

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

Cooling 措施在急性運動應用對體表溫度、血液氣體調節與有氧閾值耐力之立即效果

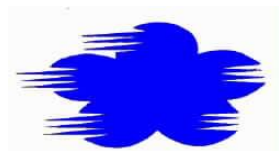
The Immediately Effect of Cooling in Acute Exercise on Body Surface Temperature, Blood Gas and Aerobic Threshold

指導教授：張嘉澤 博士

研 究 生：李寶潤 撰

中 華 民 國 107 年 6 月

國立體育大學



National Taiwan Sport University

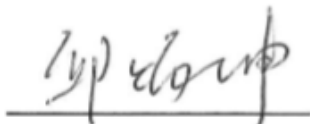
本論文：Cooling 措施在急性運動應用對體表溫度、血液氣體調節與有氧閾值耐力之立即效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生 李寶潤 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

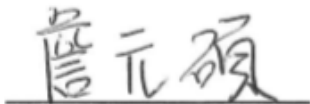
中華民國 107 年 5 月

論文考試委員



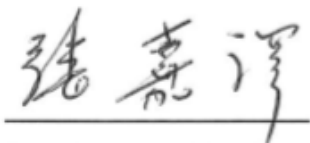
邱炳坤 博士

國立體育大學教授



詹元碩 博士

國立台北教育大學教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授

(本論文指導教授)

Cooling 措施在急性運動應用對體表溫度、血液氣體調節與有氧閾值耐力之立即效果

摘要

本研究目的主要在探討急性運動 Cooling 措施對體表溫度與血液氣體之效果。方法：本研究以有持續運動習慣的並無重大疾病之成人共 8 名，平均年齡 24.6 ± 3.1 years；身高 168.9 ± 5.9 cm；體重 69.4 ± 8.7 kg。本實驗時間共為 3 天，實驗工具皆為腳踏車測功儀。測試方法分為基礎能力測試 (2-4mmol/l) 及單次腳踏車高強度持續訓練 (10min) 與間歇訓練 (4x90s)。超低溫設計為 -120°C 。討論單次高強度訓練能否改善運動員的競技體能，在訓練中應用超低溫可以讓運動員加速恢復讓下一場訓練有更好的品質。建議在急性運動實施 Cooling 措施可有效使高體溫與乳酸有更好的恢復，能讓選手以更好的狀態接受訓練。急性單次高強度訓練可有效改變有氧耐力 (2mmol/l)。

關鍵詞：持續訓練、間歇訓練、Cooling、血液氣體、體表溫度

The Immediately Effect of Cooling in Acute Exercise on Body Surface Temperature, Blood Gas and Aerobic Threshold

Abstract

Methods:In this study, there were 8 healthy adults with continuous exercise habits. Subjects were eight competitive athletes. In this study, there were 8 healthy adults with continuous exercise habits, with an average age of 24.6 ± 3.1 years; height 168.9 ± 5.9 cm; weight 69.4 ± 8.7 kg. The experimental time is 3 days. The experimental tools are all bicycle ergometers .Test was included basic endurance test (2-4mmol / l) and Bicycle high-intensity continuous training and interval training for a total of Three days. Paired-t test was used to analysis parameters.

The conclusion of this study was summarized as follow: It is suggested that the implementation of Cooling measures in acute sports can effectively improve the recovery of high body temperature and lactic acid, allowing the players to receive training in a better state. Acute single high-intensity training can effectively change aerobic endurance (2mmol/l) 。

Key word: High-intensity continuous training 、 High-intensity interval training 、 Cooling 、 Blood gas 、 temperature

致謝

本論文能順利以完成，首先感謝指導教授張嘉澤博士於在學期間辛苦指導與督策，並且不時關切研究進度以及提供良好的建議和相關資訊，促使本論文能如期完成，在論文寫作最困惑的時候指點迷津，為學生付出的時間與精神，使我感激不已，在此至上衷心的感謝。本論文並承蒙邱炳坤教授和詹元碩助理教授給予珍貴的意見，使論文能夠更加完善，在此，特別感謝兩位老師的修正與教導。在學期間，除了師長們的教誨之外，非常感謝 **S P D I** 實驗室每位成員 昱中學長、凱琳學姐、吳凱學長、亦請、紫瑄、翊婷、聖庭、浩程、彥宇、嘉華、庭羽、卓賢 在日常生活中或實驗過程中能有他們的協助和幫助，讓我無後顧之憂的更可專注實驗的進行，並且很有耐心地回答我不懂的地方，讓我受益良多，在此至上衷心的感謝。

施測期間衷心感謝參與本研究受試者辛苦的配合，使本論文實驗得以順利完成。最後要感謝 我的家人及身旁的朋友，世偉、乙正學長、柔道同學和學妹學弟。

在此願將本研究結果，獻給支持我的師長及親友，與您們共同分享這份成果，並誠摯地祝福曾經協助本研究的每一位。

李寶潤 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 研究動機	1
第二節 研究目的	2
第貳章 文獻探討	3
第一節 人體體溫調節機制	3
第二節 冷卻 (COOLING) 生理機制	5
第三節 急性無氧訓練對生理機制改變	8
第四節 有氧閾值之相關研究	10
第五節 運動中血液 pH、 HCO_3^-	13
第六節 文獻總結	15
第參章 研究方法與步驟	16
第一節 研究對象	16
第二節 實驗時間及地點	16
第三節 實驗儀器與設備	17
第四節 實驗設計與方法	24
第五節 實施流程	29
第六節 資料處理	30

第肆章 結果分析與討論	31
第一節 腳踏車高強度負荷對生理反應之分析	31
第二節 腳踏車高強度負荷訓練對體表溫度之影響	36
第三節 COOLING 對高強度負荷新陳代謝之影響	39
第四節 有氧閾值耐力與階梯式負荷結果分析	41
第伍章 結論與建議	46
參考文獻	47
一、中文部分	47
二、英文部分	47
三、網站	54
附錄	55

表 目 錄

表 2-1-1 人體體溫高、低之溫度調節機制	4
表 2-4-1 競技選手基礎耐力能力	12
表 3-1-1 受試者基本資料	16
表 3-4-1 實驗中前、後測需採集生物參數	26
表 3-4-2 實驗中訓練需採集生物參數	27
表 3-4-3 踏車階梯式測試方式	28
表 4-4-1 前，後測有氧閾值 (2 mmol/l) 瓦特數與心跳率平均值與標準差	41
表 4-4-2 本研究之結果分析總表	45

圖 目 錄

圖 2-4-1 乳酸閾值曲線	10
圖 2-5-1 漸進的運動中動脈和肌肉 pH 的變化	13
圖 2-5-2 運動強度對於 HCO_3^- 、La 的變化	14
圖 3-1-1 Lode 固定式原地腳踏車	17
圖 3-1-2 Space Cabin 半罩式低溫艙	18
圖 3-1-3 i-Heart 心跳率偵測儀器	19
圖 3-1-4 EFK 德國制血糖乳酸分析儀	20
圖 3-1-5 P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統	21
圖 3-1-6 血液氣體分析儀	22
圖 3-4-1 實驗步驟圖	24
圖 3-4-5 體表溫度	28
圖 3-5-1 實驗流程圖	29
圖 4-1-1 持續與間歇腳踏車恢復期心跳率平均值與標準差 .	32
圖 4-1-2 持續與間歇腳踏車恢復期乳酸之血液乳酸	34
圖 4-2-1 持續訓練恢復期乳酸與體表溫度之相關圖	36
圖 4-2-2 間歇訓練恢復期乳酸與體表溫度之相關圖	37
圖 4-3-1 持續與間歇恢復期 pH 與 HCO_3^- 之平均值差異分析	39
圖 4-4-1 腳踏車階梯式負荷與恢復期乳酸平均值與標準差	43

中英文對照縮寫表

縮寫	英文	中文
ATP-PC	adenosine triphoreatine - phosphocreatine	磷化物系統
Blood gas		血液氣體
E1~E10	End of the first minute to fifteenth minute	運動結束第 1 分鐘至第 10 分鐘
HIIT	High Intensity Interval Training-HIIT	高強度間歇訓練
2mmol/l	Aerobic threshold	有氧閾值
4mmol/l	Anaerobic threshold	無氧閾值
PDH	Pyruvatdehydro-genase	丙酮酸脫氫酶
PFK	Pyruvate fructo kinase	磷酸果糖激酶
PGC-1a	Peroxisome proliferatoractivated receptor gamma coactivator	過氧化務酶體殖務啟動受 體 γ 輔啟動因子 1
	RNA	
pH	pondus hydrogenii	酸鹼性
R	rest	安靜值
T1	Test -1	前測
T2	Test -2	後測
HCO ₃ -		碳酸氫鹽
μ l	microliter	微升
$\dot{V}O_{2max}$	maximal oxygen consumption	最大攝氧量

第壹章 緒論

第一節 研究動機

過去競技運動訓練週期，都以 4-6 週作為訓練階段劃分，近代自 2007 年後，週期則以 2 週作為訓練計劃安排，過去與近代在訓練的共同特點，皆以長時間的生理適應為主，也就是需要一段時間的訓練，才能產生競技能力的改變。

目前在單次訓練的效果評估，在研究上與訓練上甚少發現。從競技運動訓練的要求顯示，每位教練與運動員都希望在當天練習，就能夠獲得訓練的成果。如比一來不會影響明天與下階段的訓練計劃執行。

但是要在單次的負荷產生效果，訓練負荷劑量就必須提高，在高負荷劑量的練習，可能會產生肌肉疲勞與發炎，因此，在高劑量的運動，本研究應用冷卻艙來降低肌肉疲勞與發炎反應是必須的，除此之外還可以運用冷凍背心、水中浸泡也可以有效降低肌肉疲勞。

第二節 研究目的

本研究目的有下列兩點：

- 一、 探討急性運動 **Cooling** 措施對體表溫度與血液氣體 (pH、 HCO_3^-) 之效果。
- 二、 探討急性運動 **Cooling** 措施對有氧閾值耐力與恢復期
乳
酸排除、恢復心跳率 (HR) 之立即效果。



第貳章 文獻探討

第一節 人體體溫調節機制

人體在面對內在與外在環境溫度的刺激時，會透過體內熱調節中樞的活動，引發內分泌腺、骨骼肌、皮膚血管與汗腺等組織器官的共同作用，使體溫保持在相對恆定的狀態。因此，人體在高溫環境下，體溫調節機制會因高溫環境激發下視丘的溫度調節中樞運作，使血管舒張，藉血流速度變大讓身體內部的熱快速傳導至皮膚，同時亦透過流汗蒸發，使熱散失 (Blatteis, 2001)。

在低溫環境下，體溫調節機制與在高溫環境下的運作方式正好相反，而低溫環境激發下視丘的溫度調節中樞運作，使血管收縮，降低血流速度，減慢熱的傳導，同時亦透過毛豎起 (piloerection) 增加皮膚外的絕緣空氣，減少熱量散失，並藉由顫抖、產熱交感神經的興奮及甲狀腺素的分泌等產熱機制增加產熱 (thermogenesis)，使身體升溫 (表 2-1-1) (劉琛，2011)。

