

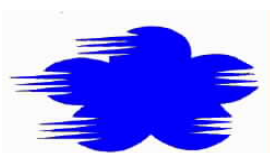
國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

**Pre-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢期心跳率與乳酸
之影響**

**Effect of Pre-cooling on Heart Rate and Lactic Acid in 3000 m
Continuous Running Load Recovery**

指導教授：張嘉澤 博士
研 究 生：鄔思恩 撰

中 華 民 國 109 年 6 月



國立體育大學
National Taiwan Sport University

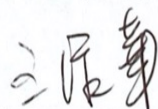
本論文：Pre-cooling 對3000m 持續跑負荷恢復期心跳率及乳酸之影響

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

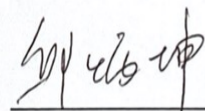
本論文承蒙下列考試委員審查通過

中華民國109年6月

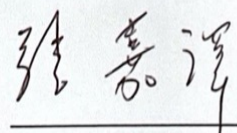
論文考試委員


王淑華 博士

臺北市立大學教授


邱炳坤 博士

國立體育大學教授


張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授
(本論文指導教授)

Pre-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢期心跳率與乳酸之影響

摘要

本研究目的旨在探討 Pre-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢期心跳率與乳酸之影響。方法: 受試者為 7 名 (20 歲以上健康男性成人平均年齡 24.6 ± 4.5 歲, 身高體重分別為 176.4 ± 4.8 cm、 65.6 ± 8.7 kg)。實驗時程為一週, 研究測試以跑步機階梯式測試與 2 天運動負荷測試, 收集心跳率和採集乳酸, 數據以統計軟體 SPSS for Windows 20.0 進行資料統計分析, 本研究統計顯著水準訂為 $\alpha=.05$ 。結果:心跳率運動結束後第十五分鐘 (E15) Pre-cooling (PC) 組為 $108 \pm 8.6 \text{ min}^{-1}$, Non-cooling (NC) 組為 $119 \pm 15 \text{ min}^{-1}$, 兩組差異 $11 \pm 6.4 \text{ min}^{-1}$ ($p>.05$)。恢復期最大乳酸值 PC 組為 $8.8 \pm 2.0 \text{ mmol/l}$, NC 組則為 $8.8 \pm 3.4 \text{ mmol/l}$, 兩組相差 $0.05 \pm 0.02 \text{ mmol/l}$ ($p>.05$)。乳酸恢復期第 15 分鐘 (E15) 乳酸平均值分別為 $3.8 \pm 1.2 \text{ mmol/l}$ (PC)、 $5.0 \pm 1.2 \text{ mmol/l}$ (NC), 兩項平均值差異為 1.2 mmol/l ($p>.05$)。PC 組的乳酸排除率介於 6.0 - 3.5 mmol/l 之間, 其乳酸排除速度的相關係數為 $r^2=0.8$ 。PC 組的恢復期心跳率介於 103 - 133 min^{-1} 之間, 其恢復期心跳率的相關係數為 $r^2=0.6$ 。結論: 這種反應症狀主要因素, 在於 Pre-cooling 後體表溫度與微血管收縮的改變, 促使血液重新分配。這種路徑提高血液含氧量進入肌肉細胞, 因此影響運動中組織缺氧速度。結果分析顯示 Pre-cooling 呈現效果, 建議在熱環境運動前應用超低溫, 維持運動員的續航力, 降低運動員身體壓力, 提高訓練品質。

關鍵詞:心跳率、乳酸、恢復期、有氧閾值速度

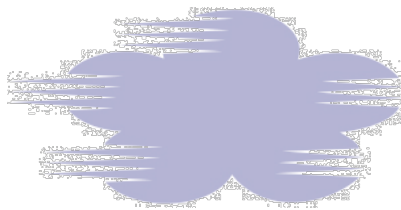
Effect of Pre-cooling on Heart Rate and Lactic Acid in 3000 m Continuous Running Load Recovery

Abstract

Purpose: This study was to investigate the effect of Pre-cooling on heart rate and lactate during 3000 m continuous running load recovery. **Methods:** There were 7 subjects (the average age of healthy male adults over 20 years old was 24.6 ± 4.5 years, and the height and weight were 176.4 ± 4.8 cm and 65.6 ± 8.7 kg, respectively). The duration of the experiment for one week. The research test is a treadmill step test and 2 days of exercise load test. The heart rate and lactate are collected. The data is statistically analyzed with the statistical software SPSS for Windows 20.0. The statistical significance level of this study is set to $\alpha = .05$. **Results:** The fifteenth minute (E15) of the heart rate exercise was $108 \pm 8.6 \text{ min}^{-1}$ in the Pre-cooling (PC) group and $119 \pm 15 \text{ min}^{-1}$ of the Non-cooling (NC) group. The difference between the two groups was $11 \pm 6.4 \text{ min}^{-1}$ ($p > .05$). The maximum lactate value in the recovery period was $8.8 \pm 2.0 \text{ mmol / l}$ of the PC group and $8.8 \pm 3.4 \text{ mmol / l}$ of the NC group, and the difference between the two groups was $0.05 \pm 0.02 \text{ mmol / l}$ ($p > .05$). The average value of lactic acid at the 15th minute of recovery period (E15) was $3.8 \pm 1.2 \text{ mmol / l}$ (PC) and $5.0 \pm 1.2 \text{ mmol / l}$ (NC) respectively, and the difference between the two averages was 1.2 mmol / l ($p > .05$). The rate of lactic acid elimination in the PC group was between 6.0 and 3.5 mmol / l and the correlation coefficient of the rate of lactic acid elimination was $r^2 = 0.8$. The recovery heart rate of the PC group was between 103 and 133 min^{-1} and the correlation coefficient

of the recovery heart rate was $r^2 = 0.6$. Conclusion: T The main factor of this reaction symptom is the change of body surface temperature and microvessels contraction after Pre-cooling which promotes blood redistribution. This path increases the blood oxygen content into muscle cells, thus affecting the rate of tissue hypoxia during exercise. The result analysis shows that Pre-cooling is effective. It is recommended to apply ultra-low temperature before exercise in a hot environment to maintain the athlete's endurance, reduce the athlete's physical pressure and improve training quality.

Keywords: Heart rate, Lactate, Recovery Period, Aerobic Threshold Velocity



目 錄

中文摘要	II
英文摘要	III
表 目 錄	VII
圖 目 錄	VIII
中英文對照縮寫表	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	6
第一節 超低溫應用之探討.....	6
第二節 運動生物參數相關之探討	8
第三節 有氧-無氧閾值之探討	13
第四節 文獻總結	16
第參章 研究方法與步驟.....	17
第一節 研究對象	17
第二節 實驗研究時間與地點.....	18
第三節 實驗儀器與設備.....	19
第四節 實驗程序與方法.....	25
第五節 資料處理	30
第肆章 結果分析與討論.....	31
第一節 3000 m 持續跑負荷恢復期之心跳率分析	32
第二節 3000 m 持續跑負荷恢復期乳酸之分析	35

第三節 3000 m 持續跑負荷乳酸排除之相關	39
第伍章 結論與建議.....	43
參考文獻	44
中文部分	44
英文部分:.....	45
附錄	50

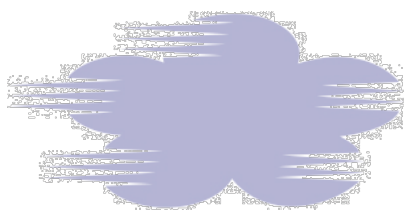


表 目 錄

表 2-2-1:用心跳率表示的訓練負荷強度.....	9
表 1-2-1:耐力性項目運動比賽結束的乳酸堆積平均值	11
表 3-1-1:受試者基本資料.....	17
表 3-4-1:跑步機階梯式測試方式 (Mader et al., 1976).....	25
表 3-4-2:負荷內容	26
表 3-4-3:生物參數收集.....	27
表 4-1-1:受試者最大的心跳率 (階梯式負荷最後一階心跳率)	32

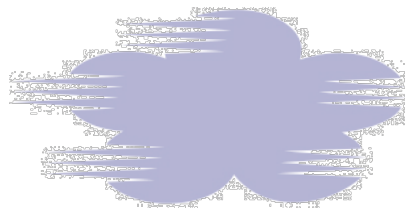
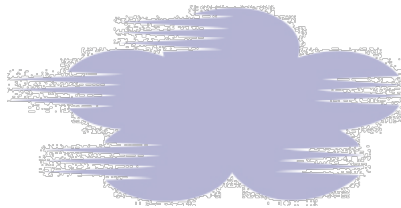


圖 目 錄

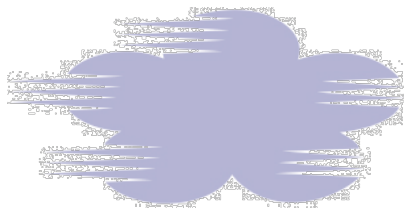
圖 1-3-1: 2-4 mmol/l 能量代謝路徑	5
圖 3-3-1:i Heart 心跳率偵測儀器.....	19
圖 3-3-2:h/p Cosmos 跑步機	20
圖 3-3-4:半罩式低溫艙.....	22
圖 3-4-5:實驗流程	29
圖 4-1-1:3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之影響.....	33
圖 4-2-1:3000 m 持續跑負荷恢復期最大乳酸值	35
圖 4-3-1:有氧閾值速度 (V2) 對 3000 m 持續跑負荷乳酸排除之相關	39
圖 4-3-2:有氧閾值速度 (V2) 對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳之相關.....	41



中英文對照縮寫表

縮寫	英文	中文
CP	creatine phosphate	磷酸肌酸
ATP-PC	adenosine triphosphate - phosphocreatine	磷化物系統
E1-E15	end of the first minute to fifteenth minute	運動結束第一分鐘至第十五鐘
HR	heart rate	心跳率
h/hrs	hour	小時
kg	kilogram	公斤
La	lactic acid	乳酸
m	Meter	公尺
mmol/l	millimoles per liter	每公升所含有之毫莫耳數
min	Minute	分鐘
min ⁻¹	beat per minute	每分鐘心跳數
m/h	meter per hour	每秒每公尺數
PFK	phosphofructokinase	磷酸果糖激酶
pH	pondus hydrogenii	酸鹼值
R	rest	安靜值
R2	Rest-2	安靜值-2
s	second	秒
μl	microliter	微升
WU	Warm up	熱身
T1	Test-1	實驗測試-1

T2	Test-2	實驗測試-2
T3	Test-3	實驗測試-3



第壹章 緒論

本章旨在說明研究背景與動機，共分為三節：第一節為研究背景與動機；第二節為研究目的；第三節為名詞解釋。

第一節 研究背景與動機

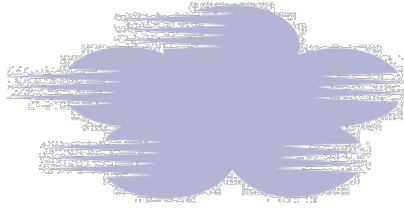
競爭激烈的中長距離競賽中，日常的訓練加上比賽強度的張力，造成選手身體壓力非常大，然而如何在比賽前減輕選手的身體疲勞，從而增加運動表現是教練及選手所希望。超低溫為近代較流行的恢復方式，它採取超低溫乾式氣體-液態氮，身體暫時大面積處於冷艙室中（ $-110\sim-135^{\circ}\text{C}$ ）持續 90 s，能立刻促使血管收縮及降低肌肉的溫度。當結束冷卻後，血管大幅度的擴張並提高微血管血流量，讓營養物質及氧氣快速進入肌肉中，提高代謝物質移除效率 (Kilmer et al., 2011)，從而達到恢復效果。

