

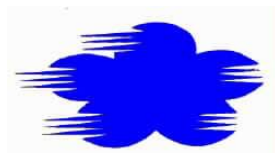
國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

急性短期不同高強度間歇訓練負荷型態對
無氧能量路徑及心率變異度之效果

**The Effect of Acute High-Intensity-Interval-Training Loaded
on Anaerobic Energy Pathway and Heart Rate Variability**

指導教授：張嘉澤 博士
研 究 生：蕭婉柔 撰

中 華 民 國 1 0 4 年 0 7 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

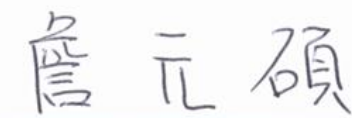
本論文：急性短期不同高強度間歇訓練負荷型態對無氧能量路
徑及心率變異度之效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生 蕭婉柔 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

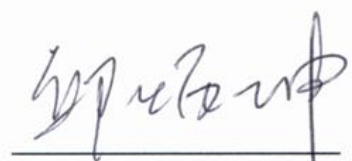
中華民國 104 年 5 月

論文考試委員



詹元碩 博士

國立台北教育大學副教授



邱炳坤 博士

國立體育大學教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授

(本論文指導教授)

急性短期不同高強度間歇訓練負荷型態對無氧能量路徑及心率變異度之效果

摘要

本文主要目的在探討單次急性高強度間歇訓練刺激模式，對無氧能量路徑及心率變異度之影響。方法：受試者為 8 名競技運動員，訓練年數 5 年以上。測試方法分為基礎能力測試 (2-4mmol/l) 及單次急性 HIIT 負荷 (跑步機、腳踏車測功儀、划船測功儀)，總時間為七週。測驗所得的各項參數以相依樣本 t 考驗分析之差異。本研究顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。結論如下：

訓練過程由於訓練階段劃分的不同，欲在不同的階段有時效性的加強不同的能力時，可以用來當作參考。

一、欲在短時間內提高有氧閾值耐力，應用跑步機訓練是較佳方式。而腳踏車與划船測功儀訓練，對無氧閾值耐力能力的維持是比較好的訓練型態。

二、短時間內提高有氧閾值耐力，對於乳酸排除速度能力的提升並不穩定，因為乳酸排除速度受到個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量三個條件影響，3 天 HIIT 負荷未足以讓其他兩項能力跟著提升，造成此不穩定現象。

三、短時間內欲改善心率變異度，可以選擇阻力型的運動模式，來做為訓練階段的參考方式。

關鍵詞：不同高強度間歇訓練、心率變異度、無氧能量路徑

The Effect of Acute High-Intensity-Interval-Training Loaded on Anaerobic Energy Pathway and Heart Rate Variability

Abstract

The main **purpose** of this study was to explore a single acute high intensity interval training stimulation on anaerobic energy pathway and heart rate variability. **Methods:** Subjects were eight competitive athletes, training more than five years. Test was included basic endurance test (2-4mmol / l) and HIIT load (treadmill, bicycle ergometer, rowing ergometer) for a total of seven weeks. Paired-t test was used to analysis parameters. The statistical significance was set as $\alpha = .05$.

The conclusion of this study was summarized as follow:

1. To improve aerobic threshold endurance in a short time, the application of treadmill training is a better way. The bicycle and rowing ergometer, maintaining anaerobic threshold endurance capacity is a better training patterns.
2. Enhance aerobic threshold endurance in short time, the speed of lactate clearance is not stable, because lactate clearance speed have including individual aerobic threshold endurance, the number of mitochondria and microvessels in muscle these three abilities. Causing this instability is because three days HIIT is not enough to enhance the other two abilities.
3. To improve heart rate variability in a short time, you can choose the resistance exercise pattern as the training phase reference.

Key word: Deferences High-Intesity-Interval-Training 、 Anaerobic Energy Pathway 、 Heart Rate Variability

致謝

在兩年的研究所生活中，首先誠摯的感謝指導教授張嘉澤博士悉心指導以及鞭策，在學術研究上給予我盡心的指導與協助，促使本研究能如期完成。在此致上最深的感謝。承蒙邱炳坤教授與詹元碩教授，在論文上給予精闢的見解與啟發，使論文內容更臻完備，特此敬申謝意。

在學期間，除了師長們在學術基礎專業的指導外，亦非常感謝 SPDI 實驗室的每位夥伴，學姊：月琪、佳慧，學長：德盛、敬衡、青宏、聲賓、俊霖、智瑋、松潛、育綺、以及忻宸、乙正、田剛、浩陽、梓陞、宥緯、珮綦有大家互相砥礪與協助及在日常生活中的支持與鼓勵，因為有你們，讓我的研究生涯充滿驚喜與回憶，終身難忘。施測期間衷心感謝本研究受試者辛苦參與，使本論文實驗得以順利完成。

最後，要感謝我的家人及身旁所有的朋友們一路上的支持，讓我能追求理想，特將此榮耀與您們一同分享，謝謝您們。

蕭婉柔 謹識

目 錄

摘要.....	I
Abstract	II
致謝.....	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 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	2
第貳章 文獻探討	3
第一節 HIIT 運動負荷模式	3
第二節 HIIT 生理反應 (HR、La、NH ₃) 之探討	4
第三節 三種不同 HIIT 負荷模式之探討	6
第四節 運動訓練與心率變異度 (HRV).....	8
第五節 文獻總結	10
第參章 研究方法.....	11
第一節 研究對象	11
第二節 試驗時間與地點	11
第三節 試驗儀器與設備	11
第四節 實驗設計	12
第五節 資料處理與分析	17

第肆章 結果分析	18
第一節 不同訓練負荷無氧能力分析	18
第二節 不同訓練負荷有氧耐力分析	19
第三節 不同訓練負荷肌肉無氧代謝 La 、 NH_3 排除速度分析	20
第四節 不同訓練負荷運動表現分析	23
第五節 不同訓練負荷 HRV 分析	26
第伍章 討論	27
第一節 不同訓練負荷分別對有氧與無氧閾值耐力之探討	27
第二節 不同訓練負荷於有氧能力與中間代謝產物排除速度之探討	30
第三節 不同訓練負荷於無氧能力與運動表現之探討	32
第四節 不同訓練負荷於 HRV 改善速度之探討	34
第陸章 結論	35
參考文獻	36

表 目 錄

表 3-1- 1 受試者基本資料.....	11
表 3-4- 1 有氧與無氧閾值測試方式 (Mader et al., 1976).....	13
表 3-4- 2 腳踏車階梯式測試方式 (Hollmann et al., 1982)	14
表 3-4- 3 HIIT 負荷內容.....	15
表 3-4- 4 生物參數採集時間點.....	15
表 4-1- 1 不同負荷訓練無氧閾值 (4 mmol/l) 能力分析	18
表 4-2- 1 不同負荷訓練有氧閾值 (2 mmol/l) 耐力分析	19
表 4-3- 1 不同負荷第一天與第 3 天訓練血液乳酸堆積與排除分析.....	20
表 4-3- 2 不同訓練負荷 NH ₃ 分析	23

圖 目 錄

圖 3-4- 1 200 公尺 划船測功儀測試.....	14
圖 3-4- 2 3 天刺激模式.....	16
圖 3-4- 3 實驗流程圖.....	16
圖 4-3- 1 跑步機第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析.....	21
圖 4-3- 2 腳踏車測功儀第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析.....	21
圖 4-3- 3 划船測功儀第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析.....	22
圖 4-4- 1 跑步機第 1 天與第 3 天訓練心跳率分析	24
圖 4-4- 2 腳踏車測功儀第 1 天與第 3 天訓練運動表現與心跳率分析.....	25
圖 4-4- 3 划船測功儀第 1 天與第 3 天訓練運動表現與心跳率分析.....	25
圖 4-5- 1 運動前與運動後 HRV 平均值與標準差	26

中英文對照縮寫表

英文	縮寫	中文
Adenosine dephosphate	ADP	腺苷二磷酸
Adenosine triphosphate	ATP	腺苷三磷酸
Adenosine monophosphate	AMP	單磷酸腺苷
Ammonia	NH ₃	血氨
End of the first minute to fifteenth minute	E1~E15	運動結束第 1 分鐘至第 15 分鐘
Heart rate	HR	心跳率
Heart rate variability	HRV	心率變異度
High frequency	HF	高頻
Inosine monophosphate	IMP	肌核苷
Lactate	La	乳酸
Lactat threshold	LT	乳酸閾值
Maximal oxygen uptake	$\dot{V}O_{2\max}$	最大攝氧量
Meter per scond	m/s	每秒每公尺速度
Micro liter	ml	微毫升
Millimol per liter	mmol/l	每公升所含有之毫莫耳數
Pyruvate fructo kinase	PFK	磷酸果糖激酶
Purine nucleotide cycle	PNC	嘌呤核苷酸循環
Rating of perceived exertion	RPE	自覺費力量表
Total Power	TP	全頻
Velocity of 4 millimol	V4	4 莫耳速度

per liter		
Velocity of 4 millimol	V2	2 莫耳速度
per liter		
Ventilator threshold	VT	換氣閾值

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

近年來訓練的趨勢與方式不斷強調訓練時間的經濟效益。訓練科學的進步及訓練模式和型態的改變，輔助訓練工具儀器的運用與創新，提升了訓練品質和運動表現。時代的變化，訓練方式也隨之變化，著重在高質量的負荷模式，因此訓練的範圍相對減少。此生理反應機制適應主要來自 Hood (2001) 所提出的粒線體與基因編碼，人體在接受負荷刺激時，內部組織立即負荷產生反應，特別是短時間高強度的方式。因此發展出短時間高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT) 模式，HIIT 可在短時間提升有氧代謝能力、增加無氧糖酵解的活性。

高強度間歇訓練除了能夠改善乳酸排除速度、無氧能量路徑下的運動表現之外，也能使有氧及無氧之間能量轉換效率提高，高負荷劑量且重複接受刺激之下，會提升肌肉對無氧性能量提供路徑產生適應，並增加無氧糖酵解的活性 (Helmut, Weicker & Strobel, 1994)。亦有研究指出透過 HIIT 可有效提升無氧能力及降低最大負荷心跳率 (Roberts, Billeter, & Howald, 1982)。運動負荷劑量造成生理平衡受到干擾，反應在體循環與新陳代謝的壓力，在運動過程中此兩項能力的變化可看出個人承受負荷的情況，其中以心跳率最能直接顯現出運動員體循環的能力，而新陳代謝的部分則反應在血乳酸的改變 (Hottenrott, 1993)。

除了 HIIT 對於能量代謝與體循環壓力的影響之外，也想進一步探討之於自律神經系統的效果，心跳並非以一固定節律跳動，即使是處於穩定的狀態，心率也會有某一程度的變化，此變異程度稱為心率變異度 (heart rate variability, HRV)。運動的種類、強度及持續的時間，對 HRV 的影響效益不同。已知長期的持續性

