

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所博士論文

超低溫應用對高強度運動之恢復與神經肌肉表現

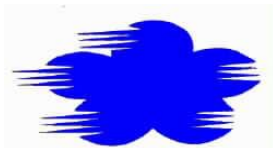
**Effect of Cryotherapy on Recovery and
Neuromuscular Performance Following
High-intensity Exercise**

指導教授：邱炳坤 博士

共同指導教授：張嘉澤 博士

研究生：陳德盛 撰

中 華 民 國 107 年 6 月



國立體育大學

National Taiwan Sport University

本論文：超低溫應用對高強度運動之恢復與神經肌肉表現

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生陳德盛所提，
作為審查授予體育學博士學位之一部分。

本論文承蒙下列考試委員審查通過

中華民國 107 年 4 月

論文考試委員



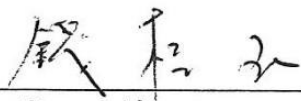
王淑華 博士

臺北市立大學教授



陳甫州 博士

台中榮民總醫院教授



錢桂玉 博士

國立體育大學副教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授

(論文共同指導教授)



邱炳坤 博士

國立體育大學教授

(論文指導教授)

超低溫應用對高強度運動之恢復與神經肌肉表現

摘要

研究背景與目的：目前對於超低溫療法的可能應用有越來越高的興趣，但極少研究探討超低溫應用時間對於神經肌肉的表現。本研究目的在於探討高強度間歇運動後 (HIIE)，應用不同非全身性冷卻 (PBC) 時間對於神經肌肉表現、代謝及心理壓力與體溫之調節的影響。**方法：**14 名健康男性運動員 (24.57 ± 3.27 years, 172.29 ± 5.97 cm, 68.64 ± 8.73 公斤，無氧閾值： 3.15 ± 0.65 m/s, 訓練頻率： 4.29 ± 1.07 d/wk) 進行高強度間歇運動 (Run: 2x90s, individual velocity of lactate 6 mmol/l, V6; Row: 2x300m, all-out based) 後，採重複量數隨機分配設計，接受三種不同超低溫長度 (2x60s, 2x90s, 2x150s; -110 to -135 °C) 與常溫控制環境 (23.1 ± 1.0 °C, CON)，每次實驗間隔 7 日。高強度間歇運動前、中與恢復期第 3、6、10、15、30 分鐘 (E3, E6, E10, E15, E30) 收集乳酸 (La)、血氨 (NH_3)、心跳 (HR)、體溫 (核心與體表)、熱感及知覺感受分數 (RPE)。恢復期階段亦測量神經肌肉表現：反應時間 (RT)、下蹲跳 (CMJ) 與 30 公尺衝刺表現。**結果：**超低溫應用後，相對於控制組，超低溫應用後之體表、核心與熱感受分數顯著下降 ($p < .05$)。恢復期各組間在乳酸、血氨與心跳無差異，但 PBC 2x150s 組加速乳酸移除 (CON: 20%; 2x60s: 17%; 2x90s: 22%; 2x150s: 24%) 與恢復期 30 分鐘 (E30) 恢復至安靜水準。再者，超低溫 2x150s 組比控制組加速 30 公尺衝刺 (E30, E60, E90)、下蹲跳 (E60, E90) 與反應時間 (E90) 的恢復。**結論：**高強度間歇運動後恢復期應用超低溫，對於神經肌肉表現中 30 公尺衝刺、下蹲跳具有正面的潛在效益，也能加速心理壓力的恢復。

關鍵詞：冷卻、高強度負荷、肌肉恢復、體溫調節

Effect of Cryotherapy on Recovery and Neuromuscular Performance Following High-intensity Exercise

Abstract

Background & purpose: There has been increasing attention in the possible applications of cryotherapy. Nevertheless, few studies of different cryostimulating duration on neuromuscular performance following high intense exercise have been investigated. The purpose of this study was to explore the different partial-body cryotherapy (PBC) duration on neuromuscular performance, metabolic, psychological stress, and thermal regulation following high intensity interval exercise (HIIE). **Methods:** 14 health male athletes (24.57 ± 3.27 years, 172.29 ± 5.97 cm, 68.64 ± 8.73 kg, AT: 3.15 ± 0.65 m/s, training frequency: 4.29 ± 1.07 d/wk) underwent HIIE (Run: 2x90s, individual velocity of lactate 6 mmol/l, V6; Row: 2x300m, all-out based) in random order and assigned to three PBC (2x60s, 2x90s, 2x150s; -110 to -135 °C), or control condition (23.1 ± 1.0 °C, CON), separated by 7 days in repeated measurement design. Pre, during, and at the end of 3, 6, 10, 15, 30 min (E3, E6, E10, E15, E30) in post HIIE recovery period, the measurements were taken of blood lactate (La), ammonia (NH₃), heart rate (HR), body temperature (core and shell), thermal sensation, rating of perceived exertion (RPE). During recovery period, the neuromuscular performance: reaction time (RT), countermovement jump (CMJ), and 30m sprint were also tested. **Results:** After PBC, core, shell temperature, and thermal sensation scale lower significantly ($p < .05$) compare to CON. No difference were also found on La, NH₃, and HR for each intervention, however, faster La removal (CON: 20%; 2x60s: 17%; 2x90s: 22%; 2x150s: 24%) and RPE returned (E30) to baseline were observed on PBC 2x150s during recovery. Moreover, PBC 2x150s accelerate recover on 30m sprint (E30, E60, E90), CMJ (E60, E90), and RT (E90) performance compare to CON following HIIE. **Conclusion:** This results suggest that partial-body cryotherapy (2x150s) have positive potential on 30m sprint and CMJ, also facilitated psychological stress recover in short recovery period following HIIE.

Keywords: cooling, high intensity load, muscular recovery, thermal regulation

致 謝

多年博士班生涯即將畫下句點，在近十年的研究所階段，非常榮幸與幸運的能受兩位對我求學生涯非常重要的老師——張嘉澤與邱炳坤教授的指導，非常感謝嘉澤老師在這麼多年來如師如父般的教導及照顧，引領我進入運動科學及訓練的專業領域，進入到體育大學「運動能力診斷及訓練調整實驗室」中，學習用科學的視角判斷國內外訓練的趨勢及實際應用的能力，讓我了解到運動訓練與研究其實是相輔相成的夥伴關係，而運動科學人員其實就如同運動員背後的推手，支持著選手最佳能力的展現，如何在選手、教練、防護員等團隊中扮演好自己的角色其實如同訓練一樣，是一門藝術，也謝謝老師對於我在研究及生活方面的鼓勵和包容，無論是物質與精神層面上；另外，也非常幸運能獲得選手行政面的支持者——邱炳坤教授的指導，在代課、研究、教甄考試中，總會想起老師分享過去辛苦求學時的點滴，及孤注一擲離鄉背井奮鬥的激勵，以及至今仍鼓勵我在體育面之餘，仍要保持人文的素養以豐富自己。在此，非常感謝兩位老師在德盛漫長的求學生涯給予人生許多方面的建議及啟發。

在論文研究計畫及最終口試階段，非常感謝口試委員：王淑華教授、陳甫州教授、錢桂玉教授及兩位指導教授：張嘉澤教授與邱炳坤教授，提供德盛許多研究面向的指導與建議，以及相當多個人經驗上的分享與鼓勵，使得本論文能更臻完善，在此敬申謝意。

再者，非常感謝在研究生涯一起努力、激勵、打屁的學長姊：玉麟老師、佳慧、月琪、嘉吉、康豪、詩淳；同學及學弟妹：育銘、家瑋、家偉、子毅、展明、宗翰、奕棠、有祥、小熊、敬衡、蔡老闆、俊霖、昱中、婉柔、婉禎、吳凱、松潛、智瑋、忻宸、宥緯、乙正、田剛、浩陽、奕晴、彥宇、沛蓁、卓賢、紫瑄、寶潤、皓程等所有 SPDI 夥伴們，如果沒有你們的協助，論文也無法得以完成。

最後，感謝我的家人及摯友兄弟姐妹們，在我困頓的時候給予金援，在我縮緊褲袋的時候，還是非常有義氣的遞出人生的紅色炸彈，讓我在忙碌緊湊的生涯中仍能參與你們人生的重要的時刻，感謝我的父母及姐姐一路的支持與鞭策，讓我能有今日。在此，將這份榮耀與你們同享，謝謝你們！

陳德盛 謹誌

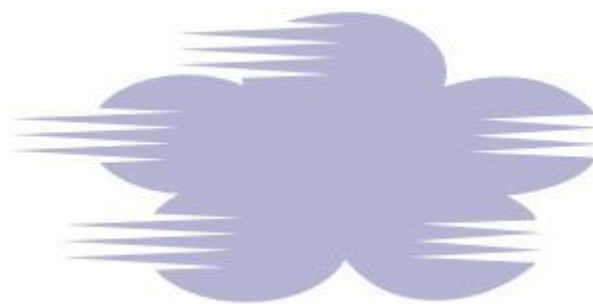
2018 年 6 月

目錄

中文摘要	-----	I
英文摘要	-----	II
致謝	-----	III
目錄	-----	IV
圖目錄	-----	VII
表目錄	-----	VIII
第壹章 緒論	-----	1
第一節 研究背景	-----	1
第二節 名詞操作性定義	-----	5
第三節 研究目的	-----	5
第貳章 文獻探討	-----	6
第一節 超低溫對人體之生理反應	-----	6
一 人體溫度調節機制	-----	6
二 超低溫對人體生理反應	-----	9
第二節 超低溫應用	-----	12
一 運動冷卻應用介紹	-----	12
二 超低溫與運動應用相關研究	-----	15
三 超低溫應用變項	-----	22
第三節 溫度對運動表現與限制	-----	23
第四節 高強度運動與神經肌肉疲勞	-----	28
一 疲勞定義與生理反應	-----	28
二 高強度運動對神經肌肉的疲勞	-----	29
三 高強度運動對能量代謝的反應	-----	31
第五節 文獻總結	-----	33
第參章 研究方法	-----	34
第一節 研究對象	-----	34
第二節 實驗時間與地點	-----	34
第三節 研究設計與實驗流程	-----	35
一 研究設計	-----	35

二	實驗流程 -----	36
三	超低溫冷卻應用 -----	37
四	施測項目 -----	37
五	運動負荷與恢復應用時序 -----	39
第四節	實驗儀器與設備 -----	43
第五節	資料處理與統計 -----	44
第肆章	研究結果 -----	45
第一節	超低溫應用對乳酸、血氨及壓力指標之影響 -----	45
一	乳酸 -----	45
二	血氨 -----	48
三	心跳 -----	50
四	知覺感受分數 -----	52
第二節	超低溫應用對高強度間歇運動後之運動表現 -----	55
一	下蹲跳 -----	55
二	反應時間 -----	56
三	30 公尺運動表現 -----	58
第三節	不同恢復環境對體溫的影響 -----	61
一	核心體溫 -----	61
二	體表溫度 -----	63
三	熱感量表分數 -----	66
第四節	划船負荷與運動表現 -----	69
第伍章	討論 -----	72
第一節	超低溫應用對神經肌肉表現 -----	73
一	超低溫對於反應時間的影響 -----	73
二	超低溫對下蹲跳及 30 公尺衝刺表現 -----	75
第二節	超低溫應用對於能量代謝與體循環壓力的影響 -----	82
一	超低溫對於乳酸與血氨代謝 -----	82
二	超低溫應用與心跳的影響 -----	86
第三節	超低溫應用對於體溫調節、熱覺感受及知覺感受分數的影響 -----	87
一	超低溫應用對體溫調節的影響 -----	87
二	超低溫應用對知覺感受分數的影響 -----	91

三	超低溫應用對熱覺感受分數的影響 -----	93
第陸章	結論與建議 -----	96
第一節	結論 -----	96
第二節	建議 -----	97
參考文獻	-----	99
附錄		
附錄一	疾病調查表 -----	130
附錄二	超低溫使用調查表 -----	131
附錄三	知覺感受量表 (RPE) -----	132
附錄四	熱感受量表 -----	133
附錄五	人體倫理委員會通過證明 -----	134