在過去許多的研究發現，中長跑主要能量來源-無氧糖酵解 (Neumann, 1991; Weicker 等人 1993; Heck 等人 1990)，而血液乳酸濃度設定在 4 mmol/l 對長距離運動員有較優效果 (陳相榮，1992)。

李雅惠 (2005) 以 7 名女子中長跑選手，以個人無氧閾值速度設定為訓練負荷，訓練時間為期五週，每週三次，每次 30 min，探討訓練前後心跳率、及專項成績的變化，結果顯示：以無氧閾值強度為訓練負荷，對體能、運動後恢復及專項成績各方面都有顯著效果。

最近的研究表明，在高溫下運動會導致對較低運動強度的自我選擇，這可能是由於肌肉補充或收縮功能的降低所致。因此，通過預冷抑制運動前核心溫度可促進隨後選擇更高的運動強度。而這些改變是否是由超低溫後收縮功能的變化引起的，還是其他因素，還有待探討。本研究以戶外實地執行方式進行，

目的是為了更接近真實比賽狀態，旨在探討以 4 mmol/l 強度設定並使用超低溫對 3000 m 持續跑負荷恢期心跳率及乳酸之影響。

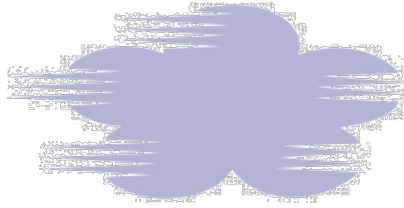


第二節 研究目的

一、探討 Pre-cooling 與 Non-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之影響。

二、探討 Pre-cooling 與 Non-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢復期乳酸之影響。

三、探討有氧閾值速度對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率與乳酸之影響。



第三節 名詞解釋

本研究之名詞解釋定義如下：

一、超低溫:

超低溫是指非全身性冷卻 (partial-body cryotherapy, PBC) 於一低溫艙 (cryo-cabin)，身體以頸部以下暴露於低溫環境中。

當中釋放低溫乾式氣體 - 液態氮 (liquid nitrogen)，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中 (- 110 ~ - 195 °C) 持續 1-5 分鐘，能立即促使血管收縮並降低肌肉溫度，當接受完冷卻後，血管舒張提高微血管血流量 (capillary blood flow)，使氧氣與營養物質進入肌肉中，並提高因肌肉收縮產生的代謝物質移除效率 (Klimek et al., 2011)，達到促進恢復的效果。

二、恢復期:

恢復期是指受試者進行 3000 m 持續跑負荷後，以站立式休息，繼續接受心跳率及乳酸的記錄與採集，一直到第 15 min 結束。

三、乳酸:

乳酸能量路徑是肌肉收縮的能量最初由肌肉肝糖提供，配合葡萄糖到丙酮酸 (Pyruvate) 的無氧糖酵解路徑，最後產生乳酸。運動的負荷超過有氧閥值時，乳酸便開始堆積。乳酸亦是設定運動強度的標準及評估訓練的效果的參考數據。

四、心跳率:

以心臟細胞的電生理學來說，心臟動作電以竇房結 (SA 結) 開始。竇房結位於右心房，這些細胞會去極化，以每分鐘 60 至 100 下輸出動作電位。此內在的節律器會自主性的被交感及副交感神經所影響 (樓迎統，2007)。

五、有氧與無氧閾值:

人體使用的能量主要來自於三種途徑，ATP-PC 系統、乳酸系統及有氧系統。30 s 以內完成的運動，主要的能量來源來自 ATP-PC 系統；30 s – 90 s 內完成的運動，主要能量來源為 ATP-PC 系統和乳酸系統；90 s - 180 s 完成的運動，主要為有氧系統和乳酸系統；而 3 分鐘以上的運動，主要為有氧系統(陳相榮，1988)。從能量系統看，透過乳酸數值的觀察，判定運動強度、能量系統與能量的來源。當中以乳酸 2 mmol/l 及 4 mmol/l 界定有氧與無氧能量的來源(圖 1-3-1 : Pansold, 1991)。

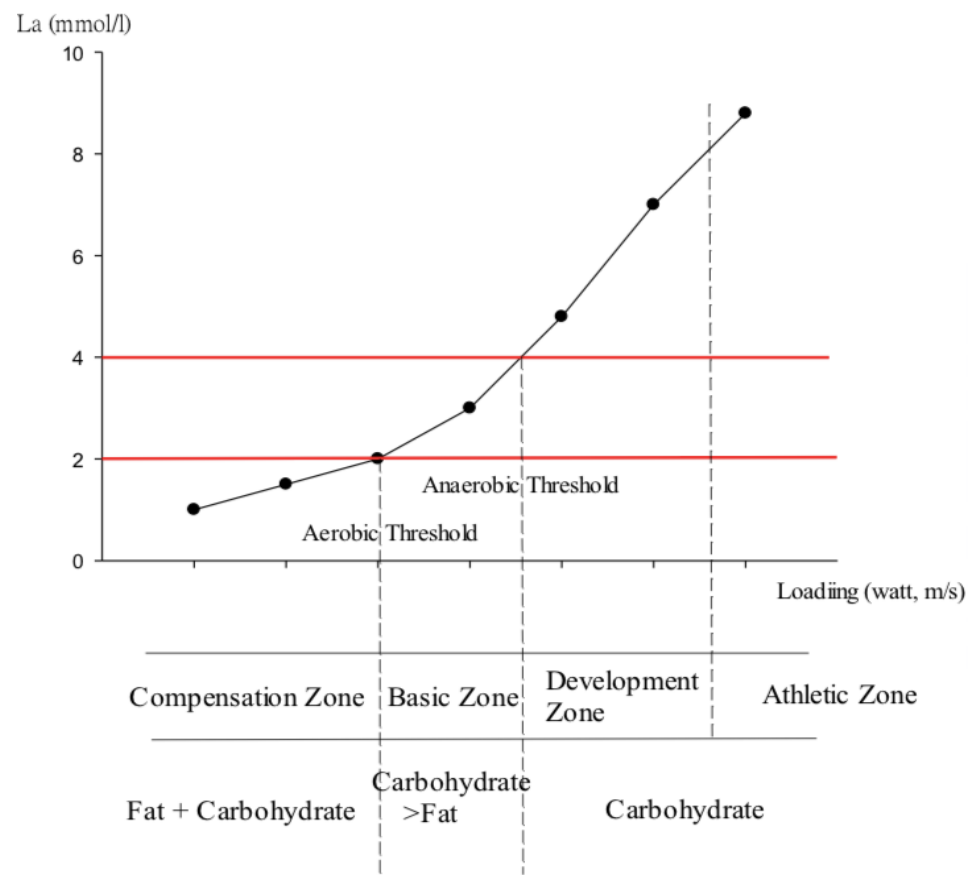


圖 1-3-1: 2-4 mmol/l 能量代謝路徑

第貳章 文獻探討

本章主要在探討與本研究相關之文獻，全章共分為四節：第一節 超低溫應用之探討；第二節 運動生物參數相關之探討；第三節 有氧-無氧閾值之探討；第四節 文獻總結。

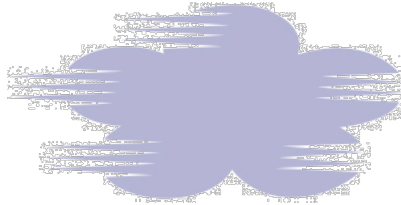
第一節 超低溫應用之探討

低溫乾式氣體 - 液態氮 (liquid nitrogen)，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中 (-110 ~ -195 °C) 持續 1 - 5 min。Papenfuss et al. (2005) 指出在超低溫 (-110 °C) 冷卻應用上，受試者在接受冷卻第 5 min 後，力量的能力明顯增加。這生理症狀的原因在冷卻後皮膚回溫，增加肌肉周邊微血管血液量，導致肌肉得到更多氧氣，促使血管收縮並降低肌肉溫度。當接受完冷卻後，血管舒張提高微血管血流量 (capillary blood flow)，使氧氣與營養物質進入肌肉中，並提高因肌肉收縮產生的代謝物質移除效率 (Klimek et al., 2011)，達到促進恢復的效果。

Pournot et al. (2011) 比較被動恢復與超低溫恢復效果，發現在運動後第 1 至 96 小時，超低溫組有較低發炎反應，並呈現較低的 C 反應蛋白 (plasma C-creative protein)。

J Strength Cond Res (2009) 研究指出超低溫干預對團隊運動訓練在高溫下的生理和性能反應的影響。研究採用 7 名男子曲棍球運動員進行了一次熟悉訓練，並進行了 2 次隨機，平衡的訓練，其中包括 30 min 的間歇衝刺訓練。在練習之前，玩家進行了 20 min 的混合方法，部分身體冷卻干預（包括冷卻背心，脖子上的冷毛巾，四頭肌上的冰袋）或不進行冷卻干預。通過收集 1 Hz 全球定位系統 (GPS) 數據確定性能，並分析其距離和速度。在訓練之前，之中和之後，測量核心溫度，心率，感知勞累等級 (RPE) 和熱感覺等級 (TSS)；另外，

在每個療程之前和之後收集靜脈血樣本以測量白介素 -6 (IL-6)，胰島素樣生長因子 (IGF-1) 和胰島素樣生長因子結合蛋白 3 (IGF-BP3)。結果表明，在預冷條件下覆蓋的距離更大 (3.35 ± 0.20 vs. 3.11 ± 0.13 km; $p = 0.05$)。此外，在 7-14 km/h 的中等強度下覆蓋距離更長 (2.28 ± 0.18 vs. 2.00 ± 0.24 km; $p = 0.05$)，可以明顯看出大部分改進。峰值速度和極高強度的努力 (20 km/h $\pm$) 在不同條件下沒有差異 ($p > 0.05$)。超低溫後，堆芯溫度的上升變慢，在整個冷卻過程中堆芯溫度較低 (38.8 ± 0.3 對 $39.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$; $p < 0.05$)。但是，各條件之間的心率，RPE，TSS，IL-6，IGF-1 或 IGF-BP3 沒有差異 ($p > 0.05$)。因此，在進行間歇性衝刺訓練之前，在混合訓練中使用混合方法的零件冷卻干預可以幫助減少體溫調節負荷並改善團隊運動訓練的表現。



第二節 運動生物參數相關之探討

心跳率 (HR)

