

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

運動前、中冷卻對高強度間歇負荷恢復期生理
參數之影響

**The Effects of Pre-intermittent Cooling on Physiological
Parameters in Recovery Period after High Intensity
Interval Training**

指導教授：張嘉澤 博士

研 究 生：黃俊霖 撰

中 華 民 國 103 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

本論文：運動前、中冷卻對高強度間歇負荷恢復期生理參數之影響

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生黃俊霖所提，
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

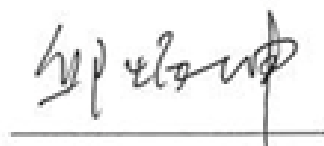
中華民國 103 年 6 月

論文考試委員



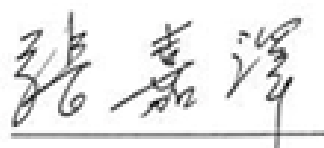
詹元碩 博士

國立臺北教育大學副教授



邱炳坤 博士

國立體育大學教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授
(本論文指導教授)

運動前、中冷卻對高強度間歇負荷恢復期生理參數之 影響

摘要

本研究目的主要在探討運動前、中進行冷卻 (Pre-intermittent cooling) 於高強度間歇負荷恢復期血乳酸曲線與恢復機轉之影響。方法：本研究對象為六名有持續運動習慣的健康男性，參加為期 1 周實施不同方式運動前、中冷卻於高強度間歇負荷的測試。高強度間歇負荷為 4 次 1000 m 的間歇跑，每趟間休息 6 分鐘。結果發現，手掌降溫法對減緩高強度間歇負荷的能量代謝壓力效果較佳，而冷卻背心對體循環的恢復較有效率。建議在濕熱環境下進行運動訓練時，可使用冷卻背心與手掌降溫法來降低選手的代謝壓力與濕熱的不舒適感。然而手掌降溫法冰水的溫度、浸泡的時間點、次數與適用的訓練型態...等仍有待未來繼續研究。

關鍵詞：冷卻背心、手掌降溫、恢復機轉

The Effects of Pre-intermittent Cooling on Physiological Parameters in Recovery Period after High Intensity Interval Training

Abstract

The purpose of this study is to examine the effects of pre-intermittent cooling on physiological parameters in recovery period after high intensity interval training. Method : Six physical active males participated in the study which consists of two different cooling strategies on high intensity interval training (HIIT) during a week. The mode of HIIT is 4 x 1000 m running interspersed with recovery period in 6 minutes. Results : Hand-cooling is effective to reduce the metabolic stress in hot humid environment, and vest-cooling is in circulation recovery. The results of this study suggest that both cooling strategies were effective in reducing thermal strain during high intensity interval exercise in the hot & humid environment.

Key words : Vest-cooling, Hand-cooling, Recovery

致 謝

兩年研究生涯，第一要感謝的是指導教授張嘉澤博士，在學術上、訓練上及生活上給予學生指導，使學生受益良多。另本論文承蒙邱炳坤教授、詹元碩教授殷切指導，使論文內容更臻完備，特此敬申謝意。

就讀期間，感謝競技與教練科學研究所上所有教師的教誨，奠定學生理論基礎。感謝就讀研究所期間的學長姐，歆迪、衛宣、昱中、竑學的指導與砥礪，感謝 SPDI 的每一位成員，學姊月琪、佳慧、灣姐、婉禎、詩涵、汶淋，學長德盛、敬衡、奕勳的指導與教誨，蔡老闆與賓哥人生經驗傳承，智瑋、松潛、育綺、婉柔的互相幫忙與協助，有您們在，讓我的研究生涯充滿回憶，終身難忘。在此致上十二萬分的謝意和敬意。

最後，感謝父母的栽培與姊姊、小姪女溪貽一路上的支持，特將此榮耀與您們一同分享，謝謝您們。

黃俊霖 謹識

目 錄

摘要 I

Abstract II

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 前言 1

第二節 研究動機 3

第三節 研究目的 4

第四節 名詞解釋 5

第貳章 文獻探討 7

第一節 人體體溫調節機制..... 7

第二節 熱環境對運動表現的影響..... 9

第三節 冷卻 (Cooling) 與運動表現 11

第四節 急性負荷下心跳率的恢復與血乳酸的反應 14

第參章 研究方法 17

第一節 研究對象 17

第二節 實驗時間與地點 18

第三節 實驗儀器與設備 18

第四節 實驗設計與流程 20

第五節	資料處理與統計	22
第肆章	結果分析與討論	23
第一節	實施不同冷卻方式對間歇期恢復機轉之影響	24
第二節	實施不同運動前、中冷卻對高強度間歇負荷後乳酸排除與恢復心跳率之影響	37
第伍章	結論與建議.....	43
參考文獻		44
一、	中文部分：	44
二、	外文部分：	44

表目錄

表 2-4-1 恢復機轉評價與心跳率分析.....	15
表 3-1-1 受試者基本資料.....	17
表 3-4-1 測試內容與採集參數... ..	21
表 4-0-1 不同冷卻方式實驗環境與冷卻溫度表.....	23
表 4-1-1 不同冷卻方式三個間歇期恢復心跳率之差異分析.....	29
表 4-1-2 不同冷卻方式間歇期 RPE 下降百分比.....	33
表 4-1-3 不同冷卻方式間歇期熱感覺量表下降百分比.....	34
表 4-2-1 為恢復期不同冷卻方式乳酸差異分析.....	38

圖目錄

圖 1-4-1 體表溫度量測點.....	6
圖 2-1-1 人體熱負荷之調節.....	7
圖 2-1-2 人體對冷壓力之調節.....	8
圖 2-3-1 冷卻背心與體溫調節.....	12
圖 3-3-1 紅外線測溫儀與體表測溫槍.....	18
圖 3-3-2 冷卻背心.....	19
圖 3-4-1 實驗流程.....	20
圖 4-1-1 不同冷卻方式在間歇期 I 血乳酸前後差異值.....	24
圖 4-1-2 不同冷卻方式在間歇期 II 血乳酸前後差異值.....	25
圖 4-1-3 不同冷卻方式在間歇期 III 血乳酸前後差異值.....	26
圖 4-1-4 間歇期 I 不同冷卻方式恢復心跳率差異.....	27
圖 4-1-5 間歇期 II 不同冷卻方式恢復心跳率差異.....	28
圖 4-1-6 間歇期 III 不同冷卻方式恢復心跳率差異.....	29
圖 4-1-7 不同冷卻方式間歇期體表溫度曲線圖.....	31
圖 4-1-8 不同冷卻方式間歇期運動自覺量表曲線圖.....	32
圖 4-1-9 不同冷卻方式間歇期熱感覺量表曲線圖.....	34
圖 4-2-1 恢復期不同冷卻方式血乳酸曲線圖.....	37
圖 4-2-2 恢復期不同冷卻方式恢復心跳率差異.....	39
圖 4-2-3 恢復期乳酸排除率與負荷結束點體表溫度之相關圖.....	40
圖 4-2-4 恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度之相關圖.....	41

中英文對照縮寫表

縮寫	英文	中文
E1-E15	end of the first minute to fifteenth minute	運動結束第 1 分鐘 至第 15 分鐘
HR	Heart rate	心跳率
La	Lactate	乳酸
m	Meter	公尺
min ⁻¹	Beat per minute	每分鐘心跳率
m/s	Meter per second	每秒每公尺速度
RPE	Rating of perceived exertion	運動自覺量表
SpO ₂	Oxyhemoglobin saturation by pulse oximetry	血氧飽和濃度
s	Second	秒

第壹章 緒論

第一節 前言

當運動員站在賽場上，除了來自對手的壓力外，還必須面臨環境條件所帶來的挑戰。台灣地處亞熱帶，屬於典型海島型氣候，夏季（7~9 月）期間平均溫度高於 28℃，相對濕度大於 75% (中央氣象局氣候統計，2012)。在此濕熱環境下運動，體循環系統的負擔加重，身體的散熱功能將受到限制。當熱負荷持續增加造成體溫調節產生障礙時，不僅影響運動員在場上的發揮，更可能會引發熱傷害，危及生命健康 (Arngrimsson, Pettitt, Stueck, Jorgensen & Cureton, 2004; Booth, Wilsmore, Macdonald, Zeyl, McGhee & Calvert, 2001; Cheung & Robinson, 2004)。

由上可知，了解人體在熱環境中體溫調節的機制及找出相對應的方法以減緩運動員的疲勞與預防熱傷害是相當重要的；其中關鍵就在於：如何延緩運動過程中體內熱容量的囤積 (Heat storage)，而在運動前、間歇期間或運動全程採取冷卻措施是實際且有效的方式 (Booth et. al., 2001; Price & Mather, 2004; Webborn, Price, Castle & Goosey-Tolfrey, 2010)。冷卻的方式則包含將水灌注至衣服內 (Gold & Zornitzer, 1968; Shapiro, Pandolf, Sawka & Goldman, 1982)、水浸泡 (Marsh & Sleivert, 1999)、冷水淋浴 (Drust, Cable & Reilly, 2000)、冰袋 (Price & Mather, 2004)、手掌以負壓及冷水循環降溫 (Hsu, Hagobian, Jacobs, Attallah & Friedlander, 2005; Selkirk, Mclellan & Wong, 2004) 與冷凍背心 (Myler, Hahn & Tumilty, 1989; Duffield, Dawson, Bishop, Fitzsimmons & Lawernce, 2003) 等，尤其以冷凍背心為立即有效且實用性高的應用工具 (Myler et al., 1989; Duffield et al., 2003)，手掌降溫法為成本低、易操作且能有

效改善運動表現的方式 (Hsu et al., 2005)。

目前國內對於在熱環境訓練下冷卻應用的時機與模式仍處於陌生的階段，因此本研究期望藉由於高強度間歇負荷下以不同冷卻方式（手掌降溫及冷凍背心）在多個時間點（運動前與間歇期）施行冷卻（運動前、中冷卻）的研究與探討，提供運科人員與教練們冷卻策略運用的資訊，使訓練得以維持更好品質，進而提升選手競技能力。

第二節 研究動機

運動中體內溫度的過度上升是造成運動能力下降與衰竭的主因 (Nybo & Nielsen, 2001; Cheung, 2007)，而如何在運動過程中延緩體內熱容量的囤積 (Heat storage)，就成為一個相當重要的課題。根據過去的研究，不管是在運動前或運動中，進行冷卻以減緩體溫的上升皆被證實是一種有效的策略 (Booth et al., 2001; Drust et al., 2000 ; Young, Sawka, Levine, Cadarette & Pandolf, 1985; Price & Mather 2004 ; Gold & Zornitzer 1968; Shapiro et al., 1982)。然而，要實際將冷卻應用在運動場上，除了工具使用的方便性外，成本的考量亦是重點之一。此外冷卻的時間點與在連續相同強度負荷下的效果及對生理症狀恢復的影響亦有待研究。因此本研究將針對不同冷卻型態 (冷凍背心與手掌降溫)，探討於運動前與間歇期間實行冷卻對高強度間歇負荷的血乳酸堆積與恢復之影響。