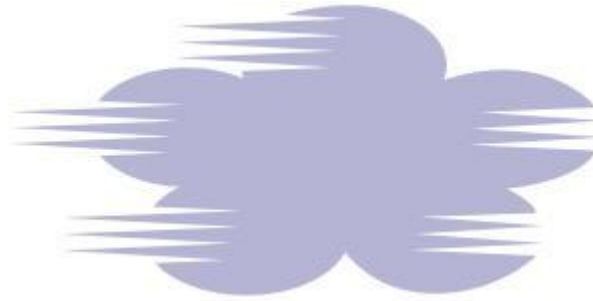


圖目錄

圖	2-1-1	不同環境溫度之體表與核心溫度 -----	7
圖	2-1-2	身體活動與熱能轉移 -----	8
圖	2-1-3	人體低溫調節機制 -----	9
圖	2-2-1	超低溫室 -----	14
圖	2-2-2	超低溫艙 -----	14
圖	3-1	實驗流程圖 -----	36
圖	3-2	實驗冷卻圖 -----	37
圖	3-3	反應時間測驗 -----	39
圖	3-4	高強度間歇負荷與實驗順序 -----	41
圖	3-5	核心與體表溫度偵測位置 -----	41
圖	4-1-1	乳酸變化趨勢圖 -----	46
圖	4-1-2	血氨變化趨勢圖 -----	49
圖	4-1-3	知覺量表分數變化趨勢圖 -----	53
圖	4-2-1	各組下蹲跳時間變化柱狀圖 -----	56
圖	4-2-2	反應時間變化圖 -----	57
圖	4-2-3	30m 運動表現時間圖 -----	59
圖	4-3-1	核心溫度趨勢圖 -----	62
圖	4-3-2	體表溫度趨勢圖 -----	64
圖	4-3-3	各組恢復期體表溫度變化柱狀圖 -----	65
圖	4-3-4	熱感量表分數變化趨勢圖 -----	67

表目錄

表	2-1	冷卻應用療法專用術語 -----	12
表	2-2	超低溫與運動相關文獻 -----	17
表	2-3	低溫應用與神經肌肉表現 -----	26
表	3-1	生物參數與神經肌肉表現收集時間 -----	42
表	4-1-1	各組乳酸變化 -----	47
表	4-1-2	各組血氨變化 -----	49
表	4-1-3	各組心跳變化 -----	51
表	4-1-4	知覺量表分數比較表-----	54
表	4-2-1	各恢復模式之神經肌肉表現 -----	60
表	4-3-1	各恢復模式與核心溫度比較 -----	63
表	4-3-2	各恢復模式與體表溫度比較 -----	66
表	4-3-3	各恢復模式與熱感溫度分數變化 -----	68
表	4-4-1	個人 300 公尺划船平均功率-----	70
表	4-4-2	個人 300 公尺划船平均時間-----	71



第壹章 緒論

第一節 研究背景

運動時的恢復 (recovery) 與再生 (regeneration) 策略發展是因為對生理機制與科學技術的演進而日新月異，近幾年來由於資訊流通的速度加快，促使各國選手與訓練科學間的差異逐漸縮小，也增加彼此間的對抗性。

運動員為了提高的訓練效果、比賽的優勢與降低運動後疲勞和損傷的發生，許多改善此現象的技術便快速發展，例如動態恢復 (Coffey, Leveritt, & Gill, 2004)、壓縮服飾 (compression garments) (Duffield, Cannon, & King, 2010)、按摩 (Weerapong, Hume, & Kolt, 2005; Mancinelli, Davis, Aboulhosn, Brady, Eisenhofer, & Foutty, 2006)、抗氧化與營養補充品 (McLellan, Pasiakos, & Lieberman, 2014)、遠紅外線、冷凍背心 (Webster, Holland, Sleivert, Laing, & Niven, 2005)、冷水浸泡與超低溫等便應運而生 (Barnett, 2006; Ristow et al., 2009; Hausswirth, Louis, Bieuzen, Pournot, Fournier, Filliard, & Brisswalter, 2011)。其中，超低溫 (cryotherapy) 為近幾年逐漸受到矚目的恢復方式，有別於液態冷卻的冷水浸泡 (cold water immersion)，超低溫採取極低溫的乾式氣體-液態氮 (liquid nitrogen) 藉由蒸散 (evaporation) 至一艙室之中 (-110 to -195°C)，讓身體短暫且大面積的暴露於冷環境中持續 2-5 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 (vasodilation) 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, Lubkowska, Szyguła, Frączek, & Chudecka, 2011)，藉此達到促進恢復的效果。

就競技運動而言，運動員一天接受的訓練範圍通常為 2 - 3 次，每次訓練 2 - 3 個訓練單元是非常普遍的，國家級或甲組運動員一日訓練流程通常為：早上晨

操、上午與下午的訓練。然而訓練所包含層面甚廣，譬如技術、專項體能、基礎體能、模擬比賽或輔助訓練等等，如何在整日的訓練中，讓技術與體能都維持在「最佳狀態」進行，而非僅僅是「完成」該有的訓練量，並減少運動傷害與過度訓練的產生 (Hopper & Mackinnon, 1995; Kellmann, 2010)，這些將影響訓練的成效與運動表現 (Roy, 2015)。就訓練趨勢而言，高強度運動，特別是高強度間歇運動 (high intensity interval exercise, HIIE) 已被證實能改善有氧及無氧能力 (Tjønnå, Leinan, Bartnes, Jenssen, Gibala, Winett, & Wisløff, 2013)、肌肉緩衝能力 (Pilegaard, Domino, Noland, Juel, Hellsten, Halestrap, & Bangsbo, 1999)、脂肪氧化代謝率 (Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005)、骨骼肌的乳酸與氫離子效率、糖酵解與糖質新生 (Laursen & Jenkins, 2002) 與心血管系統 (Wisløff, Ellingsen, & Kemi, 2009) 等功能，HIIE 相較於傳統訓練模式更縮短訓練時間，並且發現短期訓練 (2-4wk) 即能達到相同的生理適應的效果。就比賽類型而言，例如足球、手球與籃球等，這種比賽每一節之間的休息時間是有限的運動項目，若也能在極短時間的恢復效果獲得提升，必然有助於比賽分數的提高 (Montgomery, Pyne, Hopkins, Dorman, Cook, & Minahan, 2008)。

高強度與長時間及大量的訓練、高阻力負荷或比賽都會造成神經肌肉疲勞 (neuromuscular fatigue)，從而降低瞬發力與力量表現 (Gibson & Edwards, 1985; Coutts et al., 2007; Twist, Waldron, Highton, Burt, & Daniels, 2012)，並伴隨著代謝物質乳酸的累積 (Linnamo, Häkkinen, & Komi, 1998)。有別於亞最大運動 (submaximal exercise)，肌肉伸展收縮循環 (Stretch-shortening cycle, SSC) 常見於自然的身體動作，例如跑步、跳躍、單腳跳躍 (hopping)，以跳躍為例，當肌肉處在離心伸展且未觸地的階段，該肌群被預先活化 (pre-activated)，儲存彈性能 (elastic energy stored)，腿部觸地後立即進行向心收縮 (Komi, 2000)。透過 SSC 的生理機制衍伸出增強式或跳躍性訓練，目的即為了改善肌肉纖維力量、收縮速度 (Malisoux, Francaux, Nielens, & Theisen, 2006)。研究指出，連續落下跳躍 (drop

jump, DJ) 誘發神經肌肉疲勞，可能與中樞運動控制 (central motor command)、反射性 (reflex) 與肌肉勁度 (stiffness) 的調節有關，進而限制彈性能儲存，而降低跳躍高度 (Horita, Komi, Nicol, & Kyröläinen, 1996)。

綜合上述，運動員在比賽與訓練過程中，大多處於日常訓練密集、高強度負荷的狀態，若在訓練與比賽間能有較理想的恢復狀態，將有助於降低生理與心理負荷、疲勞感受，進而提高該次訓練效果與運動表現 (Kenttä & Hassmén, 1998; Bishop, Jones, & Woods, 2008)，然而短時間、長時間、跳躍性與阻力性皆可能造成神經肌肉的疲勞，進而限制運動表現。

研究指出，溫度與運動表現亦具有非常密切的影響，在極度低溫環境中，人體的體表皮膚會透過血管收縮、透過顫抖 (shivering) 提高代謝率來維持體溫的穩定 (homeostasis) (Westerlunda, Oksa, Smolander, & Mikkelsen, 2003)。當肌肉低於正常溫度時，將降低最大力量、增加肌肉張力到達峰值 (peak tension) 的時間與放鬆時間 (relaxation time)、從事相同負荷時，低溫狀態的肌肉比正常溫度時需招募更多肌纖維以維持動作表現 (Bergh & Ekblom, 1979; Bigland-Ritchie, Thomas, Rice, Howarth, & Woods, 1985)，並反應與肌電圖振幅的增大 (Petrofsky & Lind, 1980)，進而加速疲勞且不利與運動表現的狀態產生。相較之下，當肌肉溫度高於正常體溫 1°C 可提高器官組織作業效率、力量與速度能力等 (Asmussen & Bøje, 1945; Racinais & Oksa, 2010; McGowan, Pyne, Thompson, & Rattray, 2015)，但長時間的運動、高溫或高濕度環境，將造成身體溫度調節壓力的增加，提高心臟血管負荷 (González-Alonso, Crandall, & Johnson, 2008)。相較之下，低溫環境使肌肉張力提高，造成最大力量與持續收縮的能力下降 (Sargeant, 1987)，肌肉組織因冷卻，不利於氧氣提取率 (oxygen extraction) 和氧化反應 (oxygen reaction) (Shiojiri, Shibasaki, Aoki, Kondo, & Koga, 1997)，且拉長了肌肉收縮與神經傳導時間 (Ranatunga, 1982; Rutkove, 2001)。因此，當體溫與肌肉溫度過高或過低皆不利與運動表現。

就冷卻時間與力量表現效果而言，Hauswirth et al. (2011) 以不同坡度跑誘發 EIMD (exercise-induced muscle damage) 探討 3 分鐘全身冷卻式療法 (whole-body cryotherapy, WBC) 對良好訓練的跑者肌肉能力，發現 1 個小時後最大力量與知覺感受 (perceived sensation) 就能獲得恢復。相較於常溫的恢復，Ferreira-Junior et al. (2014)a 以阻力訓練者為對象，探討溫度差異 (-110 °C vs. 21 °C) 對最大、平均與總力矩 (torque) 表現顯示無差異，指出 PBC 的模式並不會降低神經肌肉表現。然而，Fonda and Sarabon (2013) 以連續跳躍藉由單次 3 分鐘非全身性的超低溫 (cryo-cabin, -140 to -195 °C) 雖然發現可能有助於降低肌肉痠痛，但對力量輸出與肌力表現並無助益。Ferreira-Junior et al. (2014)b 以跑者為對象，透過非全身性超低溫冷卻 (partial-body cryotherapy, PBC) 顯示有助於離心性肌肉表現的提升，但也認為溫度下降可能不利於神經肌肉動作表現。就平常訓練而言，WBC (-120 °C) 一天兩次，連續五天的中等強度運動訓練觀察賀爾蒙、免疫與網球專項訓練顯示，WBC 有助於降低訓練後免疫因子，有助於提高訓練品質 (Ziemann et al., 2012)。就冷卻時間而言，Selfe et al. (2014) 以單場橄欖球比賽應用超低溫 (-135°C) 比較 1、2 與 3 分鐘的生理反應顯示，2 分鐘即足夠降低核心與體表溫度，並促使組織氧化作用產生反應，不過超低溫冷卻應用時間的長度是否會影響生理及表現，目前尚無相關研究對此進行探討。

綜合上述相關文獻顯示，超低溫應用對於神經肌肉表現並無一致性結果，冷卻時間、冷卻環境與溫度可能是影響的變數之一。就應用上而言，WBC 而言，整個冷卻時間可能已超過 20 分鐘以上，就訓練上或肌肉功能上可能產生不利的影響 (Pritchard & Saliba, 2014)。就運動員而言，冷卻應用的時間長度與神經肌肉功能的表現將影響到當日下一階段的訓練或比賽。因此，本研究欲以常見的運動員訓練型態，在恢復期結合不同超低溫冷卻時間長度的應用，探討該模式對於神經肌肉表現的影響，並探討超低溫應用後之恢復期不同時序上神經肌肉表現的變化，用以提供未來運動科學、教練與選手應用上的建議。