心跳率是最普遍用來檢查訓練的強度，也是生理反應中反應最快的生物參數。Astrand and Ryhming (1954) 指出，非最大運動 (sub-maximal) 強度與心跳率的變化展現直線相關。Hottenrott (1993) 指出，心跳率可用來判定訓練成效和承受負荷能力而最大心跳率是透過 220 - 年齡 (男性) 與 200 - 年齡 (女性) 所得。隨著年齡增長，最大心跳率也會跟著下降 (Hollmann et al., 1978)。

Neumann and Berbalk (1990) 的研究呈現心跳率在生物參數中改變的最快，第二天能觀察到心跳率下降的情況，另外心跳率與運動強度有很大的相關性 (Cornelissen et al, 2010)。當運動強度提高的時候，肌肉必須加速的收縮，因此心跳率上升來提供充足的氧氣給肌肉組織進行能量代謝 (Kilen et al., 2012)。

研究顯示心跳率主要受交感神經與副交感神經相互影響。當安靜休息時，副交感神經作用上升，心跳率就接近於穩定狀，而低強度運動時，副交感神經便逐漸下降，心跳率則上升。當運動強度上升時，交感神經驅使心跳率增加 (Wood, Hondzinski, & Lee, 2003)。另外心跳率也會隨著年紀、環境溫度、神經系統、情緒、運動持續時間、運動強度等等因素而改變 (Gappmaier, 2002)。

Bompa and Zivic (1981) 指出，訓練時，運動員體驗各種運動強度，身體增加生理功能去迎合訓練需求，然後產生適應。因為這些變化，尤其是心跳率，教練可用以監察與控制訓練計畫的強度。如果想發展某運動能力，刺激的強度必須達到或超過閾值水準，才會進步。另外 Karvonen, Kentala and Mustala (1957) 以安靜心跳率加最大與安靜值差的 60%，作為訓練強度，用以提昇耐力訓練效果。1957 年 Wells 等人利用心跳率及血乳酸率制定了一個運動強度的分類標準，表示在心跳率大於 100 min^{-1} 為溫和;大於 120 min^{-1} 為適量;大於 140 min^{-1} 為中等強度;大於 160 min^{-1} 為劇烈強度;小於 180 min^{-1} 為最大強度;大於

180 min⁻¹ 為衰竭的運動強度。Nikiforov 於 1974 年以心跳率的強度作分類，如表 2-2-1。

表 2-2-1:用心跳率表示的訓練負荷強度

區	強度形態	每分心跳率
1	低	120~150
2	中	150~170
3	高	170~185
4	最大	>185

Wilmore & Costill (1994) 認為心肺功能的訓練強度，至少應為最大攝氧量的 60% 以上。自 1991 年以後，美國運動醫學會建議訓練心肺功能的強度範圍，若是以有氧訓練為目的，心跳率應維持在最大心跳率的 70% 至 80% 之間。而耐力運動（越野滑雪、跑步、划船、游泳），要獲得訓練效果，心跳率必須超過 130 min⁻¹ 之強度 (Harre,1982)。不過此閾值因個別運動員差異而不同。因心跳率的訓練閾值，受安靜心跳率與最大心跳率而影響。心跳率是一種常見於控制運動強度的指標，因心跳率可以反應出運動員身體對於運動負荷的感受，與運動強度成直線關係，因而心跳率作為運動強度的指標。另外 Bompa and Zivic (1981) 指出，訓練時，運動員體驗各種運動強度，身體增加生理功能去迎合訓練需求，然後產生適應。因為這些變化，尤其是心跳率，教練可用以監察與控制訓練計畫的強度。如果想發展某運動能力，刺激的強度必須達到或超過閾值水準，才會進步。林文郎 與 何忠鋒 (1997) 也認為在不同程度的耐力運動訓練上血乳酸與心跳率也會有所不同。

乳酸 (Lactic Acid)

乳酸是在無氧醣酵解路徑當中是最終的產物。Hottenrott et al. (1995) 指出可以借助乳酸值測試出乳酸的代謝路徑。糖酵解的路徑由葡萄糖分解成丙酮酸，並只會在無氧情況下分解成乳酸。在高強度運動負荷下，乳酸大量堆積，接著氫離子濃度上升，而血液中的 pH 值則下降，進而產生酸化現象 (Sahlin et al., 1976)，造成磷酸果糖激酶 (PFK) 的活性受到限制。因此這些能量代謝的中間產物會抑制神經的傳導、肌肉收縮困難，造成疲勞堆積 (Karlsson et al., 1975)。Heck (1990) 研究指出乳酸可以作為運動強度判斷的依據，此乳酸可以有效判斷運動員的最大負荷程度。

Neumann et al. (2001) 的研究表示乳酸可以運用在身體新陳代謝效果的判斷。這關係到乳酸濃度的高低，當運動員處於有氧與無氧之間或高於無氧狀態之上的時候，將作為新陳代謝負荷的依據。然而我們可以透過乳酸的理論運用在運動能力的診斷處理，作為診斷數據的分析與判斷，而且乳酸診斷的執行不僅可以在實驗室裡進行亦可在室外進行 (張嘉澤 與 詹元碩，2005)。

乳酸在體適能運動或競技運動領域中扮演重要的角色，能夠作為訓練負荷「劑量」設定與訓練調整指標，訓練上可以依據有氧閾值與無氧閾值去對應速度，並且設定不同強度之有氧耐力或是無氧耐力的訓練 (張嘉澤，2010)。另外在我們進行運動訓練時，乳酸分析系統所檢測的結果，可以作為訓練負荷強度的憑證。例如：有氧耐力訓練的持續跑、持續變換速度訓練或是高強度間歇訓練...等的訓練方式 (張嘉澤，2013)。

乳酸可以作為運動負荷強度的生理指標，適用於訓練強度的監控、設定及應用於訓練方法的選擇以及運動疲勞的診斷 (Weinecker & Strobel, 1994)。現時，使用乳酸來評定運動員的有氧與無氧代謝能力，依此設定運動強度，成為運動場上及實驗室中常見的訓練方式。

Neumann et al. (1994) 指出，耐力性項目運動比賽結束的乳酸堆積平均值 (表 1-2-1)，以無氧糖酵解系統為主的中長距離的徑賽 400 m 及 800 m 的乳酸值分別是 24 mmol/l 與 20 mmol/l。長距離徑賽因距離長，負荷強度不高，完賽所需時間較長，因而運動後乳酸濃度較中長距離徑賽低，如：馬拉松為 3 mmol/l、10000 m 乳酸濃度為 9 mmol/l。Heck (1990) 研究也發現，雖然多於 3 min 的持續性運動負荷的主要能量來源-氧糖酵解系統，但持續性的運動負荷會因運動時間與距離長短，使肌肉產生壓力，提高無氧糖酵解作用，造成高乳酸堆積的現象。

表 1-2-1:耐力性項目運動比賽結束的乳酸堆積平均值

運動項目	比賽距離 (m)	La (mmol/l)
游泳	100 m	15
	200 m	17
	400 m	16
	1500 m	12
徑賽	400 m	24
	800 m	20
	1500 m	20
	3000 m	16
	5000 m	14
	10000 m	10
	馬拉松	3
	100 km	2

	1000 m	22
	4000 m	20
自行車	30-50 km	10
	120-200 km	4
	250 km	2
競走	20 km	8
	50 km	4
划船	500 m	14
	1000 m	15

另外在乳酸排除方面，乳酸排除分解先是由肝臟 50%，接著由骨骼肌 30%，心肌和腎臟各佔 10%，在肝臟是進行糖質新生，在肌肉組織的乳酸分解是執行肝糖的重組。在訓練時乳酸的堆積，平均每分鐘 0.5mmol/l (Neumann et al., 1993)。訓練後 30 min 的恢復休息，乳酸濃度將下降至訓練前狀態，而休息的形式，也是決定乳酸排除的速度 (Badtke, 1987)。競技運動員在最大負荷結束，血液乳酸排除速度可達到 0.5 mmol/l/min，未訓練者排除速度則為 0.3 mmol/l/min，動態活動休息優於靜態方式 (Neumann et al., 1991)。在恢復期方面，最佳乳酸曲線分析是：1.最高乳酸濃度值越晚出現越好；2.最高乳酸濃度出現時間與最後採集時間之乳酸差異/相隔之間時間，競技運動員血液乳酸排除速度可達每分鐘 0.5 mmol/l，未訓練者排除速度為每分鐘 0.3 mmol/l。

第三節 有氧-無氧閾值之探討

從能量系統看，透過乳酸數值的觀察，能夠判定運動強度、能量系統與能量的來源。當中以乳酸 2 mmol/l 及 4 mmol/l 介定有氧與無氧能量的來源 (Pansold, 1991)。有氧閾值 (Aerobic Threshod) 指發生在無氧閾值之前，乳酸濃度會稍微提昇，偏離安靜值。運動專項中 2 - 4 mmol/l 速度指標 (Hollmann et al.,1980)，個人有氧閾值速度值越高，對瞬間無氧負荷及比賽中恢復速度也會越快。在任何強度下，乳酸值不超過 2 mmol/l，為有氧運動，有氧能力越好者，其恢復能力也越快 (Hollmann et al.,1982)。有氧耐力為各種運動項目基礎，不論任何運動項目之選手，皆應擁良好的有氧耐力能力，使身體能在短時間內快速恢復無氧非乳酸系統，以應付長時間之比賽 (張嘉澤，2008)。

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。有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（一種用以儲存及輸送氧氣的氧合蛋白）、粒線體激酶（大小及數量）、肝醣儲存量及氧化能力，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)。有氧閾值 (Aerobic Threshod) 指發生在無氧閾值之前，乳酸濃度會稍微提昇，偏離安靜值。運動專項中 2-4 mmol/l 速度指標 (Hollmann et al.,1980)，個人有氧閾值速度值越高，對瞬間無氧負荷及比賽中恢復速度也會越快。在任何強度下，乳酸值不超過 2 mmol/l 為有氧運動，有氧能力越好者，其恢復能力也越快 (Hollmann et al.,1982)。

運動強度逐漸增加，無氧路徑提供能量的比例也會隨著提高，此時體內呈現無氧狀態，提供能量為碳水化合物 (W. Larry Kenney et al., 2012)。此路徑以

無氧能量系統的供給為主，體內乳酸值達到 4 mmol/l 以上。以競技運動員之標準，有氧閾值能力速度 $\geq 2.8 \text{ m/s}$ ，心跳率 $< 140 \text{ min}^{-1}$ ，無氧閾值能力速度必須 $\geq 3.5 \text{ m/s}$ ，心跳率 $< 156 \text{ min}^{-1}$ (Hollmann et al., 1987) (圖 1-3-2)。

