

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

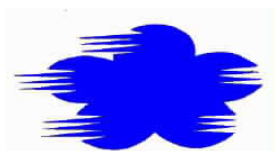
低溫應用在單次高強度運動對血液氣體
調節與無氧閾值耐力之效果

**The Effect on Blood Gas Exchange and
Anaerobic Threshold While Applying Cooling to
Single High Intensity Exercise**

指導教授：張嘉澤 博士

研究生：方奕晴 撰

中 華 民 國 108 年 6 月



國立體育大學
National Taiwan Sport University

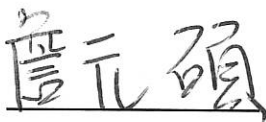
本論文：低溫應用在單次高強度運動對血液氣體調節與無氧閾值耐力之效果

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

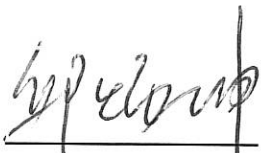
本論文承蒙下列考試委員審查通過

中華民國107年05月

論文考試委員



國立臺北教育大學副教授
詹元碩 博士



國立體育大學教授
邱炳坤 博士



國立體育大學助理教授
張嘉澤 博士 (本論文指導教授)

低溫應用在單次高強度運動對血液氣體 調節與無氧閾值耐力之效果

摘要

本研究目的為探討低溫應用在單次高強度運動對血液氣體調節與無氧閾值耐力之效果。方法：本研究實驗對象為 8 名體育相關科系學生，平均年齡 24.6 ± 3.1 years；身高 168.9 ± 5.9 cm；體重 69.4 ± 8.7 kg。實驗為期三天，實驗工具皆為腳踏車測功儀。第一天與第三天各進行一次有氧無氧閾值基礎耐力測試以作為前、後測（T1、T2），其中第一天之測試結果作為第二天單次高強度運動之強度設定依據。單次高強度運動分為持續運動（Tr1: 1x10 min）與間歇運動（Tr2: 4x90 s），兩者間隔 13 min。低溫冷卻溫度設定為 -120°C ，每次冷卻時間 120 s，兩次為一組，次間間隔 3 min。低溫應用各實施一組於 T1 後、T2 後以及單次高強度運動之運動前、間歇期與恢復期。生物採集參數有心跳率、乳酸、血液氣體與體表溫度。結果：低溫應用有助於運動時的血液氣體調節及乳酸排除，且應用於間歇訓練效果更佳。而單次高強度運動能改善每階心跳率及無氧閾值耐力。結論：無氧閾值耐力可經單次高強度運動而改善，但應輔以低溫應用以維持訓練品質及提升恢復速度。

關鍵字：低溫、無氧閾值、血液氣體

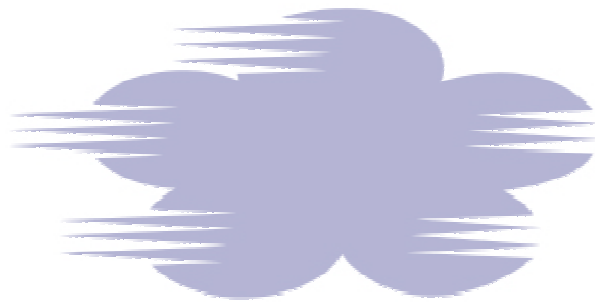
The Effect on Blood Gas Exchange and Anaerobic Threshold While Applying Cooling to Single High Intensity Exercise

Abstract

The **purpose** of this study was to investigate the effect on blood gas exchange and anaerobic threshold while applying cooling to one day high intensity exercise. **Methods:** 8 students majored in physical education related departments (Age 24.6 ± 3.1 year-old; Height 168.9 ± 5.9 cm; Weight 69.4 ± 8.7 kg) participated in this study. The experiment lasted for three days, and the ergometer was used. The first day and third day were both lactate threshold (T1, T2), and the result of the first day was used to decide the intensity of single high intensity exercise in the second day. The single high intensity exercise was divided into a continuous exercise (Tr1: 1x10 min) and an intermittent exercise (Tr2: 4x90 s), both of which were separated by 13 min. The cooling was set to -120°C for 120 s each time. Twice were one set and a three minutes rest in between. A set of cooling were applied after T1, T2 and pre, inter, after the single high intensity exercise. The heart rate, lactate, blood gas and body surface temperature were measured. **Result:** Cooling was helpful for exchanging blood gas and removing lactate during exercising, especially applied on intermittent exercise. The single high

intensity exercise could reduce heart rate and improve anaerobic threshold. **Conclusion:** Anaerobic threshold could be improved by single high intensity exercise, but cooling was needed to keep the quality of training and accelerate recovery.

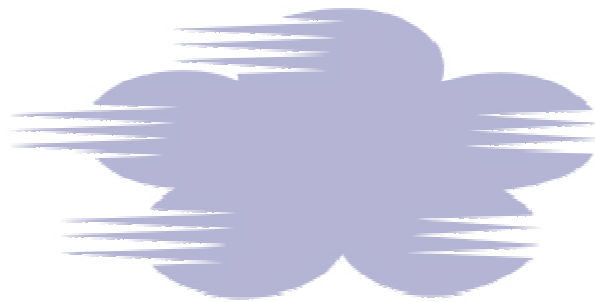
Key words: cooling, anaerobic threshold, blood gas



致謝

特別感激 Dr. Jang 成立了一個很棒的實驗室，讓 SPDI 有豐富的資源累積診斷與訓練經驗，讓碩士生活相當充實。感謝詹元碩教授及邱炳坤教授對於論文提出的建議與鼓勵，使論文更加完整。謝謝 SPDI 學長姊的經驗分享以及成員間的互相合作，很榮幸能參與其中。也感謝朋友與父母的支持，讓我能繼續堅持與努力。

奕晴



目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	IV
目 錄	V
表 目 錄	VII
圖 目 錄	VIII
中外文縮寫對照表	IX
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究動機	2
第三節 研究目的	3
第貳章 文獻探討	4
第一節 高強度間歇訓練	4
第二節 短週期高強度訓練	9
第三節 低溫應用	12
第四節 血液氣體	20
第五節 文獻總結	22
第參章 研究方法與步驟	23
第一節 研究對象	23
第二節 實驗時間與地點	23
第三節 實驗儀器與設備	24

第四節	實驗設計與方法	28
第五節	實施流程	33
第六節	資料處理	34
第肆章	結果分析與討論	35
第一節	持續與間歇負荷最大乳酸值及心跳率	35
第二節	低溫應用後體表溫度與血液氣體調節	36
第三節	低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝	38
第四節	基礎耐力測試前後測之乳酸值曲線	40
第五節	基礎耐力測試前後測之心跳率曲線	42
第六節	單次高強度運動後之無氧閾值耐力比較	44
第伍章	結論與建議	47
參考文獻		48
附錄		58

表 目 錄

表 2-1 短週期高強度訓練研究	9
表 2-2 實驗組與對照組間歇腳踏車訓練模式	14
表 2-3 低溫冷卻相關研究	16
表 2-4 低溫冷卻應用於肌肉發炎之研究	19
表 3-1 實驗採集之生物參數	31
表 4-1 低溫應用後體表溫度與血液氣體調節	37
表 4-2 低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝	39
表 4-3 單次高強度運動後之無氧閾值耐力比較	45
表 4-4 本研究之結果分析總表	46



圖 目 錄

圖 2-1 運動負荷劑量對身體負荷反應路徑之影響	5
圖 2-2 PGC-1 α 推動粒腺體生物合成	6
圖 2-3 乳酸經 MCT 膜進入血液	7
圖 2-4 高強度間歇訓練與持續性耐力訓練可達成相同效果 ..	8
圖 2-5 皮膚表層微血管在冷熱環境下之血流變化	13
圖 2-6 間歇腳踏車訓練之實驗方法	15
圖 2-7 實驗組與對照組心跳率比較	15
圖 2-8 實驗組與對照組乳酸值比較	16
圖 2-9 體內血液氣體交換情形	21
圖 3-1 Space Cabin 半罩式低溫艙	24
圖 3-2 Lode 腳踏車測功儀	25
圖 3-3 P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統	26
圖 3-4 i-Heart 運動心跳率安全監測系統	27
圖 3-5 EKF 血糖乳酸分析儀	27
圖 3-6 i-STAT Handheld 血液氣體分析儀	28
圖 3-7 實驗設計與流程	30
圖 3-8 體表溫度量測位置	32
圖 3-9 實施流程圖	33
圖 4-1 持續與間歇負荷最大乳酸值及心跳率	36
圖 4-2 低溫應用後體表溫度與血液氣體調節	38
圖 4-3 低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝	40
圖 4-4 基礎耐力測試前後測之乳酸值曲線	42
圖 4-5 基礎耐力測試前後測之心跳率曲線	44

中英文縮寫對照表

縮寫	外文	中文
4 mmol/l	4 mmol/l	無氧閾值
AMPK	AMP activated protein kinase	單磷酸腺苷活化蛋 白質激酶
ATP	adenosine triphosphate	三磷酸腺苷
BE	base excess	鹼基
E3	the 3rd min after the end of the exercise	運動後第三分鐘
Ery	erythrocyte	紅細胞
Hct	hematocrit	血球比容值
HIIT	high intensity interval training	高強度間歇訓練
HR	heart rate	心跳率
HRV	heart rate variability	心律變異度
IGF-1	insulin-like growth factor 1	類胰島素生長因子
La	lactate	乳酸
LDH	lactate dehydrogenase	乳酸脫氫酶

縮寫	外文	中文
MCT	monocarboxylate transporter	單羧酸轉運蛋白
p38MAPK	p38 mitogen-activated protein kinases	絲裂原活化蛋白激酶
PFK	phosphofructokinase	磷酸果糖激酶
PGC-1 α	peroxisome proliferatoractivated receptor gamma coactivator-1 α	過氧化物酶體增殖物啟動受體 γ 輔啟動因子 1
mRNA	messenger RNA	信使核糖核酸
T1	Test1	前測
T2	Test2	後測
Tr1	Training1	持續負荷
Tr2	Training2	間歇負荷
U/min	Umdrehungen/min	每分鐘轉速

第壹章 緒論

本章旨在說明研究背景與動機，共分為三節：第一節為研究背景，說明近代訓練方式的轉變及目的；第二節為研究動機，說明本研究欲探討高強度間歇訓練搭配低溫應用所能產生的訓練效果及血液氣體調節；第三節為研究目的。

第一節 研究背景

從人類近代在運動競技的最高殿堂——奧林匹克運動會的競技成績上可以發現，現今競技運動員和過往的競技成績相比，人類已有相當大的進步幅度。能夠進步的原因，不僅是運動技術、設備、科技的精進，更是因為訓練科學的應用與系統化，縮短訓練週期並且快速改善競技體能。其中，快速地改善肌肉缺氧反應機制，促使肌肉細胞進入好的路徑循環，更是科學家極力追求的，也改變了以往大家對肌肉缺氧產生不良反應機制的觀點。

近代，競技運動訓練不斷的提高負荷劑量與範圍，而且參與比賽的頻率也不斷地在增加。另外，不管是技擊或球類項目比賽規則，也修改成以加快比賽節奏為主。因此，這些因素直接影響訓練的方式與運動員的體能要求。

如何在短時間內改善運動員的競技體能，是目前科學家與教練致力的方向。

第二節 研究動機

高強度負荷劑量的訓練已成為趨勢。HIIT (High-intensity interval training) 的訓練效果，對於肌肉細胞的改變，都指向 PGC-1 α 與 MCT 的增加。對肌肉乳酸的產生與排除都有正面的評價。Gibala 與 McGee (2008) 指出高強度間歇訓練是一種極有時間效率的訓練方式，能夠產生與傳統耐力訓練相同的新陳代謝適應。