第二節 名詞操作性定義

- 一、超低溫應用 (cryotherapy application)：本研究之超低溫指非全身性冷卻 (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，溫度介於 -110 至 -135°C ，冷卻時間為連續兩次 $60-150$ 秒，兩次間歇間隔 3 分鐘。
- 二、高強度運動：本研究指兩次高於無氧閾值的跑步 (強度：乳酸 $> 6\text{mmol/l}$ 的速度；範圍： $2\times 90\text{s}$, rep 2min) 與兩次衝刺模式划船 300 公尺 (強度：all-out based；範圍： $2\times 300\text{m}$, rep 2min, set 5min) 組合。
- 三、神經肌肉表現：本研究指下蹲跳 (counter movement jump, CMJ)、反應時間 (reaction time, RT) 與 30 公尺短距離衝刺 (30m sprint) 三項目稱之。
- 四、核心體溫 (core body temperature, T_c)：指透過紅外線熱感攝影器偵測研究參與者的頭部、胸口及腹部溫度。
- 五、體表溫度 (body shell temperature, T_s)：指透過紅外線熱感攝影器偵測研究參與者肢段部位，包含左右上肢的上臂與手掌，下肢的大腿與小腿。

第三節 研究目的

- 一、探討高強度運動後，不同超低溫冷卻應用時間對神經肌肉表現 (CMJ, RT, 30m sprint) 與恢復期時序上之效果。
- 二、探討高強度運動後，恢復期冷卻應用時間對乳酸、血氨、心跳、體溫調節與知覺感受之影響。

第貳章 文獻探討

第一節 超低溫對人體之生理反應

一、人體溫度調節機制

維持內在環境中組織溫度的穩定 (homeostasis) 是哺乳類動物的生物特性之一，而這穩定的狀態並非指固定不變的溫度數值，而是透過生理調節 (regulation) 與回饋 (feedback) 於一個相近的生理反應區間。人為恆溫動物 (homeotherms)，相對於變溫動物 (poililotherms) 有較快的溫度調控速度，以避免因體溫偏差太大而造成病理性影響，例如體溫過高 (hyperthermia)：熱衰竭、熱中暑；體溫過低 (hypothermia)：體溫調控失能、心臟顫動，而對生理產生不可逆的改變。

身體核心溫度 (core temperature) 依據一天的生理節奏變化、女性經期、情緒、個人身體活動與年齡 (Howell, 1948)，會有週期性 (circadian) 的體溫節律 (Kurz, 2008)，其變化差距 $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ 左右，一般而言，人體溫度介於 $36.5 - 37^{\circ}\text{C}$ 之間 (Moran & Mendal, 2002; Lim, Byrne, & Lee, 2008)。

關於身體溫度的研究早在 17 世紀即開始，James Currie 以水銀溫度計 (Mercury-in-glass thermometer) 應用於醫學上的診斷後，之後廣泛使用於臨床與研究人體與動物溫度相關研究上。隨著儀器的改善與研究的拓展，逐步探討至溫度與能量代謝、能量調控與核心體溫、神經及生理化學的機制等等 (Cooper, 1985)。

所有代謝與器官組織功能都受體溫變化而產生影響，而每個器官的體溫會有所差異，因此並無一固定溫度值，從熱能調節的視角，身體體溫可視為核心 (central core) 與身體外層 (outer shell) 兩部分組成。

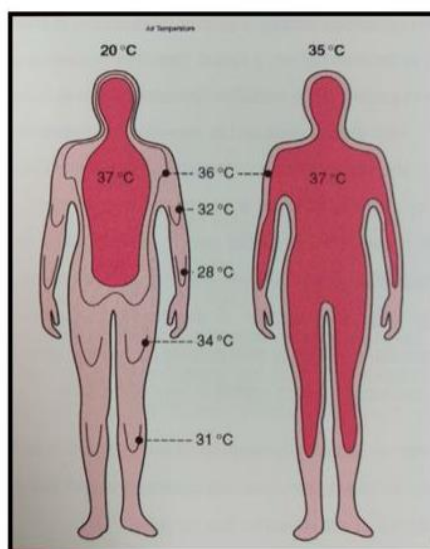


圖 2-1-1 不同環境溫度之體表與核心溫度
(Gunga, 2005)

核心的體溫由胸腔、腹腔與顱腔器官 (thoracic, abdominal and cavities) 組成，而外層則指皮膚、皮下組織 (subcutaneous) 與肌肉三部分，如圖 2-1-1 所示。核心體溫受到大腦調節，而體表溫度 (shell temperature) 則藉由皮膚血流 (skin blood flow) 與環境溫度調控 (Folk, Riedesel, & Thrift, 1998)。相較於體表溫度，核心體溫處在相對穩定的狀態，以維持體內器官與細胞維持最佳功能。身體熱的平衡與穩定，是藉由雙熱調節特性 (dual-thermic properties)，在核心與體表上做溫度調控，其反應於產熱 (heat generation) 與散熱 (heat rejection) 間的動態穩定 (Lim et al., 2008)。身體與外在環境間的热能傳遞轉換是依據物理定律，這過程是依據熱能梯度 (thermal gradient) 作流動，其熱的傳遞機制分別如下：輻射 (radiation)、對流 (convection)、傳導 (conduction) 與蒸發 (evaporation)，在安靜狀態約有 50-60% 以輻射的方式流失熱能；運動後的大量流汗使體表汗液轉換成氣體將熱帶離大約佔熱流失比例 20%，但受到相對環境濕度影響 (Nielsen, Strange,

Christensen, Warberg, & Saltin, 1997)。當溫度高於正常範圍時，人體會藉由皮下熱的流動調節身體溫度，使體表的溫度下降 (Gordon, Roemer, & Horvath, 1976)。皮膚上的接受器所偵測到的冷與熱會透過大腦的整合做出例如汗腺與皮膚血管的調節 (Benzinger, 1959)，如圖 2-1-2 所示。

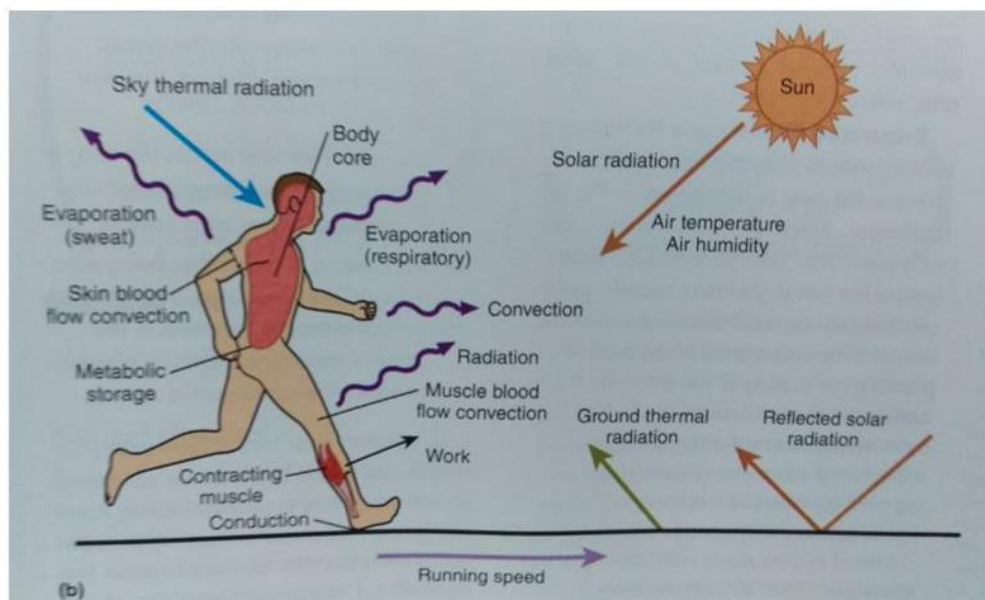


圖 2-1-2 身體活動與熱能轉移 (引自 Raven, Wasserman, Squires, Murray, 2012. P471)

相對的，人體內部體溫調節主要藉由神經系統控制，Ranson (1939) 指出下視丘 (hypothalamus) 是體內調節溫度的中樞，體溫調控受到回饋系統控制，當下視丘接收到來自於皮膚表面且游離於神經末端中，特化的溫度感受體 (thermoreceptors)，將溫度感受傳回腦部神經纖維、下視丘控制中樞、傳出性神經纖維等等，這些特化的溫度感應器會將身體溫度訊息傳至中樞神經系統，彙整訊息後進一步作出調節，如圖 2-1-3 所示。溫度感受體會依部位區分為周邊與中樞熱感受體，周邊感受體主司皮膚溫度監控，而中樞則負責中樞神經系統與腹腔器官，這兩溫度感受體將訊息傳遞至下視丘，透過下視丘前區 (anterior hypothalamus) 與後區 (posterior hypothalamus) 進行散熱與產熱反應。當下視丘整合溫度訊息後，會將訊息傳至 (一) 運動皮質與神經系統，藉由骨骼肌顫抖 (shivering) 產熱；(二) 交感神經引起體表血管收縮，並透過腎上腺髓質分泌兒茶酚胺；(三) 腦垂體前側

刺激甲狀腺 (thyroid hormone) 與腎上腺糖皮質素 (glucocorticoid) 分泌，促進代謝產熱。短時間暴露於冷環境中，腎上腺皮質中的醛固酮 (aldosterone) 與皮質醇 (cortisol)、髓質分泌的正腎上腺 (norepinephrine) 增加、腦垂體中的促腎上腺皮質素 (ACTH) 增加、抗利尿激素 (ADH) 及內啡呔 (β -endorphin) 下降等、與胰臟的肝糖增加等反應 (Pääkkönen & Leppäluoto, 2002)，促使產熱作用以維持體溫穩定。

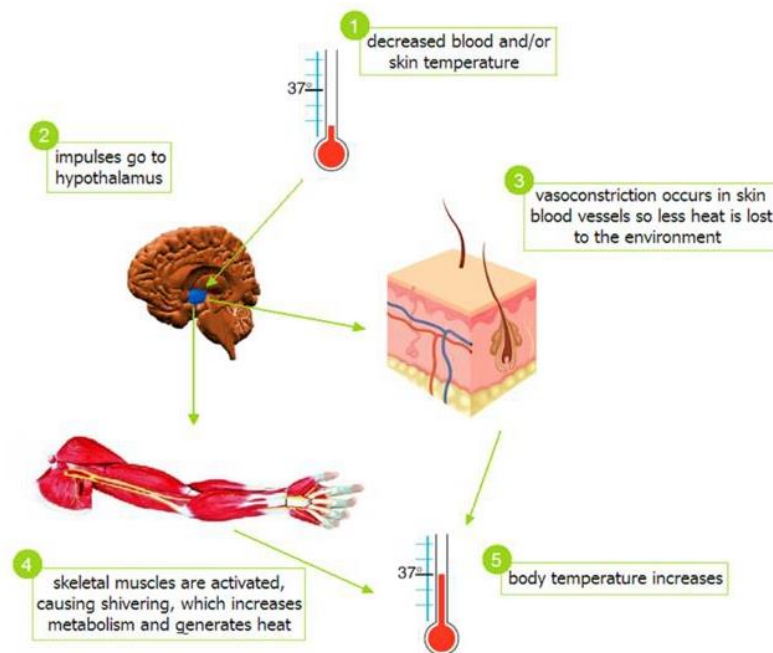


圖 2-1-3 人體低溫調節機制 (引自 <http://www.fsps.muni.cz/~tvodicka/data/reader/book-4/11.html>)

二、超低溫對人體生理反應

當人體短時間接受到極度的冷卻刺激時，體表各部位（手部與手掌、大腿與小腿、胸與背部）在極短時間內大幅下降，而核心（直腸）溫度則維持穩定 (Westerlund et al, 2003)，不過當離開極度冷卻環境後，直腸溫度可能持續下降，稱作體溫後降 (afterdrop)，指移除冷卻壓力後核心體溫下降的情況，意味體內的對流與傳導相互作用的結果。極度冷卻使身體周邊區域的血液冷卻，透過靜脈回流與體內產生對流的作用 (Hayward, Eckerson, & Kemna, 1984)；而較暖的血液因熱梯度的作用，將較暖的血液傳導至周邊 (Webb, 1986; Westerlund et al., 2003)，

而體表、肌肉與核心體溫可能需要至離開冷環境後 1 小時才能回到原本溫度 (Costello, Culligan, Selfe, & Donnelly, 2012; Selfe et al., 2014)。

