

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

單次不同運動型態 HIIT 負荷對心跳率調節與
肌肉能量路徑之效果

**EffectsofDifferent Exercise HIIT Load
HeartRate Adjustment and Muscle Energy
Metabolism**

指導教授：張嘉澤 博士

研 究 生：梁嘉華 撰

中華民國 108 年 6 月



國立體育大學
National Taiwan Sport University

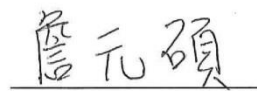
本論文：單次不同運動型態 HIIT 負荷對心跳率調節與肌肉能量路徑之效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生 梁嘉華 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

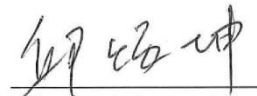
中華民國 108 年 5 月

論文考試委員



詹 元 碩

國立台北教育大學教授



邱 炳 坤

國立體育大學教授



張 嘉 澤

國立體育大學助理教授
(本論文指導教授)

單次不同運動型態 HIIT 負荷對心跳率調節與肌肉 能量路徑之效果

摘要

研究背景與目的：運動員在面對高節奏的競技比賽，在每次的進攻與防守之間的短暫間歇。心臟壓縮能夠得到舒緩，將可提高運動員的比賽的續航力。因此，本研究目的旨在探討 HIIT 運動型態對體循環與新陳代謝壓力之影響。

方法：8 位體育系男性學生，年齡 25.38 ± 4.69 歲，身高 172.44 ± 4.92 公分，體重 68.25 ± 5.40 公斤。本研究實驗分為三天訓練。第一天 (Tr-1) 與第三天 (Tr-3) 訓練相同，以跑步機進行 $2 \times 3 \times 60s$ 運動。運動強度則以個人最後一階 + $0.3m/s$ 速度作為指標。第二天訓練則為三種運動組合模式，包含跑步機、腳踏車測功儀與划船測功儀等三項運動型態，跑步機坡度 6° 強度 $4mmol/l$ 速度持續 $4min$ 、划船機 $1 \times 300m$ (個人最大努力)、腳踏車 $4mmol/l$ 速度持續 $3min$ 。每項運動之間間歇 $90s$ 。

結果：在第一次訓練 (Tr-1) 心跳率平均值為 $167 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ (1x)，第二次訓練 (Tr-3) 心跳率平均值則為 $155 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ (1x)，兩次差異 12 min^{-1} ($p < 0.05$)。心跳率在 Tr-1 與 Tr-3 第六次 (6x) 運動平均值分別為 $183 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ 、 $177 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ($p > 0.05$)。恢復期第三分鐘 (E3) 兩次測試平均值為 $120 \pm 17 \text{ min}^{-1}$ (Tr-1)、 $109 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ (Tr-3)，兩次平均值差異 11 min^{-1} ($p > 0.05$)。Tr-3 訓練中的乳酸堆積在間歇跑第三次 (3x) 與第六次 (6x) 都比 Tr-1 呈現下降 3x、6x 前後差異為 -0.98 mmol/l 、 -1.17 mmol/l ($P < 0.05$)。

結論：研究結果分析發現，在 Tr-3 訓練達到降低心臟壓縮壓力。因此，建議在專項期可以應用此運動訓練模式，降低運動員最大負荷心跳率。

關鍵詞：高強度間歇訓練、短週期調整、心跳率調節

Effects of Different Exercise HIIT Load Heart Rate Adjustment and Muscle Energy Metabolism

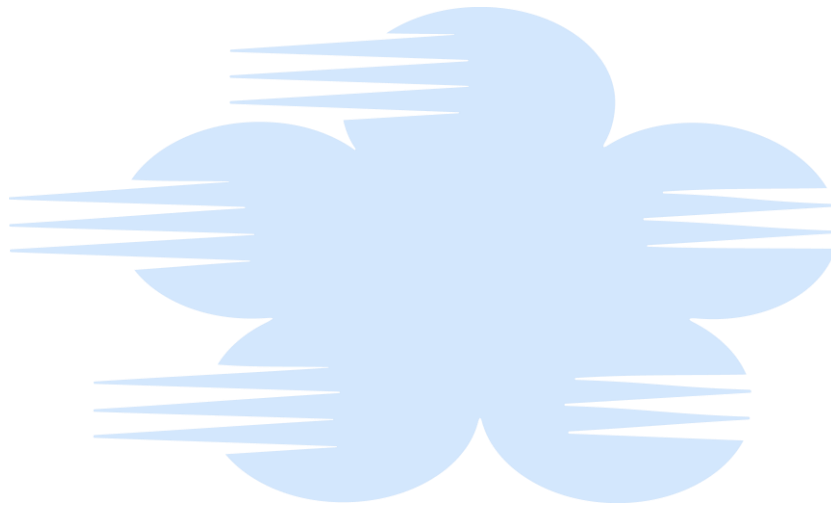
Abstract

Purpose: Athletes stand up to high-temp competitive game, with a short pause between each offense and defense. Cardiac compression can be soothed and will improve the athlete's endurance. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effects of HIIT exercise patterns on systemic circulation and metabolic stress. **Method:** 8 sports male students. Age 25.38 ± 4.69 years old, height 172.44 ± 4.92 cm, weight 68.25 ± 5.40 kg. The first day (Tr-1) is the same as the third day (Tr-3) training, with treadmill for $2 \times 3 \times 60$ s. The exercise intensity is measured by the individual's last-order $+0.3$ m/s speed. The next day of training is a combination of three sports modes, including treadmill, bicycle dynamometer and rowing dynamometer. The treadmill is uphill 6° 4min (4 mmol/l) and rowing 1×300 m (personal maximum) Efforts, the bicycle lasted 3 minutes (4 mmol/l). Intermittent 90s between each exercise. **Result:** The first training (Tr-1), the average heart rate was 167 ± 8 min⁻¹ (1x), and the second training (Tr-3) hopping average was 155 ± 8 min⁻¹ (1x). Two differences 12 min⁻¹ ($p < 0.05$). The heart rate was 183 ± 7 min⁻¹ and 177 ± 8 min⁻¹ ($p > 0.05$) in the sixth (6x) motion of Tr-1 and Tr-3, respectively. The third minute of recovery period (E3) The average of two tests was 120 ± 17 min⁻¹ (Tr-1), 109 ± 13 min⁻¹ (Tr-3), and the difference between the two averages was 11 min⁻¹ ($p > 0.05$). The lactic acid accumulation in Tr-3 training was the third time (3x)

and the sixth time (6x) in the interval, and the difference was Tr-1, and the difference was -0.98mmol/l, -1.17mmol/l ($P<0.05$).

Conclusion: Combined exercise training reduces the compression pressure of the heart. Therefore, it is recommended that this exercise training mode be applied during the special period to reduce the maximum load heart rate of the athlete.

Keywords: High-intensity interval training, short-cycle adjustment, heart rate adjustment



謝誌

兩年的碩士學習生活一下就到尾聲，從工作職場轉到了全職的學生後，才真正發現自己想要的是什麼與原來自己在訓練上還是有很多必須再努力加強，首先至上真摯感謝的是我的指導老師-張嘉澤博士。老師除了教導我們如何成為一位優秀與專業的教練外，也時常告誡在做人處事上的態度，要嚴於律己，寬以待人，很謝謝老師這些日子來的耳提面命諄諄教誨。

然而回到了學校念書，也很慶幸自己能夠加入 SPDI 實驗室的一份子，並感恩這些日子來實驗室的每位夥伴，俊霖、昱中、德盛、松潛、奕晴、寶潤、皓程、聖庭、卓賢、庭羽、淑婷、彥宇、孟展、逸哲、湘婷、筑筠、惠瑩、閔勳、富康、昭閔、子瑄不管在專業上的傾囊相授與日常生活的照顧和鼓勵，讓我在這兩年的碩士生涯添加了許多驚喜與樂趣，論完的期間也非常感謝參與實驗的受試者辛苦完成了實驗，使本論文實驗得以順利完成，謝謝你們。

另外也非常感謝邱炳坤校長與詹元碩教授給予本論文完成的過程中許多的建議，使得論文更加完整與豐富。最後也要感謝我的父母親，在我覺得惶恐不安時，不斷的鼓勵我與支持，總是告訴我：要做就做最好，不然就不要做。然而句話也成為我時常激勵自己的座右銘，在此與你們分享這份的榮耀，謝謝你們。

梁嘉華謹識

目錄

中文

摘要	I
Abstract	II
謝誌	IV
目錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
名詞縮寫對照表	IX
第壹章緒論	1
第一節研究背景與動機	1
第二節研究目的	3
第三節名詞解釋	4
第貳章文獻探討	5
第一節 HIIT 運動負荷模式	5
第二節急性運動生理反應	7
(HR、La、NH ₃) 之探討	7
第三節組合式運動負荷模式之探討	12
第四節無氧閾值能力	15
第五節文獻總結	17
第參章研究方法與步驟	18
第一節研究對象	18
第二節試驗時間與地點	19

第三節試驗儀器與設備	20
第四節實驗設計	24
第五節資料處理	31
第肆章結果與討論	32
第一節三天 HIIT 間歇跑心跳率與乳酸、血氨之效果	33
第二節不同運動型態組合 HIIT 負荷對心跳率、乳酸之關係	42
第三節三天高強度與組合訓練數據總表	45
結論與建議	48
參考文獻	49
附錄	57



表目錄

表 2-1-0 HIIT 短期訓練效果相關研究.....	7
表 2-1-1 短時間與長時間負荷肌肉能量反應狀.....	11
表 2-1-2 受試者基本資料.....	18
表 2-1-3 有氧與無氧閾值測試方式 (Mader et al., 1976).....	24
表 2-1-4 腳踏車階梯式測試方式 (Hollmann et al., 1982).....	25
表 2-1-5 間歇與三項運動負荷測試紀錄參數.....	27
表 2-1-6 前測 (Tr1) 與後測 (Tr-2) 血液測試採集時間.....	27
表 2-1-7 (1 天) 單次三項運動組合測試血液採集時間.....	28
表 4-1-1 Tr-1 與 Tr-3 心跳率參數整理.....	33
表 4-1-2 Tr-1 與 Tr-3 血乳酸整理.....	34
表 4-1-3 Tr-1 與 Tr-3 間歇與恢復期血氨整理.....	34
表 4-1-4 三項組合血乳酸、血氨、心跳率整理分析.....	35

圖目錄

圖 3-0 Mader et al. (1976) 乳酸閾值曲線.....	16
圖 3-1 高速跑步機 High Speed Treadmill.....	20
圖 3-2 心率偵測器 i-Hear.....	21
圖 3-3 划船測功儀 (Concept2).....	21
圖 3-4 EFK 德國製血糖乳酸分析儀.....	22
圖 3-5 血氨測定儀.....	22
圖 3-6 高功率踏車功率器 (cyclus2).....	23
圖 3-7 跑步機 HIIT 測試流程圖.....	26
圖 3-8 實驗程序與步驟流程圖.....	29
圖 3-9 實施流程圖.....	30
圖 4-2-1 Tr-1 與 Tr-3 低速度期心跳率之差異.....	35
圖 4-2-2 Tr-1 與 Tr-3 高速度期心跳率之差異.....	35
圖 4-2-3 Tr-1 與 Tr-3 恢復期心跳率比較.....	37
圖 4-2-4 Tr-1 與 Tr-3 運動中與結束後乳酸之差異.....	39
圖 4-2-5 Tr-1 與 Tr-3 運動中與結束後血氨之差異.....	41
圖 4-2-6 Tr-2 三項組合間歇期、恢復期心跳率與乳酸之分析.....	43

名詞縮寫對照表

英文	縮寫	中文
adenosine dephosphate	ADP	腺苷二霖酸
adenosine triphosphate	ATP	腺苷三磷酸
alanine aminotransferase,	ALT	穀丙轉氨酶
alanine monophosphate	AMP	單磷酸腺苷
centimeter	cm	公分
difference	Diff	差異
End of the first minute to seven minute	E1~E7	第一分鐘到第七 分鐘
Heart Rate	HR	心跳率
inosine monophosphate	IMP	肌核苷
kilogram	kg	公斤
lactate	La	乳酸
lactate dehydrogenase	LDH	乳酸脫氫酶
maximum	max	最大值
mean	M	平均數
Meters per second	m/s	公尺/秒
millimol per liter	mmol/l	微毫升
minimum	min	最小值
monocarboxylate transporter	MCT	單羧酸轉運蛋白

ammonia	NH ₃	血氨
phosphate	Pi	磷酸根
purine nucleotide cycle	PNC	嘌呤核苷酸循環
second	s	秒
Standard deviation	SD	標準差
Velocity of 2 millimol perliter	V2	2 莫耳速度
Velocity of 4 millimol perliter	V4	4 莫耳速度
velocity	V	速度(率)
year	yr	年齡(數)

第壹章緒論

第一節研究背景與動機

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，高競技比賽的要求，訓練方式也隨之變化。

運動訓練是通過培養運動員的體能、技能、戰術和心智來創造最佳運動成績的過程 (Harre,1982)。訓練目標極富探索性，其中含有積極的意味。訓練是通過對已知生物力學、生理學、心理學等相關知識探索，幫助運動員獲得更高的運動水平。教練和運動員對訓練原則與運動表現的探索，是為了將運動員的天賦和科學訓練結合起來，不斷創造好成績。

競技運動訓練不是單一動作模式進行，而是由多項的身體活動組合而成。因此，身體組織與器官必須能夠及時對刺激的反應，做出調節與適應的機制。避免身體運動時，因缺氧的關係造成運動能力下降。

運動員在面對高節奏的競技比賽，在每次的進攻與防守之間的短暫間歇。心臟壓縮能夠得到舒緩，將可以減輕心臟的壓力。急性的運動刺激，因身體組織與腦進行調節作用，可以快速的對刺激負荷產生反應，產生訓練效果。這個現象在過去的研究也發現，進行急性的運動刺激，瞬間提高左心室的壓縮增加血液動力。促使肌肉周邊微血管會急速收縮，增加組織的血容量與工作肌群的含氧量。另一調節機制來自運動員本身的訓練效果，這個現象呈現心臟的每跳輸出量增加。因此體循環的壓力下將，在高負荷劑量運動中，呈現低的心跳率 (Krüger et al., 2015)。