第三節 研究目的

本研究目的如下：

- 一、 探討運動前、中冷卻對高強度間歇負荷恢復期血乳酸曲線與恢復機轉之影響。
- 二、 探討運動前、中冷卻對高強度間歇負荷之 HR、乳酸、RPE & 熱感覺量表 & 體表溫度在間歇期的變化。

第四節 名詞解釋

一、 運動前、中冷卻 (Pre-Intermittent cooling)：

運動前、中冷卻為在運動負荷前與間歇期間進行冷卻，以緩減運動過程中體內熱容量的囤積。在本研究中，2 種不同冷卻方式分別為穿著冷卻背心與雙手浸泡至冰水中。

二、 高強度間歇負荷：

本研究所指之高強度間歇負荷為以個人基礎耐力測試 (Mader et al., 1976) 所能完成的最後一階速度做 4 次 1000m 的間歇跑，每趟間休息 6 分鐘。間歇期的定義為：由該趟負荷結束後的生理參數採集點至下一趟負荷開始前之參數採集點。本研究間歇期共有三期，間歇期 I 為 1x 至 R3，間歇期 II 為 2x 至 R4，間歇期 III 為 3x 至 R5。

三、 恢復 (Recovery)：

在本研究中，恢復指的是受試者在運動負荷的間歇期與結束後，心跳率與乳酸下降或排除之情形。其判斷指標如下：

(一) 間歇期與負荷結束後第 5 分鐘之心跳率。

(二) 間歇期與負荷結束後最大乳酸堆積時間點與乳酸排除率。

四、 體表溫度：

本研究體表溫度量測點為左胸、左肱二頭肌、左大腿與左小腿。計算方式為依據 Ramanathan (1964) 所提出的公式：

$$\text{體表均溫} = 0.3 \times (\text{胸} + \text{肱二頭肌}) + 0.2 \times (\text{大腿} + \text{小腿})$$

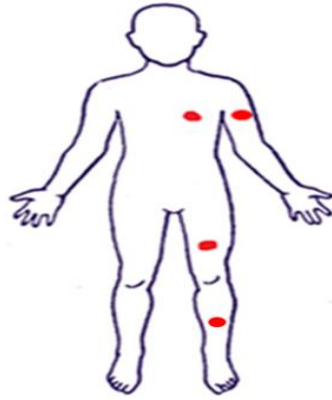


圖 1-4-1 體表溫度量測點

五、 核心溫度 (Core temperature)：

人體的溫度是恆定的，其內在溫度維持在 $37\pm0.5^{\circ}\text{C}$ ，即所謂核心溫度 (Core temperature)。臨床上大多以直腸內溫度 (肛溫) 代表核心溫度。

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。體溫調節中樞位於下視丘，負責接收來自身體各部位熱感受器 (Thermoreceptor) 的訊號，透過生物回饋系統調控產熱 (Heat production) 和散熱 (Heat loss) 的過程，使體溫保持在一個穩定的設定點，以維持生理機能的正常運作 (Blatteis, 2001)。人體對熱負荷的調節如圖 2-1-1 所示。

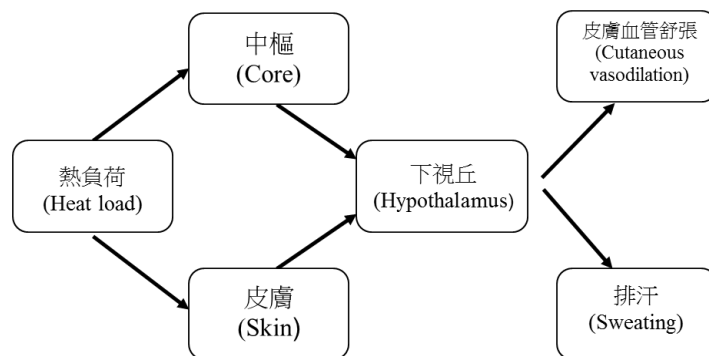


圖 2-1-1 人體熱負荷之調節

熱調節包含許多複雜的交互作用因子，最終反應在產熱與散熱上。從事劇烈運動時，產生的熱主要來自骨骼肌的活動與受酵素激發而提高的基礎代謝率，散熱則主要靠皮膚，包含輻射、傳導、對流與蒸發等四種方式。當產熱超過散

熱時，熱容量的囤積 (Heat storage) 使得身體的核心溫度提高。在大多數的情形下，人體仍能在體溫略為升高時維持熱平衡的穩定。然而，即使在適溫 (21 – 26°C) 的環境下，運動對體溫的調節機轉也是一大負擔。熱環境下運動產生的生理改變，可能會對運動表現帶來衝擊以及對健康造成危害 (Wilmore & Costill, 1994)。

相對的在低溫環境中，體溫調節中樞會啟動身體顫抖或末梢血管收縮等機制來增加人體的新陳代謝與刺激肌肉收縮，以減少血液流向身體表面，降低身體熱能的流失。當皮膚及其他部位之冷受器接受刺激，神經衝動傳至下視丘後部，隨即引發一些產熱反應，且皮膚中的血管會急速收縮，增加身體深部的絕緣效果。冷壓力亦會對寒顫中樞與毛髮運動中樞造成刺激，引起寒顫與豎毛。在內分泌調節方面，下視丘會引起兒茶酚胺的釋放，動員脂肪酸，增強代謝產熱，同時刺激腦下垂體釋放促甲狀腺激素，間接增加甲狀腺素生成量。人體面對冷環境壓力的調節如圖 2-1-2 (修改自 Wilmore & Costill, 1994) 所示。

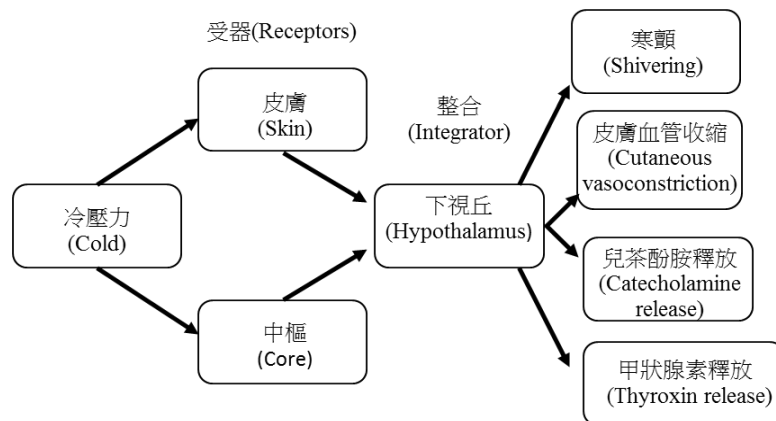


圖 2-1-2 人體對冷壓力之調節

第二節 熱環境對運動表現的影響

熱環境下運動時，肌肉所產生的熱必須藉由心臟壓縮與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骨骼肌和皮膚表面上。血流的重新分配降低了血液回流心臟的量，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 (Casa, 1999)。任何一個會造成體循環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。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，因而產生較多的乳酸 (Rowell, Brengelmann, Blackmon, Twiss & Kusumi, 1969; Dimri, Malhotra, Gupta, Kumar & Arova, 1980; Young et al., 1985)；此外也有研究指出，在熱環境中從事中等強度運動血氨濃度也較適溫環境中為高 (Snow, Febbraio, Carey & Hargreaves, 1993)。

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; Parkin, Carey, Zhao & Febbraio, 1999)、高強度間歇衝刺 (Drust, Rasmussen, Mohr, Nielsen & Nybo, 2005; Morris, Nevill, Boobis, Macdonald & Williams, 2005) 與中距離耐力負荷 (Altareki, Drust, Atkison, Cable & Gregson, 2009; Slater, Rice, Sharpe, Tanner, Jenkins & Gore, 2005) 等。例如：Galloway & Maughan (1997) 以 8 名健康男性為受試者，分別在不同環境溫度下進行 70% $\dot{V}O_{2max}$ 的自行車測試，結果發現騎乘至衰竭的時間會隨著環境溫度的上升而急遽下降 ($11^{\circ}C = 93.5 \pm 6.2$ min; $21^{\circ}C = 81.2 \pm 5.7$ min; $31^{\circ}C = 51.6 \pm 3.7$ min)。

Drust 等人 (2005) 以 7 名受試者分別在 20°C 與 40°C 進行 5 x 15 秒的自行車衝刺，結果在高溫環境 (40°C) 中輸出的平均功率顯著低於適溫 (20°C) 環境 (558.0 ± 146.9 W vs. 617.5 ± 122.6 W)，並且認為可能原因在於高的核心溫度抑制了中樞神經的傳導。

Altareki 等人 (2009) 以 9 名競技自行車選手分別在 13°C 與 35°C 進行 4km 的模擬比賽，結果在 35°C 的環境下，選手的皮膚表面與身體核心溫度皆顯著高於在 13°C 的環境中；競技能力在高溫中也顯著下降 (390.1 ± 19.6 s vs. 382.8 ± 18.2 s)。作者認為，可能原因在於環境溫度影響身體在運動前的儲熱容量 (heat storage) 與為了在運動負荷中保持體內的熱恆定 (Thermal homeostasis) 有關。

第三節 冷卻 (Cooling) 與運動表現

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。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 & Anderson, 1999; Nielsen, Strange & Christensen, 1997)，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 (Duffield, 2008; Marino, 2002; Quod, Martin & Laursen, 2006 & 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。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°C 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°C、肌肉內溫度超過 42°C。早期研究認為，在運動中穿著冷卻背心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，因而能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; Lee & Haymes, 1995; Olschewski & Bruck, 1988)。近期的研究則認為，Cooling 能增加耐力表現的主因，也許與減緩中樞神經 (CNS) 在熱環境下的壓力有關 (Duffield, 2008)。冷卻背心與體溫及環境溫度的關係，如圖 2-3-1 所示。

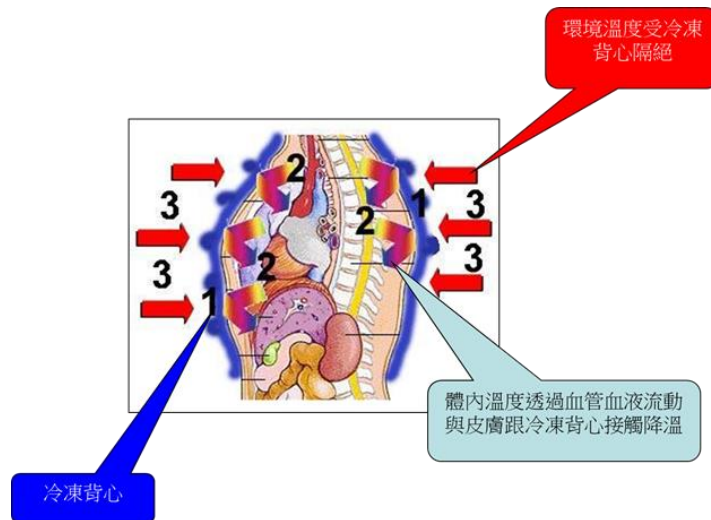


圖 2-3-1 冷卻背心與體溫調節

Ü ckert & Joch (2007) 以 20 名體育系學生為對象，在進行不同熱調節程序的耐力測試。結果發現，在預冷組跑至衰竭的時間顯著高於熱身組，最大血乳酸濃度與最大心跳率預冷組高於熱身組，耐力測試過程中的前 30 分鐘的體表溫度、核心溫度與心跳率則是熱身組高於預冷組。作者推論，在熱環境中採取動態熱身會降低耐力表現。