表 2-1-1 人體體溫高、低之溫度調節機制 (劉琛，2011)

	血管	毛細孔	熱量產生
降溫機制	舒張	擴張-流汗	抑制產熱機制
升溫機制	收縮	收縮-毛豎起	增加產熱：顫抖、 產熱交感神經的興奮 甲狀腺素的分泌

熱環境下運動時，心肺系統要更加賣力將肌肉所產生的熱，藉由循環系統傳到皮膚表面，以便散發體外；為因應人體在熱環境下運動，血流必須重新分配，大部分的血液會流到皮膚和工作肌上，而血流的重新分配降低了血液流回心臟的量，也降低了心臟的每跳輸出量。人體為維持一定的心輸出量，心跳頻率的急速上升，即為一種代償現象。任何一個會造成心肺系統過度負擔或干擾散熱的因素，都會嚴重的破壞運動表現，並增加熱傷害的機會 (Casa, 1999)。

除了體溫上升與心跳加速外，耗氧量與排汗量也會跟著上升 (Siegel, 2011)，並且骨骼肌會使用更多的肝醣作為能量來源，近而產生較多的乳酸 (Rowell Brengelmann, Blackmon, Twiss & Kusumi, 1969)。

根據過去研究，當體內核心溫度 (Core temperature) 與骨骼肌因熱環境而提高時，運動表現會隨之下降，其運動型態包含長時間低強度 (Galloway & Maughan, 1997)、高強度間歇衝 (Drust, Rasmussen, Mohr, Nielsen & Nybo, 2005) 與中距離耐力負荷 (Slater, Rice, Sharpe, Tanner, Jenkins & Gore, 2005) 等。

第二節 冷卻 (Cooling) 生理機制

在熱環境下從事競技運動對運動員來說是嚴酷的挑戰，因為高溫高濕度的氣候會限制身體散熱的能力。過去研究指出，增加身體的熱容積，可以延緩疲勞的出現時間 (Marino 2002)。因此，透過運動前、運動中後與運動間歇期實施冷卻降溫，(冷卻背心、低溫室、冷卻艙、浸水療...等等)，可以有效降低身體核心溫度、體表溫度與肌肉溫度，增加熱容積。

一、冷卻背心

Duffield 等 (2003) 以 7 名男性曲棍球選手為受試對象，在環境溫度 30°C 相對溼度 60% 下，進行腳踏車間歇衝刺測驗，在測驗前 5 min 以及間歇休息時間運動用冷卻背心進行冷卻，研究結果顯示，輸出動率、心跳率、乳酸、核心溫度、皮膚平均溫度、運動知覺量表均無達顯著差異。

二、水中浸泡

Marsh 與 Sievert (1999) 以 13 名男性全國性與國際性自行車選手作為受試對象。在環境溫度 29°C 相對溼度 80% 下，進行 70s 腳踏車最大動力測試，在運動前 30 min 進行水中浸泡 (12-14°C) 降溫。研究結果顯示，心跳率與乳酸無顯著差異，而核心溫度，皮膚溫度顯著低於未冷卻組，而最大動力測試表現，冷卻組比未冷卻組在總瓦特數顯著增加 (581-603 Watt)。

三、 手部浸泡

Grahn, Cao, 與 Heller (2005) 以 18 名 (10 男 8 女) 成年人為受試對象分為未冷卻組，手掌降溫組 (22°C，無負壓) 以及手掌降溫加負壓組 (22°C，負壓 40 mmHg)，於環境溫度 40°C 相對溼度 25-45% 下進行跑步機 90%VO₂max 持續跑研究結果顯示，手掌降溫加負壓組與無負壓組，運動持續時間顯著多於未冷卻 (43%)。

Grahn 等 (2005) 指出因為負壓的關係可避免手掌的血管收縮，進而更有效達到降溫的效果，加上因為手掌無毛髮，是身體傳導散熱效果最良好的部位，也是動靜脈交界處由核心流向末梢的血液，經過較低溫的手掌，因此降低了血液溫度流回身體核心，進而達到降低核心溫度的效果。

在此條件下從事運動，肌肉產生的熱能將無法順利散發至環境中，身體熱調節的平衡會受到破壞，使得運動員在生理與心理上產生極大的壓力，嚴重者甚至會危及生命安全。過去研究指出，過高的體溫會降低運動員的競技能力 Gonzalez-Alonso, Teller, & Andersen. (1999)，在於神經傳導的抑制 (Nybo & Nielsen, 2001)，心血管功能的阻礙與新陳代謝的干擾 (Siegel & Laursen, 2012)。

為了減緩因體溫上升所引起的疲勞感及維持競技能力，身體必須在熱的獲得與散發間取得平衡。高強度訓練當中，會搭

配超低溫輔助恢復。當體表微血管接觸到低溫的環境，瞬間收縮向內擠壓，幫助低溫的血液回流心臟，提升輸出的量。隨著體表回溫，為微血管內的血液帶來更多氧氣，同時，帶進肌肉細胞的氧氣也更多，有助於驅動身體恢復的機制 Friek (1989)。

不僅如此，就醫療層面來看，低溫能抑制肌肉發炎的情況此概念放諸所有高強度運動訓練皆準 (Duffield, 2008)。

為了減緩因為體溫上升所導致的疲勞感及維持競技能力，身體必須在熱的獲得與散發間取得平衡。體溫反應身體的熱平衡，一般在安靜時，體內核心溫度（直腸）約在 37℃ 左右；而在運動時，由於人體散熱速度不及生熱速度快，核心溫度會超過 40℃、肌肉內溫度超過 42℃。

早期研究認為，在運動中實施冷卻能有效降低皮膚表面與內部的核心溫度，減少血液到皮膚表面進行散熱的需要，因此維持心臟的每跳輸出量與降低心跳率，增加氧氣運輸到骨骼肌的機會，因此能減緩體循環系統與肌肉能量代謝的壓力 (Hessemer, Langusch, Bruck, Boderker & Breidenbach, 1984)。

近期的研究則認為，超低溫可以增加運動表現的原因，也許與減緩中樞神經 (CNS) (Duffield, 2008)。

第三節 急性無氧訓練對生理機制改變

無氧訓練同時具備速度及無氧能力。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)。

高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training-HIIT) 屬於無氧訓練的一種，高強度間歇訓練是在負荷與負荷之間採用不完全休息之方式進行，這樣的訓練模式，使選手重複達到高強度的刺激與一般持續訓練方式有所不同。主要訓練為快速產生高速度恆定 (steady state)，規律的耐力訓練可以增進許多生理上的適應，提升訓練所能忍受的強度，經由高強度刺激而減少訓練時間 (Buchheit&Laursen,2013)。耐力訓練可以減少乳酸的產生，因為提升無氧的能量獲得，先決條件是增加糖酵解酶的活性。其主要是提升 Phosphatfruktokinase (PFK) 和 Pyruvatdehydro-genase (PDH)。

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。在高強度的刺激下，ATP-PC 快速耗竭，因能量的急需而起動無氧糖解作用，使

得乳酸大量的生成，導致身體 pH 值下降，間接影響了肌肉的收縮速度以及能量代謝之速率。

Stamford, Weltman, Moffatt and Sady. (1981) 過去研究指出血乳酸的堆積會干擾肌肉的收縮、神經傳導的速度以及能源的利用，並導致疲勞的出現。Neumann (1990) 而體內乳酸的排除型態主要為肝 (50%)、不活動肌群 (30%)、心臟 (10%)、腎臟 (10%) 將乳酸轉為能量給身體再利用。

在人體之肌肉三大能量來源系統中，10 秒內短時間高強度運動負荷其主要能量來源為 ATP-PC 系統或磷化物系統，而 90 秒以內之高強度運動，主要能量來源來自 ATP-PC 系統以及糖酵解系統 (Neumann, 1990)，然而短時間高強度負荷節奏運動型態所造成之疲勞，取決於肌肉是否儲存足夠之三磷酸腺苷 (Adenosine triphosphate, ATP)，我們可透過無氧負荷訓練方式來增強肌肉在無氧狀態下的續航力，並有效提升體循環與新陳代謝功能 (張嘉澤，2010)。

第四節 有氧閾值之相關研究

Mader et al., (1976) 之有氧-無氧閾值 2-4mmol/l 理論 (圖 2-1) , 最具應用價值。有氧閾值 (aerobic threshold) 定義為運動時乳酸值維持在 2 mmol/l 。

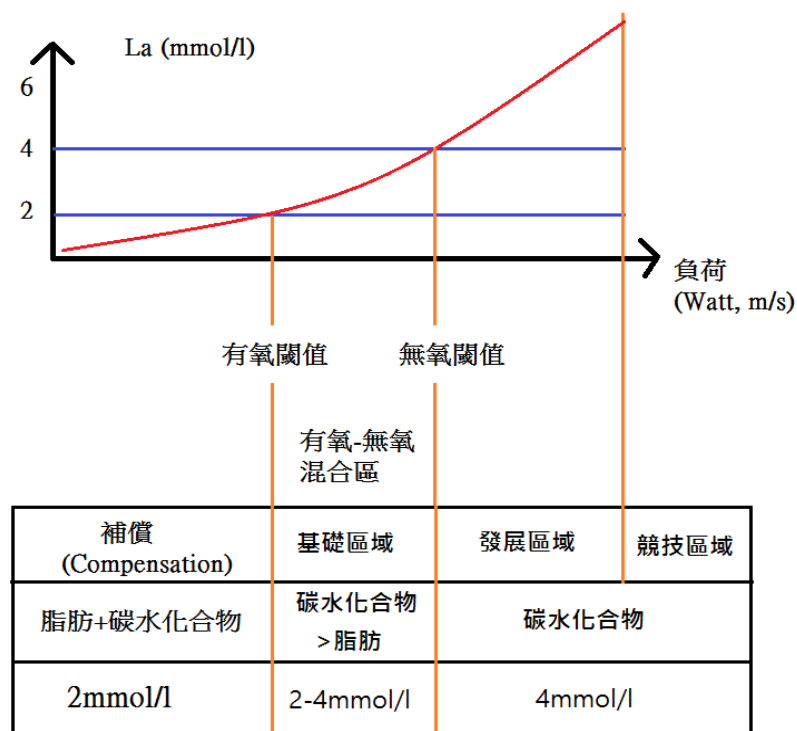


圖 2-4-1 乳酸閾值曲線 Mader et al., (1976)

有氧能力，是指有機體在氧的參與下產生能量的能力，它也決定運動員的耐力好壞。氧運動能力受到運動員體內供氧能力的影響，因此任何耐力訓練都應該包括提高供氧系統能力的訓練。中強度長時間的耐力訓練，可以透過提高肌紅蛋白含量、粒線體激酶、肝醣儲存量及氧化能力，使提升有氧運動能力。

而長時間活動的主要適應，是提高呼吸量、呼吸率、增加氧輸送量、增加心輸出量及增加肌肉粒線體密度。因此，良好的有氧訓練，也能相當程度的提升無氧能力 (Gollnick,1973)。

