

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、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體
溫度與肌肉能量路徑之效果

**The Effects of Different Pre-Intermittent-Cooling in High-Intensity
Interval Exercise on Body Temperature and Muscle Energy Path**

指導教授：張嘉澤 博士
研 究 生：李智瑋 饅

中 華 民 國 103 年 6 月



國立體育大學
National Taiwan Sport Universit

本論文：運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度
與肌肉能量路徑之效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生李智瑋所提，
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

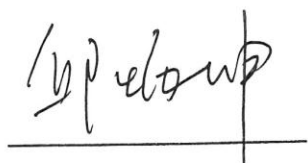
中華民國 103 年 6 月

論文考試委員



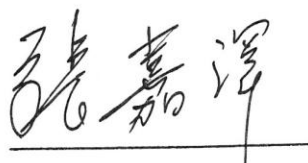
詹元碩 博士

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、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度與肌肉能量路徑之效果

摘要

本研究目的探討於室外濕熱環境下，在運動前、中藉助不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度與肌肉能量路徑之效果。方法：研究對象為 6 名健康男性運動員為受試對象，平均年齡 25 ± 7.1 year-old；身高 174 ± 7 cm；體重 67.2 ± 11.7 kg。實驗設計為以下兩種測試，首先進行跑步機階梯式負荷測試，休息 2 天，以平衡次序法分別在運動前及間歇期實施 Vest cooling、Hand cooling 以及 Non cooling，於室外進行連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇跑負荷測試。分別觀察運動中乳酸、血氨、心跳率、體表溫度、運動努力知覺量表與熱感覺量表之差異。結果：於室外進行連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇跑負荷，透過 Vest cooling 與 Hand cooling 於運動中乳酸、血氨、心跳率、體表溫度、運動努力知覺量表與熱感覺量表均未達顯著差異。但在體表溫度、乳酸及血氨則有呈現下降趨勢。結論：不同冷卻方式於室外進行連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇跑負荷之效果，研究中發現 Hand cooling 優於 Vest cooling。因此，建議未來在熱環境下進行高強度訓練時，於運動前及間歇期可實施 Hand cooling 來提高身體散熱的速率，加速肌肉無氧糖酵解的效率，減緩身體能量代謝的壓力，進而提高訓練時的品質與效果。

關鍵詞：冷卻、體溫調節、乳酸

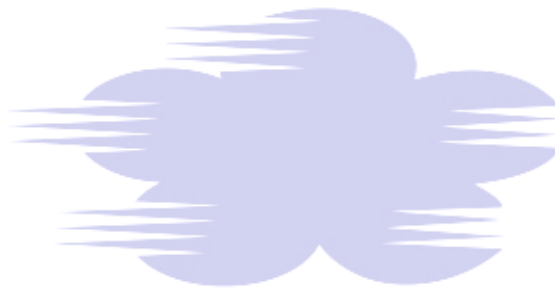
The Effects of Different Pre-Intermittent-Cooling in High-Intensity Interval Exercise on Body Temperature and Muscle Energy Path

Abstract

The **purpose** of this study was to investigate the effects of different pre-intermittent cooling for thermoregulation and muscle energy pathway on high-intensity interval exercise in hygrothermal environment before and during exercise. **Methods** : 6 healthy male participated (Age 25 ± 7.1 year-old ; Height 174 ± 7 cm ; weight 67.2 ± 11.7 kg) in this study. There are two tests in this experiment : one of these is high intensity interval exercise (4x1000 m running) and another is incremental treadmill test. Use the incremental treadmill test to find out the personal speed of last stage, and they will do high-intensity interval exercise (4x 1000m running) for 3 days with these personal speed. A counter balance order was used for all subject. Vest cooling, Hand cooling and Non-cooling will be used during the 3 days' test before and during exercise. The differences of Blood lactate, blood ammonia, heart rate, temperature (skin), rating of perceived exertion (RPE) and thermal sensation will be observed in this experiment. **Result** : In 3 days high-intensity interval exercise (4x 1000m running), the results showing that skin temperature, blood lactate, blood ammonia, rating of perceived exertion (RPE) and thermal sensation are no significant differences, but skin temperature, blood lactate, blood ammonia are having the decreasing trend. **Conclusion** : The effect of 3 day's high intensity interval running in different cooling way, we found that hand cooling is better than vest cooling. Therefore, we suggest that when taking High intensity interval exercise in hot and

humidity environment, hand cooling can be used before exercise and in interval phase, to enhance the radiating rate of body heat, speed up the effect of anaerobic glycolysis, reduce the stress of metabolic and the quality and effectiveness of training may improve.

Keywords : Cooling, Thermoregulation, Lactic acid



致謝

首先要感謝敬愛的指導教授張嘉澤老師，在訓練生理以及運動能力診斷的領域裡教導我正確的專業知識與實務經驗，並給予我訓練選手的機會，讓我在訓練實務上可以實際運用，從中學習到如何擬定訓練計畫、訓練診斷以及訓練調整，科學訓練與實務經驗是我在碩士班學習過程中最大的收穫。而在學術研究過程中，提供許多的建議和方向供我思考，且不時的關切研究進度，若沒有老師的鞭策，本研究未能順利且如期完成，在此心中充滿了感激和感謝。同時，感謝口試委員邱炳坤教授及詹元碩副教授，在論文口試時給予我關於論文的指導、補充與建議，使得本論文更為完整，由衷的感謝兩位口試委員。

在碩士班的求學過程中，特別感謝競技學院院長兼競技與教練科學研究所所長邱炳坤教授，當初給了我許多的建議和幫助，以及感謝所上諸多老師的指導和幫助，使我能順利完成學業。感謝所辦的茵婷姐協助並幫忙我關於修業課程與畢業之相關規定。感謝 SPDI 研究室的佳慧學姐、月琪學姐及德盛學長在實驗上以及論文建議上給予我很多的幫助，以及有祥、敬衡、奕勳、婉禎、蔡老闆、賓哥、俊霖、松潛、育綺、婉柔...等人，對於實驗研究的幫忙與協助，以及平常的照顧與幫忙，SPDI 研究室讓我學會團隊合作、互相幫忙及互相交流，使得自己和 SPDI 團隊更壯大，在此非常感謝 SPDI 的夥伴們。此外，感謝新北市巧固球團隊，方慎思教練的栽培、鼓勵與支持，教練永遠是我的榜樣和目標，還有球隊的學長以及學弟們，你們是我堅持的原動力。

最後，感謝在這求學的過程中，一路上無怨無悔支持我的家人，以及金門學長、潘帥學長、惟淳、廷宇、匡評及偉佑這群兄弟們，給予我精神與實質上的支持、鼓勵和幫助。家人是我的信仰，家是我的依靠，沒有您們就不會有今天的我。如期順利完成學業，在此將這份榮耀及喜悅與您們一同分享，衷心的感謝您們。

李智瑋 謹識

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	IV
目錄	VI
表目錄	VII
圖目錄	VIII
中英文對照表	IX
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	4
第三節 名詞操作性定義	5
第貳章 文獻探討	6
第一節 運動強度與能量代謝	6
第二節 熱環境下體溫調節機制	8
第三節 不同冷卻方式對體循環、新陳代謝與運動表現之影響	12
第四節 文獻總結	15
第參章 研究方法	16
第一節 研究對象	16
第二節 實驗時間與地點	16
第三節 實驗方法與步驟	17
第四節 實驗流程	19
第五節 實驗儀器與設備	20
第六節 資料處理與統計分析	20

第肆章 結果分析與討論	21
第一節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度調節之效果.....	22
第二節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷心跳率與肌肉能量路徑之 效果.....	27
第三節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷體表溫度與心跳率之相關	33
第伍章 結論與建議	35
參考文獻	36
中文部分	36
外文部分	36
附錄	42
附錄一 受試者實驗同意書.....	42
附錄二 疾病調查表.....	43
附錄三 運動努力知覺量表 (RPE).....	44
附錄四 熱感覺量表 (TS).....	45

表 目 錄

表 3-1-1 受試者基本資料	16
表 3-3-1 階梯式負荷測試方式	17
表 3-3-2 採集生物參數時間點	18
表 4-1-1 環境溫度、濕度與冷卻溫度	21



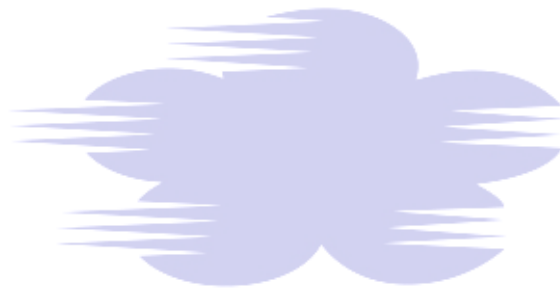
圖 目 錄

圖 2-1-1 能量提供與運動持續時間之關係.....	7
圖 2-2-1 人體藉由散熱作用將體內過多的熱能移轉至環境中	11
圖 2-2-2 不同環境溫度於休息狀態，分佈人體各部位之體溫.....	11
圖 3-3-1 連續 3 天 4x1000 m 高強度間歇跑負荷測試方式	18
圖 3-4-1 實驗流程	19
圖 4-1-1 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後體表平均溫度之分析.....	22
圖 4-1-2 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後運動努力知覺量表之分析	24
圖 4-1-3 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後熱感覺量表之分析	25
圖 4-2-1 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後平均心跳率之分析	27
圖 4-2-2 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後平均血乳酸之分析	29
圖 4-2-3 高強度 4x1000 m 間歇跑負荷後平均血氨之分析	31
圖 4-3-1 高強度 4x1000 m 間歇跑於第四次 (4x) 負荷結束後心跳率與體表平均溫度之關係.....	33

中英文對照縮寫表

縮寫	英文	中文
ATP	adenosine triphosphate	單磷酸三腺苷
ADP	adenosine diphosphate	腺嘌呤核苷二磷酸
AMP	adenosine monophosphate	單磷酸腺苷
ATP-PC	adenosine triphosphate -phosphocreatine	磷化物系統
CP	creatine phosphate	磷酸肌酸
H	hand cooling	手掌冷卻
HR	heart rate	心跳率
h	hour	小時
IMP	inosine monophosphate	肌核苷單磷酸鹽
km/h	kilometer per hour	每小時所含有之公里
La	lactic acid	乳酸
m	meter	公尺
mmHg	millimeter hydrargyrum	毫米汞柱
mmol/l	millimoles per liter	每公升所含毫莫耳數
min	minute	分鐘
min ⁻¹	beat per minute	每分鐘心跳率
m/s	meter per second	每秒公尺數
N	non cooling	無冷卻
NH ₃	ammonia	血氨
pH	pondus hydrogenii	酸鹼值
Pi	phosphate	磷酸根
R	rest	安靜值
Rep	repeat	重覆

RPE	rating of perceived exertion	運動努力知覺量表
s	second	秒
ml	microliter	微升
V	vest cooling	冷卻背心冷卻
$\dot{V}O_{2max}$	maximal oxygen consumption	最大攝氧量
W	watt	瓦特
x	end of exercise	運動次數