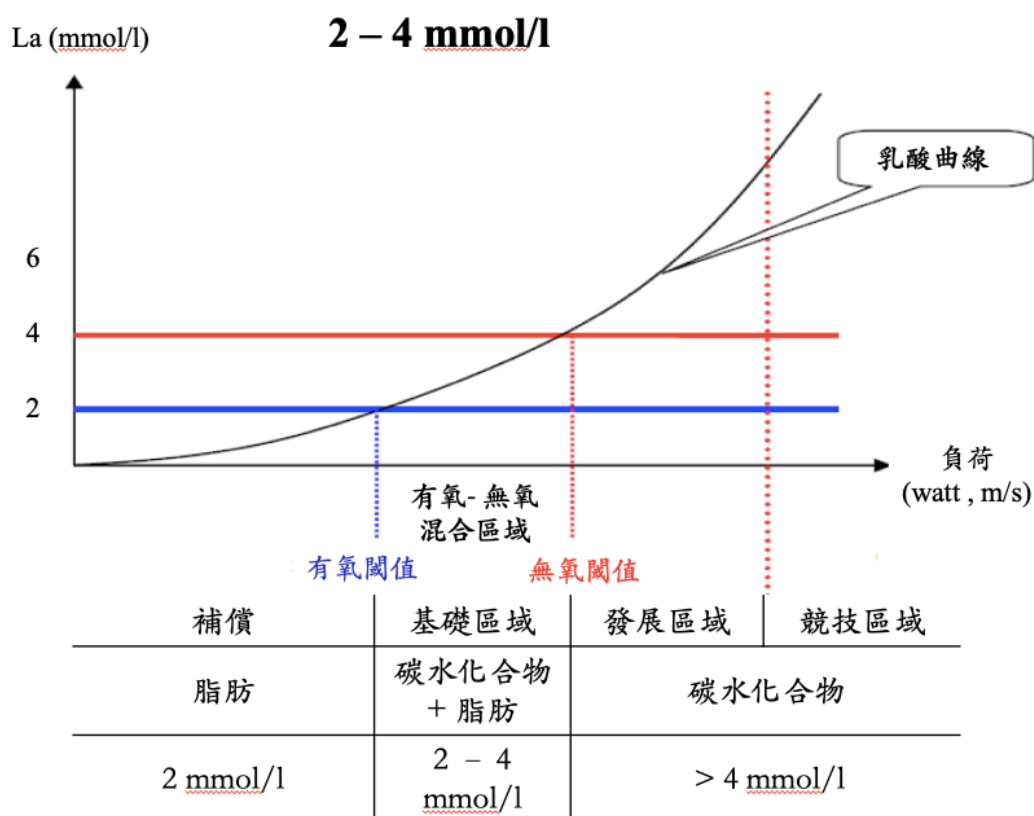


圖 1-3-2: 有氧-無氧乳酸閾值 (2-4 mmol/l) 與能量路徑

Hollmann (1959) 以換氣轉折點為無氧閾值的介定，開拓了以無氧閾值作為研究與訓練應用的開端。經過無數的討論與訓練上的實踐，最後以 Mader et al. (1976) 設定 2-4 mmol/l 乳酸值的速度，為實用性與方便測試進行。以下是有關有氧與無氧閾值理論 (表 1-3-1)。

表 1-3-1:有氧與無氧閾值理論

理論	年	閾值參數	方式	閾值名稱
Karrasch	1951	HR	Max.steady state HR	持續能力界線
Hollmann	1959	V_E , VO_2	換氣轉折點	最佳呼吸反應角度
Wasserman et al.	1964	V_E , VO_2 , VCO_2	換氣轉折點	無養閾值
Mader et al.	1976	La	4mmol/l速度	2-4mmol/l閾值
Kindermann et al.	1978	La	運動負荷在2- 4mmol/l	有氧-無氧混合閾值
Keul et al.	1979	La	$\tan \alpha = 1.26$ 速度	個人閾值
Sjodin et al.	1979	La	4mmol/l速度	血液乳酸開使堆積 點
Farrel et al.	1979	La	血漿乳酸上升超 過安靜值	血漿乳酸開始堆積 點
Pessenhofer et al.	1981	La	乳酸曲線最小平 方函數	個人有氧-無氧混合 閾值
Berg et al.	1980	La, VO_2	最小乳酸與攝氧 量指數	La- VO_2 等量指數
Stegmann et al.	1981	La	$\tan 51^\circ 34'$ 乳酸曲 線	個人無氧閾值
Simon et al.	1981	La	$\tan \alpha = 1$ 速度	個人無氧閾值
Bachl	1981	V_E , VCO_2	V_E , VCO_2 曲線轉 折點	呼吸閾值

Bune et al.	1982	La	乳酸曲線轉折點	個人無氧閾值
Conconi et al.	1982	HR	心跳率轉折點	無氧閾值
James et al.	1985	呼吸頻率	呼吸頻率轉折點	無氧閾值

Urhausen 等 (1987) 對競技運動員進行基礎耐力測試指出，從事競技運動訓練之運動員，其個人有氧閾值能力必需達到 2.8 m/s ($HR < 140 \text{ min}^{-1}$) 才能承受高強度運動訓練與加速生理機能之恢復速度。

第四節 文獻總結

綜合上述文獻的探討，統整以下：

上述研究主要以團體性運動及長時間耐力運動例如中長跑並多次應用超低溫為主，反應超低溫有助於降低發炎與免疫反應，減少體溫調節負荷，有助於加速恢復延緩疲勞，並改善團隊運動訓練的表現。但在急性高強度負荷持續跑是否會有相同效果，這是本研究所需要探討。另外在乳酸排除方面，是依據個體的有氧能力而判斷，有氧能力越高，乳酸排除能力越好。最大運動負荷結束後，快速恢復至安靜狀態時的心跳率，顯示出心肺功能的強弱。

第參章 研究方法與步驟

本章旨在說明研究之方法與步驟，分為五節：第一節 研究對象；第二節 實驗研究時間與地點；第三節 實驗儀器與設備；第四節 實驗程序與方法；第五節 資料處理。

第一節 研究對象

本研究將先送審人體試驗實驗委員會 (IRB)，經審核通過後將招募無任何急性運動傷害之 20 歲以上健康男性成人 7 名，平均年齡 24.6 ± 4.5 歲，身高體重分別為 176.4 ± 4.8 cm、 65.6 ± 8.7 kg (表 3-1-1)。

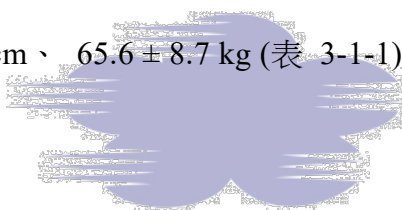
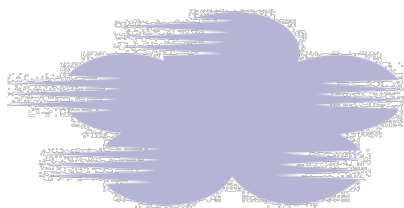


表 3-1-1:受試者基本資料

	年齡 (age)	身高 (cm)	體重 (kg)
平均數	24.6	176.4	65.6
標準差	4.5	4.8	8.7

第二節 實驗研究時間與地點

- 一、 時間：2019 年 7 月 26 日至 8 月 1 日
- 二、 地點：國立體育大學競技與教練科學研究所
 - 1.運動能力診斷訓練調整實驗室 (SPDI)
 - 2.國立體育大學田徑場



第三節 實驗儀器與設備

一、 i Heart 心跳率偵測儀器 (台灣)

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 150 m 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 -110 dBm 。接收器 1 台，連接電腦將心跳帶中繼站資料傳輸回電腦 (圖 3-3-1) 。



圖 3-3-1:i Heart 心跳率偵測儀器

二、 高速跑步機 High Speed Treadmill (德國 h/p/Cosmos)

德國 h/p/Cosmos 跑步機，最高速度為 45 km/h (12.5 m/s) ，跑步面積:
長:190 cm ，寬:65 cm (圖 3-3-2)。



圖 3-3-2:h/p Cosmos 跑步機

三、 EFK 德國制血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line; EFK-diagnostic)

此儀器製造於德國，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 48 hrs。可同時顯示血糖與乳酸濃度，此反應原理主要依據電化學測量原理，透過晶片感應特製化原理來達到測量 (圖 3-3-3)。



圖 3-3-3: EFK 德國制血糖乳酸分析儀

四、半罩式低溫艙（Space Cabin，CRYOMED Ltd，Ukraine）

超低溫使用液態，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中（-110~-195°C）
具備計時功能，可記錄間歇時間（圖 3-3-4）。



圖 3-3-4:半罩式低溫艙

五、蜂鳴器

1.配速警示器:尺寸為長 19×14×7 cm

2.塑膠材質、擴音用鳴蜂器、警示用紅色燈。

3.內建可充式電池。

(1)自定 ID。

(2)時間終了會有警示燈及聲響。掌上型螢幕顯示控制器

1.採用 LCD 顯示螢幕，操作簡便易懂。

2.尺寸：長 16.5×寬 8×高 3.2 cm。

3.可作田徑配速使用。

功能:偵測訓練中受試者跑步的速度 (圖 3-3-5)。



圖 3-3-5:蜂鳴器

六、 SEIKO 碼錶

功能:記錄間歇休息時間及恢復期時間 (圖 3-3-6)。



圖 3-3-6: SEIKO 碼錶

七、 採血工具 (酒精、毛管、採血針、紅血球破壞劑、外科用手套等)

第四節 實驗程序與方法

一、 實驗測試與訓練

本研究將先送審人體試驗實驗委員會 (IRB) ，首先參與者會以跑步機進行個人有氧-無氧閾值檢測 (aerobic-anaerobic threshold test) ，作為強度界定的依據。如下所示：

(一) 有氧與無氧閾值測試方式 (2-4 mmol/l)：

跑步機：

跑步機階梯式負荷開始速度為 2.5 m/s，每階持續時間與速度上昇則為 5 mins 與 0.5 m/s。每階間歇 30 s，並採集血液 10 μ l 作為乳酸分析，在同時間並記錄心跳率，直到受試者最大負荷為止。

表 3-4-1:跑步機階梯式測試方式 (Mader et al., 1976)

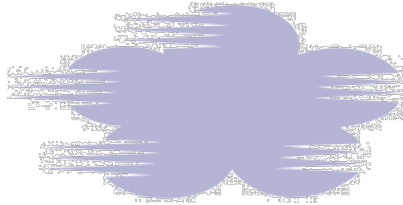
階次	速度(m/s)	負荷時間(min)
1	2.5	5
2	3.0	5
3	3.5	5
4	4.0	5
5	4.5	5
6	5.0	5
7	5.5	5
至個人最大負荷為止		

實驗測試內容為 3000 m 持續跑負荷，間歇 30 min 並應用超低溫，設定個人跑步的運動強度（4mmol/l）做為運動負荷進行 3000 m。說明如下（表 3-4-2）：

表 3-4-2:負荷內容

運動項目	負荷	範圍	運動方式
3000 m	4 mmol/l (V4)	3000 m	持續跑

運動負荷前應用超低溫模式，時間長度（2x90 s），溫度設定 -110 ~ -135 °C，低溫間歇時間為 3 min。相隔兩天後，再進行測試。



二、 生物參數的收集

實驗開始之前會讓所有受試者配戴心律錶，記錄安靜值心跳率以及全程的心跳率，血液相關生物參數收集則在於第 1 天、第 4 天和第 7 天進行，在採血的過程中，以耳垂採血的方式採集乳酸 (10 μ l)，採集時間點及數據收集 (表 3-4-3)。