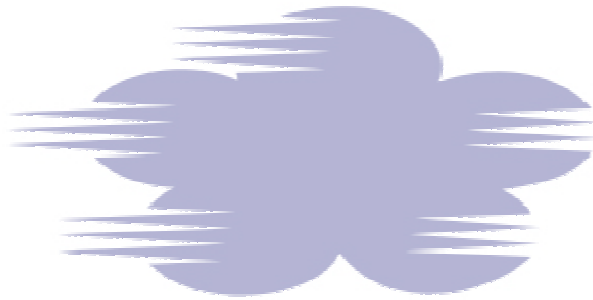
目前的 HIIT 訓練模式，可以快速改變肌肉細胞的機制，然而，在短時間內提高訓練的負荷強度，對肌肉產生的缺氧反應與發炎，都將造成疲勞，導致運動員無法在隔天維持正常的訓練。因此，為克服高劑量練習帶來不好的反應症狀，各種不同的恢復措施因應而生，其中低溫 (Cryo) 的應用已取代傳統的模式 (泡冰水、冰敷)。Costello, Donnelly, Karki, 與 Selfe (2014) 比較 4 min 之 -110°C 低溫應用以及 4 min 之 8°C 冷水浸泡對膝蓋皮膚之降溫效果。結果發現低溫應用對膝蓋皮膚溫度下降的幅度較大。

此外，執行高強度訓練的同時要避免肌肉發炎而搭配的低溫應用，近代開始應用於運動訓練上，也已有相關研究證明。Papenfuß (2005) 指出在訓練中應用低溫能提升氧分壓，減少二氧化碳含量；在比賽前應用低溫則能提升體循環活性、改善血液流動。然而，應用低溫對血液氣體的調節以及時間影響，則有待研究證明。

第三節 研究目的

基於上述研究動機，本實驗研究目的如下：

- 一、探討運動前、間歇期與恢復期低溫應用對血液氣體調節與肌肉能量代謝之效果。
- 二、探討單次高強度運動對無氧閾值耐力之效果。



第貳章 文獻探討

本章主要在探討與本研究相關之文獻，全章共分為五節：第一節高強度間歇訓練，說明高強度間歇訓練能在短時間達到與長時間耐力訓練相同效果；第二節短週期高強度訓練，說明近代訓練週期的縮減，並以適當的輔助達成訓練目的；第三節低溫應用，說明低溫應用不再限於恢復機制，對運動訓練也有相當的幫助，然而低溫應用對血液氣體的調節與時間則待探討；第四節血液氣體，說明血液氣體的應用，以及其受溫度、酸鹼值等干擾，而低溫應用對血液氣體的影響則是有待探討的；第五節則為文獻總結。



第一節 高強度間歇訓練

高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training) 其運動強度設定在 95%，並且在運動過程中安排短暫但不足以完全恢復之休息時間。高強度間歇訓練能產生以下之效果：增加骨骼肌肉氧化的能力、降低肝醣使用率以及乳酸生成率、增強末梢血管的結構與功能、提高運動表現並增加最大攝氧量 (Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005; Burgomaster et al., 2008; Gibala et al., 2006; Rakobowchuk et al., 2008)。

根據張嘉澤 (2008) 提出運動負荷劑量對身體負荷反應路徑之影響 (圖 2-1)，過去長時間耐力訓練多半會導致乳酸大量生成，甚至使用蛋白質產生能量導致血氨濃度上升，造成體

內 pH 值下降，對人體產生極大壓力。而高強度間歇訓練則能提升肌肉磷酸果糖激酶（PFK）活性，增加 ATP 的分解，減少乳酸堆積。

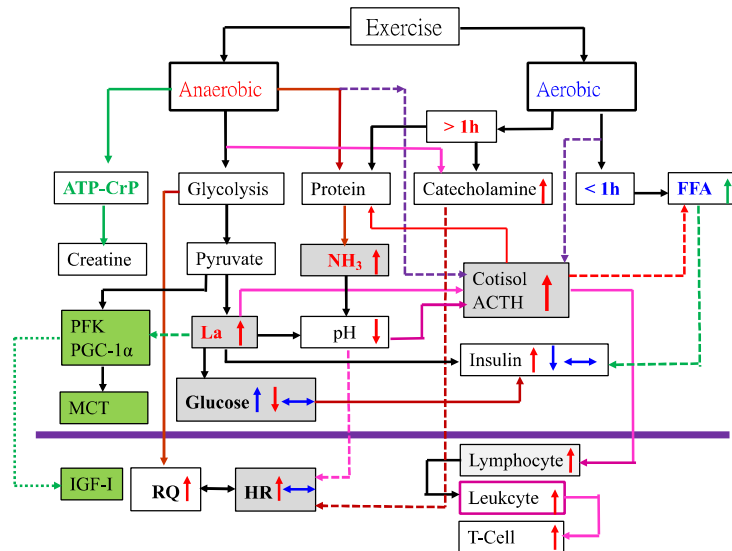


圖 2-1 運動負荷劑量對身體負荷反應路徑之影響
(張嘉澤，2008)

高強度間歇訓練會活化單磷酸腺苷活化蛋白激酶 (AMPK) 以及 p38 有絲分裂原活化蛋白質激酶 (p38MAPK)，並且增加過氧化物酶體增植物啟動受體 γ 輔啟動因子 1 (PGC-1 α)，促成粒線體基因的轉錄，使粒線體蛋白逐漸累積，最後推動粒線體生物合成 (圖 2-2)。

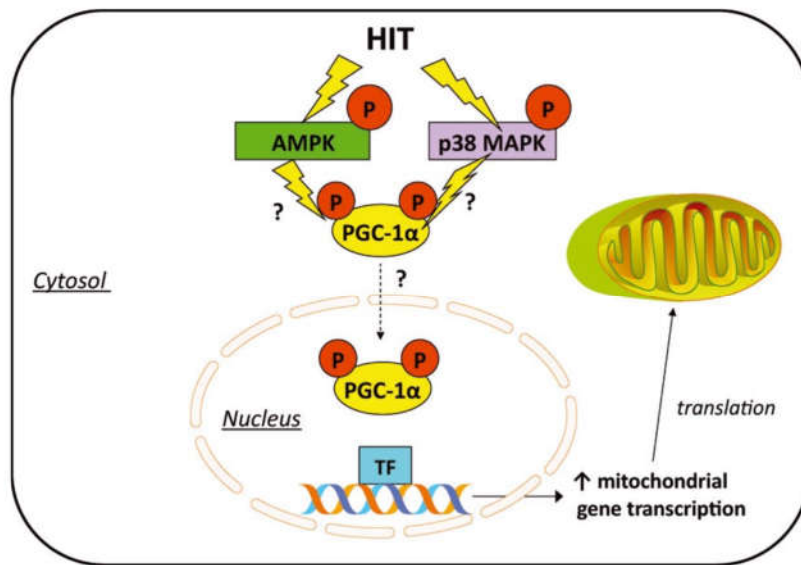


圖 2-2 PGC-1 α 推動粒腺體生物合成
(Gibala, Little, MacDonald, & Hawley, 2012)

其中的轉錄調控因子 PGC-1 α 在人體內負責代謝相關的調控，並且誘導類胰島素生長因子 (IGF-1)、協調體內之乳酸恆定以及傳導肌肉適應。其協調能改變乳酸脫氫酶 (LDH)，防止運動過程中血乳酸不斷累積。乳酸是由肌肉細胞經單羧基運輸 (MCT) 進入血液，高強度間歇訓練能使 MCT 膜增厚，如此就能減少乳酸進入血液 (圖 2-3)。

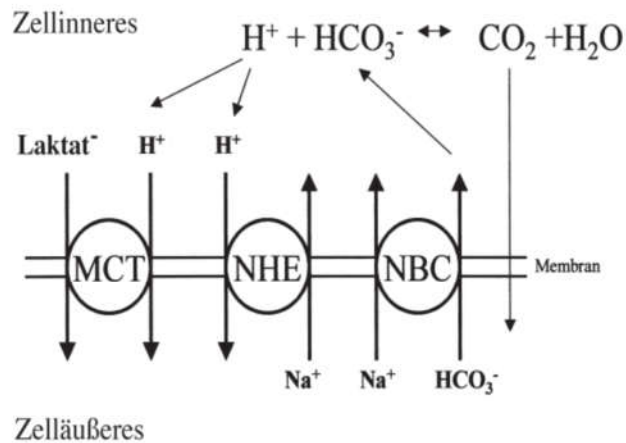


Abbildung 1: pH-Regulation im Muskel. Die Laktat/H⁺-Kotransporter (MCT1- oder MCT4-Protein) spielen für die pH-Regulation eine große Rolle. Darüber hinaus wird der pH-Wert durch den Na⁺/H⁺-Austausch (Protein NHE), Na⁺/Bikarbonat-Kotransport (Protein NBC) und die Diffusion von CO₂ geregelt

圖 2-3 乳酸經 MCT 膜進入血液
(Juel, 2004)

過去研究指出：運動強度是影響骨骼肌肉 PGC-1 α 活化的關鍵 (Egan et al., 2010)。HIT 運動模式，在運動後三小時會增加數倍的 PGC-1 α (Gibala et al., 2009; Little et al., 2011)。在 PGC-1 α mRNA 的上升可與持續的耐力運動媲美 (Norrbon et al., 2004; Egan et al., 2010)。因此，高強度間歇訓練被認為能達成與長時間耐力訓練相同效果：增加脂肪氧化能力、胰島素響應型主要葡萄糖轉運子與糖原、粒線體密度、慢縮肌功能 (圖 2-4)。

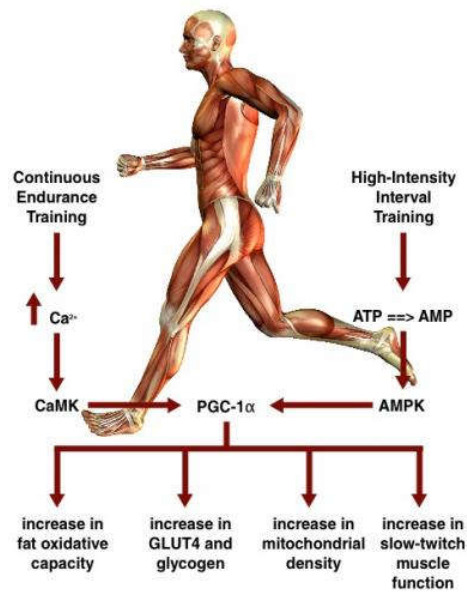


圖 2-4 高強度間歇訓練與持續性耐力訓練可達成相同效果
(Laursen, 2010)

高強度間歇訓練能產生與長時間耐力訓練相同的效果，尤其是在於對 $\text{PGC-1}\alpha$ 與 MCT 的改變，能增加粒線體數量又減少乳酸進入血液，更因為訓練時間短且符合現代人不能有太多時間運動的需求，因此高強度間歇訓練成為目前的主要訓練方式。

第二節 短週期高強度訓練

為了能在短時間內達成訓練成效，訓練週期亦由四到六週縮短為一週、五天甚至是三天。余進益（2016）以七名青少年角力選手進行一週高強度訓練，訓練方式為週二與週四進行 3x150 m 全力跑，每次跑完休息 10 min；週一、週三及週五則進行 3x3x120 m 全力跑，每次跑完休息 5 min，每跑完三次休息 10 min，結果發現改善了受試者有氧無氧閾值耐力。陳佳慧、楊孟龍、王月琪、張嘉澤（2009）以一名男性健康中年運動愛好者進行五天低濃度氧氣訓練，氧氣濃度為 14%，訓練方式為以受試者 4 mmol/l 無氧閾值速度進行持續跑 15 min，結果發現提升了個人有氧無氧閾值速度。蕭婉柔（2015）研究八名成年體育相關科系學生以跑步機、腳踏車以及划船機進行各三天之高強度間歇訓練，並在三種負荷模式之三天訓練前後安排前後測，結果發現跑步機訓練改善了有氧閾值耐力，划船機與腳踏車訓練則提升了無氧閾值耐力。其他關於短週期高強度訓練之研究如表所示（表 2-1）。

表 2-1 短週期高強度訓練研究

研究者 (年代)	研究 題目	研究 對象	實驗 方法	研究結果
余進益 (2016)	一週高強度訓練對青少年角力選手適應閾值耐力之影響	7 名 青少 年角 力運 動員	3x150 m (二、四) 3x3x120 m (一、三、五)	1. 無氧 150 m 測試： - Speed ↑ -恢復期 La ↓ 2. 有氧 - 無氧閾值 耐力呈現改善差異， 但未達顯著