第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

環境溫度是影響運動表現的關鍵因素，過去研究指出，當人體在濕熱環境下運動，容易造成體內的核心溫度升高，進而影響了運動表現 (Galloway & Maughan, 1997；McDougall, Reddan, Layton, & Dempsey, 1974)。同時，亦會影響身體的能量代謝、心肺功能、體內體液平衡、中樞神經系統以及動作控制 (陳佳慧, 2013)。在能量代謝方面，低血糖與肌肉內肝糖的耗竭，同時伴隨著碳水化合物的氧化與乳酸的堆積，是影響運動疲勞的因素，尤其在熱環境下運動，更加快了肌肉內肝糖的消耗率 (Febbraio, Snow, Hargreaves, Stathis, Martin, & Carey, 1994a；Parkin, Carey, Zhao, & Febbraio, 1999)。而在體循環方面，熱環境下進行高強度運動，會減少心輸出量、肌肉的血流量以及氧氣的輸送，進而減少最大攝氧量 (Gonzalez-Alonso & Calbet, 2003)。Brearley 與 Finn (2003) 指出，人體在環境溫度超過 30 °C 相對溼度 60% 以上時會無法適應熱壓力 (heat stress)，限制人體藉由蒸發散熱的能力。因此，在熱環境運動下，身體的核心溫度上升，容易造成生理傷害，且降低運動能力，嚴重時會導致熱衰竭、熱痙攣甚至死亡。

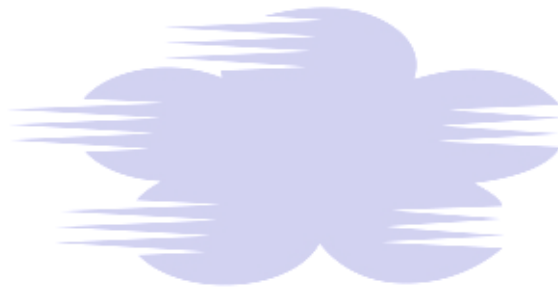
而台灣位於亞熱帶地區，夏季氣候屬於高溫濕熱，根據中央氣象局統計，2012 年台北 7、8 月平均溫度與濕度分別為：30.6 °C/65%；29.2 °C/75%。而台灣選手的訓練時段，大多數都在下午 2 點到 5 點的這段期間，正屬天氣最炎熱的時段，許多運動項目需要在溼熱的環境下進行訓練，對於身體的生理和心理都是一大挑戰。因此，教練和選手都在尋找解決方法，以利克服在熱環境下達到較佳的訓練品質及運動表現。

現今科技不斷的研發創新以及訓練工具的運用，藉由訓練工具輔助的方式，使運動員能夠在最短的訓練期間達到較好的訓練品質和運動表現。過去有許多研

究運用許多不同的冷卻方式來降低身體的溫度，進而減輕疲勞、防止熱傷害的產生，並提升運動員的運動表現 (Arngrimsson, Petitt, Stueck, Jorgensen, & Cureton, 2004 ; Booth, Wilsmore, Macdonald, Zeyl, McGhee, & Calvert, 2001 ; Cheung & Robinson, 2004)。而過去研究主要分為冷卻的時間點、冷卻的方式以及運動的型態。在冷卻的時間點分別有運動前 60 min 實施水中浸泡 (24~29 °C)，隨後進行腳踏車測試，強度為 60% $\dot{V}O_{2max}$ 時間為 35 min。研究結果顯示，直腸溫度與肌肉溫度下降 (Booth et al., 2001)。間歇期實施冷卻背心降溫，方式為腳踏車重複間歇衝刺。研究結果顯示，乳酸、心跳率、核心溫度及體表溫度並無顯著差異 (Duffield, Dawson, Bishop, Fitzsimons, & Lawrence, 2003)。以及運動全程實施冷卻背心冷卻降溫，方式為腳踏車間歇衝刺至耗竭。研究結果顯示，降低核心溫度與皮膚溫度，提升運動表現 (Webborn, Price, Castle, & Goosey-Tolfrey, 2010)。而冷卻的方式有 Marsh 與 Sleivert (1999) 於運動前實施 30 min 水浸泡 (12~14 °C)，隨後進行 70 s 腳踏車最大動力測試。研究結果顯示，直腸溫度、身體平均溫度下降並提升最大動力輸出表現。Joch, Ü ckert, 與 Fricke (2003) 於運動前進入低溫室 (-110 °C) 實施冷卻降溫的方式，隨後進行 5×2 min (250 Watt)。研究結果顯示，乳酸及血氨值顯著低於對照組。冷卻背心降溫方面，陳佳慧 (2013) 以 8 名高中健康男性西式划船選手，分別進行 1×2000 m 最大努力與 4×1000 m 間歇兩種高強度無氧負荷測試。研究結果顯示，全程冷卻能有效維持身體的溫度調節，並提升運動表現。而手掌冷水浸泡降溫方面，Selkirk, McLellan, 與 Wong (2004) 以 15 名男性消防員著全副武裝，於跑步機上進行 50 min 間歇運動 (4.5 km/h)，研究結果顯示，全程手掌冷卻組運動持續時間比未冷卻組增加 46 min。從上述文獻得知，在運動型態方面有短時間高強度、間歇、長時間持續性耐力與耗竭型態，而過去較多的研究為持續性耐力以及耗竭運動為主，冷卻時間大於 30 min。研究之效果主要分為體溫調節、新陳代謝及運動表現來做探討，在這些研究中，皆證實在短時間高強度、長時間耐力運動或是耗竭型運動，冷卻降溫可以有效降低核心溫度以及皮膚溫

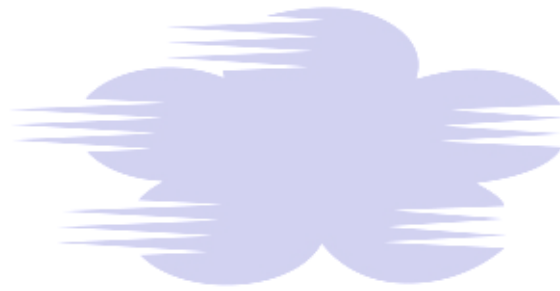
度，且能有效改善運動表現。

而台灣大多數選手訓練的環境皆在室外，且訓練的時段在 2 點到 5 點之間，是屬於最濕熱的時段。因此，欲透過在室外濕熱的環境下運動並實施冷卻，冷卻的方式為冷卻背心以及手部浸泡冰水兩種冷卻方式，冷卻的時間為運動前以及間歇期實施短時間冷卻，於室外田徑場進行 4×1000 m 高強度間歇跑負荷，探討對其身體溫度、心跳率與肌肉能量路徑之效果。



第二節 研究目的

- 一、探討運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度調節之效果。
- 二、探討運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷心跳率與肌肉能量路徑之效果。



第三節 名詞操作性定義

一、核心溫度 (Core body temperature)

人體的體溫是恆定的，身體溫度維持在 $37\pm0.5^{\circ}\text{C}$ (世界衛生組織 WHO)，稱之為核心溫度。

二、體表平均溫度

本研究採用 Ramanathan (1964) 之計算方式。測量身體四個部位，分別是胸部、上臂、大腿以及小腿，並帶入公式換算。其公式如下：體表平均溫度 = $0.3(\text{胸部} + \text{左上臂}) + 0.2(\text{左大腿} + \text{左小腿})$ 。

三、運動努力知覺量表 (Rating of perceived exertion scale, RPE)

本研究採用 Brog (1982) 所提出運動努力知覺量表，受試者在進行實驗測試時的自身感覺 (心跳、呼吸、肌肉疲勞等) 以推估測試時的強度，分數由 6 至 20 分 (完全沒有費力的感覺至最大負荷)。

四、熱感覺量表 (Thermal sensation, TS)

本研究採用 Gagge, Stolwijk, 與 Hardy (1967) 所提出的熱感覺量表，受試者在進行實驗測試時對於溫度的自我感知，此量表分數由 0 至 9 分 (難以忍受的冷至非常的熱)。

第貳章 文獻探討

第一節 運動強度與能量代謝

人體在從事運動負荷時，主要的能量路徑為脂肪、碳水化合物以及蛋白質。腺嘌呤核苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 是提供細胞高能量分子，作為能力的儲存、分解與釋放。它提供了大部分身體功能立即的能量來源，包括肌肉收縮、神經信息傳遞等其他生理反應。而 ATP 的來源可由不同的能量系統產生，主要是依據運動負荷之強度、持續時間、休息時間等型態而定。而磷化物 (ATP-PC) 系統、無氧糖酵解 (anaerobic glycolysis) 系統以及有氧 (aerobic) 能量系統為人體能量系統提供 ATP 之來源 (Wilmore, Cosill, & Kenney, 2008)。

能量系統的使用路徑是依據運動負荷強度與運動負荷時間的長短而決定 (張嘉澤, 2010)。三大能量來源系統中，運動負荷小於 10 s 內之短時間高強度運動，主要能量系統為磷化物 (ATP-PC) 系統；運動負荷 40 s 至 3 min 之高強度運動，其主要能量系統為無氧糖酵解 (anaerobic glycolysis)；運動負荷超過 3 min 以上之低強度長時間運動，主要能量系統為有氧 (aerobic) 能量系統 (Badtke, 1987)，如圖 2-1-1。而無氧糖酵解作用，即為肝糖或葡萄糖代謝路徑至丙酮酸，丙酮酸轉換成代謝產物乳酸。乳酸由肌肉產生，並透過擴散方式進入血液，最後乳酸經由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 和不活動肌 (30%) 排除 (Mader, Heck, Fahrenbach, & Hollmann, 1979; Hermansen & Stensvold, 1972)。當肌肉細胞氧氣足夠供應時，檸檬酸循環會進一步氧化成水及二氧化碳，稱之為有氧系統。而人體在進行高強度持續運動時，人體內 ATP-PC 急速消耗，使大量二磷酸腺苷 (ADP) 與磷酸根 (Pi) 結合以供給 ATP 來源，每 2 分子 ADP 與 Pi 結合即產生 1 分子的 ATP 與 1 分子的一磷酸腺苷 (AMP)，而 AMP 會進入嘌呤核苷酸循環 (The Purine Nucleotide Cycle) 此過程中受到腺苷酸脫氨酶催化作用，而產生肌核苷 (IMP) 與

血氨 (Lowenstein, 1972)。而運動負荷所產生的乳酸 (La) 與血氨 (NH_3) 的濃度堆積，主要來自於快縮肌 (Typ-II b) 肌肉纖維 (Stegemann, 1971)。而血氨的生成量會依據運動的持續時間以及運動的強度而有所不同 (Banister, 1983)。過去研究指出，血氨值將會隨著運動強度的上升以及負荷的累積，而呈現上升趨勢，血氨值升高將反映出人體無氧系統失衡，使骨骼肌代謝受到影響，進而影響肌肉收縮能力導致疲勞產生 (Banister & Cameron, 1990)。