表 3-4-3:生物參數收集

測試內容	運動負荷	蒐集參數
T1: 有氧與無氧閾值測試 (跑步機階梯式)	階梯式漸增負荷起始速度為 2.5 m/s 每 5 分鐘每階負荷 + 0.5 m/s 至個人最大負荷	La: 依照個人能力 HR: 全程記錄 註：總採血量每人約 60 μ l
T2: 3000 m + Pre-cooling	3000 m (V4) + Pre-cooling 2x90 s, set 3 min	La : R、R2、E1、E3、 E5、E7、E10、E15 HR : R、R2、E1、E3、 E5、E10、E15 註：總採血量每人約 80 μ l
T3: 3000 m	3000 m (V4)	同上

三、 實驗執行程序

本實驗進行 7 天，第一天先進行強度指標設定 (T1)，採用平衡次序法，依據受試者的 4 mmol/l 差異相近，平均分成兩組，休息兩天後，第四天進行測試為 3000m 持續跑負荷並應用超低溫 / 3000m 持續跑負荷 (T2/T3)，休息兩天後，第七天進行另一組測試為 3000m 持續跑負荷並應用超低溫 / 3000m 持續跑負荷 (T3/T2) (圖 3-4-4)。

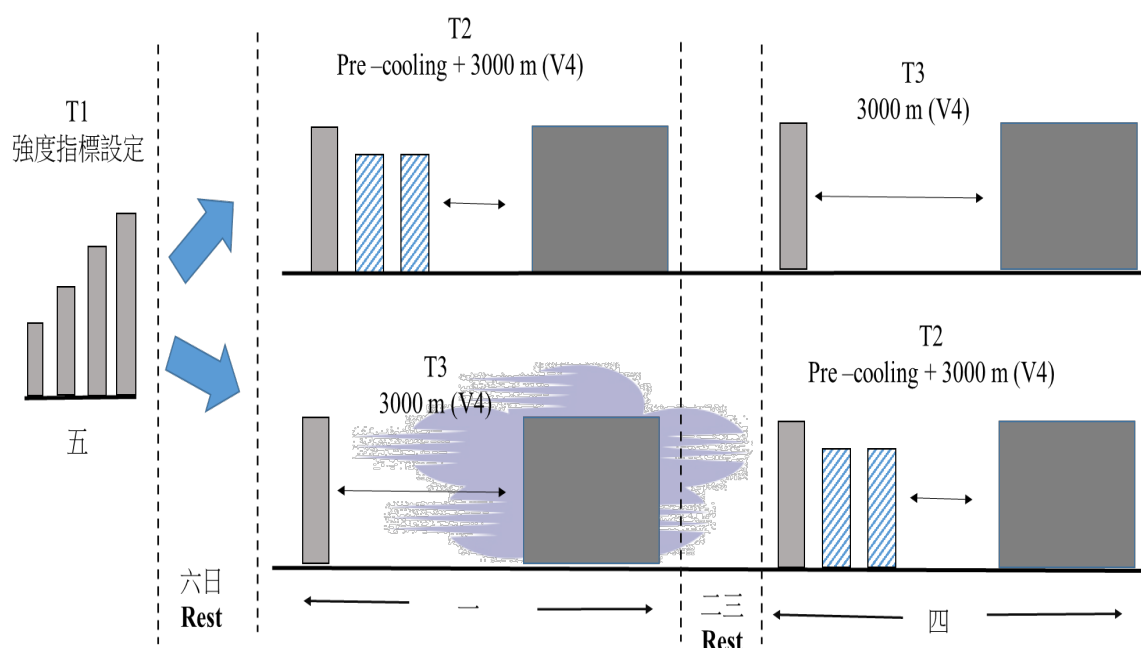


圖 3-4-4:實驗執行程序

四、 實驗流程

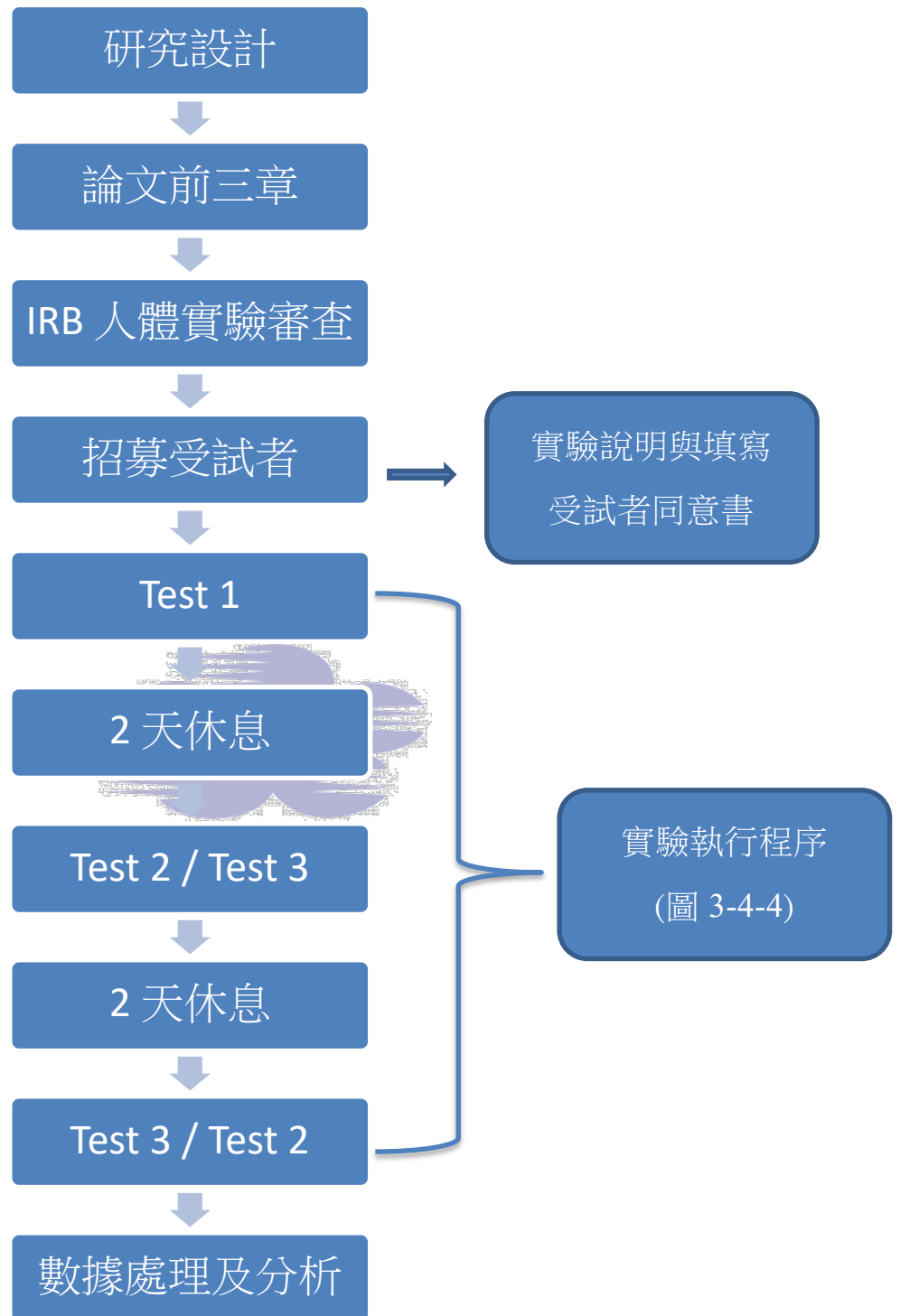
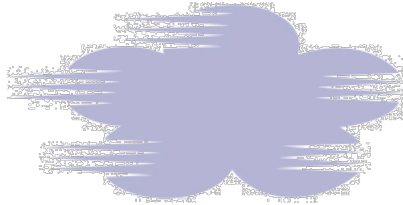


圖 3-4-5:實驗流程

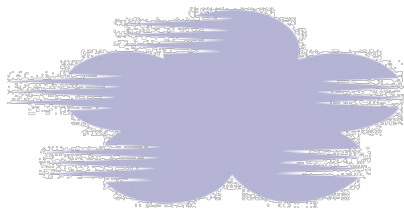
第五節 資料處理

- 一、 各項參數以統計軟體 SPSS for Windows 20.0 進行資料統計分析。
- 二、 數值以平均數及標準差 (Mean $\pm$ SD) 呈現
- 三、 以 SigmaPlot 12.0 軟體進行繪圖繪製。
- 四、 跑步機階梯式測試產生之個人有氧-無氧閾值之數據以德國研發之軟體 (Lactate- Express) 分析。計算出受試者個人有氧-無氧閾值速度。
- 五、 以相依樣本 t-test 分析項各參數於訓練前後之差異。
- 六、 統計考驗水準訂為 $\alpha = .05$ 。



第肆章 結果分析與討論

本章旨在說明結果與分析，分為三節：第一節 3000 m 持續跑負荷恢復期之心跳率分析；第二節 3000 m 持續跑負荷恢復期之乳酸分析；第三節 有氧閾值速度對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率與乳酸排除之分析。



第一節 3000 m 持續跑負荷恢復期之心跳率分析

表 4-1-1 為受試者在階梯式負荷最高心跳率，受試者最大值心跳率是 Nr.5 為 197 min^{-1} ，受試者最小值心跳率是 Nr.1 為 179 min^{-1} ，受試者最大心跳率平均值為 189 min^{-1} 。

表 4-1-1:受試者最大的心跳率 (階梯式負荷最後一階心跳率)

HR _{max}	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7
min ⁻¹	179	190	195	183	197	195	185

圖 4-1-1 為 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之影響。結果分析發現 Pre-cooling 組在運動結束後第一分鐘 (E1) 的心跳率為 $183 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ，Non-cooling 組則為 $185 \pm 8.6 \text{ min}^{-1}$ ，兩組差異 $4 \pm 1.9 \text{ min}^{-1}$ ($p > .05$)。兩組在運動結束後第五分鐘 (E5) 心跳率則分別為 $118 \pm 17 \text{ min}^{-1}$ 、 $122 \pm 16 \text{ min}^{-1}$ ，兩組差異 $4 \pm 1 \text{ min}^{-1}$ ($p > .05$)。而在運動結束後第十五分鐘 (E15) 心跳率則分別為 $108 \pm 8.6 \text{ min}^{-1}$ ， $119 \pm 15 \text{ min}^{-1}$ ，兩組差異 $11 \pm 6.4 \text{ min}^{-1}$ ($p > .05$)。

