特數之強度 Rep：5 min ※低氧艙濃 FIO ₂ 13%	

第六節 資料處理與統計分析

- 一、所有數據以 SPSS for Windows 18.0 進行統計分析，實驗結果之分析圖以 Sigma8.0 繪圖軟體進行製圖。
- 二、所有數據均以平均數與標準差 ($M \pm SD$) 呈現。
- 三、重複量數單因子變異數 (one way ANOVA) 分析兩種負荷型態參數間之差異分析。
- 四、以相依樣本 t 考驗分別檢驗兩項負荷第一次以及第三次心跳率以及 NH_3 之變化。
- 五、腳踏車階梯式負荷測試產生之個人有氧-無氧閾值之數據以德國研發之軟體 (Lactate- Express) 分析而出。
- 六、統計顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果分析與討論

第一節 個人閾值能力與不同負荷乳酸、血糖之相關

兩種不同負荷之負荷中乳酸平均值與個人有氧閾值能力皆呈現負相關，腳踏車測功儀相關值為 0.06，划船測功儀則為 0.32，均未達無相關性 (圖 4-1)。

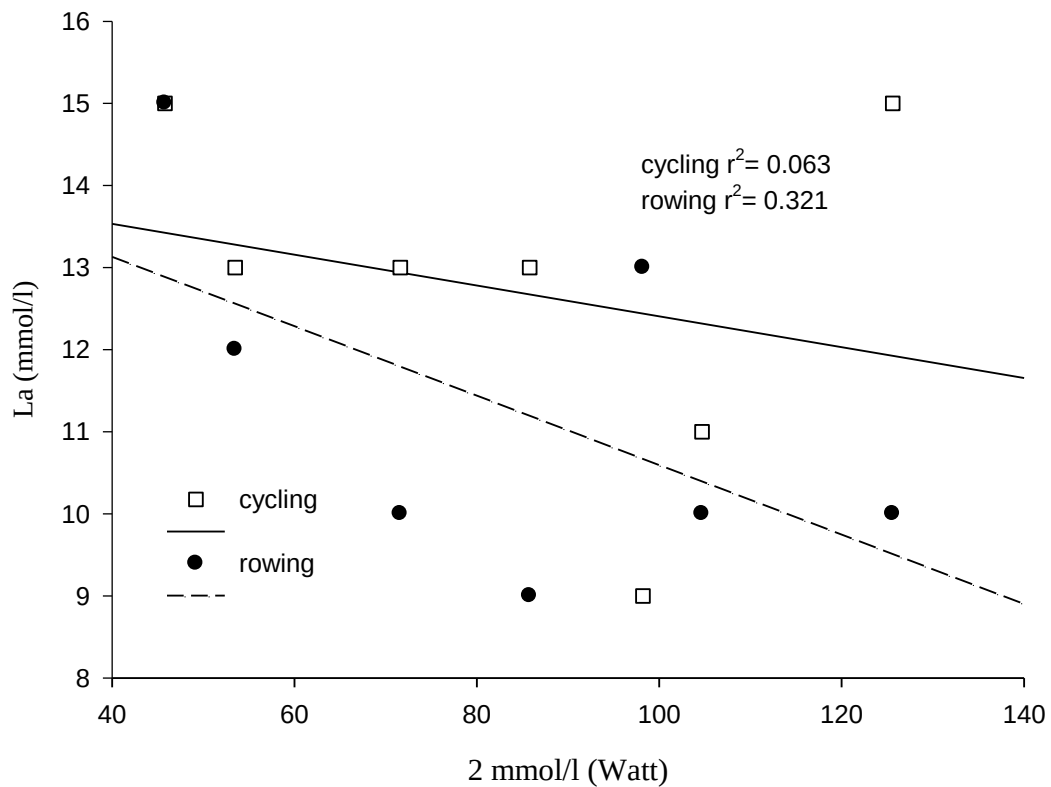


圖 4-1 個人有氧閾值能力與兩種負荷運動中平均乳酸之相關

乳酸先由肌肉中產生，透過擴散方式進入血液，再進入肝進行排除；且不僅在運動負荷時會產生，在安靜時也會產生。但是在運動負荷時產生的乳酸濃度排除率會隨著有氧代謝的轉換程度而有所變化，有氧代謝能力越高，排除率就越大 (Heck, 1990)；由圖 4-1 中可得知，腳踏車 HIIT 負荷的乳酸值與有氧閾值能力呈現無相關，Buchheit & Laursen (2013) 指出在進行 HIIT 負荷時，根據負荷時間與強度的不同相對影響到體內對於當下負荷時的能力提供路徑 (圖 2-1)，其中在負荷大於 60 秒時，其體內乳酸排除之能量系統就會走向無氧代謝路徑，此次腳踏車 HIIT 負荷乳酸值與有氧閾值能力呈現無相關性即符合上述。另外運動中與運動後所產生之最大乳酸值也會依據運動項目與強度而有所不同，因為負荷時間與動用肌肉量皆不同的緣故 (Kindermann & Keul, 1978)。此次實驗於常壓低氧環境下進行，依 Brooks 等 (1991) 研究中發現因為低氧環境下氧氣量的減少，相對會阻礙脂肪酸的代謝，增加碳水化合物的使用，使得相同強度的運動負荷於低氧環境下會較快動用到無氧能量系統，而糖酵解路徑在無足夠氧氣供給時，將無法走向檸檬酸路徑，使路徑走到丙酮酸路徑，乳酸值快速增加；腳踏車 HIIT 於低氧環境下進行相較於常氧環境下氧氣量相對較低，所以加快動用到無氧糖酵解的動用時間，因此才與有氧閾值能力呈現無相關性。

划船測功儀 HIIT 負荷其乳酸值與個人有氧閾值能力呈現無相關性，可能原因為在進行划船測功儀時，因動用到的肌肉量較大 (Beneke et al., 2001)，使在進行划船機測功儀 HIIT 負荷時從肌肉內產生的乳酸因為肌肉量的動員量變多而增加；雖然過去研究中有證實利用划船測功儀做運動訓練能夠改善有氧閾值能力 (Kramer et al., 1994)，但是本次划船測功儀 HIIT 負荷是在低氧環境中進行而使運動強度提升，可能此原因而與有氧閾值能力呈現無相關性。過去研究中在低氧環境下進行訓練因為缺氧的關係在相同強度下會比常氧環境較快動用到無氧糖酵解系統 (Brooks et al., 1991)，本次實驗結果顯示反而與有氧閾值能力呈現無相關，與上述文獻所指相符。在低氧環境下雖然會使體內能量系統更快