研究者 (年代)	研究 題目	研究 對象	實驗 方法	研究結果
曾台霖 (2016)	三天小型比賽訓練對足球選手耐力之影響	8 名成年男性足球員	4x4 min 小型比賽 (4 對 4)	1. 有氧 - 無氧閾值耐力 -Speed ↑ -HR ↔ 2. 4x4 對抗賽 -Day-3 心跳率呈現顯著改善 ↓
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率變異度之效果	8 名成年體育科系學生	不同運動各 3 天 高強度訓練： -3x90 s 跑步機 -3x30 s 划船 -3x30 s 腳踏車	1. 跑步機訓練有氧閾值耐力 ↑ 2. 腳踏車與划船訓練無氧閾值耐力 ↑ 3. 腳踏車與划船訓練 HRV 間隔時間 ↑
吳杰茗 蕭敬澤 張嘉澤 (2015)	短期跑步機 HIIT 對田徑選手有氧能力、乳酸率及心跳之效果	1 名成年男性田徑運動員	以受試者有氧 - 無氧閾值測試時的最高速度 +1.5 m/s 進行 3 天訓練。 4x60 s (Rep 2 min 1.5 m/s)	1. Tr-3 恢復期 La ↓ 2. Tr-3 運動結束 E1 HR ↓ 3. 有氧閾值耐力速度 ↑

研究者 (年代)	研究 題目	研究 對象	實驗 方法	研究結果
李婉禎 (2014)	一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項恢復能力之影響	10 名成年跆拳道運動員	1. 常氧訓練： V6-V3-V6-V3-V6 持續變換跑方式，負荷時間 3 min (V6), 90 s (V3) 2. 低氧訓練： 划船 4x200 m (100%)	1. 低氧組無氧閾值速度 ↑ 2. 常氧組無氧閾值速度 ↔ 3. Tr-4 訓練乳酸濃度： -常氧組 ↓ -低氧組 ↓ 4. 模擬比賽： -低氧組 NH ₃ ↓ -低氧組 HR ↓
陳佳慧 楊孟龍 王月琪 張嘉澤 (2009)	5 天低濃度氧氣訓練對健康運動愛好者耐力表現之影響	1 名成年男性	低氧 14% 訓練強度 4 mmol/l 速度 (15 min)	1. Tr-3 訓練 La ↓ 2. 個人有氧無氧閾值速度 ↑

研究者 (年代)	研究 題目	研究 對象	實驗 方法	研究結果
Jang Wang Chen Chan (2012)	Die Anpassungen eines fünftägigen Hypoxie- Trainings auf Metabolismus und Kreislauf beim 400m Läufer	8 名 男性 運動 員	5 天低氧訓 練： 4x3 min (6 mmol/l)	1. Tr-5 訓練 HR ↓ 2. Tr-3 訓練 La ↓ 3. Tr-5 訓練 La ↔
Wang Smith Jang (2009)	Effects of 3 days Training with Hyperoxia on Muscle Energy Metabolism and Systemic Circulation	6 名 徑賽 400 m 青 少年 運動 員	3 天高氧訓 練： 3x3x90% (跑步機)	1.Tr-3 訓練恢復期 La ↓ 2.Tr-3 訓練 HR ↓ 3.Tr-3 血液 NH ₃ ↓

近代追求時間效益，訓練週期日漸縮短，除了以高強度間歇訓練為訓練方式外，適時地加入低氧、高氧或者是低溫冷卻等方法輔助訓練將更能達成短時間內改善競技體能之目的。

第三節 低溫應用

低溫應用對身體作用的原理是以極低溫氮氣直接接觸人體皮膚。皮膚表層微血管遇冷收縮，其內的血液便被擠回較深

層的血管中，加速了血流速度。回到熱環境，皮膚表層微血管則擴張，體內血液便能重新分配（圖 2-5）。

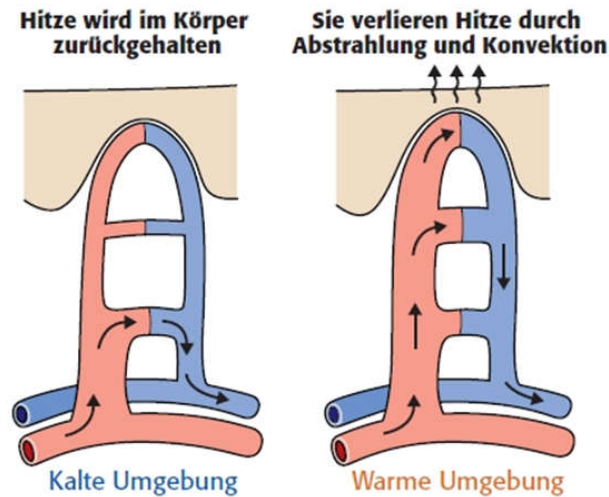


圖 2-5 皮膚表層微血管在冷熱環境下之血流變化
(Gerbert, 2010)

圖片來源：<https://community.oreilly.de/blog/2010/01/25/wie-viel-hitze-verlieren-sie-uber-den-kopf/>

半罩式低溫艙的使用步驟為：受試者先進入半罩式低溫艙內，關上門後點選控制面板使受試者所站的平台上升，直到受試者之肩膀與半罩式低溫艙之艙口等高。設定好冷卻時間，即可啟動。受試者進入半罩式低溫艙前須先填寫疾病調查表，並且卸下身上耳飾、項鍊等金屬材質物品，需穿著襪子。冷卻中注意呼吸時先吐氣再吸氣，避免吸入過量之液態氮導致身體不適。

過去關於低溫應用的研究可以分為訓練中及比賽前。**Papenfuß (2005)** 指出比賽前使用低溫冷卻能提升體循環活性並改善血液流動；訓練中使用低溫冷卻則能提升血液氧分壓、減少二氧化碳含量。**Joch, Ückert, 與 Fricke (2003)** 進行 5x2 min 之 250 Watt 間歇腳踏車訓練，間歇時間 2 min，期間維持 150 Watt。實驗組在訓練前進行 -110°C 低溫冷卻 3 min，對照組則無。結果發現實驗組在運動結束後之心跳、乳酸及血氨皆低於對照組（表 2-2、圖 2-6、2-7、2-8）。

表 2-2 實驗組與對照組間歇腳踏車訓練模式
(Joch et al., 2003)

	Test-1	Test-2
溫度	-110°C	25°C
測試器材	Ergometer	Ergometer
強度	5x250 W (2 min)	5x250 W (2 min)
轉速	80 U/min	80 U/min
間歇	150 W (2 min)	150 W (2 min)
生物參數	La:8, 16, 24 min	La:8, 16, 24 min
	HR:1-26 min	HR:1-24 min

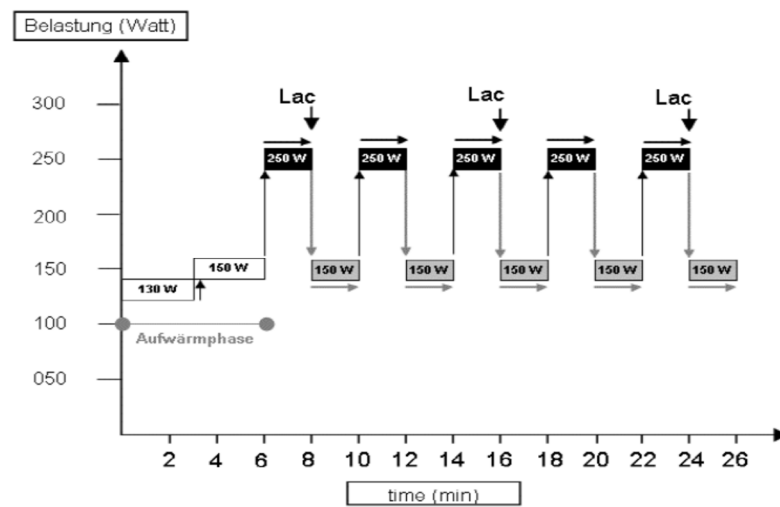


圖 2-6 間歇腳踏車訓練之實驗方法 (Joch et al., 2003)

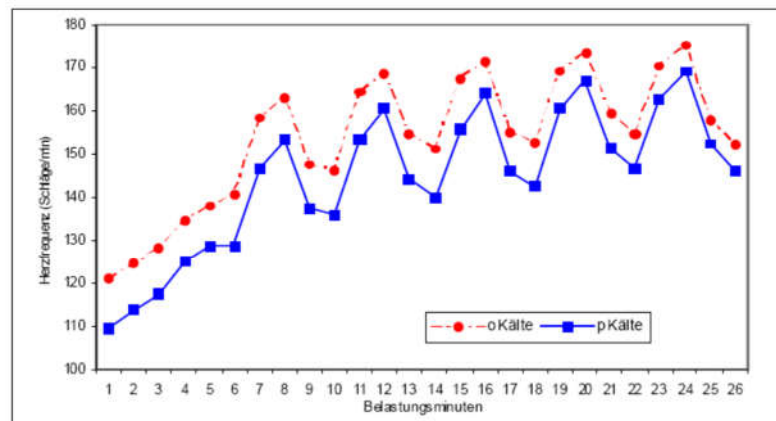


Abb. 2: Herzfrequenzprofil während eines intervallierten Ausdauertests (N = 17)

圖 2-7 實驗組與對照組心跳率比較 (Joch et al., 2003)

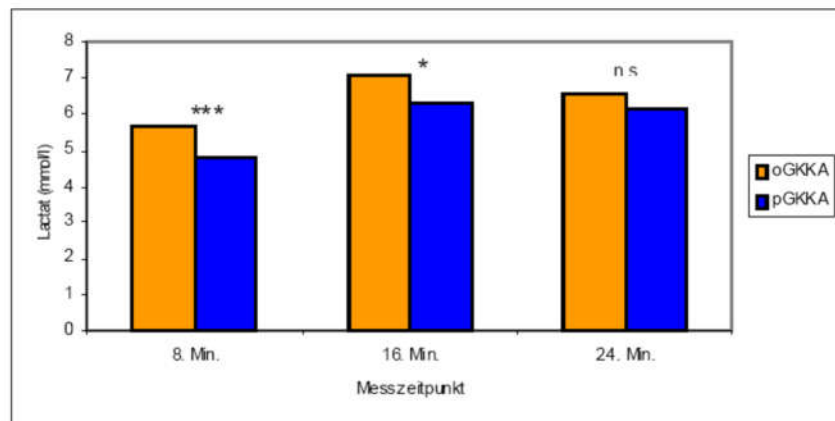


Abb. 3: Blutlaktatkonzentration mit (pGKKA) und ohne (oGKKA) Precooling-Maßnahme

圖 2-8 實驗組與對照組乳酸值比較 (Joch et al., 2003)

過去低溫冷卻相關研究，冷卻方法有冷空氣、低溫艙、冰背心等方式，並指出低溫冷卻能達到減少肌肉發炎、減少乳酸堆積、降低心跳率等效果。相關研究如表 2-3 所示。

表 2-3 低溫冷卻相關研究

研究者 (年代)	冷卻 方法	測試 方式	研究結果
Schmidt Bruck (1981)	5°C 冷空氣	腳踏車漸增 負荷測試至 耗竭	增加耗竭時間與工 作表現

研究者 (年代)	冷卻 方法	測試 方式	研究結果
Hessemer Langusch Bruck Bodeker Breidenbach (1984)	0°C 冷空氣	60 min 腳踏車測試	顯著增加運動能力、降低身體各部位之溫度與流汗率
Olschewski Bruck (1988)	0°C 冷空氣	腳踏車漸增負荷測試至耗竭	增加持續耐力時間
Fricke (1989)	-110°C 低溫艙	高強度肌肉力量訓練後 3x2 min	未發現運動員骨骼肌內引發肌肉疼痛之酵素
Lee Haymes (1995)	0°C 冷空氣	以 82%VO ₂ max 強度 跑步至耗竭	增加耐力表現及身體熱儲蓄率
Smith 等 (1997)	-110°C 低溫艙	鐵人三項運動員進行測試， 比賽前進入 -110°C 低溫艙 3x3 min	顯著改善運動員耐力能力 乳酸堆積減少

研究者 (年代)	冷卻 方法	測試 方式	研究結果
Ückert Joch (2003)	-110°C 低溫艙	腳踏車 250 Watt 間歇測試	測試前與間歇 期進入低溫艙 之運動員負荷 心跳率顯著下 降
Hollensteiner (2003)	-110°C 低溫艙	停留 3 min	肌肉疼痛顯著 下降
Joch Ückert Fricke (2003)	-110°C 低溫艙	腳踏車 5x2 min (250 Watt) 測試前進入 -110°C 低溫艙 3 min	實驗組運動結 束血液乳酸與 NH ₃ 顯著低於對照 組
Arngrimsson Petitt Stueck Jorgensen Cureton (2004)	冰背心	5 km 跑步測試	顯著降低身體 各部位之溫度 與提高運動表 現