Hsu 等人 (2005) 以八名鐵人三項選手為受試者，研究在濕熱環境下運動 (負荷強度：60% $\dot{V}O_{2max}$ ，持續時間：1 小時) 手掌降溫法之效果。結果發現，手掌降溫法能降低受試者在相同強度下之攝氧量百分比。

Arngrimsson 等人 (2004) 研究在動態熱身時穿著冷卻背心是否會對熱環境下的耐力表現造成影響。受試者為 17 名運動員，分別進行 2 次的 5 km 模擬比賽。結果發現，在穿著冷卻背心熱身下，5 km 的平均時間較穿著 T-shirt 時減少 13 秒，前 1.6 km 時之心跳率每分鐘減少 3 下，熱感受度量表分數下降 0.6。作者認為，在熱身期間施行冷卻能有效減低選手在熱環境下體循環的壓力，減少熱感受帶來的不適感，增加比賽後段維持速度的能力，因而提升耐力表現。

Duffield 等人 (2003) 以 7 名冰球運動員為受試者，研究在高強度間歇負荷間施行冷卻對生理反應與運動表現的影響。結果發現，施行冷卻對於每一節開始前之乳酸、體表溫度及流汗量有下降的趨勢，且減緩受試者對熱的不舒適感。作者認為，也許在間歇期增加冷卻的時間對運動表現能有較顯著的幫助。

Price, Boyd & Goosey-Tolfrey (2009) 以 8 名女足球員為對象，進行冷卻對運動員在熱環境下間歇跑的影響。測試模式為模擬足球的賽制，每個半場以 15 min 為單位循環，進行 4 種不同強度的間歇跑 (0、4、8、12 km/h)。結果發現，在不施行冷卻下，自負荷開始後第 60 分鐘到結束，體內的儲熱容量 (Havenith, Luttikholt & Vrijkotte, 1995) 顯著高於冷卻情境，且在運動前+中場施行冷卻 (Pre-Intermittent cooling) 會比單單只在運動前冷卻 (Precooling) 對減緩體內的熱屯積來得有效率。

陳佳慧 (2013) 以 8 名高中男性西式划船單人雙槳選手為受試者，探討熱環境藉助冷卻背心對受試者於划船測功儀之運動能力及生理反應的影響。結果發現，於熱環境下運動時，冷卻能有效提升高強度無氧負荷 (2000 m) 完成總時間與總輸出功率，且在 4 次 1000 m 相同完成時間下，亦有效減少輸出功率且減少乳酸增加百分比。作者推測，可能與冷卻背心能顯著降低耳溫與體表溫度以調節體溫與熱感覺有關。

從以上文獻得知，在熱環境下施行冷卻能有效減緩運動員對熱壓力的不舒適感，增加在次等強度下的耐力表現，且在間歇期間也施行冷卻 (Pre-Intermittent cooling) 會比僅在運動前施行冷卻 (Precooling) 要有效率。此外，單次冷卻的時間也有可能會影響運動表現。

第四節 急性負荷下心跳率的恢復與血乳酸的反應

在急性高強度的負荷刺激下，生理平衡受到嚴重干擾。為應付內在與外在環境所需，身體各部位將加速調節，劇烈的生理症狀反應隨之而生，其中心跳率是反應最快與最直接的生理參數。同時間由於肌肉持續快速的收縮，無氧醣酵解的高度活化使肌肉內乳酸產生的速率大於排除，當擴散至血液時因而造成血乳酸的大量堆積，最高峰值會出現在運動結束後的第 3 分鐘開始 (Neumann, Pfützner & Berbaik, 2001)。

心臟收縮的次數是由竇房結的放電速度決定，取決於交感與副交感節後神經末梢的刺激。運動時由於交感神經受到刺激，使得心跳加快；當運動強度逐漸提高，心跳率亦呈現直線上升的趨勢，直到接近個人最大心跳率為止 (Zintl, 1994)。透過耐力訓練，在相同運動負荷下心臟每跳輸出量增加，心跳率下降，運動後心跳率恢復到安靜值的速度也增快；此外，有氧耐力越佳者，其恢復能力亦越快 (Hollmann & Rost, 1982)。在評量體循環的功能方面，最大負荷結束後第 5 分鐘之心跳率可作為恢復機轉的判斷 (Böhmer, Baron, Bausenwein, Fischer, Groher, Hess, Schmücker, 1975)。以運動員來說，最大負荷後第 5 分鐘之心跳率低於 100 min^{-1} 代表具有高競技能力。表 2-4-1 為其評量分級。

表 2-4-1 恢復機轉評價與心跳率分析

最大負荷後第 5 分鐘心跳率	評 價
$> 130 \text{ min}^{-1}$	很差
$130-120 \text{ min}^{-1}$	差
$120-115 \text{ min}^{-1}$	尚可
$115-105 \text{ min}^{-1}$	好
$105-100 \text{ min}^{-1}$	很好
$< 100 \text{ min}^{-1}$	高競技能力

血乳酸的濃度在作為訓練控制與負荷強度的判斷佔有重要的地位。劇烈運動下，大量的乳酸生成伴隨著氫離子濃度的上升，體內的 pH 值隨即下降，產生酸化現象。在短時間的最大負荷，pH 值會降至 6.8，並抑制醣酵解與 ATP 的組成。這些能量代謝的中間產物會干擾肌肉的快速收縮、影響神經傳導的速度與阻礙能源的使用，因而造成疲勞現象的發生 (Kirkendall, 1990)。

乳酸在短時間的急性負荷會不斷的堆積，在運動結束後逐漸達到最高峰。在判斷個人急性負荷後乳酸的變化情形，則是在於運動結束後第一分鐘 (E1) 是否已經達到最大值、最大乳酸值出現的時間點以及最大乳酸值與最後採集點乳酸值之差異 (Neumann et al., 1991)。Mader (1994) 以急性負荷下的最大乳酸值與負荷時間為參數來計算乳酸形成率，作為判別無氧非乳酸的使用效率，而最佳的乳酸形成率必須小於 $0.5 \text{ mmol/l} \cdot \text{s}$ 。個人的有氧-無氧閾值能力亦會對急性負荷後乳酸的濃度造成影響。如無氧閾值 (4 mmol/l) 能力會影響個人在急性負荷後的最大血乳酸濃度 (Hollmann & Rost, 1982)；有氧閾值 (2 mmol/l) 能力會影響其無氧非乳酸能量系統的恢復，間接影響乳酸堆積的速率。因此個人閾

值能力越好者，對瞬間無氧負荷刺激的調節與恢復較快 (Hollmann & Hettinger, 2000)。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究以有持續運動習慣的健康男性共6名為受試對象（資料如表 3-1-1），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

受試者人數	年齡	身高	體重	運動年數
	years $\pm$ SD	cm $\pm$ SD	kg $\pm$ SD	years $\pm$ SD
N = 6	25 $\pm$ 7	174 $\pm$ 7	67.2 $\pm$ 11.7	3.3 $\pm$ 0.9

第二節 實驗時間與地點

一、時間：2013 年 8 月

二、地點：國立體育大學室外田徑場與運動能力診斷實驗室

第三節 實驗儀器與設備

- 一、 高速跑步機 (h/p/cosmos)
- 二、 心跳偵測器 (Polar 610i)。
- 三、 採血相關用具及乳酸血糖分析儀。
- 四、 溫溼度測量器 (Thermo recorder TR-72U)。
- 五、 紅外線測溫儀 (香港優利德-UT300A)；量測範圍-18℃~280℃。
- 六、 體表測溫槍 (型號 TM-966)；量測範圍 0℃~100℃。



圖 3-3-1 紅外線測溫儀 (右) 與體表測溫槍 (左)

七、冷卻背心：

本研究所採用之冷卻背心為澳大利亞製的 Sanitaetshaus Korting，冷卻材質為凝膠，冷凍後胸前凝膠部位溫度約為 2~5 °C。



圖 3-3-2 冷卻背心 (Sanitaetshaus Korting)

第四節 實驗設計與流程

本實驗以受試者 6 名，參加為期 1 週實施不同方式運動前、中冷卻於高強度間歇負荷的測試。高強度間歇負荷為 4 次 1000m 的間歇跑，每趟間休息 6 分鐘。實驗開始前會先讓受試者於高速跑步機上進行個人基礎耐力測試 (Mader et. al., 1976)，作為高強度間歇負荷強度設定的依據。

個人基礎耐力測試結束後休息 2 天，受試者將以平衡次序法安排連續三天進行高強度間歇跑，其中兩次運動前、中冷卻的實施一次為 Vest cooling，一次為 Hand cooling。此外，還有一次為 Non-cooling (控制組)。高強度間歇跑的強度設定為基礎耐力測試所完成最後一階之速度。實驗流程如圖 3-4-1 所示。

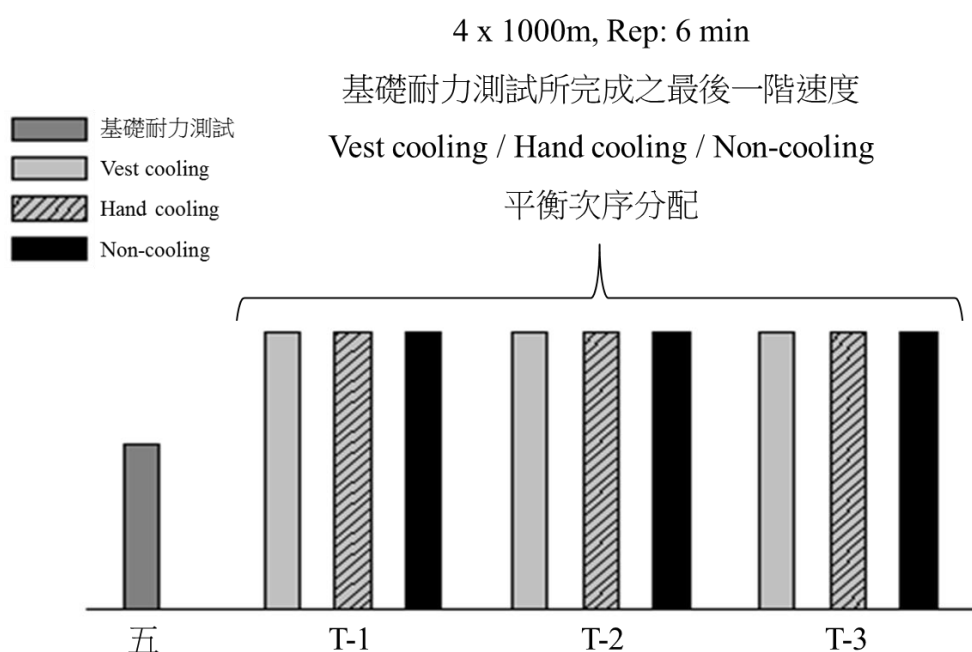


圖 3-4-1 實驗流程

二、測試內容與採集參數

表 3-4-1 測試內容與採集參數

測試內容	負荷	採集參數
基礎耐力測試 (Mader et. al., 1976)	階梯式負荷 2.5 m/s / 5min ($\uparrow$ 0.5 m/s)	La：採集至受試者達最大負荷階數 HR：採集至受試者達最大負荷階數
4 x 1000m Rep：6 分鐘 (Vest cooling)	基礎耐力測試 最後完成階段之 速度	La：R-R5、1x-4x、E3-5-7-10-15min HR：R-R5、1x-4x、E5 體表溫度：R-R5、1x-4x、E5 RPE & 熱感覺量表：R-R5、1x-4x、E5
4 x 1000m Rep：6 分鐘 (Hand cooling)		
4 x 1000m Rep：6 分鐘 (Non-cooling)		