近年來訓練的趨勢也受比賽制度的改變，使的比賽節奏也越來越快。為了模擬比賽節奏方式和訓練上的經濟效益，並發展出許多短時間高強度間歇訓練

並能同時增進心肺功能、增加粒線體密度、提升運動表現，更重要能縮短訓練上的時間。

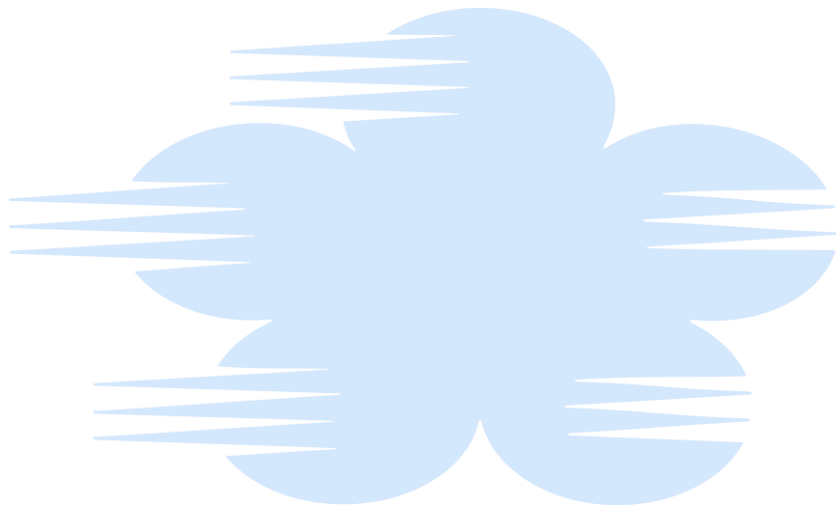
反應在體循環與新陳代謝的壓力，在運動過程中此兩項能力的變化可看出個人承受負荷的情況，其中以心跳率最能直接顯現出運動員體循環的能力，而新陳代謝的部分則反應在血乳酸的改變 (Hottenrott, 1993)。

Neumann (1990) 指出，在所有器官組織中，因外來的負荷刺激而最快產生適應的為心跳率的調節，以天為單位，其次是血液乳酸堆積以及排除的能力，以週為單，至於身體其它組織的功能適應，有些則是需要比較長的時間。但是，在 HIIT 短暫運動負荷的間歇期，心臟的調節機制與肌肉無氧的代謝，是否也可以快速的產生適應？目前，甚少文獻探討

因此本研究希望藉由三項不同運動模式組合負荷型態模式，來發現最佳改變肌肉無氧路徑與提高體循環之方式，找出在三種運動負荷之下哪種方式能較快速提升有氧、無氧能力、提高體循環功能。

第二節研究目的

- 一、探討不同運動型態組合 **HIIT** 負荷對間歇期心跳率調節之效果。
- 二、探討不同運動型態組合 **HIIT** 負荷對肌肉無氧代謝路徑調節機制之效果。



第三節名詞解釋

一、高強度間歇訓練：

意思是高強度間歇訓練法，是一種在短時間內進行全力、快速、爆發式鍛煉的一種訓練方法。這種訓練方法在短期內心率提高並且燃燒更多熱量，使得身體對氧氣的需求增加，並且製造缺氧狀態，導致你的身體在恢復期間需要更多氧氣。用來練習心肺功能，衝擊速度，配合其他訓練減脂效果明顯。所謂高強度間歇運動就是在高強度運動之間穿插低強度運動或是短暫休息，這是一種有氧和無氧運動相結合的訓練方式。

二、閾值耐力：

閾值耐力可分成有氧耐力與無氧耐力兩種，在任何的身體活動時血乳酸推積小於 2mmol/l ，可判斷為有氧能耐力，若身體的活動造成血酸濃度大於 4mmol/l ，則為無氧耐力。

三、組合訓練：

組合式訓練動作，就是指原本只能練到一個部位的動作，經過與另一個動作結合，使一個動作變成可以練到多個部位，這樣就大大的增強了訓練的立體性和訓練效果。

第貳章文獻探討

第一節 HIIT 運動負荷模式

高強度間歇訓練所執行的時間顯著低於傳統長時間耐力訓練，並且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、肝糖使用率和乳酸生產速率降低、末梢血管結構和功能的增強、運動表現的提高以及最大攝氧量的增加 (Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J., 2008)。

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)。

HIIT 細胞轉入機制：HIIT 增加→活化 AMPK、p38MAPK→PGC-1 α 增加→粒線體基因的轉錄→粒線體蛋白的累積→推動粒線體生物合成 (Norrbon et al. 2004; Egan et al. 2010)。這個機制將影響肌肉無氧代謝的路徑，特別是 PGC-1 α 的增加，將提升肌肉的合成與粒線體的數量。另一機制在缺氧過程，將產生 HIF-1 α 因子誘導 EPO 與 VEGF (Heinicke et al., 2002)。

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。無氧性運動負荷，產生許多無氧壓力症狀，然而無氧的能量代謝除了進入丙酮酸循環，產生乳酸外。同時在另一個路徑進入 PFK、的 PGC-1 α 、MCT、IGFI-1 路徑，形成一種訓練效果，產生保護機制近代研究發現以急性低量

Wingate-base HIT 會在運動後三小時增加數倍的 PGC-1 α RNA (Gibala et al., 2009; Little et al., 2011)。

表 2-1-0 HIIT 短期訓練效果相關研究

作者年代	受試者人數	測試方式	效果
田剛 (2017)	7 名大專射箭選手	划船測功儀，4 x 200 m， Level 4	安靜心跳率是呈現 下降改善
蕭婉柔 (2015)	8 名大專體育學生	D1-run HIIT D2-Bicycle HIIT D3-Rowing HIIT	心跳率呈現下降
吳杰銘 (2015)	1 位大專甲組田徑 選手	三天 HIIT 間歇跑	後測心跳率均呈現 下降
Schaun & Del (2018)	12 名年輕成年男 性	身徒手力量以及腳踏車 測功儀組合	訓練一天兩種模式 降低心跳率
Wang , Smth , & Jang (2009)	6 位 400m 田徑選 手	三天跑步 HIIT 90%	第三天訓練乳酸明 顯低於第一天
Talanian (2007)	8 名女性健康女性	Bicycle-90%Vo2peak 持續 4min、組休 2min 共 7 次	五天高強度間歇跑 趟間心跳率達顯著 下降
Laursen, Blanchard, & Jenkins (2002)	14 名男性騎自行 車選手	一週高強度腳踏車訓練	最大輸出功率上升 閾值速度進步疲勞 恢復速度較快

第二節急性運動生理反應

(HR、La、NH₃)之探討

一、心跳率 (HR)

運動中心跳率的變化，是反應身體對運動強度的調節機制症狀。身體對運動負荷的適應，也同時反映在體循環心跳率的改變。透過安靜心跳率與運動負荷心跳率觀察，可以判斷身體組織對運動強度的適應症狀反應，以心跳率作為運動強度指標。

心跳率也會隨著年齡、溫度、神經系統、情緒、運動時間、運動強度等改變 (Gappmaier, 2002)。心臟的訓練適應現象，是運動的效果，產生在生理與慢性的適應機制 (Dickhuth et al., 2007)：

- (1) 包含心臟跳動的節奏功能。
- (2) 與減少壓縮力量，節約耗能提高效率。

運動中的心臟功能，因運動強度與持續時間的關係，增加了心跳率與每跳輸出量。這個功能的變化，是依據年齡、性別與運動習慣，有所差異。心臟輸出量 (Cardiac output) 則會受到左心室舒張與收縮期的壓力，以及周邊組織與器官的順應性的影響。在運動過程中除了肌肉的收縮能力外，心臟對於血液的輸送能力，支撐運動表現的重要基礎，運動過程中為了能供給作用肌群足夠的血液量，將會增加心跳率上升，提高心臟的工作負擔，若此時若無良好的心臟壓縮機轉，此時有可能讓選手提早產生衰竭的現象 (Thomas, Baechle & Roger, 2000)。

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。

Urhausen et al (2000) 提出力量耐力訓練對心跳率之影響：

- (1) 增加左心室厚度
- (2) 提高血液動力
- (3) 增加肌肉周邊微血管數量
- (4) 降低安靜與最大負荷心跳率

因運動訓練型態造成心臟結構的不同，在 (Kindermann, 2000) 的調查分析發現，划船 (Rowing) 運動員與公路自由車選手具有高厚心壁特徵，而馬拉松選手則未呈現厚心壁現象。

運動員的心臟特徵在於結構與容量 (Kindermann et al., 2003)：

- 1.力量型運動員 900 ml (心壁厚)
- 2.耐力型運動員 1000 ml (心室腔大)

田剛 (2017) 以 7 名射箭選手，進行三天 HIIT 划船 (4x200m) 訓練，射箭選手射箭時安靜心跳率呈現下降。

監控心跳率訓練上，在於它基於一個毫不間斷，隨時都可以呈現反應身體所承受壓力的系統上 (即心血管系統)。從訓練與比賽的觀點來看，它能夠及時且持續提供訓練與比賽過程中和恢復期身體承受的壓力、訓練強度以及心率調整等整體的實際身體狀況，由於測量容易並取得方便，固運用在訓練上被廣泛使用。

二、乳酸 (La)

運動時，乳酸是骨骼肌細胞中的糖原或葡萄糖無氧代謝的產物，通過擴散進入血液。血乳酸濃度主要取決於乳酸在血液中的出現速率和它從血液中消除速率之間的動態平衡。

在運動時肝糖將分解為葡萄糖並產生能量供給身體所需，而運動中所產生的乳酸會出現在血液中，主要因素在於當葡萄糖分解後所產生過多的丙酮酸時，超出粒線體內進行克勞勃循環中(Krebs cycles) 產生能量需求時，就會形成乳酸並滲透到血液中 (Brooks, G. A., Fahey, T. D., White, T. P., & Baldwin, K. M., 2000)。

骨骼肌和心肌對乳酸的釋放和攝取依賴於一種特殊的乳酸轉運蛋白，為單羧酸轉運蛋白 (monocarboxylate transporters, MCT)。目前已經確認的 MCT 有 8 種，其中骨骼肌中 MCT 的為 MCT1 和 MCT4，心肌中的 MCT 為 MCT1 心肌中的。MCT 轉運乳酸和 H^+ ，有助於維持運動過程中肌肉內的 pH 平衡 (Brooks, G. A., 2000)。

近代研究發現 (Thomas et al., 2011)急性運動後會在運動開始後 24 小時內改變人體 MCT 含量。急性運動後 MCT 蛋白的調節是複雜的，因為在 mRNA 編碼和蛋白水平的變化之間沒有一致性。一般來說，運動會使 MCT1 比 MCT4 的內容增加更多。在研究發現上，強度似乎是調節運動引起的 MCT 含量變化的最重要因素。已經證明了通過誘導乳酸水平升高的各種刺激 (運動，缺氧，營養，代謝擾動) 調節骨骼肌 MCT1 和 MCT4 含量增加。

Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., & Bangsbo, J. (1999). 以 7 名成年男性，進行 8 週高強度訓練，發現提高人體骨骼肌中 MCT1 與 MCT4 運輸能力。

Bickham, D. C., Bentley, D. J., Le Rossignol, P. F., & Cameron-Smith, D. (2006)以 7 名耐力性運動員，進行 6 週短距離衝刺訓練，提升 MCT1 蛋白增加。

Neumann and Berbalk (1990) 指出血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。

運動中的血乳酸堆積與排除能力效率，會是依據個人的有氧能力有所不同，有氧能力越高者，血乳酸排除速度就越快 (Neumann, G. 1991)。

Hollmann et al. (1986) 指出，耐力訓練 (持續、持續速度變換、間歇) 主要效果在於提升體循環與新陳代謝的能力。其機轉在於每跳心輸出量、每分鐘容積的提升以及改善粒線體內酵素活性等因素所致。

Zintel (1994)，經專項耐力訓練，可提升 PFK 活性，運動員可以承受較高程度之負荷。相對的使乳酸堆積下降與運動結束後排除速度提升。

黃翊婷 (2018)，運用三天 HIIT 急性訓練，快速改善柔道選手肌肉能量代謝，使後測乳酸降低。

三、血氨 (NH₃)

運動中體內的血氨主要來自以下路徑：(1) 嘌呤核苷酸循環中 AMP 脫氨，短時間高強度的力竭運動中，ATP 的利用速率超過氧化磷酸化及糖酵解產生 ATP 的能力時，儲備的 CP 經肌酸激酶催化生成 ATP 以維持其濃度，當 CP 濃度減少而 ADP 濃度升高時，便會發生如下反應： $2ADP \rightarrow ATP + AMP$ ，而 ADP 視腺苷酸脫氨酶最有效的激活劑，故肌肉腺苷酸脫氨酶活性增加，加速如下反應的發生： $AMP + H_2O \rightarrow IMP + NH_3$ ，使血氨升高 (2) 長時間力竭性運動骨骼肌氨的產生主要與骨骼肌由於能量供應的需要而大量攝取支鏈胺基酸有關 (3) 單氨類神經遞質，如兒茶酚胺、5-羥色胺等，在單胺氧化酶催化下脫胺，此外，運動導致血流的再分配，使流過肝、腎的血量減少，肝臟通過合成尿素解胺毒和腎臟攝取排泄氨減少也促使了血氨的升高。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。

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， NH_3 產生大於慢縮肌纖維較多者

Dudley, G. A., Staron, R. S., Murray, T. F., Hagerman, F. C., & Luginbuhl, A. (1983) 在短時間激烈運動和長時間運動都會引起高血氨，現有的研究表示，使血氨增高的臨界運動強度為 60%~70% $\text{VO}_{2\text{max}}$ ，當運動強度高過該臨界強度時，血氨濃度隨運動強度的增加而大幅度升高 (Sewel, D. A et al., 1994)。長時間力竭性運動過程中，骨骼肌產生氨持續增加，運動時間與氨的產生有顯著關係。

血氨的測定可以實際應用於運動中強度負荷的監測、訓練效果評估等。血氨的堆積增加將會影響動作的協調性及技術控制能力，短時間高強度的運動，將使血氨值升高此反應了身體無氧能量系統失衡，將會造成肌肉能量代謝受到失衡，因此產生疲勞。由上述得知，血氨可作為運動負荷強度的參考指標。

表 2-1-1 短時間與長時間負荷肌肉能量反應症狀

	運動型態	生理參數	能量反應症狀
1	短時間高強負荷	La、 NH_3 濃度上升	同時以碳水化合物與蛋白質作為能量來源。 主要在於負荷強度太高，必須動用蛋白質進行能量應。
2	長時間低強度負荷	低 La 堆積， NH_3 濃度上升	肌肉血糖濃度低於標準值，肌肉能量提供進入蛋白質轉胺基酸型態，作為能量來源。 主要因素肝臟肝醣儲存量耗竭，必須以蛋白質作為能量來源。此時壓力荷爾蒙 Cortisol 濃度上升。