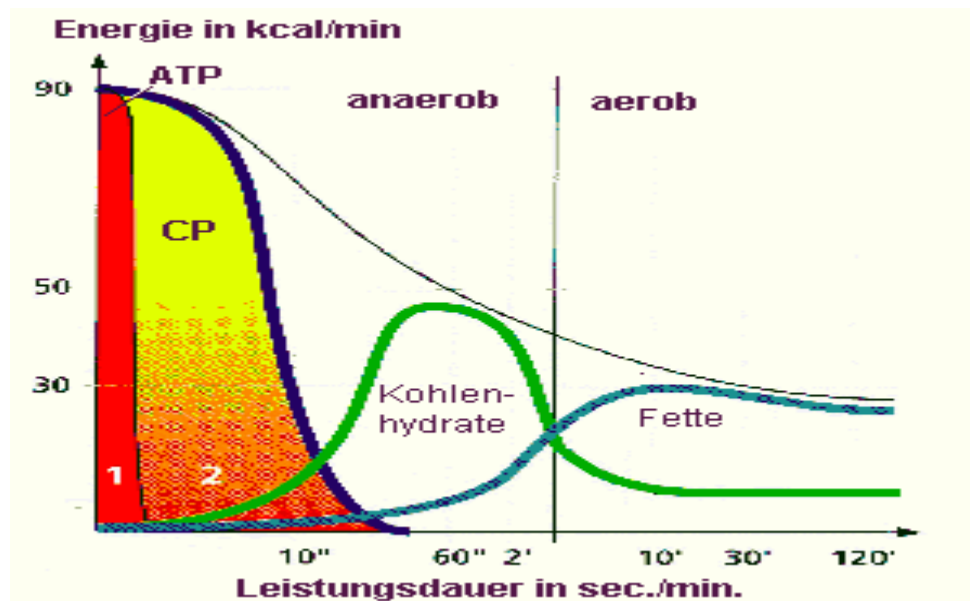


圖 2-1-1 能量提供與運動持續時間之關係 (引自 Badtke, 1987)

第二節 熱環境下體溫調節機制

對於人類生存來說，身體的恆定 (homeostasis) 是相當重要的因子，其中體溫調節 (thermoregulation) 是恆定維持的要素之一 (McArdl, Katch, & Katch, 2006 ; Widmaier, Raff, & Strang, 2006)。人體正常體溫為 $37\pm0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (世界衛生組織 WHO)，體溫反應身體的熱平衡，要維持體溫的恆定，必須先在產熱與散熱間取得平衡，一旦平衡受到破壞，體溫隨即改變。體溫控制中樞是在大腦中稱為下視丘 (hypothalamus) 的區域，下視丘的功能就像恆溫器，以維持生理機能的正常運作 (Blatteis, 2001)。

人體的產熱，主要來自細胞內的物質氧化以及代謝過程，產熱的多寡會受到身體的代謝速率影響，而骨骼肌是身體的最大熱能來源。運動時，肌肉代謝所產生的熱能，以及肌肉傳導到血液和皮膚的熱能，會使肌肉溫度急速上升，然而肌肉和血液的熱能，隨著靜脈流回身體核心，亦會造成核心溫度上升。當體內的熱能過高時，身體的熱平衡機制啟動，身體核心的熱能會藉由傳導與對流的方式移至皮膚，經由血液對流至皮膚微血管進行散熱，而部分的熱能亦會經由呼吸道水分的蒸發以及尿液等離開核心。皮膚是身體的熱能槽，大部分身體產生的熱經由血液對流的方式流動到皮膚藉由輻射、傳導、對流以及蒸發四種方式將熱能移轉至環境中 (圖 2-2-1)。

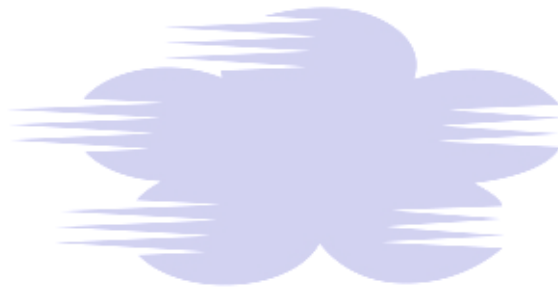
輻射 (radiation)：是指熱能以電磁波的方式散失至環境中，因為體溫通常高於環境。當環境溫度高於 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時，身體幾乎無法藉由輻射方式散熱，反之，熱能會以電磁波的方式將熱能輻射至人體 (McArdl et al., 2006)。傳導 (conduction)：是指藉由直接接觸，將熱能傳導到較低溫的物體。而水的傳導作用比空氣快 240 倍。因此，可藉由浸泡方式使身體熱能快速的散失。對流 (convection)：是指熱能經由周圍環境空氣流動交換的速率而散失。運動時，透過體內血液重新分配，皮膚表面微血管擴張，血液流向皮膚進行散熱。當環境溫度高於 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，體表溫

度與環境溫度相近時，體內熱能就難以藉由傳導、輻射以及對流散失 (McArdl et al., 2006)。蒸發 (evaporation)：是人體進行散熱的最後途徑。係指在運動時，人體藉由皮膚流汗經由蒸發作用達到熱能散失。而當膚表溫度與環境溫度相近，此時，蒸發為人體散熱的主要途徑，約為 80% 左右。然而，當環境相對濕度超過 75% 時，人體藉由蒸發散熱的能力就會降低。

當人體在熱環境 35 °C 與溫度 20 °C 時，其人體各部位的體溫也會有所不同，如圖 2-2-2 所示。Kay, Taaffe, 與 Marino (1999) 研究指出，人體在熱環境下運動，亦會提高身體核心溫度，且每隔 5-7 min 運動溫度會上升 1 °C。人體在熱環境中，身體溫度上升時，體表微血管擴張，增加皮膚血流量，並透過傳導 (conduction) 和對流 (convection) 將體內過多的熱量散發出去。若體溫無法維持一定的範圍內時，皮膚藉由流汗蒸發 (evaporation) 進行體溫調節，以維持體溫恆定 (McArdl et al., 2006)。Brearley 與 Finn (2003) 環境溫度超過 30 °C 濕度 60% 以上時，會造成人體在進行體溫調節的壓力，這些因素都會限制人體藉由蒸發的散熱能力。此外，人體核心溫度超過 39 °C，亦會產生中樞疲勞，因而影響控制骨骼肌的動作神經元導致抑制訊號出現，進而影響運動表現，最終導致運動終止 (Gonz'alez-Alonso et al., 1999；Nybo, 2008)。

在熱環境下過度的運動會使人體的心肺功能、體內體液的平衡以及新陳代謝等受到影響 (陳佳慧，2013)。同時，身體的恆定遭受到刺激影響，促使大腦必須透過交感神經傳遞訊號，增加左心室收縮以及心跳率，使心跳率逐漸上升，以補償周邊血液量，因而使每跳輸出量下降。Gonz'alez-Alonso 與 Calbet (2003) 研究指出，當人體在從事高強度運動時，受到熱環境之影響，亦會減少每跳輸出量、心輸出量、肌肉血流量以及氧氣的傳送，進而減少最大攝氧量。而當體液流失過多時，會導致體內血液量減少，因此降低了血液回流至心臟，使心輸出量下降導致心跳率增加，進而影響運動表現 (陳佳慧，2013)。在新陳代謝方面，在熱環境下運動，運動疲勞的因素是受到肌肉肝醣的耗竭以及低血糖的影響。過去研究也

指出，熱環境下運動會增加肌肉中肝醣的使用率 (Parkin et al., 1999)，同時伴隨著碳水化合物氧化與乳酸的堆積。其主要是為了增加肌肉的溫度與肌肉肝醣的分解 (Febbraio, 2001)。然而，當在環境溫度 40 °C 下運動時，肌肉溫度上升進而增加血氨的濃度與堆積 (Snow, Febbraio, Carey, & Hargreaves, 1993)。但過去研究也有指出，血液量的減少並沒有影響葡萄糖或游離脂肪酸的傳送，碳水化合物的氧化、肌肉肝醣的使用、乳酸的生成增加以及乳酸的排除，因此造成疲勞產生的主因不是新陳代謝而是體溫過高所致 (Gonz'alez-Alonso et al., 1999)。



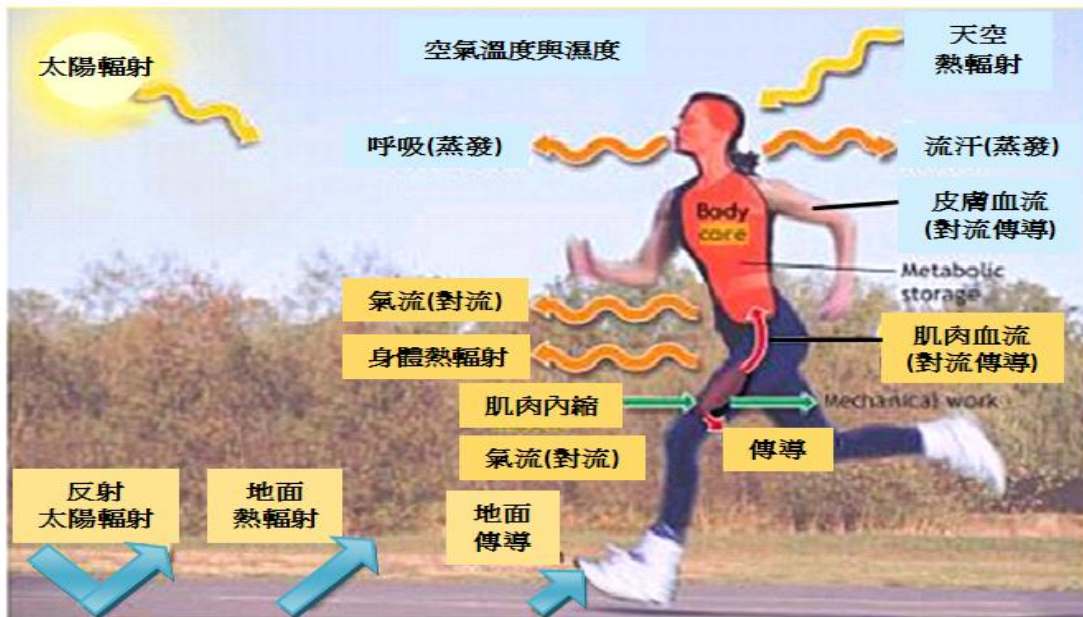


圖 2-2-1 人體藉由散熱作用將體內過多的熱能移轉至環境中 (引自 Gisolfi and Wenger, 1984)

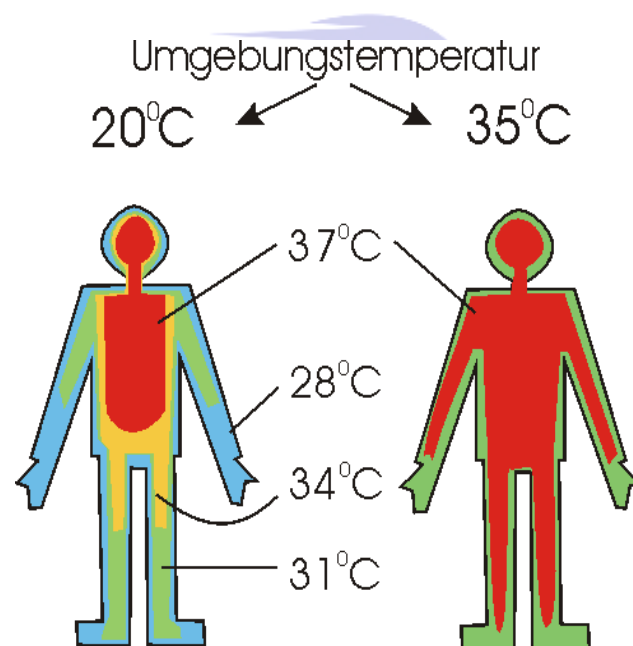


圖 2-2-2 不同環境溫度於休息狀態，分佈人體各部位之體溫 (修改自 Marees, 2002)

第三節 不同冷卻方式對體循環、新陳代謝與運動表現之影響

過去有許多對於冷卻之相關研究，而回顧性文章將冷卻降溫對運動表現效益以及可能的機轉略分為以下三點：

一、降低熱壓力 (thermal strain)：

過去研究指出，增加身體的熱容積，可延緩疲勞的出現時間 (Marino, 2002)。因此，透過運動前、運動中與運動間歇期，實施冷卻降溫 (冷卻背心、低溫室、水浸泡..等等)，可有效降低身體核心溫度、體表溫度與肌肉溫度，增加熱容積。