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 2mmol/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 $2-4\text{ mmol/l}$ 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)；無氧閾值的寫意乳酸 4mmol/l ，是有氧-無氧的混和區域的界線，這個點就是達到最大乳酸的穩定 (Maximal lactate steady-state, MaxLa_{ss})。

持續運動 20 min 運動乳酸濃度處於 $\pm 1\text{mmol/l}$ ，即可判定最大乳酸之 steady-state (MaxLa_{ss})。直至運動結束後的 15 分鐘，乳酸才漸漸會排除。

龔純玉 (2006) 以八位國中男生拔河隊選手，以個人有氧閾值速度最為負荷設定，訓練時間為五週，每週訓練三次每次時間為 20 min 的有氧訓練，研究結果得知，五週有氧耐力訓練後，對於國中生拔河選手的有氧心肺耐力與專項能力，皆有提升。

Hollmann (1987) 研究指出競技運動員之跑步機有氧閾值速度必須到 2.8m/s，無氧閾值則為 3.5m/s。腳踏車測功儀上有氧閾值必須達瓦特數 ≥ 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 2-4-1)；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。

表 2-4-1 競技選手基礎耐力能力(Hollmann et al., 1987)

有氧-無氧閾值	跑步機		腳踏車	
	m/s	HR	m/s	HR
2mmol/l	≥ 2.8	< 140	≥ 100	< 140
4mmol/l	≥ 3.5	< 156	≥ 130	< 156

第五節 運動中血液 pH、 HCO_3^-

在運動期間化學變化導致血的 pH 值降低，運動強度大於 50% 時身體乳酸會上升導致肌肉與血液中的 pH 值會快速下降。(圖 2-2)。

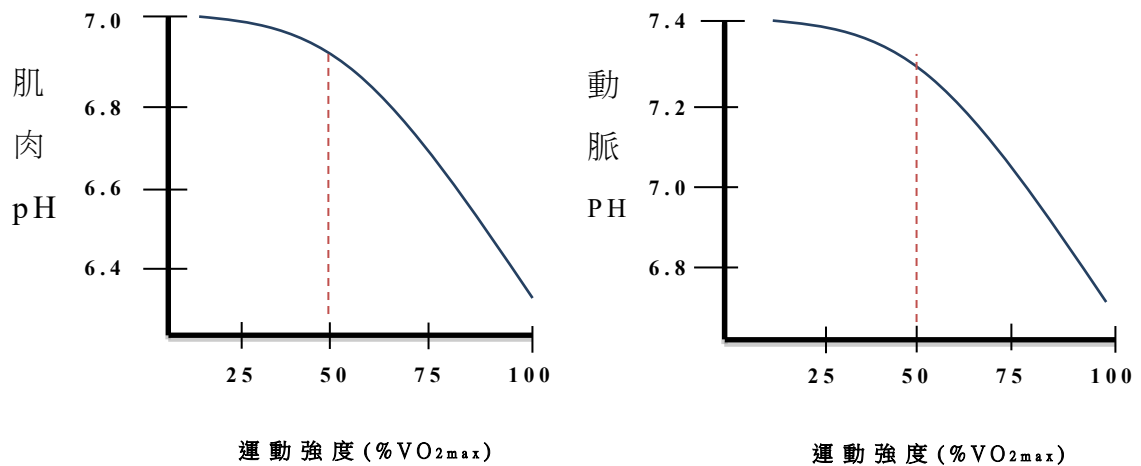


圖 2-5-1 漸進的運動中動脈和肌肉 pH 的變化

(Hultman E, and Sahlin K. 1980)

VO_{2max} 50%以上動脈與肌肉的 pH 值會往下降

腎衰竭因腎臟功能變差，無法正常將酸性物質排出，也會令血液變酸，導致 pH 值失調。血液的二氧化碳濃度，由身體的呼吸速率來調節。如果血裡的 pH 值下降，表示血液變得比較酸了，呼吸就會加快，排出較多的二氧化碳，以降低血中的酸度。如果血中的 pH 值上升、鹼性增加，呼吸就會受抑制，呼出的二氧化碳會減少，使血液的酸鹼度回歸正常。除此之外，還有一套備用系統：我們的腎臟會以排出酸或保留酸的方式，來調節血液的 pH 值 (Mader, 1979)。

在高強度訓練中，動脈的 pH 值會在短短數分鐘內從 pH 7.4 下降到 pH 7.0 (Jones NL, Sutton 1997)，一直持續高強度訓練動脈中的 pH 甚至會下降至 6.8 (Hultman E, and Sahlin K. 1980)。如果身體的 pH 值太低的話 (小於 7.4)，會造成酸中毒的結果。理論上，血的 pH 值應維持在 7.4，如果 pH 值小於 6.8 或大於 7.8，生理功能失常 (Mader, 1979)。

在運動中 HCO_3^- 與乳酸是呈現相反比的，乳酸下降 HCO_3^- 會上升相對的乳酸上升 HCO_3^- 就會下降 (Street D, Bangsbo J, Juel C 2001) (圖 2-5-2)。

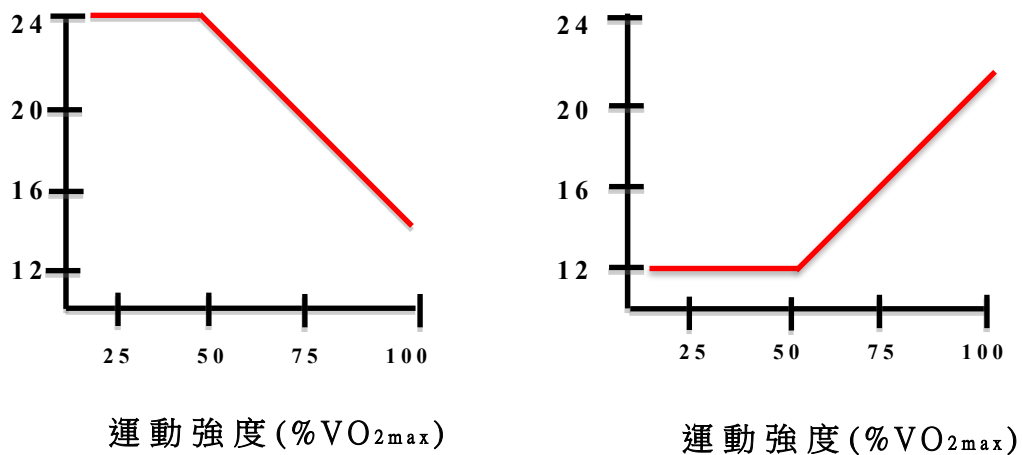


圖 2-5-2 運動強度對於 HCO_3^- 、La 的變化
(Stringer W, Casaburi R, Wasserman K 1992.)

在高強度運動中， HCO_3^- 的下降，會減少乳酸從肌肉中移往血液，而導致肌肉中 pH 值的下降，進而可能會造成疲勞的提早出現 (Hultman E, and Sahlin K. 1980)。

第六節 文獻總結

綜合上述文獻可知，進行高強度無氧訓練時，會造成乳酸與血氨值上升，其原因是動用到大量的快縮肌肌肉纖維所導致，而上升的速度依據訓練的持續時間與訓練的強度有所不同。

當環境溫度超過 30℃ 時，會造成身體與大腦下視丘壓力因而限制身體的散熱能力，接下來會影響運動表現最終會使運動終止。而上述研究發現，多數研究皆運用在室內的划船機、腳踏車與跑步機，在室外的研究項目比較於少 (Blatteis, 2001)。

近代訓練方法都比較嚮往短時間高強度訓練為主，高強度訓練容易引發肌肉發炎疲勞與痠痛，訓練中應用冷卻效能夠有效減緩肌肉的發炎、疲勞與痠痛還能夠降低身體核心溫度、皮膚溫度，讓體內血液重新分配，供應更多氧氣致肌肉，進而提升運動表現。

第參章 研究方法與步驟

第一節 研究對象

本研究以有持續運動習慣的健康成人共 8 名為受試對象(一週運動 3 次每次 20 分鐘)，並於實驗前向受試者說明實驗流程。實驗同意書與運動能力診斷疾病調查表經受試者閱讀且同意後於參與者同意欄上簽名並填寫相關資料。

表 3-1-1 受試者基本資料

受試者 (n=8)	年 齡 (y r s)	身 高 (c m)	體 重 (k g)
M	24.6	168.9	69.4
SD	3.1	5.9	8.7

第二節 實驗時間及地點

時間：2017 年 10 月 31~11 月 1 日

地點：國立體育大學競技學院競技與教練科學研究所，
運動能力診斷與訓練調整實驗室(SPDI)

第三節 實驗儀器與設備

一、 Lode 固定式原地腳踏車 (圖 3-1-1) ;

腳踏車測力計以 Hollmann et al, (1982) 方式進行，每階持續 3 min，開始負荷為 100 Watt，每次間歇 30 秒，每階負荷上升 30 Watt 測試進行至受試者能承受最大負荷。



圖 3-1-1 Lode 固定式原地腳踏車

圖片來源：：<https://www.lode.nl/en/product/excalibur-sport/3>

二、 Space Cabin 半罩式低溫艙（圖 3-1-2）；

超低溫使用液態氮，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中（ $-110 \sim -195^{\circ}\text{C}$ ）持續 1-5 分鐘，能立即促使血管收縮和降低肌肉溫度，冷卻後血管舒張提高微血管血流量，使氧氣與營養物質進入肌肉中，肌肉收縮產生的代謝物質移除亦加快達到促進恢復的效果。



圖 3-1-2 Space Cabin 半罩式低溫艙

圖片來源：<https://cryomedpro.com/catalog/product/cryosauna-space-cabin/>

三、 Heart 心跳率偵測儀器 (台灣) (圖 3-1-3) ;

能同步即時監測 50 人以上心跳率及個別心跳率，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 3-1-3 i-Heart 心跳率偵測儀器

圖片來源：

<http://www.hexin.com.tw/upload/goods/20150507112209186.png>

四、 EFK 德國制血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line; EFK-diagnostic) (圖 3-1-4) ;

Biosen C-line 乳酸與血糖分析儀器，分析血液量為 10 μ l，採濕式分析。血液採集至化驗時間，可間隔 48h。可同時顯示乳酸與血糖濃度。



圖 3-1-4 EFK 德國制血糖乳酸分析儀

圖片來源：<https://www.ekfdiagnostics.com/biosen-analyzer.html>

五、紅外線熱顯像儀（圖 3-1-5）；

高解析紅外線熱像儀適合生產線與實驗室，為熱能量測與溫度分佈分析，搭配專業紅外線熱像儀軟體,可遠端即時監控與設定量測時間點範圍等功能並將結果逐一自動記錄歸檔甚至建立完整的表格分析，亦可設定溫度警戒範圍，發出警報或傳出訊息到手機或電子信箱（以上這些都是 OTG 一鍵式可以輕鬆完成。）