研究者 (年代)	冷卻 方法	測試 方式	研究結果
Rudolf (2005)	-110°C 低溫艙	停留 3x3 min	改變 β - Endorphin 與 免疫系統功能
Hunter Hopkins Casa (2006)	冰背心	冰背心	身體核心溫度 顯著下降、但 運動表現未顯 著提升

應用低溫冷卻對於肌肉發炎能產生增加血球容積比、紅細胞及白細胞、增加抑制 T 細胞以及抗發炎因子之效果。相關研究整理如下 (表 2-4)。

表 2-4 低溫冷卻應用於肌肉發炎之研究

研究者 (年代)	冷卻 方法	生物參數	研究結果
Taghawinejad Birwe Fricke Hartmann (1989)	1x -110°C 60-90 s	Hct Ery Leukocyte 白細胞 Lymphocy 淋巴細胞	增加 增加 增加 減少

研究者 (年代)	冷卻 方法	生物參數	研究結果
Fricke et al. (1997)	2x -110°C 90s	T-幫助	維持
		T-抑制	增加
		Interleukins-6	增加
		Interleukins-2	增加
Jonderko Galaszek Krzewinski	21 days	Lymphocyte	增加
Jonderko	1x90s	Ery	維持
Galaszek (1988)	-160°C	γ - Globulin	維持

低溫應用不僅能應用在恢復、抑制肌肉發炎，近代更應用於運動訓練上，並且在訓練中、比賽前應用皆能達成正面的效果。而低溫應用對血液氣體的調節與時間的影響則是待被探討的。

第四節 血液氣體

觀察血液中氧分壓以及二氧化碳分壓的變化可以了解氣體在體內交換的情形（圖 2-9），血液氣體亦能反應體內酸鹼平衡狀態。血液氣體各項目的標準含量如下：

pO_2 ：65-100 mmHg

pCO_2 ：35-45 mmHg

pH : 7.35-7.45

BE : > 2 mmol/l Alkalose , < -2 mmol/l Azidose

HCO₃ : 22-26 mmol/l

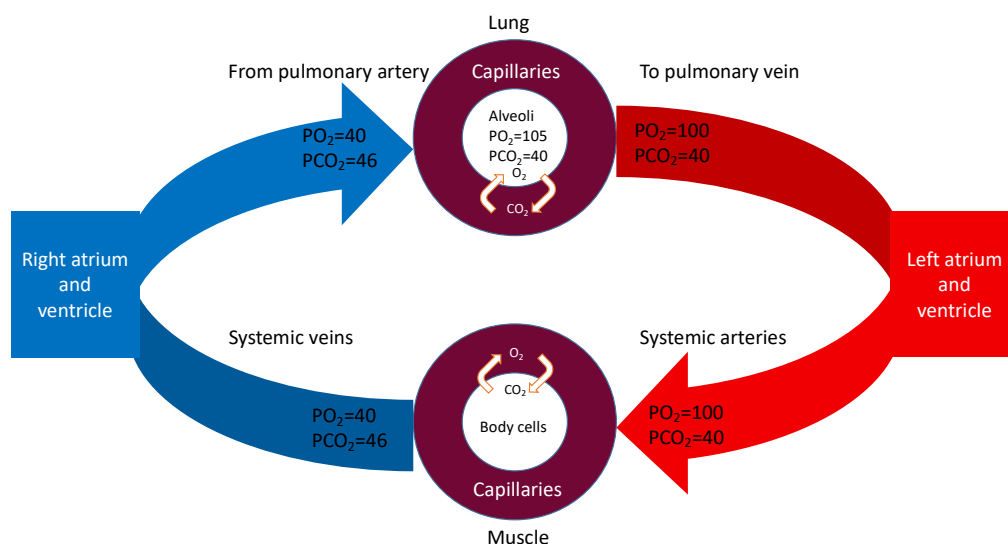


圖 2-9 體內血液氣體交換情形
(圖為本研究自行繪製)

氧合血紅素飽和度會受到溫度及酸鹼值的影響，當溫度升高或者酸鹼值降低時，氧合血紅素飽和度就會降低。激烈運動時，肌肉組織內的 pO₂ 降至 5 mmHg (Murray, Chen, Marshall, & Macarak, 1990)。Bacher (2005) 研究發現當身體溫度從正常 37°C 降低至 30°C 時，血液氣體 (pCO₂、pO₂、pH) 將產生改變。血液氣體 pO₂、pCO₂、pH 於缺氧下差異最大 (Rudolph & Yuan, 1966)。Burton, Stokes, 與 Hall (2004) 指出運動時在動脈中的血液氣體變化通常不大。

血液氣體的變化主要受到溫度、酸鹼值的影響，過去研究指出運動對血液氣體的影響較小，而低溫冷卻對血液氣體的調節及時間，則是待被探討的。

第五節 文獻總結

綜合前四節所述文獻，為能在短時間內迅速進步，短週期以及高強度間歇訓練成為目前訓練主流。透過高強度間歇訓練能夠快速地改善無氧閾值耐力，然而執行高強度訓練容易引發肌肉發炎。為維持訓練品質，應用低溫輔助訓練，將能幫助運動表現、恢復以及減少肌肉發炎反應。而應用低溫冷卻時，體表溫度的改變，將調整皮下組織微血管血流以及血液含氧量。



第參章 研究方法與步驟

本章旨在說明研究之方法與步驟：研究對象為八名體育相關科系學生；實驗時間與地點為人體試驗審查通過後及 SPDI 運動能力診斷與訓練調整研究中心；實驗儀器與設備主要有腳踏車測功儀、半罩式低溫艙、血液分析儀器等；實驗為期三天，分為前、後測以及一天訓練，實驗結束後即進行資料處理與統計分析。

第一節 研究對象

研究對象為八名健康之體育相關科系學生平均身高 168.9 ± 5.9 cm，體重 69.4 ± 8.7 kg，年齡 24.6 ± 3.1 years，其運動頻率為每週三次以上，每次至少 20 min，並且無運動傷害。

第二節 實驗時間與地點

時間：2017 年 10 月 30 日至 2017 年 11 月 1 日

地點：SPDI 運動能力診斷與訓練調整研究中心

第三節 實驗儀器與設備

本研究實驗所使用的儀器與設備如下：

一、Space Cabin 半罩式低溫艙 (圖 3-1)：

低溫艙其長度為 155 cm，寬度為 123 cm，高度為 245 cm，最大載重為 120kg。運作方式為將杜瓦瓶 (dewar flasks) 內之液態氮導入低溫艙內釋放，快速 (30 s 內) 降低艙內溫度，溫度能下降至 -110°C 至 -180°C (視杜瓦瓶內液態氮含量而定)。本研究將半罩式低溫艙應用於前、後測恢復期、單次高強度運動前、間歇期與恢復期。



圖 3-1 Space Cabin 半罩式低溫艙

圖片來源：http://www.healthycold.com/wp-content/uploads/2014/08/bamboo_dewar-1.png

二、Lode 腳踏車測功儀 (圖 3-2)：

可提供功率範圍為 8~2500 Watt，轉速可達 25~180 U/min，最大載重為 180 kg。可事先設定實驗、訓練所需

之運動強度及持續時間。本研究三天實驗皆使用腳踏車測功儀進行前、後測以及持續、間歇負荷。



圖 3-2 Lode 腳踏車測功儀

圖片來源：http://www.lode.nl/en/product/excalibur-sport/3/id_segment/1

三、P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統（圖 3-3）：

包含 P384-20 紅外線熱像測溫儀、TAS 紅外線熱像分析軟體以及 IRM_P384 紅外線熱影像溫度監控軟體。P384-20 紅外線熱像測溫儀使用 Uncooled 2 dimension micro-bolometer 紅外線感測器，並配備網路傳輸介面，可連接個人電腦做快速非接觸面積溫度量測。本研究使用此系統量測體表溫度，拍照完成後透過軟體選取特定部位即可得到所需量測之體表溫度數據。

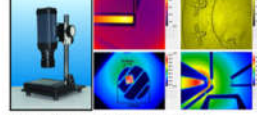
R&D / QC / QA Temperature Analysis Best Tool

P384系列



High-Performance Thermo Image Camera
UFAA Detector Pixels: 384(H) x 288(V) (=110,592測溫點)
Sensitivity (NETD): 0.04°C
High Accuracy: ±1.5% or ±1.5°C
Minimum Spatial Resolution: 200µm / pixel
High Speed Ethernet LAN Connection!
23µm(二分鐘兩度減速) (廣角)

◆ P384RD-23µm 紅外線熱像儀最小熱點 23µm (廣角)



Micro Lens: 23µm Lens (sold on 20mm lens) @23.75µm/pixel
 View Area: 8.75mm x 6.56mm @384x288 mode
 Measuring Temperature: Low Range 0~140°C, High Range 50~300°C
 Accuracy: 2% or ±2°C (@ 25°C operation temperature)
 Working Distance: 17mm

Model	P384RD-20
Infrared Detector	Uncooled Focal Plane Array (Microbolometer)
Thermo Image Pixels	384(H) x 288(V) pixels
Spectral Range	8 ~ 14 µm
Sensitivity (NETD)	±0.04°C (By 30°C black body, Sigma) @R1 ±0.08°C (By 60°C black body, Sigma) @R2
Measuring Range	R1: -15 ~ 120°C, R2: 50 ~ 300°C High Range: ~ 1200°C (Option)
Accuracy	R1: ±1.5% or ±1.5°C (@ 25°C operation temperature) R2: ±2% or ±2°C (@ 25°C operation temperature)
Frame Rate	50 Frames/sec @384x288, 60 Frames/sec @320x240
A/D Convert	16 bit/point
Digital Interface	Fast Ethernet IEEE802.3u (100BASE-T)
Lens	20mm / F1.0
View Angle	H: 27° V:20.4°
Focus	Manual Focus
Working Distance	12.5mm ~ ∞ (D:1100) ~ 1800:200µm
Power Supply	DC12V (through AC adapter STD)
Power Consumption	5W (typical)
Operation Temperature	-15 ~ 50°C
Storage Temperature	-20 ~ 70°C
EMC	Compliant to CE
Dimensions	Approx. 80mm(W) x 254mm(D) x 72mm(H)
Weight	Approx. 790g
Software	IRM, P384RD-TAB, 二分鐘兩度減速 (二分鐘兩度減速)
Microscopy Lens (Option)	P384RD-23µm (8.75mm x 6.56mm @384x288)
SDK (Option)	P384RD-LAN (SDK) (Fast Ethernet LAN supported)
LatView Kit (Option)	P384RD LatView Tool Kit (3 Drivers)
Stand (Option)	Metal Stand with Double Fine Tuning Knobs
XY Stage (Option)	73mm(X) X 50mm(Y)
Foot Print of Stand (Option)	200mm(W) X 250mm(D)

圖 3-3 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/>

四、i-Heart 運動心跳率安全監測系統 (圖 3-4)：

內建心跳率安全與危險區域訊號以快速提醒監控者，避免對心臟造成過度負荷。最大特點為可同時監控多人心跳率 (最多 50 人)，適合體育課、軍警單位及運動團體使用。本研究所有實驗過程受試者皆以此系統量測心跳率。



圖 3-4 i-Heart 運動心跳率安全監測系統

圖片來源：

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

g

五、EKF 血糖乳酸分析儀 (圖 3-5)：

使用前須先暖機，暖機結束後校正，校正結果如在標準值內即可開始分析檢體，每次最多可分析 20 個檢體。分析結果將於觸控式面板同時顯示乳酸值及血糖值。本研究所採集之血液乳酸檢體皆以此分析儀化驗。