動用到無氧系統，且根據負荷項目所動員到的肌肉量所產生的乳酸值也會有所變化。跆拳道在能量系統方面歸類於無氧非乳酸系統 (ATP-CP)為主，此能力的恢復速度與有氧能力有關 (Weicker et al., 1994)，但是當比賽中與實力相近的選手競爭時，動作與動作間的時間會縮短，攻擊頻率會越來越高，CP 會無法完全恢復而讓能量系統走向無氧糖酵解系統來做能量提供；此時如果選手無氧耐力越佳，就會讓身體較慢產生疲勞感而增加續戰力。由上述結果可得知兩項 HIIT 負荷皆會訓練到選手的無氧耐力，平時可透過這兩種訓練模式來增強無氧耐力，讓選手在無氧負荷時最大乳酸的產生時間能夠延遲出現。



兩項運動負荷當中最大乳酸值與個人無氧閾值能力相關性皆為負相關，腳踏車測功儀與無氧閾值瓦特數相關值為 0.222，划船測功儀則為 0.436，兩者相關性均未達相關性 (圖 4-2)。

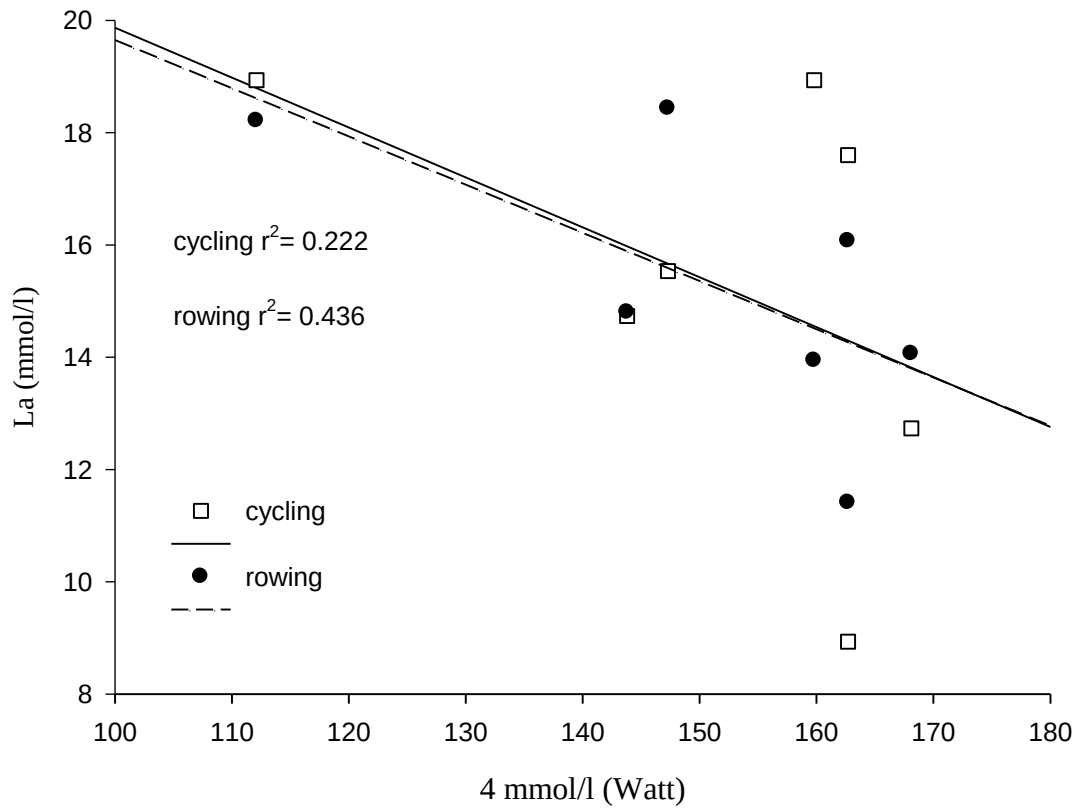


圖 4-2 個人無氧閾值能力與兩種負荷運動中最大乳酸之相關

在運動負荷過程中，隨著運動強度的提升，因為能量來源逐漸轉為無氧糖酵解，則碳水化合物在經過丙酮酸時無法經過檸檬酸循環產生能量，進而產生無氧路徑進而產生乳酸。Brooks 等 (1991)指出低氧環境中進行負荷會比常氧下更快進入到無氧系統，但由圖 4-2 可知腳踏車與划船測功儀 HIIT 負荷與個人無氧閾值能力均呈現無相關；Beneke 等 (2001) 指出腳踏車測功儀運動負荷雖相較於划船測功儀又給予肌肉 25-30 % 的肌肉壓力，但是腳踏車測功儀與划船測功儀所動用到的全身肌肉量分別為 60% 與 85%，此次閾值耐力測試為腳踏車階梯式負荷方式所測出之結果，且運動型態的不同即會動用到不同肌肉量做負荷；可能上述原因使兩次 HIIT 負荷最大乳酸與無氧閾值能力之間未達相關。跆拳道在比賽時，進攻頻率與防守動作間的切換，形成了高強度間歇 (HIIT) 的負荷型態，在 Neumann 等 (1989)提出影響乳酸曲線的因素與本次實驗的兩種負荷型態歸為間歇負荷；但是運動後的最大乳酸值會根據運動型態以及運動項目而有所不同 (Kindermann, Simon & Keul, 1978)，因此雖結果呈現未相關，但是尚未能表示以此兩種方式做跆拳道無氧耐力訓練是不可行的。

在腳踏車負荷中第一組至第三組間負荷乳酸上升 5.29 mmol/l，達顯著差異 ($p<.05$)；血糖則上升 0.18 mmol/l，血糖則未達顯著水準 ($p>.05$) (如圖 4-3)。