二、降低心血管壓力：

當身體因冷卻降溫使溫度下降，血液不必因散熱而流至皮膚微血管，體內的血容量沒有因為流汗散熱而流失過多的水分，因此降低心血管系統的負擔，進而增加了運動時間、運動品質與運動表現 (Marino, 2002; Quod, Martin, & Laursen, 2006)。

三、中樞神經系統調節：

人體會在非自主控制下進行調節，減少運動神經元的徵召，降低運動強度，避免熱持續的堆積造成體內的組織、細胞受到傷害。因此，有效的降溫能延遲或避免體內自我調控的機制產生，進而達到較好的運動表現 (Marino, 2002; Duffield, Green, Castle, & Maxwell, 2010)。

而過去運用不同冷卻降溫之研究相當多，例如：冷卻背心、低溫室、冷空氣、水中浸泡 (全身、半身、手掌) 等等。

一、冷卻背心應用

Duffield 等 (2003) 以 7 名男性曲棍球選手為受試對象，在環境溫度 30 °C 相

對溼度 60% 下，進行腳踏車間歇衝刺測試，在運動前 5 min 以及間歇休息時間運用冷卻背心進行冷卻，研究結果顯示，動力輸出、心跳率、乳酸、核心溫度、皮膚平均溫度、運動知覺量表均無達顯著差異。Arngrimsson 等 (2004) 以 17 名 (9 男 8 女) 田徑選手為受試對象，在環境溫度 32 °C 相對溼度 50% 下，穿著冷卻背心對 5 km 跑步表現之影響。研究結果顯示，冷卻背心組測試時的核心溫度、皮膚溫度、心跳率與熱感覺均低於 T-shirt 組並有效增加耐力運動表現 (完成時間減少 1.1%)。Ückert 與 Joch (2007) 以 20 名規律運動的健康男性為受試對象，在運動前 20 min 著冷卻背心降溫，隨後於跑步機進行漸增測試，起始速度為 9 km/h，每 5 min 增加 1 km/h 直到受試者耗竭為止。研究結果顯示，冷卻組的跑步時間顯著高於熱身組及控制組，而乳酸、心跳率及核心溫度則無達顯著差異。

從過去研究可以發現，冷卻背心的運用 (5-40 min) 能夠有效降低核心溫度、皮膚溫度並能提升運動表現，但在乳酸及心跳率方面則是沒有比較顯著的差異。而在長時間以及耗竭的運動型態，冷卻背心運用的效果較優於短時間與間歇的運動型態。

二、水中浸泡應用

Marsh 與 Sleivert (1999) 以 13 名男性全國性與國際性自行車選手為受試對象。在環境溫度 29 °C 相對溼度 80% 下，進行 70 s 腳踏車最大動力測試，在運動前 30 min 進行水中浸泡 (12-14 °C) 降溫。研究結果顯示，心跳率與乳酸無顯著差異，而核心溫度、皮膚溫度顯著低於未冷卻組，而最大動力測試表現，冷卻組比未冷卻組在總瓦特數顯著增加 (581-603 Watt)。Duffield 等 (2010) 以 8 名自行車選手為受試對象，於環境溫度 33 °C 相對溼度 50% 下進行 40 min 計時跑步，運動前以下肢冷水 (14±3 °C) 浸泡方式降溫，研究結果顯示，跑步距離方面冷卻組顯著高於未冷卻組 (7.2%)。Booth, Marino, 與 Ward (1997) 以 8 名田徑選手為受試對象，於環境溫度 32 °C 相對溼度 60% 下進行 30 min 計時跑步，運動前 60 min 以冷水浸泡 (23-24 °C) 降溫，研究結果顯示，跑步距離增加了 304 m。Kay 等

(1999) 以 7 名自行車選手為受試對象。於環境溫度 31 °C 相對溼度 60% 下在進行 30 min 自行車計時賽，運動前 60 min 以冷水浸泡 (24 °C) 降溫，研究結果顯示，騎乘總距離增加了 900 m。

從以上文獻得知，水中浸泡的方式，皆能有效降低核心溫度與皮膚溫度，且提升運動表現，但缺點是需要浸泡的時間較長 (30-60 min)，且在運用上也較為不便。

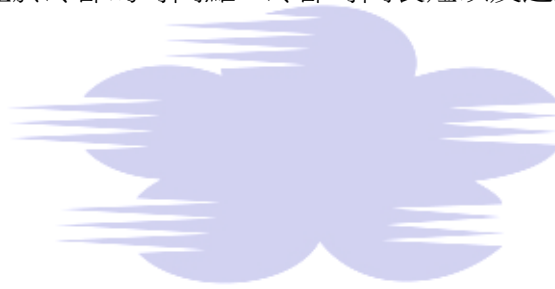
三、手部浸泡應用

Grahn, Cao, 與 Heller (2005) 以 18 名 (10 男 8 女) 健康成年人為受試對象，分為未冷卻組、手掌降溫組 (22 °C，無負壓) 以及手掌降溫加負壓組 (22 °C，負壓 -40 mmHg)，於環境溫度 40 °C 相對溼度 25-45% 下進行跑步機 90% $\dot{V}O_{2max}$ 持續跑。研究結果顯示，手掌降溫加負壓組與無負壓組，運動持續時間顯著多於未冷卻 (43%)。Selkirk 等 (2004) 以 15 名男性消防員為受試對象，在環境溫度 35 °C 相對溼度 50% 下，著消防員全副裝備在跑步機上進行 50 min 間歇運動 (4.5 km/h)，研究結果顯示，手部降溫組運動持續時間最長，而未冷卻組為最短 (手部降溫組 124.7±7.9 min；噴霧降溫組 95.1±5.0 min；未冷卻組 78±3.6 min)。

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

第四節 文獻總結

綜合上述文獻可知，在進行高強度運動負荷時，造成乳酸與血氨值上升，其原因是動用到大量的快縮肌 (Typ- II b) 肌肉纖維所致，而上升的速率與濃度依據運動的持續時間與運動強度而有所不同。當環境溫度超過 30 °C 以及濕度超過 60% 時，造成身體與大腦下視丘壓力因而限制人體的散熱能力，進而影響運動表現最終使運動終止，而台灣氣候亦屬於高溫溼熱的環境。而從上述研究發現，多數研究皆運用於室內的跑步機、腳踏車及划船機，於室外進行的研究則是較少的。冷卻的效果主要在於能夠有效降低身體核心溫度、皮膚溫度，使體內血液重新分配，供應更多氧氣至作用肌，進而提升運動表現。但在心跳率及乳酸方面之效果則各半，原因可能在於冷卻的時間點、冷卻時間長短以及運動型態的不同而有所影響。



第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究以 6 名一般男性運動員 (一週運動 3 次以上) 為受試對象，如表 3-1-1 所示。實驗前向受試者說明實驗流程與注意事項，並填寫基本資料、疾病調查表與實驗同意書。

表 3-1-1 受試者基本資料

項目	Mean±SD
年齡 (year-old)	25±7
身高 (cm)	174±7
體重 (kg)	67.2±11.7

第二節 實驗時間與地點

實驗時間：2013 年 7 月 23-25 日

實驗地點：國立體育大學田徑場、運動能力診斷與訓練調整研究室

第三節 實驗方法與步驟

本研究分為兩種測試，測試內容為階梯式負荷測試與 4×1000 m 高強度間歇跑負荷測試，先進行跑步機階梯式負荷測試以取得個人所完成之最後一階速度，再以平衡次序法進行連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇跑負荷測試，強度負荷設定為跑步機階梯式負荷測試之個人所完成最後一階速度進行。此測試採集的生物參數為心跳率、乳酸、血氨、體表溫度、運動努力知覺量表以及熱感覺量表，進行資料處理與分析。

一、階梯式負荷測試 (Mader et al., 1976)。

於高速跑步機 (h/p cosmos) 上進行階梯式負荷測試，開始速度為 2.5 m/s；每階上升 0.5 m/s；每階持續 5 min；組間休息 40 s 採集心跳率；測試至受試者最大負荷為止，如表 3-3-1 所示。

表 3-3-1 階梯式負荷測試方式

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

二、4×1000 m 高強度間歇跑測試。

進行完階梯式負荷測試後休息 2 天，以平衡次序法分別進行連續 3 天的 4×1000 m 高強度間歇跑負荷測試，如圖 3-3-1 所示。3 天分別進行實施 Vest cooling、Hand cooling 以及 Non cooling。冷卻的時間點為，運動前先實施冷卻降溫 6 min，隨後進行 4×1000 m 高強度間歇跑，組間休息 6 min 再實施冷卻，以此

類推至完成為止。冷卻降溫實施之方式，Vest cooling 方面，背心浸泡於冰塊水中拿出進行 10 s 脫水，冷卻背心溫度控制在 $5.2 \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，隨即讓受試者穿上之後開始計時；而 Hand cooling 方面，將手浸泡於 $1 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰塊水中，共實施 5 次，一次為 10 s，組間休息 1 min，浸泡時手掌必須持續晃動或轉動至浸泡結束；Non cooling 方面，於陰涼處坐著休息，組間休息 6 min。

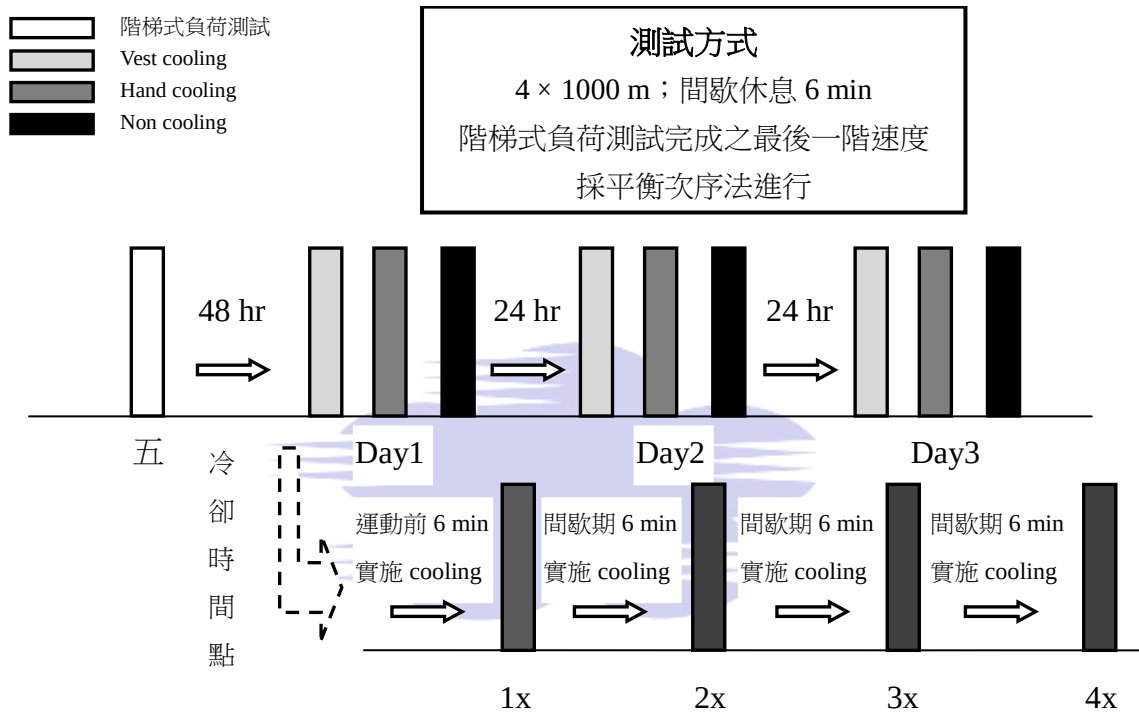


圖 3-3-1 連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇跑負荷測試方式

採集生物參數時間點：如表 3-3-2 所示。

表 3-3-2 採集生物參數時間點

R (安靜值)	心跳率、乳酸、血氨、體表溫度、熱感覺量表
1x-4x (運動次數)	心跳率、乳酸、體表溫度、熱感覺量表、運動知覺量表、血氨 (2x、4x)