第三節組合式運動負荷模式之探討

高節奏的比賽，將引起肌肉快速的缺氧，造成肌肉無氧代謝路徑的壓力與伸縮循環 SSC 下降，Krüger et al. (2015) 研究提出，運動負荷的適應與調節機制，是比賽勝利的關鍵。

而氧氣運輸受到血液動力學因素影響，能量代謝則受到無氧機制的限制 (Weicker et al., 1994) 但是，Röcker et al. (1997) 以耐力性運動項目運動員作為受試者進行觀察，肌肉的氧氣調節與無氧能量代謝是可以透過訓練改善的。特別是組合式運動型態(阻力+持續方式跑步)。

Balabinis (2003) 以 26 名男子籃球運動員，分為力量訓練組、耐力訓練組、力量訓練+耐力訓練組共三組，發現力量訓練+耐力訓練組在 CMJ、Wingate、VO2max 提升高於力量與耐力訓練組。Conraads (2002) 以 23 位冠狀動脈性心臟病病患，以組合式阻力訓練(跑步機+腳踏車)模式經過 4 個月訓練發現：血漿濃度 (ELISA) 腫瘤壞死因子 (TNF) - α ，可溶性 TNF 受體 1 (sTNFR1) 和 2 (sTNFR2)，量減少，心肺能力提升。Maiorana (2000) 以 13 位冠狀動脈性心臟病病患，以組合式阻力訓練 (腳踏車+跑步機+重量訓練) 8 周後 VO2peak 增加、運動後心跳率降低、肌肉力量提升。翁乙正 (2016) 以 6 名大專射箭選手，以三種組合訓練 (力量耐力+划船機+跑步機) 3 天後降低射箭選手射箭時安靜心跳率、有氧-無氧閾值提升、乳酸下降。

由上述文獻可得知，組合式阻力運動產生兩個路徑：增加心臟收縮壓力、增加左心室壓縮力量、提升血液動力學功能降低心跳率，而另一個機轉：增加肌肉無氧代謝、增加缺氧誘導因子 HIF-1 α 、降低肌肉缺氧速度。

三項運動阻力負荷模式探討

一、跑步機

跑步訓練是各種運動中最常見、最普及的運動訓練之一，跑步是人最基礎的本能動作，也是最不需要特殊場地設備與最具經濟效益的運動。而跑步機又不受氣候因素的限制，並有坡度上的調控更接近在戶外跑步的模式與強度改變。

Madar (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。

李凱琳 (2017) 以一名女子視覺障礙柔道選手兩週跑步機訓練對視覺障礙柔道選手有氧-無氧閾值耐力測試顯現改善。

Cai et al. (2010) 研究發現，運用相同速度強度，在三種不同坡度(下坡 6° 水平 0° 上坡 6°) 跑步機上持續 30 min，來對比下肢肌肉活化程度，結果發現大腿肌肉股直肌、股二頭肌、腓腸肌的活化程度上在上坡跑時最為顯著大於水平和下坡跑。

二、划船測功儀

划船測功儀屬於全身性的運動模式，所動用的肌群和原地踏步機、踏車測功儀相對比較多，Schoabert et al.(2003)的研究發現，使用划船測功儀進行實驗，顯示具有很高的功率輸出，並且效率的監控划船運動員的訓練模式。而划船訓練這項運動更能促進身體的協調性，及增加身體的柔軟性。划船運動對於關節的（髖關節、膝蓋、腳踝等）運動傷害，比起跑步跟自行車傷害來的比較小，並可以來當傷後或是復健後的運動。

田剛 (2017) 研究結果顯示，受試者在連續三天急性高強度划船間歇訓練(4x200m)中，平均輸出功率皆呈現上升之情形，安靜心跳率下降。

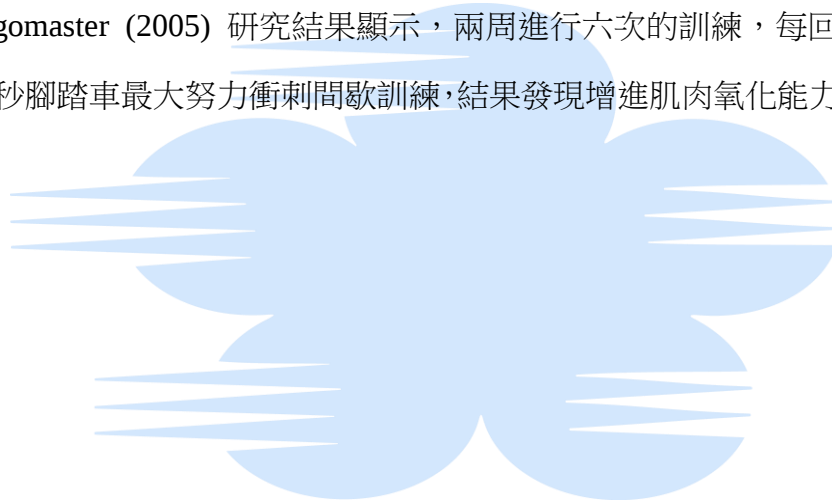
張孟喻 (2015) 研究結果顯示，16 名受試者連續八周一周兩次八分鐘高強度間歇訓練划船，無氧爆發力後以及無氧能力皆達顯著提升。

三、腳踏車測功儀

腳踏車測功儀，並在氣候、時間、空間上的限制性較少，即便天候不佳，任何時間都能進行運動與訓練，並且對心肺適能與耐力、肌力都會有敏顯的改善，不管是專業的運動員和一般人，透過腳踏車測功儀訓練安排，也能夠達成有效及高度的訓練效果。

陳耿賢 (2008)研究結果顯示，8 名自行車選手進行連續兩周腳踏車 HIIT 模式，後測專項速度 (200m) 提升。

Burgomaster (2005) 研究結果顯示，兩周進行六次的訓練，每回訓練 4~7 次的 30 秒腳踏車最大努力衝刺間歇訓練，結果發現增進肌肉氧化能力與耐力。



第四節無氧閾值能力

耐力可分成有氧耐力與無氧耐力兩種，在任何的身體活動血乳酸堆積小於 2mmol/l，可判斷為有氧耐力；若身體的活動造成血乳酸濃度大於 4mmol/l，則為無氧耐力 (Hollmann et al.,1980)。

Hollmann (1959) 以換氣轉折點做為無氧閾值的評價，就開始展開了一串以無氧閾值做為研究與訓練應用的研究。經過多年的討論與訓練上的應用，最後以 Mader et al. (1976) 4 mmol/l 乳酸值的速度，最具實用性與方便性測試的進行。

無氧閾值 (anaerobic threshold, AT) 所謂的閾值，是指某項數值的臨界點，而無氧閾值就是當運動強度增加到一定程度時候，身體的能源轉換會由有氧轉換的無氧，這個轉換點就是每個人的無氧閾值，當運動強度突破 AT(無氧閾值)時，身體內部的乳酸會開始堆積，在運動時，身體就會產生乳酸，當強度沒有突破無氧閾值時，代謝與產生的速度可以達到平衡，當運動強度改變，乳酸產生開始增加的點就是所謂的 LT(乳酸閾值)，就是乳酸開始堆積的時間點。

有氧閾值代表運動員在運動中與運動後的恢復能力。透過耐力訓練可以提昇運動員供氧系統的能力，改善心肺適能、增加每跳輸出量與紅血球數量，以及降低安靜時的血壓 (Jackson, Beard, and Wier, 1995)。在能量代謝路徑上，有氧閾值反應了粒線體接受丙酮酸進入克勞伯循環的能力，因而提高碳水化合物的使用率，減緩醣類在高強度負荷下的耗盡，減少運動當中乳酸的堆積。因此，好的有氧閾值能力也間接地提昇無氧能力。

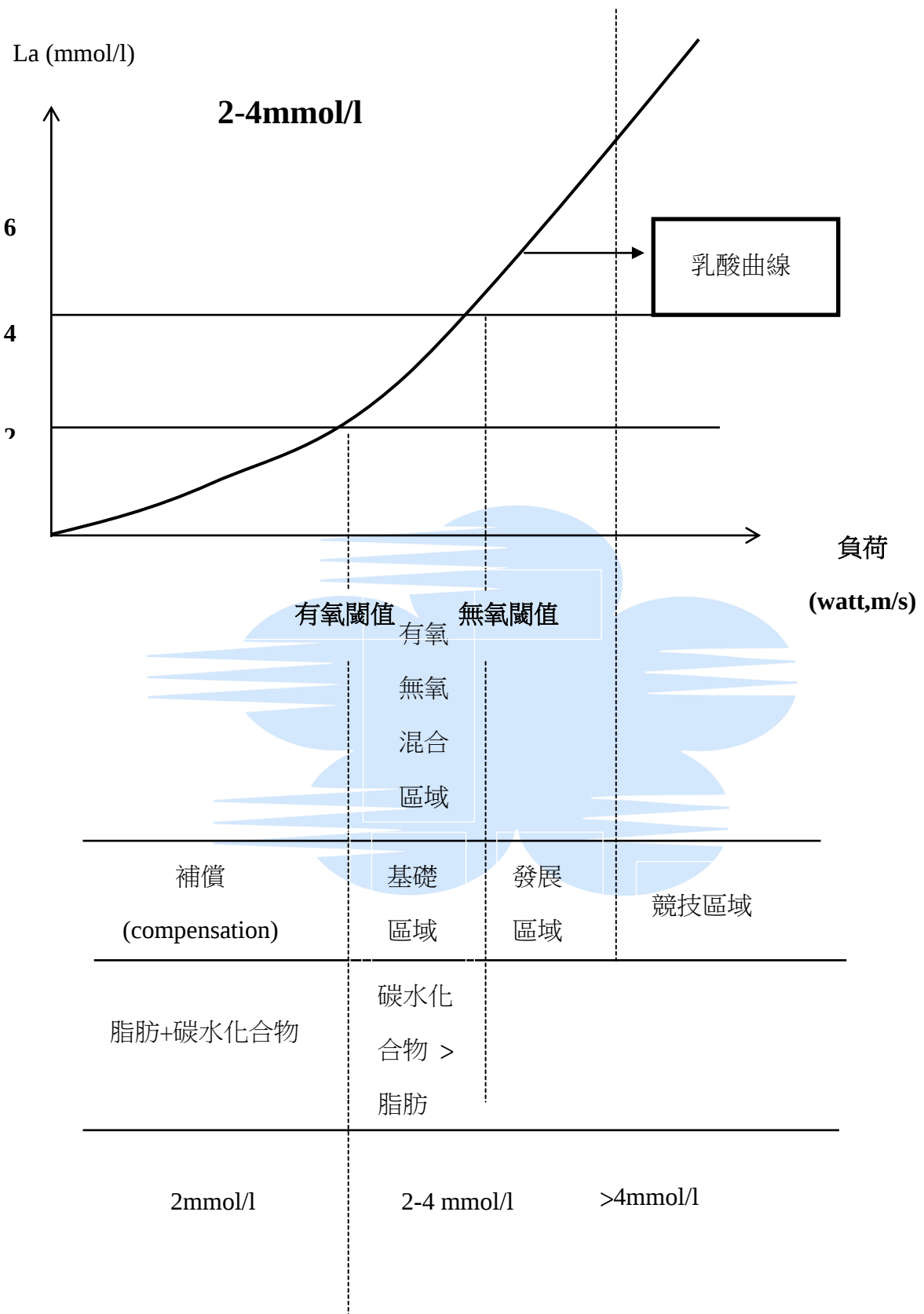


圖 3-0Mader et al. (1976) 乳酸閾值曲線

第五節文獻總結

近年來運動競賽規則的改變，也縮短了比賽的時間卻也增加了比賽的強度與競爭性，使選手必須付出更多的體能及技術來面對比賽，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並強調訓練時間的經濟效益，且有相似的代謝適應及增進運動表現。

組合式阻力運動型態對於生理機制改變於：1.心臟結構的改變 2.細胞內的轉入改變，而在高負荷劑量下，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，血氨可作為運動負荷強度與運動疲勞的參考指標等，同時在無氧間歇訓練 (HIIT)，血液 La 與 NH_3 數值的濃度，可以做為運動員肌肉無氧能力的判斷。

綜合上述文獻指出不同運動組合方式訓練對於有氧-無氧性能量路徑及體循環有正面效益，但對於急性的單次高強度刺激並在不同運動組合方式下則較少被探討，針對不同訓練型態的運動員，長時間的耐力運動似乎較無時間效益也不一定合適或提高運動員的負荷劑量，因此本實驗希望藉由不同運動模式組合刺激來觀察是否能有相似效益，用最短時間達到最大效益。

第參章研究方法與步驟

第一節研究對象

試驗以 8 名無急性運動傷害體育研究生為研究對象，基本資料如下（表 2-1-2），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簽名附錄 1。

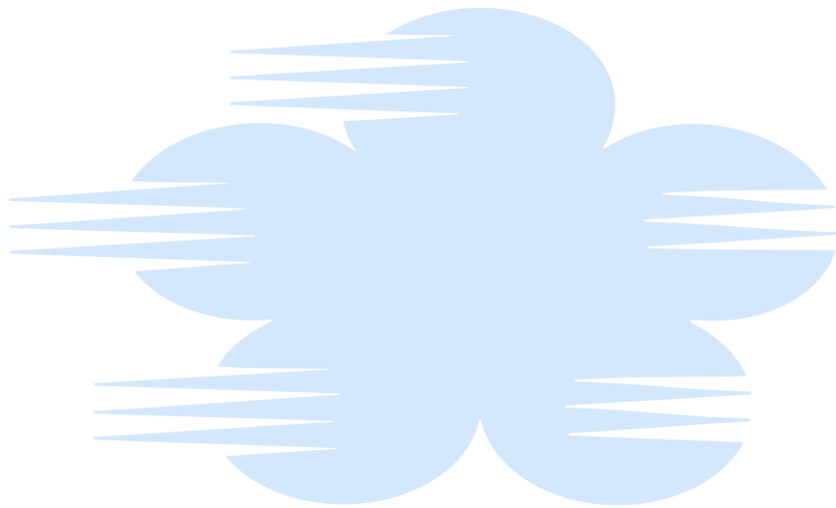
表 2-1-2 受試者基本資料

	年紀(歲)	身高(公分)	體重(公斤)
M	25.38	172.44	68.25
SD	4.69	4.92	5.40

第二節試驗時間與地點

時間：2018 年 9 月-10 月

地點：國立體育大學競技與教練研究所運動能力診斷與調整實驗室 (SPDI)



第三節試驗儀器與設備

一、高速跑步機 High Speed Treadmill (德國)