第五節 資料處理與統計

- 一、 以 SPSS for windows 19.0 進行統計分析及 Sigma 8.0 繪圖軟體製圖。
- 二、 以相依樣本 t 考驗個別檢驗兩種不同冷卻措施對未冷卻組在結束後最大乳酸堆積、乳酸排除率、E5 之心跳率、RPE & 熱感覺量表與體表溫度之差異。。
- 三、 以重複量數變異數分析個別探討兩種不同運動前、中冷卻對高強度間歇跑之 HR、乳酸、RPE & 熱感覺量表與體表溫度在不同時間點的變化。
- 四、 將兩種不同冷卻方式與未冷卻組在不同時間點之 HR、乳酸、RPE & 熱感覺量表與體表溫度的差異百分比進行對照
- 五、 所有數值以平均值 $\pm$ 標準差表示，統計顯著水準訂為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果分析與討論

本研究以 6 名健康男性於連續三天進行高強度間歇負荷，並於開始負荷前與負荷的間歇期實施冷卻。冷卻方式分為三種，分別為冷卻背心 (Vest-cooling)，手掌降溫 (Hand-cooling) 與控制組 (Non-cooling)，且所有受試者三天之冷卻方式以平衡次序法分配。

本章共分為二節，第一節為探討不同冷卻方式對高強度間歇負荷間歇期恢復機轉之影響。第二節為探討實施不同運動前、中冷卻對高強度間歇負荷後乳酸排除與恢復心跳率之影響。

本研究三組的實驗環境溫度分別為 $33.7 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ (冷卻背心組)、 $33.2 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ (手掌降溫組) 與 $33.1 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ (控制組)；環境濕度分別為 $53.5 \pm 6.3\%$ (冷卻背心組)、 $58.8 \pm 3.1\%$ (手掌降溫組) 與 $55.8 \pm 6.6\%$ (控制組)；冷卻溫度為 $5.2 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ (冷卻背心組) 與 $1.5 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ (手掌降溫組)，其中手掌降溫組之冷卻溫度為以紅外線溫度計距冰水表面上方 15 公分所偵測到之數值，如表 4-0-1 所示。

表 4-0-1 不同冷卻方式實驗環境與冷卻溫度

	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	濕度 (%)	冷卻溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
冷卻背心 (Vest-cooling)	33.7 ± 0.9	53.5 ± 6.3	5.2 ± 2.0
手掌降溫 (Hand-cooling)	33.2 ± 1.1	58.8 ± 3.1	-2.5 ± 1.6
控制組 (Non-cooling)	33.1 ± 1.2	55.8 ± 6.6	—

第一節 實施不同冷卻方式對間歇期恢復機轉之影響

一、血乳酸：

在間歇期 I 時，三組在間歇期結束點的血乳酸平均值皆比負荷剛結束時為高，冷卻背心組前後乳酸的差異值平均為 0.79 ± 1.24 mmol/l，平均乳酸形成率為 0.15 ± 0.25 mmol/l·min；手掌降溫組前後乳酸的差異值平均為 0.18 ± 0.73 mmol/l，平均乳酸形成率為 0.04 ± 0.15 mmol/l·min；控制組前後乳酸的差異值平均為 0.81 ± 0.48 mmol/l，平均乳酸形成率為 0.16 ± 0.10 mmol/l·min；其中控制組前後乳酸值的差異達顯著 ($p < .05$)，如圖 4-1-1 所示。

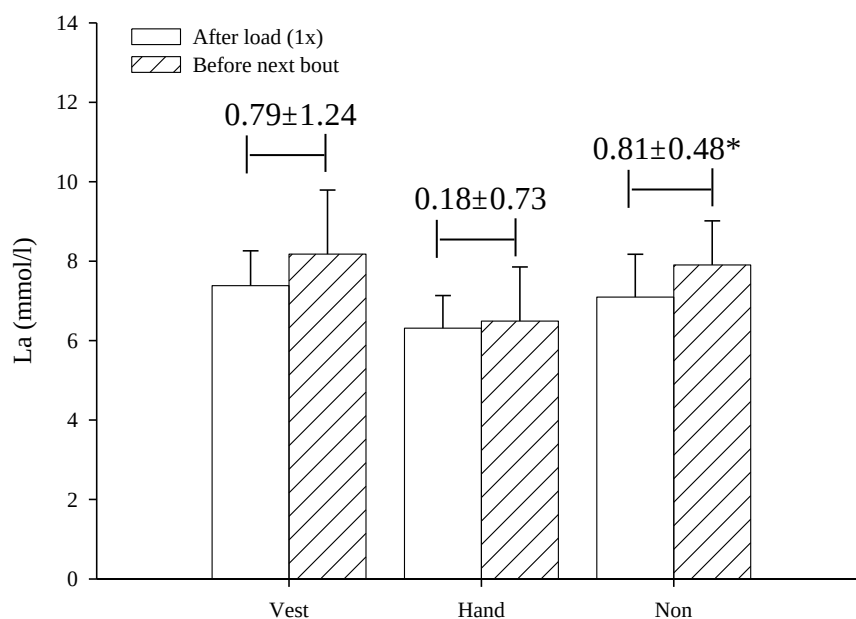


圖 4-1-1 不同冷卻方式在間歇期 I 血乳酸前後差異值 (* : $p < .05$)

在間歇期 II 時，三組在間歇期結束點的血乳酸平均值皆比負荷剛結束時為低，冷卻背心組前後乳酸的差異值平均為 -1.55 ± 1.18 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.31 ± 0.24 mmol/l·min；手掌降溫組前後乳酸的差異值平均為 -0.89 ± 0.81 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.18 ± 0.16 mmol/l·min；控制組前後乳酸的差異值平均為 -0.77 ± 1.10 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.15 ± 0.22 mmol/l·min；其中冷卻背心組與手掌降溫組前後乳酸值的差異達顯著 ($p<.05$)，如圖 4-1-2 所示。

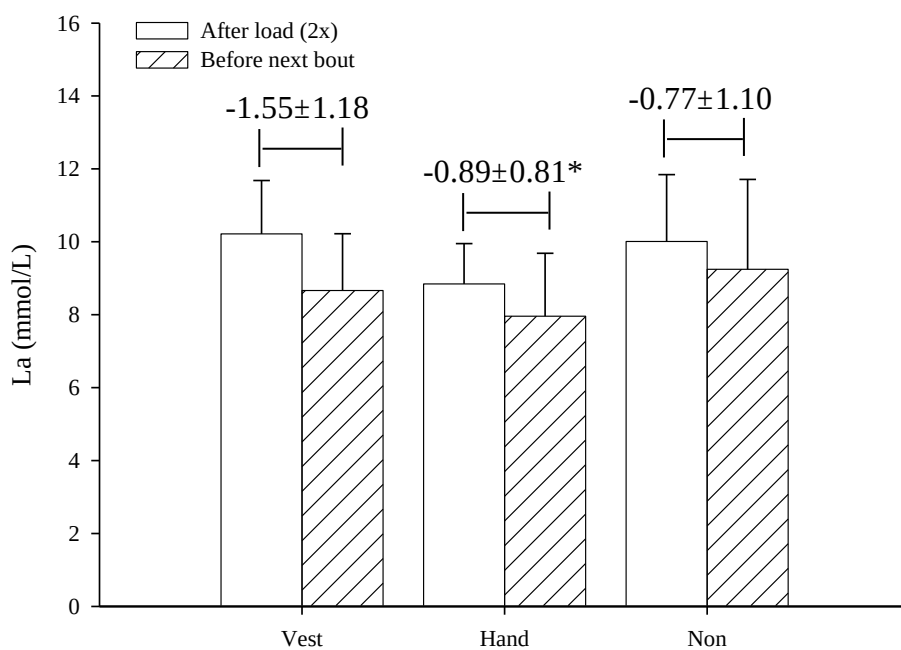


圖 4-1-2 不同冷卻方式在間歇期 II 血乳酸前後差異值 (* : $p<.05$)

在間歇期 III 時，三組在間歇期結束點的血乳酸平均值皆比負荷剛結束時為低，冷卻背心組前後乳酸的差異值平均為 -0.16 ± 0.96 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.03 ± 0.19 mmol/l·min；手掌降溫組前後乳酸的差異值平均為 -0.39 ± 0.67 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.08 ± 0.13 mmol/l·min；控制組前後乳酸的差異值平均為 -0.83 ± 0.98 mmol/l，平均乳酸排除率為 0.17 ± 0.20 mmol/l·min；三組間前後乳酸值的差異均未達顯著 ($p>.05$)，如圖 4-1-3 所示。

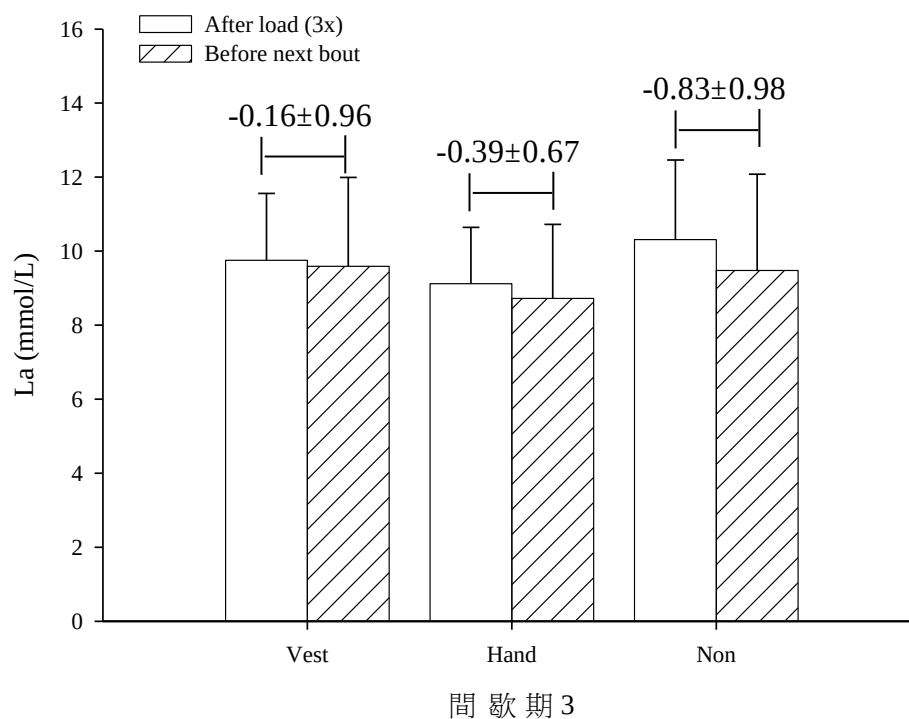


圖 4-1-3 不同冷卻方式在間歇期 III 血乳酸前後差異值

二、恢復心跳率：

間歇期 I 時，冷卻背心組的恢復心跳率平均值為 $109 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-70 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ；手掌降溫組的恢復心跳率平均值為 $109 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-69 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ；控制組的恢復心跳率平均值為 $108 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-68 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ；三組間恢復心跳率與前後心跳率的差異皆未達顯著 ($p>.05$)，如圖 4-1-4 所示。