第四節 實驗流程



圖 3-4-1 實驗流程

第五節 實驗儀器與設備

- 一、澳大利亞製冷卻背心 (Cooling vest)。
- 二、德國製 h/p/cosmos 高速跑步機。
- 三、德國製血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line; EKF-diagnostic)。
- 四、掌上型氨分析儀 (Pocketchem BA PA-4130)。
- 五、心率偵測器 (Polar S725x)。
- 六、蜂鳴器、角錐、測距輪。
- 七、溫溼度測量器 (TR-72U)。
- 八、額溫槍 (TM-966)、紅外線測溫儀 (UT300A)、溫度計。
- 九、採血工具 (冰桶、紅血球破壞劑、毛管、採血針、手套及其他消毒工具)。
- 十、脫水機、延長線。

第六節 資料處理與統計分析

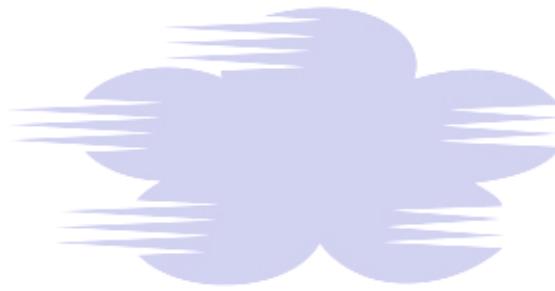
- 一、本研究所有數值以平均數與標準差 (Mean $\pm$ SD) 表示。
- 二、測驗所得的各項參數以統計軟體 SPSS for Windows 18.0 進行資料統計分析。
- 三、SigmaPlot 8.0 繪圖軟體進行圖形繪製。
- 四、以重複量數單因子變異數分析不同冷卻方式與未冷卻下，高強度間歇跑各時間點心跳率、乳酸、血氨、體表溫度、運動努力知覺量表以及熱感覺量表之差異。
- 五、以皮爾遜積差相關分析各參數之相關。
- 六、本研究統計顯著水準訂為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果分析與討論

本實驗於室外進行連續 3 天 4×1000 m 高強度間歇負荷測試，室外環境溫度、濕度與冷卻溫度，如表 4-1-1 所示。

表 4-1-1 環境溫度、濕度與冷卻溫度

日期	溫度 (°C)	濕度 (%)
2013.07.23	33.7±0.9	53.5±6.3
2013.07.24	33.2±1.1	58.8±3.1
2013.07.25	33.1±1.2	55.8±6.6
冷卻溫度 (°C)	Vest cooling 5.2±2.0	Hand cooling 1.0±0.5



第一節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷身體溫度調節之效果

在體表平均溫度方面，體表平均溫度於第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷結束後平均值為 31.7 ± 1.4 °C (V)、 32.6 ± 1.5 °C (H)、 32.0 ± 1.4 °C (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 -0.3 °C、 $+0.6$ °C，未達顯著差異 ($p > 0.05$)。而在第三次 (3x) 高強度間歇跑負荷結束後為 31.3 ± 1.8 °C (V)、 31.3 ± 1.1 °C (H)、 32.6 ± 2.1 °C (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 -1.3 °C、 -1.3 °C，未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如圖 4-1-1 所示。

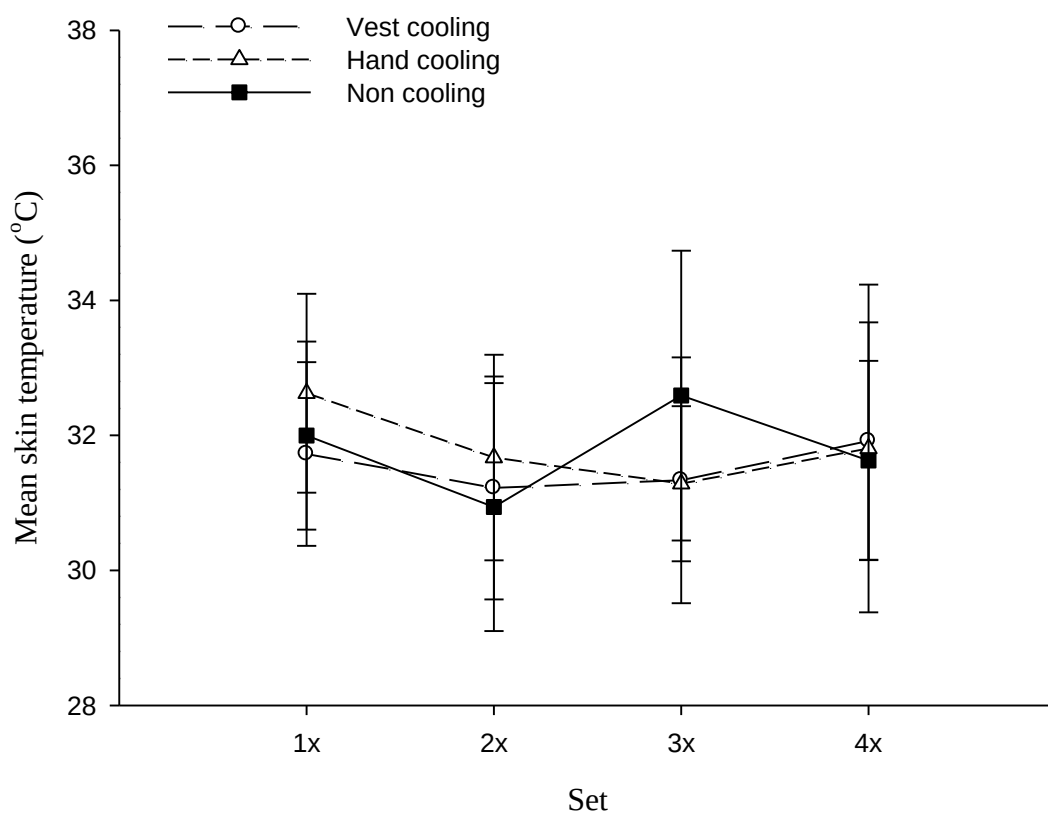


圖 4-1-1 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後體表平均溫度之分析

人體主要是透過皮膚血管舒張以及流汗來進行體溫調節。當皮膚或血液的溫度上升時，下視丘藉由神經衝動傳遞訊息至表皮小動脈及汗腺，使皮膚血管舒張增加皮膚血流量進行散熱，而汗腺會分泌汗液將體內的熱能透過流汗蒸發進行散熱 (Kenney & Johnson, 1992)。當環境溫度上升至 35 °C 左右時，蒸發作用為人體主要有效的散熱途徑。然而，在高濕度的環境會減少表皮與環境間的水蒸氣壓梯度，因而降低了蒸發作用的效率。此外，當身體因流汗造成水分流失量過多時，亦會影響身體溫度調節。在體表平均溫度方面，運動前實施 Vest cooling 能有效的降低體表溫度減少體內的熱囤積，因此減緩了運動負荷過程中體表溫度上升的速率。在 Hand cooling 方面，因手掌無毛髮，是身體傳導散熱效果最佳的部位，手掌冷卻能擴張皮膚微血管增加皮膚血流散熱降溫維持體內平衡，能有效維持身體的體溫調節 (Grahn et al., 2005)。此外，Non Cooling 在身體皮膚溫度調節症狀是呈現不穩定的狀態，推論可能在熱環境下進行高強度間歇跑負荷時，對於身體壓力荷爾蒙以及大腦下視丘產生較大的壓力所致。

二、運動努力知覺量表 (RPE) 與熱感覺量表 (TS)

於室外進行高強度 4×1000 m 間歇跑負荷於運動努力知覺量表 (RPE) 方面，運動努力知覺量表於第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷後平均值為 14.2±1.0 (V)、13.8±1.0 (H)、14.0±1.4 (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為+0.2、-0.2，未達顯著差異 ($p>0.05$)。而在第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷後為 16.5±2.3 (V)、16.5±2.1 (H)、16.7±2.2 (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為-0.2、-0.2，未達顯著差異 ($p>0.05$)，如圖 4-1-2 所示。

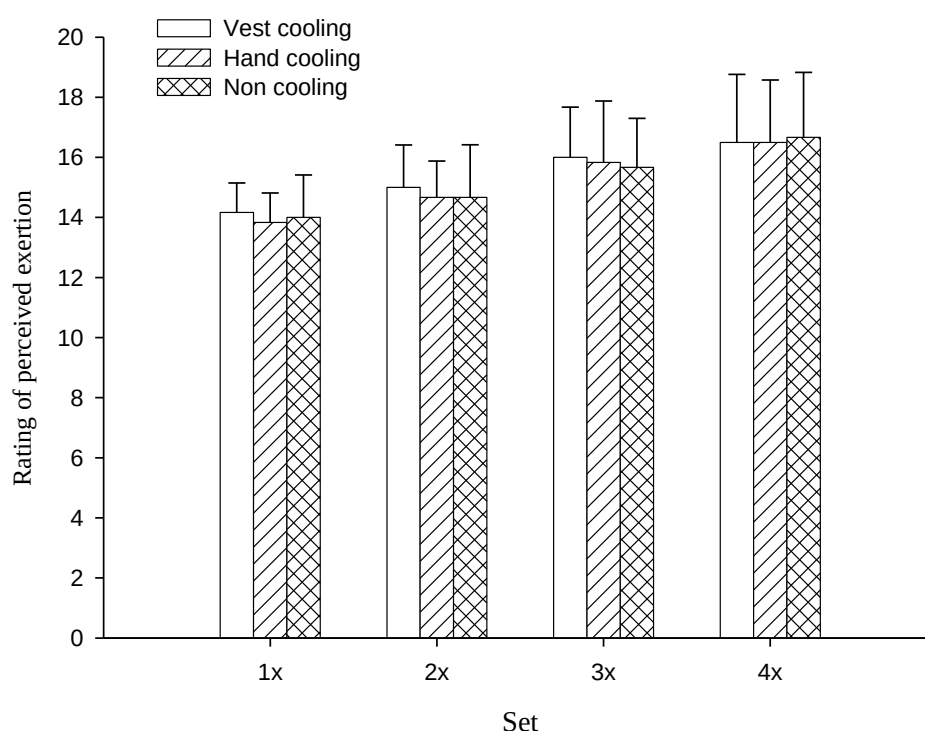


圖 4-1-2 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後運動努力知覺量表之分析

Borg (1982) 指出，此運動努力知覺量表可反應運動過程中強度負荷之變化情形，且與運動時心跳率、攝氧量及血乳酸堆積呈現正相關。Garcin, Wolff, 與 Bejma (2003) 指出可利用運動知覺量表檢測於運動負荷強度訓練或測試時，運動員本身的自覺疲勞程度，即可作為運動強度負荷的有效指標。本研究結果顯示，在完成最後一次 (4x) 高強度間歇跑負荷後，運動努力知覺量表方面皆達到最高，此結果與 Smith 等 (1997) 指出在最大或高強度運動前，有或無冷卻之情況