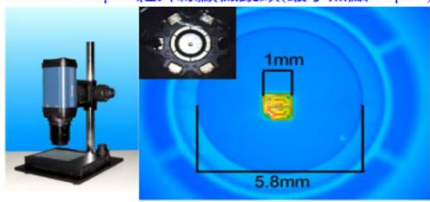
High Resolution & High Sensitivity & High Quality

P640系列



High Resolution Thermo Image Camera
UFPA Detector Pixels: 640(H) x 480(V) (=307,200.測溫點)
Minimum Spatial Resolution: 120μm / pixel
Sensitivity (NETD): 0.04℃
Temperature Accuracy: ±1.5% or ±1.5℃
High Speed Ethernet Lan Connection!!
16μm紅外線顯微鏡頭 (選購)

◆ P640RD-16μm 紅外線顯微鏡頭(最小熱點 16μm)(選購)



Micro Lens: 16μm Lens (add on 20mm lens) @15.75μm/pixel
View Area: 10.08mm x 7.56mm @640x480 mode
Measuring Temperature: Low Range 0~140℃, High Range 50~300℃
Accuracy: 2% or ±2℃ (@ 25℃ operation temperature)
Working Distance: 17mm

Model	P640RD-20
Infrared Detector	Uncooled Focal Plane Array (Microbolometer)
Thermo Image Pixels	640(H) x480(V) pixels
Spectral Range	8 ~14 μm
Sensitivity (NETD)	<= 0.04℃ (By 30℃ black body, Sigma) @R1 <= 0.08℃ (By 60℃ black body, Sigma) @R2
Measuring Range	R1 : -15 ~120℃, R2 : 50 ~500℃ High Range : ~1200℃(Option)
Accuracy	R1: ±1.5% or ±1.5℃ (@ 25℃ operation temperature) R2: ±2% or ±2℃ (@ 25℃ operation temperature)
Frame Rate	15 Frames/sec @640x480 mode
A/D Convert	14 bits/point
Digital Interface	Fast Ethernet IEEE802.3u (100BASE-T)
Lens	20mm / F1.0
View Angle	H: 30.4° V:23°
Focus	Manual Focus
Working Distance	>12.5cm ~ ∞ (近拍最小熱點 120μm)
Power Supply	DC12V (through AC adaptor STD)
Power Consumption	5W (typical)
Operation Temperature	-15 ~ 50℃
Storage Temperature	-20 ~ 70℃
EMC	Compliant to CE
Dimensions	Approx. 80mm(W) x 204mm(D) x 72mm(H)
Weight	Approx. 790g
Software	IRM_P640RD+TAS 全功能專業熱像分析系統
Microscopic Lens (Option)	P640RD-16μm (10.08mm x7. 56mm @640x480)
SDK (Option)	P640RD-Lib(SDK) (Fast Ethernet LAN supported)
LabView Kit (Option)	P640RD LabView Tool Kit (含 Driver)
Stand (Option)	Metal Stand with Double Fine Tunning Knob
XY Stage (Option)	75mm(X) X 55mm(Y)
Foot Print of Stand(Option)	200mm(W) X 250mm(D)

註:本產品外型及規格可能因功能性改進而有所修改變更

圖 3-1-5 P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統

圖片來源：<http://www.stlco.com.tw/products-and-services/hong-wai-xian-re-xiang-yi/gao-jie-xi-re-xiang-yi-xi-lie/>

六、 血液氣體分析儀 (Abbott i-STAT[®] HAND ANALYZER) (圖 3-1-6)；

此儀器製造於美國，內含血液氣體分析儀、儀器校正,紅外線印表機等。主要利用晶片中的特定酵素與液中的待測物質作用產生氧化還原反應，因此產生電位差以及電流，感應器會量測電位差與電流大小病量測電流通過樣本時的傳導度，樣本的濃度與傳導度以及電流有相關性。當溶液的濃度越高，傳導度以及電流就越高越大。反之亦然。此液器也提供了快簡易的分析，得到準確的血液中含氧量，以及酸鹼的平衡狀態。利用晶片方式，其重量只有 18 盎司；要執行測試，100 μ l 全血滴到晶片中，然後插入到掌上電腦。使用晶片為 G3+系統化提供精確的測定血液中的氧分壓 (pO₂)、二氧化碳分壓 (pOC₂)、酸鹼值 (pH) 與碳酸氫鹽 (HCO₃⁻)。



圖 3-1-6 血液氣體分析儀

圖片來源：

<https://www.pointofcare.abbott/us/en/offerings/support>

七、採血用工具

(採血針、採血毛管、酒精、紅血球破壞劑、手套等)。



第四節 實驗設計與方法

-  T1, T2 腳踏車測試個人閾值耐力、每階 3min (100Watt 開始，每次上昇 30Watt)
-  Cooling 2x120s
-  持續訓練：10min 持續腳踏車、轉速 70-80U (6mmol/l-Watt)
-  間歇訓練：4x90s 間歇腳踏車、轉速 70-80U ($\text{Watt}_{\max}$ 100%)、間歇 60s (100Watt)

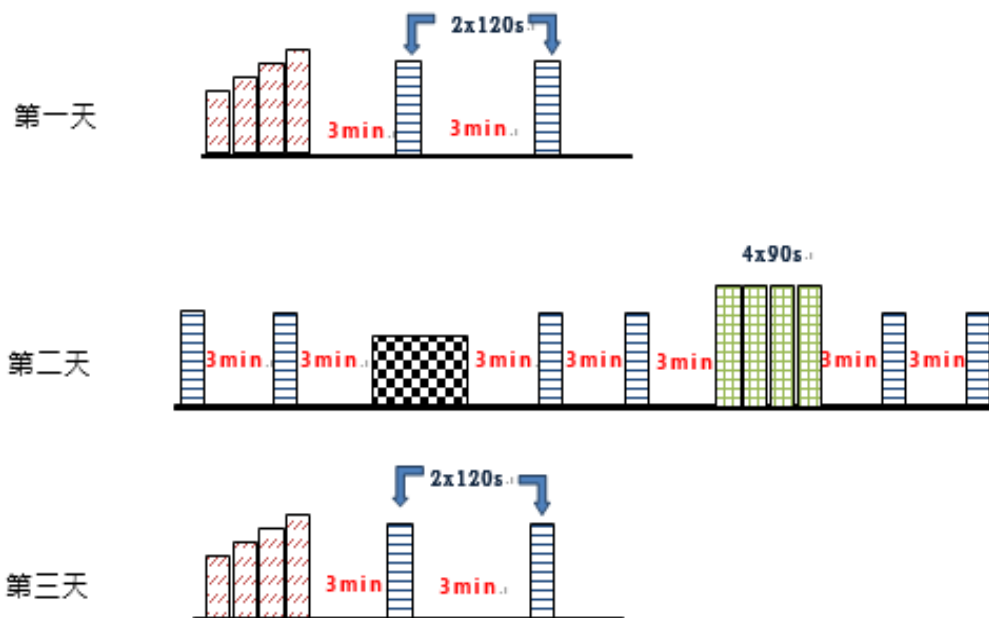


圖 3-4-1 實驗步驟圖

本實驗時間為 3 天本研究實驗中 8 名受試者，實驗中需進行生物參數、Cooling、熱感應攝影機、體表溫度。

一、前、後測 (T-1, T-2)

本研究實驗為期三天，分為前測 (T1)、後測 (T2) 以及一天的訓練。T1、T2 皆進行個人有氧無氧閾值基礎耐力測試並搭配低溫應用。一天的訓練則為單次高強度組合運動，包含持續訓練與間歇訓練，並搭配低溫應用。

以腳踏車測功儀作為測試工具，從 100 Watt 開始，每階 3 分鐘，每次上升 30 Watt，測試直到受試者達到個人最大負荷結束，並於結束後三分鐘進行兩次 -120°C 低溫應用 (120 s)，兩次低溫冷卻間隔三分鐘。其中 T1 之測試結果將作為單次高強度組合運動之運動強度依據。

二、訓練 (持續訓練，間歇訓練)

訓練時採用腳踏車進行 10min 持續腳踏車與 4x90s 間歇腳踏車訓練。

1. 持續訓練：以 T1 之測試結果帶入 Lactate EXPRESS 計算出個人無氧閾值 (6 mmol/l) 瓦特數 (6 mmol/l-Watt) 作為運動強度，持續運動十分鐘，並且維持 70~80 轉。
2. 間歇訓練：以 T1 之個人最大負荷瓦特數作為運動強度，進行四次 90 秒間歇運動，期間維持 70~80 轉間歇時間 60 秒，期間維持 100 Watt 以及 60~70 轉。

測試方法

基礎閾值耐力檢測

2-4mmol/l 基礎閾值耐力檢測：腳踏車開始為 100 Watt，每階上升 30 Watt，每階持續 3 分鐘（如表 3-1）。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）。

表 3-4-1 實驗中前、後測需採集生物參數

Test	Protocol	Bio-Wert
T-1	腳踏車階式複荷 上(100Watt 開始 - 50Watt 上昇 每 節 3min)	La :R-1x-2x-3x-4x...E3-E5-E7 HR :紀錄每節心跳率
T-2		同 T-1

表 3-4-2 實驗中訓練需採集生物參數

Tast	protocol	Bio-wert
持續訓練	10min 持續腳踏車 轉速 70-80U (6mmol/l-Watt)	La : 運動前安靜直 (R)與運動結束後 第一分鐘 (E1) 、 E3 、 E5 、 E10min HR :R 、 E1 、 E5 、 E10min Blood gas : R 與 Before exercise 、 E1 、 E10min
間歇訓練	4x90s 間歇腳踏車 轉速 70-80U (Watt _{max} 100%)、間 歇 60s (100Watt	La: E1 、 E3 、 E5 min HR:R、 1x、 2x、 3x、 4x、 E5 、 E10min Blood gas : E1 、 E10

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

階數	Watt	負荷時間 (min)	轉速 (RPM)
1	100	3	70-80
2	130	3	70-80
3	160	3	70-80
4	190	3	70-80
5	220	3	70-80
6	250	3	70-80
7	280	3	70-80
8	310	3	70-80