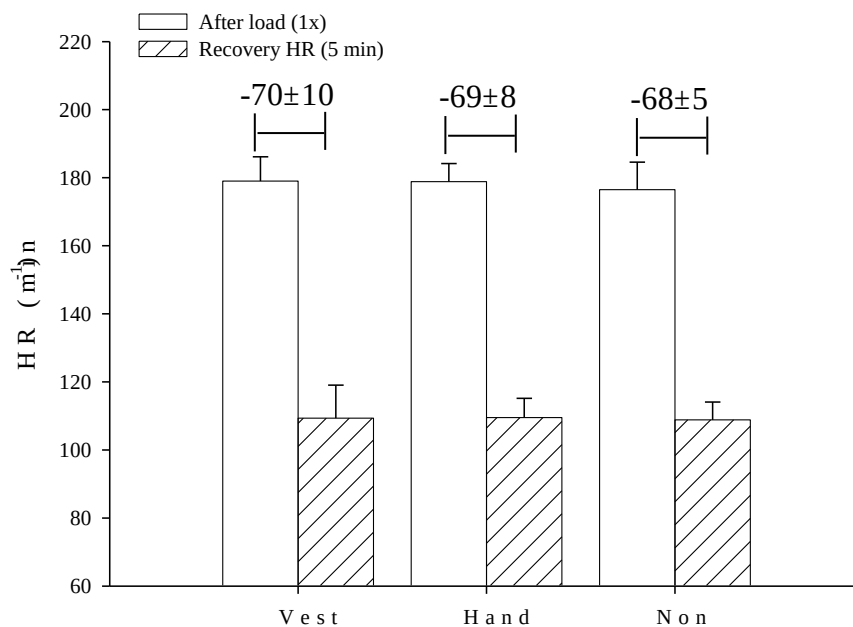


圖 4-1-4 間歇期 I 不同冷卻方式恢復心跳率差異

間歇期 II 時，冷卻背心組的恢復心跳率平均值為 $108 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-76 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ；手掌降溫組的恢復心跳率平均值為 $106 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-78 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ；控制組的恢復心跳率平均值為 $107 \pm 4 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-77 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ；三組間恢復心跳率與前後心跳率的差異皆未達顯著 ($p>.05$)，如圖 4-1-5 所示。

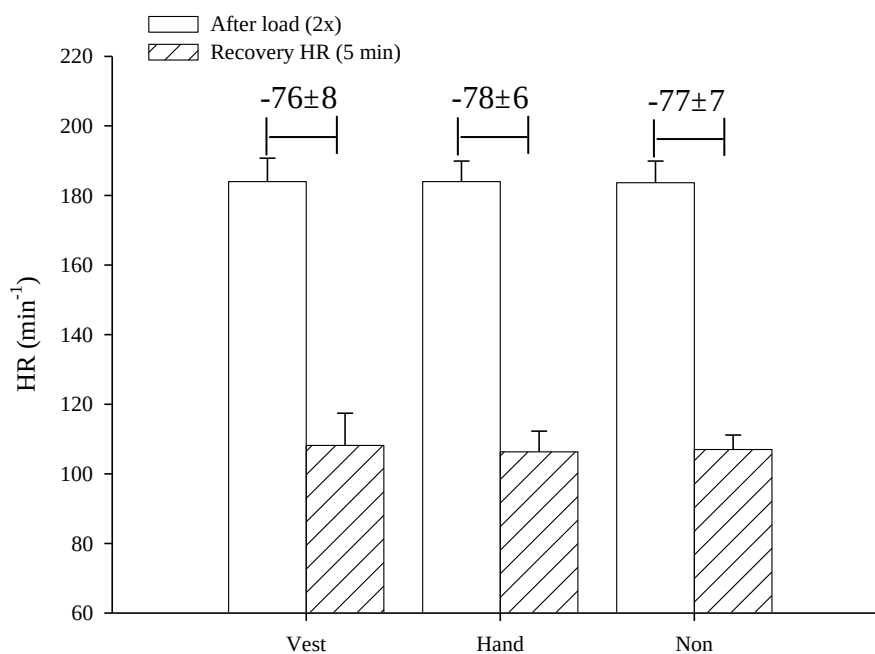


圖 4-1-5 間歇期 II 不同冷卻方式恢復心跳率差異

間歇期 III 時，冷卻背心組的恢復心跳率平均值為 $111 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-75 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ；手掌降溫組的恢復心跳率平均值為 $116 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-71 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ ；控制組的恢復心跳率平均值為 $116 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-69 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ；其中冷卻背心組與控制組的恢復心跳率達顯著差異 ($p < .05$)，如圖 4-1-6 所示。

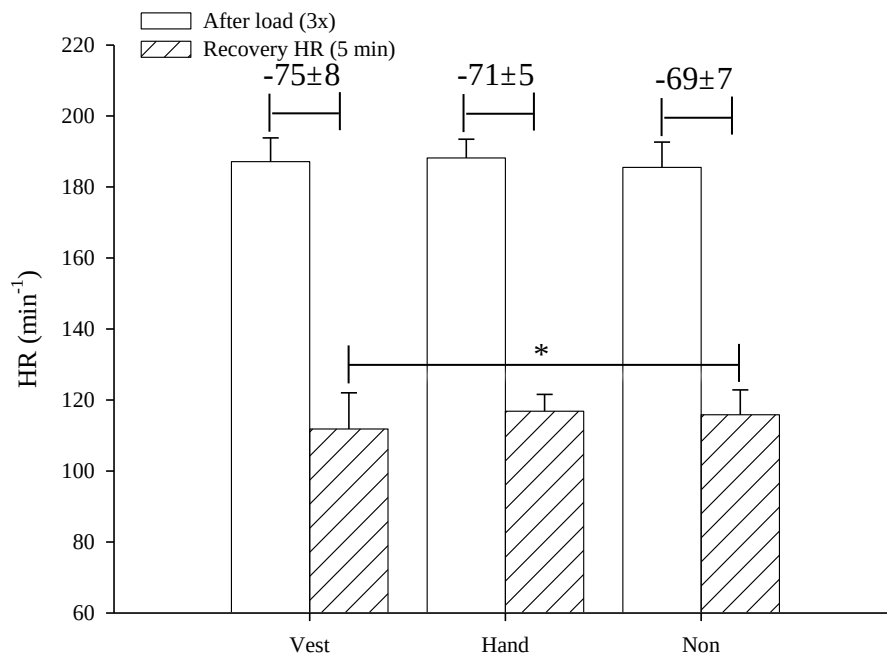


圖 4-1-6 間歇期 III 不同冷卻方式恢復心跳率差異 (*： $p < .05$)

表 4-1-1 為各組內三個間歇期恢復心跳率的差異分析，其中手掌降溫組與控制組在間歇期 II 與間歇期 III 的恢復心跳率達顯著差異 ($p<.05$)。

表 4-1-1 不同冷卻方式三個間歇期恢復心跳率之差異分析

	間歇期 I 間歇期 II (min ⁻¹)	間歇期 II 間歇期 III (min ⁻¹)	Diff.	<i>p</i> 值
冷卻背心 (Vest-cooling)	109 ± 10	108 ± 9	-1	.678
	108 ± 9	111 ± 10	3	.069
手掌降溫 (Hand-cooling)	109 ± 6	106 ± 6	-3	.332
	106 ± 6	116 ± 5	10	.004*
控制組 (Non-cooling)	108 ± 5	107 ± 4	-1	.442
	107 ± 4	116 ± 7	8	.003*

* 表示達顯著， $P<.05$

三、體表溫度：

圖 4-1-7 為負荷過程中不同冷卻方式體表溫度曲線圖。在間歇期 I 時，冷卻背心組的體表溫度平均下降 $0.52 \pm 1.89^{\circ}\text{C}$ ，手掌降溫組平均上升 $0.60 \pm 0.63^{\circ}\text{C}$ ，控制組平均上升 $0.62 \pm 1.26^{\circ}\text{C}$ 。間歇期 II 時，冷卻背心組的體表溫度平均上升 $0.58 \pm 2.57^{\circ}\text{C}$ ，手掌降溫組平均上升 $0.67 \pm 1.68^{\circ}\text{C}$ ，控制組平均上升 $1.64 \pm 0.81^{\circ}\text{C}$ 。間歇期 III 時，冷卻背心組的體表溫度平均上升 $0.96 \pm 1.31^{\circ}\text{C}$ ，手掌降溫組平均上升 $1.78 \pm 1.73^{\circ}\text{C}$ ，控制組平均上升 $1.39 \pm 1.27^{\circ}\text{C}$ ，其中冷卻背心組對手掌降溫組在間歇期 I 與間歇期 III 之結束時體表溫度達顯著差異 ($p < .05$)。

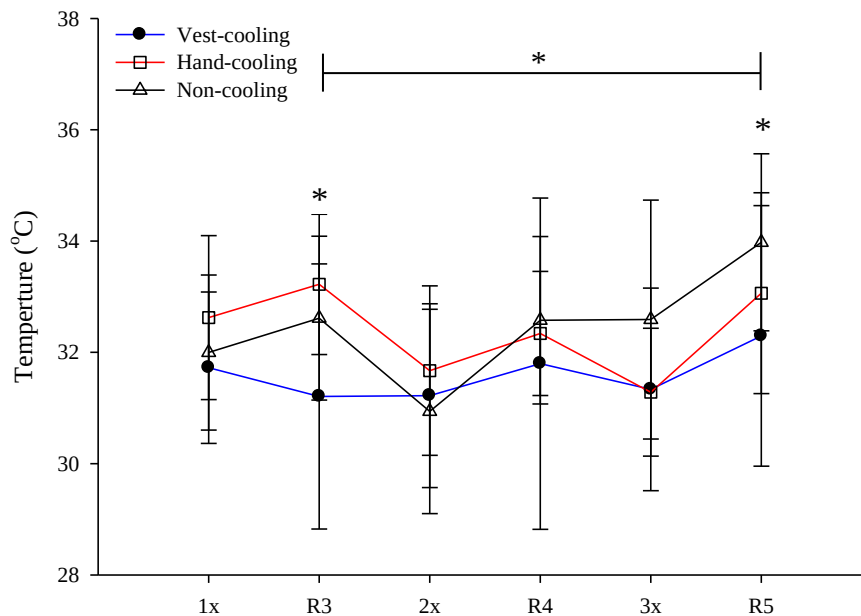


圖 4-1-7 不同冷卻方式間歇期體表溫度曲線圖

(*：Vest-cooling 對 Hand-cooling 達顯著， $p < .05$)