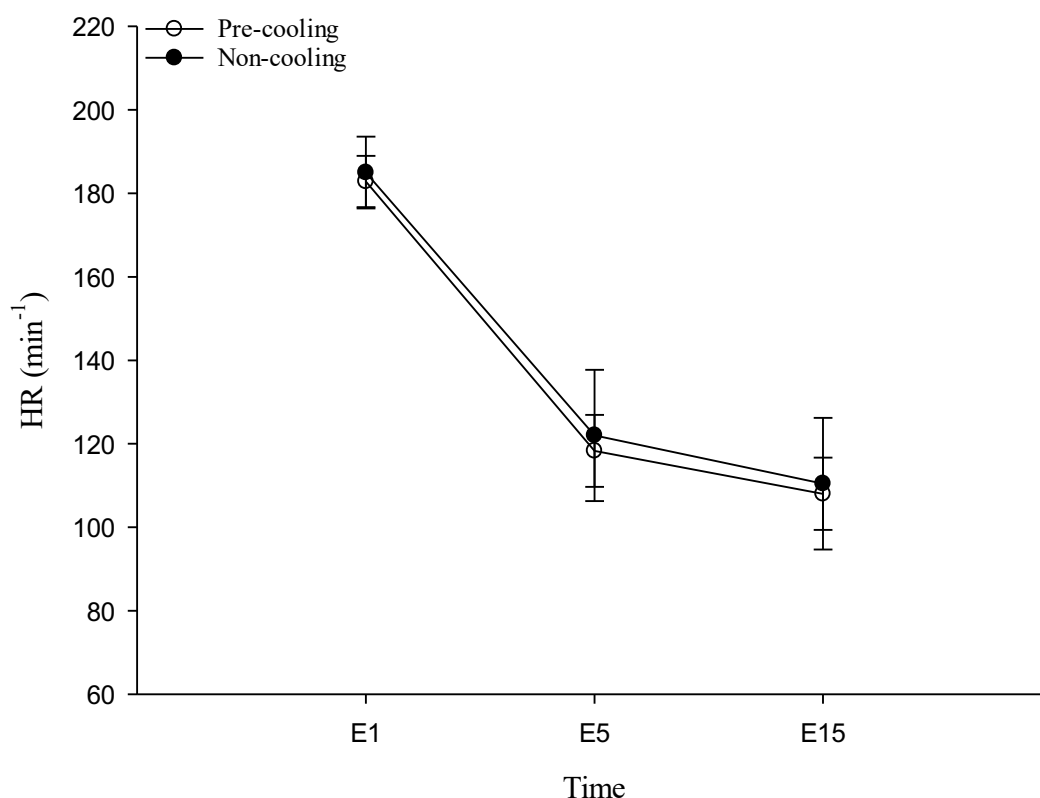
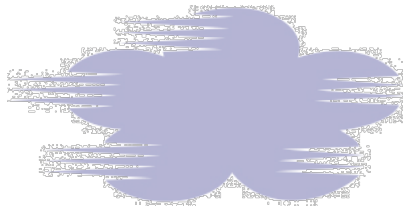


圖 4-1-1:3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之影響

Pre-cooling 對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之影響，研究結果顯示兩組測試完運動結束後第一分鐘 (E1) 的心跳率都達到接近受試者最大的心跳率 (表 4-1-1)，當中受試者個人最大值心跳率 Nr.5 為 197 min^{-1} ，最小值心跳率 Nr.1 為 179 min^{-1} 。這現象可能是因為實驗在高溫環境下進行，造成受試者體溫上升，從而增加體循環壓力造成心跳率上升，因而達到接近受試者最大的心跳率。

本研究發現，雖然 Pre-cooling 與 Non-cooling 並未能呈現顯著差異，但是 Pre-cooling 組在運動結束後第一至十五分鐘 (E1-E15) 的心跳率較 Non-cooling 組低，這代表超低溫有助改善了心臟效率。原因在於，過去研究發現冷水浸泡恢復方式相比較於主動恢復，在心臟自主調節功能上有較好的促進作用。

另外 Park, Choi and Park (1999) ; Wilcock, Cronin and Hing (2006) 的研究發現使用超低溫令血管收縮，回溫後血管舒張，更多的血液進入微血管，帶動氧氣進入細胞裏，從而降低心跳率，心輸出量與周邊血流，造成周邊與核心的血液重新分配，所以改善了心臟效率。而冷水浸泡方法中的半身冷水浸泡和全身冷水浸泡都能夠改變心臟神經活動，以及恢復核心血容量和增強心臟負荷 (Bastos F N et al., 2013)。過去研究發現在預冷情況下，不一樣的強度運動下可以降低心跳率，表示可以減少並改善循環系統之壓力 (Schmidt and Bruck,1981) 。 March and Sleivert (1999) 的研究以 23 名全國或者國家級自由車選手進行高強度腳踏車運動，於熱身前採用冷水 30 min 冷卻或無冷卻，並於熱身後進行一次 70 s 腳踏車動力測試，結果展示結束後心跳率於熱身前有冷卻較低，並沒有顯著差異，與本研究實驗結果相符。



第二節 3000 m 持續跑負荷恢復期乳酸之分析

圖 4-2-1 為 3000 m 持續跑負荷恢復期最大乳酸值分析。Pre-cooling 組的最大乳酸為 8.8 ± 2.0 mmol/l，Non-cooling 組則為 8.75 ± 3.4 mmol/l，兩組相差 0.05 ± 0.02 mmol/l，兩者未能呈現明顯差異 ($p > .05$)。

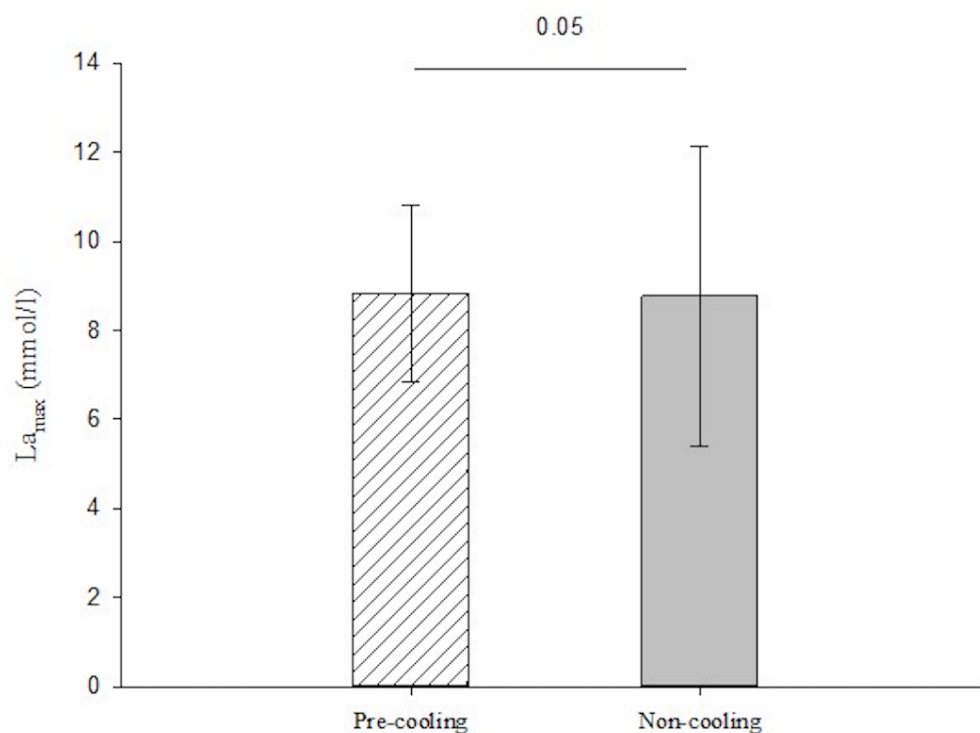


圖 4-2-1:3000 m 持續跑負荷恢復期最大乳酸值

結果分析發現 Pre-cooling 組與 Non-cooling 組在 3000 m 持續跑負荷後最大乳酸值，未達顯著差異。然而過去研究以 27 名男性運動員進行腳踏車 5x2 min (250w)，在測試前進入低溫艙 Pre-cooling 進行 3 min 冷卻 (Joch et al. 2003)，結果發現實驗組運動後乳酸顯著低於對照組，但在本實驗中沒有出現顯著差異，雖然本研究實驗設定速度為受試者乳酸 4 mmol/l (V4)，這亦稱為

有氧閾值與無氧閾值的界線，乳酸會呈現一種恆定的狀態上，但是在本研究實驗發現運動結束後恢復期最大乳酸值均高達 8 mmol/l 以上，並沒有保持在 4 ± 1 mmol/l，代表 V4 的速度還未產生穩定狀態所致，這可能因為受試者身體未能產生適應而造成。另外研究指出使用超低溫，使皮膚溫度降低，刺激皮膚受體令其感覺上傳刺激交感神經腎上腺數，引發局部小靜脈和小動脈的收縮，從而造成代謝速度下降 (P D. J. Paddon-Jones and B. M. Quigley, 1997)。結果顯示，Pre-cooling 組在相同的運動負荷下，乳酸平均值均低於 Non-cooling 組。Pre-cooling 組表示超低溫能降低皮膚溫度及體內溫度，減少血液流向皮膚，進而增加每跳輸出量，提供更多的氧氣輸送至肌肉，減緩體循環與代謝壓力而提昇運動表現 (Hessemer et al., 1984; Lee & Haymes, 1995; Olschewski & Bruck, 1988)。此研究結果與 Zyskowski (2008) 研究相同，這表示體內溫度透過血管血液流動至皮膚與冷卻背心接觸降溫，同時讓皮膚血管收縮促使更多血液回流至心臟，使血液重新分配，提供更多氧氣至作用肌，減緩體循環與代謝壓力。

圖 4-2-2 為 3000 m 持續跑負荷恢復期 Pre-cooling (PC) 與 Non-cooling (NC) 乳酸曲線分析。Pre-cooling (PC) 組運動結束後第一分鐘 (E1) 乳酸為 $8.8 \pm 2 \text{ mmol/l}$ ，Non-cooling (NC) 組則為 $8.3 \pm 3.5 \text{ mmol/l}$ ，兩項平均值差異 0.5 mmol/l ($p > .05$)。恢復期第三分鐘 (E3) PC 組為 $7.7 \pm 2 \text{ mmol/l}$ ，NC 組則為 $8.3 \pm 3.5 \text{ mmol/l}$ ，平均值差異 0.6 mmol/l ($p > .05$)。恢復期第 15 分鐘 (E15) 乳酸平均值分別為 $3.8 \pm 1.2 \text{ mmol/l}$ 、 $5.0 \pm 1.2 \text{ mmol/l}$ ，兩項平均值差異為 1.2 mmol/l ($p > .05$)。