德國 Hp Cosmos 高速跑步機，最高速度為 45km/h (12.5m/s)，跑步面積：長：190 公分，寬 65 公分。



圖 3-1 高速跑步機 High Speed Treadmill

二、心率偵測器 i-Heart

同時能即時監測 50 人以上心跳率即個別心跳率，能無線傳輸有效距離達 150m 以上。儀器配備包含：中繼站 4 台、2 個 SMA 外接天線、無線頻率 (2.4G,2460MHz)、接收靈敏度約-110dBm。接收器 1 台，連接電腦將心跳帶中繼站資料傳輸回電腦。



圖 3-2 心率偵測器 i-Heart

三、划船測功儀 (Concept2) 美國 Concept2 PM4 為風阻划船測功儀，風阻負荷分為 1-10 等風阻。



圖 3-3 划船測功儀 (Concept2)

四、EFK 德國製血糖乳酸分析儀

Biosen C-line 乳酸與血糖分析儀器，分析血液量為 $10\mu\text{l}$ ，採濕式分析。血液採集至化驗時間，間隔 48 小時。可同時顯示乳酸與血糖濃度。



圖 3-4 EFK 血糖乳酸分析儀

五、血氨測定儀

此儀器製造於日本，是一部輕小又方便攜帶的儀器。提供簡單、迅速和準確的方式，在室內或室外只要少量的血液樣本($20\mu\text{l}$)，即可測得血氨 (NH_3)濃度。



圖 3-5 血氨測定儀

六、cyclus2 高功率踏車功率器

不中斷的高阻力煞車系統，最高可達 3000 (Watt)精準的測試，可使用選手自己的車架 (比賽車、場地車、登山車、三鐵車及手搖車等) 可彈性的支撐車架適合用於各種運動能力檢測。



圖 3-6 cyclus2 高功率踏車功率器

七、採血工具(酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、手套、冰桶等)

八、碼錶

第四節實驗設計

本實驗分為前測 (Tr-1) 與後測 (Tr-2) 及單次急性三種運動組合訓練。Tr-1 與 Tr-2 測試分為以 2-4mmol/l 基礎閾值測試個人最後一階+ 0.3m/s 為設定間歇強度。內容為：2x3x60s，Rep：40s 2.0 (m/s) Set：2min。

實驗開始前將分別參與跑步機與腳踏車有氧與無氧閾值測試，作為強度負荷設定的依據，測試方法如下：

一、基礎閾值耐力測試

(一)、跑步機 2-4mmol/l 基礎閾值測試：於室內跑步機進行，開始前讓受試者戴上 i-Heart 錶，並以耳垂採集安靜值乳酸檢驗 ($10\mu\text{l}$ 血液)。跑步機開始速度為 2.5m/s，每階持續 5 分鐘，每階上升 0.5m/s 表 2-1-3。

(二)、腳踏車開始為 100 Watt，每階上升 30 Watt，每階持續 3 分鐘。階段間進行耳垂採血 ($10\mu\text{l}$ 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 μl) 表 2-1-4。

表 2-1-3 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 2-1-4 腳踏車階梯測試方式 (Hollmann et al., 1976)

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			

二、間歇測試

以 2-4mmol/l 基礎閾值測試，個人最後一階+ 0.3m/s 作為間歇測試。內容為：

2x3x60s 動態休息：40s 2.0 (m/s) 訓練組間休息：2min (圖 3-7)。

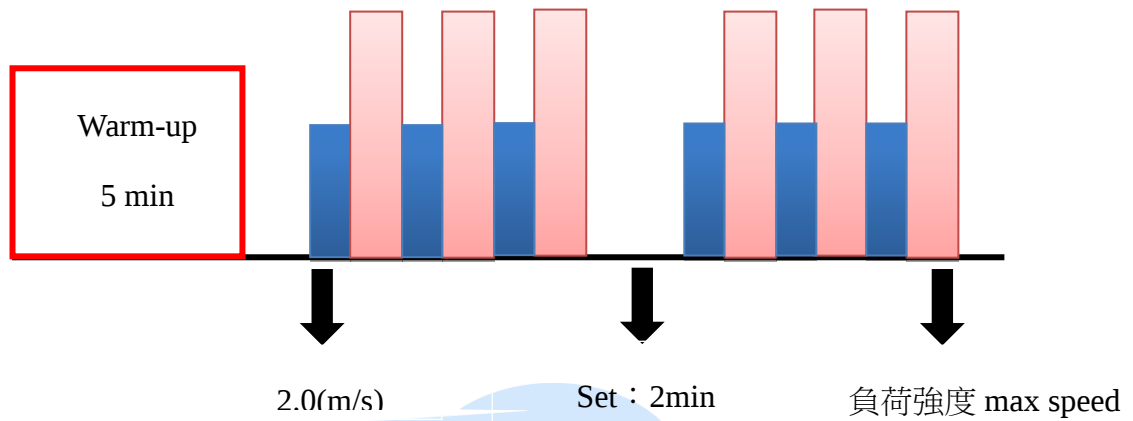


圖 3-7 6 趟間歇測試

三、單次急性三項運動組合訓練每項運動結束間歇休息 90 秒，再進行下項

- (一)、跑步機上坡 6° 持續 4 分鐘跑：強度為個人 4mmol/l 能力。
- (二)、划船測功儀 1x300m 間歇：強度為個人最大努力，組間休息 90 秒。
- (三)、高功率踏車功率器個人閾值 4mmol/l 為負荷持續踩踏 3 分鐘。間歇訓練與三項運動運動負荷內容與採集參數(表 2-1-5)、(表 2-1-6)、(表 2-1-7)。

表 2-1-5：間歇與三項運動負荷測試紀錄參數

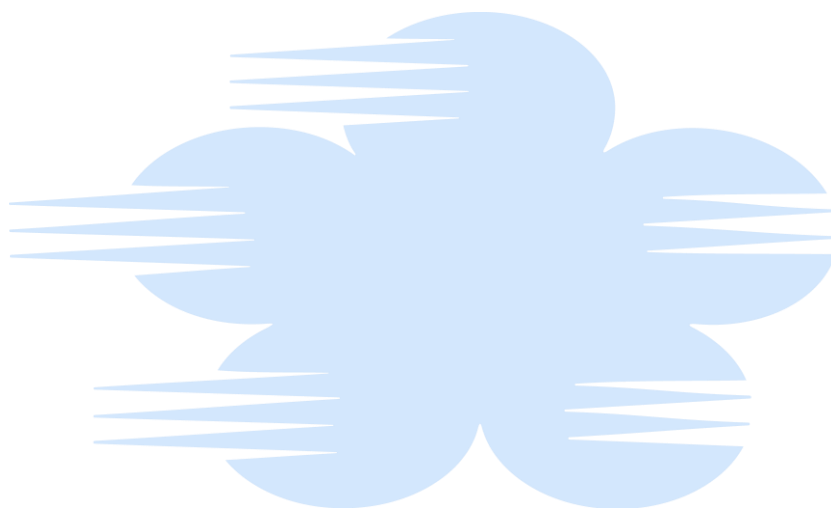
	負荷	範圍	時間	間歇	紀錄參數
跑步機 (HIIT)	Max speed	2x3x60s	60s	40s(2.0m/s)	全程心跳
跑步機	4mmol/l	坡度 6°	4 min	90s	運動結束心跳 率、間歇期心跳
划船測功儀	個人最大 努力	1x300m		90s	全程心跳 Watt 與間歇期心跳
腳踏車	4 mmol/l		3 min	90s	運動結束心跳 率、Watt、間歇期心跳

表 2-1-6：前測 (Tr-1) 與後測 (Tr-2) 血液測試採集時間

檢測項目	方式	參數	R	3x	E1	E3	E5	E7
Tr-1	2x3x60s	La	●	●	●	●	●	●
	Rep40s	NH ₃	▲	▲	▲	▲	▲	
	Set2min							
Tr-2	2x3x60s	La	●	●	●	●	●	●
	Rep40s	NH ₃	▲	▲	▲	▲	▲	
	Set2min							

表 2-1-7：單次三項運動組合測試血液採集時間

訓練項目	參數	R	1x	2x	3x	E1	E3	E5	E7
跑步機上坡跑	La	●	●			●			
(6° 4min)	NH ₃	▲	▲						
划船測功儀	La			●					
(1x300m)	NH ₃								
腳踏車	La				●	●	●	●	●
(3min)	NH ₃				▲	▲		▲	



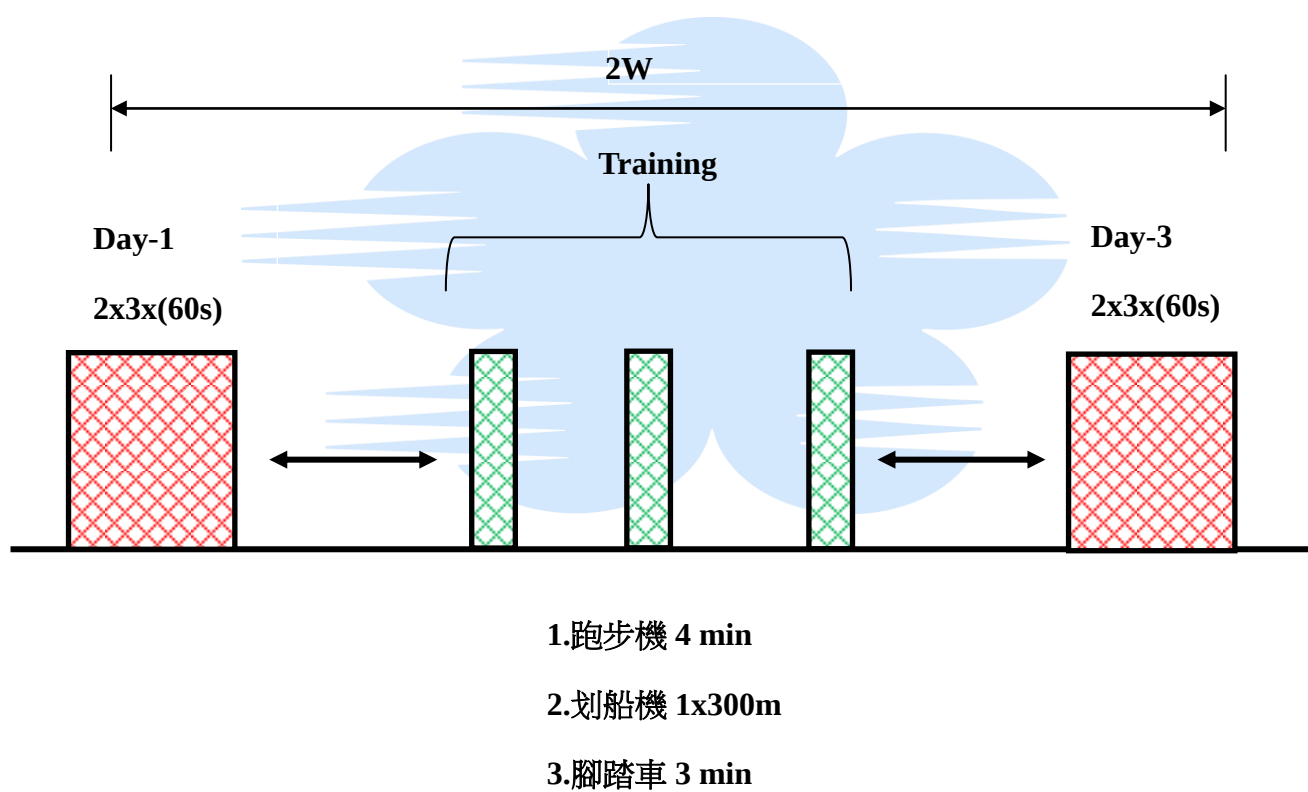
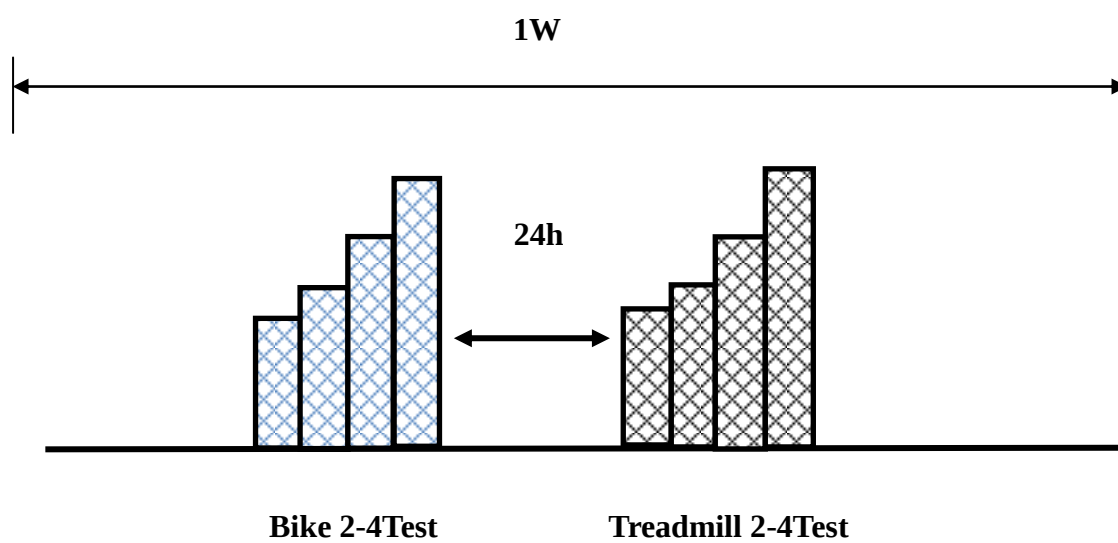