運動可以增加 HRV 及副交感神經活性，同時降低交感神經的興奮，對心臟具有保護效應 (Felber D. D., Ackermann-Liebrich, U., Schindler, C., Barthelemy, J. C., Brandli, O., Gold, D. R., & Gaspoz, J. M, 2008)。

縮短訓練週期，提高訓練負荷劑量 (質)。是目前訓練科學研究與競技運動訓練的趨勢。而訓練的質與量，由早期大範圍與長時間的訓練方式，演變成提高身體負荷劑量與縮短訓練時間 (量) 的模式。縮短訓練週期與提高負荷劑量模式，肌肉與組織器官反應機制，對競技運動訓練皆有明確的路徑。但是在不同肌肉收縮模式下，哪種運動方式為最佳與是否具備相同效果，目前尚未明確。

因此本研究希望藉由不同 HIIT 負荷型態模式，來發現最佳改變肌肉無氧路徑之方式，找出在高強度負荷之下哪種方式能較快速提升無氧能力、提高體循環功能，並且能加速無氧負荷血液乳酸堆積的排除速度。

第二節 研究目的

依據研究動機，研究目的如下：

- 一、比較 3 天不同 HIIT 刺激模式對有氧及無氧能力的效果。
- 二、比較 3 天不同 HIIT 刺激模式對心率變異度 (HRV) 改善的速度。
- 三、比較 3 天不同 HIIT 刺激模式對肌肉無氧代謝中間產物 ($\text{La} \cdot \text{NH}_3$) 排除速度。

第貳章 文獻探討

第一節 HIIT 運動負荷模式

1920 年代芬蘭長距離教練使用上坡與下坡跑，不同負荷方式，開啟間歇訓練 (Interval Training) 之概念。1930 年德國教練 Gerschler 應用其訓練型態，獲得佳績。1930 年用間歇負荷型態進行對生理反應影響實驗，應用不同間歇時間對新陳代謝與攝氧量變化進行觀察，也是第一個科學研究採用間歇負荷方式來進行 (Hollmann, 1990)。

短暫的、間歇的高強度活動伴隨著一段時間的休息是高強度訓練的特色。間歇是常見的訓練方式，主要是透過乳酸濃度以及氫離子的變化進而改善體循環系統讓身體對強度產生適應藉此提昇耐力能力 (Hargreaves, M., McKenna, M. J., Jenkins, D. G., Warmington, S. A., Li, J. L., Snow, R. J., et.al, 1998)，而高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT) 指的是在高強度的運動後伴隨著不完全休息，緊接著進行高強度的訓練，使訓練的過程能反覆處於高負荷，以獲得更高的生理刺激稱之。其目的在於改善無氧效率、快速耐力能力以及增強心臟壓縮與呼吸的工作能力 (張嘉澤, 2008)。

Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008) 指出，高強度間歇訓練執行的時間顯著低於傳統耐力訓練，在代謝的適應上最有時效性，能增加骨骼肌氧化能力及改善運動中的代謝機制。優點為執行時間短，效果仍能與傳統訓練媲美。運動員在高負荷劑量，重複接受刺激時，可提升肌肉對無氧能量代謝路徑產生適應，而增加無氧糖酵解的效率 (Helmut, Weicker & Strobel, 1994)。

運動負荷劑量的改變造成生理平衡受到干擾，此現象反應在體循環與新陳代

謝的壓力，在運動過程中此兩項能力的變化可反應出個人承受負荷的情況，張嘉澤 (2008) 指出，當身體接受運動訓練時，人體的器官與組織即開始進入調整階段，器官為了應付各種不同的刺激所需的能量消耗，會隨著訓練負荷的增強而增加活性。因器官組織對於訓練產生的適應顯現，所以相同運動負荷以及時間下，肌肉所代謝的乳酸值將下降，而血液乳酸的堆積，也將加速排除。

第二節 HIIT 生理反應 (HR、La、NH₃) 之探討

維持長時間的比賽能力，取決於運動員是否具備快速重組能量與排除中間產物 (La、NH₃) 的生理反應。

一、心跳率

心跳率代表人體每分鐘心臟所跳動的次數。運動過程中由於代謝物的累積刺激肌肉血管舒張，造成血管周邊阻力和血壓下降，這種低血壓的狀況會使交感神經刺激心臟，促使心跳增加 (吳文蘭、張志仲、郭藍遠、林槐庭與陳勝凱，2008)。心跳的高低是透過交感與副交感神經系統相互拮抗作用所致，人體面對外界或內在變化時直接反應出對於訓練負荷的感受，由於測量容易並可隨時取得，所以在訓練上被廣泛使用。Hottenrott (1993) 指出，心跳率可用來判斷個體的訓練效果及承受負荷能力。

心跳除了可用來評估病理性疾病，亦可用運動負荷中或運動後恢復期的心跳率來觀察恢復情形，數值越低者表示心肺功能越好。Neumann and Berbalk (1990) 研究指出依生物參數改善所需的時間，最快的是心跳，以日為單位。長期接受訓練刺激負荷者，有氧能力較佳，亦能提升副交感神經調節心臟的能力 (De Meersman, 1992)。

二、乳酸 (La)

乳酸為無氧糖解路徑中，丙酮酸接受氫離子的產物，也是醣質新生的先驅物。持續性高強度的肌肉收縮造成體循環系統無法供應全身耗氧量，而進入無氧狀態，使乳酸快速堆積。短時間高強度運動負荷下，運動時間介於 20~30 秒之間，其能量代謝來源，有氧能量部分占 20%，無氧能量代謝則達 80% (Hargreaves, 1995)。在激烈運動中，乳酸大量生成，氫離子濃度上升，造成體內 pH 值下降，產生酸化現象 (Sahlin, Harris, Nylinde, & Hultman, 1976)。此現象干擾神經傳導速度，且磷酸果糖激酶 (PFK) 活性被抑制，降低肌肉收縮能力、能量來源路徑受阻，啟動安全機制 (Heck, 1990)。

運動負荷後在肌肉中產生乳酸，並透過擴散的方式進入血液再進入肝臟 (Helmut, Weicker & Strobel, 1994)。Neumann and Berbalk (1990) 指出乳酸是在肌肉中形成，滲透入血液中，最後是由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 和不活動肌群 (30%) 排除。競技運動員乳酸排除速率應達 0.5 mmol/l/min，未訓練者為 0.3 mmol/l/min，且動態休息優於靜態休息 (Neumann, 1991)。經過訓練後，身體器官會產生適應現象，在相同運動負荷下，乳酸會產生下降的效果 (葉明春、呂欣善、張嘉澤，2006)。Neumann (1991) 指出運動中乳酸的堆積與排除能力，是依據個人的有氧能力而定，有氧能力越高者，乳酸排除速度越快。

三、血氨 (NH₃)

肌肉纖維中快、慢縮肌的比例是影響運動時血氨濃度的因素之一，高強度負荷下，受肌肉內粒線體影響，快縮肌纖維較多者，NH₃ 產生大於慢縮肌纖維較多者 (Dudley, G.A., Staron, R.S., Murray, T.F., Hagerman, F.C., & A. Luginbuhl, 1983)。在短時間高強度的運動負荷過程中，人體對於 ATP (三磷酸腺苷) 的需求急遽上升，導致大量的 ADP (二磷酸腺苷) 與 Pi (磷酸根) 結合以應付 ATP 需求，每兩分子的 ADP 與 Pi 結合會產生一分子的 ATP 與 AMP (單磷酸腺苷)，當 AMP 進

入到嘌呤核苷酸循環 (Purine nucleotide cycle,PNC) ，透過腺甘酸脫氫酶 (AMP deaminase) 的催化而產生氨與 IMP (肌核苷) (Weicker, 1988)。

血氨的測定可以實際應用於運動中強度負荷的監測、選手的訓練效果評估等。Sewell, D. A., Gleeson, M, and Blannin K.A. (1994) 的研究中指出運動強度與血氨的產生有顯著的關係。運動負荷在 60~70% $\dot{V}O_{2max}$ 時血氨的生成顯著上升，當運動負荷強度達 90~100%時血氨的生成斜率最大 (Buono, Clancy, & Cook, 1984)。由於血氨的堆積會影響動作的協調性及技術的控制能力，在短時間高強度的運動中，血氨值的升高反映了身體無氧能量系統的失衡，造成骨骼肌的能量代謝受到影響，因而產生疲勞。由上述可知，血氨可作為運動負荷強度的參考指標 (Urhausen & Kindermann, 1992)。

第三節 三種不同 HIIT 負荷模式之探討

一、跑步機

跑步為最常見之訓練方式，Madar et al . (1976) 2-4mmol/l 基礎閾值耐力測試亦以跑步型態做為評估方式，可準確監控強度。

邱奕棠 (2011) 以 8 名田徑選手，參與五天低氧 4 × V6 (3min) 跑步機訓練，有提升選手新陳代謝與體循環系統的效果，RPE 量表呈現下降，但最大無氧糖酵解效率未達顯著相關。兩週共 7 次的高強度間歇訓練 (約 130%無氧閾值速度，運動 2 分鐘休息 1 分鐘，總計 20 分鐘) 可以有效提升有氧與無氧閾值速度，但對於 ATP-PC 系統的效果有限 (何正峰、李文志、王錠堯，2008)。

二、腳踏車測功儀

腳踏車測功儀是以自行車運動的腳步動作型態設計，亦可作為運動負荷型態及診斷或訓練耐力的方式之一。腳踏車測功儀可有效改善人體新陳代謝系統及燃燒脂肪，屬於一項全身性運動 (Bauman & Rissel, 2009)。Hollmann et al. (1987) 以腳踏車測功儀作為判斷競技選手耐力指標的儀器之一。

Jakeman, Adamson, and Babraj (2012) 則發現，對於鐵人三項選手而言，2 週的 HIT (3 次/週、10 組、6 秒腳踏車衝刺、組間休息 1 分鐘)，可以提升 LT (4 mmol/l) 所對應的強度，並促進 10km 自行車運動表現 (+10%)。Kirsten A. Burgomaster, Heigenhauser, and Gibala (2006) 兩週 6 次溫蓋特模式高強度間歇訓練，6 次 30s 最大努力運動，間歇 4 min，能提升肝醣量與肌肉含氧量，增加耐力能力。Talanian, Galloway, Heigenhauser, Bonen, and Spriet (2007) 以女性運動員為對象，同樣以兩週 7 次高強度間歇腳踏車訓練方式，10 次最大攝氧量 90%，運動 4 min，間歇休息 2 min，發現受測者提昇最大攝氧量，增加脂肪代謝以及肌肉粒線體活性。Edge, Bishop, and Goodman (2006) 以 6-10 次 120-140 % 乳酸閾值強度，每次持續 2 分鐘，每次間歇 30 s，共進行五週之腳踏車 HIIT 訓練，結果顯示 VO_{2peak} 、乳酸閾值及肌肉緩衝能力有明顯進步。