當組織溫度下降，刺激皮膚接受器激發交感腎上腺纖維 (sympathetic adrenergic fibres)，造成局部與周邊血管小動脈與小靜脈收縮 (Srámek, Simecková, Janský, Savlíková, & Vybíral, 2000)，導致血管阻力增加、動脈血壓上升 (Bonde-Petersen, Schultz-Pedersen, & Dragsted, 1992)、心臟在前負荷期 (cardiac preload) 的負荷因周遭血管的收縮導致每跳血液輸出量 (stroke volume) 增加，並降低心跳、心輸出量 (cardiac output, Q) 與周邊血流 (Park, Choi, & Park, 1999; Wilcock, Cronin, & Hing, 2006)，這些過程致使周邊與核心的血液重新分配 (redistribution)，而提高靜脈血液回流量與中樞循環血液量，所以改善了心臟效率，最終改善運動表現 (Marsh & Sleivert, 1999)，而局部的血管收縮降低了發炎物質擴散進入細胞間隙的量和限制血管滲透性，故能降低腫脹與新陳代謝，因此有助於降低肌肉損傷與急性發炎症狀 (Cheung, Hume, & Maxwell, 2003; Murray & Cardinale, 2015)。

超低溫後會造成微循環的血管擴張，快速增加微血管血流，使體溫迅速恢復這種超低溫誘發的微循環變化的反應來自於皮膚溫度分布情形的變化，超低溫後造成收縮壓、舒張壓與心跳高於冷卻前，然而就健康的受試者而言，仍處於安全範圍 (BP diastolic-110mmHg; BP systolic-200mmHg) (Beelen & Sargeant, 1991; Shephard, 1993)。重複冷刺激下 (超低溫與冰水)，人體會迅速作出調適，改變自身感受與溫度敏感性 (Smolander, Mikkelsen, Oksa, Westerlund, Leppäluoto, & Huttunen, 2004)，並且不會影響賀爾蒙中的生長激素 (growth hormone)、催乳激素 (prolactin)、促甲狀腺素 (thyropin)、甲狀腺素的運作 (thyroid hormones) (Smolander et al., 2009)。

冷卻時間對於效果與安全具有決定性的角色，暴露時間越長則體溫越低，所需回溫時間也愈長。體表溫度變化而言，軀幹 (trunk) 變化量最小，而 -120 度左右，3min 以下是最佳的安全範圍 (Debiec-Bak, Skrzek, & Podbielska, 2013)，人在

不同的超低溫環境 (cryo-cabin vs. cryo-chamber) 並不會有大幅的生理反應差異 (Savic, Fonda, & Sarabon, 2013)；而低溫環境 (-110°C) 對於支氣管可能產生輕微的收縮現象，但並不至於對人體產生危害 (Smolander, Westerlund, Uusitalo, Dugué, Oksa, & Mikkelsen, 2006)。不過，進行冷卻應用時必須考慮人體測量學因子 (anthropometric factors)，如：身體質量指數 (body mass index, BMI)、皮脂摺層厚度 (skinfold thickness) (Otte, Merrick, Ingersoll, & Cordova, 2002) 與性別，上述可能影響可能因冷卻時間與深度而有所差異 (Cholewka, Stanek, Sieroń, & Drzazga, 2012; Hammond, Cuttall, Nunley, & Meyler, 2014)。

就醫學與競技運動而言，超低溫冷卻透過全身性和局部性的使用，已經廣泛應用於運動傷害後的恢復、關節退化與發炎、減少細胞壞死 (cell necrosis) 與嗜中性白血球增值 (neutrophil migration)、降低急性軟組織傷害 (Ma, Je, Jeong, Kim, & Kim, 2013)、減緩神經傳導與細胞代謝速度，進而減緩組織損傷的程度 (Wilcock et al., 2006)，甚至有研究指出能改善情緒及憂鬱症患者症狀 (Rymaszewska, Ramsey, & Chladzinska-Kiejna, 2008)。

綜合上述，超低溫能降低發炎及免疫反應，並具有促進恢復的效果與個人感受，並就目前研究顯示對於心血管並不會產生負面影響，然而性別與身體質量指數等可能影響冷卻效益。

第二節 超低溫應用

一、運動冷卻應用介紹

冷卻應用是一古老的治療方式，早在埃及時期就已藉由醋酸氧化鋁 (acetate of alumina) 來減輕患部疼痛，希臘時期也使用冷飲治療熱病。但冷卻應用的發展除了藉由天然的冰、雪以及水外，受到製造冰凍製品技術的關係而受到限制，至 18 世紀的左右蘇格蘭物理學家 Willian Cullen 製造了人造冰，及 John Gorrie 博士發明了製冰機後，冷卻應用技術便快速的發展並更加多元化 (Senne, 2001; Ückert, 2014)。之後，超低溫冷卻與一般冷卻應用溫度以 0 °C 做為區別，一般冷卻應用 (cold application) 指 0 °C 以上；冷凍療法或稱超低溫刺激 (cryo-therapy/stimulation) 則指 0 °C 以下的應用方式。就運動冷卻型態有三種：冷水、冰塊與氣態三種，並依其接觸身體的面積有所差別，冷卻型態及相關應用名稱如表 2-1 所示：

表 2-1 冷卻應用療法專用術語

	Application		Therapy	
	Whole body	Partial body	Whole body	Partial body
Cold water	Whole body cold	Partial body cold	Whole body cold	Partial body cold
	water application	water application	water Therapy	water Therapy
Ice	Whole body ice	Partial body ice	Whole body Ice	Partial body Ice
	application	application	Therapy	Therapy
Cold air	Whole body cold	Partial body cold	Whole body Cold	Partial body Cold
	air application	air application	air Therapy	air Therapy
Field of application	Sports, work physiology		Reheumatology, traumatology	

(Ückert, 2014)

相對於局部冷卻 (local cooling)，全身冷卻 (whole body cryotherapy) 在 1978 年始由日本 Yamauchi 創設，低溫療法初期用來治療風濕 (rheumatism)、關節疾病 (osteoarthritis)、肌纖維疼痛 (fibromyalgia) 與僵直性脊椎炎 (ankylosing spondylitis) 患者，並在臨床上應用於痙攣 (spasticity) 與神經系統方面的疾病，此外對於乾癬 (psoriasis) 與神經性皮炎 (neurodermatitis) 具有鎮定的效用。針對多發性硬化症患者 (Patient -Multiple Sclerosis) 具有提高肌肉力量、痙攣且降低行為殘缺量表的分數 (Expanded Disability Status scale) (Yamauchi, Kim, Nogami, & Kawano, 1981; Miller & Niwald, 2014)。在 1980 年代，超低溫艙被引進至波蘭與德國，在當時主要是以醫療作為應用主軸 (Yamauchi, Nogami, Miura, 1981; Fricke, 1989; Metzger, Zwingmann, Protz, & Jackel, 2000)，之後發現短時間的超低溫應用可降低疼痛，因此引用至運動傷害之中，並進一步發現超低溫具有促進恢復、減少腫脹、發炎並有助於減少過度訓練症狀 (Banfi, Lombardi, Colombini, & Melegati, 2010)，至今在歐洲與美洲已廣泛的應用於運動訓練與競賽之中，此外亦有部份健康與醫療中心應用此設備。

超低溫應用指藉極低溫的氣體（液態氮）釋放在冷凍室 (chamber/cryo-chamber) 或小艙室 (cabin/cryo-cabin) 搭配短暫的冷卻時間進行應用 (Savic et al, 2013)，圖 2-2-1 和 2-2-2 所示。超低溫療法為近年國際較新穎的運動恢復應用方式，藉液態氮以氣態的方式釋放於一特製的冷凍空間，溫度範圍為攝氏零下 -110 至 -150°C 間，暴露時間大多在 2 分鐘至 4 分鐘之間，以達到降低皮膚溫度的效果 (Banfi et al., 2010; Hausswirth et al., 2013; Zalewski et al., 2014)，但也有一些研究溫度至 -160 與 -195 °C (Hausswirth et al., 2011; Fonda & Sarabon, 2013)，冷凍艙室使用多會依序讓使用者在一低溫環境 (-30 to -60 °C) 適應約 30 秒後，再進入更低溫的艙室 (Banfi et al, 2010)，而非全身性的 (partial-body cryostimulation, PBC) 是以頭部露出 (head out) 低溫艙，不須適應溫度的過程。

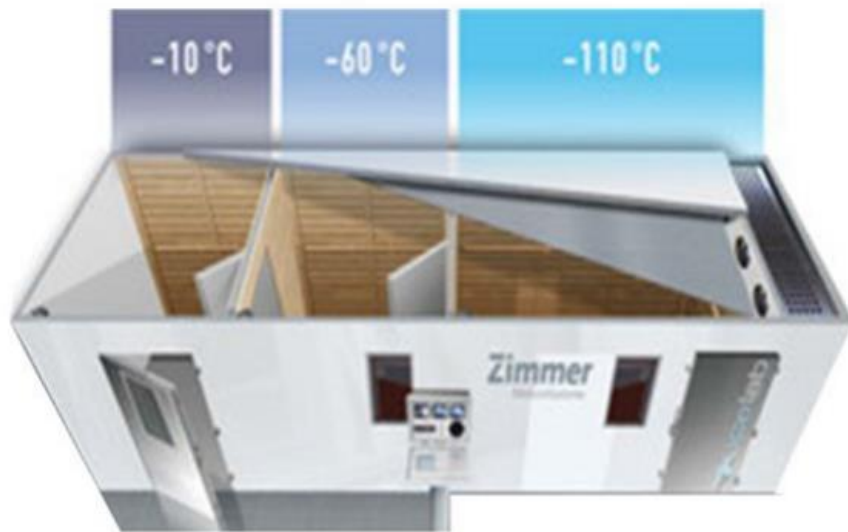


圖 2-2-1 超低溫室 (chamber/cryo-chamber)
<https://www.spesart-therme.de/icelab-110.html>



圖 2-2-2 超低溫艙 (cryo-cabin)
<https://www.criosaua.ro/en/cryosauna.html>

二、超低溫與運動應用相關研究

目前針對超低溫應用於運動訓練的研究趨勢主要著重於運動或比賽誘發肌肉損傷，觀察超低溫應用對於免疫、發炎因子的影響。Self et al. (2014) 以英式橄欖球比賽為運動負荷，藉由不同冷卻時間比較賽後冷卻方式觀察肌肉發炎與各體感知反應發現，零下 -130 至 -135 °C 暴露 2 分鐘應用 (WBC)，相較於 1 分鐘有較佳的個人感受度，雖然發炎反應 (IL-6) 三者差異不大，不過 2 分鐘即足以讓體表與核心溫度產生變化，並影響下肢 (股外側肌、腓腸肌) 肌肉氧合作用。Pournot et al. (2011) 以兩個換氣閾值 (4.3 to 3.1 m/s) 強度結合上坡與下坡跑 (+10 & -15%) 誘發 EIMD (exercise-induced muscle damage, EIMD)，比較被動式 (passive recovery) 與超低溫恢復效果後發現，在運動後第 1 至 96 小時，WBC 有較低發炎反應，並呈現較低的 C 反應蛋白 (plasma C-creative protein)。Ferreira Júnior (2014) 藉由落下跳 (box drop jump, DJ) 誘發 EIMD 的方式，在運動後應用超低溫與常溫比較發現，運動後立即至第四天的力量恢復之中，最大力矩 (peak torque) 在第三天呈現恢復並且優於常溫組，此外在運動後隔天並未產生腿部肌肉腫脹情況，顯示 EIMD 後應用超低溫有較佳的肌肉損傷恢復效果。Krüger, de Mareés, Dittmar, Sperlich, and Mester (2015) 連續以三次運動負荷 (依序為：漸增跑→最高速度跑→漸增跑)，在最高速度跑後比較超低溫 (PBC, -110°C, 3min) 與走動 (walking) 恢復模式發現，第二次的漸增跑步距離兩組皆呈現下降，但 PBC 組下降距離較少，且在最高速度與第二次的漸增跑呈現較低的心跳與自我負荷知覺 (rating of perceived exertion, RPE) 分數，並在股外側肌 (m. vastus lateralis) 呈現較高的肌肉含氧量，不過乳酸部分兩者未呈現差異，這意味著 PBC 在運動負荷後應用有助於減緩疲勞的累積，與降低恢復期體循環的負荷，但能量代謝上的機制尚未完全明確。上述研究顯示超低溫有助於降低發炎與免疫反應，有助於加速恢復延緩疲勞。