圖 3-8：實驗程序與步驟流程圖

實驗程序與流程

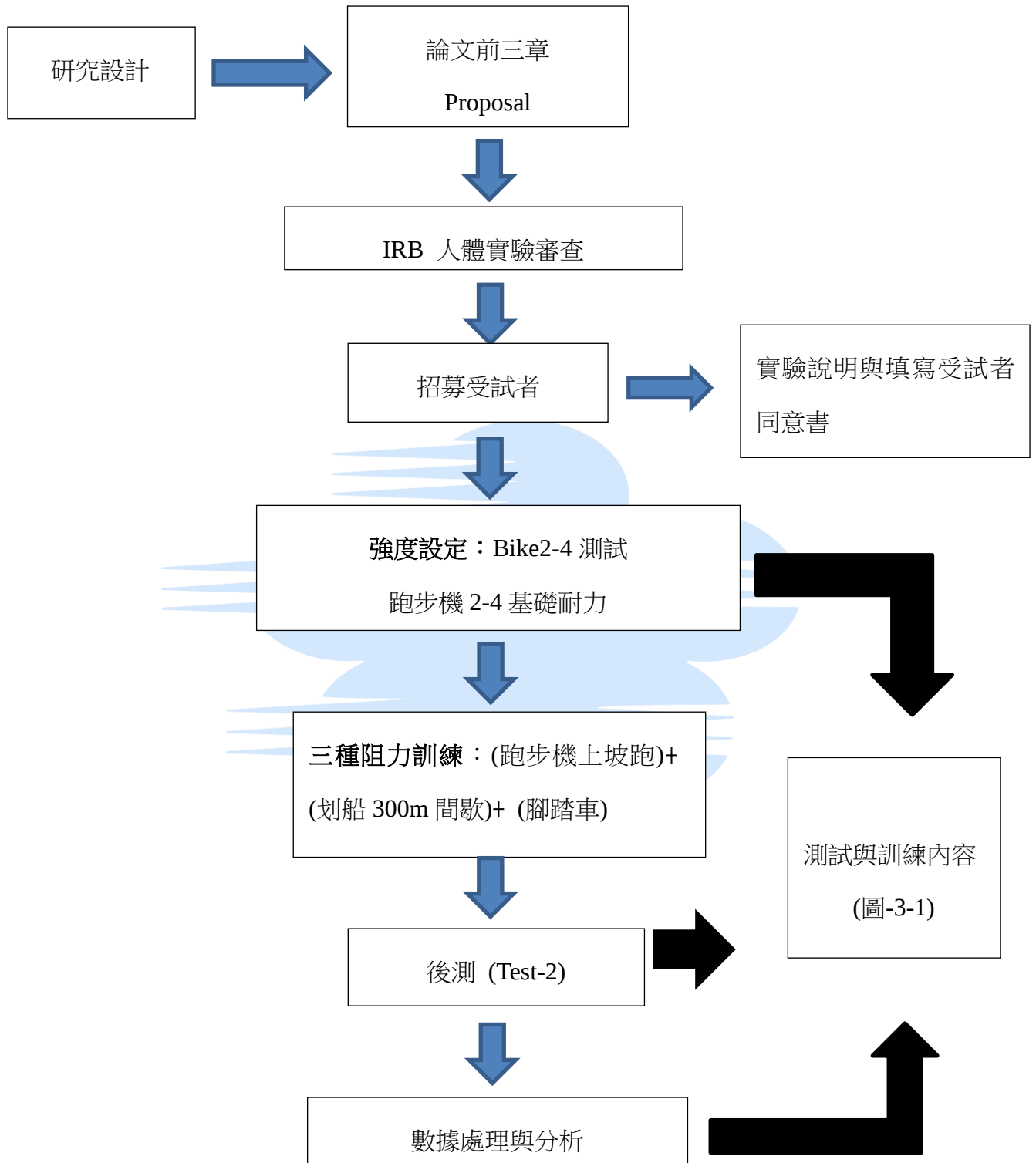
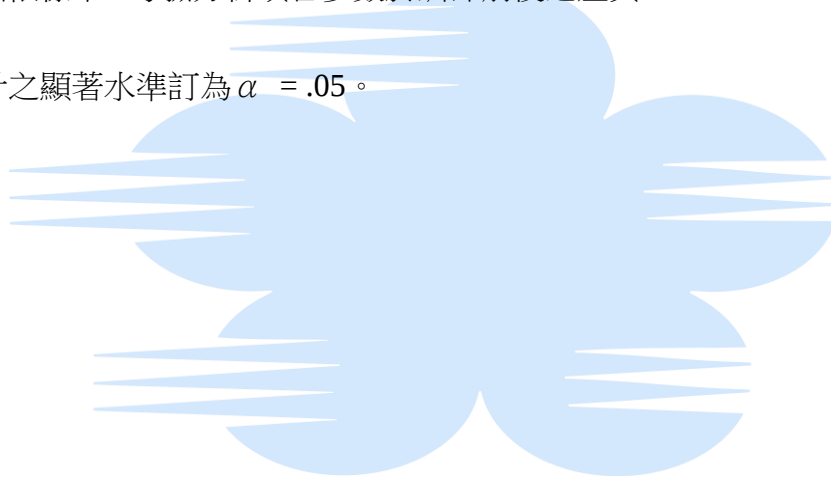


圖 3-9 實施流程圖

第五節資料處理

所得數據使用 SPSS for Windows 20.0 統計分析軟體進行以下分析：

- 一、所得數值以平均數±標準差 (Mean±SD) 表示。
- 二、基礎耐力之有氧-無氧閾值速度判斷以德國研發之 Lactate Express 軟體帶入 Mader 4 mmol/l 方式進行分析。
- 三、結果之分析圖以 Sigma12.5 繪圖軟體進行製圖關。
- 四、以相依樣本 t 考驗分析項各參數於訓練前後之差異。
- 五、統計之顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。



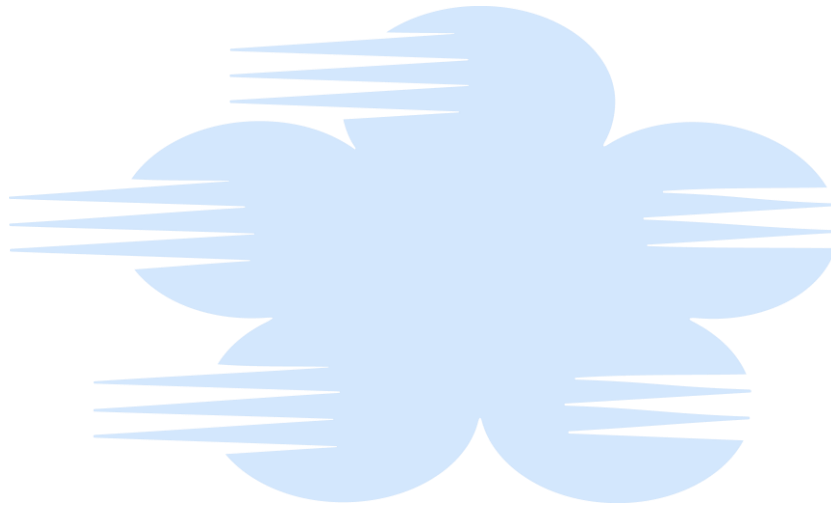
第肆章結果與討論

本章將實驗所有數據分成「三天高強度訓練」與「單次阻力組合數據」兩大部分。並依據這兩大部分，分為以下各小節

第一節、三天 HIIT 心跳率與乳酸、血氨訓練效果

第二節、單次阻力組合訓練心跳率與血乳酸之關係

第三節、三天 HIIT 與單次組合訓練心跳率與乳酸、血氨總表分析

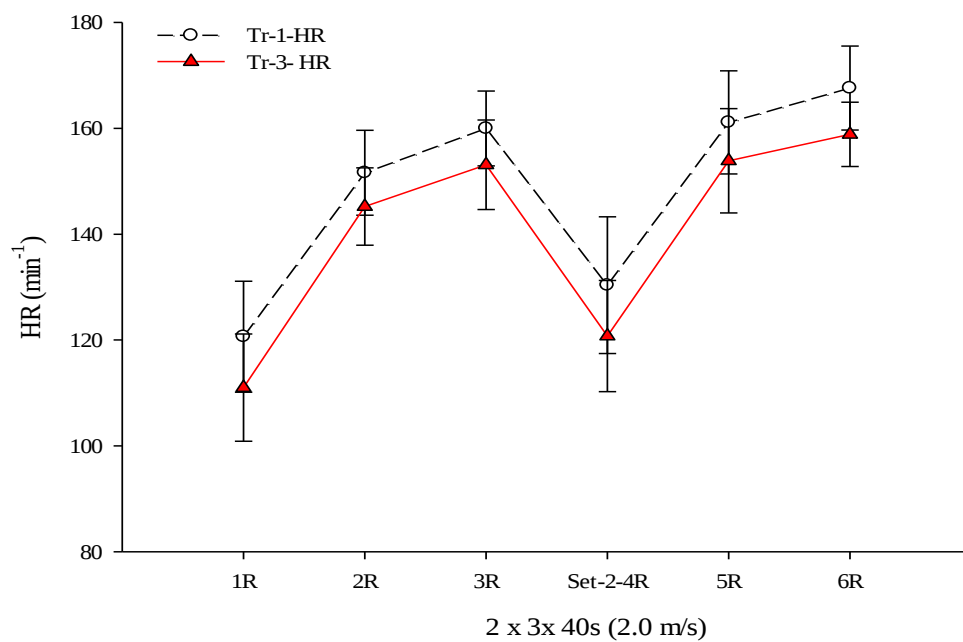


第一節三天 HIIT 間歇跑心跳率與乳酸、血氨之效果

一、間歇跑心跳率之分析

圖 4-2-1 與 4-2-2 為第一天 (Tr1) 和第三天 (Tr3) 低速度跑與恢復期心跳率之分析。第一天(Tr1) 心跳率在低速度跑第一次 (1R) 心跳率平均值為 $121 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，第二次 (2R) 則為 $152 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ，兩次平均值差異 31 min^{-1} ($p < 0.05$)。低速度 5R 與 6R 心跳率平均值分別為 $161 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ 、 $168 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ，兩次平均值差異 7 min^{-1} ($p > 0.05$)。第 3 天訓練 (Tr-3) 心跳率在 1R 與 2R 平均值為 $111 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ 、 $145 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ，兩次平均值差異 34 min^{-1} ($p < 0.05$)。在運動負荷 5R 與 6R 心跳率則分別為 $154 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ 、 $159 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ，平均值差異 5 min^{-1} ($p > 0.05$)。

Tr-1 與 Tr-3 在 1R 心跳率差異 10 min^{-1} ($p < 0.05$)，在 5R 與 6R 心跳率則分別差異 -7 min^{-1} ($p > 0.05$)、 -9 min^{-1} ($p < 0.05$)。Tr-1 高速度心跳率在高速跑第一次(1x) 與第六次 (6x) 平均值分別為 $179 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ 、 $183 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ，兩次差異 $+16 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)。Tr-3 訓練高速心跳率在 1x 與 6x 平均值差異則為 $+21 \text{ min}^{-1}$ ($p < 0.05$)。Tr-1 與 Tr-3 在 (1x)、(2x)、(3x)、(6x) 心跳率差異為 -12 min^{-1} 、 -8 min^{-1} 、 -8 min^{-1} 、 -9 min^{-1} ($p < 0.05$)。



註：1R 第一趟低速度持續 40 秒；Set-2 組間休息後第二組

圖 4-2-1 Tr-1 與 Tr-3 低速度期心跳率之差異

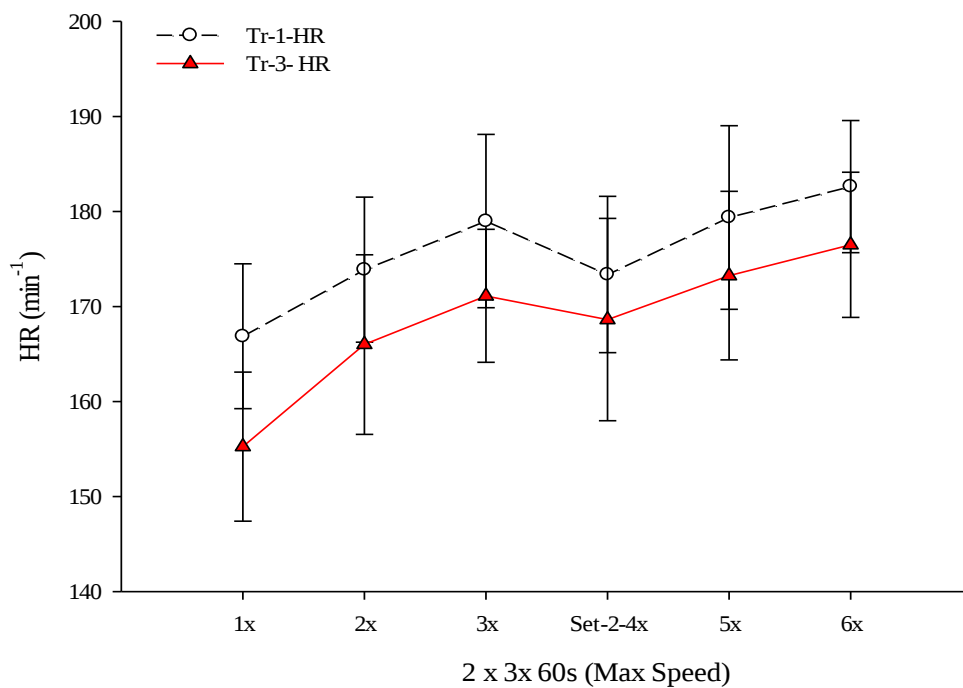


圖 4-2-2 Tr-1 與 Tr-3 高速度期心跳率之差異

研究結果分析發現，在第 3 天訓練 (Tr-3) 心跳率均呈現下降趨勢。這種生理反應機制調節，主要因素在於急性高負荷刺激誘發大量腎上腺素。因此，造成壓力荷爾蒙兒茶酚胺的釋放。進而調節自律神經系統，提高副交感神經的活性，降低體循環壓力 (Neumann 1990)。過去相關研究高強度的訓練能提升交感神經活性，並且使得自律神經系統調控上有更佳的效用 (Pichot et al., 2000)。在 (Kruger et al., 2015) 研究顯示，急性的運動刺激，因身體組織與腦進行調節作用。可以快速的對刺激負荷產生反應，產生訓練效果，從中也發現進行急性的運動刺激，瞬間提高左心室的壓縮增加血液動力學。使肌肉周邊微血管會急速收縮，增加組織的血容量與工作肌群的含氧量。另一個調節機制來自運動於本身的訓練效果，這個現象呈現在心臟的每跳輸出量增加。因此，體循環壓力下降，在高負荷劑量運動，呈現低的心跳率。在蕭婉柔 (2015) 的研究也發現，進行三天高強度阻力性運動刺激，受試者心跳率也呈現顯著下降。在 Kindermann et al. (2003) 的研究調查指出，運動員心臟是受到運動訓練型態影響。強調力量輸出的運動項目，肌肉容易缺氧。因此，為了降低肌肉缺氧反應，心肌必須提高力量壓縮，才能降低體循環壓力。這種症狀反應，在 Tr-3 恢復期與高負荷心跳率最為明顯，呈現顯著差異。