三、划船測功儀

划船測功儀又稱室內划船器，現今的划船測功儀結合 Concept 2 進行測驗，證實有很高的功率輸出再測信度，對於訓練有某程度的幫助。划船運動為結合有氧與肌肉耐力的運動形式，除了能進行心肺功能的訓練外，更具有延遲肌肉退化的生理效果 (Yoshiga, Higuchi, & Oka, 2002)。划船屬於全身性運動型態，所動用的肌群較跑步機、腳踏車測功儀相對多，划船測功儀若能成為有效評估工具，除了方便攜帶，也提供訓練多元化選擇，不僅具有好的信度，同時也能評估運動員的耐力能力 (Schabort, Hawley, Hopkins, & Blum, 1999)。

蕭敬衡與張嘉澤 (2013) 研究結果顯示，受試者在連續三天急性高強度間歇訓練 (4x200m) 中，平均輸出功率皆呈現上升之情形，最大心跳率較第一天下降。Driller, Fell, Gregory, Shing, and Williams (2009) 的研究也發現，4 週的 HIT (2 次/週、8 組、每組持續 3.5 分鐘、強度為 90% $\dot{V}O_{2max}$ 、組間休息 3 分鐘)，可明顯地減少划船選手 2000m 划船的完成時間 (降低 8.2 秒)。

第四節 運動訓練與心率變異度 (HRV)

心臟並非以一固定節律跳動，即使處於相對穩定的狀態下，心跳也會有某一程度的變化，此變異程度稱為心率變異度 (heart rate variability, HRV)。心率變異度增加，表示副交感神經興奮，降低心跳率；心率變異度降低，表示副交感神經活性下降、交感神經活性相對增加，導致心跳率加快 (Juul Achten & Jeukendrup, 2003)。

心率變異度的重要性在於反映自律神經調控的功能，且具有非侵入性的優點，能用以評估短期或長期運動訓練對自律神經調控的影響 (Mourot, Bouhaddi, Perrey, Rouillon, & Regnard, 2004)。

長期的持續運動 (持續 20 分鐘以上，60-80%最大心跳率) 可以增加 HRV 及副交感神經活性，同時降低交感神經的興奮，因此降低安靜時及非最大運動時的心跳率，對心臟具有保護效應 (Felber Dietrich et al., 2008)。在過往的研究中，大部分研究結果皆是認為經過長期耐力運動，可以減低安靜心跳率與非最大運動心跳率，並增加指標 TP (Total Power, 全頻) 和 HF 的值 (Carter, Banister, & Blaber, 2003; Lu & Kuo, 2003; 林順萍、黃國禎、陳俊忠、郭博昭, 2006)。

Carter, Banister, & Blaber. (2003) 以 12 位年輕人和 12 位中年人作 12 週強度達最大心跳的 70%-90% 的跑步訓練，結果發現兩組安靜時的心跳率訓練後比

訓練前減少，心率變異、總功率、高頻功率有明顯的增加。 Puig, J., Freitas, J., Carvalho, M. J., Puga, N., Ramos, J., Fernandes, P., et al. (1993) 以 33 名運動員、33 名健康人為受試者，利用心率變異頻譜分析來評估運動員心臟自主神經系統的活動的狀態，發現因為副交感神經增強的作用，運動員有較高心率變異度， Ishida and Okada (1997) 以 8 名受過訓練的運動員及 16 名為沒受過訓練者為對象，藉此探討規律運動對心臟自主神經系統的影響，結果顯示規律的運動訓練可增強心臟副交感神經活性或減弱交感神經活性。林佳皇 (2006) 探討 16 位長期接受籃球訓練的高中甲組籃球運動員與 15 位一般高中生，心率變異度在腳踏車運動後之差異，甲組籃球高中球員較一般高中生於相同的負荷後，副交感神經活性明顯增加及心率變異度亦明顯變大。

Cole, Blackstone, Pashkow, Snader, and Lauer (1999) 指出受試者在進行最大強度運動後發現，副交感神經的活性與心臟之功能有直接之影響。研究發現心率變異度閾值與換氣閾值 (ventilator threshold, VT) 有高度相關，也發現中等強度或高強度運動訓練後，達到心率變異度閾值 (HRV threshold) 的運動負荷顯著增加， Fronchetti, Nakamura, De-Oliveira, Lima-Silva, and Lima (2007) 研究指出，高強度間歇訓練 (130%個人最大功率，1 min 間歇休息 1 min) 能使 HRV threshold 能力增加其主要原因為運動訓練影響自主神經系統調節，使達到心率變異度閾值的負荷增加，進而延遲交感神經的興奮。

第五節 文獻總結

近年來訓練的趨勢與方式不斷強調訓練時間的經濟效益。而高強度間歇訓練無論是訓練時間及訓練量皆低於耐力訓練，且有相似的代謝適應及運動表現的增加。

在高負荷劑量下，心跳率可用來判斷個體的訓練效果及承受負荷能力，而乳酸可用來評估負荷強度、肝醣儲存情況等。在運動刺激下身體乳酸的生成，可反映運動時能量代謝的變化。可提升肌肉對無氧收縮產生適應反應，提高肌肉細胞內粒線體的含量，降低乳酸的生成，增加無氧糖酵解的效率。

長期持續的耐力運動能增加 HRV，對心臟具有保護效益；但也有研究提出短期之運動訓練欲改善心臟自律神經活性的調控狀態，是以高強度的運動訓練效果較佳。

綜合上述文獻指出高強度訓練對於無氧性能量路徑及 HRV 有正面效益，但對於急性的單次高強度刺激則較少被探討，針對不同訓練型態的運動員及忙碌的一般人而言，長時間的耐力運動似乎較無時間效益也不一定合適，因此本實驗希望藉由三種模式的單次 HIIT 刺激來觀察是否能有相似效益，用最短時間達到最大效益。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本試驗以 8 名無急性運動傷害之規律訓練競技運動員為研究對象，基本資料如下表，試驗進行前向受試者說明實驗流程，並告知受試者本試驗注意事項及必須配合之處，隨即給予填寫運動能力診斷疾病調查表及試驗同意書並簽名。此外在試驗過程中，將要求受試者維持正常生活作息。

表 3-1- 2 受試者基本資料

	年紀 (歲)	身高 (公分)	體重 (公斤)	訓練年數 (年)
M	22.5	174.5	79.4	9.5
SD	1.9	4.0	11.7	4.5

第二節 試驗時間與地點

時間：2014 年

地點：國立體育大學運動能力診斷實驗室、國立體育大學

第三節 試驗儀器與設備

一、心率偵測器 (Polar 610i)

二、Zephyr Bioharness

三、採血工具 (酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、手套、冰桶等)

四、腳踏車測功儀

五、划船測功儀 (Concept 2)

六、h/p/cosmos 高速跑步機

七、EFK 德國製血糖乳酸分析儀 (Diganostic Biosen C-line ; EFK-dignostic)

八、血氨測定儀 (PocketChem BA PA-4130 ; ARKRAY)

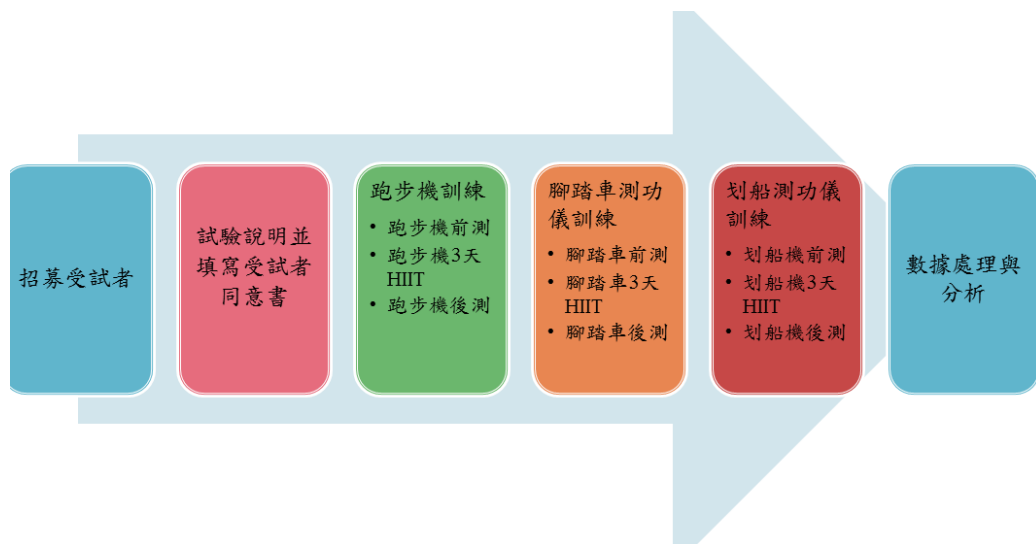
九、Borg's Scale 自覺量表 (6-20 Scales)

十、SEIKO 碼錶

第四節 實驗設計

本試驗受試者 8 人，將分別參與基礎閾值耐力檢測及主試驗 (HIIT 負荷) 兩個部分，主試驗內容分為跑步機 HIIT、腳踏車 HIIT 及划船機 HIIT 三種方式。

測試流程



測試方法

一、基礎閾值耐力檢測

(一) 2-4mmol/l 基礎閾值耐力檢測：於室內跑步機及腳踏車測功儀進行，開始前讓受試者戴上 Polar 錶，並以耳垂採集安靜值乳酸檢驗 (10 μ l 血液)。跑步機開始速度為 2.5 m/s，每階持續 5 分鐘，每階上升 0.5 m/s (如表 3-4-1)；腳踏車開始為 100 Watt，每階上升 30 Watt，每階持續 3 分鐘 (如表 3-4-2)。階間進行耳垂採血 (10 μ l 血液) 並記錄心跳率，檢測至受試者能承受之最大負荷 (採集血液 50-70 μ l)。

(二) 200 m 划船測功儀測試：受試者以個人最大負荷進行，至 200 m 為止，測試前及恢復期第 1、3、5、7、10 分鐘進行採耳垂血液 10 μ l (6 次血液採集點共 60 μ l)，並全程記錄心跳率 (如圖 3-4-1)。

表 3-4-1 有氧與無氧閾值測試方式 (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		

表 3-4-2 腳踏車階梯式測試方式 (Hollmann et al., 1982)

階次	Watt	負荷時間 (min)	轉速 (RPM)
1	100	3	70
2	130	3	70
3	160	3	70
4	190	3	80
5	220	3	80
6	250	3	80
7	280	3	90
8	310	3	90
至個人最大負荷			