由於高強度的訓練往往造成肌纖維的微損傷 (micro-injury)，因此相關發炎因

子就可能從肌纖維釋放出來 (Howatson, Gaze, & van Someren, 2005)，而這些受傷的細胞與肌漿膜 (sarcoplasmic membranes)，使細胞內的鈣離子堆積，進而降低力量的產生 (Kędziora, 1998)。故也有部分研究以規律訓練過程中應用超低溫觀察相關因子的變化。Wozniak, Wozniak, Drewa, Mila-Kierzenkowska, and Rakowski (2007) 以連續十天訓練結合超低溫 (一天使用三次)，觀察獨木舟選手溶酶體活性 (lysosomal enzyme activity) 與肌酸激酶 (creatine kinase, CK) 等，應用超低溫者 CK 值較未使用者降低 30%，發炎因子中的溶酶體活性 (lysosomal enzyme activity) 在 6 天的訓練後皆呈現下降趨勢。Selfe et al. (2014) 藉由比賽負荷觀察組織氧化成度、免疫與個人感受度，發現雖然超低溫無法降低免疫反應，但有助於改善個人感受度與肌肉氧化作用。Joch, Ückert, and Fricke (2005) 以腳踏車持續阻力變換的運動方式，觀察運動中與恢復期心跳、乳酸及心律變異度 heart rate variability, HRV)，發現超低溫應用能降低運動中、運動間歇期與運動結束恢復期的心跳，運動中之乳酸值亦顯著低於非超低溫組，並由 HRV 獲知超低溫可能有助於提高迷走神經與副交感神經系統的調節。就應用性而言，Pritchard et al. (2014) 回顧過去文獻指出相關冷卻的間隔時間大多高於 20 分鐘，與實際訓練與比賽上有所差異，因此建議冷卻間隔時間不宜太長，此外，在回到訓練或比賽時應再給予身體一段暖身的過程以避免運動傷害。運動應用超低溫相關文獻以運動員、健康成年人，年齡介於 20-35 歲之間為對象，上述文獻整理於表 2-2。

表 2-2 超低溫與運動相關文獻

Author (year)	Methods	Exercise/Load	Cryotherapy Effects
Westerlunda et al. (2003)	WBC (− 110 °C, 2 min) 9 female, 1male (BMI 25)	X	NO risk for frostbites Analgetic effect Skin temperature recovered rapidly
Joch & Ückert (2004)	Precooling, WBC (− 110 °C, 2.5min) vs. 21 °C, 17male endurance athletes	Endurance test 26min (cycling, resistances alternation)	HR (during exercise & inter rest period) ↓
Joch et al. (2005)	Precooling, WBC (− 110 °C, 2.5 min) vs. 21 °C, 17male (22 - 25yrs) endurance athletes	Endurance test 26min (cycling; loading: 5x2min, 250w, interval rest: 2min, 150w; 80rpm)	HR (during exercise & inter rest period) ↓ Lactate (during exercise 8· 16, 24 th min) ↓ Parasympathetic nervous control ↑ (from HRV) Endurance ↑
Wozniak et al. (2007)	Precooling, WBC (-120 to -140°C, 3 min), 3 t/d vs. Con 21 Kayakers &10 untrained	10-day training (general, strength, recreation, games, endurance), 90-120 min/day	Lower activity of ASA, AcP, CK (↓46, ↓32, ↓34%) exertion stress ↓ Stabilisation of lysosomal membranes.

Banfi et al. (2009)	Post cooling WBC (– 110 °C, 2 min, 5 days), 10 male rugby players	3 h of training per day (AM: max/submaximal; PM: conditioning)	NTproBNP ↑ hsCRP, TnI, – X, WBC didn't impair cardiac function
Hauswirth et al. (2011).	Post cooling WBC (– 110 °C, 3min) vs. FIR (4–14 µm, 45 °C) & PAS (24 °C, 30min), 9 well trained runner	EIMD	CK - X Strength recover post-ex 1hr Perceived sensation recover post-ex 1hr WBC accelerate recovery > FIR & PAS
Pournot et al. (2011)	Post cooling; WBC (-110 °C, 3 min) vs. PAS 11 runners	EIMD protocol Up- & downhill run 48min (Load: VT1- VT2)	Lower IL-1β (Post 1 h) & CRP (Post 1-96 h) ↓ IL-6, IL-10 TNF-α –X Cytokines activity pro-inflammatory ↓ anti-inflammatory ↑
Ziemann et al. (2012)	Post cooling WBC (– 110 °C, 3 min, 2 t/d, 5d) 12 male tennis players (high ATP ranking)	Moderate intensity training (stretch, strength, condition, endurance, agility, short games)	TNF-α ↓ IL-6 ↑ HR (E5) ↓ (Tennis drill)

Mila-Kierzenkowska et al. (2013)	Pre + Post cooling; WBC (-130 °C, 10 - 20s, total < 2min) vs. Con; 18male volleyball players	Submaximal exercise (cycling, 40 min, HR 85%)	oxidative stress ↓ inflammatory response ↓ IL-6, IL-β, catalase & superoxide dismutase activity ↓
Ferreira Júnior (2014)	Post cooling WBC (-110 °C, 3 min) vs. Con (21°C, 3 min); 26 male	EIMD protocol (5x20 DJ, box high 0.6m)	Peak torque recover (WBC: 72 & 96 h) than Con Anterior thigh muscle thickness (MT) ↑ (Con: 24h); WBC – X Muscle damage recovery ↑
Selfe et al. (2014)	Post cooling WBC (-135 °C, 1, 2, 3 min), 14 rugby players	Rugby competition	IL-6 – X Perceptual change ↑ (WBC 2min than 1min) tissue oxygenation, gastrocnemius muscles changes (WBC 2min)
Vieira et al. (2015)	Post cooling; WBC (-130 °C, 10-20s, total < 2min) vs. Con (21 °C) 12 resistance-trained male	High intensity exercise (6x10 RM, eccentric action)	CMJ ↓, Reaction force ↓ Vmax ↓ in both Con & WBC Muscle function recovery -X

Ferreira-Junior et al. (2014)a	Inter cooling PBC (−110 °C, 3min) vs. Con (21°C); 12 male	High intensity exercise 6x10 RM (knee extension, eccentric action)	Eccentric muscle recover 40min after HIE Concentration recover -X
Ferreira-Junior et al. (2014)b	Inter cooling, PBC (-110 °C, 3 min), Con (21 °C, cryochamber, 3 min), Random order; 13 male	maximal isokinetic elbow flexion	Peak torque ↓ (both condition) Peak, average, total torque - X. Upper-body neuromuscular performance -X
Krüger et al. (2015)	Inter cooling PBC (− 110 °C, 3min) vs. Con (22°C, 1h) after HIR 11 endurance athletes	1 st ramp test 2 nd 5x5min(high intensity run, HIR) 3 rd ramp test	oxygen content ↑ in max & submaximal exercise lower oxygen consumption, HR, RPE (in both exercise) blood lactate - X
Ferreira-Junior et al. (2015)a	PBC (n=13, 3 min, -110 °C) Con (n=13, 3 min at 21 °C) 26 male	5x20 (Drop Jump, rep 2min); pre, post, 24, 48, 72, & 96 h following exercise muscle- damaging protocol	Strength & relieved pain 72 h recover in PBC PBC enhance recovery from muscle damage.

Bleakley et al.	Review	Tissue & core temperature ↓
(2013).	-145-195 °C, 6x3 min, > 6 d ; -110 & -160 °C, 3 min ; -130 °C, 10x3 min, 1 t/d, 10 d ; -120 °C, 10x3 min, 2 t/d, > 5 d ; -120 to - 140 °C, 20x3 min, 2 t/d ; -110 °C, 3x3 min ; -110 °C, 4x3 min ; -110 °C, 2x3 min ; -110°C, 4 min, 2 s/d, 3 t/wk.	Strength, sport performance ↑ — (24-48hr) Pain, soreness ↓ Proinflammatory, CRP, LDH,CK ↓

EIMD - exercise-induced muscle damage; PBC - partial-body cryotherapy; WBC - whole body cryotherapy; RT - resistance training; HIR - high intensity resistance training; AcP - acid phosphatase, ASA – arylsulphatase; CK - creatine kinase PAS - passive recovery; TnI- whilst troponin I; hsCRP - high sensitivity C-reactive protein; NTproBNP - N-terminal pro B-type natriuretic peptide; HIE - high intensity exercise; t/d – times per day; ↓ - decrease; ↑- increase; X - no change

三、超低溫應用變項

超低溫應用時間點研究目前區分為：運動前 (precooling)、運動間歇期 (inter cooling) 與運動結束恢復期 (post cooling)；冷卻時間長度、溫度與冷卻部位 (WBC 或 PBC) 等變項。Ferreira-Junior et al. (2015)b 指出相較於 PBC，WBC 能使耳溫及體表溫度有更多的下降幅度，並刺激更多的副交感神經反應。WBC 與 PBC 差別在於暴露的身體部位，雖然 WBC 能有較完整的全身性冷卻，不過就研究結果來說，兩者具有相近的生理效果 (Miller et al., 2014)。

重複的使用冷卻可能會使體溫調解產生適應現象，而降低冷卻刺激性，但不會產生免疫上的負面影響 (Banfi et al., 2010)。雖然許多研究顯示運動前、中與後可應用超低溫冷卻具有促進恢復、降低發炎與肌肉損傷症狀，不過負面的影響相對缺乏 (Costello, Baker, Minett, Bieuzen, Stewart, & Bleakley, 2015)，而冷卻的時間可能影響運動表現的延續效果。綜合上述，運動前、中與後，部分研究則結合了一日數回合或運動前與恢復期結合運用，相關研究皆顯示對於肌肉發炎、體循環具有正面效果，就時間性而言，冷卻以 1 至 4 分鐘為範圍，其結果則較不相同。

WBC 雖然通常需要一段適應溫度的過程，不過優勢在於能同一時間能有較多人使用；而 PBC 則少了溫度適應過程，就應用上則以單人為主，不過價格上亦較為低廉。冷空氣有較高的氣體密度，因此以站姿在低溫艙 (PBC)，可能造成下肢冷卻幅度高於上肢，就熱顯攝影機監測顯示，WBC 比 PBC 能使體表溫度有更大的下降幅，不過兩者都受到冷卻姿勢的影響，特別在於 WBC 與 PBC 的位置，可能影響體表溫度偵測的差異 (Savic et al., 2013)，因此建議若以 PBC 進行冷卻時，可每固定時間稍微身體轉向，以利身體均勻受到冷卻。

第三節 溫度對運動表現與限制

當體溫低於正常值時，自主收縮的能力降低 (Rutkove, 2001; Drinkwater, 2008; Halder, Gao, & Miller et al., 2014)。Bergh et al. (1979) 以肌電圖觀察後腿肌的 (股外側、股二頭與半腱肌) 溫度對運動表現研究指出，肌肉溫度高低會影響最大肌力、功率輸出、跳躍與衝刺表現，表示短時間運動時若肌肉溫度較低將不利跳躍、衝刺與運動表現，並具體指出當肌內溫度降低 1 °C，使伸展力矩 (extension torque) 與力量下降約 5%。低溫除了不利於神經傳導速度，也使組織與關節產生僵直感 (joint stiffness) (Hunter, Kerr, & Whillans, 1952)，延長肌肉動作電位反應時間 (prolong muscle potential) (Halar, DeLisa, & Brozovich, 1980; Evans, Ingersoll, Knight, & Worrell, 1995)，可能會降低等速收縮的力量表現 (Mattacola & Perrin, 1993)。Bigland-Ritchie et al. (1985) 透過 60 秒最大自主收縮誘發疲勞，觀察運動神經元活化頻率顯示，當肌肉溫度下降時，將減少最大自主收縮的能力。Petrofsky et al. (1980) 以手握等張收縮進行研究，將手浸泡於 10 – 40 °C 的水中，觀察溫度與表面肌電圖 (surface EMG)，發現不同溫度與肌肉收縮能力直接相關，當誘發疲勞時，會顯示於肌電圖中振幅擴大的現象。Vincent and Tipton (1988) 以手重複浸泡於 5 °C 的冷水中 (5 times, 2 min) 為研究，發現第一次的兩分鐘浸泡後，手部握力即出現大幅的下降，體表溫度也下降至 22 – 23 °C。Cheung, Montie, White, and Behm (2003) 以 10 °C 冷水，比較不同手部浸泡時間 (30, 120, 300 sec) 對手操作動握靈巧性進行研究顯示，冷卻時間越長，降低更多的皮膚溫度，並使手部靈巧能力下降。