四、運動自覺量表 (RPE) 與熱感覺量表：

圖 4-1-8 為負荷過程中不同冷卻方式運動自覺量表 (RPE) 曲線圖。在間歇期 I 時，冷卻背心組的 RPE 平均下降 3.1 ± 1.6 ，手掌降溫組平均下降 2.5 ± 1.6 ，控制組平均下降 2.8 ± 1.4 。間歇期 II 時，冷卻背心組的 RPE 平均下降 3.0 ± 1.2 ，手掌降溫組平均下降 2.1 ± 1.3 ，控制組平均下降 2.5 ± 2.3 。間歇期 III 時，冷卻背心組的 RPE 平均下降 3.0 ± 2.0 ，手掌降溫組平均下降 2.8 ± 2.2 ，控制組平均下降 1.8 ± 1.4 。三組間在間歇期的 RPE 下降差異值皆未達顯著 ($p>.05$)。不同冷卻方式在間歇期 RPE 下降百分比如表 4-1-2 所示。

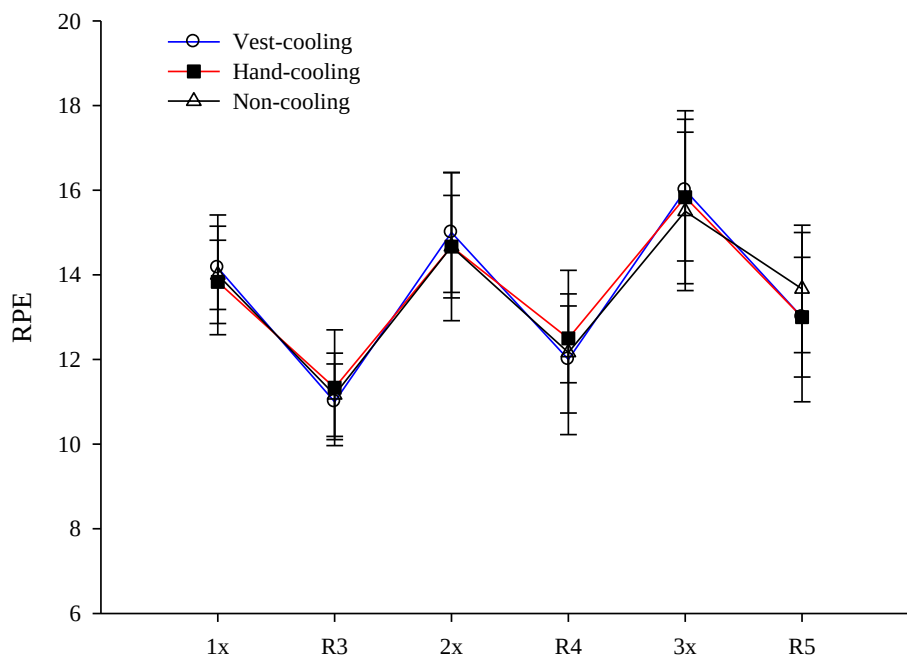


圖 4-1-8 不同冷卻方式間歇期運動自覺量表 (PRE) 曲線圖

表 4-1-2 不同冷卻方式間歇期 RPE 下降百分比

	間歇期	起始點	結束點	下降百分比 (%)
冷卻背心 (Vest-cooling)	I	14.1 ± 0.9	11.0 ± 0.8	22
	II	15.0 ± 1.4	12.0 ± 1.2	20
	III	16.0 ± 1.6	13.0 ± 1.4	18
手掌降溫 (Hand-cooling)	I	13.8 ± 0.9	11.3 ± 1.3	18
	II	14.6 ± 1.2	12.5 ± 1.0	14
	III	15.8 ± 2.0	13.0 ± 2.0	17
控制組 (Non-cooling)	I	14.0 ± 1.4	11.1 ± 0.9	20
	II	14.6 ± 1.7	12.1 ± 1.9	16
	III	15.5 ± 1.8	13.6 ± 1.5	11

圖 4-1-9 為負荷過程中不同冷卻方式熱感覺量表曲線圖。在間歇期 I 時，冷卻背心組的熱感覺量表平均下降 1.3 ± 1.2 ，手掌降溫組平均下降 1.8 ± 0.7 ，控制組平均下降 1.3 ± 1.2 。間歇期 II 時，冷卻背心組的熱感覺量表平均下降 2.3 ± 0.8 ，手掌降溫組平均下降 1.6 ± 0.8 ，控制組平均下降 1.6 ± 0.5 。間歇期 III 時，冷卻背心組的熱感覺量表平均下降 2.1 ± 0.7 ，手掌降溫組平均下降 1.8 ± 1.2 ，控制組平均下降 0.8 ± 0.7 。三組間在間歇期的熱感覺量表下降差異值皆未達顯著 ($p>.05$)。不同冷卻方式在間歇期熱感覺量表下降百分比如表 4-1-3 所示。

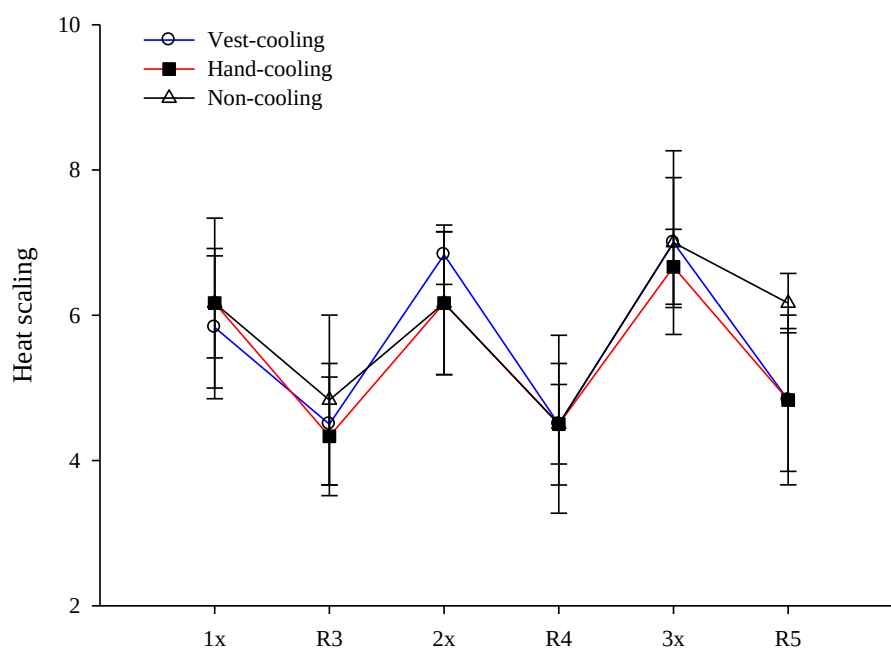


圖 4-1-9 不同冷卻方式間歇期熱感覺量表曲線圖

表 4-1-3 不同冷卻方式間歇期熱感覺量表下降百分比

	間歇期	起始點	結束點	下降百分比 (%)
冷卻背心 (Vest-cooling)	I	5.8 ± 0.9	4.5 ± 0.8	21
	II	6.8 ± 0.4	4.5 ± 0.8	34
	III	7.0 ± 1.2	4.8 ± 0.9	30
手掌降溫 (Hand-cooling)	I	6.1 ± 0.7	4.3 ± 0.8	30
	II	6.1 ± 0.9	4.5 ± 0.5	26
	III	6.6 ± 0.5	4.8 ± 1.1	27
控制組 (Non-cooling)	I	6.1 ± 1.1	4.8 ± 1.1	20
	II	6.1 ± 0.9	4.5 ± 1.2	28
	III	7.0 ± 0.8	6.1 ± 0.4	11

早期研究指出，在運動中實施冷卻能有效降低皮膚表面與身體內部的溫度，減少血量流至體表進行散熱，因而能維持每跳輸出量與降低心跳率，減緩體循環系統與肌肉能量代謝的壓力 (Hessemer et al., 1984; Lee & Haymes, 1995; Olschewski & Bruck, 1988)。近期的研究則認為，冷卻能增進熱環境中運動表現的機制為降低身體內部的起始溫度，減緩運動中體內熱容量的屯積 (Marino, 2002; Quod et al., 2006)。

血乳酸為肌肉在運動時產生的能量代謝物之一，在短時間的高強度負荷會快速的堆積，因此血乳酸的濃度可作為負荷強度的判斷 (Neumann, Pfützner & Hottentott, 1993)。在熱環境中，會因為新陳代謝與體內熱容量囤積速率的增加，因而加速血乳酸的堆積 (Wilmore & Costill, 1994)；而在運動負荷中實施冷卻則能延緩血乳酸堆積的速率 (Duffield et al., 2003)。在本研究中間歇期 I 時，三組的乳酸值在間歇結束點均較負荷剛結束時為高，但手掌降溫組在乳酸形成率、負荷結束時乳酸值與間歇結束點乳酸值均較其他兩組為低；而在間歇期 II 與間歇期 III 時，手掌降溫組在負荷結束時乳酸值與間歇結束點乳酸值仍較其他兩組為低，顯示手掌降溫法對減緩因高強度間歇負荷所引起的能量代謝壓力較穿著冷卻背心為佳。Grahm 等人 (2005) 指出，手掌是許多動靜脈交界處與靜脈叢的聚集處，當血液流經冰水浸泡的手掌時，會將體內產生的熱 (Heat) 帶離至外在環境，因而降低體內熱容量的屯積速率。因此在本研究中，推論可能為手掌降溫法在高強度間歇負荷中較能有效地降低下一次負荷開始時的體內溫度，因而較能減緩血乳酸在熱環境下的堆積。

心跳率的恢復方面，在間歇期 I 與間歇期 II 時，三組皆無達顯著差異，但在間歇期 III 時冷卻背心組與控制組達顯著差異，表示隨著間歇負荷增加，穿著冷卻背心能加速體循環的恢復，與 Duffield 等人 (2003) 的研究相符。若比較冷卻背心與手掌降溫的效果，在間歇期 II 與間歇期 III 的恢復心跳率差異上，

冷卻背心組平均上升 3 min^{-1} ，但手掌降溫組平均上升 10 min^{-1} 且達顯著差異 (表 4-1-1)。因此推論，隨著間歇負荷次數的增加，穿著冷卻背心對體循環的恢復要比手掌降溫法來得有效率。

冷卻背心組與手掌降溫組在間歇期中運動感覺與熱感覺的下降百分比皆大於控制組，且隨著間歇負荷次數的增加，百分比的差異越大 (表 4-1-2 與表 4-1-3)，在比較冷卻背心組與手掌降溫組，冷卻背心組在運動感覺的平均下降百分比略高於手掌降溫組 (20% vs. 16%)，但在熱感覺方面，兩組的下降百分比的平均值幾乎是無差異的 (28% vs. 27%)。本研究結果顯示，實施冷卻能有效地減緩在高強度間歇負荷下的疲勞感與熱壓力 (Heat stress) 下的不舒適感，與過去研究冷卻能減緩在熱環境下的壓力相符 (Duffield, 2008)。