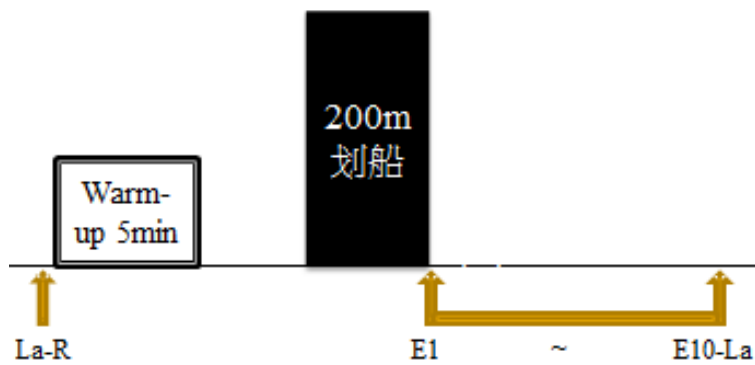


圖 3-4-1 200 m 划船測功儀測試

二、3 天 HIIT 刺激模式

連續 3 天 HIIT 刺激模式，如圖 3-4-2 所示，跑步機、腳踏車及划船機 HIIT 分別於第 2 週、第 4 週及第 6 週進行 (圖 3-4-3)，並於 3 天過程中收集各項參數，HRV 於連續 3 天 HIIT 前及 3 天結束後收集，血液相關生物參數則於第 1 天及第 3 天採集，採集時間點及採集位置如表 3-4-4。各項負荷間均間隔一定時間進行，讓每位受試者能夠獲得充分休息與恢復。

表 3-4-3 HIIT 負荷內容

	負荷	範圍	時間	間歇	記錄參數
跑步機	階梯式	3×90s	90s	120s	
	最大負荷 + 1 階			(2.0m/s)	
腳踏車	>階梯式負荷	3×30s	30s	120s	RPM
測功儀	最大 Watt		(最大努力)	(70W-60 轉)	
划船	>200m 測試個人平均	3×30s	30s	120s	平均 Watt、
測功儀	Watt 90%		(最大努力)	(走動)	配速/500m、 距離、槳頻

表 3-4-4 生物參數採集時間點

	R	1x	3x	E5	E7	E10	E15
RPE		○	○				
HR		○	○	○			
NH3	●	●	●		●		●
La	●	●	●	●	●	●	●
採集 方式	指尖	指尖	指尖	耳垂	指尖	耳垂	指尖

●血液樣本；○非血液樣本 (單次 HIIT 運動總採血量共計 170μl)

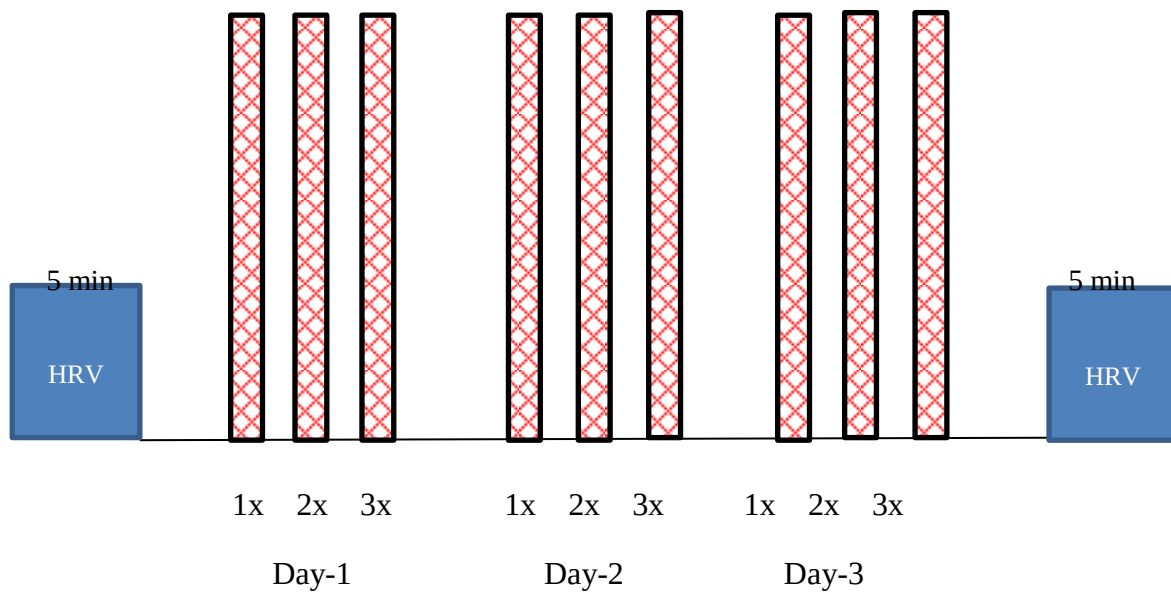


圖 3-4-2 3 天刺激模式

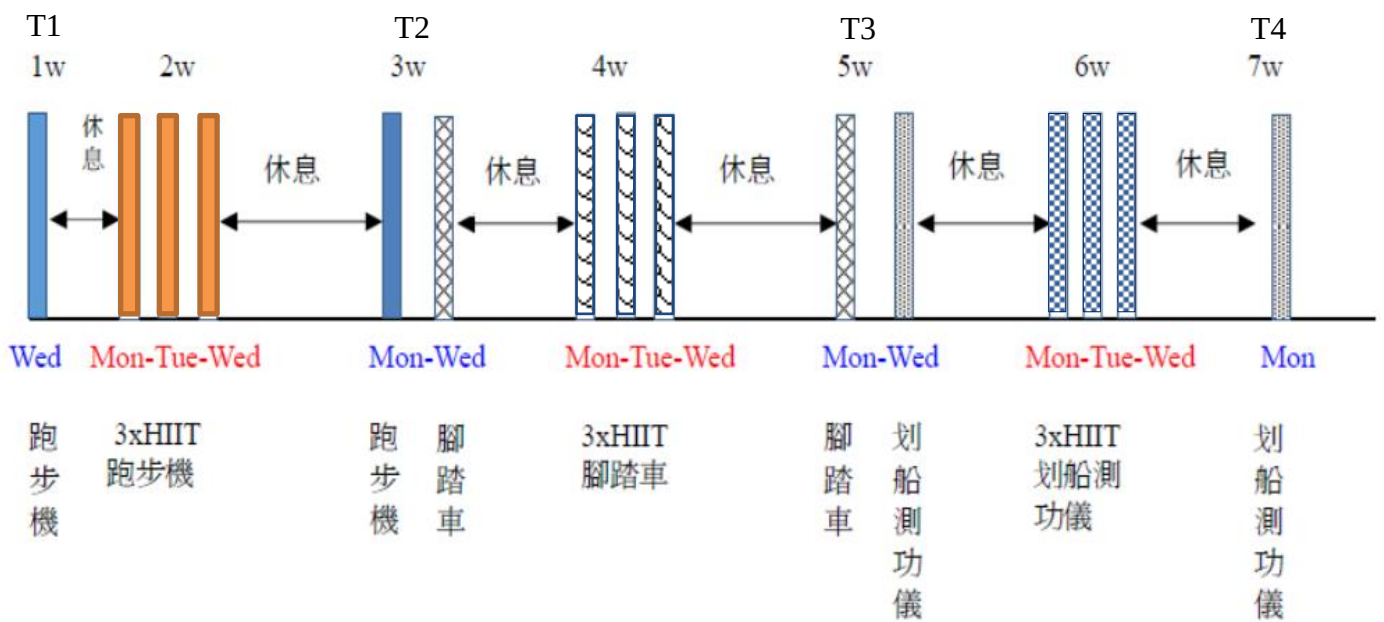


圖 3-4-3 實驗流程圖

第五節 資料處理與分析

- 一、受試者基本資料與檢測數據，以描述性統計方式，平均數、標準差來表示。
- 二、測驗所得的各項參數以統計軟體 SPSS for Windows 20.0 進行資料統計分析。
- 三、以相依樣本 t 考驗分析項各參數於訓練前後之差異。
- 四、本研究顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

第肆章 結果分析

第一節 不同訓練負荷無氧能力分析

表 4-1-1 為不同負荷訓練無氧閾值 (4 mmol/l) 能力分析。跑步機訓練前 (Pre) 無氧閾值平均值為 3.6 ± 0.5 m/s，訓練後 (Post) 則為 3.2 ± 1.4 m/s，兩次差異 -0.4 m/s ($p > 0.05$)。心跳率則分別為 175 ± 8 min⁻¹ 與 174 ± 9 min⁻¹，平均值差異 -1 min⁻¹ ($p > 0.05$)。腳踏車測功儀無氧閾值功率與心跳率在 Pre 與 Post 均未達顯著差異 ($p > 0.05$)。200 m 划船測功儀最大瓦特數在 Pre 與 Post 平均值為 521 ± 88 Watt、 541 ± 71 Watt，兩次差異 -20 Watt ($p > 0.05$)。心跳率則分別為 157 ± 17 與 162 ± 13 min⁻¹，平均值差異 $+5$ min⁻¹ ($p > 0.05$)。

表 4-1-1 不同負荷訓練無氧閾值 (4 mmol/l) 能力分析

		跑步機	腳踏車測功儀	划船測功儀
Pre-training	Performance	3.6 ± 0.5 (m/s)	198 ± 27 (Watt)	512 ± 88 (Watt)
	HR	175 ± 8 (min ⁻¹)	153 ± 8 (min ⁻¹)	157 ± 17 (min ⁻¹)
Post- training	Performance	3.2 ± 1.4 (m/s)	197 ± 26 (Watt)	541 ± 71 (Watt)
	HR	174 ± 9 (min ⁻¹)	152 ± 11 (min ⁻¹)	162 ± 13 (min ⁻¹)

第二節 不同訓練負荷有氧耐力分析

表 4-2-1 為不同負荷訓練有氧閾值 (2 mmol/l) 耐力分析。跑步機訓練前 (Pre) 有氧閾值耐力速度平均值為 2.5 ± 0.8 m/s，訓練後 (Post) 則為 2.9 ± 1.0 m/s，兩次差異 $+0.4$ m/s ($p > 0.05$)。心跳率則分別為 138 ± 20 min⁻¹ 與 147 ± 23 min⁻¹，平均值差異 $+9$ min⁻¹ ($p > 0.05$)。腳踏車測功儀無氧閾值功率與心跳率在 Pre 與 Post 均未達顯著差異 ($p > 0.05$)。划船測功儀 200 m 測試，Pre 測試平均值為 37.5 ± 2.3 s，Post 則為 36.5 ± 1.9 s，兩次差異 -1 s ($p > 0.05$)。Post 心跳率增加 $+5$ min⁻¹ ($p > 0.05$)。

表 4-2- 1 不同負荷訓練有氧閾值 (2 mmol/l) 耐力分析

		跑步機	腳踏車測功儀	划船測功儀
Pre-training	Performance	2.5 ± 0.8 (m/s)	126 ± 52 (watt)	37.5 ± 2.3 (s)
	HR	138 ± 20 (min ⁻¹)	119 ± 19 (min ⁻¹)	157 ± 17 (min ⁻¹)
Post- training	Performance	2.9 ± 1.0 (m/s)	127 ± 31 (watt)	36.5 ± 1.9 (s)
	HR	147 ± 23 (min ⁻¹)	119 ± 13 (min ⁻¹)	162 ± 13 (min ⁻¹)