低溫情況下造成肌肉張力增加，造成最大力量與持續收縮的能力下降 (Sargeant, 1987)，並降低肌肉放鬆水準 (Faulkner et al. 1990; Oksa, Rintamäki, & Rissanen, 1997)，在動態肌肉動作過程中的力量輸出的減少，是由於冷卻時，肌肉為了維持相同力量輸出而必須額外招募肌肉，短時間雖然可以維持收縮能力，但

會相對快速地減少最終力量的輸出 (Rome, 1990)，一篇冷卻對照快縮肌與慢縮肌反應的研究顯示，快縮肌對冷的感受度更高，這可能反應在於力量輸出的下降 (Faulkner et al. 1990)。肌肉組織因冷卻致使組織因冷導致局部血管收縮，可能降低氧氣提取率 (oxygen extraction) 和不利於氧化反應 (oxygen reaction)，並且減緩了肌肉收縮與神經傳導速度 (Ranatunga, 1982; Shiojiri et al., 1997; Rutkove, 2001)。Drinkwater (2008) 也認為低溫冷卻誘發與自主收縮能力的下降，可能部分與冷卻導致酵素活性降低與神經傳導速度減緩有關，進而降低局部肌肉耐力與靈巧性。

Rissanen, Oksa, Rintamäki, and Tokura (1996) 將兩腿分別以冷卻與非冷卻的方式觀察肌肉活性發現，冷卻能造成較高的肌電活性可能是透過外圍的神經調節。Racinais et al. (2010) 表示外圍的神經驅動，在反射路徑中 (reflex pathways)，T-reflex 扮演著重要角色。一些研究顯示，冷卻抑制了伸展反射的幅度 (suppresses stretch reflex amplitude)，這是因為肌梭活性下降從而降低了 γ -motoneuron (gamma-motoneuron) 的激發性，而降低了力量的產生 (Bell & Lehmann, 1987; Denys, 1991)。不過前述研究以腿部為主，然而前臂反而出現冷卻能提伸張反射的結果 (Oksa Ducharme, & Rintamäki, 2002)。Hamzat and Fatudimu (2005) 以液態石蠟 (liquid paraffin) 為成分的冰毛巾 (ice-towel) 敷蓋在前臂 10 分鐘，檢測手的握力與持續抓握的耐力發現，冷卻後手部的握耐力提升，並且持續在冷卻後第 5 與 10 分鐘的表現皆優於非冷卻組。

基於上述，開始有研究者思考冷卻後再進行一小段暖身是否能對運動表現產生影響，Richendollar, Darby, and Brown (2006) 以 24 位年輕的成人為對象，將冰袋敷在前大腿上，比較暖身、先冷卻再暖身以及冷卻不暖身等組別，冷卻後不進行暖身組在單腿垂直跳、40 英尺衝刺與折返跑的運動表現皆較差，並建議冷卻的時間與冷卻後的暖身可能可降低因低溫而對高強度運動產生負面的影響。

就短時間衝刺與跳躍性研究而言，一篇以大學生為對象 (7 male, 13 female)，

將小腿浸泡於渦流式水槽 (whirlpool, 10 °C, 20 min) 後發現，結束浸泡後 2 分鐘的垂直跳高度呈現減退，並持續到第 22 分鐘，然而敏捷與 40 碼短跑時間則呈現進步，維持約 10 分鐘 (Patterson, Udermann, Doberstein, & Reineke, 2008)。兩次 30 秒腳踏車衝刺運動的間歇一小時之中，以 15 分鐘低溫冷水浸泡 (13 - 14 °C) 方式顯示，雖然運動後核心體溫下降，但也降低了第二趟衝刺的運動表現 (Crowe, O'Connor, & Rudd, 2007)。此外，以平衡控制而言，Giemza, Czech, Paluszak, Bieć, Borzucka, and Kuczyński (2013) 以 WBC (-110 °C, 3 min)，藉身體擺動變化，觀察姿勢控制發現，超低溫冷卻後身體正向與背向，及側向擺動出現變化，使動作更無效率；這可能表示低溫造成神經傳遞速度減緩，因此不利本體感覺 (proprioception) 並且延遲神經的整合，當人體進行動作時需要更多的意識控制，即更多的專注工作分配。一篇回顧性研究指出，當運動員結束超低溫後立即運動可能會限制表現，這可能與各研究的冷卻時間與溫度差異有關 (Pritchard et al., 2014)。目前以超低溫觀察神經肌肉表現研究甚少，因此文獻整理以低於 10 °C 之論文進行整理，並呈現於表 2-3。

上述研究顯示，低溫造成的生理反應可能不利於神經肌肉表現，特別在於下肢部分，上肢則呈現不一致的情況，不過冷卻時間與方式的差異也造成部分下肢神經肌肉表現有不相同的情形。

表 2-3 低溫應用與神經肌肉表現

Author (year)	Methods	Exercise/Testing	Effects
Vincent et al. (1988)	CWI (5 °C, 5x2min, hand immersion); 12 male	Handgrip dynamometer (maximal voluntary grip strength)	hand-grip strength 14% ↓ skin temperature ↓ (22 – 23 °C)
Evans et al. (1995)	CWI (1 °C) (8cm above the lateral malleolus), 24 male	Agility testing : 1. Co-contraction test; 2. Carioca test; 3. Shuttle run	Agility –X
Sanya & Bello (1999)	Ice-towel (3 - 6 °C, 5min, thigh), 60 young adult (30male, 30 female)	1. Isometric strength 2. Endurance index (m. quadriceps femoris)	Isometric strength ↑ (immediately & E10) Endurance index (male) ↑ (immediately & E10)
Hopkins & Stencil (2002)	Crush ice (30 min, 1.5L) 16male & 14 female	H-reflex, torque measurement (m. soleus)	H-reflex ↑ Plantar flexion torque ↑ (E30, 60, 90 min) Final skin temperature (16 °C)

Hamzat et al.	Ice-towel (10 min)	1. Maximum grip strength	Handgrip endurance index ↑
(2005)	49 male & 40 female	2. Endurance index	(immediately, E5, E10)
Richendollar et al.	Ice bag (20 min, anterior thigh),	Maximal functional test	Maximal high intensity functional test ↓
(2006)	24 male	1. single-leg vertical jump	
		2. agility shuttle run	
		3. 40-yd sprint	
Patterson et al.	CWI (Whirpool, 10 °C, 10 min,	1. CMJ	CMJ ↓ (E2 – E22)
(2008)	lower leg)	2. Agility (T - test)	Agility ↑ (E2 - E7)
	7 male, 13 female (19 - 21 yrs)	3. 40 yard dash	40 yard dash ↑ (E2 - E12)
		4. active of motion (ankle)	

CWI - cold water immersion; E - end of test (exercise); H-reflex - Hoffmann reflex; CMJ - counter movement vertical jump

第四節 高強度運動與神經肌肉疲勞

一、疲勞定義與生理反應

肌肉疲勞 (muscle fatigue) 指無法持續的維持預期輸出的力量 (Edwards, 1981)，這通常呈現於輸出功率的下降，呈現在動作電位圖形、T-tube 傳遞的失能、降低鈣離子釋放、降低收縮蛋白上鈣離子的敏感性、較低的酸鹼值等等 (Sharp, 1994)。

疲勞症狀通常是由於運動訓練與身體活動所導致，疲勞除了降低力量的輸出、能量的消耗 (Rimmer, Schiller, & Chen, 2012)，並可能伴隨著生理與心理的壓力，長期下來可能造成健康狀態與疾病的問題 (Ament & Verkerke, 2009)。依據負荷的型態差異而有疲勞的特性的差別，大致區分為中樞性 (central fatigue) 與周邊性疲勞 (peripheral fatigue) 兩種，周邊性疲勞是由於運動負荷所導致的體內環境 (例如：離子、乳酸及胺基酸的累積，體熱的上升、汗液流失的脫水現象)，與肌肉纖維上的變化 (例如：肌漿中的無機磷酸鹽 (inorganic phosphate) 堆積造成收縮力下降、鎂離子堆積在肌漿而抵銷了鈣離子在肌漿網的釋放、肝醣存量與血糖的減少等)；另一方面，肌纖維活性下降導致軸突分支區的軸突動作電位傳導受阻、化學和痛覺傳入神經元 (chemo- and nociceptive afferents) 的刺激，導致運動單元的活化頻率 (firing rate) 下降與運動皮質區 (motor cortex) 受到抑制等，則歸類於中樞疲勞。中樞與周邊疲勞的差異在於疲勞產生的原點，周邊疲勞判斷在於疲勞產生的位置在於中樞神經系統之外，這意味著運動神經元 (motor neuron)、神經肌肉接合處 (neuromuscular junction)、肌漿膜、累積性與能量性的層面 (Westerblad, Lee, Lännergren, & Allen, 1991)，反之則皆屬於中樞疲勞，兩者綜合起來將產生各種的疲勞症狀，將限制運動表現 (Kirkendall, 1990; Gandevia, Allen, Butler, & Taylor, 1996)。長時間或足夠的強度將可能造成中樞或周邊疲勞的疲勞，而這不同的疲勞來源並不一定會同時產生，但最終會相互影響 (Knicker, Renshaw,

Oldham, & Cairns, 2011)。

二、高強度運動對神經肌肉的疲勞

高強度訓練是運動過程中常見的訓練型態，依據其休息模式的差異，區分為不完全休息（即動態恢復）的間歇性訓練（high intensity interval training, HIIT）與完全休息型態（靜態/被動式恢復）的重複模式（repeated training）兩種，依據目的之差異而衍生了不同的負荷強度、頻率、範圍與休息時間。有別於重複訓練模式，Gibala et al. (2006) 以 HIIT 研究指出每回 4 至 6 次，每次 30 秒最高速度的腳踏車衝刺負荷，每週訓練三次，持續兩週即能夠改善肌肉氧化能力與肝糖含量。Talanian, Galloway, Heigenhauser, Bonen, and Spriet (2007) 同樣以 HIIT 模式，強度以最大攝氧量 ($\dot{V}O_{2\text{ peak}}$) 90%，每次 4 分鐘結合 2 分鐘的組間休息，每回訓練時間為一小時，兩週訓練 7 回，研究發現兩週的訓練能提高全身及骨骼肌脂肪酸的氧化能力，最大攝氧峰值與肌肉粒線體活性增加。就高強度間歇訓練而言，已有眾多文獻證明具有時間效益，並對於體循環 (Wisløff et al., 2009)、能量代謝 (Talanian et al., 2007)、運動表現（速度、耐力）(Neal et al., 2013)，並對於運動員、一般人與慢性疾病患者皆具有正面的效果 (Burgomaster et al., 2006; Gibala, Little, Macdonald, & Hawley, 2012; Matsuo et al., 2014; Weston, Taylor, Batterham, & Hopkins, 2014)，是目前非常盛行的訓練模式，也因此廣泛的應用於各訓練層面中。

神經肌肉疲勞是指短暫的降低肌肉最大輸出的能力，並能客觀地由運動表現下降獲知，這與大腦皮質區域 (cortical region) 引發的相關肌肉收縮機制有關 (Girard & Millet, 2009)，包含動作單元的招募與肌肉，以及周邊和中樞疲勞有關 (Vøllestad, 1997; Enoka, 2002)，就每日訓練多多單元，大範圍，或單日多場賽事的運動員而言，這將影響運動表現 (Chiu, Fry, Schilling, Johnson, & Weiss, 2004)。