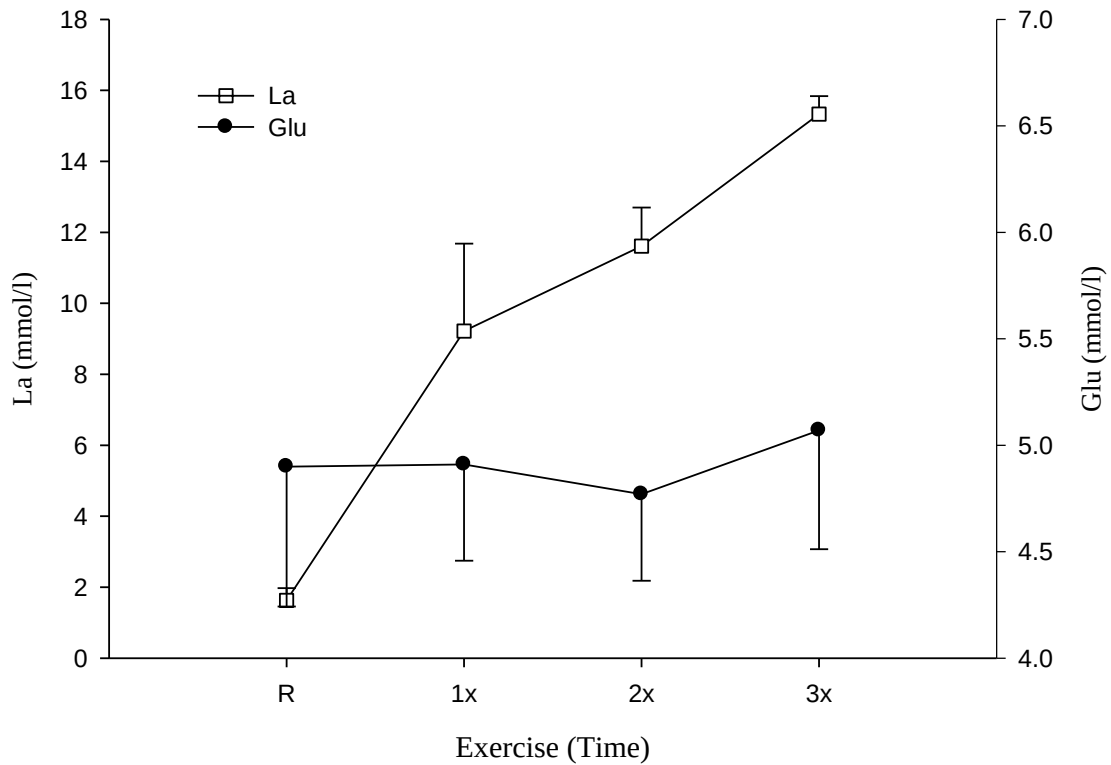


圖 4-3 腳踏車測功儀負荷中 La、Glu 之曲線關係圖

腳踏車測功儀負荷在乳酸值從第一組負荷與第三組負荷所產生之乳酸值差異達顯著差異，表示在進行當下負荷時乳酸值隨著組數的增加而明顯上升；因為在低氧環境下因為缺氧的因素，而讓體內能量路徑走向無氧糖酵解路徑，乳酸值會快速上升 (Brooks et al., 1991)，而從乳酸曲線中也可看出有此現象產生。在血糖方面，由於在上述文獻中有指出因為能量路徑走向無氧糖酵解路徑而產生乳酸，但是在血糖曲線中，第一組到第三組未達明顯上升的趨勢；Ponsot et al. (2006) 就有指出，在低氧環境下訓練雖然會讓肌肉組織以及體循環能力有顯著的改善，但是相對會讓肝糖提早耗竭，由蛋白質路徑來提功能量來源，最

終產生 NH_3 ；圖 4-6 中在負荷中 NH_3 也有上升的趨勢，而血糖曲線也是未見明顯上升的趨勢，所以此實驗結果可以看出在低氧環境下的能量提供路徑與上述文獻所指現象相符。在整年度的訓練計畫中，在準備期加入低氧腳踏車無氧負荷來快速改善無氧耐力，讓選手在進入專項期前就擁有較佳的耐力能力，未來在比賽時也能夠應對場上與對手的高強度負荷。



划船測功儀負荷第一組至第三組乳酸上升了 7.76 mmol/l 達顯著水準 ($p<.05$)，血糖則上升 0.4 mmol/l，血糖值則未達顯著差異 ($p>.05$)，如圖 4-4。

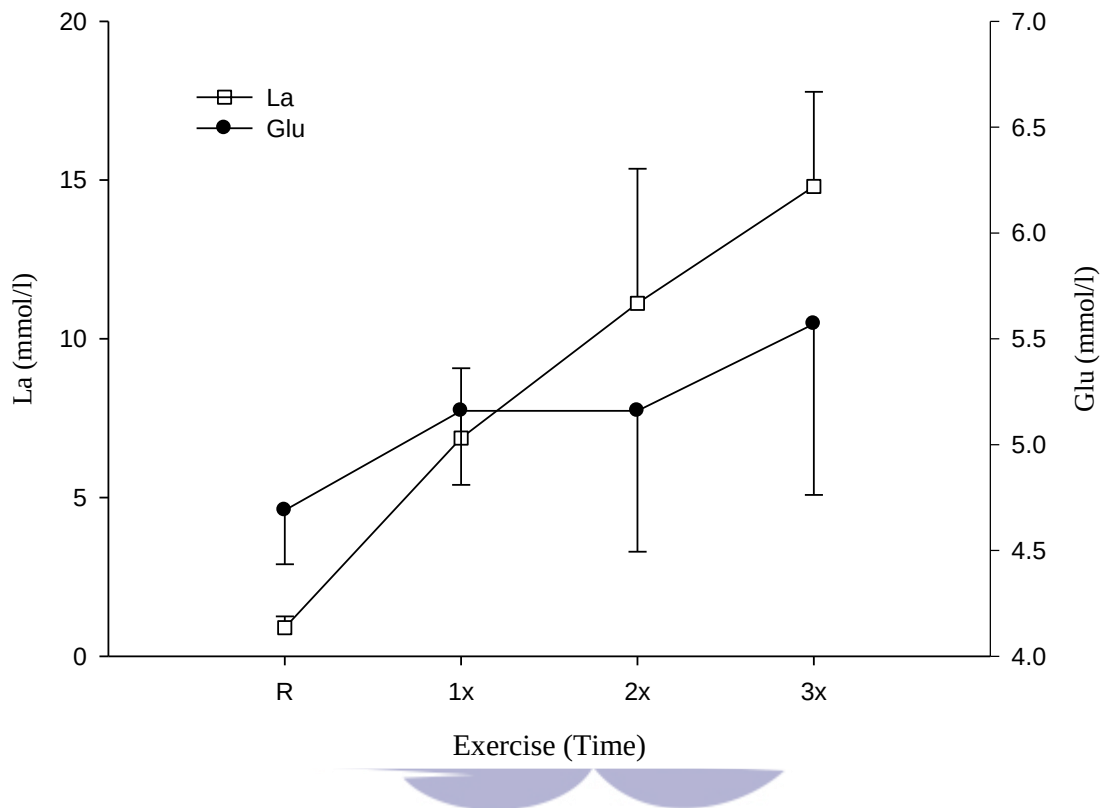


圖 4-4 划船測功儀運動負荷中 La、Glu 之曲線關係圖

划船測功儀負荷會動用到的全身肌肉量為 85 % (Beneke et al., 2001)，第一組與第三組乳酸值差異達顯著差異，表示乳酸值從組數增加而提升的因素有可能肌肉動員量；Brook 等 (1991) 也指出在低氧環境下因為能量系統走向無氧糖酵解路徑而會讓運動負荷增加，這也是會讓乳酸曲線上升的因素之一。血糖曲線則是有上升趨勢但是未達顯著，圖 4-7 的 NH_3 曲線也隨著負荷增加而達顯著上升，表示在進行划船測功儀負荷時，雖然體內糖酵解路徑有啟動，但是環境於低氧環境中負荷增加，所以也會動用到蛋白質路徑而也會產生 NH_3 (Ponsot et al., 2006)。