第三節 不同訓練負荷肌肉無氧代謝 La 、NH₃ 排除速度分析

跑步機第一天訓練 (Tr-1) 血液乳酸堆積濃度在第一次 (1x) 負荷為 4.8 ± 0.9 mmol/l，第3次 (3x) 則為 7.5 ± 2.8 mmol/l。兩次平均值差異 $+2.7$ mmol/l ($p > 0.05$)。腳踏車測功儀於 Tr-1 與 Tr-3 訓練血液乳酸堆積濃度平均值差異分別為 $+5.6$ mmol/l、 $+5.2$ mmol/l ($p < 0.05$)。划船測功儀在 Tr-1 平均值差異為 $+4.4$ mmol/l ($p < 0.05$)，Tr-3 訓練則差異 $+3.7$ mmol/l ($p > 0.05$)。如表 4-3-1 所示。

表 4-3- 1 不同負荷第一天與第 3 天訓練血液乳酸堆積與排除分析

			R	1x	3x	Diff.
跑步機	M±SD	Tr-1	1.7 ± 0.5	4.8 ± 0.9	7.5 ± 2.8	$+2.7$
		Tr-3	1.4 ± 0.4	5.1 ± 0.7	7.7 ± 3.9	$+2.6$
腳踏車	M±SD	Tr-1	1.6 ± 0.7	5.2 ± 1.7	10.8 ± 3.1	$+5.6$
		Tr-3	1.4 ± 0.7	4.6 ± 1.4	9.8 ± 2.5	$+5.2$
划船	M±SD	Tr-1	1.4 ± 0.3	3.3 ± 1.2	7.7 ± 2.5	$+4.4$
		Tr-3	1.5 ± 0.7	4.2 ± 1.5	7.9 ± 3.3	$+3.7$

圖 4-3-1 為跑步機第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析。跑步機 Tr-1 訓練恢復期第 5 分鐘 (E5) 乳酸堆積平均值為 7.4 ± 3.8 mmol/l，第 15 分鐘 (E15) 則為 5.1 ± 3.7 mmol/l，E5 與 E15 平均值差異 -2.3 mmol/l ($p > 0.05$)。Tr-3 訓練平均值差異則為 -2.2 mmol/l ($p > 0.05$)。腳踏車測功儀訓練 Tr-1 與 Tr-3 恢復期 E5 與 E15 分鐘，血液乳酸差異分別為 -3.2 、 3.8 mmol/l ($p < 0.05$)，圖 4-3-2)。划船測功儀訓練於 Tr-1 與 Tr-3 恢復期 E5、E15 分鐘乳酸堆積濃度平均值差異為 -3.1 mmol/l ($p < 0.05$) 與 -2.9 mmol/l ($p > 0.05$)，如圖 4-3-3 所示。

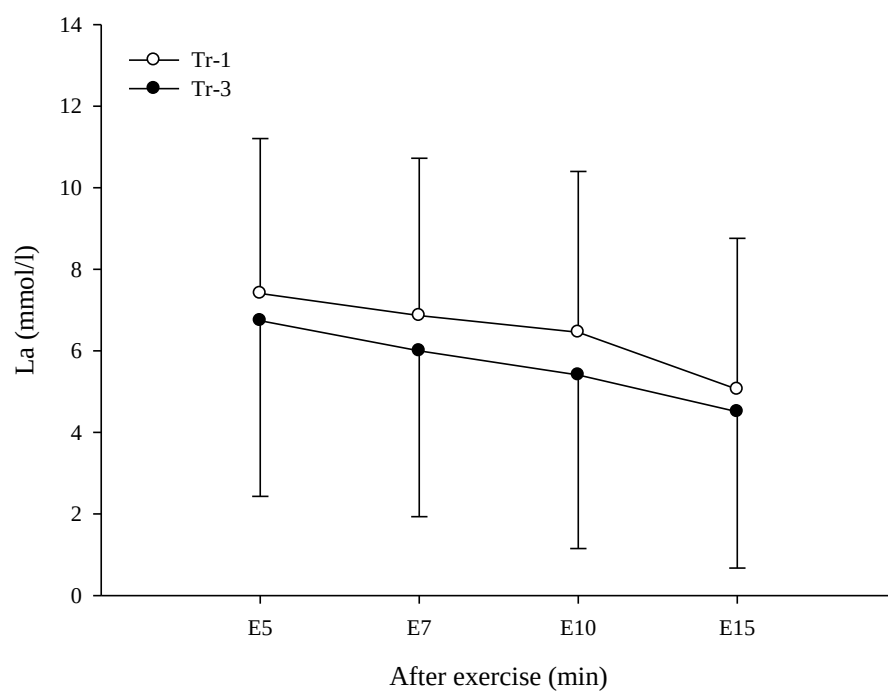


圖 4-3- 1 跑步機第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析

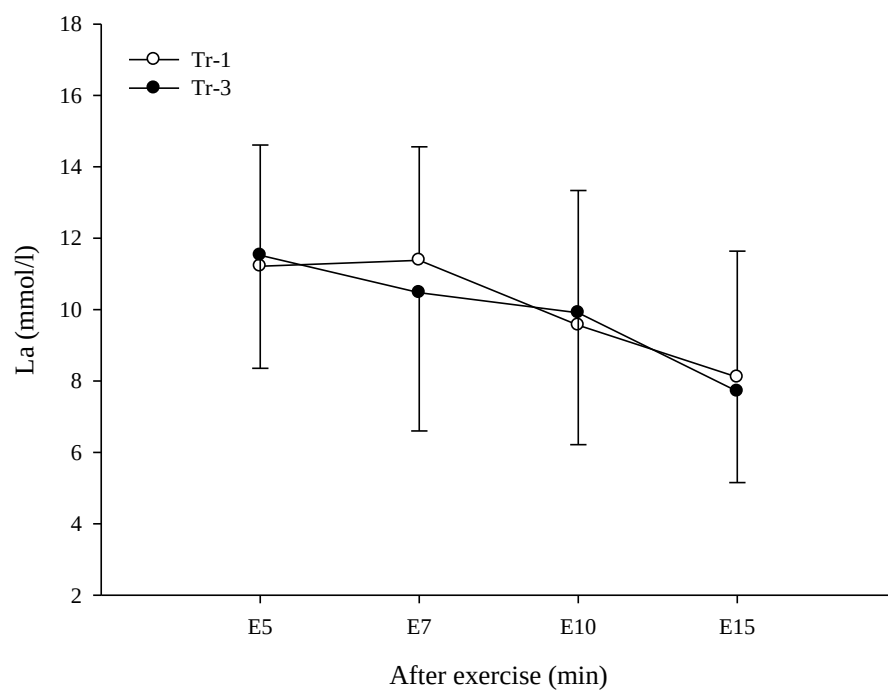


圖 4-3- 2 腳踏車測功儀第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析

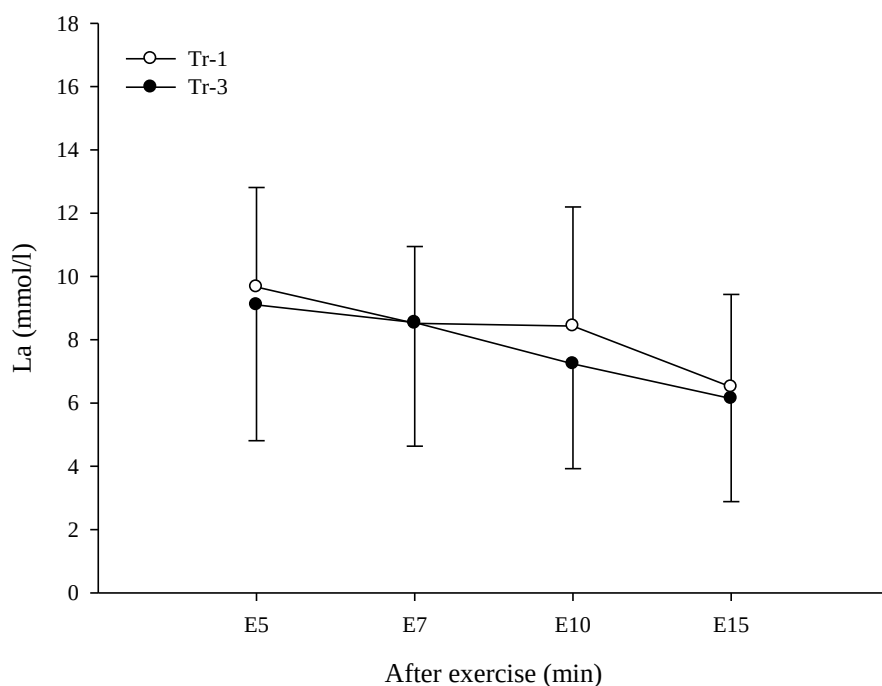


圖 4-3- 3 划船測功儀第 1 天與第 3 天訓練恢復期乳酸排除速度分析

表 4-3-2 為不同負荷血液 NH_3 分析。跑步機 Tr-1 訓練第一次(1x) 與第 3 次 (3x) 平均值差異為 $+50.5 \mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。Tr-3 運動負荷 1x 與 3x 差異則為 $+6 \mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)，而 Tr-1 與 Tr-3 結束後分別為 103.6 ± 62.1 及 $78\pm25.2 \mu\text{mol/l}$ ，差異為 $-25.6 \mu\text{mol/l}$ 。腳踏車測功儀 Tr-1 與 Tr-3 運動負荷血液 NH_3 平均值差異分別為 $+28.62 \mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$) 與 $-3.88 \mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)，Tr-1 與 Tr-3 結束後差異 $-5.3 \mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)。划船測功儀 Tr-1 第一次 (1x) 與 3x 平均值分別為 55.63 ± 13.6 、 $70.13\pm30.98 \mu\text{mol/l}$ ，平均值差異為 $+14.5 \mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)，Tr-1 與 Tr-3 結束後差異 $-6.5 \mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)。跑步機恢復期第 10 分鐘 (E10) 平均值為 $74.63\pm41.82 \mu\text{mol/l}$ (Tr-1)，Tr-3 則為 $81.75\pm26.18 \mu\text{mol/l}$ ，平均值差異 $+7.12$ ($p>0.05$)。腳踏車與划船測功儀恢復期 E10 於 Tr-1 與 Tr-3 平均值差異分別為 19.63 與 $19.63 \mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。

表 4-3- 2 不同訓練負荷 NH₃ 分析

		R	1x	3x	E5	E10
跑步機	Tr-1	60.1±40	53.1±25.6	103.6±62.1	78.9±31.2	74.6±41.8
	Tr-3	72.9±24.2	84±33.4	78±25.2	87.8±33.8	81.8±26.2
腳踏車	Tr-1	56.4±31.3	73.9±42.3	102.5±60	103.4±62.8	86±69
	Tr-3	57.5±9.8	100.6±73.7	96.8±17.6	101.4±27.1	105.6±39.1
划船測功儀	Tr-1	55.6±15	55.6±13.6	70.1±31	88.8±46.7	88.4±77.3
	Tr-3	52.4±30.2	54.4±24	64.8±34.7	73.6±41.3	59.3±27.7