高強度運動後很可能造成肌肉表現上的衰弱與損傷，特別在訓練與比賽期間，並且這現象可能立即產生或延續數天 (Barnett, 2006)。例如衝撞性球類運動英式

橄欖球在比賽過程中，通常造成肌肉損傷、神經肌肉與感知性的疲勞 (Twist et al., 2012; Johnston, Gabbett, Jenkins, & Hulin, 2015)。長時間項目，如超級鐵人賽 (Ironman)，這種兩個小時以上的項目也會造成體液的流失、體脂比例改變與肝醣量減少，因此降低力量輸出 (Mueller, Knechtle, Knechtle, & Toigo, 2015)。一篇以優秀鐵人三項運動員為對象，發現半程與全程鐵人競賽距離皆會造成力量產出能力下降，並反應在蹲踞跳 (squat jump, SJ)、下蹲跳 (countermovement jump, CMJ) 之垂直高度減少 (Suzuki et al., 2006; Coso et al., 2012)。持續性 (> 30 min) 與中強度 (VO_{2max} 60 – 75 %) 以上的負荷都可能造成神經肌肉的疲勞 (Škof & Strojnik, 2006)，相較低強度的循環性運動負荷(cyclic workload)，高強度運動需要在快速氧化與醣酵解肌纖維 (含快速氧化與醣酵解) 中激發更多的運動單元，使肌肉中的化學路徑反應增加，與造成代謝物質如鈣離子、鈉鉀離子濃度、肌球蛋白濃度上升，進而抑制了肌肉收縮的能力 (Hultman, Spriet, & Söderlund, 1986; Sahlin, 1986b)。Montgomery et al. (2008) 以連續三天的籃球比賽誘發輕至中度的生理疲勞，透過不同恢復策略 (伸展 + 碳水化合物攝取、冷水浸泡、腿部壓縮衣服) 研究顯示，比賽造成 20 公尺衝刺、敏捷表現與隔日的垂直跳高度下降，並指出連續的比賽皆會造成速度、敏捷甚至柔軟度的減退，建議冷水浸泡有較佳的恢復效果。因此，許多研究藉由下蹲跳 (CMJ) 及速度評估個人最大動力輸出的水平，也用來表示神經肌肉表現的能力 (Johnston, Gibson, Twist, Gabbett, MacNay, & MacFarlane, 2013; Johnston et al., 2015)。不同的訓練環境與運動項目的有其特殊性，因此可能有不同的神經肌肉特性及疲勞的反應，這與肌肉活性即神經肌肉調節的能力有關 (Osternig, Hamill, Lander, & Robertson, 1986; Garrandes, Colson, Pensini, Seynnes, & Legros, 2007)。

三、高強度運動對能量代謝的反應

高強度間歇訓練中，部分研究設計會依強度出現如：高強度間歇衝刺 (sprint interval training)、高強度有氧 (high intensity aerobic training) 或無氧運動 (high intensity anaerobic training) 等設定型態。所以，雖然在高強度間歇負荷下，強度定義仍有差異，強度區分大致分成兩種，第一為全力衝刺模式 (all-out)，多以衝刺跑、腳踏車 (wingate-based) 或西式划船測功儀 (row ergometer) 進行訓練，第二設定屬於亞最大運動 (submaximal exercise)，大多以高於無氧閾值 (anaerobic threshold) 或接近甚至超過最大攝氧量 ($\dot{V}O_{2max}$) 的強度作為依據，負荷時間涵蓋數秒 (<10 – 45s) 至數分鐘 (1 – 4 min)，伴隨數秒至數分鐘的組間休息 (Buchheit & Laursen, 2013; Weston et al., 2014)。這些負荷型態往往造成體循環與能量代謝上的壓力，並反應於運動中與恢復期心跳 (heart rate, HR)、知覺費力指數 (rating of perceived exertion, RPE) (Borg, 1982; Borg, Ljunggren, & Ceci, 1985)，以及無氧路徑中的乳酸 (lactate, La) 及血氨值 (blood ammonia) 上升 (Lowenstein, 1972; Gleeson, Blannin, Walsh, Field, & Pritchard, 1998)。在有氧與無氧運動狀態下，在能量產生的過程中皆會產生乳酸，安靜狀態下由於乳酸的清除率高於產生率，因此不易造成大量乳酸堆積，隨著活動的強度增加，使得乳酸的生成量大於移除速度時，將造成乳酸的堆積 (MacRae, Dennis, Bosch, & Noakes, 1992)，這顯示人體能量的供應轉換為無氧醣酵解系統，其副產物即為乳酸，乳酸是肌肉及肝臟中肝醣、葡萄糖在無氧醣酵解作用下形成的產物 (Balsom, Gaitanos, Soderlund, & Ekblom, 1999)，高強度運動中，肌肉細胞會因嚴重缺氧加速無氧代謝，使得乳酸堆積，而造成氫離子濃度升高，pH 值下降 (Sahlin, Harris, Nylinde, & Hultman, 1976)，也降低了磷酸果糖激酶 (phosphofructokinase, PFK) 的活性，影響 Ca^{2+} 的釋放並降低肌纖維的收縮能力，因此干擾肌肉收縮及降低神經傳導的速度，與能源轉換效率的下降 (Stamford, Weltman, Moffatt & Sady, 1981; Kirkendall, 1990)。另一人體各器官組

織代謝的產物—血氨 (ammonia, NH_3)，是一小分子物質，為 ATP 降解 (degradation) 時的副產物，極度高強度狀態，骨骼肌上氧化磷酸化速度劇烈，使 ATP (三磷酸腺苷) 再合成的速度不足以供應需求時，會造成肌肉游離的單磷酸腺苷 (adenosine monophosphate, AMP) 與肌苷酸 (inosine monophosphate, IMP)，以及 ATP 儲存量下降 (Sahlin & Broberg, 1990; Sahlin, Katz, & Broberg, 1990)。促使 AMP 進入到嘌呤核苷酸循環 (purine nucleotide cycle, PNC)，透過腺苷酸脫氨酶 (AMP deaminase) 的催化而產生氨與 IMP (肌核苷)，也有研究指出乳酸的增加亦有利於活化腺苷酸脫氨酶分解而使 NH_3 增加 (Weicker, 1988; Sewell, Gleeson, & Blannin, 1994)。在長時間運動的研究即顯示， NH_3 與動作失能 (motor dysfunction) 及疲勞具有很高的關聯性 (Beckers, Wagenmakers, & Saris, 1990; Urhausen & Kindermann, 1992)。個人知覺費力指數以表格的形式應用於衝刺、耐力與阻力性運動中，可用於判別運動強度、疲勞 (Aniceto, Ritti-Dias, Dos Prazeres, Farah, de Lima, & do Prado, 2015) 與腿部疼痛，並與運動中心跳、乳酸 (Noble, Borg, Jacobs, Ceci, & Kaiser, 1983) 及耗氧量具有高度正相關，此外亦能作為運動強度指標 (Borg et al., 1985; Dunbar et al., 1992; Scherr, Wolfarth, Christle, Pressler, Wagenpfeil, & Halle, 2013)。

因此許多文獻認為血氨 (Brouns, Beckers, Wagenmakers, & Saris, 1990)、乳酸與知覺費力指數作為判斷運動中能量代謝與疲勞的重要因子 (Katz, Broberg, Sahlin, Wahren, 1986a; Saris Sewell et al., 1994; Spodaryk, Szmatlan, Berger, 1990)。是故，高強度無論衝刺性與持續性運動都可能造成能量代謝中的乳酸、血氨的堆積，並增加心跳與 RPE，這將限制神經肌肉動作與運動表現。

第五節 文獻總結

綜合上述文獻，文獻總結如下：

- 一、 人體短時間（1 - 4 min）暴露於超低溫環境下，將迅速降低體表與核心體溫，造成神經、賀爾蒙與體循環調節。
- 二、 超低溫應用有助於降低誘發肌肉損傷後的發炎及免疫反應，以及降低體循環負荷有助於加速運動後恢復。
- 三、 冷卻環境可能限制神經傳導速度、肌肉收縮、本體感覺與酵素活性等，可能不利於運動表現。
- 四、 高量、高強度或一般訓練可能造成立即性神經肌肉活動能力下降與代謝壓力，導致立即與長時間疲勞產生。
- 五、 全身性與非全身性超低溫冷卻應用具相似正面的生理反應，不過就目前訓練趨勢以肌肉損傷為主，訓練結合超低溫冷卻對神經肌肉表現尚無一致性結果，此外冷卻時間差異可能是影響因素之一。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究招募 14 位具有規律訓練且無任何急性運動傷害之運動員為對象 (年齡: 24.57 ± 3.27 years, 身高: 172.29 ± 5.97 cm, 體重: 68.64 ± 8.73 kg, 無氧閾值: 3.15 ± 0.65 m/s, 預估最大攝氧量: 55.76 ± 4.92 ml/min/kg, 訓練頻率: 4.29 ± 1.07 次/週), 並排除靜脈曲張與對冷過敏者。進行實驗之前, 將以書面及口述方式完整告知參與者施測流程, 可能效益與風險, 以及為控制實驗效果所需配合之相關規定, 若在參與實驗期間有身體不適或私人因素無法完成實驗者, 參與者有權利得隨時退出本實驗; 經參與者明確了解與同意後, 填寫個人資料表與實驗同意書。整個實驗過程中, 要求實驗前後一天避免激烈運動外, 並停止使用任何增能補充品以及含咖啡因及酒精飲料; 除此之外建議實驗參與者維持正常運動訓練。本研究計畫經輔仁大學人體研究倫理委員會審查通過 (附錄五)。

第二節 實驗時間與地點

實驗時間: 2016 年 10 月-2017 年 5 月

實驗地點: 國立體育大學運動能力診斷與訓練調整實驗室、國立體育大學室內田徑場

第三節 研究設計與實驗流程

一、研究設計

實驗採受試者內，重複量數設計，以平衡次序法 (counterbalance) 隨機接受不同的恢復模式 (指不同的超低溫冷卻應用時間)。參與者在同意參與實驗後，需參與實驗之前的前測，說明如下：(一) 身體參數：身高、體重；(二) 個人有氧-無氧閾值檢測 (aerobic-anaerobic threshold test)。完成前測後，間隔一週即進行高強度間歇運動負荷後不同時間之恢復模式，當實驗參與者完成第一次檢測後，將設定個人跑步的運動強度 ($>$ anaerobic threshold, 6mmol/l) 做為運動負荷的其中一指標，另一為划船運動 300 公尺(all-out based)，兩運動型態以高強度間歇模式組合，做為冷卻應用前的運動負荷。

恢復模式包含：被動式恢復 (I: control, 無超低溫之控制組)，三種不同時間長度之超低溫應用(II: 2x60s; III: 2x90s; IV: 2x150s)，溫度設定 $-110 \sim -135^{\circ}\text{C}$ ，低溫間歇時間為 3 分鐘，每次實驗處理間隔 1 週，並控制實驗室環境溫度、濕度，溫度控制於 $23.1 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ，濕度控制於 $54.1 \pm 5.4\%$ 的環境中。