第二節 個人閾值能力與不同負荷心跳率之相關

腳踏車測功儀以及划船測功儀負荷其平均心跳率與個人有氧閾值能力皆呈現負相關， r^2 值分別為 0.659 以及 0.072，如圖 4-5 所示。

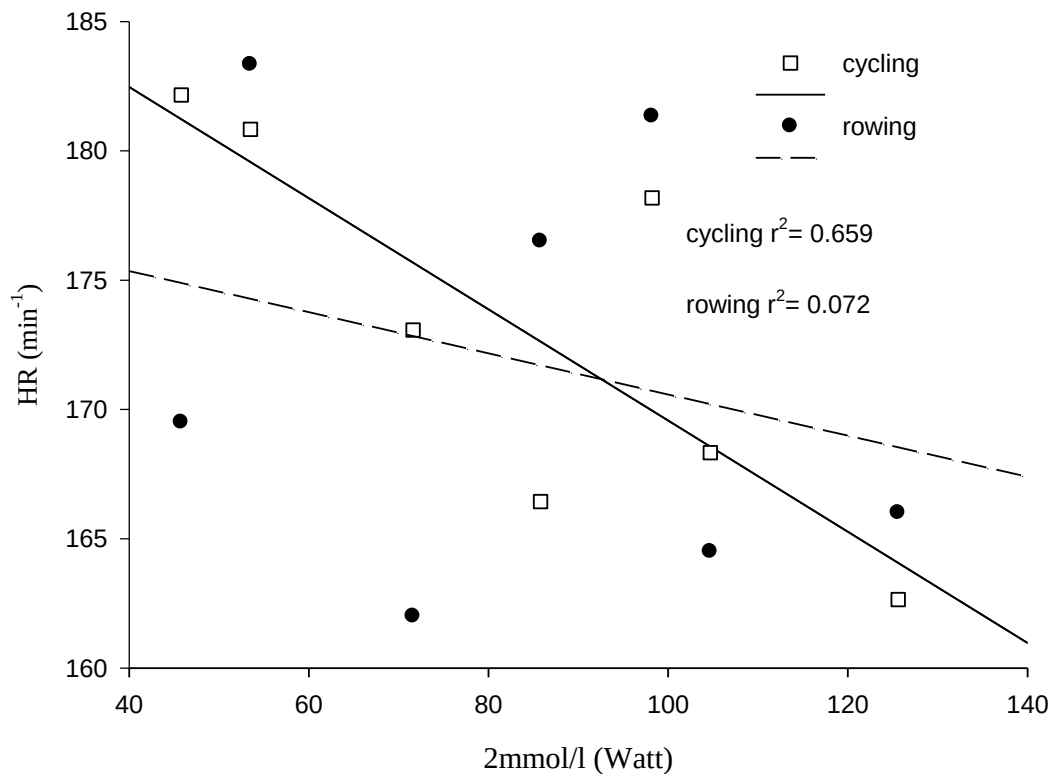


圖 4-5 個人有氧閾值能力與兩種負荷運動中平均心跳率之相關

在統計上腳踏車測功儀呈現相關性，划船測功儀相關值則達無相關性。從生理學心輸出量 (Q) 計算公式中： $Q = SV$ (每次心跳所輸出之血量) $\times$ HR (心跳率) 我們可以知道 HR 對於參考當下負荷時體內 Q 的變化是相當重要的參考數值之一，且在運動開始負荷前，由於交感神經的興奮讓體循環內的血液量提升，刺激 SV 以及 HR 的增加，而使得心輸出量 (Q) 的相對提升 (楊錫讓,

1994)；心輸出量 (Q) 與個人有氧閾值能力的關係在於，Q 越高表示在進行運動負荷時體內所獲得的氧氣量就越多，且 Q 以及 SV 的高低與個人有氧閾值能力也有關聯 (楊錫讓，1994)，所以在腳踏車 HIIT 的負荷模式中，平均心跳率與個人有氧閾值能力呈現負相關，且是在低氧環境下進行，因為在低氧環境下能量系統會提早進入到無氧狀態 (Brooks et al., 1991)；腳踏車心跳率與個人有氧閾值能力呈現負相關，表示在做腳踏車負荷時，有氧閾值越佳者心跳率越低，根據公式 $Q = SV \times HR$ 中心跳率越低，每次心跳率所輸出的血量就越多，所以有氧閾值能力越佳，在做低氧腳踏車負荷時雖為無氧負荷，但心臟每跳輸出量較多，血液內攜氧量相對較多，在做無氧負荷時恢復速度也較快。

划船測功儀作負荷時會動用到全身 85 % 肌肉量(Beneke et al., 2001; Mader et al., 1988)，而在低氧環境下進行划船測功儀 HIIT 負荷為無氧負荷，其平均心跳率與個人有氧閾值能力則呈現無相關性 (圖 4-5)，可能因素為划船測功儀負荷時會動用到全身肌肉量為 85 %，而當下負荷也為無氧負荷，使 HR 會快速上升的因素；心跳率 (HR) 的跳動頻率主要為交感與副交感神經所調控，這些神經感受器所受到的刺激大小又取決於骨骼肌在安靜或者運動中工作負荷而有所增加或減少 (楊錫讓，1994)，划船測功儀負荷與有氧閾值能力無相關性，因為划船測功儀負荷會使用全身 85% 的肌肉量 (Beneke et al., 2001) 相對也動用到較多得骨骼肌而刺激到感受器使心跳率上升，另一方面划船測功儀負荷是低氧環境下進行的無氧負荷，這些因素使體循環系統會走向無氧路徑來供應划船測功儀負荷所需要的能量來源，而與有氧路徑較無關聯。