下，其運動努力知覺量表均會達到最高。此外，Vest cooling 與 Hand cooling 的運動努力知覺量表均低於 Non cooling，結果顯示，在實施冷卻降溫的狀態下，受試者對於相同負荷強度身體壓力有呈現降低之效果。

在熱感覺量表 (TS) 方面，熱感覺量表於第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷結束後平均值為 5.8 ± 1.0 (V)、 6.2 ± 0.8 (H)、 6.2 ± 1.2 (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 -0.4 、 ± 0 ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)。而在第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷結束後為 7.7 ± 1.4 (V)、 7.2 ± 0.8 (H)、 7.5 ± 0.5 (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 $+0.1$ 、 -0.3 ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如圖 4-1-3 所示。

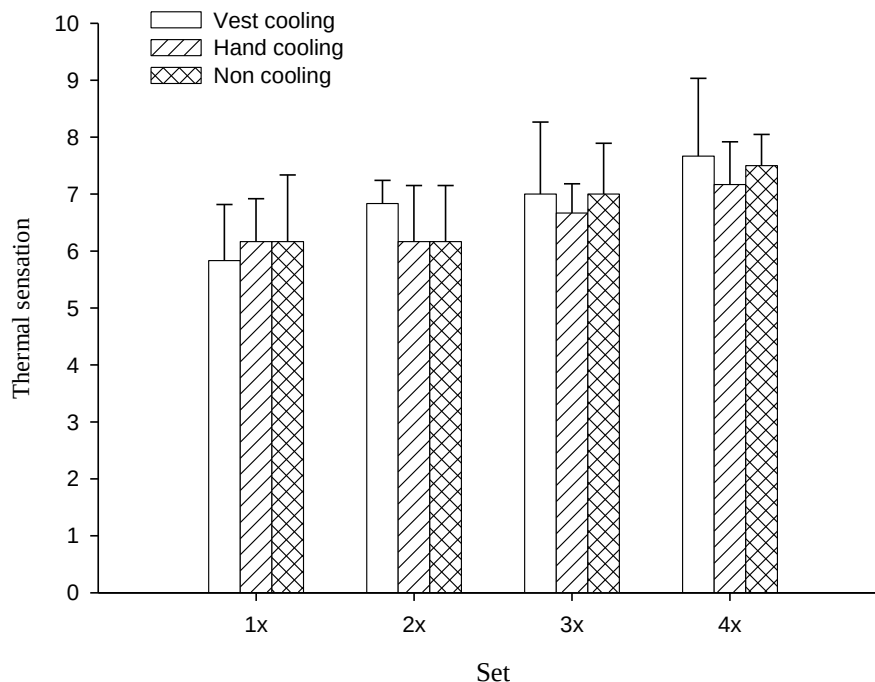
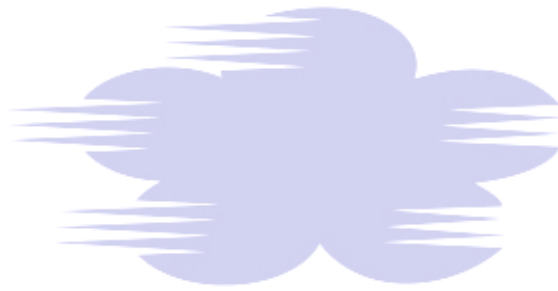


圖 4-1-3 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後熱感覺量表之分析

由於體內荷爾蒙的作用，促使細胞增加代謝率，因代謝增加而增加體內產熱，造成人體核心溫度上升且較不舒適感。在熱感覺量表分析，本研究結果顯示，Vest cooling 在第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷後，熱感覺量表呈現較低之情形，但未達顯著 ($p > 0.05$)，表示 Vest cooling 在室外熱環境進行高強度運動前冷卻降

溫，皮膚因受到冷卻降溫，而刺激溫度感覺器，使受試者在熱環境下運動，大腦及心裡對熱感覺呈現較佳舒適感，此結果與 Duffield 等 (2003) 研究相同。而 Hand cooling 在第三、四次 (3x、4x) 負荷後皆低於 Non cooling，但未達顯著差異 ($p>0.05$)。此結果顯示，藉由手掌冷卻降溫，因手掌的末梢神經較多，刺激皮膚溫度感覺器，使受試者在熱環境下運動，亦呈現較佳舒適感。因此，若在室外進行高強度訓練時，藉助冷卻降溫的應用具有提升訓練品質之效果 (Schmidt & Thews, 1990)。



第二節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷心跳率與肌肉能量路徑之效果

一、心跳率

於室外進行高強度 4×1000 m 間歇跑負荷心跳率方面，心跳率於第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷結束後平均值為 $179 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ (V)、 $179 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ (H)、 $177 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 $+2 \text{ min}^{-1}$ 、 $+2 \text{ min}^{-1}$ ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)。而在第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷後為 $190 \pm 5 \text{ min}^{-1}$ (V)、 $186 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ (H)、 $187 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 $+3 \text{ min}^{-1}$ 、 -1 min^{-1} ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如圖 4-2-1 所示。

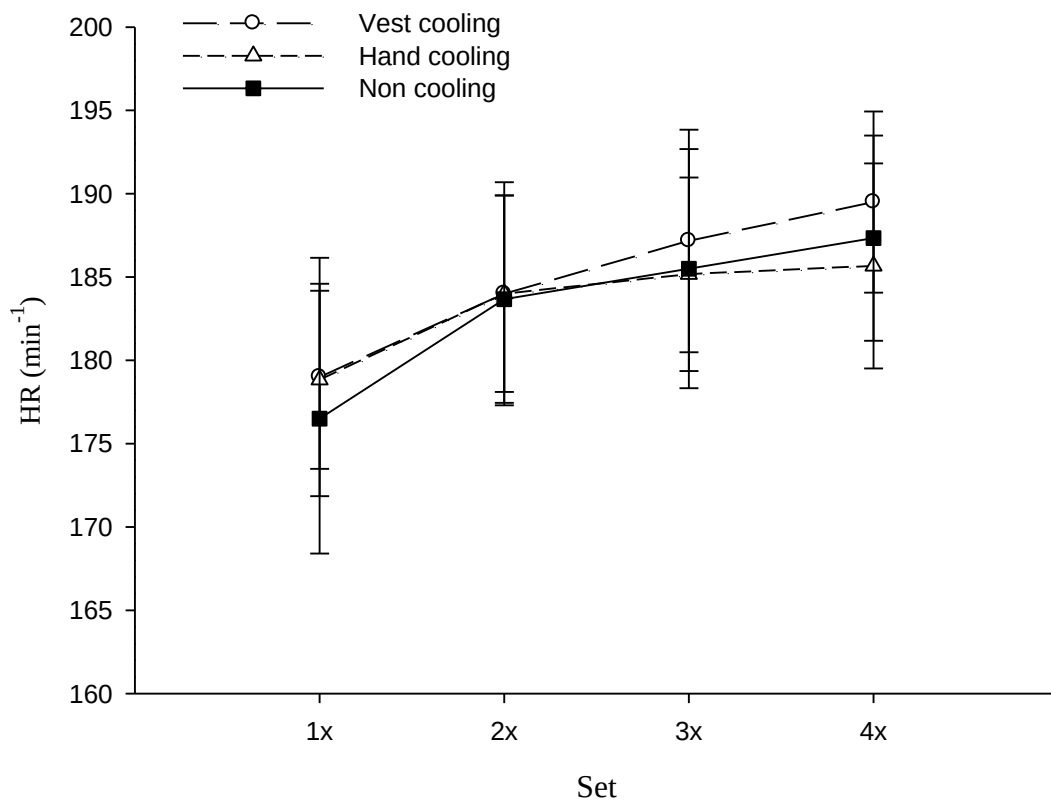
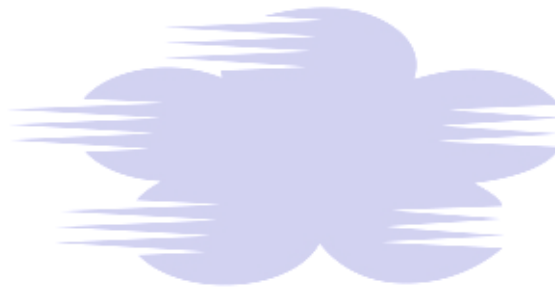


圖 4-2-1 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後平均心跳率之分析

當人體在熱環境下運動時，身體的恆定遭受到刺激影響，促使大腦必須透過交感神經傳遞訊號，增加左心室收縮，使心跳率逐漸上升以補償周邊血液量，因而使每跳輸出量下降。結果顯示，在最後一次 (4x) 高強度間歇跑負荷後，心跳率皆呈現直線上升趨勢且達到最高，推論可能是受到體溫上升及疲勞堆積所致。而影響心跳率與體溫控制主要受到交感與副交感神經，當副交感神經降低時，心跳率會上升；而副交感神經提高時，心跳率則會降低。若體溫高於正常值時，心跳率會有增加之情形 (Bregelman, 1983)。而 Hand cooling 在第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷後，心跳率低於 Non cooling，此現象可能是因為受試者體表溫度及熱感覺量表均低於 Non cooling，因而降低了體循環負荷壓力。



二、血乳酸

於室外進行高強度 4×1000 m 間歇跑負荷乳酸方面，乳酸於第一次 (1x) 高強度間歇跑負荷後平均值為 7.4 ± 0.9 mmol/l (V)、 6.3 ± 0.8 mmol/l (H)、 7.1 ± 1.1 mmol/l (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 +0.3 mmol/l、-0.8 mmol/l，未達顯著差異 ($p>0.05$)。第三次 (3x) 高強度間歇跑負荷後為 9.8 ± 1.8 mmol/l (V)、 9.1 ± 1.5 mmol/l (H)、 10.3 ± 2.2 mmol/l (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 -0.5 mmol/l、-1.2 mmol/l，未達顯著差異 ($p>0.05$)。第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷後為 11.5 ± 2.2 mmol/l (V)、 10.3 ± 1.8 mmol/l (H)、 11.6 ± 2.7 mmol/l (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 -0.1 mmol/l、-1.3 mmol/l，未達顯著差異 ($p>0.05$)，如圖 4-2-2 所示。