在體表溫度方面，冷卻背心組在間歇期 I 與間歇期 III 時與手掌降溫組的差異達顯著，且在整體曲線上呈現較恆定的狀態 (圖 4-1-7)。此結果顯示，冷卻背心能有效阻隔外界環境的熱輻射與熱傳導進入體內，因而減少血液流至皮膚表面散熱的需要，同時藉由接觸冷卻背心使血液回流時能減緩體內熱容量的囤積，抑制因間歇負荷次數增加而上升的體表溫度。

第二節 實施不同運動前、中冷卻對高強度間歇負荷後乳酸 排除與恢復心跳率之影響

一、血乳酸：

圖 4-2-1 為恢復期不同冷卻方式血乳酸曲線圖。三組的最大乳酸平均值皆發生在負荷剛結束點 (4x)；三組的乳酸排除率分別為：冷卻背心組 0.29 ± 0.06 mmol/l·min，手掌降溫組 0.27 ± 0.05 mmol/l·min，控制組 0.38 ± 0.14 mmol/l·min，且三組在恢復期各時間點均未達顯著差異 ($p>.05$)。

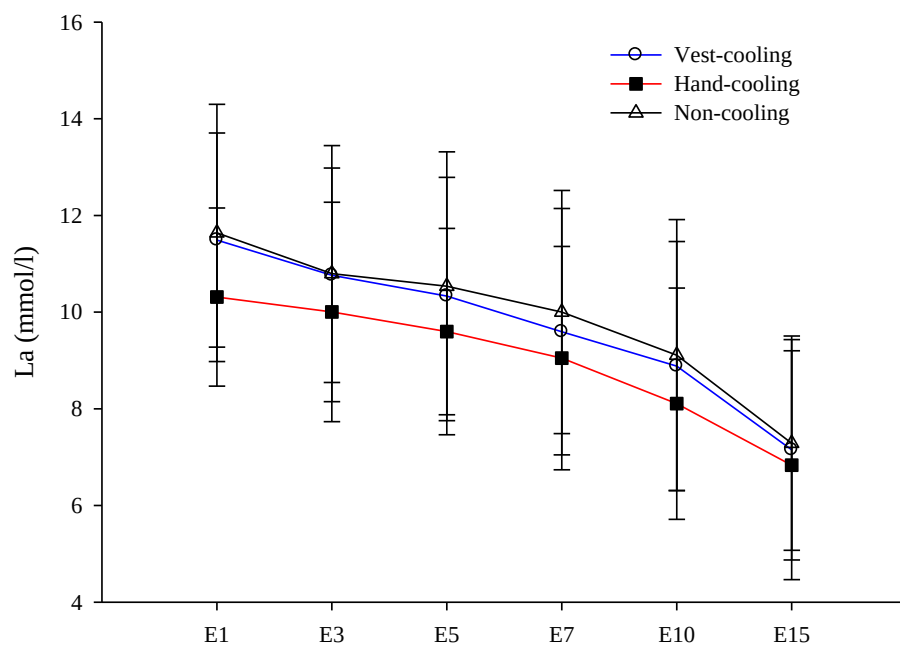


圖 4-2-1 恢復期不同冷卻方式血乳酸曲線圖

表 4-2-1 為恢復期不同冷卻方式乳酸堆積最大平均值 (La_{max})、最後採集點乳酸平均值 (E15)、最大乳酸與最後採集點差異平均值及乳酸下降百分比平均值。

表 4-2-1 為恢復期不同冷卻方式乳酸差異分析

	La_{max}	E15	Diff.	%
冷卻背心 (Vest-cooling)	11.4 ± 2.2	7.1 ± 2.2	4.3 ± 0.9	39
手掌降溫 (Hand-cooling)	10.3 ± 1.8	6.8 ± 2.3	3.4 ± 1.0	35
控制組 (Non-cooling)	11.6 ± 2.6	7.2 ± 2.2	4.3 ± 1.1	38

二、恢復心跳率：

恢復期時，冷卻背心組的恢復心跳率平均值為 $120 \pm 18 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-69 \pm 14 \text{ min}^{-1}$ ；手掌降溫組的恢復心跳率平均值為 $120 \pm 16 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-65 \pm 15 \text{ min}^{-1}$ ；控制組的恢復心跳率平均值為 $119 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ ，前後心跳率的差異平均值為 $-68 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ ；三組之間的恢復心跳率 (E5)未達顯著差異 ($p>.05$)，如圖 4-2-2 所示。

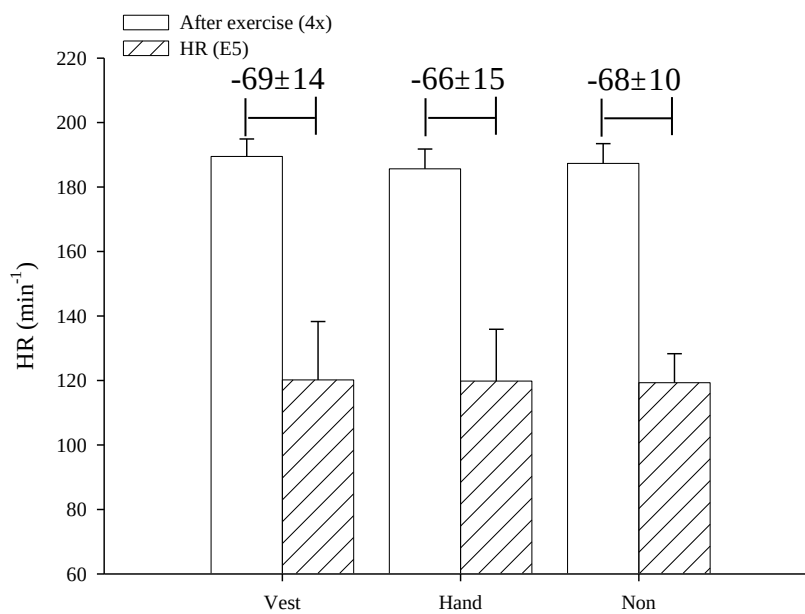


圖 4-2-2 恢復期不同冷卻方式恢復心跳率差異

三、 乳酸排除率與負荷結束點體表溫度 (E1)：

圖 4-2-3 為恢復期乳酸排除率與負荷結束點體表溫度之相關圖。結果顯示，冷凍背心組乳酸排除率與負荷結束點體表溫度呈負相關， $r^2=0.34$ ；手掌降溫組乳酸排除率與負荷結束點體表溫度呈無相關， $r^2=0.004$ ；控制組乳酸排除率與負荷結束點體表溫度呈無相關， $r^2=0.09$ 。

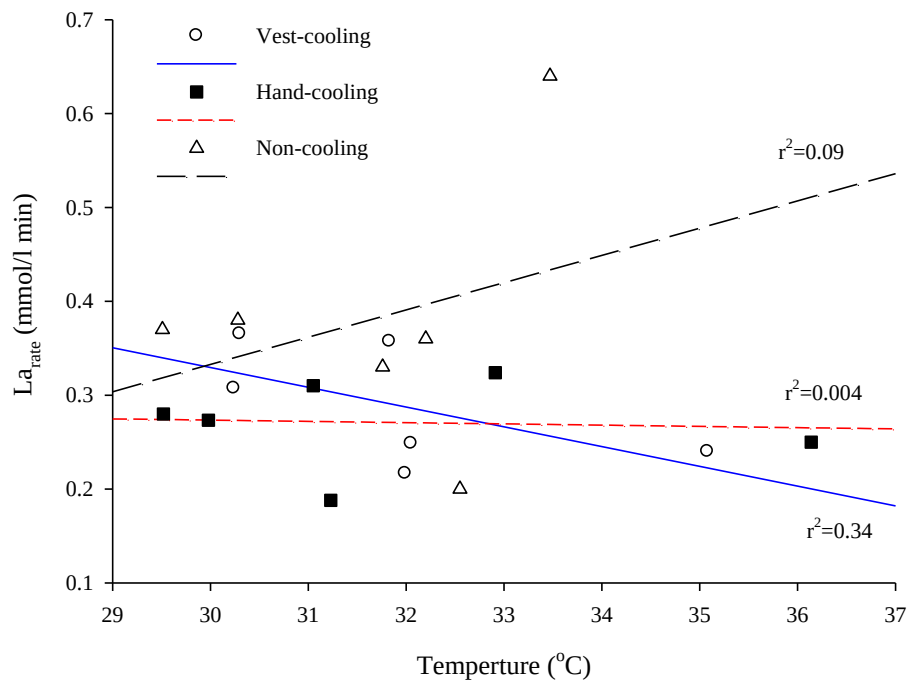


圖 4-2-3 恢復期乳酸排除率與負荷結束點體表溫度之相關圖

四、恢復心跳率 (E5) 與負荷結束點體表溫度 (E1)：

圖 4-2-4 為恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度之相關圖。結果顯示，冷凍背心組恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度呈正相關， $r^2=0.44$ ；手掌降溫組恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度呈正相關， $r^2=0.36$ ；控制組恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度呈無相關， $r^2=0.09$ 。

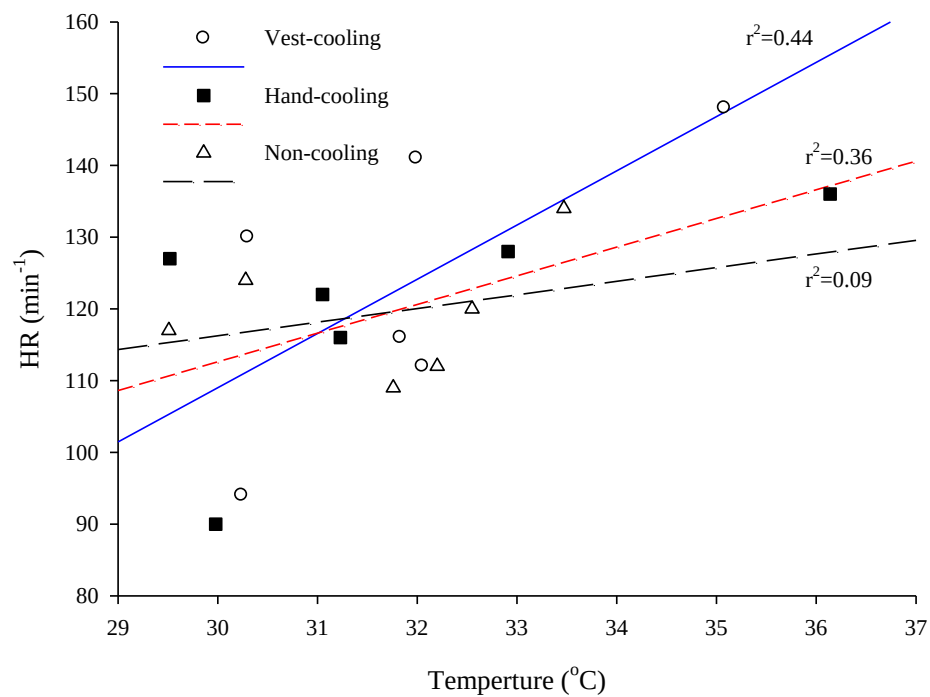


圖 4-2-4 恢復期心跳率與負荷結束點體表溫度之相關圖

Neumann et al. (1991) 指出，最佳乳酸曲線分析是依據運動結束後第一分鐘 (E1) 是否已經達到最大值、最大乳酸值出現的時間點以及最大乳酸值與最後採集點乳酸值之差異。在本研究中，三組最大乳酸平均值皆發生在運動負荷結束點 (4x)，且組間未達顯著差異。但手掌降溫組在整體恢復期的乳酸曲線皆低於冷卻背心組與控制組，顯示在整個高強度間歇負荷的過程中，以手掌降溫法較能減低身體的代謝壓力。在乳酸排除率方面，三組皆約為 $0.3 \text{ mmol/l} \cdot \text{min}$ ，但控制組個別乳酸排除率的差異較大 (範圍： $0.20 \sim 0.64 \text{ mmol/l} \cdot \text{min}$)，且冷卻背心組的乳酸排除率與體表溫度達負相關 (圖 4-2-3)。文獻指出，熱環境下的乳酸排除受個人有氧與熱適應的能力所影響 (Wilmore & Costill, 1994)；本研究結果顯示，在高強度間歇負荷的過程中若加入冷卻措施，可將能量代謝的反應維持在較穩定的狀態，而使用冷卻背心使體表溫度下降則會影響恢復期之乳酸排除率。