在低氧環境下進行腳踏車 HIIT 負荷由於負荷的增高，使身體會承受相較與常氧環境下的無氧壓力，但是因為個人有氧閾值能力越佳在做負荷時心跳率就越低，相對在間歇休息時心跳率就越低而恢復速度越快，與跆拳道比賽瞬間動作 ATP-CP 使用後需要時間恢復 (陳奕勳、張嘉澤，2012) 的情況相似。

第三節 不同運動負荷對 NH_3 、RPE、 SpO_2 之影響

圖 4-6 為腳踏車測功儀負荷運動負荷中之 NH_3 曲線圖， NH_3 第一組與第三組負荷 NH_3 差異值為 21.58 未達顯著差異 ($p>.05$)，安靜值與第三組之 NH_3 差異值為 119.28 達顯著差異 ($p<.05$)；而在第三組結束後至休息後 10 分鐘下降 35.71，但未達顯著差異 ($p>.05$)。

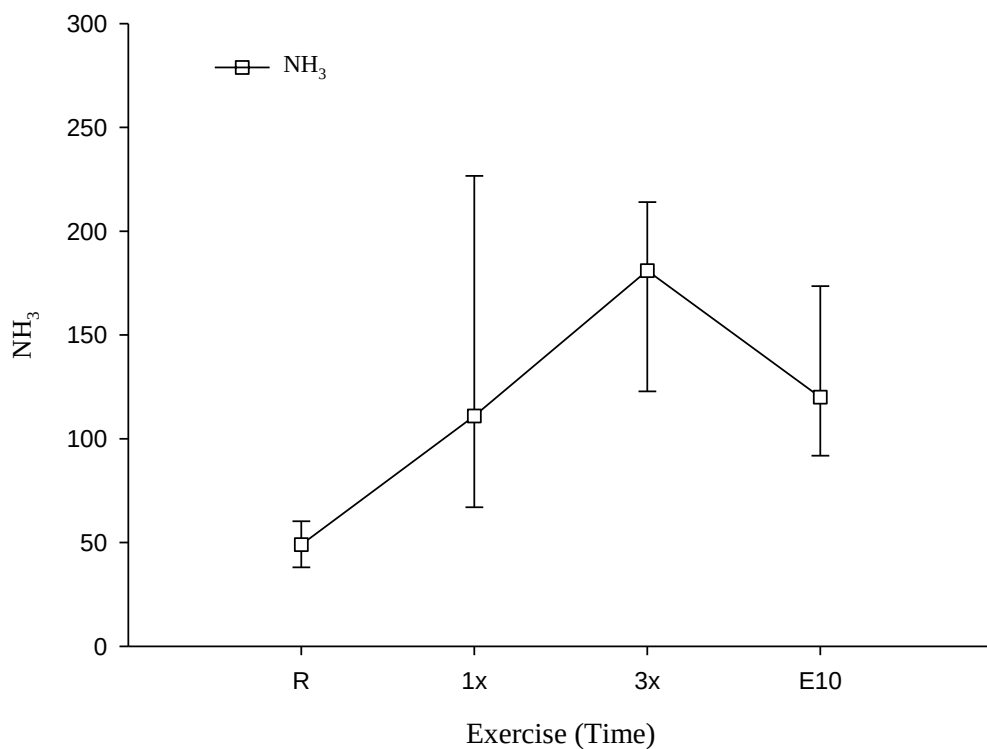


圖 4-6 腳踏車測功儀負荷 NH_3 曲線圖

腳踏車測功儀 HIIT 負荷當中， NH_3 第一組與第三組間差異未達顯著；Allen 與 Conn (1960) 的研究中指出，隨著運動負荷的增加與提升，體內 NH_3 也會跟著增加，從圖 4-6 中可看出， NH_3 也是隨著運動負荷組數的增加而提高，雖結果未達顯著，但是能夠看出 NH_3 隨運動負荷提高的趨勢。由於該負荷是在低氧

環境中進行，Ponsot 等 (2006) 指出在低氧環境下進行負荷因為氧氣量的減少，能量系統走向無氧糖酵解路徑，ATP 回復中就會走向 AMP 分解成 IMP 的路徑，也就是動用到蛋白質的緊急提供能量路徑，這路徑也會使 NH_3 的大量生成 (Lowenstein, 1990)；在 HIIT 的訓練之下，雖然能夠快速刺激體內代謝、器官以及肌肉進而讓耐力能力提升，但是相對也會對於神經肌肉組織造成相當的壓力 (Buchheit & Laursen, 2013)。



圖 4-7 為划船測功儀運動負荷中 NH_3 曲線圖，在運動負荷中第一組與第三組 NH_3 差異為 59.86 未達顯著差異 ($p>.05$)，第三組與安靜值之 NH_3 差異則為 116 達顯著差異 ($p<.05$)，而第三組至結束後第 10 分鐘 NH_3 下降 41.58 未達顯著差異。