體表溫度

本實驗體表溫度測量點為下腹、雙腳大腿與背部、腿後。

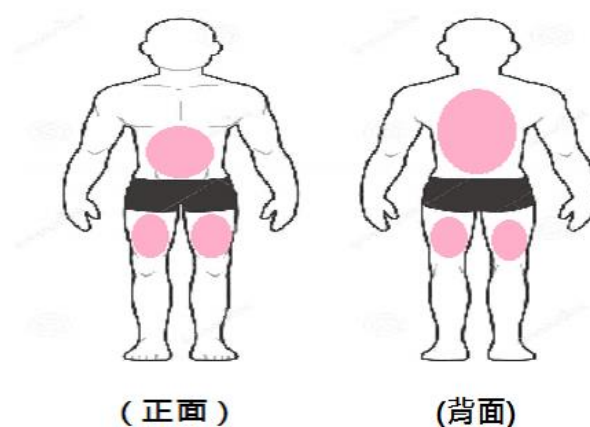


圖 3-4-5 體表溫度

第五節 實施流程

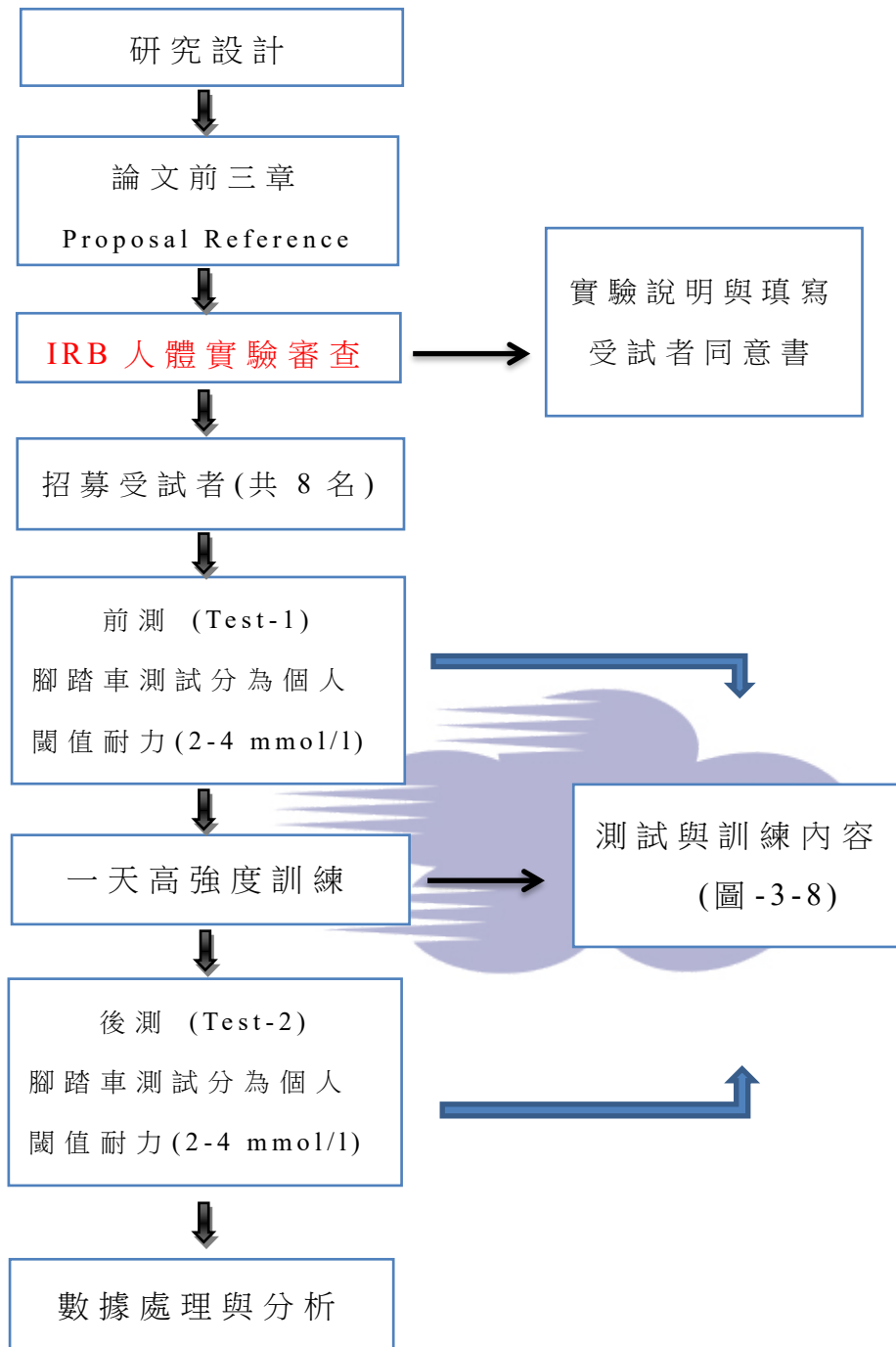


圖 3-5-1 實驗流程圖

第六節 資料處理

- 一、 所有資料以 SPSS for windows 20.0 軟體進行統計分析及 Sigma 12.5 繪圖軟體進行製圖。
- 二、 本研究所有數值以平均數與標準差（平均值 $\pm$ SD）表示。
- 三、 以重複量數單因子變異數分析比較單一測試之各時間點參數差異。
- 四、 有氧-無氧閾值基礎耐力測驗試以 Lactate EXPRESS 軟體代入 Mader (2mmol/l) 方式、計算出受試者個人有氧無氧閾值速度以及 6mmol/l-Watt。
- 五、 本研究顯著水準為 $\alpha = .05$ 。



第肆章 結果分析與討論

第一節 腳踏車高強度負荷對生理反應之分析

圖 4-2-1 為持續與間歇腳踏車 (Bicycle) 訓練，恢復期心跳率平均值與標準差分析。持續訓練心跳率 (HR) 恢復第一分鐘 (E1) 平均值為 $173 \pm 7.59 \text{ min}^{-1}$ ，最後採集時間 E5 則為 $112 \pm 7.59 \text{ min}^{-1}$ ，E1 與 E5 平均值差異 -61 min^{-1} ($p < 0.05$)。間歇訓練心跳率恢復第一分鐘 (E1) 平均值為 $172 \pm 14.04 \text{ min}^{-1}$ ，最後採集時間 E5 則為 $115 \pm 13.67 \text{ min}^{-1}$ ，E1 與 E5 平均值差異 -57 min^{-1} ($p < 0.05$)。持續訓練與間歇訓練恢復 E1 平均值差異 1 min^{-1} ($p < 0.05$)，最採集時間 E5 平均值差異 3 min^{-1} ($p < 0.05$)。

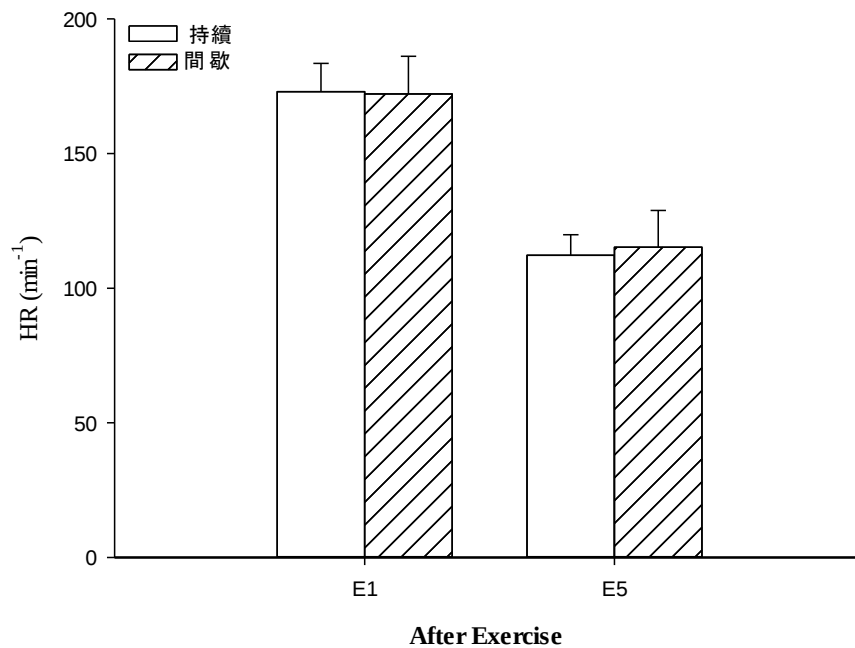


圖 4-1-1 持續與間歇腳踏車恢復期心跳率平均值與標準差

在本研究結果分析顯示，兩項負荷在運動結束（E1）均呈現高心跳率反應，這個症狀顯示持續與間歇方式對體循環產生相同的壓力，但是，兩項運動負荷在恢復期（E5）心跳率皆呈現顯著下降反應（圖 4-1-1）。這種症狀表示受試者體循環功能獲得改善，在 Hollmann et al. (1982) 研究發現，個人有氧閾值耐力獲得改善，將影響恢復期心跳率的下降速度。本研究在恢復期第 5 分鐘（E5）心跳率，兩項運動負荷皆下降至 120 min^{-1} 以下，在過去文獻也指出，恢復期心跳率能夠 $< 120 \text{ min}^{-1}$ 表示體循環壓力的解除 (Böhmer et al., 1975)。

本研究這種生理機制的改善，主要在於腳踏車 (Bicycle) 的運動模式所致，在阻力性運動負荷，將增加左心室的壓縮力量，這種反應可以提升血液流動速度。過去 Urhausen et al. (2000) 的觀察發現，大肌肉群的阻力性運動，增加左心室肌肉的用力。這種效果可以快速降低運動後心跳率與提升血液動力學效率。



圖 4-1-2 為持續與間歇腳踏車訓練，恢復期血液乳酸堆積濃度分析。持續訓練恢復第一分鐘 (E1) 平均值差 9.64 ± 1.62 mmol/l，最後採集時間 E10 則為 6.68 ± 2.02 mmol/l。E1 與 E10 平均值差異 -2.96 mmol/l ($p > 0.05$)。間歇訓練恢復第一分鐘 (E1) 平均值為 8.93 ± 2.63 mmol/l、E10 則為 6.77 ± 2.3 mmol/l。E1 與 E10 平均值差異 -2.16 mmol/l ($p > 0.05$)。持續訓練恢復期 E1 平均值為 9.64 ± 1.62 mmol/l，間歇訓練恢復 E1 則為 8.93 ± 2.63 mmol/l，平均值差異 -1.25 mmol/l。持續訓練恢復 E5 平均值為 8.24 ± 2.31 mmol/l，間歇訓練恢復期 E5 則為 8.04 ± 2.98 mmol/l，平均值差異 -0.2 mmol/l。持續訓練恢復 E10 則為 6.68 ± 2.02 mmol/l，間歇訓練恢復 E10 則為 6.77 ± 2.3 mmol/l，平均值差異 -0.09 mmol/l。