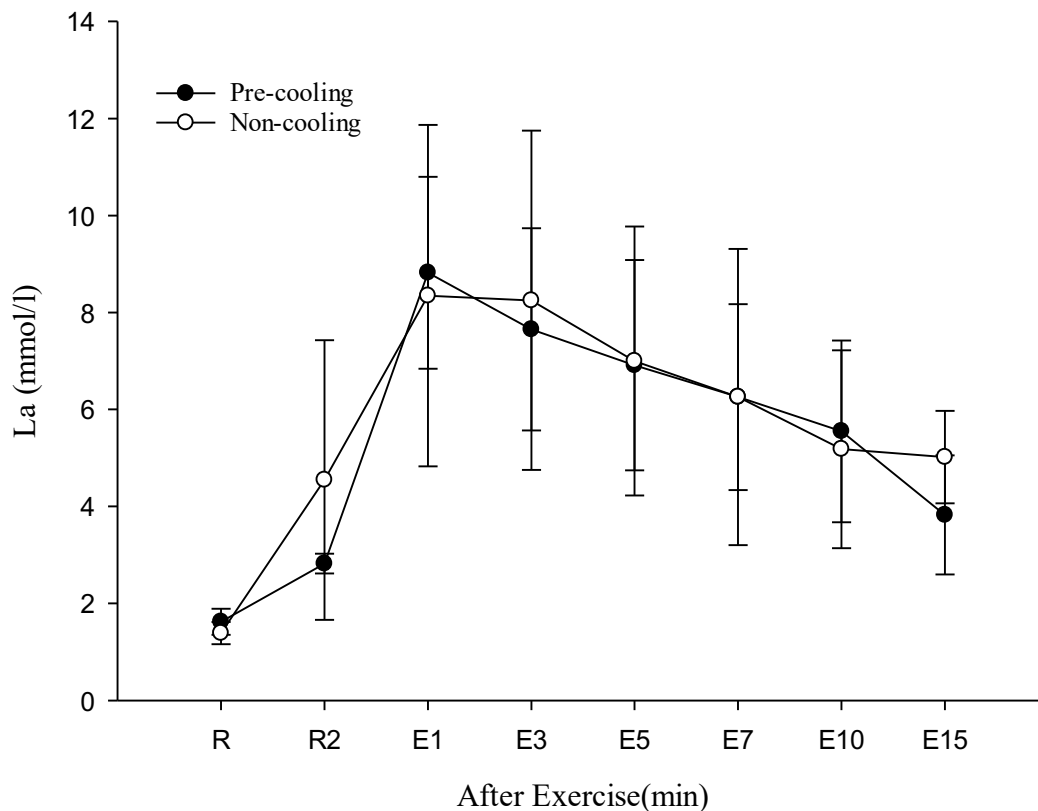
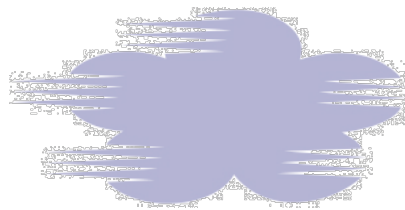


圖 4-2-2:3000 m 持續跑負荷恢復期 Pre-cooling 與 Non-cooling 乳酸曲線比較

結果分析，雖然兩組未能呈現明顯差異，但是乳酸曲線表示 Pre-cooling 組的乳酸較 Non-cooling 組的乳酸下降速度快。因超低溫的應用，令到皮下組織微血管急速收縮加速血液的流動，令到肝臟快速分解乳酸。然而在過去的研究

也有指出加速血液流動速度可以快速排除乳酸 (Brooks,2002) ，另外亦有其他文獻顯示應用超低溫後，有助加速乳酸排除的速度。Schaal et al. (2013) 指出，單次 3 mins WBC (-110 °C) 可以提高乳酸的排除速度，雖然這現象沒有反應在本實驗整體結果，但是卻在運動後結束第 15 分鐘 (E15) 出現明顯的差異，與上述的文獻相符。



第三節 3000 m 持續跑負荷乳酸排除之相關

圖 4-3-1 為 有氧閾值速度對 3000 m 持續跑負荷乳酸排除之相關。有氧閾值速度 (V2) 為 1.1 - 3.15 m/s 之間。Pre-cooling (PC) 組的乳酸排除率介於 6.0 - 3.5 mmol/l 之間，其乳酸排除速度的相關係數為 $r^2=0.8$ 。Non-cooling (NC) 組的乳酸排除率則介於 8.7 - 1.4 mmol/l 之間，其乳酸排除速度的相關係數為 $r^2=0.3$ 。當中最高值是 Nr.6，有氧閾值速度為 3.1 m/s，PC 組為 0.3 mmol/l，NC 組為 0.1 mmol/l，兩組差異 0.2 ± 0.1 mmol/l，最低值是 Nr.3，有氧閾值速度為 2.5 m/s，PC 組為 0.3 mmol/l，NC 組為 0.6 mmol/l，兩組差異 -0.3 ± 0.2 mmol/l。

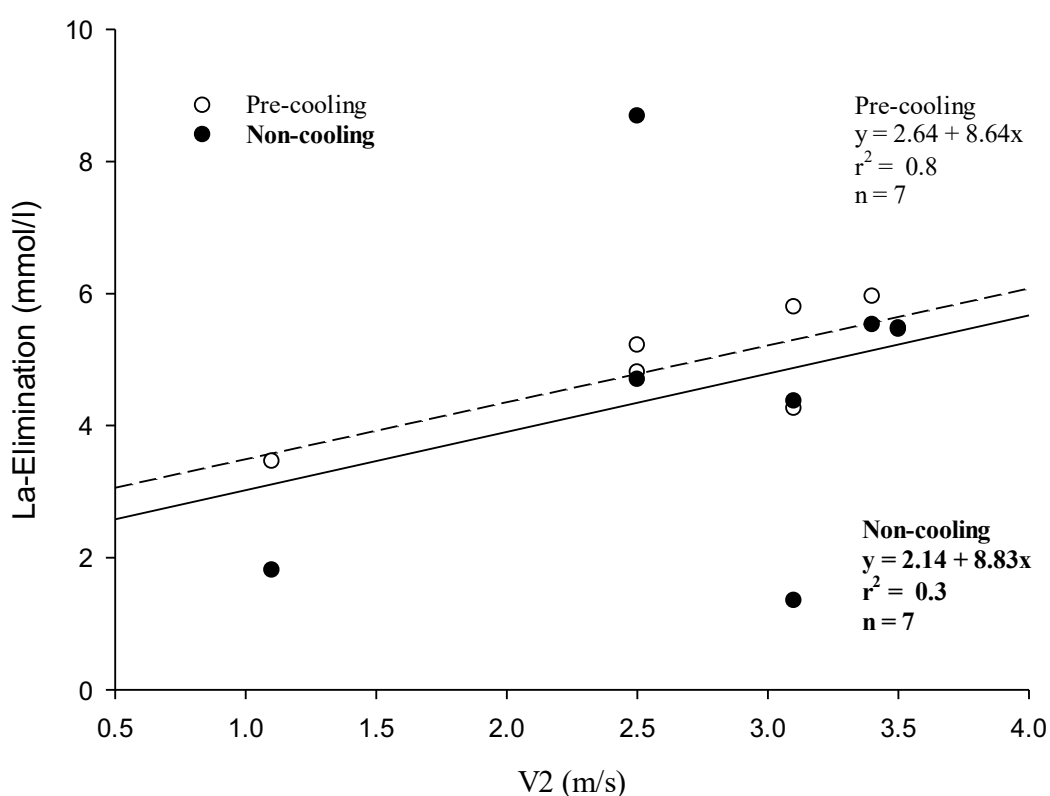


圖 4-3-1: 有氧閾值速度 (V2) 對 3000 m 持續跑負荷乳酸排除之相關

結果分析，Pre-cooling 組的乳酸排除率介於 6.0 - 3.5 mmol/l 之間，其乳酸排除速度的相關係數為 $r^2=0.8$ 。研究發現，有氧閾值速度愈高者，乳酸排除率愈快，反映 Pre-cooling 的應用與乳酸排除速度有直接的相關。原因是超低溫的應用，造成皮下組織微血管急速收縮加速血液的流動，使肝臟快速分解乳酸。這種乳酸排除反應與過去研究相同 (Brooks,2002)。然而人體在安靜休息時，消化系統、骨骼肌、紅血球和肝臟等部位都會產生乳酸，乳酸的排除，則透過循環系統的輸送，肌肉與血液中的乳酸值需花 5 min 或以上才能恢復平衡。競技運動員血液乳酸排除速度每分鐘可達 0.5 mmol/l，均與研究結果相符。

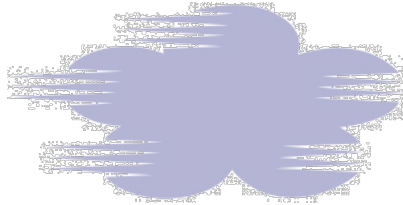


圖 4-3-2 為有氧閾值速度 (V2) 對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率之相關。Pre-cooling 組的恢復期心跳率介於 $103 - 133 \text{ min}^{-1}$ 之間，其恢復期心跳率的相關係數為 $r^2=0.6$ 。Non-cooling 組的恢復期心跳率則介於 $96 - 146 \text{ min}^{-1}$ 之間，其恢復期心跳率的相關係數為 $r^2=0.1$ 。

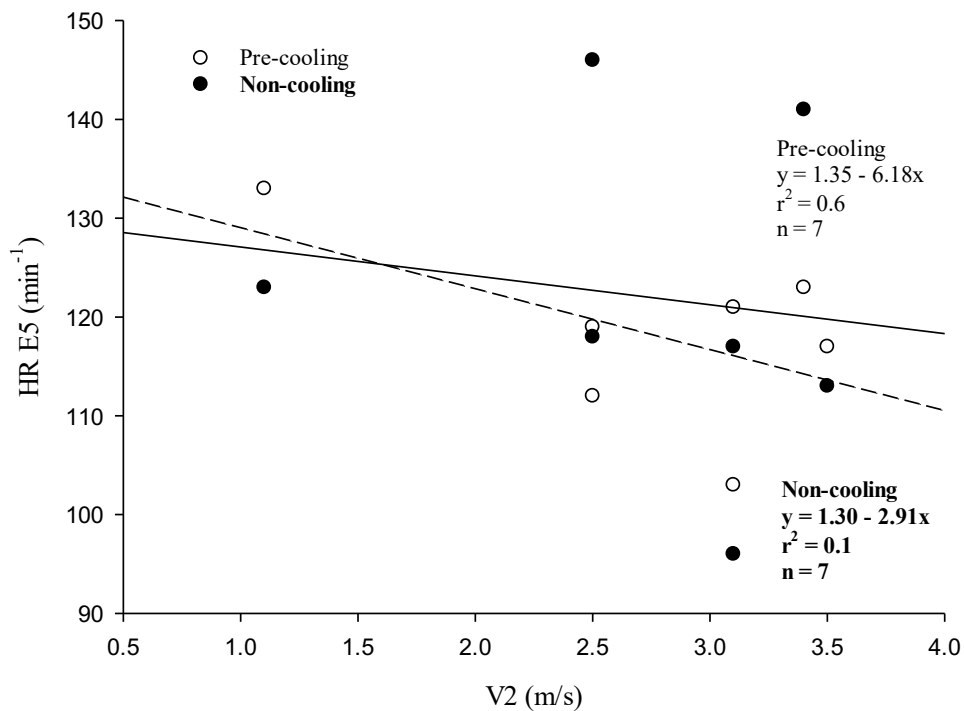
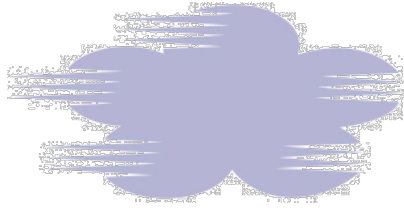