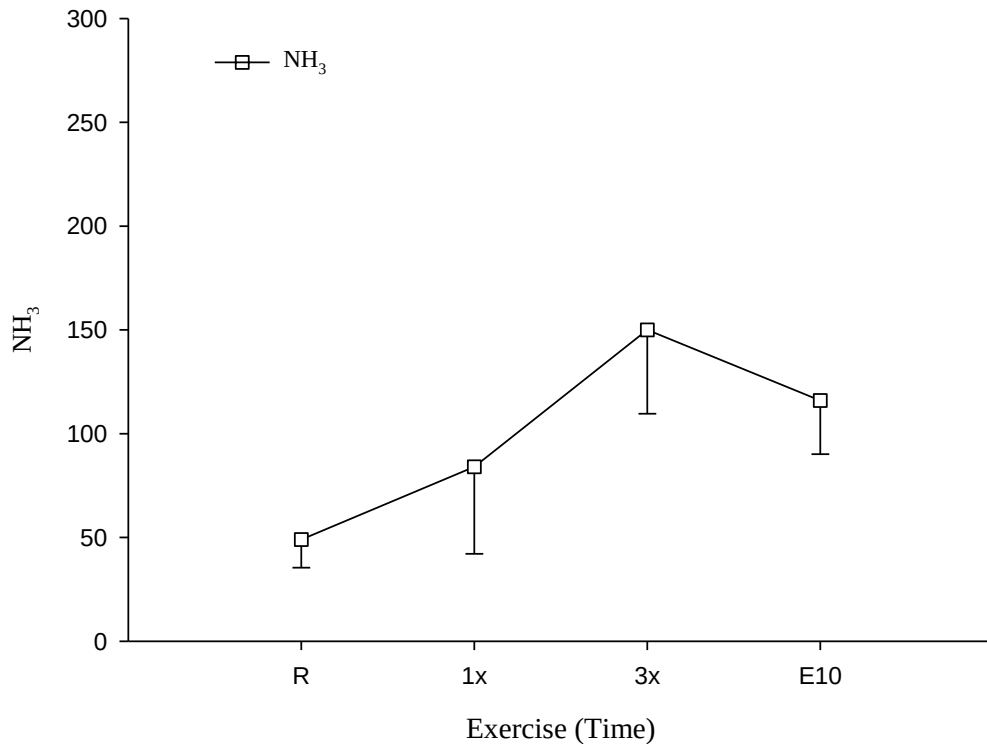


圖 4-7 划船測功儀負荷 NH_3 曲線圖

划船測功儀 HIIT 負荷從安靜值到第三組負荷結束 NH_3 差異達顯著，與 Alllen 與 Conn (1960)所指出於運動負荷增加時，體內 NH_3 也會跟著提升所相符；於低氧環境下進行負荷，因為氧氣量的缺少，使體內糖酵解作用提早產生，能量系統提早進入無氧系統的緣故，於低氧環境下進行負荷相對也會較常氧來得高 (Brooks et al., 1991)，而且會提早將肝糖耗盡而轉向氨基酸做為能量來源，氨基酸能量來源就會使 ATP 在恢復過程會走向 AMP 轉變城 IMP 的路徑進而產生 NH_3 ，使 NH_3 快速上升 (Lowenstein, 1990)；另外划船測功儀會動用到

全身肌肉量的 85%來進行運動負荷 (Beneke et al., 2001; Mader et al., 1988)，可能因為這些因素，讓 NH_3 上升。圖 4-6、4-7 中兩種型態因為在低氧環境中會讓 NH_3 快速上升，但是在運動負荷後 NH_3 也會跟著下降；雖然在低氧環境下會讓選手的耐力能力能夠快速提升，但是還是要考量到體內 NH_3 上升的問題，所以在低氧環境中進行訓練時強度的安排時也要考慮到體內 NH_3 的產生。



腳踏車測功儀與划船測功儀運動負荷中，腳踏車測功儀以及划船測功儀運動負荷中 RPE 平均數標準差分別為 16.86 ± 1.7 以及 16.07 ± 1.49 (如圖 4-8)。

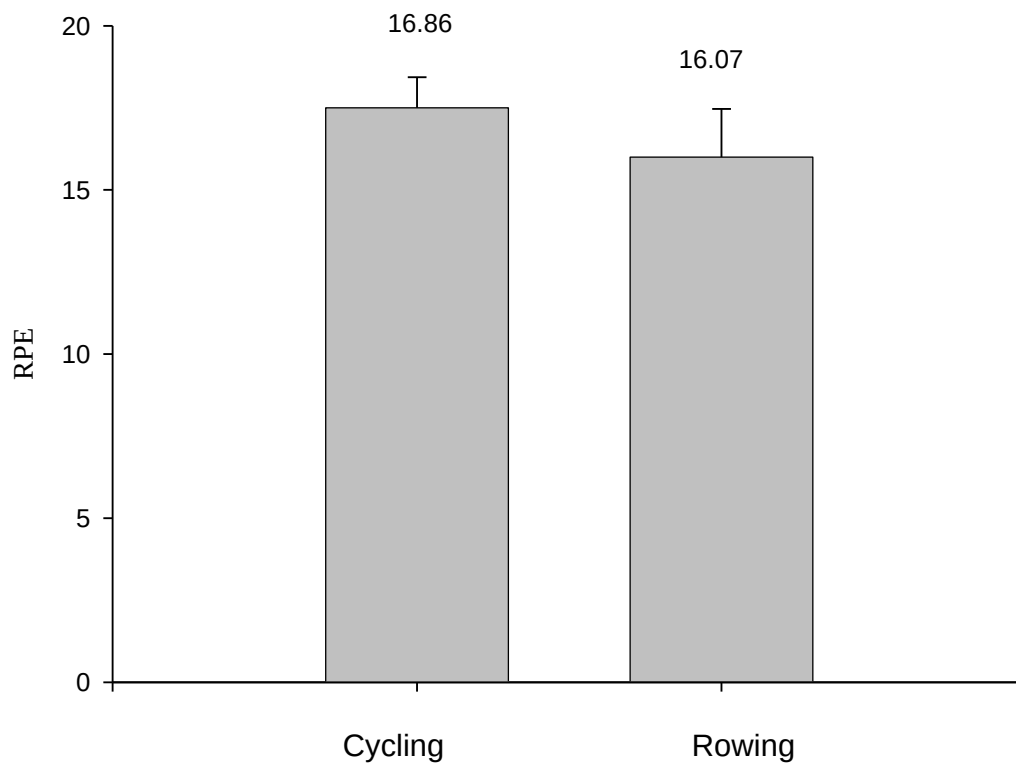


圖 4-8 腳踏車與划船測功儀負荷平均 RPE 柱狀圖

腳踏車測功儀 HIIT 負荷中，RPE 平均為 16.86，以 Brog (1982) 所提出 RPE 計算公式：自覺量表 $\times 10$ = 當下負荷參考心跳率，換算出來結果心跳率大致為 168 min^{-1} ，再以本次參與者平均年齡 19 歲，換算最大心跳率 ($\text{HR}_{\max}$) 為 201 min^{-1} ，換算出於腳踏車測功儀 HIIT 負荷時，強度為 $83\% \text{ HR}_{\max}$ ，在 Hollmann 等 (1978) 界定運動強度標準為 $80\text{-}90\% \text{ HR}_{\max}$ (無氧訓練)。圖 4-8 中 RPE 換算成划船測功儀 HIIT 負荷換算出參考心跳率強度界定在 $79\text{-}80\% \text{ HR}_{\max}$ (Hollmann et al., 1978; Brog, 1982) 屬有氧-無氧綜合訓練，此區域在 Pansold (1982) 提出有氧-無氧乳酸閾值與能量路徑相關圖中，能量提供來源碳水化合物與脂肪，表示該負荷強度時是介於有氧系統與無氧系統之間，但是划船測功儀負荷是在常壓低

氧環境中進行，因為強度的增加而會動用到無氧系統 (Brooks et al., 1991)，所以以計算方式雖為綜合區間，但是也要考量到環境因素來做判斷。跆拳道選手在準備期時利用低氧做無氧耐力訓練負荷，由上述可知 RPE 可以當下負荷心跳率是有相關性的；但隨著訓練產生適應，相同強度時 RPE 就會下降，表示選手已經對該強度產生適應而進步，所以如果在執行此兩種低氧負荷，RPE 是一項在訓練中選手強度適應與否的參考指標。