圖 3-5 EKF 血糖乳酸分析儀

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

六、i-STAT Handheld 血液氣體分析儀 (圖 3-6)：

檢體所需血液量為 100 μ l，所採集的血液將滴入分析儀專用之晶片試紙中，晶片試紙直接放入分析儀中，即開始進行分析，分析結果將顯示血液中氧分壓、二氧化碳分

壓、酸鹼值等。本研究以此分析儀量測實驗第二天低溫應用前後、持續與間歇負荷前後之血液氣體。



圖 3-6 i-STAT Handheld 血液氣體分析儀

圖片來源：

<https://www.pointofcare.abbott/us/en/offerings/istat/istat-handheld>

七、採血工具：

手套、採血針、酒精、毛管、衛生紙、紅血球破壞劑等。

第四節 實驗設計與方法

一、實驗設計

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，包含持續運動 (Tr1) 與間歇運動 (Tr2)，並搭配低溫應用，執行程序如圖所示 (圖 3-7)。

(一) T1、T2 個人有氧無氧閾值基礎耐力測試搭配低溫應用：

受試者在測試開始前，須先佩戴好心跳帶 (i-Heart)，並從耳垂採集 10 μ l 之血液作為安靜時之乳酸值判定並記錄心跳率。以腳踏車測功儀作為測試工具，從 100 Watt 開始，每階 3 min，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 3 min 進行 2x120 s 之低溫應用 (-120°C)，次間間隔 3 min。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設定依據。

(二) 單次高強度組合運動搭配低溫應用：

受試者在運動開始前，須先佩戴好心跳帶 (i-Heart)，並從手指採集血液作為安靜時之乳酸值以及血液氣體判定並記錄心跳率、體表溫度。以腳踏車測功儀作為運動工具。運動開始前、Tr1 與 Tr2 之間以及運動結束後皆進行 2x120 s 之低溫應用 (-120°C)，次間間隔 3 min。

1. Tr1 持續運動：以 T1 之測試結果帶入 Lactate EXPRESS 計算出個人無氧閾值 (6 mmol/l) 功率 (6 mmol/l-Watt) 作為運動強度，持續運動 10 min，並且維持 70~80 U/min。
2. Tr2 間歇運動：以 T1 之個人最大負荷功率作為運動強度，進行 4x90 s 間歇運動，期間維持 70~80 U/min；間歇時間 60 s，期間維持 100 Watt 以及 60~70 U/min。

-  T1、T2: 腳踏車階梯式負荷，每階 3 min (100 Watt 開始，每次上昇 30 Watt)
-  Cooling: 120s
-  Tr1: 10 min 持續腳踏車，70-80 U/min (6 mmol/l-Watt)
-  Tr2: 4x90s 間歇腳踏車，70-80 U/min (Watt_{max})，間歇 60 s (100 Watt， 60-70 U/min)

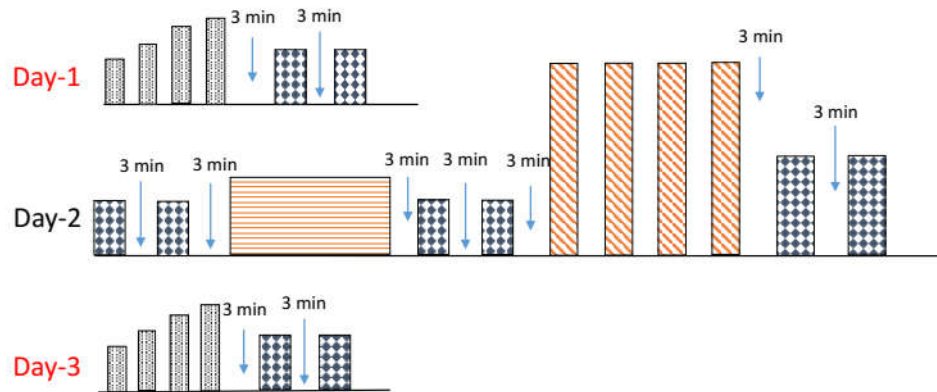


圖 3-7 實驗設計與流程

本研究實驗共為期三天，第一天與第三天進行階梯式負荷以作為前後測，第二天則進行單次高強度運動，包含 10 min 持續負荷及 4x90 s 間歇負荷。低溫應用於階梯式負荷恢復期、第二天之運動前、間歇期與恢復期。

二、實驗方法

(一) 本研究實驗之各生物參數採集時間如表 3-1 所示。

表 3-1 實驗採集之生物參數

名稱	測試內容	負荷	採集生物參數
T1 T2	基礎耐力測試	階梯式 負荷 100 Watt 開始，每 階 3 min，每 次上升 30 Watt	1. 作為 Tr1、Tr2 強度指標 2. La: R、採集至受試者最大負荷階數 3. HR: R、採集至受試者最大負荷階數
Tr1	10 min 持續 腳踏車 70~80 U/min	6 mmol/l- Watt	1. La: E1、E5 min 2. HR: 1x5 min、 1x10 min 3. 血液氣體: 低溫 應用前-後、運動 後 4. 體表溫度: 低溫 應用前-後、運動 後
Tr2	4x90s 間歇腳 踏車 70~80 U/min Rep 60s (100 Watt 60~70 U/min)	階梯式 負荷最 高 Watt	1. La: E1、E5 min 2. HR: 1x、2x、3x、 4x 3. 血液氣體: 低溫 應用前-後、運動 後 4. 體表溫度: 低溫 應用前-後、運動 後

(二) 本研究實驗之體表溫度量測位置

正面量測位置為腹部及兩大腿肌；背部量測位置為背部及兩後腿肌（圖 3-8）。

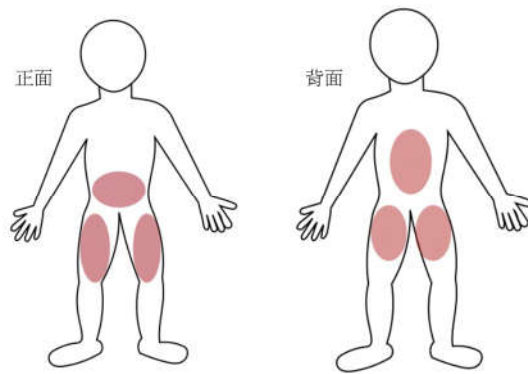


圖 3-8 體表溫度量測位置

第五節 實施流程

本研究之實施流程如圖 3-9 所示：

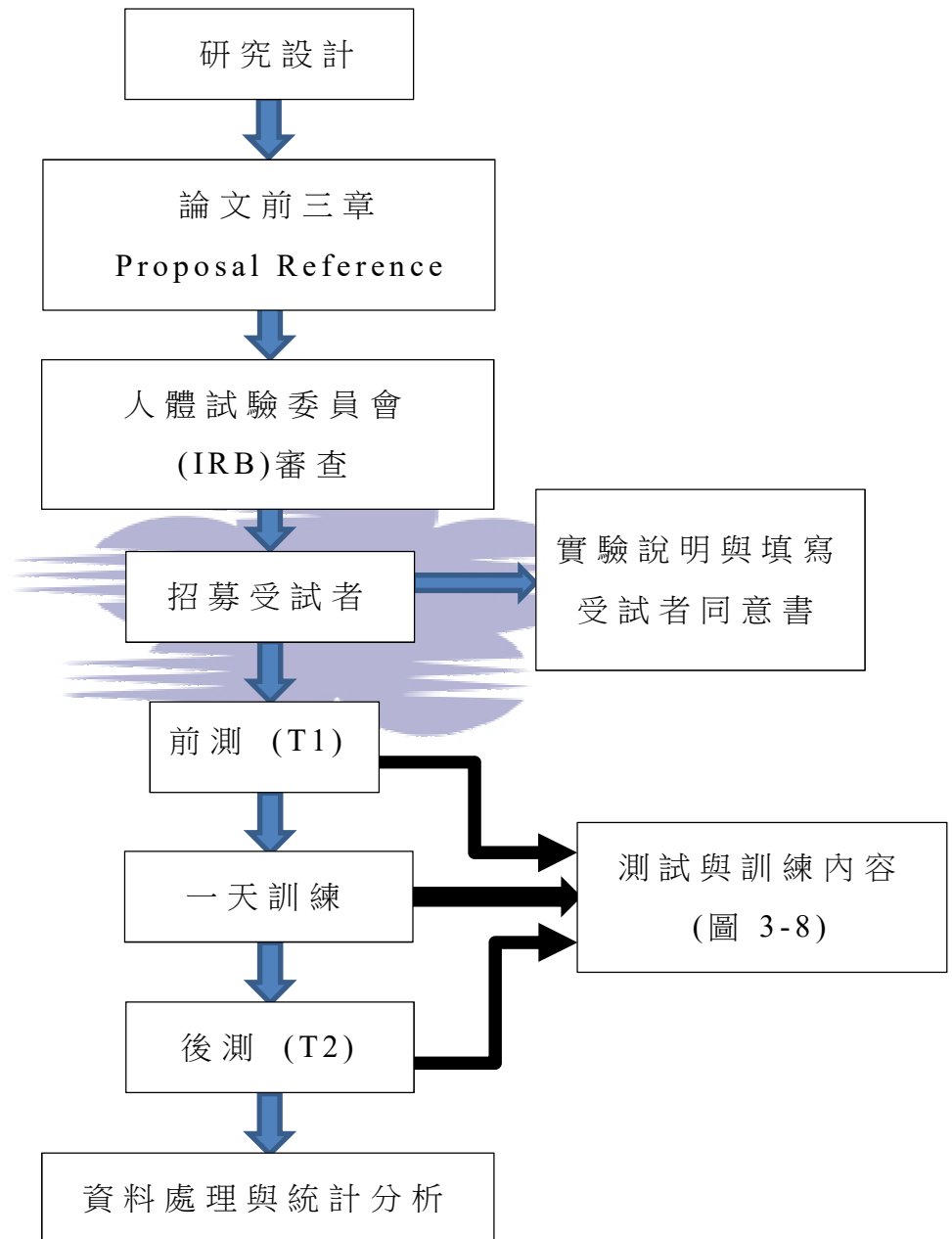


圖 3-9 實施流程圖

第六節 資料處理

一、所有數值以平均值與標準差呈現，並以 IBM SPSS Statistics 進行統計分析。

二、以相依樣本 t 檢定分析前測、後測各項參數差異。

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 4 mmol/l 方式，計算出受試者個人有氧-無氧閾值能力以及無氧閾值 (6 mmol/l) 功率。結果分析以 SigmaPlot 12.5 進行繪圖。

五、本研究統計考驗水準皆訂為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果分析與討論

本章旨在根據研究目的以探討相關研究結果：由持續與間歇負荷之最大乳酸值與心跳率發現低溫應用於間歇訓練可達較佳之訓練效果。其次觀察體表溫度與血液氣體調節及乳酸排除曲線，發現低溫應用確實有助於提升 pO_2 並促進體循環功能，進而加速乳酸排除。單次高強度運動之訓練效果則從前後測之乳酸值、心跳率曲線可發現，受試者於後測之乳酸值雖未明顯改善，但心跳率呈現進步趨勢，且無氧閾值耐力更是呈現強度上升但心跳率下降的良好進步效果（表 4-4）。

第一節 持續與間歇負荷最大乳酸值及心跳率

結果分析發現，最大乳酸值在持續運動（Tr1）達 $9.64 \pm 1.62 \text{ mmol/l}$ ，在間歇運動（Tr2）達 $8.93 \pm 2.68 \text{ mmol/l}$ ，兩項運動差異為 0.71 mmol/l ($p > 0.05$)；最大心跳率在 Tr1 持續運動達 $173 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，在 Tr2 間歇運動達 $172 \pm 14 \text{ min}^{-1}$ ，兩項運動平均值未呈現顯著差異（圖 4-1）。根據以上結果可發現 Tr1 持續運動與 Tr2 間歇運動之強度相近，但是 Tr2 之乳酸值與心跳率皆略低於 Tr1，顯示 Tr2 對身體所造成壓力較低，並且低溫應用於間歇運動（Tr2）可達到較佳之訓練品質。Smith 等（1997）以鐵人三項運動員進行測試，比賽前進入 -110°C 低溫艙 $3 \times 3 \text{ min}$ ，結果顯著改善運動員耐力能力並且減少乳酸堆積。Gharbi 等（2008）指出持續與間歇訓練皆能改善最大乳

酸值，但間歇訓練更有助於提高最大有氧速度以及乳酸的交換與排除。本研究之低溫應用亦實施於運動負荷前，且間歇負荷之最大乳酸值亦低於持續負荷，顯示低溫應用於間歇訓練可維持較佳之訓練品質。