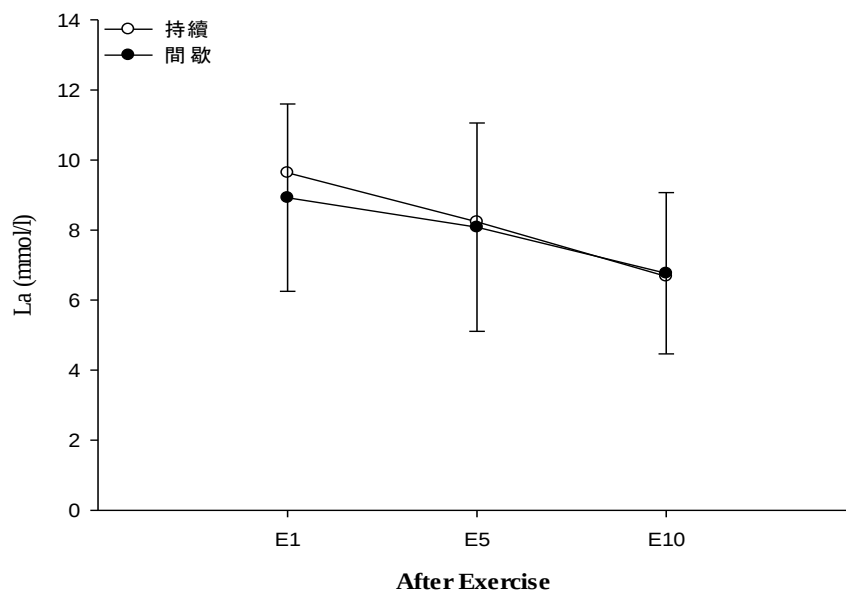


圖 4-1-2 持續與間歇腳踏車恢復期乳酸之血液乳酸

在恢復期乳酸排除曲線發現，結果顯示間歇訓練方式乳酸堆積濃度低於持續運動負荷。從這個現象得知持續運動負荷產生累積的疲勞，肌肉缺氧調節機制無法進行。

在過去的研究發現，持續運動負荷會因運動的時間與距離的延長造成肌肉的壓力，提高無氧糖酵解，造成高乳酸堆積現象 (Heck 1990)。

間歇訓練低乳酸現象，主要因素在間歇期低強度負荷，血液氧氣的調節。肌肉未呈現累積的疲勞，因此，間歇訓練無氧糖酵解能量提供路徑，呈現低乳酸反應 (Grosser 1989)。



第二節 腳踏車高強度負荷訓練對體表溫度之影響

圖 4-2-1 為恢復期乳酸排除率與體表溫度之相關圖。結果顯示，介於 7.58 mmol/l - 12.92 mmol/l，其體表溫度則在 28-32°C 之間 (E1)。恢復期第 E10 乳酸與體表溫度分別介於 3.16 mmol/l - 9.17 mmol/l，體表溫度則 22-27°C 之間。

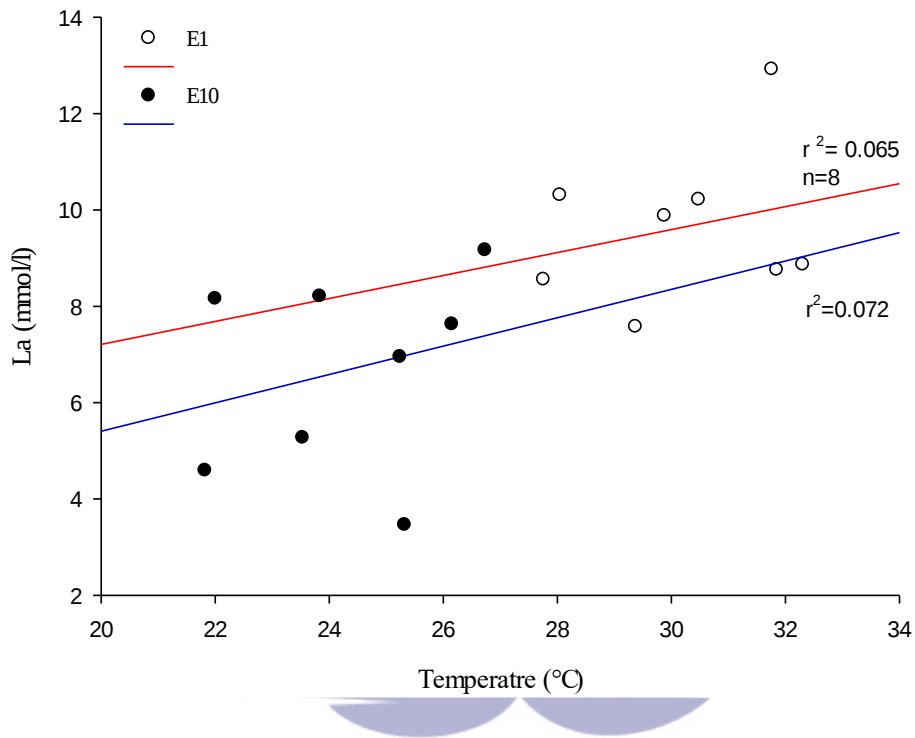


圖 4-2-1 持續訓練恢復期乳酸與體表溫度之相關圖

圖 4-2-2 為恢復期乳酸排除率與體表溫度之相關圖。結果顯示，介於 5.72 mmol/l - 12.34 mmol/l，其體表溫度則在 27-32°C 之間 (E1)。恢復期第 E10 乳酸與體表溫度分別介 3.59 mmol/l - 9.58 mmol/l，體表溫度則 16-24°C 之間。

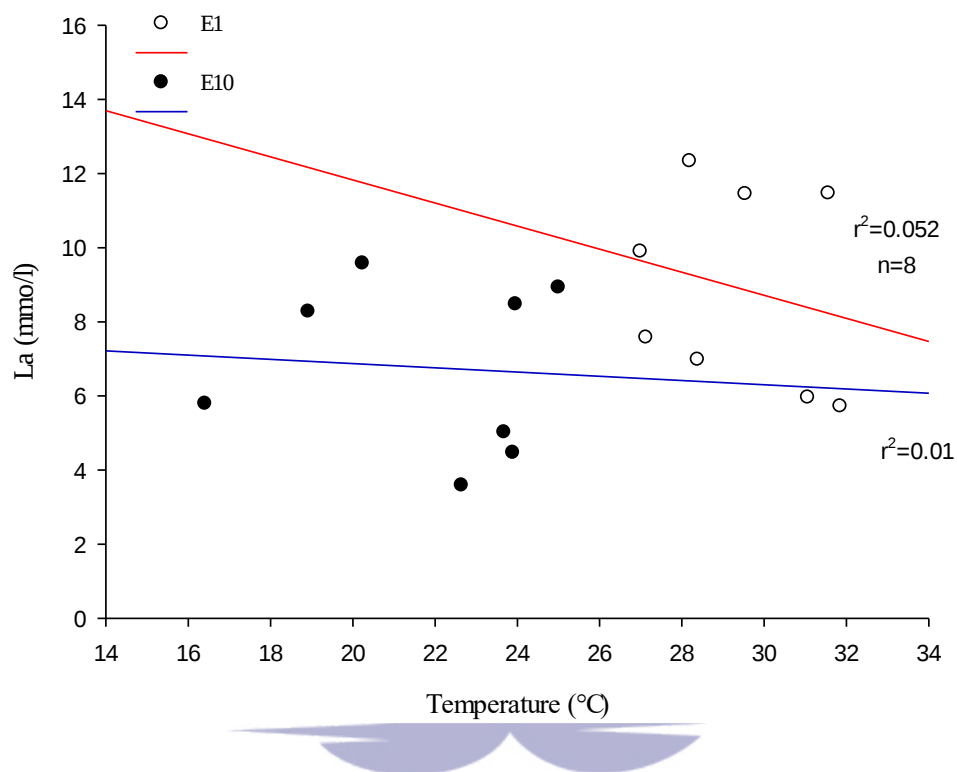


圖 4-2-2 間歇訓練恢復期乳酸與體表溫度之相關圖

結果分析發現，持續運動負荷呈現高乳酸堆積與高體溫現象，在 2 次 Cooling 後則呈現低乳酸濃度與低體表溫度反應（圖 4-3-1），這個症狀顯示 Cooling 對體表溫度重新分配。造成皮下微血管急速收縮加速血液流動，因此造成肝臟快速分解乳酸。在過去研究提到加速血流速度可以快速排除乳酸 (Brooks, 2002)。

過去文獻發現乳酸排除透過血液因素，100% 進入肝在分解成能量 (Gladden, 2004)。

研究發現在間歇負荷恢復期應用 Cooling 也呈現上述反應（圖 4-2-2）結果分析發現，在間歇運動負荷呈現高體表溫度與高乳酸堆積。在 2 次 120s Cooling 後體表溫度也呈現下降，其乳酸堆積也呈現排除現象，這個反應現象與持續運動負荷恢復期症狀相同。

Schaal et al. (2013) 指出，單次 3 分鐘的 WBC (-110°C) 能提高乳酸清除速度，該研究並發現，超低溫應用後的乳酸清除速度，以及隨後有氧運動輸出呈現相近的反應。部分文獻顯示超低溫應用後有助於加速乳酸排除，高強度運動使受試者產生較大幅度的乳酸濃度變化可能影響統計結果。

第三節 Cooling 對高強度負荷新陳代謝之影響

腳踏車持續訓練恢復期第一分鐘 (E1) pH 平均值為 7.27 ± 0.05 , E10 則為 7.34 ± 0.05 兩者差異為 0.07 。間歇訓練負荷 E1 pH 平均值為 7.29 ± 0.03 , E10 則為 7.35 ± 0.04 , 兩者差異為 0.06 。腳踏車持續訓練負荷 E1 HCO_3^- 平均值為 $16.84 \pm 2.2 \text{ mmol/l}$, E10 則為 $18.63 \pm 2.61 \text{ mmol/l}$, 兩者差異為 1.79 mmol/l 。間歇訓練負荷 E1 HCO_3^- 平均值為 $17.35 \pm 2.61 \text{ mmol/l}$, E10 則為 19.86 ± 2.83 , E1 與 E10 平均值差異為 2.51 mmol/l 。

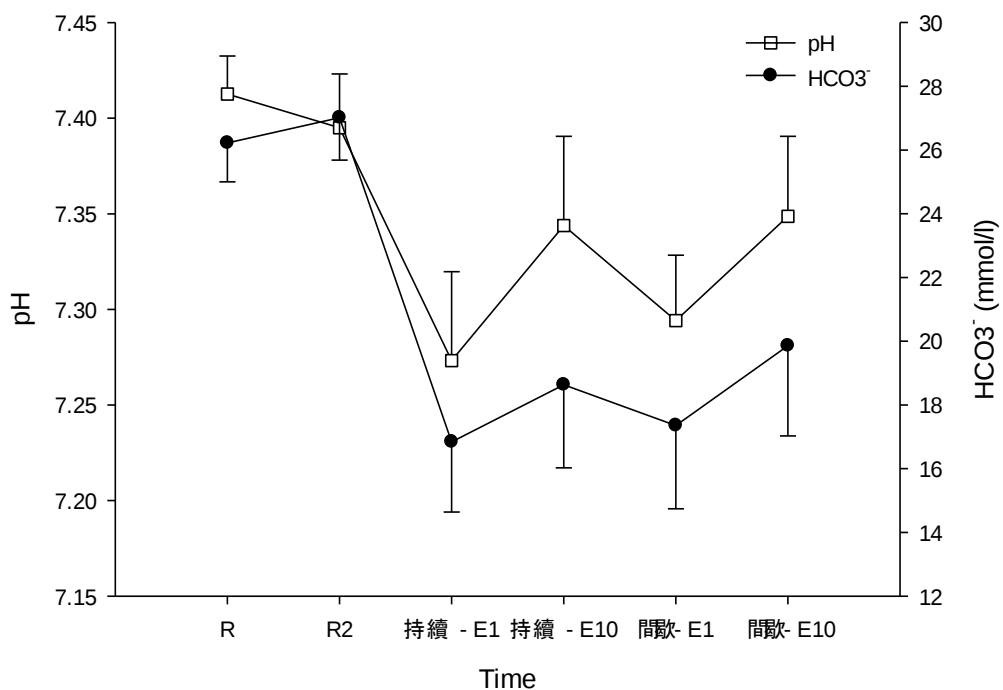


圖 4-3-1 持續與間歇恢復期 pH 與 HCO_3^- 之平均值差異分析

根據研究結果發現高強度運動造成缺乏氧氣時，乳酸隨之會上升，乳酸上升時 pH 與 HCO_3^- 會下降呈現相反比。

運動後進行冷卻會加速乳酸恢復，然而 pH 與 HCO_3^- 便會加速恢復。

Eur J Appl Physiol (2004) 運動血液 pH 從安靜值下降到最低值，運動後 20 - 30 min 仍未完全恢復到運動前水平。

Maston LG, Tran ZV (1993) 由於運動，血液 HCO_3^- 從運動後的基礎水平下降到運動後 7 分鐘的水平，然後增加到運動後 30 分鐘的水平，儘管未達到運動前水平。