在恢復期心跳率方面，冷卻背心組心跳率的恢復較手掌降溫組略高，與控制組相似，但三組間皆未達顯著差異。心臟收縮的次數是由竇房結的放電速度決定，取決於交感與副交感節後神經末梢的刺激 (Zintl, 1994)。在本研究中，恢復心跳率和冷卻背心組與手掌降溫組的體表溫度達正相關 (圖 4-2-4)，顯示在高強度間歇負荷的過程中實施冷卻會影響恢復期之心跳率，與過去研究相符 (Duffield et al., 2003)。

第伍章 結論與建議

本研究為探討不同冷卻方式對高強度間歇負荷中間歇期與恢復期恢復機轉之影響，結果發現手掌降溫法對減緩高強度間歇負荷的代謝壓力效果較佳，而冷卻背心對體循環的恢復較有效率，且隨著間歇負荷次數的增加效果越明顯。冷卻背心與手掌降溫法效果相似。同時使用冷卻背心能使體表溫度在整體曲線上呈現較恆定的狀態，抑制因間歇負荷次數增加而上升的體表溫度。

經本研究於高強度間歇負荷下以不同冷卻方式、在多個時間點施行冷卻的研究與探討，建議如下：在面對濕熱環境的考驗與實際訓練的應用，使用冷卻背心與手掌降溫來降低選手的體循環與代謝壓力及濕熱的不舒適感是可行的。其中手掌降溫法的優點在於準備方便，經濟成本低廉，適合各級運動員使用。然而手掌降溫法冰水的溫度、浸泡的時間點、次數與適用的訓練型態...等仍有待未來繼續研究。

參考文獻

一、中文部分：

中央氣象局 (2012)。每月氣象資料。

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)。運動能力診斷與訓練調整。台北縣林口鄉：台灣運動能力診斷協會。

陳佳慧 (2013)：熱環境藉助冷卻背心對西式划船測功儀高強度無氧負荷運動能力與生理反應之影響。未出版之博士論文，國立體育大學，桃園。

二、外文部分：

Altareki, Drust, Atkinson, Cable, & Gregson. (2009). Effects of environmental heat stress (35 degrees C) with simulated air movement on the thermoregulatory responses during a 4-km cycling time trial. *International Journal of sport medicine*, 30(1), 9-15.

Arngrímsson, S. A., 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. *J Sports Sci Med*, 96, 1867-1874.

Böhmer, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., Schmücker, O. (1975). Das sportmedizinische Untersuchungssystem. *Leistungssport*. (In 張嘉澤：訓練學)

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

Booth, J., Wilsmore, B. R., Macdonald, A. D., Zeyl, A., McGee, S., & Calvert, D. (2001). Whole body pre-cooling does not alter human muscle metabolism

- during sub-maximal exercise in the heat. *European journal of applied physiology*, 84(6), 587-590.
- Casa. (1999). Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. *Journal of athletic training*, 34(3), 246-252.
- Cheung. (2007). Hyperthermia and voluntary exhaustion: integrating models and future challenges. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, 32(4), 808-817.
- Cheung, S., & Robinson, A. (2004). The influence of upper-body pre-cooling on repeated sprint performance in moderate ambient temperature. *journal of sports science*, 22(7), 605-612.
- Dimri, Malhotra, M. S., Gupta, J. S., Kumar, T. S., & Arova, B. S. (1980). Alterations in aerobic-anaerobic proportions of metabolism during work in the heat. *European journal of applied physiology*, 45, 43-45.
- Drust, Rasmussen, Mohr, Nielsen, & Nybo. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica*, 183(2), 181-190.
- Drust, B., Cable, N. T., & Reilly, T. (2000). Investigation of the pre-cooling on the physiological response to soccer-specific intermittent exercise. *European journal of applied physiology*, 81, 11-17.
- Duffield. (2008). Cooling interventions for the protection and recovery of exercise performance from exercise-induced heat stress. *medicine sport science*, 53, 89-103.
- 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.

- 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.
- Gold, A. J., & Zornitzer, A. (1968). Effect of partial body cooling on man exercising in a hot, dry environment. *aerospace medicine*, 39(9), 944-946.
- Gonzalez-Alonso, Teller, & Andersen. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 1032-1040.
- Grahn, D. A., Cao, V. H., & Heller, H. C. (2005). Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 972-978.
- Havenith, G., Luttikholt, V., & Vrijkotte, T. (1995). The relative influence of body characteristics on humid heat stress response. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70(3), 270-279.
- 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., & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin; mit 101 Tabellen*: Schattauer. (In 張嘉澤：運動能力診斷與訓練調整)
- Hollmann, W., & Rost, R. (1982). *Belastungsuntersuchungen in der Praxis*. (In 張嘉澤：運動能力診斷與訓練調整)
- Hsu, Hagobian, Jacobs, Attallah, & Friedlander. (2005). Effects of heat removal through the hand on metabolism and performance during cycling exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 30(1), 87-104.
- Kirkendall, D. T. (1990). Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and science*

- in sports and exercise*, 22(4), 444-449.
- Lee, & Haymes. (1995). Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 1971-1976.
- MacDougall, Reddan, Layton, & Dempsey. (1974). Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36, 538-544.
- Mader, A., Lisen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schurch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit. *Labor.Sportarzt und Sportmed*, 27(4), 80-88. (In 張嘉澤：訓練學)
- Mader A. (1994). Die Komponenten der Stoffwechselleistung in den leichtathletischen Ausdauerdisziplinen –Bedeutung für die Wettkamplleistung und Möglichkeiten zu ihrer Bestimmung. In: Tschiene P (Hrg). *Neue Tendenzen im Ausdauersport*. Bundesausschuß Leistungssport, 1994; 127–220. (In 張嘉澤：運動能力診斷與訓練調整)
- Marino. (2002). Methods, advantages and limitations of body cooling for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), 89-94.
- Marsh, D., & Sleivert, G. (1999). Effect of precooling on high intensity cycling performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), 89-94.
- Maxwell, Aitchison, & Nimmo. (1996). The effect of climatic heat stress on intermittent supra-maximal running performance in humans. *Experimental physiology*, 81(5), 833-845.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Morris, Nevill, Boobis, Macdonald, & Williams. (2005). Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged, intermittent, high-intensity running in air temperatures of 33 degrees and 17 degrees C. *Int J Sports Med*,

26(10), 805-814.

- Myler, G., Hahn, A. G., & Tumilty, D. M. (1989). The effect of preliminary skin cooling on performance of rowers in hot condition *Excel*, 6, 17-21.
- Neumann, G. (1991). Zur Leistungsstruktur der Kurz- und Mittelzeitausdauer-Sportarten aus sport –medizinischer Sicht. *Leistungssport* 21, 29-31. (In 張嘉澤：訓練學)
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottentott, K. (1993). Alles unter Kontrolle. Aachen: Meyer & Meyer. (In 張嘉澤：訓練學)
- Neumann, G., Pfützner, A., & Berbaik, A. (2001). *Optimiertes Ausdauertraining*. (In 張嘉澤：訓練學)
- Nielsen, Strange, & Christensen. (1997). Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. *Pflugers Arch*, 434(1), 49-56.
- Nybo, & Nielsen. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1055-1060.
- Olschewski, & Bruck. (1988). Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *Journal of Applied Physiology*, 64(2), 803-811.
- Parkin, Carey, Zhao, & Febbraio. (1999). Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 902-908.
- Platonov, V. N. (1999). *Belastung-Ermüdung-Leistung*: Philippka.
- Price, M. J., Boyd, C., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2009). The physiological effects of pre-event and mid-event cooling during intermittent running in the heat in elite female soccer players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 34(5), 942-949.
- Price, M. J., & Mather, M. I. (2004). The effect of two cooling strategies during

- prolonged arm crank exercise in hot conditions. *Aviation space and environment medicine*, 75, 220-226.
- Quod, Martin, & Laursen. (2006). Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Medicine*, 36(8), 671-682.
- Ramanathan, N. (1964). A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology*, 19(3), 531-533.
- Reeves, Dempsey, & Grover. (1989). *Lung biology in health and disease* (Vol. 38): Dekker, New York, NY, ETATS-UNIS (1976) (Revue).
- Rowell, Brengelmann, Blackmon, Twiss, & KusuMi. (1969). Splanchnic blood flow and metabolism in heat-stressed man. *Journal of Applied Physiology*, 24, 475-484.
- Selkirk, Mclellan, & Wong. (2004). Active versus passive cooling during work in warm environment while wearing firefighting protective clothing. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 1, 521-531.
- Shapiro, Y., Pandolf, K. B., Sawaka, M. N., & Goldman, R. F. (1982). Auxiliary cooling: comparison of air-cooled vs. water-cooled vests in hot-dry and hot-wet environments *Aviation space and environment medicine*, 53(8), 785-789.
- Siegel. (2011). *Thermoregulatory and exercise performance responses to cooling with ice slurry injection*. Edith Cowan University.
- Siegel, & Laursen. (2012). Keeping your 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.
- Snow, R. J., Febbraio, M. A., Carey, M. F., & Hargreaves, M. (1993). Heat stress increases ammonia accumulation during exercise in humans *Experimental Physiology* 78, 847-850.
- Ü ckert, S., & Joch, W. (2007). Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 380-384.
- Webborn, N., Price, M. J., Castle, P., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2010). Cooling strategies improve intermittent sprint performance in the heat of athletes with tetraplegia. *British Journal of Sports Medicine*, 44(455-460).
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*: Human Kinetics Publishers.
- Young, Sawka, Levine, Cadarette, & Pandolf. (1985). Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *Journal of Applied Physiology*, 59, 1929-1935.
- Zintl, F. (1994). Ausdauertraining (Zusammengestelltnach Angeben von Keuletal .1986, Kindermann1978,Badtkeetal.1987) *Grundlagen, Methoden , Trainingssteuerung* 188-189. (In 張嘉澤：運動能力診斷與訓練調整)