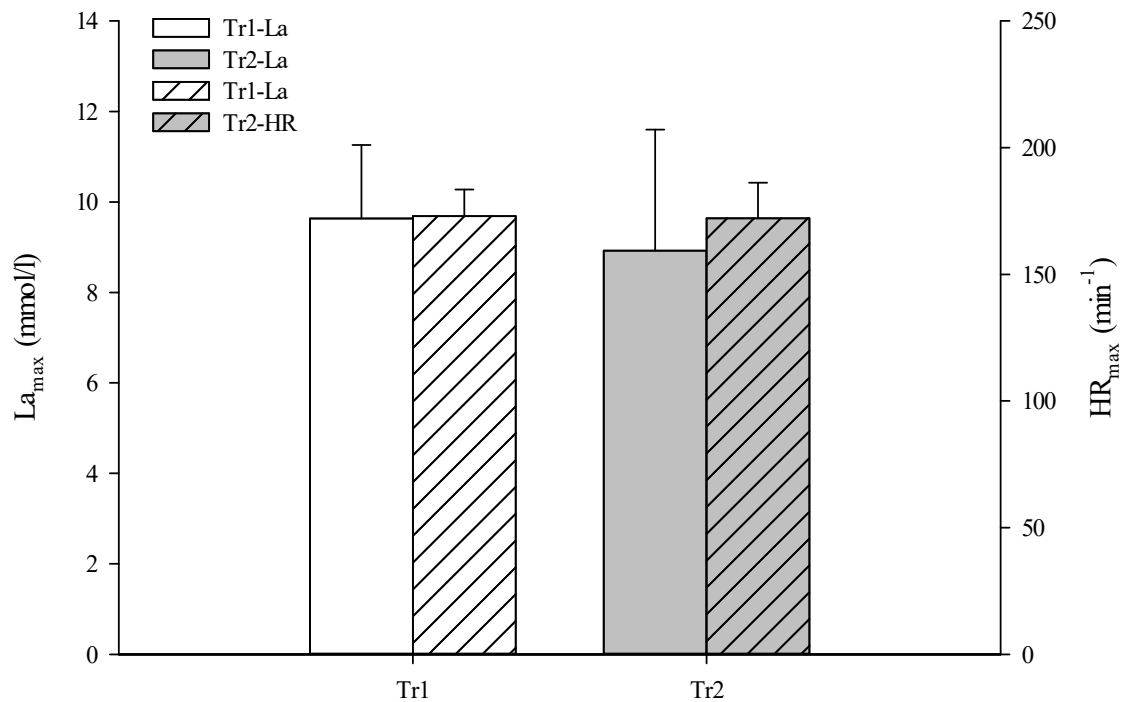


圖 4-1 持續 (Tr1) 與間歇 (Tr2) 負荷最大乳酸值及心跳率

第二節 低溫應用後體表溫度與血液氣體調節

結果分析發現，低溫應用後進行 Tr1 持續運動使體表溫度由 $24.3 \pm 3.6^{\circ}\text{C}$ 上升至 $30.2 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 、 pO_2 由 $58.8 \pm 9.6 \text{ mmHg}$ 上升至 $80.8 \pm 7.1 \text{ mmHg}$ 、 pCO_2 由 $44.2 \pm 3.1 \text{ mmHg}$ 下降至 36.2 ± 2.9

mmHg；低溫應用後進行 Tr2 間歇運動使體表溫度由 $22.9 \pm 3.9^{\circ}\text{C}$ 上升至 $29.3 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ 、 pO_2 由 72.2 ± 6.5 mmHg 上升至 77.2 ± 3.4 mmHg、 pCO_2 由 34 ± 1.8 mmHg 上升至 35.5 ± 3.2 mmHg (表 4-1、圖 4-2)。根據以上結果發現 pO_2 受體表溫度影響較大，隨著體表溫度上升而上升，反之 pCO_2 則不會隨著體表溫度改變而有明顯起伏，但是經 Tr1 持續運動後，其含量都在正常範圍 ($35 \sim 45$ mmHg) 之較低含量。過去研究曾指出激烈運動後肌肉組織內的 pO_2 降至 5 mmHg (Murray et al., 1990)，此外身體溫度由 37°C 降低至 30°C 時，血液氣體會產生改變 (Bacher, 2005)。但是 Papenfuß (2005) 提出低溫應用於訓練中可減少二氧化碳含量並提升氧分壓。綜合以上，本研究結果亦顯示低溫應用以及運動回溫後的 pO_2 呈現上升甚至高於常溫時，且 pCO_2 亦偏低，與先前實驗呈現相同結果。

表 4-1 低溫應用後體表溫度與血液氣體調節

	R2 至 Tr1-E1	Tr1-E10 至 Tr2-E1
Temp ($^{\circ}\text{C}$)	24.3 to 30.2 $\uparrow$	22.9 to 29.3 $\uparrow$
pO_2 (mmHg)	58.8 to 80.8 $\uparrow$	72.2 to 77.2 $\uparrow$
pCO_2 (mmHg)	44.2 to 36.2 $\downarrow$	34 to 35.5 $\uparrow$

註：R2 為運動前冷卻，Tr1 為持續負荷，Tr2 為間歇負荷，

E1 為運動後 1st min，E10 為運動後 10th min。

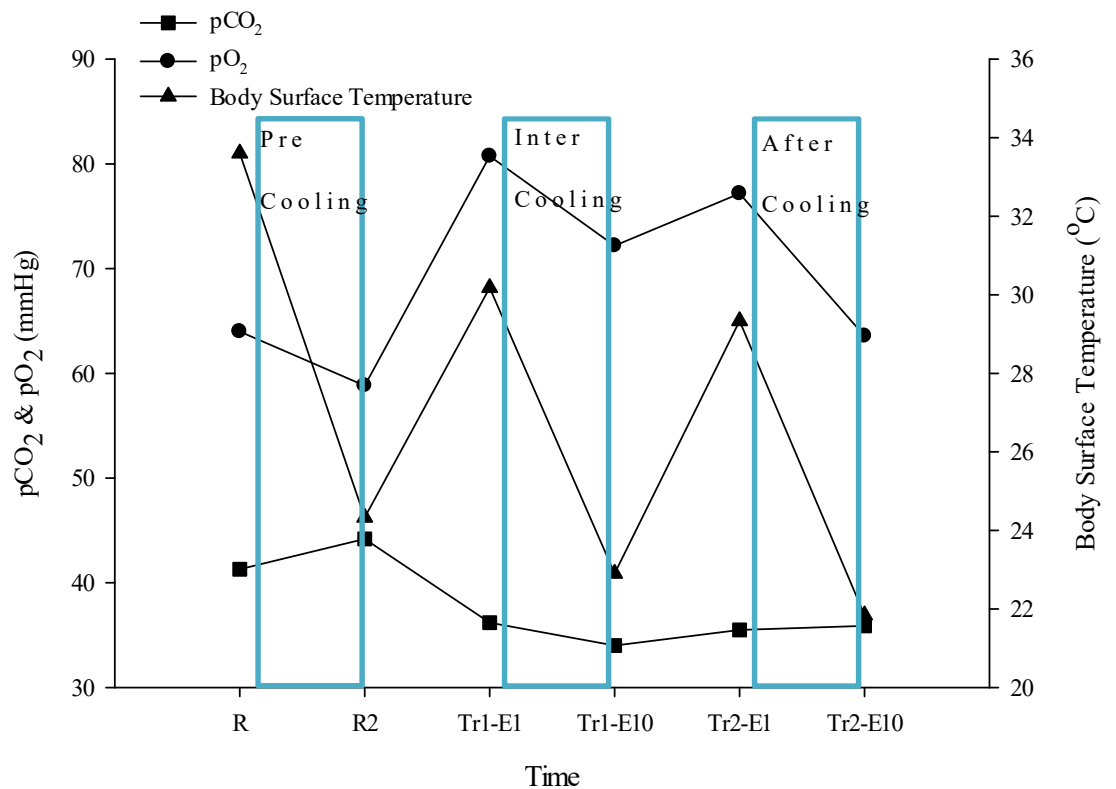


圖 4-2 低溫應用後體表溫度與血液氣體調節

註：Pre 為運動前，Inter 為間歇期，After 為恢復期，以上三個長方形為本實驗低溫應用時間。

第三節 低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝

結果分析發現，間歇期低溫應用後，體表溫度由 $30.2 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 下降至 $22.9 \pm 3.9^{\circ}\text{C}$ 、乳酸值由 $9.64 \pm 1.62 \text{ mmol/l}$ 下降至 $6.68 \pm 2.02 \text{ mmol/l}$ ；恢復期低溫應用後，體表溫度由 $29.3 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ 下降至 $21.8 \pm 4.7^{\circ}\text{C}$ 、乳酸值由 $8.93 \pm 2.68 \text{ mmol/l}$ 下降至 $6.77 \pm 2.30 \text{ mmol/l}$ (表 4-2、圖 4-3)。根據以上結果可發現乳酸濃度

會受到低溫應用的影響而下降。先前研究進行 5x2 min 之 250 Watt 間歇腳踏車訓練，實驗組在訓練前進行 -110°C 低溫冷卻 3 min，對照組則無。其結果發現實驗組在運動結束後之心跳、乳酸及血氨皆低於對照組 (Joch et al, 2003)。綜合前一節所述之低溫應用後再運動回溫使含氧量增加之結果，以及冷熱溫度的交替導致微血管的收縮加速了體內血流的循環，低溫應用確實可促進乳酸排除。

表 4-2 低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝

	Tr1-E1 至 Tr1-E10	Tr2-E1 至 Tr2-E10
Temp (°C)	30.2 to 22.9 ↓	29.3 to 21.8 ↓
La (mmol/l)	9.64 to 6.68 ↓	8.93 to 6.77 ↓

註： Tr1 為持續負荷，Tr2 為間歇負荷，

E1 為運動後 1st min，E10 為運動後 10th min。

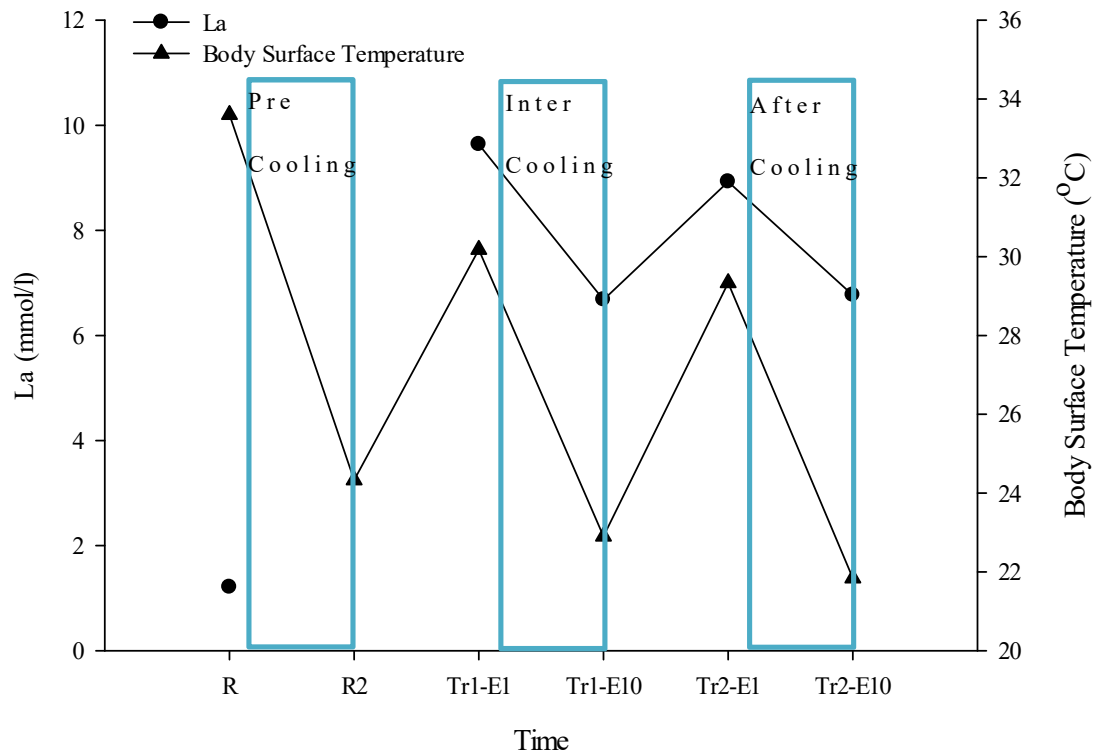


圖 4-3 低溫應用後體表溫度與肌肉能量代謝

註：Pre 為運動前，Inter 為間歇期，After 為恢復期，以上三個長方形為本實驗低溫應用時間。

第四節 基礎耐力測試前後測之乳酸值曲線

結果分析發現，T2 之乳酸值在 100 W、160 W、190 W 與 220 W 皆僅微幅下降，其中，差異最多為 190 W，達 0.34 mmol/l。而 250 W 及 280 W 在 T2 時則呈現上升，其中 250 W 之差異達 1.3 mmol/l (圖 4-4)。從各受試者之個人每階乳酸值比較可發現最大差異為 190 W，下降 2.74 mmol/l。至於 250 W 於 T2 乳酸值呈現明顯上升則與兩名受試者 T2 進步有關：一名受試