圖 4-3-2: 有氧閾值速度 (V2) 對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳之相關

結果分析有氧閾值速度對 3000 m 持續跑負荷恢復期心跳率呈現負相關。Hollmann et al. (1978) 指出心跳率 $126 - 109 (60-50\%) \text{ min}^{-1}$ 之間為有氧運動。Pre-cooling 組的運動結束後第五分鐘 (E5) 平均心跳率為 118 min^{-1} ，Non-cooling 組的運動結束後第五分鐘 (E5) 平均心跳率為 122 min^{-1} ，兩組均在有氧閾值心跳率範圍內。本研究發現，Pre-cooling 組的恢復期心跳率介於 $103 -$

133 min⁻¹ 之間，其恢復期心跳率的相關係數為 $r^2=0.6$ ，反應 Pre-cooling 的應用與恢復期心跳有直接的相關。



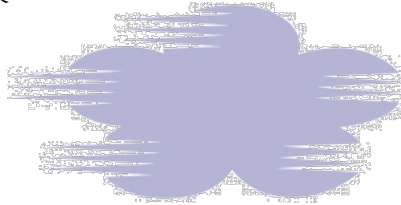
第伍章 結論與建議

由上述結果分析發現 Pre-cooling 與 Non-cooling 對 3000 m 持續跑負荷心跳率與恢復期乳酸雖然沒有顯著差異，但有少許差異。這種現象表示，Pre-cooling 可以降低體循環與肌肉能量代謝壓力。

這種反應症狀主要因素，在於 Pre-cooling 後體表溫度與微血管收縮的改變，促使血液重新分配。這種路徑提高血液含氧量進入肌肉細胞，因此影響運動中組織缺氧速度。

透過本研究應用 Pre-cooling 分析所呈現效果，因此建議在熱環境運動前應用超低溫，維持運動員的續航力，降低運動員身體壓力，提高訓練品質。

本研究是以單次持續負荷作為研究，未來希望能夠進行間歇性運動模式，探討更多生理反應的效果。



參考文獻

中文部分

- 王昱中 (2018)。單次急性高強度間歇訓練應用高氧與超低溫對無氧閾值耐力與心律變異度之效果。國立體育大學競技學院競技與教練科學研究所。碩士論文。桃園市。
- 李雅惠 (2005)。無氧閾值對中長跑訓練效果的評估。未出版碩士論文，國立體育學院，桃園縣。
- 林文弢 (1996)。運動負荷的生化評定。廣東高等教育出版社。
- 張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整。臺北縣:臺灣運動能力診斷協會。
- 張嘉澤與詹元碩 (2005)。運動能力之診斷與訓練調整。國民體育季刊，146 期，44-52。
- 陳相榮譯 (1988)。運動生理學。台北:精華出版社。
- 樓迎統 (2007)。醫學生理學。台北市內湖區：合記圖書出版社

英文部分:

- Bastos F N, Vanderlei L C, Nakamura F Y, et al.(2012). Effects of cold water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability. *Int J Sport Med.* Nov;33(11):873-9.
- Brooks. GA (2002). Lactate shuttle – between but not within cells? *Journal of Physiology.* 333-334.
- Cornelissen, V. A., Verheyden, B., Aubert, A. E., Fagard, R. H. (2010). Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *Journal of Human Hypertension*, 24(3), 175-182.
- 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 of Sports Medicine*, 37(2), 164-169.
- Fairchild, T. J., Armstrong, A. A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S., & Fournier, P. A. (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 595-602. 74(1), 49-94.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, Jan;74(1):49-94.
- Gappmaier E. (2002). “220-Age”prescribing exercise based on heart rate in the clinic. *Cardiopatmonary Physical Therapy Journal*, 13, 11.

- 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.
- Hauswirth, C. (2013). Effect of recovery mode on postexercise vagal reactivation in elite synchronized swimmers. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(2), 126-133.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Trainerakademie Köln, schorndorf. Hofmann. 39-46.
- Hessemer, V., Bruck, L. K., Boderker, R. H., & Breidenbach, T. (1984). Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57(6), 1731-1737.
- Hollmann, W. (1987). Kardiopulmonale Reaktion und aerob anaerob Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Dtsch Z, Sportmed*, 38(4), 144-156.
- Hollmann, W. (1959). The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial and venous blood, the ventilation (PoW) and pulsfrequency during increasing spiro-ergometric work in endurance-trained and untrained person. *Pan Armerican Congress for Sports*.
- Hollmann, W., Rost, R. (1982): *Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren*. 120-126.
- Hottenrott, K.; Zulch, M. (1995). *Ausdauerprogramm*. Reinbeck/Hamburg: Rowohlt.

- Hottenrott, K. (1993). Trainingssteuerung im Ausdauersport. Immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability [J]. *Int J Sports Med*, 2012, 33(11): 873-879 *journal of sports medicine*, 18(08), 588-590.
- Karlsson, J.; Peterson, F. B., Henriksson, J., & Knuttgen, H. G.(1975). Effect of pervious exercise with arm and legs on metabolism and performance in exhaustive exercise. *Jounrnal of Applied Phisiology*, 38, 763-767.
- Karvonen, M., E. Kentala, and O. Mustala. 1957. The effects of training on heart rate. A longitudinal study. *American Medical and Experimental Biology*, 35, 307-315.
- Kilen, A., Gizzi, L., Jensen, B. R., Farina, D., Nordsborg, N. B. (2012). Changes in human muscle oxygen saturation and mean fiber conduction velocity during intense dynamic exercise--effect of muscular training status. *Muscle Nerve*, 46(5), 746-754.
- Klimek, A. T., Lubkowska, A., Szyguła, Z., Frączek, B., & Chudecka, M. (2011). The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power. *Int J Occup Med Environ Health*, 24(2), 184-191.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt sportmed*, 27(80), 199.
- Mader, A.; Lisen, H.; Philippi, H.; Rost, R., Schuerch, P.; Hollamnn, W. (1976): Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerlistungsfaehigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmed*. 27,80-88.

- Marino. (2002). Methods, advantages and limitations of body cooling for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), 89-94. muscle soreness and strength following eccentric exercise. *International*.
- Neumann, G., & Berbalk, A. (1990). Umstellung und Anpassung der Funktionssysteme. *Das gross Buch vom Laufen*. Meyer & Meyer Verlag, 222-223.
- Neumann, G., & Berbalk, A. (1991). Umstellung und Anpassung des Organismus- grundlegende Voraussetzung der sportlichen Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*, 21, 29-31.
- Neumann, G.; Pfützner, A.; Berbalk, A. (2001): *Optimiertes Ausdauertraining*. 295.
- Nikiforov, I. 1974. About The structure of training in boxing. *Scientific Work (Moscow)* 6:81-91
- Paddon-Jones, D. J., & Quigley, B. M. (1997). Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Fillard, J. R., Barbiche, E., & Hausswirth, C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PloS one*, 6(7), e22748.
- response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin. *Journal of Thermal*.
- Sahlin, K., Harris, R. C., Nyland, B., & Hultman, E. (1976). Lactate content and pH in muscle samples obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv*, 367(2), 143-149.

- Savic, M., Fonda, B., Sarabon, N. (2013). Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin. Article in Journal of Thermal Biology 38(4):186-191 · May 2013 with 848 Reads.
- Schaal, K., Le Meur, Y., Bieuzen, F., Petit, O., Hellard, P., Toussaint, J. F., & Bompa, T., T. Bompa, and T. Zivic.(1981). *Fitness and body development exercise*. Dubuque, IA:Kendall/Hunt.
- 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.
- Weinecker, H., & Strobel, G. (1993). Sportmedizin : Biochemisch - Physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung. 58-60.
- Wilmore , J . H . , & Costill , D.L. (1994). The physi ological basis of the condition in gprocess: Train in gfo rsportand activity. Dubuque , I A .
- Wood, R. H., Hondzinski, J. M., & Lee, C. M. (2003). Evidence of an association among age-related changes in physical, psychomotor and autonomic function. *Age Ageing*, 32, 415-421.
- Zintl F. (1994). Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. München, Germany: BLV.

附錄



運動能力診斷與訓練調整

運動測試疾病調查

請據實回答以下問題：

- | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. 是否有心臟疾病 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 2. 是否有血液疾病 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 3. 是否有糖尿病 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 4. 是否有高血壓 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 5. 是否有氣喘疾病 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 6. 是否有癲癇症 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 7. 是否有肌肉疼痛 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 8. 是否有感冒症狀 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 9. 最近六個月是否有開刀手術 | ☐ 是 | ☐ 否 |
| 10. 其他： | | |

1) _____

2) _____

3) _____

4) _____

簽 名： _____

日期： _____

www.spdi.idv.tw

輔仁大學人體研究倫理委員會
通過證明

- 一、計畫編號：C107103
- 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. 鄒思恩/國立體育大學競技與教練學研究所
 2. 彭昭閔/國立體育大學競技與教練學研究所
- 五、計畫名稱：Pre-Cooling 對 3000m 持續跑運動負荷體循環與新陳代謝之效果
- 六、計畫書版本/日期：第二版，2019/01/30
- 七、受試者說明暨同意書版本/日期：第 2 版，2019/01/30
- 八、計畫執行地點：
 1. 國立體育大學競技與教練科學研究所田徑場
 2. 國立體育大學競技與教練科學研究所運動能力診斷中心
- 九、研究方式/工具：
 - (1) 招募廣告:2019/1/9
 - (2) 問卷:第一版，2019/01/14
- 十、追蹤審查頻率：每 1 年 1 次

上述計畫業於 108 年 03 月 12 日經本委員會 107 學年度第 4 次人體研究倫理委員會審查通過，本通過證明有效期限自 108 年 03 月 12 日至 109 年 03 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

聶連安

108 年 03 月 13 日

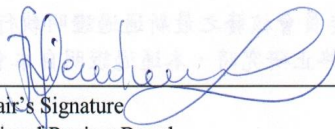
Fu Jen Catholic University Institutional Review Board

510 Chung Cheng Rd, Hsinchuang District, New Taipei City 24205, Taiwan
TEL : 886-2-2905-6277, FAX : 886-2-2903-3546

Certificate of Approval

- I. FJU-IRB NO : C107103
- II. Study Institution(s): National Taiwan Sport University/ Graduate Institute of Athletics and Coaching Science
- III. Investigator : Assistant Professor Jia-Tzer Jang
- IV. Research team member(s) :
 - (1) Sze-Yan Wu/National Taiwan Sport University/Graduate Institute of Athletics and Coaching Science
 - (2) Jhao-Min Peng/National Taiwan Sport University/Graduate Institute of Athletics and Coaching Science
- V. Title of protocol : Effect of Pre-Cooling on body circulation and metabolism of 3000m continuous running exercise
- VI. Protocol Version : 第二版, 2019/01/30
- VII. Informed Consent Form : 第2版, 2019/01/30
- VIII. Place of execution(s) : National Taiwan Sport University
- IX. Study Tools :
 - (1) Recruitment Version : 2019/1/9
 - (2) Questionnaire(s) : 第一版, 2019/01/14
- X. Frequency of Interim Report : One Year
- XI. Study Approval Period : 2019/03/12-2020/03/11

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

03 / 13 / 2019
Date (mm / dd / yyyy)