第四節 不同訓練負荷運動表現分析

圖 4-4-1 為跑步機第 1 天 (Tr-1) 與第 3 天 (Tr-3) 訓練心跳率分析。跑步機 Tr-1 訓練第 1 次 (1x) 心跳率平均值為 $175 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ ，第 3 次 (3x) 心跳率平均值為 $183 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ，1x 與 3x 平均值差異 $+8 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)。Tr-3 訓練平均值差異則為 $+5 \text{ min}^{-1}$ ($p > 0.05$)。腳踏車測功儀訓練 Tr-1 與 Tr-3 運動中 1x 與 3x，心跳率差異分別為 $+13 \text{ min}^{-1}$ ($p > 0.05$)、 15 min^{-1} ($p < 0.05$)。最高腳踏轉速第 1 次 (1x) 平均值為 $158.7 \text{ U/min (RPM)}$ ，第 3 次 (3x) 轉速平均值為 152.7 U/min ，1x 與 3x 平均值差異 -6 U/min ($p > 0.05$)，Tr-3 訓練平均值差異則為 -5 U/min ($p > 0.05$)，圖 4-4-2)。划船測功儀訓練於 Tr-1 與 Tr-3 運動中 1x 與 3x 心跳率平均值差異為 $+14$

min^{-1} 、 $+17 \text{ min}^{-1}$ ($p<0.05$)，最大瓦特數平均值差異為 $+17 \text{ Watt}$ ($p>0.05$) 與 -16Watt ($p>0.05$)，如圖 4-4-3 所示。

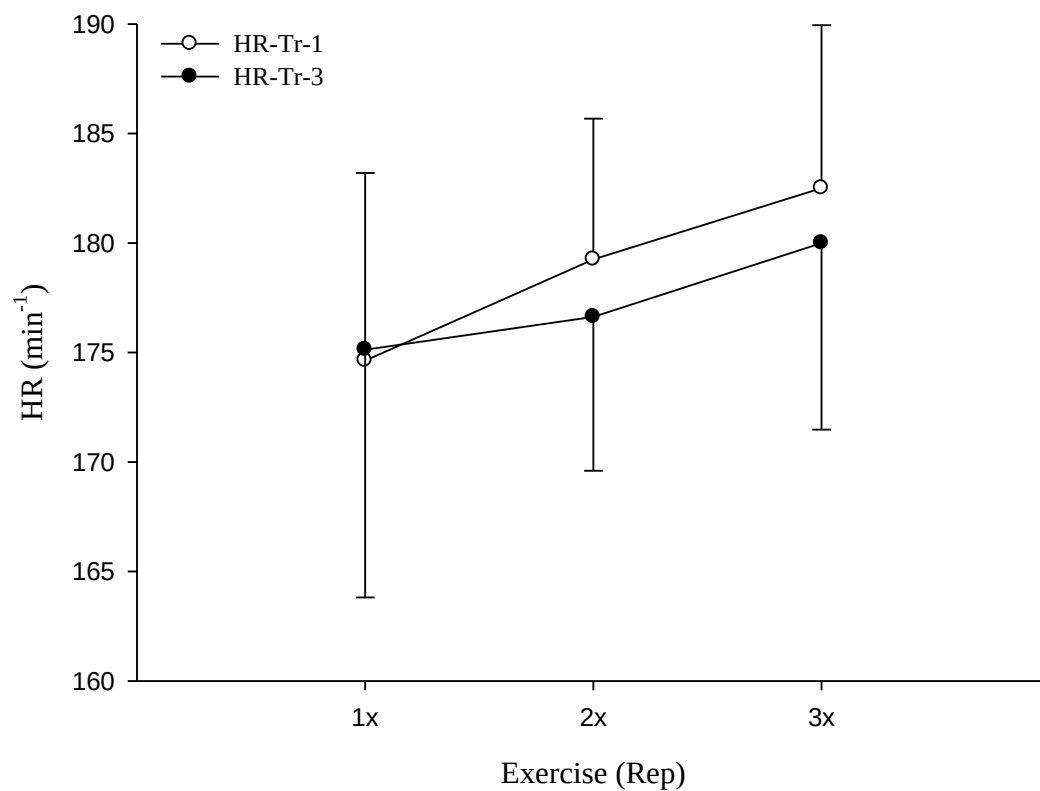


圖 4-4- 1 跑步機第 1 天與第 3 天訓練心跳率分析

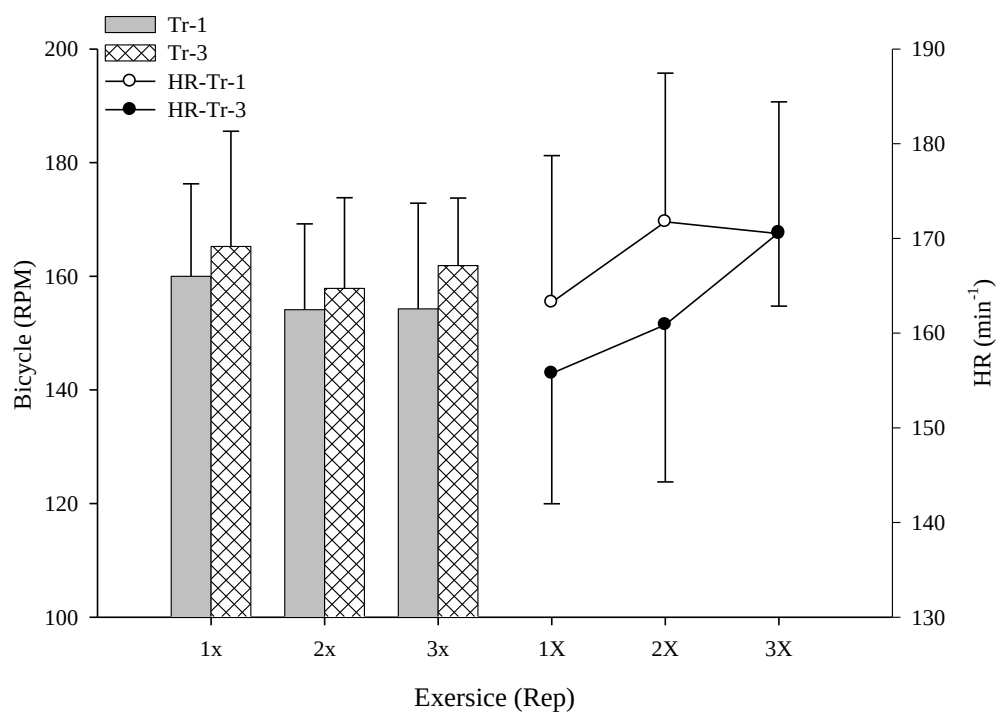


圖 4-4- 2 腳踏車測功儀第 1 天與第 3 天訓練運動表現與心跳率分析

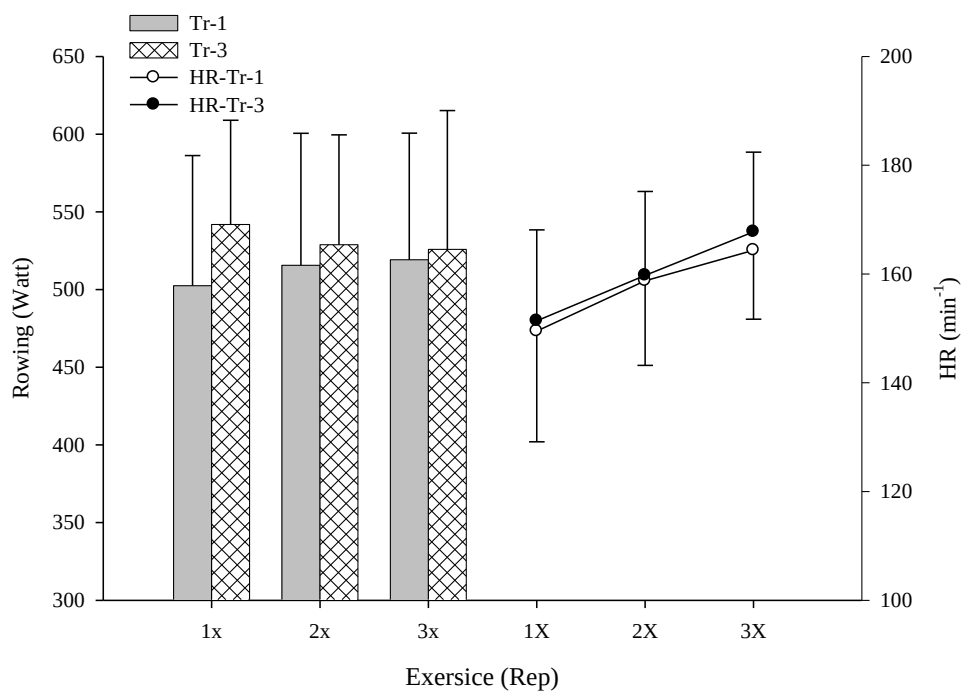


圖 4-4- 3 划船測功儀第 1 天與第 3 天訓練運動表現與心跳率分析

第五節 不同訓練負荷 HRV 分析

跑步機訓練前 (Before) 心率變異度 (HRV) 平均值為 98.6 ± 9.8 ms，訓練後平均值則為 86.3 ± 8.6 ms。兩次平均值差異為 -12.3 ms ($p > 0.05$)。腳踏車與划船測功儀 HRV 運動後平均值差異分別為 $+49.1$ ms ($p > 0.05$)、 $+14.5$ ms ($p > 0.05$)。如圖 4-5-1 所示。