者 T1 時最大負荷為 220 W，但 T2 時達 250 W；另一名受試者 T1 時 250 W 僅能完成 1.5 min，但在 T2 則能完整負荷 3 min 之 250 W。受試者所能負荷的時間與強度增加，也因此乳酸值上升。根據以上結果顯示受試者於高功率時肌肉能量代謝壓力未呈現下降。雖然過去研究指出高強度間歇訓練有許多益處，例如增加 PGC-1 α 以推動粒腺體合成，並且 PGC-1 α 能協助改變乳酸脫氫酶以避免運動時血乳酸累積 (Gibala & McGee, 2008)，以及使 MCT 膜增厚以減少乳酸進入血液 (Juel, 2004)。但是，改善肌肉能量代謝效率需增加肌肉周邊微血管數及粒線體數量。Zintl (1994) 指出組織蛋白質新生須數天至數週，且改善乳酸所需時間是以週為單位 (Neumann, 1990)。因此，本研究僅經單次高強度訓練無法產生改善肌肉能量代謝效率以及減少乳酸之效果。

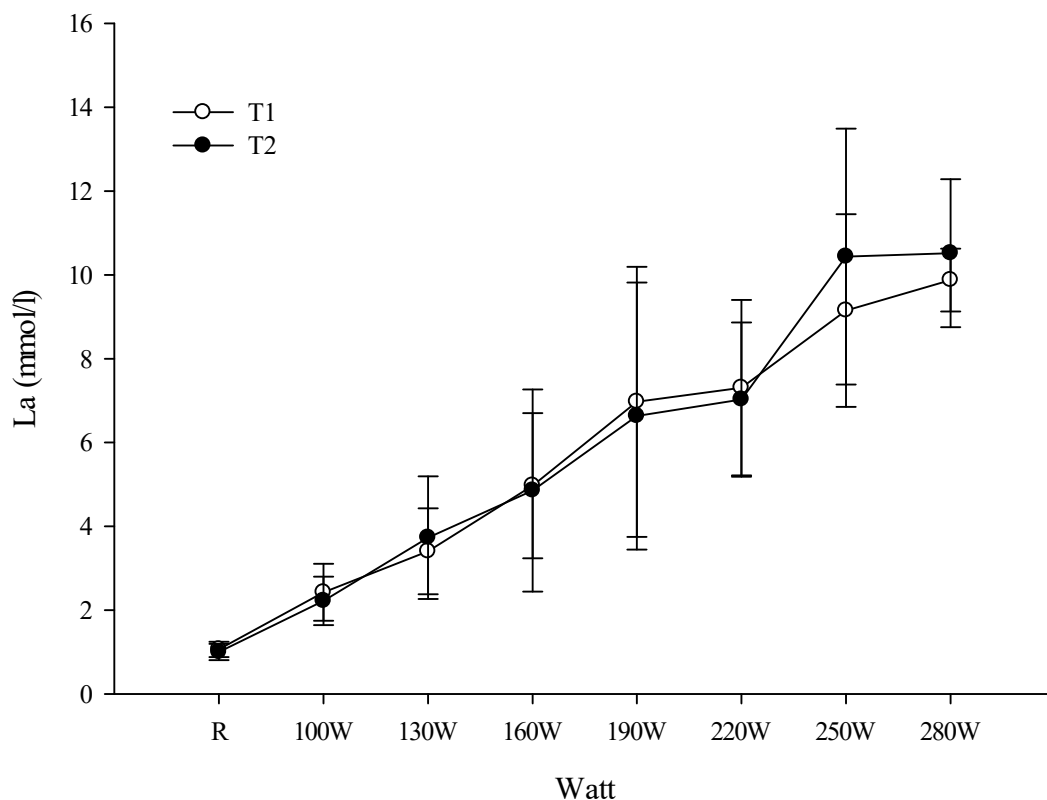


圖 4-4 基礎耐力測試前後測之乳酸值曲線

第五節 基礎耐力測試前後測之心跳率曲線

結果分析發現，T2 之心跳率於 100 W 至 250 W 皆呈現下降，其中 100 W 之心跳率差異最大，達 11 min^{-1} ，130 W 之差異為其次，達 10 min^{-1} ，其餘差異隨功率增加而減少。280 W 之心跳率則於 T2 下降 2 min^{-1} (圖 4-5)。由每位受試者之個人每階心跳率差異觀察，從 100 W 至 280 W 的最大差異每階依序為 39 min^{-1} 、 30 min^{-1} 、 19 min^{-1} 、 15 min^{-1} 、 12 min^{-1} 、 9 min^{-1} 、 2 min^{-1} 。根據以上結果發現心臟經如此適量但高強度之刺

激收縮後，其效果在後測低功率時相當明顯。此外，個人最大負荷之心跳率不易改善，但是本研究達成改善效果。心跳是由自律神經內之交感神經與副交感神經形成拮抗作用而產生，長期規律運動可改善自律神經自主調控功能，若要在短時間內要改善調控功能則需依賴高強度訓練。急性運動刺激使身體組織與腦進行調節，可加速身體對急性負荷產生反應 (Krüger, Marees, Dittmar, Sperlich, & Mester, 2015)。例如提高左心室的壓縮以增加血液動力，促使肌肉周邊微血管急速收縮以增加組織之血容量與工作肌群含氧量 (Costello et al., 2015; González-Alonso & Calbet, 2003)、增加每跳輸出量 (Zalewski et al., 2014)、提升副交感活性 (Hauswirth et al., 2013)。Schaun 與 Del Vecchio (2018) 以全身徒手力量訓練以及腳踏車測功儀兩種模式個別進行高強度間歇訓練，結果發現經訓練一天兩種模式皆提高了副交感神經之抑制作用，降低心跳率。而本研究結果亦顯示高強度運動明顯改善每階心跳率。

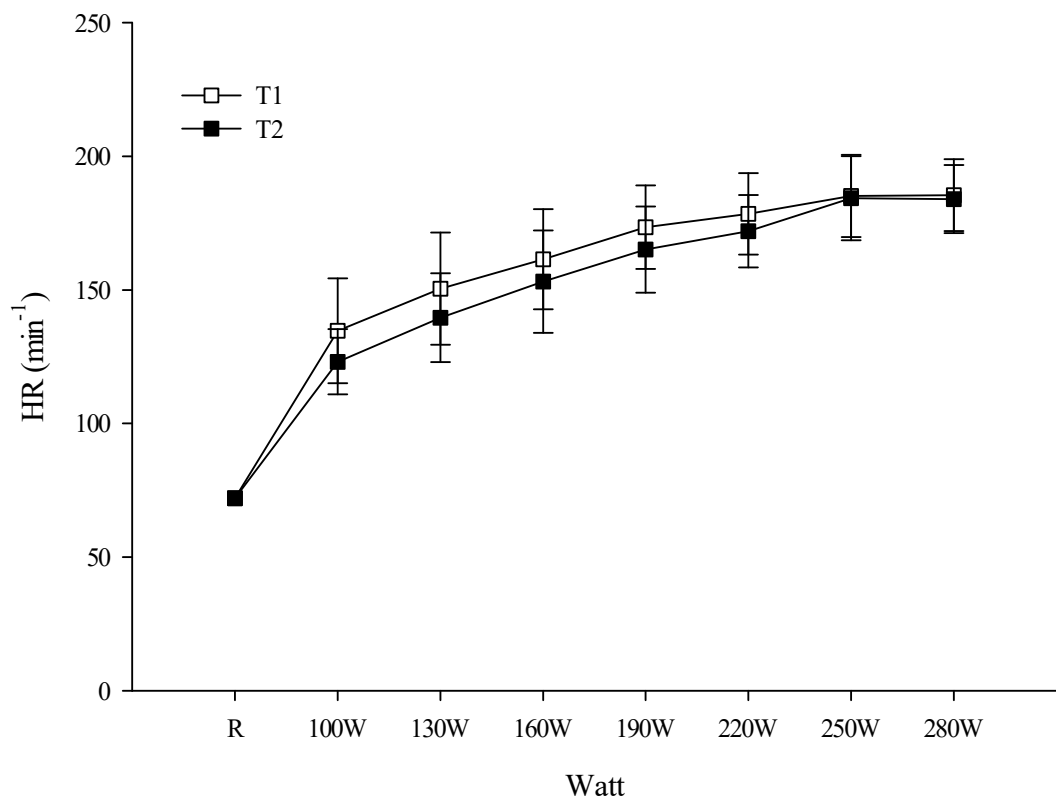


圖 4-5 基礎耐力測試前後測之心跳率曲線

第六節 單次高強度運動後之無氧閾值耐力 (4 mmol/l) 比較

結果分析發現，受試者於前測之無氧閾值能力平均為 151.1 ± 29.8 Watt，心跳率為 158 ± 15 min⁻¹，經單次高強度運動搭配低溫應用訓練後，後測之無氧閾值能力平均為 156.8 ± 33.9 Watt，心跳率為 151 ± 11 min⁻¹，功率差異 5.7 Watt，心跳率差異 7 min⁻¹，整體呈現進步（表 4-3）。受試者之無氧閾值能力功率增加，然而心跳率並沒有因強度增加而隨之上升，反而是

下降了 7 min^{-1} ，顯示受試者之生理狀態迅速地適應了新的強度。僅經單次高強度運動即能達成此效果，本研究認為低溫應用為其中之重要原因。Fricke (1989) 高強度肌肉力量訓練後進行 $3 \times 2 \text{ min}$ (-110°C) 低溫冷卻，其研究結果於運動員骨骼肌內未發現引發肌肉疼痛之酵素。低溫應用有助於改善血液流動以提升體循環活性 (Papenfuß, 2005)。此外，以往的訓練週期多為四到六週，為追求時間效益，短時間高強度之訓練已成為主流，先前研究已發現可藉由三天高強度訓練達成改善無氧閾值耐力的目的 (蕭婉柔, 2015)。本研究結果則是更進一步將訓練時間壓縮為一天，並輔以低溫應用使運動員經單次高強度運動後即能迅速恢復並回歸到日常訓練，此訓練模式將可應用於準備期及專項期以協助運動員突破無氧閾值耐力。

表 4-3 單次高強度運動後之無氧閾值耐力 (4 mmol/l) 比較

4 mmol/l						
Test	T1		T2		Diff	
Item	Watt	HR	Watt	HR	Watt	HR
Data	151.1	158	156.8	151	+5.7	-7

表 4-4 本研究之結果分析總表

	Temp	pO ₂	pCO ₂	La	HR	Watt	4 mmol/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				—	↓	↑	↑

本研究結果顯示，低溫冷卻後進行運動負荷，pO₂ 會隨體表溫度上升而上升；恢復期進行低溫冷卻，乳酸值會隨體表溫度下降而下降。基礎耐力經單次高強度運動後，乳酸值不變、心跳率下降、閾值功率上升、無氧閾值能力亦上升。