二、恢復期心跳之分析

圖 4-2-3 為第一天 (Tr-1) 與第三天 (Tr-3) 恢復期心跳率分析。恢復期心跳率在 Tr-1 第三分鐘 (E3) 與第七分鐘 (E7) 平均值分別為 $120 \pm 17 \text{ min}^{-1}$ 、 $110 \pm 17 \text{ min}^{-1}$ ，兩次差異 -10 min^{-1} ($p > 0.05$)。Tr-3 恢復期 E3 與 E7 心跳率平均值則為 $109 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ 、 $100 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ 兩次差異 -9 min^{-1} ($p > 0.05$)。Tr1 與 Tr3 恢復期 E5 心跳率平均值差異 -8 min^{-1} ($p > 0.05$)。

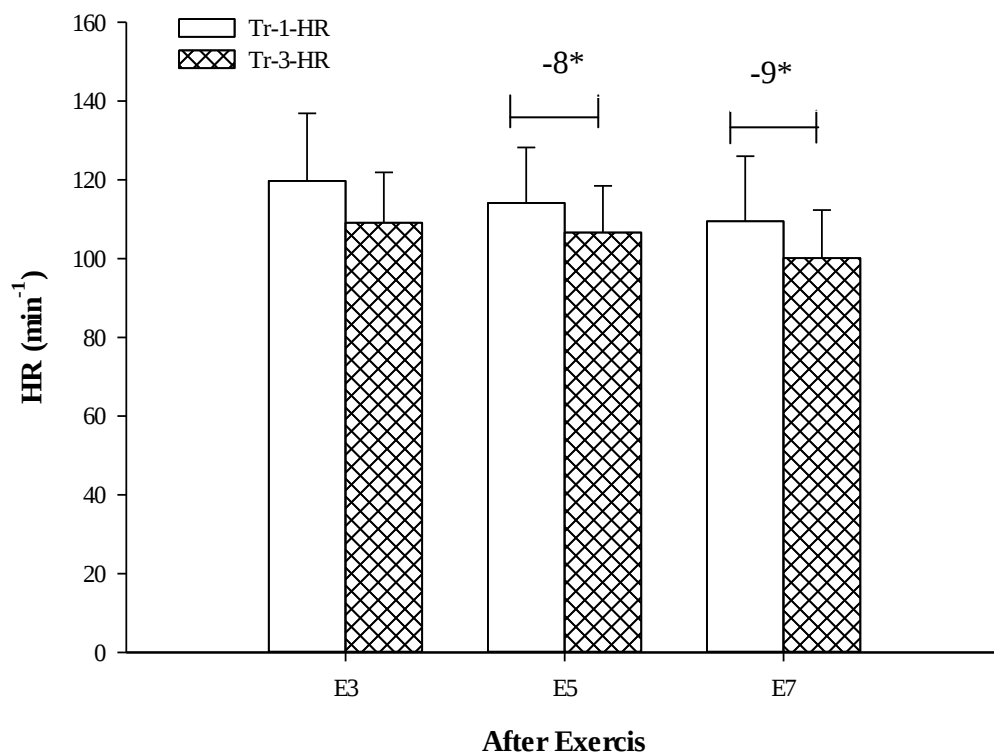


圖 4-2-3 Tr-1 與 Tr-3 恢復期心跳率比較

在本研究結果分析發現，在第 3 天訓練 (Tr-3) 恢復期心跳率均呈現下降趨勢。而在恢復心跳率部分，Bohmer et al., (1975) 研究指出，透過最大運動結束後第 5 分鐘 (E5)，可最做為恢復機轉依據，本研究第一天高強度間歇訓練後的恢復期心率 E5 每分鐘心跳 114 min^{-1} 已落在好的標準範圍內，但在本研究中透

過了單次不同阻力組合下訓練在第三天後測下心跳率每分鐘更下降了 8min^{-1} 。在 Urhausen et al., (2000) 研究提出力量耐力訓練對心跳率之影響，增加左心室厚度、提高血液動力、增加肌肉周邊微血管數量並，降低安靜與最大負荷心跳率。以適應機制去看在 Hollmann (1982) 指出透過阻力性訓練，會改善肌肉在無氧運動之能量路徑。所產生的適應，比其他運動方式較快，本研究顯示結果也與上述理論符合。而第三天後測心率都達顯著的下降，代表恢復能力又獲得了提升，也因在於透過阻力性的 HIIT 訓練，提升左心室壓縮的能力，間接降低了最大運動負荷的心跳率。

三、間歇期與恢復期血乳酸分析

圖 4-2-4 為第一天 (Tr-1) 與第三天 (Tr-3) 運動中與結束後乳酸之比較。Tr-1 的乳酸堆積在間歇跑第三次(3x) 與第六次 (6x) 平均值分別為 $6.57 \pm 1.31 \text{ mmol/l}$ 、 $8.17 \pm 2.31 \text{ mmol/l}$ ，兩次差異 $+1.6 \text{ mmol/l}$ ($p > 0.05$)。Tr-3 訓練乳酸堆積濃度在 3x 與 6x 平均值差異則為 $+1.41 \text{ mmol/l}$ ($p > 0.05$)。Tr-1 與 Tr-3 在 3x 與 6x 乳酸堆積平均值差 -0.98 mmol/l 、 -1.17 mmol/l ($p > 0.05$)。恢復期血液乳酸堆積濃度在 Tr-1 第三分鐘 (E3) 與第七分鐘 (E7) 平均值分別為 $8.16 \pm 2.28 \text{ mmol/l}$ 、 $7.15 \pm 2.46 \text{ mmol/l}$ ，兩次差異 -1.01 mmol/l ($p > 0.05$)。Tr-3 恢復期 E3 與 E7 乳酸濃度平均值則為 $6.06 \pm 1.65 \text{ mmol/l}$ 、 $5.80 \pm 2.58 \text{ mmol/l}$ ($p > 0.05$)，兩次差異 -0.26 mmol/l 。Tr-1 與 Tr-3 恢復期 E3 與 E5 血液乳酸堆積濃度平均值差異 -2.1 mmol/l 、 -1.25 mmol/l ($p > 0.05$)。

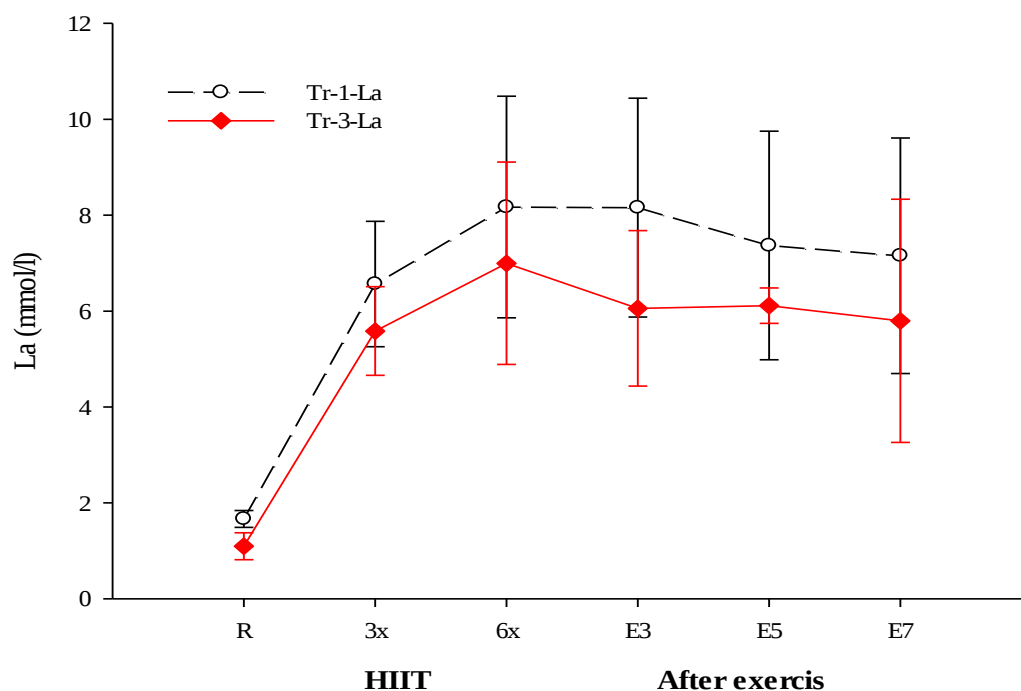


圖 4-2-4 Tr-1 與 Tr-3 運動中與結束後乳酸之差異

研究結果分析發現，在第 3 天訓練 (Tr-3) 訓練中與恢復期血乳酸均呈現下降趨勢。這種生理反應機制調節，在新陳代謝方面過去研究指出，運動中乳酸的堆積與排除能力，會依據個人的有氧能力高低，進而影響排除的速率，當有氧能力越高時，血乳酸排除速度就會越快 (Neumann, G. 1991)。而近代研究發現血乳酸堆積濃度受到六項因素影響 (1) 乳酸運輸型態 (2) 肌肉型態 (3) LDH-分布 (4)pH 值 (5)血液流動速度 (5) 新陳代謝容積(Patrick et al., 2009)。無氧性運動負荷，產生許多無氧壓力症狀，然而無氧的能量代謝除了進入丙酮酸循環，產生乳酸外。同時在另一個路徑進入 PFK、的 PGC-1 α 、MCT、IGFI-1 路徑，形成一種訓練效果，產生保護機制 (Laursen, 2010)。PGC-1 α 是一種誘發多種細胞能量代謝和核積素受體的重要因子，調節骨骼肌葡萄糖的代謝，控制代謝適應。PGC-1 α 的協調進而改變了組合中的 LDH，防止在運動過程中乳酸增加。

近代研究發現急性低量 Wingate-base HIIT 或急性運動後會在運動後三小時與 24 小時增加數倍的 PGC-1 α RNA 以及改變人體 MCT 含量(Gibala et al., 2009; Little et al., 2011; Thomas et al., 2011)。

綜合上述討論可得知，本研究結果顯示圖 4-2-3 第三天訓練 (Tr-3) 間歇跑測試過程中，受試者運動中與恢復期的血乳酸皆呈現下降趨勢。因此顯示受試者在經過三天 HIIT 訓練模式新陳代謝與肌肉對抗阻力能力獲得改善。而 HIIT 的模式增加活化 AMPK、p38MAPK 並使 PGC-1 α 增加並使粒線體基因的轉錄，粒線體蛋白的累積並推動粒線體生物合成 (Norrbon et al., 2004; Egan et al., 2010)。這個機制將影響肌肉無氧代謝的路徑，特別是 PGC-1 α 的增加，將提升肌肉的合成與粒線體的數量。另一機制在缺氧過程，將產生 HIF-1 α 因子誘導 EPO 與 VEGF (Schmidt et al., 2002)。

過去研究透過短期急性運動負荷 (翁乙正, 2016) 以 6 名大專射箭選手，以三種組合訓練 HIIT 模式 (力量耐力+划船機+跑步機) 三天後降低射箭選手射箭時安靜心跳率、有氧-無氧閾值提升、乳酸下降。(蕭婉柔, 2015) 利用三種不同運動方式連續三天 HIIT 訓練，發現跑步在訓練後有氧閾值呈現進步，無氧閾值不變。利用三天高強度訓練對於身體內部能量代謝改善是有相當的助益，而本研究利用兩天跑步間歇模式與一天三種阻力模式 HIIT 訓練，結果顯示在低強度與高強度負荷以及運動後乳酸下降都達顯著上的差異，HIIT 訓練對於耐力提升以及蛋白酶的增加與 MCT 活化，而這樣細胞調控與轉入編碼模式，推測這樣的模式在本實驗的第三天訓練中，使得運動中與恢復期乳酸產生降低。

四、間歇與恢復期血氨之分析

圖 4-2-5 為第一天 (Tr-1) 與第三天 (Tr-3) 運動中與結束後血氨之比較。Tr-1 的血氨堆積在間歇跑第三次(3x) 與第六次 (6x) 平均值分別為 $89.25 \pm 72.16 \mu\text{mol/l}$ 、 $73.63 \pm 23.19 \mu\text{mol/l}$ ，兩次差異 $+15.62 \mu\text{mol/l}$ ($p > 0.05$)。Tr-3 訓練血氨堆積濃度在 3x 與 6x 平均值差異則為 $+4.62 \mu\text{mol/l}$ ($p > 0.05$)。Tr-1 與 Tr-3 在血氨恢復期第五分鐘 (E5) 平均值差 $+7.5 \mu\text{mol/l}$ ($p > 0.05$)。

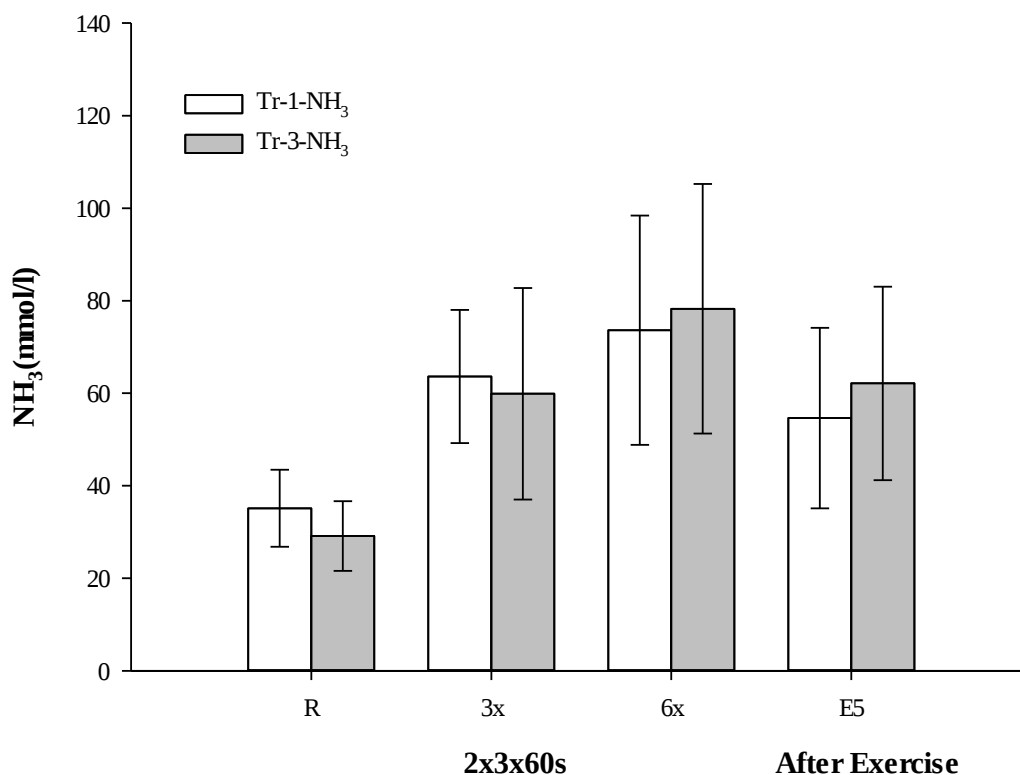


圖 4-2-5 Tr-1 與 Tr-3 運動中與結束後血氨之差異

在高強度的運動負荷中，肌肉的能量啟動必須同時由糖酵解與分解蛋白質路徑提供能量，並才能供給肌肉產生的力量與維持高速度收縮。而在運動中應蛋白質的嘌呤核苷酸循環 (Purine nucleotide cycle, PNC)，將轉成氨基酸作為能量路徑，這路徑將引起血液血氨 NH_3 的堆積 (Suchulz et al., 2001)。