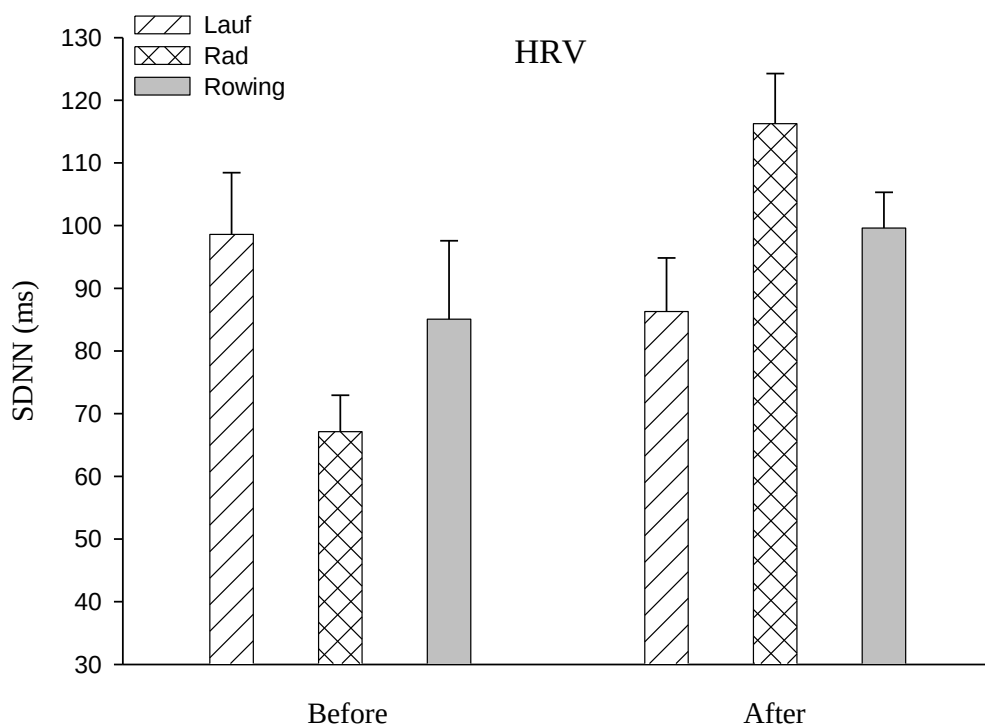


圖 4-5-1 運動前與運動後 HRV 平均值與標準差

第伍章 討論

本章節依據研究目的以及研究結果加以分析探討，並以下列各節分別討論：

第一節、不同訓練負荷分別對有氧與無氧閾值耐力之探討

第二節、不同訓練負荷分別於有氧能力與中間代謝產物排除速度之探討

第三節、不同訓練負荷分別於無氧能力與運動表現之探討

第四節、不同訓練負荷於 HRV 改善速度之探討

第一節 不同訓練負荷分別對有氧與無氧閾值耐力之探討

一、跑步機

研究結果分析顯示不同運動型態與短週期 (3 天) 訓練，對運動員的閾值耐力呈現不同的訓練效果。跑步機訓練結果顯示無氧閾值速度，在訓練前 (Pre-Tr) 與訓練後 (Post-Tr) 呈現下降趨勢 ($p>0.05$)。此現象顯示 3 天訓練的負荷劑量設定有誤，因此造成肌肉無氧能量路徑的效率下降。過去研究亦發現在訓練負荷劑量低於前一訓練週期強度，將來造成肌肉無氧能力退化 (Jang, Wang, Chen & Chan, 2011)。結果分析無氧閾值速度在 Pre-Tr 與 Post-Tr 差異 -0.4 m/s (表 4-1-1)，在統計上並未達顯著差異。這個速度下降的生理反應，是否會影響運動員的新陳代謝機能？在 Hollmann and Rost (1982) 的研究指出，競技運動訓練在每個訓練階段之間，運動員的生理機制受到多項因素 (營養、睡眠、家庭) 的影響。運動員對下降與改善的症狀，可以很快的進行調節，這也是訓練上的適應變

化。因此運動員的生理狀態起伏現象是屬於正常反應。

Hollmann et al. (1987) 研究指出運動員無氧閾值 4 mmol/l 速度標準值在 3.5 m/s，任何項目之運動員都必須具備這個能力，才能在競技運動上避免疲勞的堆積。本研究結果雖然在 Post-Tr 平均值只有達 3.2 m/s。與標準值差異 -0.2 m/s，現象顯示受試者的無氧能力，並達影響肌肉無氧路徑的機轉。過去研究發現運動員的基礎耐力 (4mmol/l) 在一個 2 週的訓練週期，並未獲得顯著改善的結果。但是運動員的專項快速耐力則呈現改善現象 (Jang, Wang, Chen & Chan, 2013)。

跑步機有氧閾值耐力在本結果分析呈現改善現象，這個反應機制主要在於訓練的負荷劑量。受試者在過去接受比較高的無氧性訓練，而缺乏比較低強度的練習方式。本研究設定的訓練負荷劑量，對受試者的負荷，未達高無氧的強度。因此受試者在有氧耐力的改善與適應是比較好的。Hollmann and Hettinger (2000) 指出運動訓練要達到好生理適應反應，唯有適合運動員的負荷劑量，才能達到最佳的訓練效果。

二、腳踏車

腳踏車訓練結果亦顯示無氧閾值速度，在訓練前後呈下降趨勢 ($p>0.05$)，此症狀顯示肌肉收縮循環功能，尚未在持續性階梯式負荷中呈現適應反應，腳踏車訓練強度為個人盡全力之最大負荷，為高強度間歇訓練方式，在負荷劑量高並且重複接受刺激狀況下，可以提升肌肉對於無氧能量代謝路徑適應，增加無氧醣酵解效率。但卻未反應在基礎閾值能力的提升，過去研究亦發現運動員的基礎耐力 (4mmol/l) 在 2 週的訓練週期，並未獲得顯著改善的結果。但是運動員的專項快速耐力則呈現改善現象 (Jang, Wang, Chen & Chan, 2013；楊仁傑，2012)。

有氧能力 (2mmol/l) 在腳踏車訓練中呈改善現象，過去研究 (MacDougall et al., 1998; Burgomaster et al., 2008) 指出高強度間歇訓練模式亦能改善肌肉有氧代謝能力，提升骨骼肌氧化酶活性，增加耐力表現，使有氧能力獲得改善。

三、划船測功儀

無氧能力在划船測功儀訓練前後呈現進步狀態，總完成時間較訓練前減少 1s，也表示在 200m 的划船中輸出功率上升，高強度衝刺間歇訓練可能使肌肉醣解酶及氧化酶的活性增加，導致最大短期動力輸出的上升，功率輸出的增加可能是最大醣解酶的活性和鈉鉀離子幫浦能力增加的結果 (MacDougall et al., 1998)，無氧能量代謝路徑產生適應因而使完成時間減少。

綜合上述三項分析結果顯示，腳踏車與划船測功儀訓練，對無氧閾值耐力能力的維持是比較好的訓練型態。

第二節 不同訓練負荷於有氧能力與中間代謝產物排除速度之探討

一、乳酸

(一) 跑步機

運動過程中乳酸的堆積與排除，會依個人有氧能力而有所差異，有氧能力越佳者乳酸排除速度越快 (Neumann, 1991)。Hollmann et al. (1987) 研究指出運動員有氧閾值 2 mmol/l 速度標準值在 2.8m/s，任何項目之運動員都必須具備這個能力，才能在競技運動上有較佳的恢復再生能力。本研究結果分析顯示在跑步機 3 天訓練後，受試者的有氧閾值耐力是呈現改善現象，由原來的 2.5 ± 0.8 m/s 增加至 2.9 ± 1.0 m/s。在連續 3 天訓練負荷中的 Tr-1 乳酸堆積濃度，在恢復期 E5 與 E15 平均值差異 -2.3 mmol/l ($p > 0.05$)，其排除速度為 0.23 mmol/l/min，Tr-3 排除速度則為 0.22 mmol/l/min。雖然在 3 天 HIIT 後有氧閾值能力呈現進步情形 ($+0.4$ m/s， $p < 0.05$)，但卻未對恢復期乳酸排除速度產生影響。Weicker and Strobel (1994) 指出間歇負荷造成疲勞堆積，堆積速度隨著負荷頻率增減。運動時的乳酸排除是依據有氧代謝轉換程度、乳酸濃度之因素有所影響。另一個因素在於肌肉對運動負荷的適應速度，這個因素主要在於肌肉在接受新的刺激，肌肉的收縮循環與用力方式，有別於過去訓練模式。恢復期乳酸排除速度受到三個條件影響，個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量 (Hollmann & Rost, 1982)

(二) 腳踏車

而在腳踏車 3 天訓練後，受試者的有氧閾值耐力呈改善現象。腳踏車連續 3 天訓練負荷中 Tr-1 乳酸排除速度為 0.32 mmol/l/min，Tr-3 排除速度則為 0.38 mmol/l/min，Neumann(1993) 提出競技運動員最大運動負荷結束後乳酸排除，依據須達到每分鐘 0.5mmol/l，雖仍未競技運動員水準，但於本研究中觀察到有氧閾值能力改善，且乳酸排除速度亦提升 ($+0.06$, $p < 0.05$)，Hollmann and Rost (1982)

提出恢復期乳酸排除速度受到個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量三個條件影響， Powers and Howley (2004) 談到，高強度間歇訓練主要目的是促進心血管的適應，包括心輸出量、氧氣運輸等。阻力型運動對於心臟與循環系統壓力的增加，讓身體需在極短的時間內產生適應，降低身體組織的缺氧，有氧能力的提升造成 Tr-3 乳酸排除速度上升。

(三) 划船機

在划船訓練上，Tr-1 與 Tr-3 的最大乳酸堆積皆出現在 E5，排除速度分別為 $0.31\text{mmol/l/min}^{-1}$ 及 $0.29\text{mmol/l/min}^{-1}$ ，Macleod and Donald (1993) 談到間歇運動負荷次數的增多，乳酸將隨之提高，而在 3 天 HIIT 中在 Tr-3 的運動強度又較 Tr-1 高，進行划船機訓練時，動用到的肌肉量較大，屬於全身性的運動，輸出功率也較高，所呈現出的乳酸濃度堆積也相對較高，而間歇負荷因組間休息時間較少的原因，造成乳酸的生成量仍高於排除的速度。

綜合上述分析結果顯示，短時間內提高有氧閾值耐力，對於乳酸排除速度能力的提升並不穩定，因為乳酸排除速度受到個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量三個條件影響，3 天 HIIT 負荷未足以讓其他兩項能力跟著提升，造成此不穩定現象。

二、血氨

在短時間高強度的運動負荷過程中，會造成血氨濃度快速上升，是由於人體對於 ATP (三磷酸腺苷) 的需求急遽增加，運動過程中，血氨主要是由嘌呤核苷酸循環 (Purine nucleotide cycle, PNC)，透過腺甘酸脫氫酶 (AMP deaminase) 的催化而產生 (Weicker, 1988)。

本研究結果顯示 (表 4-3-2)，隨著負荷次數增多，血氨濃度亦隨之上升，跑步機訓練 Tr-1 的 3x 血氨濃度顯著高於安靜值，但於 Tr-3 血氨上升幅度減少，表

示體內對於刺激的強度產生適應，運動過程中所需要的能量由無氧醣酵解及有氧能量路徑提供的比例增高，動用到較少蛋白質轉氨作用來生成能量，因此血氨值也隨之下降。在腳踏車與划船機 3 天 HIIT 中也發現相似情形。

而氨具有毒性，必須排除體外，人體會將這些氨和血中的二氧化碳結合，形成尿素並排出體外，此過程由尿素循環 (Urea cycle) 所完成。如表 4-3-2 顯示本研究在血氨的排除跑步機恢復期 E10，Tr-1 與 Tr-3 平均值差異 $+7.12$ ($p>0.05$) 腳踏車與划船測功儀恢復期 E10 於 Tr-1 與 Tr-3 平均值差異分別為 19.63 與 $19.63\mu\text{mol/l}$ ($p<0.05$)。