圖 4-9 為腳踏車測功儀以及划船測功儀運動負荷中 SpO_2 之變化，腳踏車負荷中第二組至第三組 SpO_2 下降 8.86 %達顯著差異 ($p<.05$)；划船測功儀負荷在第二組至第三組則上升 1%未達顯著差異 ($p>.05$)。在第三組負荷結束後 SpO_2 與結束後 5 分鐘腳踏車負荷以及划船測功儀負荷，腳踏車部分上升 12.43 %達顯著差異 ($p<.05$)，划船測功儀部分上升 7%達顯著差異 ($p<.05$)。腳踏車測功儀第二組至第三組 SpO_2 下降 8.86%達顯著差異，第三組結束後至 5 分鐘則上升 12.43%也是達顯著差異 (圖 4-9)。

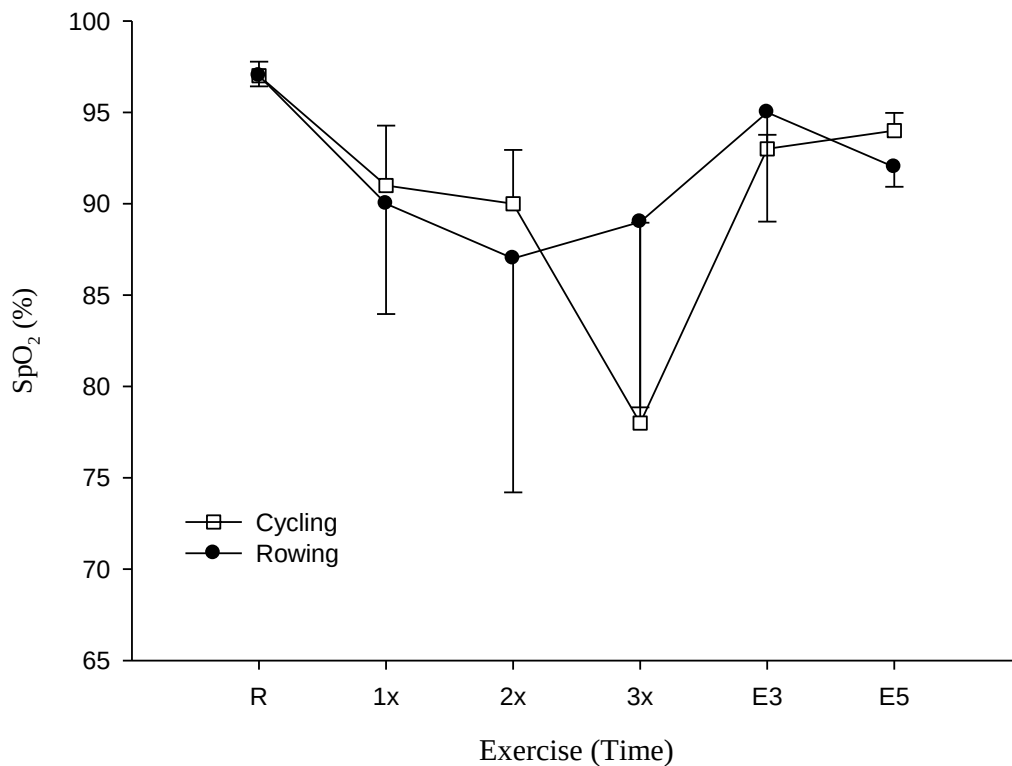


圖 4-9 兩種不同負荷於運動中與結束後 SpO_2 之變化

根據過去研究中指出於低氧環境下進行運動負荷會讓體內 SpO_2 產生變化 (Fabien & Richard, 2006; 邱奕棠、張嘉澤, 2012; 熊育彬、陳佳慧、張嘉澤, 2011)，從第二組至第三組 SpO_2 達顯著下降，因為在進行該負荷時體內氧氣量的減少，與邱奕棠、張嘉澤 (2012)於低氧環境下進行運動負荷結果相似；但是

在運動結束後 5 分鐘後即產生顯著上升的趨勢，意旨參與者於負荷後體循環的調控，氧氣量的恢復，而使 SpO_2 的顯著回升。划船測功儀方面第二組與第三組間反而上升 1%，與 Fabien (2006) 的低氧實驗結果，在進行低氧負荷時 SpO_2 會隨著運動負荷而下降的結果不符，不過也有研究中指出在低氧環境下會讓 SpO_2 產生不穩定的現象 (邱奕棠、張嘉澤, 2012; 熊育彬、陳佳慧、張嘉澤, 2011)；會產生 SpO_2 在運動負荷中上升的影響因素也有可能與運動型態有關，因為划船測功儀動員到全身肌肉量的 85%(Beneke et al., 2001; Mader et al., 1988)，且是屬於划船的全身性肌肉活動，所以身體在第二組後會產生調節適應，進而影響到 SpO_2 的變化；在結束後 5 分鐘 SpO_2 也達顯著回升，表示參與者在運動結束後體內氧氣量有恢復的情況。



第伍章 結論

由上述討論中可得知在常壓低氧環境進行不同運動型態負荷時，心跳率方面腳踏車測功儀與個人有氧閾值能力呈現相關，表示如果需要加強跆拳道選手在間歇時心跳率能夠快速下降使恢復機轉出現，即可在未來訓練課表中可安排此種訓練行態做為運動負荷；另一方面，乳酸則是划船測功儀與無氧閾值能力呈現相關，表示如果需要改善跆拳道選手在高強度負荷動作後乳酸堆積降低讓疲勞延遲出現，就可透過划船測功儀負荷來改善無氧閾值能力而使乳酸降低。低氧環境中進行訓練也可以透過 NH_3 、 SpO_2 以及 RPE 來及時觀察選手狀況的安全指標。因此建議在跆拳道訓練週期中準備期可加入低氧訓練來快速改善選手的基礎耐力能力，並透過腳踏車以及划船測功儀不同運動負荷方式進行增加訓練課表上的變化性。

參考文獻

中文文獻

- 楊錫讓 (1994). *實用運動生理學*. 北京體育大學出版社.
- 邱奕棠、張嘉澤. (2012). 五天低氧訓練對徑賽選手體循環與新陳代謝之影響。.
國立體育大學競技與教練科學研究所未發表之碩士論文.
- 張嘉澤. (2008). *運動能力診斷與訓練調整*.
- 陳奕勳, & 張嘉澤. (2012). 一週常氧與低氧訓練對跆拳道選手比賽能力與能量代謝之影響. *國立體育大學競技與教練科學研究所未發表之碩士論文*, 71.