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，因而產生疲勞因此血氨可作為運動疲勞與負荷勞強度的參考指標 (Urhausen & Kindermann,1992)。

本研究結果顯示 (圖 4-2-4)，Tr-3 跑步機 HIIT 訓練，在運動中 3x 時血氨上升幅度分別比 Tr-1 減少，平均值差異 $-3.75\mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)，而在 6x 與運動恢復期 E5 平均值差異 $+4.62\mu\text{mol/l}$ 、 $+7.5\mu\text{mol/l}$ ($p>0.05$)。當運動員在訓練初期完成超負荷運動訓練時，由於身體對運動負荷不適應，能量平衡失衡，蛋白質、氨基酸參與比例增加，使血氨濃度升高。當運動員對於運動負荷產生適應後血氨水平降低 (張愛芳, 2007)。因此推測在本實驗結果三天 HIIT 運動型態，第二天加入三種阻力模式對於肌肉代謝蛋白質轉氨路徑為新負荷路徑，而讓第三天訓練未呈現生理上適應。



第二節不同運動型態組合 HIIT 負荷對心跳率、乳酸之關係

圖 4-2-6 三項阻力訓練中與恢復期血乳酸、心跳率之分析。第一項跑步機 (Treadmil)、第二項 (Rowing)、第三項 (Bicycle) 訓練的血乳酸濃度平均值為別為 $8.76 \pm 2.29 \text{ mmol/l}$ 、 $11.36 \pm 2.52 \text{ mmol/l}$ 、 $14.12 \pm 2.27 \text{ mmol/l}$ 。三項組合恢復期第三 (E3)、五 (E5)、七 (E7) 分鐘血乳酸濃度平均值為別為 $14.4 \pm 2.20 \text{ mmol/l}$ 、 $13.51 \pm 2.01 \text{ mmol/l}$ 、 $12.42 \pm 2.31 \text{ mmol/l}$ 。組合訓練跑步機 (Treadmil)、二項 (Rowing)、三項 (Bicycle) 訓練的心跳率平均值為別為 $176 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ 、 $178 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ 、 $156 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ 。恢復期心跳率在第三分鐘 (E3)、第五分鐘 (E5)、第七分鐘 (E7) 平均值為別為 $123 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ 、 $113 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ 、 $113 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ 。

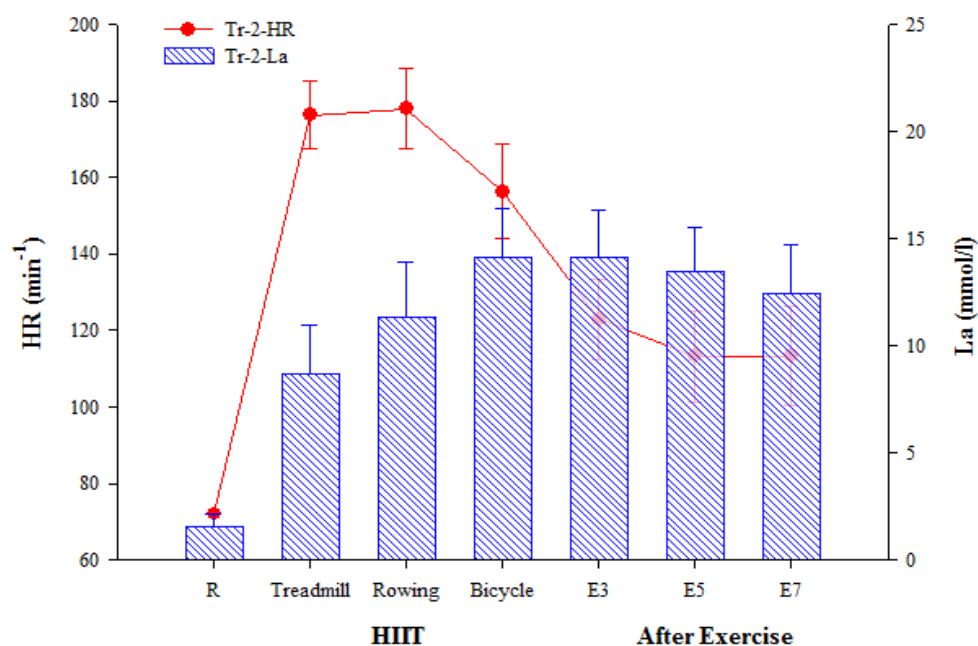


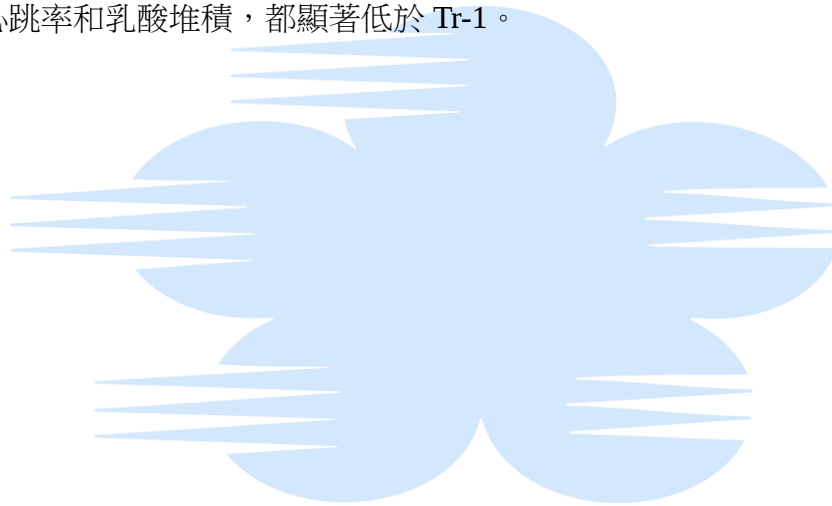
圖 4-2-6 Tr-2 三項組合間歇期、恢復期心跳率與乳酸之分析

本研究結果分析發現，在第 2 天組合訓練 (Tr-2) 中心跳率與血乳酸均呈現較高的趨勢，而這生理機轉在於訓練或比賽上，因身體活動的強度起伏變化。器官組織必須維持體內穩定，因此會產生極大的反應。第一是心跳率的上昇，再來就是血乳酸的堆積 (張嘉澤, 2018)。在 Schaun & Del (2018) 研究也發現進行全身徒手力量以及腳踏車測功儀兩種模式之高強度間歇訓練，結果發現經過訓練一天兩種模式降低心跳率。另外在方奕晴 (2018) 研究透過單日不同腳踏車訓練模式組合，研究發現，運動負荷刺激心跳率均呈現下降趨勢。

研究結果發現，經單次組合阻力高強度模式，訓練的強度很高。但是高強度的運動負荷將造成人體產生極大的生理壓力。使的兒茶酚胺的釋放，提高交感神經活性。促使大腦開始進行心臟跳動調節，因此，在後測下，兒茶酚胺釋放減少，副交感神經活性提高，心跳率呈現下降 (張嘉澤, 2018)。而這樣的生理機轉也在本實驗第三天產生相似效果。此外在 (圖 4-2-5)，Tr-2 三項組合訓練在體循環上，跑步機上坡跑持續 4min 與划船 300m 呈現較高心跳率分別為 $176 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ 、 $178 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ ，而在最後一項腳踏車心跳率下降為 $156 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ 。過去研究指出間歇性負荷在運動初期，因獲得短暫間歇，因此未造成體循環壓力。但是在持續性運動負荷，則容易造成疲勞的累積，對於心臟的壓力是明顯的 (Neumann & Buhl, 1981)。Neumann (1981) 提出訓練中心跳率介於 $153\text{-}179 \text{ min}^{-1}$ 間屬於基礎耐力訓練。以最大心跳率之 70-80% 為最佳耐力運動負荷劑量 (Engelhardt & Neumann, 1994)。本研究測試負荷心跳率反應，亦介於此心跳率之間。而血乳酸則呈現在 (E3) 達最高值，但三項組合運動中血乳酸分別為 $8.76 \pm 2.29 \text{ mmol/l}$ 、 $11.36 \pm 2.52 \text{ mmol/l}$ 、 $14.12 \pm 2.27 \text{ mmol/l}$ 都超過原先設定 4 mmol/l 強度。而 Lehmann (1953) 提出疲勞堆積理論，指出運動的過程中運動員無法及時排除生理障礙，但是運動又還沒有結束，因此，誘發器官組織的壓力，形成累積的疲勞症狀反應。因此以上所述在本實驗三種阻力型態的組合方式，血乳酸的堆積會大於 4 mmol/l 。

在過去研究也發現在缺氧期間和高乳酸水平誘導 NDRG3 蛋白反過來刺激 Raf-ERK 通路促進血管生成和細胞生長 (Dong Chul Lee, 2015)，另外 Takaaki Abe (2015)研究發現糖酵解肌纖維中，轉錄因子缺氧誘導因子-1 (HIF-1) 活性增加，特別是對高強度運動的反應。Brendan Egan (2010) 研究比較低強度與高強度單次運動導致恢復期間 PGC-1 α mRNA 活性增加且上升趨勢，特別是對高強度運動後的調節為最敏顯。

因此在本研究中，單次高強度阻力組合，對受試者產生極高體循環與新陳代謝壓力，而這樣的高強度負荷缺氧，也誘導體內蛋白酶的增加和 MCT 膜增厚、PGC-1 α RNA 調控與 HIF-1 生成等。都使得在 Tr-3 後測中不管在運動負荷中與恢復期心跳率和乳酸堆積，都顯著低於 Tr-1。



第三節 三天高強度與組合訓練數據總表

總表 4-1-1 Tr-1 與 Tr-3 心跳率之比較

2x3x60s HIIT	Pre-test (Tr-1)	Pre-test (Tr-3)	Change	Diff.
	HR (min ⁻¹)	HR (min ⁻¹)		
Set-1	1a	121±10	111±10 ↓	<0.05
	1x	167±8	155±8 ↓	<0.01
	2a	152±8	145±7 ↓	<0.05
	2x	174±8	166±9 ↓	<0.05
	3a	160±7	153±8 ↓	<0.05
	3x	179±8	171±7 ↓	<0.05
Set-2	4a	130±13	121±11 ↓	<0.01
	4x	173±8	169±11 ↓	>0.05
	5a	161±10	154±10 ↓	<0.05
	5x	179±10	173±9 ↓	>0.05
	6a	168±8	159±6 ↓	<0.05
	6x	183±7	177±8 ↓	<0.05
	E3	120±17	109±13 ↓	<0.05
	E5	114±14	107±12 ↓	<0.05
	E7	110±17	100±12 ↓	<0.05

註：*(P<0.05)；動態恢復 1R 到 6R 2.0m/s (40s)；E3~E7 恢復期第三~七分鐘

高速度負荷 1x 到 6x max speed (60s)；Set1、Set2 第一、二組、Tr-1、Tr-3 第一、三天訓練

總表 4-1-2 Tr-1 與 Tr-3 間歇與恢復期血乳酸與之分析

2x3x60s	Pre-test (Tr-1) La(mmol/l)	Pre-test (Tr-3) La(mmol/l)	Change	Diff.
3x	6.57±4.23	5.59±0.93*	↓	<0.05
6x	8.17±2.31	7.00±2.11*	↓	<0.05
E3	8.16±2.28	6.06±1.62*	↓	<0.05
E5	7.37±2.38	6.12±0.37*	↓	<0.05
E7	7.15±2.46	5.80±2.54	↓	>0.05

註：La 血乳酸；3x-6x 第三趟與第六趟運動負荷乳酸；NH₃ 血氨；E3 E5 E7 恢復期第三五七分鐘血乳酸與血氨

總表 4-1-3 Tr-1 與 Tr-3 間歇與恢復期血氨之分析

2x3x60s	Pre-test (Tr-1) NH ₃ (μmol/l)	Pre-test (Tr-2) NH ₃ (μmol/l)	Change	Diff.
3x	89±72	60±21	↓	>0.05
6x	74±23	103±72	↑	>0.05
E5	54±18	62±20	↑	>0.05

註：NH₃ 血氨

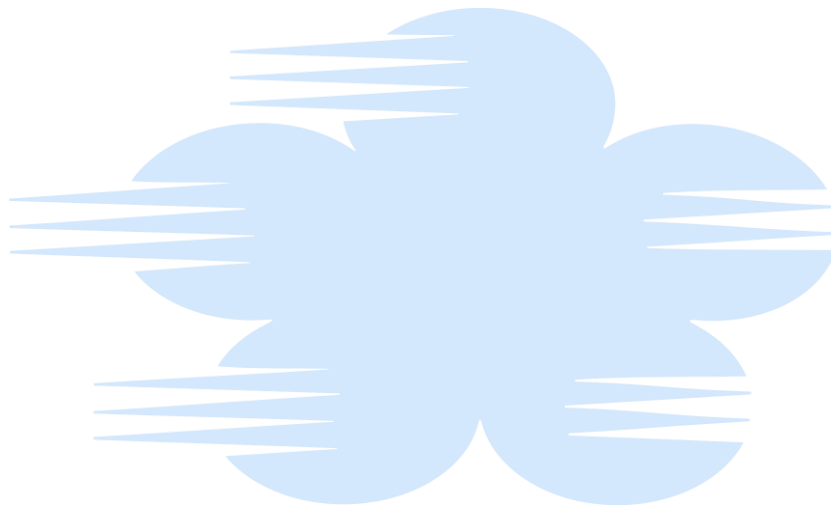
總表 4-1-4 三項組合訓練的血乳酸、血氨、心跳率之分析

Combination Training (Tr-2)			
HIIT	La(mmol/l)	NH ₃ μmol/l	HR(min ⁻¹)
Treadmil	8.76±2.29	90±20	176±9
Rowing	11.36±2.52		178±11
Bicycle	14.12±2.27	129±22	156±12
E3	14.4±2.20		123±11
E5	13.51±2.01	109±21	113±12
E7	12.42±2.31		113±13