第三節 不同訓練負荷於無氧能力與運動表現之探討

一、跑步機

在跑步機 3 天訓練中，我們可以發現在相同強度與範圍之下 Tr-3 心跳率較 Tr-1 下降 (圖 4-4-1)。長期接受訓練刺激負荷者，經由較佳有氧能力，提升副交感神經調節心跳的能力 (De Meersman, 1992)，讓最大負荷心跳率下降。Hottenrott (1993) 指出，心跳率可用來判斷個體的訓練效果及承受負荷能力。Neumann and Berbalk (1990) 研究則指出依生物參數改善所需的時間最快的是心跳，以日為單位。在本實驗結果也顯示，心跳在 3 天就產生適應情形。

二、腳踏車

3 天的腳踏車訓練中，在固定瓦特數下，Tr-3 踩踏的轉速 (RPM) 上升，心跳率下降 (如圖 4-4-2)，負荷劑量的改變造成生理平衡受到干擾，此現象反應在體循環與新陳代謝的壓力，張嘉澤 (2008) 指出，當身體接受訓練時，人體的器

官與組織即開始進入調整階段，器官為了應付各種不同的刺激所需的能量消耗，而隨著訓練負荷的增強而增加活性。因器官組織對於訓練產生的適應顯現，因此由本研究結果可以看到肌肉對於此收縮反應機制產生適應，因而能有更高強度的表現，在體循環壓力也較 Tr-1 小，因此心跳率亦呈現下降情形。

三、划船機

研究結果如圖 4-4-3，訓練的第 3 天較第 1 天運動表現上升 Tr-1 與 Tr-3 最大輸出功率分別為 532.2 ± 75.7 、 512.2 ± 83.4 watt，但心跳率呈現上升情形，在急性負荷下呼吸頻率與節奏改變致使心跳率上升。因高強度間歇負荷使體循環壓力上升，體循環系統主要在於進行養分運輸與血液氣體交換，當心跳率達到 95%最大負荷時，心循環系統呈現極大壓力，因而造成身體組織缺氧(Engelhardt, & Neumann, 1994)，力量輸出的增加也導致心跳率上升。

第四節 不同訓練負荷於 HRV 改善速度之探討

研究結果如圖 4-5-1，跑步機訓練 HRV 並未呈現改善，肌肉接受新的刺激，有別於過去訓練模式，因此對運動負荷的適應較為緩慢。而當進行高強度運動時，會因為運動強度上升，逐漸使交感與副交感神經系統活化發生改變，此時的自律神經系統會增加心臟幫浦運作速率，將提供攜帶氧氣的血液輸送至活動的肌肉中，造成心跳率提升，對心率變異度的亦未呈現改變的情形。

Pichot et al. (2000) 提出高強度訓練可改變心臟自律神經的平衡狀態，而使交感神經的活性高於副交感神經之活性。腳踏車及划船測功儀在三天高強度訓練前後 HRV 都呈現正向的改變，腳踏車與划船機皆屬阻力型運動模式，因此由本研究結果可以看到肌肉對於此種收縮反應機制產生適應，器官組織對於此訓練產生的適應顯現，因而能有更高強度的表現，在體循環壓力也較 Tr-1 小，因此心跳率呈現下降情形。高強度間歇訓練能讓心血管自主神經調控呈現正適應 (Felber Dietrich et al., 2008)，心率變異度皆較訓練前上升，代表副交感神經的撤離延遲，活性增加。

短時間內欲改善心率變異度，可以選擇阻力型的運動模式，來做為訓練階段應用的參考方式。

第陸章 結論

訓練過程中由於訓練階段劃分的不同，欲在不同的訓練階段能更有時效性的加強不同的能力時，可用來當作參考。

一、腳踏車與划船測功儀訓練，對無氧閾值耐力能力的維持是比較好的訓練型態。

二、短時間內提高有氧閾值耐力，對於乳酸排除速度能力的提升並不穩定，因為乳酸排除速度受到個人有氧閾值耐力、肌肉細胞粒線體數量與肌肉周邊微血管數量 3 個條件影響，3 天 HIIT 負荷未足以讓其他兩項能力跟著提升，造成此不穩定現象。

三、短時間內欲改善心率變異度，可以選擇阻力型的運動模式，來做為訓練階段的參考方式。

參考文獻

英文部分：

- Bauman, A. E., & Rissel, C. (2009). Cycling and health: an opportunity for positive change. *Medical journal of Australia*, 190(7), 347-348.
- Buono, M. J., Clancy, T. R., & Cook, J. R. (1984). *Blood lactate and ammonium ion accumulation during graded exercise in humans* (Vol. 57).
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. F., & Gibala, M. J. (2006). *Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance* (Vol. 100).
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiology*, 586(1), 151-160.
- Carter, J., Banister, E., & Blaber, A. (2003). Effect of Endurance Exercise on Autonomic Control of Heart Rate. *Sports Medicine*, 33(1), 33-46.
- Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-Rate Recovery Immediately after Exercise as a Predictor of Mortality. *New England Journal of Medicine*, 341(18), 1351-1357.
- De Meersman, R. E. (1992). Respiratory sinus arrhythmia alteration following training in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(5), 434-436.
- Driller, M. W., Fell, J. W., Gregory, J. R., Shing, C. M., & Williams, A. D. (2009). The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 110-121.

- Dudley, G.A., Staron, R.S., Murray, T.F., Hagerman, F.C., & A. Luginbuhl. (1983). *Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans* (Vol. 54).
- Edge, J., Bishop, D., & Goodman, C. (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol*, 96(1), 97-105.
- Felber Dietrich, D., Ackermann-Liebrich, U., Schindler, C., Barthelemy, J. C., Brandli, O., Gold, D. R., . . . Gaspoz, J. M. (2008). Effect of physical activity on heart rate variability in normal weight, overweight and obese subjects. *Eur J Appl Physiol*, 104(3), 557-565.
- Fronchetti, L., Nakamura, F. Y., De-Oliveira, F. R., Lima-Silva, A. E., & Lima, J. (2007). Effects of high-intensity interval training on heart rate variability during exercise. *J Exerc Physiol Online*, 10, 1-9.
- Hollmann, H., Schürch, P., Heck, H., Liesen, H., Mader, A., Rost, R., & Hollmann, W. (1987). Kardiopulmonale Reaktionen und aerob-anaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Dtsch. Z. Sportmed*, 38(1), 166.
- Hargreaves, M., McKenna, M. J., Jenkins, D. G., Warmington, S. A., Li, J. L., Snow, R. J., & Febbraio, M. A. (1998). *Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise* (Vol. 84).
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*.: Hofmann.
- Hollmann, H., Schürch, P., Heck, H., Liesen, H., Mader, A., Rost, R., & Hollmann, W. (1987). Kardiopulmonale Reaktionen und aerob-anaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Dtsch. Z. Sportmed*, 38(1), 166.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin; mit 101 Tabellen*: Schattauer.

- Hollmann, W., & Rost, R. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. *Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren*, 120-126.
- Hottenrott, K. (1993). *Trainingssteuerung im Ausdauersport: Theorien-Untersuchungen-Beispiele*: Czwalina.
- Ishida, R., & Okada, M. (1997). Spectrum analysis of heart rate variability for the assessment of training effects. *Rinsho byori. The Japanese journal of clinical pathology*, 45(7), 685-688.
- Jakeman, J., Adamson, S., & Babraj, J. (2012). Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(5), 976-981.
- Jang, J.T., Chan, Y.S., Chen, C.H., & Wan, Y. (2011). Auswirkungen von zwei unterschiedlichen hochintensiven Trainingsmodellen auf jugendliche Sprint-Athleten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62(237), 7-8.
- Juul Achten., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate Monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.
- Lu, W.-A., & Kuo, C.-D. (2003). The effect of Tai Chi Chuan on the autonomic nervous modulation in older persons. *Med Sci Sports Exerc*, 35(12), 1972-1976.
- MacDougall, J.D., Hicks, A.L., MacDonald, J.R., McKelvie, R.S., Green, H.J., & Smith, K. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of applied physiology*, 84(6), 2138-2142.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Rouillon, J.-D., & Regnard, J. (2004). Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 79-87. doi: 10.1007/s00421-003-0917-0

- Neumann, G. (1991). Zur Leistungsstruktur der Kurz-und Mittelzeitausdauer-Sportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport*, 21, 29-32.
- Neumann, G., & Berbalk, A. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. *Das gross Buch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag*, 222-223.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J.-M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., . . . Barthelemy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 32(10), 1729-1736.
- Powers, S.K., & Howley, E. (2004). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*: McGraw-Hill
- Puig, J., Freitas, J., Carvalho, M. J., Puga, N., Ramos, J., Fernandes, P., . . . de Freitas, A. F. (1993). Spectral analysis of heart rate variability in athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 33(1), 44-48.
- Roberts, A., Billeter, R., & Howald, H. (1982). Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *International journal of sports medicine*, 3(01), 18-21.
- Sahlin, K., Harris, R. C., Nylin, B., & Hultman, E. (1976). Lactate content and pH in muscle samples obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv*, 367(2), 143-149.
- Schabort, E., Hawley, J., Hopkins, W., & Blum, H. (1999). High reliability of performance of well-trained rowers on a rowing ergometer. *J Sports Sci*, 17(8), 627-632.
- Sewell, D.A., Gleeson, M., Blannin, A.K. (1994). Hyperammonaemia in relation to high-intensity exercise duration in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(4), 350-354.

- Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). *Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women* (Vol. 102).
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (1992). Biochemical Monitoring of Training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2(1), 52-61.
- Weicker, H. (1988). Purinnukleotidzyklus und muskuläre Ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed*, 39(5), 172-188.
- Weicker, H., & Strobel, G. (1994). *Sportmedizin: biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung; 27 Tabellen*: Fischer.
- Yoshiga, C. C., Higuchi, M., & Oka, J. (2002). Rowing prevents muscle wasting in older men. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2), 1-4.

中文部分：

何正峰、李文志、王錠堯 (2008)。兩週不同型態跑步訓練對有氧及無氧耐力之影響。 *運動生理暨體能學報*，8， 81-89。

吳汶蘭、張志仲、郭藍遠、林槐庭、陳勝凱 (2008)。相同心跳率強度下不同運動模式之運動後過攝氧量比較。 *物理治療*， 33(2)， 87-93。

林佳皇 (2006)。腳踏車運動對高中甲組籃球運動員心率變異度之效應。 撰者。

林順萍、黃國禎、陳俊忠、郭博昭 (2006)。太極拳運動對心臟血管機能之影響。 *中華技術學院學報* (34)， 389-397。

邱奕棠 (2011)。五天低氧訓練對徑賽選手體循環與新陳代謝之影響。(碩士)，國立體育大學。

張嘉澤 (2008)。訓練學。台北縣林口鄉：台灣運動能力診斷協會。

葉明春、呂欣善、張嘉澤 (2006)。無氧閾值強度對男子中長跑項目訓練之效應。 *大專體育學術專刊* (95 年度)， 494-498。

蕭敬衡、張嘉澤 (2013)。急性高強度間歇訓練對街舞 Breaking 選手專項心跳率，血乳酸之影響-個案研究。