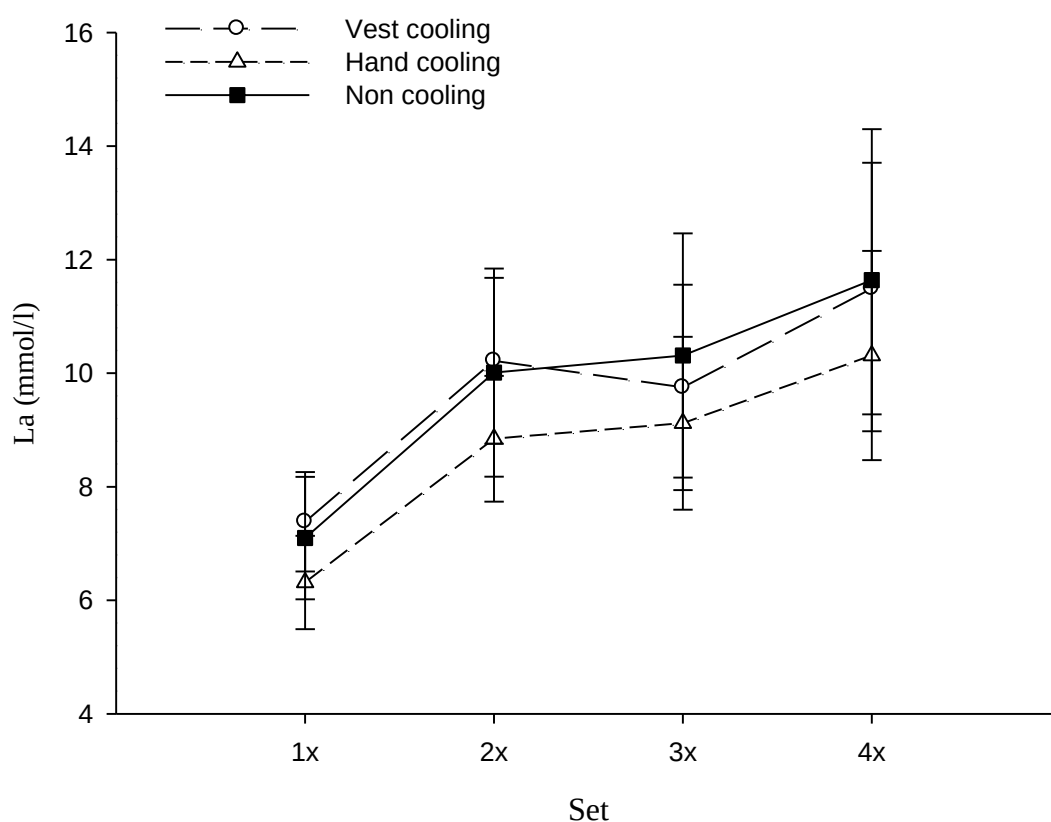
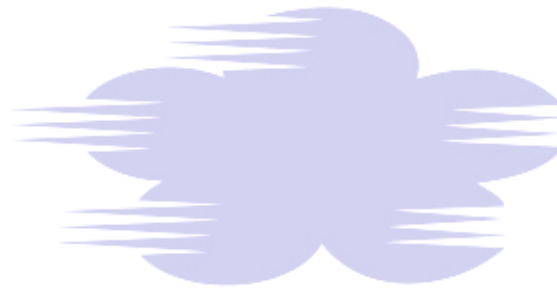


圖 4-2-2 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後平均血乳酸之分析

高強度 4×1000 m 間歇跑負荷主要能量來源為無氧糖酵解系統，而無氧糖酵解作用，即為肝糖或葡萄糖代謝路徑至丙酮酸，丙酮酸轉換成代謝產物乳酸。結果顯示，在高強度間歇跑負荷後，Hand cooling 乳酸值均低於 Non cooling，而 Vest cooling 在最後第三、四 (3x、4x) 負荷後也均低於 Non cooling。此現象顯示，透過 Vest Cooling 與 Hand Cooling 能減少血液流動至皮膚微血管進行散熱的需要，因而能維持心臟的每跳輸出量，增加氧氣輸送至骨骼肌的機會，因此能減緩肌肉能量代謝的壓力，加速肌肉無氧糖酵解效率 (Hessemer, Bruck, Boderker, & Breidenbach, 1984; Joch & Ü ckert, 2005 ; Lee & Haymes, 1995; Olschewski & Bruck, 1988)。因此，於室外進行高強度間歇訓練及技術訓練時，應用冷卻降溫能夠達到較佳的訓練品質與效果。



三、血氨

於室外進行高強度 4×1000 m 間歇跑負荷血氨方面，血氨於第二次 (2x) 高強度間歇跑負荷後為 $85.2 \pm 18.5 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (V)、 $65.5 \pm 8.9 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (H)、 $84.0 \pm 21.1 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 $+1.2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ 、 $-18.5 \mu\text{mol/l}$ ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)。第四次 (4x) 高強度間歇跑負荷後為 $88.7 \pm 25.2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (V)、 $93.2 \pm 24.1 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (H)、 $91.0 \pm 35.3 \text{ } \mu\text{mol/l}$ (N)，Vest cooling、Hand cooling 與 Non cooling 平均值差異為 $-2.3 \text{ } \mu\text{mol/l}$ 、 $+2.2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ ，未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如圖 4-2-3 所示。

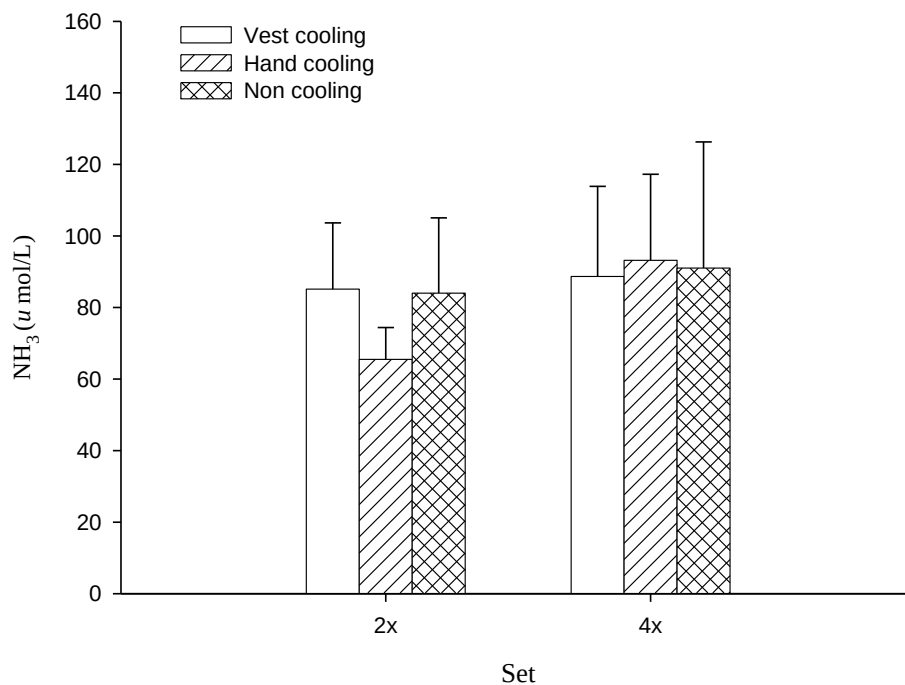
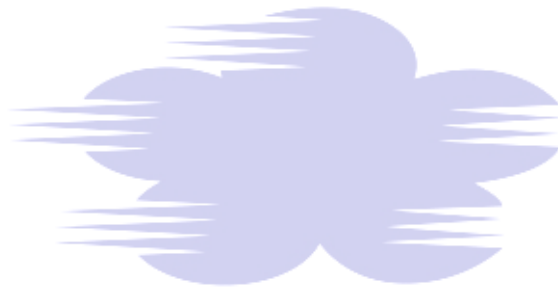


圖 4-2-3 高強度 4×1000 m 間歇跑負荷後平均血氨之分析

在進行高強度間歇跑負荷時，ATP-PC 急速消耗，除了進行無氧糖酵解作用外，必須啟動嘌呤核苷酸循環 (The Purine Nucleotide Cycle) 進行調節作用，因而使血氨濃度上升 (Lowenstein, 1972)。結果顯示，Hand cooling 在第二次 (2x) 高強度間歇跑負荷後，血氨值低於 Vest cooling 與 Non cooling，但未達顯著差異 ($p > 0.05$)。由此可推論於 Hand cooling 情況下，降低體內荷爾蒙壓力，使腎上腺

素 (Adrenaline) 與皮質醇 (Cortisol) 亦呈現穩定症狀，因此減少 AMP-IMP 路徑，而降低血氨的產生。而在第四次 (4x) 高強度負荷後，血氨值均明顯上升，可能是受到疲勞堆積影響，導致身體無氧供應系統失衡，使能量路徑走向嘌呤核酸循環 (The Purine Nucleotide Cycle) 進行調節作用，促使血氨濃度上升 (Lowenstein, 1972)。



第三節 運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇負荷體表溫度與心跳率之相關

運動前、中不同冷卻方式於室外進行 4×1000 高強度間歇跑第四次 (4x) 負荷結束後體表平均溫度與心跳率之相關

運動前、中不同冷卻方式於室外進行 4×1000 m 高強度間歇跑負荷對心跳率與體表平均溫度之關係分析。結果顯示，Vest cooling 在心跳率與體表平均溫度呈現正相關 ($r^2 = 0.4$)。Hand cooling 在心跳率與體表平均溫度未達相關 ($r^2 = 0$)。Non cooling 在心跳率與體表平均溫度未達相關 ($r^2 = 0$)，如圖 4-3-1 所示。

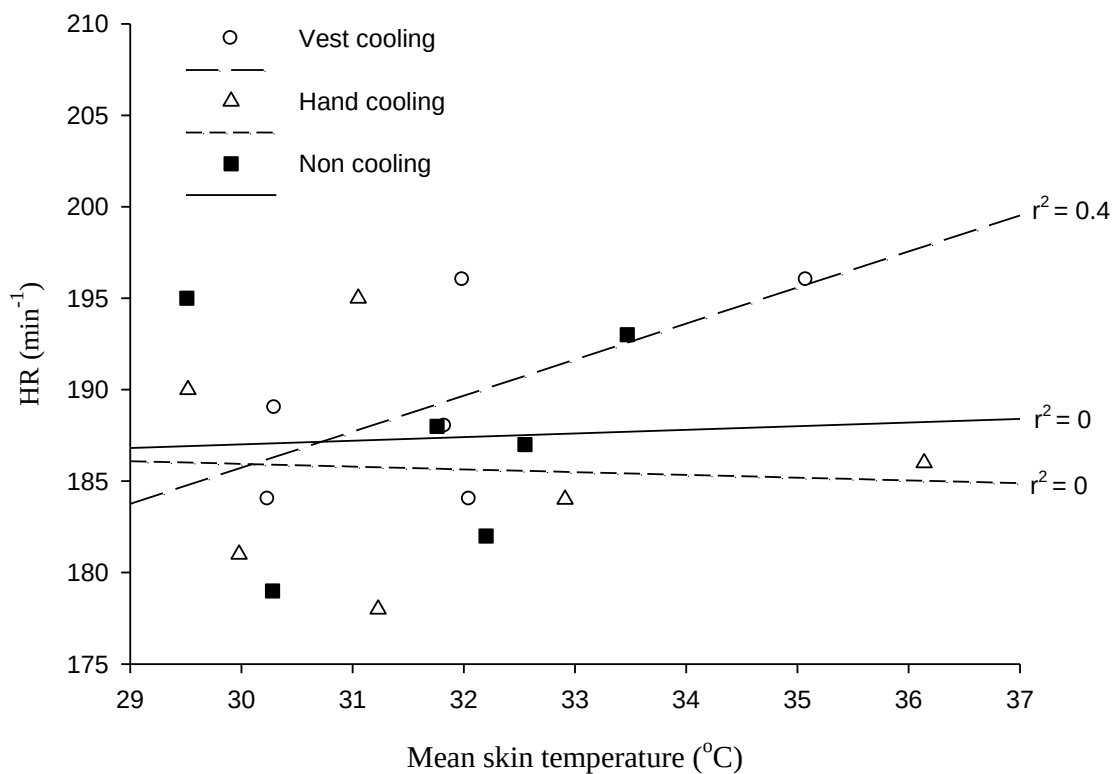
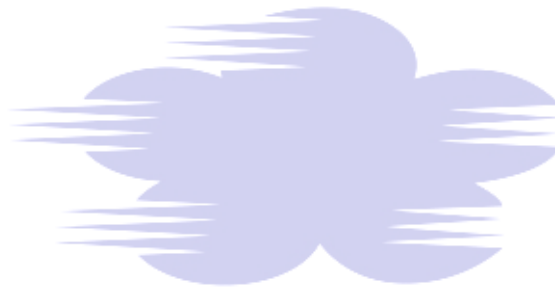