註：Treadmil 跑步機上坡跑 4 分鐘；Rowing 300m 划船；Bicycle 腳踏車持續 3 分鐘

結論與建議

本研究目的為探討 3 天 HIIT 訓練，並透過單次阻力組合訓練對心跳率調節與肌肉能量路徑之影響。研究結果發現，單次阻力組合模式訓練能有效降低最大心跳率負荷，與改善恢復期心跳率下降時間，在第三天後測不管低速度與高速度負荷下血乳酸都呈現大幅度的下降趨勢。而阻力組合模式訓練時間較短，故可運於任何訓練週期當中，發現選手高心跳率與高乳酸症狀時，可運用此訓練模式，可快速提升選手體循環能力，而單次不同阻力組合模式強度較高，不建議在技術訓練前執行。



參考文獻

中文部分

- 張嘉澤 (2018)。兒童與青少年訓練：新北市林口區：台灣運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2013)。訓練學。台北縣林口鄉：台灣運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整。台北縣林口鄉：台灣運動能力協會。
- 張嘉澤、詹元碩 (2005)。運動能力診斷與訓練調整。國民體育季刊，14644-52。
- 李松波，高艷華，常平，&張愛芳。(2009 年)。POCT（即時檢驗）在運動生化檢驗中的實施。體育學刊，16（1），106-108。
- 田剛 (2017)。三天 HIIT 訓練對射箭選手射箭心跳率與無氧閾值耐力影響。
- 余進益 (2016)。一週高強度訓練對青少年角力選手適應與閾值耐力之影響。
- 吳杰茗 (2015)。短期跑步機 HIIT 對田徑選手有氧閾值能力。
- 黃翊婷 (2018)。三天急性訓練對柔道選手無氧非乳酸耐力與心跳率之影響。
- 翁乙正 (2016)。組合式阻力訓練對射箭選手瞄準放箭心跳率及閾值耐力效果。
- 蘊琨，丁樹哲 (2014)。運動生物化學。北京市西城區德外大街 4 號。
- 田振軍 (2006)。運動心臟生物學研究。北京東皇城：科學出版社。
- 蕭婉柔 (2015)。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律變異度。
- 陳耿賢 (2008)。固定架間歇訓練對自由車選手專項能力之影響。
- 李凱琳 (2017)。跑步機訓練對視覺障礙柔道選手有氧與專項耐力之效果-個案探討。

英文部分

- Bompa, T. O., Bompa, T., & Zivic, T. (1981). *Fitness and Body Development Exercises*. Kendall/Hunt
- Balabinis, C. P., Psarakis, C. H., Moukas, M., Vassiliou, M. P., & Behrakis, P. K. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(2), 393-401
- Bickham, D. C., Bentley, D. J., Le Rossignol, P. F., & Cameron-Smith, D. (2006). The effects of short-term sprint training on MCT expression in moderately endurance-trained runners.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of applied physiology*, 98(6), 1985-1990.
- 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. *The Journal of physiology*, 586(1), 151-160
- Brooks, G. A. (1986, December). Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. In *Federation proceedings* (Vol. 45, No. 13, pp. 2924-2929).
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., White, T. P., & Baldwin, K. M. (2000). Cardiovascular dynamics during exercise. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its applications*. Mountain View, Ca: Mayfield Publishing Company, 317-339.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & White, T. P. (1996). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications* (No. Ed. 2). Mayfield publishing company.

- CHROMIAK, J.A., AND D.R. MULVANEY. A review: The effects of combined strength and endurance training on strength development. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 4:55–60. 1990.
- Dickhuth, H. H., Huonker, M., Münzel, T., Drexler, H., Berg, A., and Keul, J. (1991). “Individual Anaerobic Threshold for Evaluation of Competitive Athletes and Patients with Left Ventricular Dysfunction,” in *Advances in Ergometry*, eds N. Bachl, T. E. Graham, H. Löllgen (Berlin, Heidelberg: Springer), 173–179.
- Dudley, G. A., Staron, R. S., Murray, T. F., Hagerman, F. C., & Luginbuhl, A. (1983). Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans. *Journal of applied physiology*, 54(2), 582-586.
- Egan, B., Carson, B. P., Garcia-Roves, P. M., Chibalin, A. V., Sarsfield, F. M., Barron, N., ... & O’Gorman, D. J. (2010). Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator-1 α mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 588(10), 1779-1790.
- Fronchetti, L., Nakamura, F. Y., De-Oliveira, F. R., Lima-Silva, A. E., & De Lima, J. R. (2007). EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING ON HEART RATE VARIABILITY DURING EXERCISE. *Journal of Exercise Physiology Online*, 10(4).
- Fleck, S. J. (1994). Kardiovaskuläre Reaktionen und Adaptionen während Kraftbelastungen. *Enzyklopädie der Sportmedizin: Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte Verlag, 302-311.

- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*, 590(5), 1077-1084.
- Gappmaier, E. (2002). "220-AGE?"-PRESCRIBING EXERCISE BASED ON HEART RATE IN THE CLINIC. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal*, 13(2), 13-16.
- Harre, D. (1982). Special problems in preparing for athletic competitions. *Principles of Sports Training*.-Berlin: Sportverlag, 216-227.
- 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(4), 144-156.
- Hollmann, W., & Liesen, H. (1973). Der Einflub eines zweiwöchien Höhentrainings auf die Leitungsfähigkeit im Flachland, gemessen an spiroergometrischen und metabolischen parameteren.
- 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.
- Hamid Arazi (2017) Effects of Heart Rate vs. Speed-Based High Intensity Interval Training on Aerobic and Anaerobic Capacity of Female Soccer Player
- Jakeman, Adamson, and Babraj (2012) Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes
- Jackson, A. S., Beard, E. F., Wier, L. T., Ross, R. M., Stuteville, J. E., & Blair, S. N. (1995). Changes in aerobic power of men, ages 25-70 yr. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 113-120.

- Kindermann, W., Dickhuth, H.H., Niess, A., Röcker, K., Urhausen, A (2003). Sportkardiologie. 5-20.
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 42(1), 25-34.
- Krüger, K., Pilat, C., Schild, M., Lindner, N., Frech, T., Muders, K., & Mooren, F. C. (2015). Progenitor cell mobilization after exercise is related to systemic levels of G-CSF and muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(3).
- Lee, D. C., Sohn, H. A., Park, Z. Y., Oh, S., Kang, Y. K., Lee, K. M., ... & Noh, H. (2015). A lactate-induced response to hypoxia. *Cell*, 161(3), 595-609.
- Maiorana, A., O'Driscoll, G., Cheetham, C., Collis, J., Goodman, C., Rankin, S., ... & Green, D. (2000). Combined aerobic and resistance exercise training improves functional capacity and strength in CHF. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1565-1570.
- Matsumoto, A., Abe, T., Hara, A., Tobita, T., Sasagawa, T., Kawasaki, T., & Soai, K. (2015). Crystal structure of the isopropylzinc alkoxide of pyrimidyl alkanol: Mechanistic insights for asymmetric autocatalysis with amplification of enantiomeric excess. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(50), 15218-15221.
- Martin, D., & Kauwell, G. P. (1990). Continuous assistive-passive exercise and cycle ergometer training in sedentary women. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(4), 523-527.

- Martin J. Gibala, Jonathan P. Little, Maureen J. MacDonald and John A. Hawley (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity
- Mader., Lisen, H., Heck., Philippi, R., Schurch, P., & Hollamnn, W. (1976). Zur Beurteilungder sportspezifischen Ausdauerleistungsfaehigkeit in Labor. Sportarzt und Sportmed.27(4), 80-88.
- Norrbom, J., Sundberg, C. J., Ameln, H., Kraus, W. E., Jansson, E., & Gustafsson, T. (2004). PGC-1 α mRNA expression is influenced by metabolic perturbation in exercising human skeletal muscle. Journal of applied physiology, 96(1), 189-194.
- Neumann, G., Hottenrott, K. (2002). Das Grosse Buch vom Laufen. Meyer & Meyer.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Berbalk, A. (2001). Optimiertes Ausdauertraining. Meyer & Meyer Verlag.
- Neumann, G. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. In: Das gross Buch vom Laufen. Meyer & Meyer Verlag. 222-223
- Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., & Bangsbo, J. (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism, 276(2), E255-E261.
- Prasad AA, Pasterkamp RJ. (2009). Axon guidance in the dopamine system [J]. Adv Exp Med Biol, 651:91-100
- Rost, R., & Hollmann, W. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis: Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren. Thieme.

- Riechman, S. E., Zoeller, R. F., Balasekaran, G., Goss, F. L., & Robertson, R. J. (2002). Prediction of 2000 m indoor rowing performance using a 30 s sprint and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 20(9), 681-687.
- Reilly, T. (1981). Considerations in endurance training. In T. Reilly (Ed.), *Sports Fitness and Sports Injuries* (pp. 79-90). London: Faber and Faber.
- Schaun, G. Z., & Del Vecchio, F. B. (2018). High-Intensity Interval Exercises' Acute Impact on Heart Rate Variability: Comparison Between Whole-Body and Cycle Ergometer Protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 223-229.
- Schmidt, W., Heinicke, K., Rojas, J., Gomez, J. M., Serrato, M., Mora, M., ... & Keul, J. (2002). Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(12), 1934-1940.
- 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.
- Sloniger, M. A., Cureton, K. J., Prior, B. M., & Evans, E. M. (1997). Anaerobic capacity and muscle activation during horizontal and uphill running. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 262-269.
- Thomas, C., Bishop, D. J., Lambert, K., Mercier, J., & Brooks, G. A. (2011). Effects of acute and chronic exercise on sarcolemmal MCT1 and MCT4 contents in human skeletal muscles: current status. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 302(1), R1-R14.

- 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. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1439-1447.
- Theorien-Untersuchungen-Beispiele: Czwalina Thomas, R., Baechle & Roger, W. E. (2000). *Essentials of Strength Training and Conditioning*, 2nd ed. Human Kinetics Publishers, Inc. Venckunas, T., Lionikas, A., Marcinkeviciene, J. E., Raugaliene, R., Alekrinskas, A., & Stasiulis, A. (2008). Echocardiographic parameters in athletes of different sports. *Journal of sports science & medicine*, 7(1), 151.
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (2000). The endocrine system in overtraining. In *Sports endocrinology* (pp. 347-370). Humana Press, Totowa, NJ.
- Weicker, H., & Strobel, M. (1994). *Biochemisch physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung*. Gustav-Fischer-Verlag Stuttgart-Jena-New York.
- Watts, D. C. V., and Wilson, H. (n.d.). *Middle and Long Distance, Marathon and Steeplechase*. London: British Amateur Athletic Board
- Wang, Y. C., Smith, R.S., & Jang, J. T. (2009). Effects of 3 Days Training with Hyperoxia on Metabolism and Systemic Circulation.
- Zintl, F. (1994). Ausdauer training (Zusammengestellt nach Angaben von keul et al. 1986, Kindermann 1978, Badtke et al. 1987). *Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*, 188-189.

附錄

附錄一：



運動能力診斷與訓練調整

疾病調査

編號：

姓 名：	出生年月：	身高 (cm)：	體重 (kg)：	性別：
週運動頻率： 運動型態：		持續時間： ☐ 30min ☐ 40 min ☐ 60min ☐ >1h		
Mail:		手機：		
請據實回答以下問題：				
1. 是否有心臟疾病 2. 是否有血液疾病 3. 是否有糖尿病 4. 是否有高血壓 5. 是否有氣喘疾病 6. 是否有癲癇症 7. 是否有肌肉疼痛 8. 是否有感冒症狀 9. 最近六個月是否有開刀手術 10. 其他：_____ 1) _____ 2) _____ 3) _____ 4) _____ ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否				
簽 名： _____ 日期： _____				

www.spdi.idv.tw

附錄二：

國立體育大學
National Taiwan Sport University



研習證明
Certificate of Attendance

編號：1061209033

茲證明

梁嘉華 君 (A127817064) 參加本校研究發展處
106 年 12 月 9 日舉辦之「研究倫理訓練講習」，共計 6 小時。
課程與講師

IRB 審查重點與常見問題	衛生福利部臺北醫院神經外科主治醫師/研究倫理委員會執行秘書 丁賢偉醫師
淺談學術研究者的責任及新興挑戰	臺灣學術倫理教育資源中心執行秘書/交大學倫辦公室專案管理師 潘璿安老師
新手 PI 如何順利通過倫理審查	受試者保護中心資深臨床試驗查核員/台灣臨床研究倫理審查學會 (TAIRB) 副秘書長 連群老師

We hereby certify that

*has completed the 6-hour Educational Training Course of
Human Research Ethics*

*held by the Office of Research and Development, National Taiwan Sport University
on Dec 9, 2017, Taoyuan, Taiwan*

研究發展處 研發長 張育愷

Dean
Office of Research and Development

Chang Yu-Kai



附錄三：

FJU-IRB F-034 /20171109

輔仁大學人體研究倫理委員會

通過證明

- 一、計畫編號：C106152
- 二、執行單位：國立體育大學競技與教練科學研究所
- 三、主持人：張嘉澤助理教授
- 四、研究團隊成員：
 - (1) 陳彥宇/國立體育大學競技與教練科學研究所
 - (2) 梁嘉華/國立體育大學競技與教練科學研究所
- 五、計畫名稱：HIIT 運動組合負荷對高強度心跳率與肌肉能量代謝調節之效果
- 六、計畫書版本/日期：2，2018/07/13
- 七、受試者說明暨同意書版本/日期：第 2 版，2018/07/13
- 八、計畫執行地點：國立體育大學競技與教練科學研究所運動能力與訓練調整研究中心
- 九、研究方式/工具：招募廣告 2018/06/04
- 十、追蹤審查頻率：每 1 年 1 次

上述計畫業於 107 年 09 月 11 日 經本委員會 107 學年度第 1 次人體研究倫理委員會審查通過，本通過證明有效期限自 107 年 09 月 11 日 至 108 年 09 月 10 日 有效，主持人最遲應於本通過證明有效期前 4 周，提交期中/追蹤報告至本委員會進行審查，並經審查通過後，方可繼續執行。研究計畫執行結束，應於結束後 3 個月內依規定向本委員會辦理結案，繳交結案報告。

計畫執行期間，若有變更或修正，計畫主持人需依相關規定提出修正(變更)申請，經本委員會審查通過後方可繼續執行。計畫執行中如有偏差或違規情事，應依規定及請求，向本委員會提出報告。

計畫執行期間，若有嚴重不良反應事件或其他無法預期情況，計畫主持人需依相關規定向本委員會通報。

本計畫如有修正(變更)、展延，請依本委員會核發之最新通過證明執行。

計畫如申請終止或經本委員會會議決議終止研究時，本通過證明自本委員會同意終止日起自動失效。

輔仁大學人體研究倫理委員會

主任委員



107 年 09 月 14 日