第伍章 結論與建議

本研究結果顯示低溫應用確實可提升運動後之氧分壓、減少二氧化碳分壓以及提升體循環活性，且有助於乳酸排除。低溫應用於間歇訓練可達到較佳的訓練品質，且所形成之體循環與新陳代謝壓力低於持續訓練。至於單次高強度運動雖因蛋白質新生所需時間較長而無法立即改善肌肉能量代謝效率，但是對於體循環的改善是明顯的，甚至還降低了人體在最大負荷不易改善的心跳率。對於無氧閾值耐力亦呈現強度提升但心跳率下降的進步效果。但是想透過「單次」高強度訓練就能達成效果，勢必透過低溫應用輔助才能使運動員在不受傷的情況下進步。在眾多科學家與教練追求短時間內改善肌肉缺氧反應機制的情形下，高強度訓練搭配低溫應用將是競技運動之趨勢，特別是針對球類與技擊類項目。建議實務上可應用此訓練方式於準備期及專項期，使運動員經單次刺激後即能回歸日常訓練。而研究上則建議可以往低溫應用之冷卻溫度、冷卻時間長度、最佳回溫時間與對血液氣體的影響等方向探討以善用低溫應用進而緩解體內壓力、提升恢復效率。

參考文獻

中文部分

- 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。國立體育大學競技與教練科學研究所碩士論文，桃園縣。取自 <https://hdl.handle.net/11296/q75e49>
- 吳杰茗、蕭敬衡、張嘉澤 (2015)。短期跑步機 HIIT 對田徑選手有氧閾值能力、乳酸排除率以及心跳率之效果。國際教練科學研討會，桃園市。
- 李婉禎 (2014)。一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項比賽恢復能力之影響。國立體育大學競技與教練科學研究所碩士論文，桃園縣。取自 <https://hdl.handle.net/11296/432fy6>
- 張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整。新北市:臺灣運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2008)。訓練學 (第一版)。新北市:臺灣運動能力診斷協會。
- 張嘉澤 (2018)。兒童與青少年訓練。新北市:臺灣運動能力診斷協會。
- 陳佳慧、楊孟龍、王月琪、張嘉澤 (2009，3月)。5天低濃度氧氣訓練對健康中年愛好運動者耐力表現之影響 (個案研究)。國際體育運動與健康休閒學術研討會海報發表，台北市。

曾台霖 (2016)。三天小型比賽訓練對足球選手專項耐力之影響。國立體育大學競技與教練科學研究所碩士論文，桃園縣。取自 <https://hdl.handle.net/11296/m986h4>

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率變異度之效果。國立體育大學競技與教練科學研究所碩士論文，桃園縣。取自 <https://hdl.handle.net/11296/cvt86c>

外文部分

Arngrímsson, S. Á., Petitt, D. S., Stueck, M. G., Jorgensen, D. K., & Cureton, K. J. (2004). Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *Journal of applied physiology*, 96(5), 1867-1874.

Bacher, A. (2005). Effects of body temperature on blood gases. *Intensive care medicine*, 31(1), 24-27.

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.

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.
- Burton, D. A., Stokes, K., & Hall, G. M. (2004). Physiological effects of exercise. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain*, 4(6), 185-188.
- Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B., & Bleakley, C. (2015, September 18). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6. Art. No.: CD010789. DOI:10.1002/14651858.CD010789.pub2.
- Costello, J. T., Donnelly, A. E., Karki, A., & Selfe, J. (2014). Effects of whole body cryotherapy and cold water immersion on knee skin temperature. *International journal of sports medicine*, 35(01), 35-40.
- 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.
- Fricke, J., & Tillotson, T. (1997). Aerogels: production, characterization, and applications. *Thin Solid Films*, 297(1), 212-223.

- Fricke, R. (1989). Ganzkörperkaltetherapie in einer Kaltekammer mit Temperaturen um -110 ° C. *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim*, 18, 1-10.
- Gerbert, S. (2010, January 25). Wie viel Hitze verlieren Sie über den Kopf?. Retrieved from <https://blog.oreilly.de/2010/01/25/wie-viel-hitze-verlieren-sie-uber-den-kopf/>
- Gharbi, A., Chamari, K., Kallel, A., Ahmaidi, S., Tabka, Z., & Abdelkarim, Z. (2008). Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *Journal of sports science & medicine*, 7(2), 279.
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?. *Exercise and sport sciences reviews*, 36(2), 58-63.
- 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.
- Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of physiology*, 575(3), 901-911.

- Gibala, M. J., McGee, S. L., Garnham, A. P., Howlett, K. F., Snow, R. J., & 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. *Journal of applied physiology*, 106(3), 929-934.
- González-Alonso, J., & Calbet, J. A. (2003). Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*, 107(6), 824-830.
- Hauswirth, C., Schaal, K., Le Meur, Y., Bieuzen, F., Filliard, J. R., Volondat, M., & Louis, J. (2013). Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *Plos one*, 8(8), e72658.
- Hessemer, V., Langusch, D., Bruck, L. K., Bodeker, R. H., & Breidenbach, T. (1984). Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57(6), 1731-1737.
- Hollensteiner, B. (2003). *Analgetische Wirkung einer Ganzkörperkältetherapie-110 °C, 3 min.* (Doctoral dissertation, Universität Münster, Münster, Germany). Retrived from <https://d-nb.info/970953682/34>
- Hunter, I., Hopkins, J. T., & Casa, D. J. (2006). Warming up with an ice vest: core body temperature before and after

- cross-country racing. *Journal of athletic training*, 41(4), 371.
- Jang, J.T., Wang, Y.C., Chen, C.H., & Chan, Y.S. (2012). Die Anpassungen eines fünftägigen Hypoxie-Trainings auf Metabolismus und Kreislauf beim 400m Läufer. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 63. 7-8. 245.
- Joch, W., Ückert, S., & Fricke, R. (2003). Die Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kälteapplikation für die Realisierung sportlicher Leistungen1. *BISp Jahrbuch*, 245-252.
- Jonderko, G., Galaszek, Z., Krzewinski, W., Jonderko, K., & Galaszek, E. (1988). Einfluß der lokalen Kältetherapie auf einige immunologische Parameter bei Kranken mit chronischer Polyarthrit. *Z Phys Med Baln Med Klim*, 17, 240-242.
- Juel, C. (2004). Laktattransport im Skelettmuskel: Trainingsinduzierte Anpassung und Bedeutung bei körperlicher Belastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55(6), 157-160.
- Krüger, M., de Marees, M., Dittmar, K. H., Sperlich, B., & Mester, J. (2015). Whole-body cryotherapy's enhancement of acute recovery of running performance in well-trained athletes. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 605-612.

- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(s2), 1-10.
- Lee, D. T., & Haymes, E. M. (1995). Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *Journal of applied physiology*, 79(6), 1971-1976.
- Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., ... & Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *Journal of applied physiology*, 111(6), 1554-1560.
- Murray, T. R., Chen, L., Marshall, B. E., & Macarak, E. J. (1990). Hypoxic contraction of cultured pulmonary vascular smooth muscle cells. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 3(5), 457-465.
- Neumann, G. (1990). Leistungsstruktur in den Ausdauersportarten aus sportmedizinischer Sicht *Leistungssport*, 20(3), 14-20.
- 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

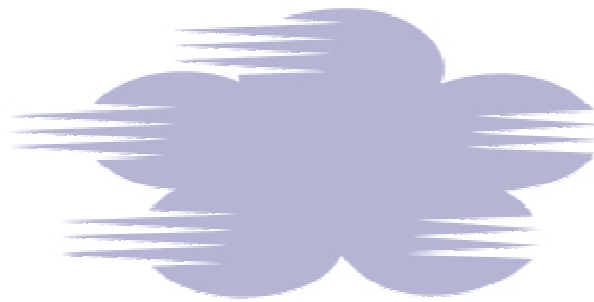
- skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 96(1), 189-194.
- Olschewski, H., & Bruck, K. (1988). Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *Journal of applied physiology*, 64(2), 803-811.
- Papenfuß, W. (2005). *Die Kraft aus der Kälte*. Eine physikalische Kurzzeittherapie mit Langzeitwirkung.
- Rakobowchuk, M., Tanguay, S., Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Gibala, M. J., & MacDonald, M. J. (2008). Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), 236-242.
- Rudolf, S. (2005). *Bestimmung des β -Endorphin-immunoreaktiven Materials (β -ED IRM) und des N-acetyl- β -Endorphin-IRM (NAC IRM) im Plasma bei gesunden Probandinnen nach einer einmaligen Ganzkörperkältetherapie (GKKT) bei -110°C über 3 Minuten. (Inaugural-Dissertation, Universität Münster, Münster, Germany). Retrived from <https://dnb.info/975607375/34>*

- Rudolph, A. M., & Yuan, S. (1966). Response of the pulmonary vasculature to hypoxia and H⁺ ion concentration changes. *Journal of Clinical investigation*, 45(3), 399.
- 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, V., & Bruck, K. (1981). Effect of a precooling maneuver on body temperature and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 50(4), 772-778.
- Smith, J. A., Yates, K., Lee, H., Thompson, M. W., Holcombe, B. V., & Martin, D. T. (1997). Pre-cooling improves cycling performance in hot/humid conditions 1501. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 263.
- Taghawinejad, M., Birwe, G., Fricke, R., & Hartmann, R. (1989). Ganzkörperkältetherapie–Beeinflussung von Kreislauf-und Stoffwechselfparametern. *Z Phys Med Baln Med Klim*, 18, 23-30.
- Ückert, S., & Joch, W. (2003). Der Einfluss von Kalte auf die Herzfrequenzvariabilität. *Osterreichisches Journal für Sportmedizin*, 33(2), 14-20.
- Wang, Y. C., Smith, R.S., & Jang, J. T. (2009, June). *Effects of 3 Days Training with Hyperoxia on Metabolism and*

Systemic Circulation. Paper presented at the meeting of 14th Annual Congress of European College of Sport Science, Oslo.

Zalewski, P., Buszko, K., Zawadka-Kunikowska, M., Słomko, J., Szrajda, J., Klawe, J. J., ... & Newton, J. (2014). Cardiovascular and autonomic responses to whole-body cryostimulation in essential hypertension. *Cryobiology*, 69(2), 249-255.

Zintl F. (1994). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*. München, Germany: BLV.



附錄



運動能力診斷與訓練調整

疾病調查

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： <table border="0"> <tr> <td>1. 是否有心臟疾病</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>2. 是否有血液疾病</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>3. 是否有糖尿</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>4. 是否有高血壓</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>5. 是否有氣喘疾病</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>6. 是否有癲癇症</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>7. 是否有肌肉疼痛</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>8. 是否有感冒症狀</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> <tr> <td>9. 最近六個月是否有開刀手術</td> <td>☐ 是</td> <td>☐ 否</td> </tr> </table> 10. 其他： 1) _____ 2) _____ 3) _____ 4) _____					1. 是否有心臟疾病	☐ 是	☐ 否	2. 是否有血液疾病	☐ 是	☐ 否	3. 是否有糖尿	☐ 是	☐ 否	4. 是否有高血壓	☐ 是	☐ 否	5. 是否有氣喘疾病	☐ 是	☐ 否	6. 是否有癲癇症	☐ 是	☐ 否	7. 是否有肌肉疼痛	☐ 是	☐ 否	8. 是否有感冒症狀	☐ 是	☐ 否	9. 最近六個月是否有開刀手術	☐ 是	☐ 否
1. 是否有心臟疾病	☐ 是	☐ 否																													
2. 是否有血液疾病	☐ 是	☐ 否																													
3. 是否有糖尿	☐ 是	☐ 否																													
4. 是否有高血壓	☐ 是	☐ 否																													
5. 是否有氣喘疾病	☐ 是	☐ 否																													
6. 是否有癲癇症	☐ 是	☐ 否																													
7. 是否有肌肉疼痛	☐ 是	☐ 否																													
8. 是否有感冒症狀	☐ 是	☐ 否																													
9. 最近六個月是否有開刀手術	☐ 是	☐ 否																													
簽名：		日期：																													

www.spdi.idv.tw

超低溫艙使用調查，為了你的安全請謹慎問答以下問題：

	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。

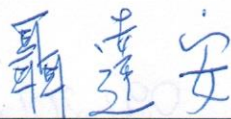
計畫執行期間，若有變更或修正，計畫主持人需依相關規定提出修正(變更)申請，經本委員會審查通過後方可繼續執行。計畫執行中如有偏差或違規情事，應依規定及請求，向本委員會提出報告。

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



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 :

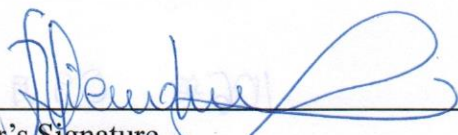
(1) Yi-Ching Fang / National Taiwan Sport University Graduate Institute of Athletics and Coaching Science

(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)