圖 4-3-1 高強度 4×1000 m 間歇跑於第四次 (4x) 負荷結束後心跳率與體表平均溫度之關係

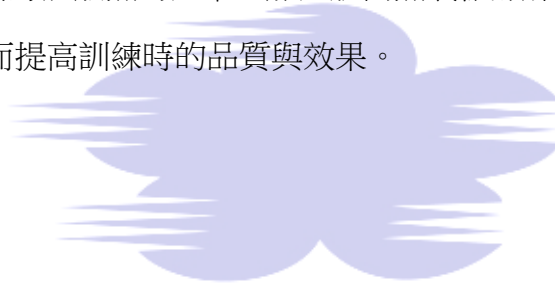
過去研究指出，透過血管血液流動至皮膚散熱時冷卻降溫，同時皮膚血管因冷卻收縮促使更多血液回流至靜脈回到心臟，使血液重新分配，增加每跳輸出量，提供更多的氧氣輸送至骨骼肌，進而減緩體循環壓力 (Hessemer et al., 1984; Lee & Haymes, 1995; Olschewski & Bruck, 1988)。研究結果顯示，Vest cooling 在體表平均溫度達到相關 ($r^2 = 0.4$)，表示於室外濕熱環境下受試者藉由 Vest cooling 能有效降低體表溫度進而減緩體循環壓力。而在 Hand cooling 在體表平均溫度則未達相關 ($r^2 = 0$)。此現象顯示，可能因 Hand cooling 接觸冷卻面積較小，手掌微血管數量較少導致收縮的血液量不及 Vest cooling，因此並未能有效減緩體循環壓力。



第伍章 結論與建議

在熱環境下進行訓練，對於運動員的生理和心理都是一大挑戰，而高強度訓練亦是近代競技運動訓練的趨勢，如何減輕運動員身體壓力並達到較佳的訓練品質，是運動科學家共同在努力研究的目標。不同冷卻方式於熱環境下對運動員之效果，本研究結果發現，冷卻對於體表溫度、乳酸及血氨均有呈現下降趨勢，當中 Hand cooling 更優於 Vest cooling，若運用於訓練上是有實質的效益。而冷卻的溫度及冷卻時間則尚未有明確的指標，未來在研究上可朝此方向研究，提高冷卻運用於訓練上的效益。

因此，建議未來在熱環境下進行高強度訓練時，於運動前及間歇期可實施 Hand cooling 來提高身體散熱的速率，加速肌肉無氧糖酵解的效率，減緩身體能量代謝的壓力，進而提高訓練時的品質與效果。



參考文獻

中文部分：

中央氣象局全球資訊網。2013 年 5 月 9 日，資料引自

<http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyData/mD.htm>

張嘉澤 (2010)。運動能力診斷與訓練調整。台北縣林口鄉：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 (未出版博士論文)。國立體育大學，桃園縣。

世界衛生組織中文網 (World Health Organization WHO)。2013 年 5 月 13 日，資料引自 <http://www.who.int/en/>

外文部分：

Arngrimsson, 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. *Journal of Applied Physiology*, 96(5), 1867-1874.

Badtke, G. U. A. (1987). Sportmedizinisch Grundlagen der Körpererziehung und desportlichen Trainings. Leipzig.

Banister, E. W. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51, 195-202.

Banister, E. W., & Cameron, B. J. C. (1990). Exercise induced hyper-ammonemia peripheral and central effects. *International Journal of Sports Medicine* (suppl, 2), 129-142.

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

Booth, J., Marino, F., & Ward, J. J. (1997). Improved running performance in hot humid conditions following whole body pre-cooling. *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise*, 29, 943-949.
- Booth, J., Wilsmore, B. R., Macdonald, A. D., Zeyl, A., McGhee, S., Calvert, D., et al. (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.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 371-381.
- Brearley, M. B., & Finn, J. P. (2003). Pre-cooling for performance in the tropics. *Sportscience*, 37, 175-180.
- Brengelmann, G. (1983). Circulatory adjustments to exercise and heat stress. *Annual Review of Physiology*, 45, 191-212.
- Cheung, S., & Robinson, A. (2004). The influence of upper-body pre-cooling on repeated sprint performance in moderate ambient temperatures. *Journal of Sports Science*, 22(7), 605-612.
- 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.
- Duffield, R., Green, R., Castle, P., & Maxwell, N. (2010). Precooling can prevent the reduction of self-paced exercise intensity in the heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 577-584.
- Febbraio, M. A. (2001). Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Medicine*, 31, 47-59.
- Febbraio, M. A., Snow, R. J., Hargreaves, M., Stathis, C. G., Martin, I. K., & Carey, M. F. (1994a). Muscle metabolism during exercise and heat stress in trained men: effect of acclimation. *Journal of Applied Physiology*, 76, 589-597.

- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A., & Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 1, 1-20.
- Galloway, S. D. R., & Maughan, R. J. (1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 1240-1249.
- Garcin, M., Wolff, M., & Bejma, T. (2003). Reliability of rating scales of perceived exertion and heart rate during progressive and maximal constant load exercise till exhaustion in physical education students. *International Journal of Sports Medicine*, 24(4), 285-290.
- Gisolfi, C. V., & Wenger, C. B. (1984). Temperature regulation during exercise : old concepts, new ideas. *Exercise and Sport Science Reviews*, 12, 339-372.
- Gonz'alez-Alonso, J. Calbet J., & Nielsen, P. (1999). Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in humans. *Journal of Physiology*, 52, 577-589.
- Gonz'alez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., & Nielsen, B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86, 1032-1039.
- Gonz'alez-Alonso, J. & Calbet, J. A. L. (2003). Reduction in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*, 107, 824-830.
- 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, 972-978.

- 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.
- Joch, W., Ü ckert, S. (2005). *Precooling als Mittel der Leistungssteuerung in Training und Wettkampf*. BISp-Jahrbuch, 209-216.
- Joch, W., Ü ckert, S., & Fricke, R. (2003). *Die Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kälteapplikation für die Realisierung sportlicher Leistungen*. BISp-Jahrbuch.
- Kay, D., Taaffe, D. R., & Marino, F. E. (1999). Whole-body Pre-cooling and heat strage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *Journal of Sports Sciences*, 17, 937-944.
- Kenney, W., and J. Johnson. 1992. Control of skin blood flow during exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 24, 303-12.
- Lee, D. T., & Haymes, E. M. (1995). Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 1971-1976.
- Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues ; The purine nucleotide cycle. *Physiology Reviews*, 52, 381-413.
- Mader, A., Heck, H., Fahrenbach, R., & Hollmann, H. (1979). Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Säure-Basen-Status im bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400-m- und 800-m-Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. *Dtsch Z. Sportmed*, 7(8), 203-249.
- Mader, A., Lisen, H., Heck., Philippi, R., Schurch, P., & Hollamnn, W. (1976). Zur Beurteilung der sportspezifischen Ausdauerleistungs fähigkeit in Labor. *Sportarzt und Sportmed*, 27(4), 80-88.

- Marees, H. (2002). *Sport physiologie* (pp.536). Köln, Sport und Buch Strauss.
- McDougall, J. D., Reddan, W. G., Layton, C. R., & Dempsey, J. A. (1974). Effect of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36(5), 538-544.
- Marino, F. E. (2002). Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *British Journal of Sport Medicine*, 36, 89-94.
- Marsh, D., & Sleivert, G. (1999). Effect of precooling on high intensity cycling performance. *British Journal of Sports Medicine*, 33(6), 393-397
- McArdl, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology* (3rd ed). MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nybo, L. (2008). Hyperthermia and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104, 871-878.
- Olschewski, H., & Bruck, K. (1988). Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *Journal of Applied Physiology*, 64, 803-811.
- Parkin, J. M., Carey, M. F., Zhao, S., & Febbraio, M. A. (1999). Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 86, 902-908.
- Quod, M. J., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2006). Cooling athlete before competition in heat: comparison of techniques and practical consideration. *Journal of Sports Medicine*, 36(8), 671-682.
- Ramanathan, N. L. (1964). A new weighting system for mean surface temperature of human body. *Journal of Applied Physiology*, 19, 531-533.
- Schmidt, R. T., & Thews, G. (1990). *Physiologie des Menschen*. 24. Auflage. Springer Verlag. Berlin.

- Selkirk, G. A., McLellan, T. M., & Wong, J. (2004). Active versus passive cooling during work in warm environment while wearing firefighting protective clothing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1, 521-531.
- 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. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 29, S1501-263.
- Snow, R. J., Febbraio, M. A., Carey, M. F., & Hargreaves, M. (1993). Heat stress increases ammonia accumulation during exercise in human. *Experimental physiology*, 78(6), 847-850
- Stegemann, J. (1971). *Leistungsphysiologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart. New York.
- Ückert, S., & Joch, W. (2005). Effects of pre-cooling on thermoregulation and endurance exercise. *New Studies in Athletics*, 4, 33-37
- 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
- Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2006). *Vander's human physiology* (10th ed). NY: McGraw-Hill.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise* (4th Edition). Champaign Ill: Human Kinetics.

附錄

附錄一

受試者實驗同意書

親愛的受試者您好：

本實驗主要的目的在探討於室外濕熱環境下，在運動前、中不同冷卻方式對高強度間歇跑負荷身體溫度與肌肉能量路徑之效果。若於實驗時有任何身體不適，隨時可以提出、告知研究人員，若確定無法全程參與即可退出本實驗。本實驗所得資料與數據，僅供學術研究之應用。本實驗測試時間於2013年23-25日止，實驗注意事項如下：

- 1、實驗測試期間內不從事任何其他激烈運動。
- 2、實驗測試期間不得攝取任何增進運動表現之補充劑，且禁止飲用含酒精性之飲料，維持正常飲食。
- 3、實驗測試時，需採集耳垂與指尖之血液樣本，可能會引起耳垂瘀青以及指尖疼痛之症狀，此症狀1-2天即可恢復。

經詳閱上述實驗內容與各事項後，對本實驗之研究目的、方法及步驟皆了解並願意參與本實驗。本實驗感謝您的熱心參與及合作，使本實驗得以順利進行與完成。

實驗受試者：_____ (簽名)

日期： 年 月 日

若於實驗前或實驗期間，實驗受試者您對本實驗有任何問題及疑問，請聯絡本實驗指導教授 張嘉澤 教授 (03) 328-3201 轉 2426 或研究生 李智瑋 0930272725。

附錄二



運動能力診斷與訓練調整

運動能力診斷與訓練調整實驗室疾病調查表

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		
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

附錄三

運動努力知覺量表 (RPE)

級分	負荷感覺判斷
6	完全沒有費力的感覺
7	非常 非常輕鬆
8	
9	非常輕鬆
10	
11	輕鬆
12	
13	有些費力
14	
15	費力
16	
17	非常費力
18	
19	非常 非常費力
20	最大負荷

From Borg (1985)

附錄四

熱感覺量表 (TS)

級分	熱感覺判斷
0	難以忍受的冷
1	非常冷
2	冷
3	涼爽
4	稍微涼爽
5	自然
6	稍微溫熱
7	溫熱
8	熱
9	非常熱

From Gagge et al. (1967)