英文文獻

- Astrand, Astrand, & Christensen. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand.*, 48, 6.
- Bauman, & Rissel. (2009). Cycling and health: an opportunity for positive change? . *Med J Aus.*, 190, 347-348.
- Beneke, R, Leithäuser, R M, & Hütler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br F Sports, Med*(35), 4.
- Bridge, Jones, & Drust. (2009). Int J Sports Physiol Perform. Physiological responses and perceived exertion during international Taekwondo competition. *Dec*, 4(4), 8.
- Brooks. (1986a). Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. *Fed Proc*, 45, 5.
- Brooks. (1986b). The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 45.
- Brooks, Butterfield, Wolfel, Groves, Mazzeo, & Sutton. (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300m. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 919-927.
- Buchheit. (2005). The 30-15 Intermittent Fitness Test: a new intermittent running field for intermittent sport players-part 1. *Approches du Handball*, 87, 8.
- Buchheit, Martin, & Laursen, Paul B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports Med*, 43, 25.

- Christensen, Hedman, & Saltin. (1960). Intermittent and continuous running. (A further contribution to the physiology of intermittent work.). *Acta Physiol Scand.*, 50, 18.
- Dufour, S.P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., . . . Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1238-1248.
- Fabien, A. B., Denis, R. J. , Frédéric, 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 Physiology*, 91(2), 391-402.
- G.R., Christopher, Perry, a George J.F. , Heigenhauser, Arend Bonen, & Sprieta, Lawrence L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1112-1123.
- Heck. (1990). Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. *Trainerakademie Köln schorndorf*(Hofmann), 7.
- Heribert, L. (1999). Validierung eines neuen Schmerzmeßinstruments und dessen Beitrag zur Erklärung der Variabilität von postoperativem Schmerzverhalten. . *Hamburg*, 183.
- Hollmann, & Liesen. (1973). Der Einfluß eines zweiwöchigen Höhentrainings auf die Leistungsfähigkeit im Flachland,. *gemessen an spiroergometrischen und metabolischen Parameteren*.
- Hollmann, & Rost. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. *Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren* , 120-126.
- John A Babraj, Niels BJ Vollaard, Cameron Keas, Fergus M Guppy, Cottrell, Greg, & Timmons, James A. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocrine Disorders*, 9(3).
- Jokl, E., Jokl, P., & Seaton, D. C. (1969). Effect of altitude upon 1968 Olympic Games running performance. *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOMETEOROLOGY*, 13(3-4), 3.
- Kindermann W., G. Simon, J. Keul. (1978). Dauertraining - Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*, 8(1), 34-39.

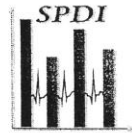
- Kindermann W., Keul J. . (1977). Lactate acidosis with different form of sport activities. *Canad J Appl Sp Sci*, 2, 177-182.
- Kramer, Leger, Paterson, & Morrow. (1994). Rowing performance and selected descriptive field and laboratory variables. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19, 174-184.
- Letzelter, H., & Letzelter, M. (1982). Die Struktur sportlicher Leistungen als Gegenstand der Leistungsdiagnostik in der Trainingswissenschaft. In: *Leistungssport*, 12, 10.
- Lowenstein. (1990). The purine nucleotide cycle revised. *Sports Med* 11.
- Mader. (1994). Energiestoffwechselregulation, Erweiterung des theoretischen Konzepts und seiner Begründung: Nachweis der praktischen Nützlichkeit der Simulation des Energiestoffwechsels. *Brennpunkte der Sportwissenschaft. Computersimulation: Möglichkeiten zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation.*, Sankt Augustin: Academica Verlage.
- Mader, Hartmann, & Hollmann. (1988). Der Einfluß der Ausdauer auf die 6-minütige maximale anaerobe Arbeitskapazität eines Eliteruders. In: Steinacker JM, eds. *Rudern*. Berlin: Springer.
- Mark Hargreaves, Michael J. McKenna, David G. Jenkins, Stuart A. Warmington, L., Jia, Li, Rodney J. Snow, & Mark A. Febbraio. (1998). Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1687-1691.
- Martindale, & Robertson. (1984). Mechanical energy in sculling and in rowing an ergometer. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 9, 153-163.
- Matsushige, Hartmann, & Franchini. (2009). Taekwondo: Physiological responses and match analysis. *J Strength Cond Res*, 23(4), 5.
- McKenzie, Phillips, & Carter, Lowther, Gibala, & Tarnopolsky. (2000). Endurance exercise training attenuates leucine oxidation and BCOAD activation during exercise in humans. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 278, E580-E587.
- Morton, & Cable. (2005). Effects of intermittent hypoxia training on aerobic and anaerobic performance. *Ergonomics*, 48, 1535-1536.
- Neumann, G., Schüler, K. P. (1989) Sportmedizinische Funktionsdiagnostik, *Sportmed. Schriftenreihe*, Bd. 25. J. A. Barth. Leipzig.
- Ponsot, Dufour S. P., Zoll J., Doutrelau S., N'Guessan B., Geny B., . . . R., Richard. (2006). Exercise training normobaric hypoxia in endurance runners. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1249-1257.

- Sahlin, K., Harris, R. C., Nyling, B., & Hultman, E. (1976). Lactate content and pH in muscle obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv*, 367(2), 6.
- Schabert, Hawley, Hopkins, & Blum. (1999). High reliability of performance of well-trained rowers on a rowing ergometer. *Journal of Sports Science*, 17, 627-632.
- Secher. (1990). Rowing. In *Physiology of Sports* (edited by T. Reilly, N. Secher, P. Snell and C. Williams), 259-286.
- Weicker, H., & Strobel, G. (1994). Sportmedizin und Biochemischphysiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung. *Gustav Fischer Verlag*, S, 25-28.



附錄

附錄一 受試者疾病調查表



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 ☐ 是 ☐ 否				
2. 是否有血液疾病 ☐ 是 ☐ 否				
3. 是否有糖尿病 ☐ 是 ☐ 否				
4. 是否有高血壓 ☐ 是 ☐ 否				
5. 是否有氣喘疾病 ☐ 是 ☐ 否				
6. 是否有癲癇症 ☐ 是 ☐ 否				
7. 是否有肌肉疼痛 ☐ 是 ☐ 否				
8. 是否有感冒症狀 ☐ 是 ☐ 否				
9. 最近六個月是否有開刀手術 ☐ 是 ☐ 否				
10. 其他：				
1) _____				
2) _____				
3) _____				
4) _____				
運動員簽名：_____ 日期：_____				
教 練 簽名：_____				

www.spdi.idv.tw