運動後 30 分鐘 HCO_3^- 逐漸增加並部分恢復。已經反複分析了 pH 在運動引起的血液乳酸濃度升高中的調節作用。

本研究結果顯示持續與間歇訓練後 pH 值明顯下降，當人體開始動用無氧糖酵解做為主要能量來源時，其路徑下的副產物乳酸及氫離子將迅速堆積，降低血液 pH 值，此時肌肉收縮、神經傳導速度及能源的應用將會受到干擾，進而導致疲勞的發生，影響運動表現 (Fox, 2002)。

張嘉澤 (2008) 指出，糖酵解系統中 乳酸的大量生成，將導致血液 pH 值下降、血糖濃度上升、血液氧氣濃度改變、皮質醇 (Cortisol)、腎上腺皮質激素 (ACTH)、胰島素 (Insulin) 的上升等症狀出現，將影響競技能力的穩定。

第四節 有氧閾值耐力與階梯式負荷結果分析

前測 (T-1) 有氧閾值 (2 mmol/l) 功率 (Watt) 與心跳率 (HR) 分別為 74 ± 31.9 Watt、 122 ± 27.9 min⁻¹。後測 (T-2) 閾值功率平均值為 88 ± 26.8 Watt，心跳率則為 118 ± 11.9 min⁻¹。T-1 與 T-2 閾值耐力功率平均值差異 14 Watt ($p > 0.05$)，心跳率則差異 4 min⁻¹ ($p > 0.05$) 如表 4-1 所示。

表 4-4-1 前，後測有氧閾值 (2 mmol/l) 瓦特數與心跳率平均值與標準差

有氧閾值 (2 mmol/l)						
		Max	Min	HR	Max	Min
T1	74 ± 31.9	111	28	122 ± 27.9	179	91
T2	88 ± 26.8	127	43	118 ± 11.9	136	106
Diff.	+ 14			- 4		

研究發現，透過單次高強度持續與間歇負荷訓練，提升有氧閾值力量輸出功率 (14 Watt)。相對的心跳率也呈現改善症狀 (表 4-4-1)。這種急性的適應機制反應的原因，可能是高強度無氧刺激誘發細胞 PGC-1 α ，對粒線體內的基因進行轉錄。因此，提升肌肉無氧代謝的能力。在過去的研究 (Gibala et al., 2009; Little et al., 2011) 發現，在急性的 HIT 負荷結束 3 個小時。PGC-1 α mRNA 會大量增加，這種反應機制將影粒線體的無氧代謝。並且，因為 PGC-1 α 的產生，將誘發出 IGF-1。IGF-1 對肌肉、骨骼與韌帶的增強，具有正面的意義 (Weicker et al., 1994)。在 Gonzalez-Alonso et al. (2003) 與 Costello et al. (2013) 研究也發現，短時間高強度的間歇負荷，因肌肉快速的收縮擠壓，造成肌肉周邊微血管的收縮提高血液流動速度。增加動脈血液交換，提高工作肌血液的含氧量。因此降低肌肉的疲勞，提高工作肌肉的續航力。

圖 4-4-1 為腳踏車 (Bicycle) 階梯式負荷上昇測試，恢復期血液乳酸堆積濃度分析。T-1 恢復期第一分鐘 (E1) 平均值為 10.55 ± 1.40 mmol/l，最後採集時間 E7 則為 11.7 ± 1.96 mmol/l。E1 與 E7 平均值差異 1.15 mmol/l ($p > 0.05$)。T2 恢復期第一分鐘 (E1) 平均值為 11.46 ± 2 mmol/l，最後採集時間 E7 則為 11.21 ± 2.26 mmol/l。T-2 恢復期 E1 與 E7 平均值差異 -0.25 mmol/l ($p > 0.05$)。T-1 與 T-2 恢復期 E1 平均值差異 0.91 mmol/l ($p > 0.05$)，恢復期 E7 則差異 -0.49 mmol/l。

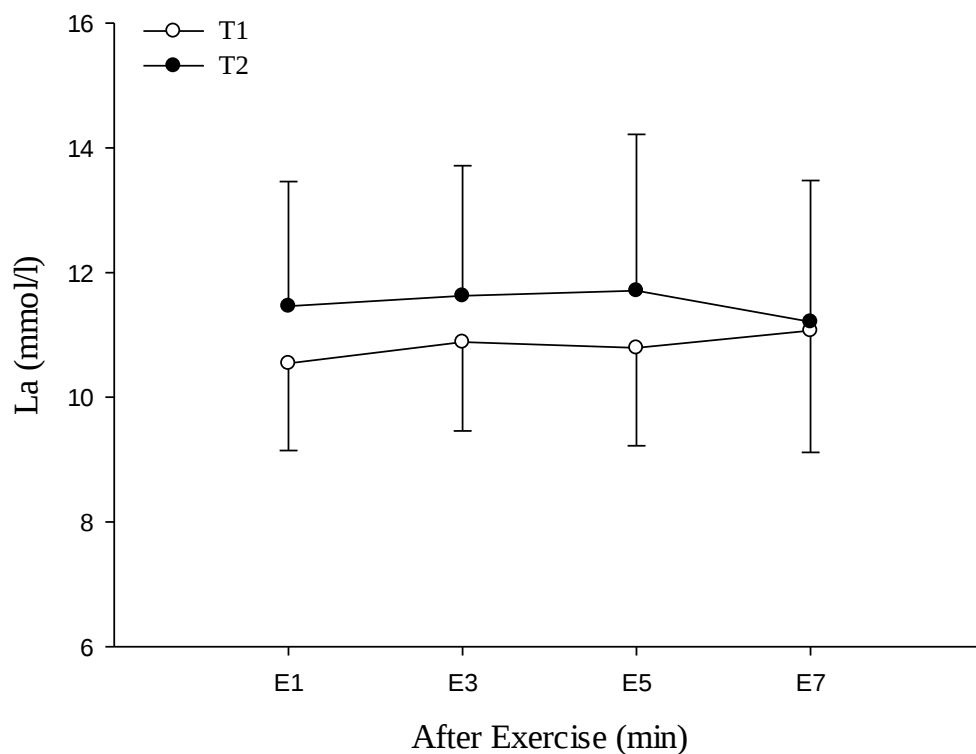


圖 4-4-1 腳踏車階梯式負荷與恢復期乳酸平均值與標準差

未呈現明顯差異，這個現象限制這單次高強度運動負荷未能夠提高乳酸排除速度。主要受到有氧機制影響，在過去理論提到有氧耐力影響乳酸排除 (Hollmann et al., 1982)，本研究以單次高強度進行運動訓練，因此無法短期內提升乳酸排除速度，在 Heck et al. (2002) 對訓練效果提出接受，在短期以長期的訓練改善受到當時運動員的恢復機制影響。

本研究在運動進行中應用 Cooling (Pre、Inter Cooling)，降低受試者身體壓力，這種方式並未加速恢復期乳酸排除，但是，在恢復期第一分鐘 T2 平均值低於 T1 (圖 4-1-1)。

Buchheit 與 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。Zintl, F. (1994) 指出高度無氧循環中肌肉肝醣代謝受於磷酸果糖酵素刺激使之效用增升，與活化蛋白激酶將提高肌肉肝醣儲存量 (Ojuka：Nolte，2000)。

表 4-4-2 本研究之結果分析總表

	Temp	pH	HCO ₃ ⁻	La	HR	Watt	2mmol/l
低溫後持續負荷之血液氣體調節	↑	↓	↓	↑	↑		
低溫後間歇負荷之血液氣體調節	↑	↓	↓	↑	↑		
低溫對持續負荷之肌肉能量代謝	↓	↑	↑	↓	↓		
低溫對間歇負荷之肌肉能量代謝	↓	↑	↑	↓	↓		
基礎耐力測試之前後測比較				↑	↓	↑	↑

第伍章 結論與建議

本研究為探討冷卻對高強度負荷訓練與恢復機轉之影響。本研究發現冷卻對於間歇期恢復高體溫與高乳酸都有較好的幫助，能幫助選手在訓練上有更好的表現。

研究發現在急性單次高強度訓練可有效改變有氧耐力(2mmol/l)，對於體循環的改善有明顯的進步還使心跳率有明顯下降。

間歇訓練可以維持較高強度,可用在專項期運用。在高強度訓練期間進行冷卻可有效助於選手的恢復，讓選手能以更好的狀態接受下一場訓練。

在現代對於運動選手來說教練與科學家都在追求如何在短時間內改善運動員的體能，讓運動員在短時間內可以達到進步。

1. 在研究結果顯示在單次高強度訓練就能使心跳率下降輸出功率上升，所以在運動員訓練方面可以實施高強度訓練能達到有效進步。
2. 運動員在訓練時可以往實施超低溫冷卻，冷卻可有效降低身體核心溫度、體表溫度、肌肉溫度，對於運動員在運動後恢復有大有幫助。

參考文獻

一、 中文部分

張嘉澤 (2008)。訓練學，台北縣林口鄉：台灣運動能力診斷協會。

張嘉澤 (2010)。訓練學，運動能力診斷協會。

劉琛 (2011)。人體的發熱和體溫調節- 生物學教學。

龔純玉、張嘉澤 (2006)。室內八人制拔河力量耐力診斷與訓練。
大專體育， 82， 19-23

二、 英文部分

Brooks. GA (2002). Lactate shuttle – between but not within cells? *Journal of Physiology*. 333-334.

Blatteis.(2001). *Physiology and Pathophysiology of Temperature Regulation*. Singapore: World Scientific Publishing Co.

Böhmer, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., Jäger, D., Martin, L., Mühlfahrt, J., Nöcker, P., Nowacki, G., Rompe, A., Thiel, B., Schmücker, O. (1975): Das sportmedizinische Untersuchungssystem.

Leistungssport, Beiheft .In: 張嘉澤 運動能力診斷與訓練調整

Buchheit, Martin, & Laursen, Paul B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports Med*, 43, 25.

- Casa. (1999). Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. *Journal of athletic training*, 34(3), 246-252.
- Costello et al. (2013) Costello JT, Algar LA, Donnelly AE. Effects of whole-body cryotherapy (-110 °C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 2012; 22: 190-198
- Drust, Rasmussen, Mohr, Nielsen, & Nybo. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica*, 183(2), 181-190.
- Duffield, R Dawson, B., Bishop D, Fitzsimmons, M & Lawrence, S (2003) Effect of wearing an ice cooling jacket on repeated sprint performance in warm humid conditions *British Journal Sports Medicine*, 37(2), 164-169
- Duffield. (2008). Cooling interventions for the protection and recovery of exercise performance from exercise-induced heat stress. *medicine sport science*, 53, 89-103
- Effect of low oxygen inhalation on changes in blood pH, lactate, and ammonia due to exercise Kato, Takahide Matsui, Nobuo *European Journal of Applied Physiology* 2004
- Fox, S. I. (2002). *Human Physiology*. Dubuque, IA: McGraw-Hill.
- Galloway, & Maughan. (1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(9), 1240-1249.
- Gibala MJ, McGee SL, Garnham AP, Howlett KF, Snow RJ, Hargreaves M. (2009). Brief intense interval exercise

activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 α in human skeletal muscle. J Appl Physiol;106:929–934.

Gladden LB (2004) Lactate metabolism: a new paradigm for the third Millennium Physiol 558,5-30.

Gollnick, P. R., Armstrong, C., Sanbert, W., Sembrowich, R., Sepherd, & Saltin, B. (1973). Glycogen depletion patterns in human skeletal muscle fibers during prolonged works

Gonzalez-Alonso J, Calbet JA (2003) Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic exercise capacity in humans. Circulation 107(6):824–830.

Grosser, M. (1989). Training der konditionellen Fähigkeit. Schordorf, Hofmann. In: Das Neue Konditionstraining. 117-120.

Hessemer, Langusch, Bruck, Bodeker, & Breidenbach. (1984). Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. Journal of Applied Physiology, 57(6), 1731-1737.

Hollmann, W., Liesen, H., Rost, R., & Kawahats, K. (1978). Über Das Leistungsverhalten und die Trainerbarkeit im Alter. Z. Geront, 11, 312.

Heck, H. (1990). Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. Trainerakademie Köln, Schorndorf. Hofmann. 39-46

- Heck, H., Schulz, H. (2002). Method end eranaeroben Leistungsdiagnostik. Deutsche Z SportMed, 53, 7+8.
- Hollmann, W., & Rost, R. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren, 120-126.
- 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.
- Hultman E, and Sahlin K. Acid-base balance during exercise. In: Exercise and Sport Science Reviews, edited by Hutton R, and Miller D. Philadelphia: Franklin Institute Press, 1980.
- Jones NL, Sutton JR, Taylor R, and Taylor R, and Toews CJ. Effect of pH on cardiorespiratory and metabolic responses to exercise. J Appl Physiol 43: 959-964, 1977
- Little JP, Safdar A, Bishop D, Tarnopolsky MA & Gibala MJ (2011b). An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 300, R1303–R1310.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., philipp, H., Rost, R., Schurch, P. & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. sportarzt Sportmedizin, 27(80-88), 109-112
- Mader, A., H. Heck, R. Föhrenbach, W. Hollmann (1979): Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des

Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler
Azidosen bei 400-m- und 800-m-Läufern bei beiden
Geschlechtern nach Belastungsabbruch. Dtsch Z. Sportmed.
7.203;8,249.

Maston LG, Tran ZV (1993) Effects of sodium bicarbonate
ingestion on aerobic performance: a meta-analytic review.
Int J Sports Nutr 3:3–28

Neumann, G., & Berbalk, A. (1990). Umstellung und Anpassung
der Funktionssysteme. Das gross Buch vom Laufen. Meyer
& Meyer Verlag, 222-223.

Nybo, & Nielsen. (2001). Hyperthermia and central fatigue
during prolonged exercise in humans. Journal of Applied
Physiology, 91(3), 1055-1060.

Ojuka, E. O., Nolte, L. A., Holloszy, J. O. (2000). Increased
expression of GLUT-4 and hexokinase in rat epitrochlearis
muscles exposed to AICAR in vitro. J. Appl.
Physiol., 88, 1072-1075.

Schaal K, Le Meur Y, Bieuzen F, Petit O, Hellard P et al.
(2013) Effect of recovery mode on post-exercise
parasympathetic reactivation in elite synchronized
swimmers. Appl Physiol Nutr Metab 38: 126-133.

Rowell, Brengelmann, Blackmon, Twiss, & KusuMi. (1969).
Splanchnic blood flow and metabolism in heat-stressed
man. Journal of Applied Physiology, 24, 475-484.

- Siegel. (2011). Thermoregulatory and exercise performance responses to cooling with ice slurry injection. Edith Cowan University.
- Siegel, & Laursen. (2012). Keeping you cool: Possible mechanisms for enhanced exercise performance in the heat with internal cooling methods. *Sports Medicine*, 42(2), 89-98.
- Slater, Rice, Sharpe, Tanner, Jenkins, & Gore. (2005). Impact of acute weight loss and/or thermal stress on rowing ergometer performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(8), 1387-1394
- Stamford, B. A., Weltman, A., Moffatt, R., & Sady, S. (1981). Exercise recovery above and below the anaerobic threshold following maximal work. *Journal of Applied Physiology*, 51(4), 840-844
- Street D, Bangsbo J, and Juel C. Interstitial pH in human skeletal muscle during and after dynamic graded exercise. *J Physiol* 573:993-998, 2001.
- Stringer W, Casaburi R, and Wasserman K. Acid-base reequilibration during exercise and recovery in humans. *J Appl Physiol* 72:954-961, (1992).
- Urhausen, A., Schwarz, M., Stefan, S., Schwarz, L., Gabriel, H.W., Kindermann, W. (2000). Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. Jahrgang 51, Nr. 4. 130-136.

Wicker LS, Todd JA, Prins J-B, Podolin PL, Renjilian RJ,
Peterson LB (1994) Resistance alleles at two non-major
histocompatibility complexlinked insulin-dependent
diabetes loci on chromosome 3, Idd3 and Idd10, protect
nonobese diabetic mice from diabetes. J Exp Med 180,
1705-1713

Zintl, F. (1994): Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden,
Trainingssteuerung. In : 張 嘉澤 , 訓練學 。



三、 網站

Lode 固定式原地腳踏車

圖片來源：：<https://www.lode.nl/en/product/excalibur-sport/3>

Space Cabin 半罩式低溫艙

圖片來源：<https://cryomedpro.com/catalog/product/cryosauna-space-cabin/>

i-Heart 心跳率偵測儀器

圖片來源：

<http://www.hexin.com.tw/upload/goods/20150507112209186.png>

EFK 德國制血糖乳酸分析儀

圖片來源：<https://www.ekfdiagnostics.com/biosen-analyzer.html>

P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統

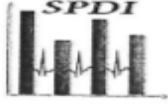
圖片來源：<http://www.stlco.com.tw/products-and-services/hong-wai-xian-re-xiang-yi/gao-jie-xi-re-xiang-yi-xi-lie/>

血液氣體分析儀

圖片來源：

<https://www.pointofcare.abbott/us/en/offerings/support>

附錄



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：		持續時間：		
運動型態：		☐ 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： ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 ☐ 是 ☐ 否 				
1) _____ 2) _____ 3) _____ 4) _____				
簽 名： _____		日期： _____		

超低溫艙使用調查，為了你的安全請謹慎回答以下問題：

	調查問題	是	沒有	說明
1	你有高血壓疾病嗎？			
2	你有心臟疾病嗎？有，哪一種？			
3	你有心臟起搏器？			
4	你有手臂或腿部的血液循環障礙？			
5	你有被診斷出雷諾氏病？			
6	你有過中風？如果是的話，什麼時候？			
7	你苦於靜脈炎或血栓？			
8	你有過肺栓塞？			
9	你有神經痛？			
10	你是糖尿病者？			
11	你時常苦於腿的麻木？			
12	你有癲癇發作/癲癇？			
13	你是否患有貧血症？			
14	你曾經被診斷為惡性腫瘤？			
15	你現在有急性炎症（如膀胱）？			
16	你有慢性呼吸系統疾病（如，哮喘）？			
17	你有過敏冷嗎？			
18	你從幽閉症？			
19	體內是否有金屬物品（如骨釘、人工關節）			

問卷我已經正確理解並正確填寫。我充分了解風險在超低溫艙應用程序與闡明。我在此聲明，我同意在超低溫艙中的應用程序。在這種情況下，我的信息將被保留匿名。我的個人資料保密，不得公開。

簽名：

日期：

- 雷諾氏現象（Raynaud's phenomenon）乃由遇冷或情緒壓力所引發的一種血管異常。其原因乃肢端小動脈過度血管收縮及痙攣而造成。

輔仁大學人體研究倫理委員會 通過證明

- 一、計畫編號：C105151
- 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、共同/協同主持人：
 - (1) 方奕晴/國立體育大學競技與教練科學研究所
 - (2) 李寶潤/國立體育大學競技與教練科學研究所
- 五、計畫名稱：急性中、高強度組合訓練應用 Cooling 對血液氣體調節與閾值耐力之效果
- 六、計畫書版本/日期：1，2017/06/08
- 七、受試者說明暨同意書版本/日期：第3版，2017/08/15
- 八、計畫執行地點：國立體育大學 SPDI 運動能力診斷與訓練調整研究中心
- 九、研究方式/工具：招募廣告：2017/07/28 製
- 十、追蹤審查頻率：每1年1次

上述計畫業於 106 年 09 月 12 日 106 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 106 年 09 月 12 日 至 107 年 09 月 11 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 郭達安

106 年 09 月 20 日

Fu Jen Catholic University Institutional Review Board

510 Chung Cheng Rd, Hsinchuang District, New Taipei City 24205, Taiwan

TEL : 886-2-2905-6277, FAX : 886-2-2903-3546

Certificate of Approval

FJU-IRB NO : C105151

Title of protocol : Effect of Cooling Application with Acute Moderate and High Intensity Combined Training on Blood Gas Exchange and Aerobic-Anaerobic Threshold

Investigator : Assistant Professor Jia-Tzer Jang/Graduate Institute of Athletics and Coaching Science/National Taiwan Sport University

Co-Investigator :

(1) Yi-Ching Fang / National Taiwan Sport University Graduate Institute of Athletics and Coaching Science

(2) Bo-Yoon Lee / National Taiwan Sport University Graduate Institute of Athletics and Coaching Science

Board Meeting/Approval Date : 2017/09/12

Expiry of Approval Date : 2017/09/12-2018/09/11

The protocol has been approved by the Institutional Review Board of Fu Jen Catholic University. The committee is organized under, and operates in accordance with Regulations of Fu Jen Catholic University and governmental laws and regulations. Continuing Review Application should be submitted to Institutional Review Board no later than 4 weeks before current approval expired. The investigator is required to report protocol amendment and serious adverse events in accordance with the Fu Jen Catholic University and governmental laws and regulations.


Chair's Signature
Institutional Review Board

09/20/2017
Date (mm / dd / yyyy)