二、實驗流程

實驗流程呈現於圖 3-1。

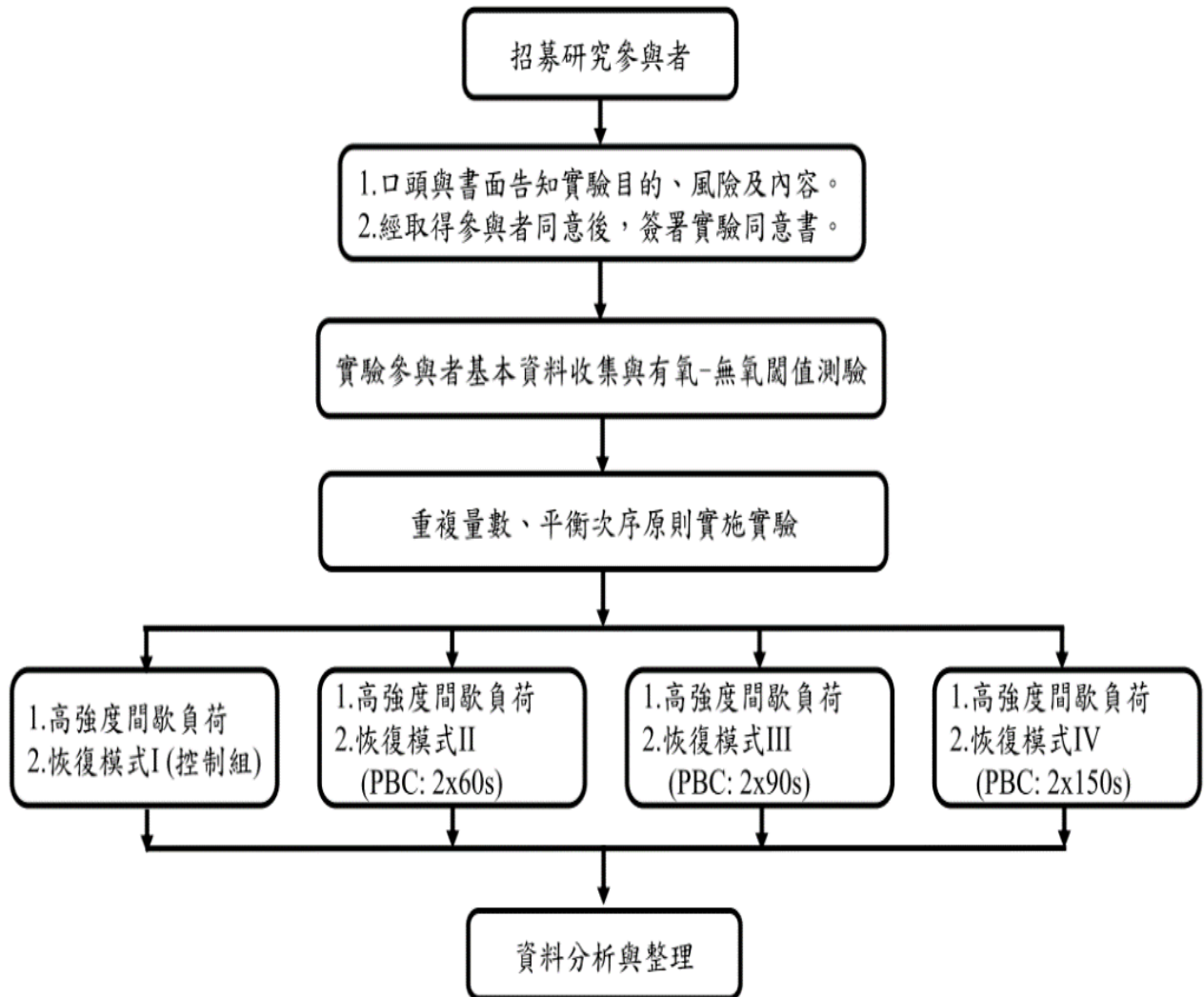


圖 3-1 實驗流程圖

三、超低溫冷卻應用

高強度運動後實施體溫測量，並將體表汗液擦乾，並以著最少衣物為原則進入低溫艙，進入後以電子升降裝置將頭部露出於艙外（圖 3-2 所示），冷卻過程中以每 20 秒將身體轉向，以利身體受到均勻的冷卻。為避免液態氮噴射氣體過量以致溫度低於設定值，將每次射出液態氮時間設定為 3 秒，冷卻處理時間分別為：兩次的 60、90、150 秒，每次冷卻間歇時間 3 分鐘。



圖 3-2 實驗冷卻圖

四、施測項目

（一）有氧與無氧閾值檢測

本測驗採室內跑步機為測驗工具，依據 Mader et al. (1974) 有氧-無氧閾值檢測為依據，起始負荷為 2.5 m/s，每一階段上升 0.5 m/s，負荷時間皆為 5min，自測驗前開始每階段結束直到個人能負荷之最大負荷為止，最高負荷判斷以個人最高心跳值 (HRmax: 220 - 年齡或 RPE > 18)；該測驗前與

每階段結束皆記錄個人心跳與乳酸值 (耳垂 10 μ 血液)，直至個人最大負荷為止，藉德國研發之乳酸分析軟體 (Lactate Express Professional, mesics GmbH) 分析，計算個人無氧閾值運動強度值，並以此作為個人能力指標，並分析出個人無氧強度 6 mmol/l 速度。

(二) 神經肌肉表現檢測

本研究的神經肌肉表現檢測依序為反應時間測試、下蹲跳與 30 公尺衝刺跑測驗，每種測試中間間隔 2 分鐘休息，受試者完成高強度間歇負荷後以及不同恢復模式後進到室內田徑場再進行短暫休息，在神經肌肉表現測試前，為避免運動傷害請受試者進行 3 分鐘短暫暖身(暖身內容：2 分鐘個人配速慢跑以及 2 趟 10-20 公尺漸速跑)，隨後立即進行神經肌肉表現測試，詳細內容說明如下：

1、反應時間

以單人測驗方式，藉由電子式反應時間測定器 (Lynx System Developers Inc, USA) 站立於自製的木製平板上，讓參與者雙足以膝蓋微曲的姿勢，在聽到聲響後，以最快動作移動腳步離開原本的平板。每回進行兩次，共進行兩回，每回間隔 2 分鐘，記錄最短反應

時間 (圖 3-3 所示)。



圖 3-3 反應時間測驗

2、下肢力量檢測 (counter movement jump, CMJ)

檢測前說明檢測流程與跳躍方式後，讓每位參與者試跳一次，休息 60 秒後站至測力板上，以個人最大努力執行下蹲跳。流程如下：參與者進入測力板後，先以直立姿勢，雙手插腰，共進行 3 回，每回 2 次跳躍，每跳間間隔 5 秒，每回間之間隔為 2 分鐘，以個人體重與騰空時間及落地力量數據計算出跳躍高度，測驗模式據 (Bosco et al., 1983)，記錄最佳跳躍高度。

3、30 公尺速度表現檢測

30 公尺為速度診斷的距離，以單人測驗方式，透過分段速度計時器 (New Test-Power Timer System 300 Series, Oulu, Finland) 記錄每十公尺的個人速度表現，共跑 2 次，組間休息 3 分鐘，記錄單次最佳速度表現。

五、運動負荷與恢復應用時序

實驗流程、生物參數與神經肌肉表現收集時間點如圖 3-4 所示，其生物參數，乳酸、血氨、心跳、知覺量表 (RPE)、熱感覺量表 (T-scale, Ts)、

體溫 (核心體溫- T_{core} ：頭、胸、腹；體表溫度- T_{shell} ：上臂、手掌、大腿、小腿，圖 3-5 所示) 與神經肌肉表現，詳細說明如下：

受試者至實驗室後，固定給予 2 瓶溫度相同的 500 ml ($24 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) 純水，讓受試者在實驗過程中自由飲用。接著，受試者以坐姿休息姿態休息 5 分鐘，隨後依序量測運動前心跳、知覺量表、熱感覺量表、乳酸、血氨、體表與核心體溫，完成後隨即進行暖身及高強度運動。

高強度運動結合兩種運動型態，分別為跑步即划船，運動負荷依序為兩趟 90 秒無氧運動負荷跑，兩趟跑步間以靜態休息 90 秒 (運動範圍：2x90s, 強度： v_6 , 組內休息 rep: 90s)，強度為個人 $La\ 6\ \text{mmol/l}$ 的跑步速度，隨後進行兩趟 300 公尺最大負荷划船，採取 All-out 模式，功率為 Level 5，划船之間的休息同樣為 90 秒 (運動範圍：2x300m, 強度：100%, 組內休息 rep: 90s)，而跑步及划船兩種運動之間組休 5 分鐘。

高強度運動進行時，心跳、乳酸、熱感覺、RPE、血氨之生物參數皆為運動後立即實施資料收集與採血，體溫偵測則在前述生物參數完成後隨即進行，其中在恢復期階段，若該次實施超低溫，在受試者完成超低溫處理後生物參數收集順序為心跳、知覺及熱感量表、體溫，前述指標同時進行，接續才採集血液參數，整個資料收集時間控制在 2 分鐘內完成。若受試者該次為超低溫恢復組時，則順序為心跳、RPE、熱覺量表、體溫、血液參數收集。恢復期 15 分鐘完成乳酸參數收集後，隨即移動至室內田徑場進行神經肌肉測試 (所有收集時間點如表 3-1)。

受試者抵達田徑場後，進行運動後第 30 分鐘 (E30) 以指尖採血採集血氨，完成後隨即進行神經肌肉表現測試前暖身。暖身模式為 1-2 分鐘自我配速慢跑，進行兩次的 20 公尺漸速跑，完成後依序進行反應時間、下蹲跳與 30 公尺衝刺測驗，神經肌肉表現測試時間點分別為高強度運動後第 30、60 與 90 分鐘，在 E30 之後受試者能以舒適姿態在室內田徑場維持休息，自由攝取水份但

不能進食實施控制。

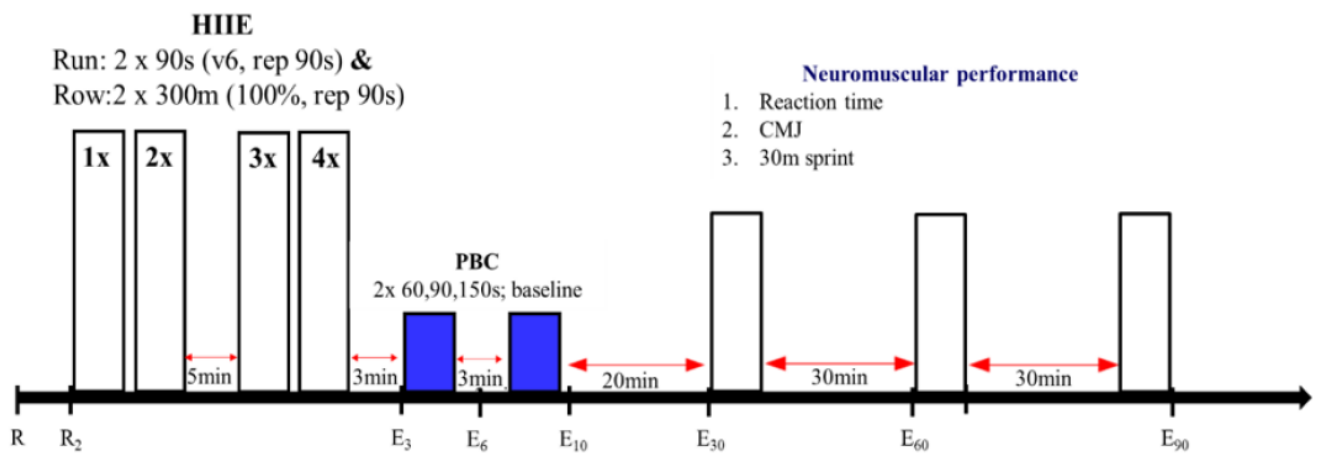


圖 3-4 高強度間歇負荷與實驗順序

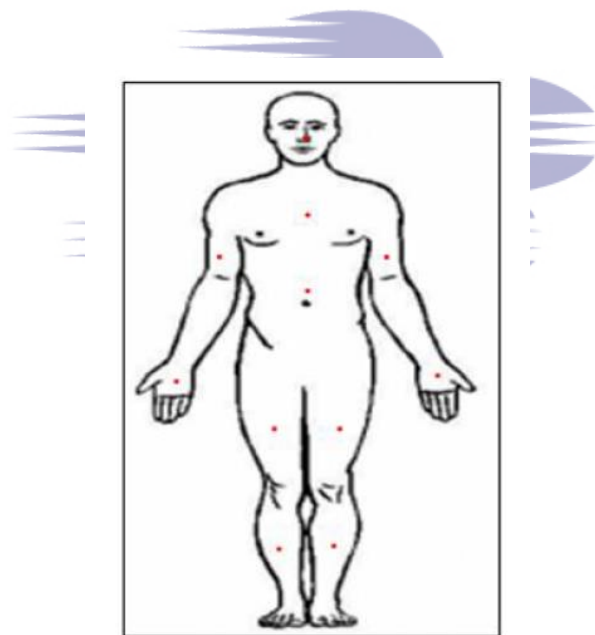


圖 3-5 核心與體表溫度偵測位置

表 3-1 生物參數與神經肌肉表現收集時間

		收集時間點												
		R	R2	1x	2x	3x	4x	E3	E6	E10	E15	E30	E60	E90
生物參數	La	●			●		●	●	●	●	●			
	NH ₃	●			●		●					●		
	T _{core}	○	○		○		○		○	○				
	T _{shell}	○	○		○		○		○	○				
	T _s	○	○		○		○	○	○	○				
	HR	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	RPE	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
神經肌肉表現	測驗方式											紀錄時間點		
	RT	2x2 次, rep 5s, set 2min；取最佳的 2 次表現										E30	E60	E90
	CMJ	3x2 次, rep 5s, set 2min；取最佳的 3 次表現										E30	E60	E90
	30m	2 次, rep 3min；取最佳的 1 次表現										E30	E60	E90

第四節 實驗儀器與設備

- 一、心率偵測器
- 二、採血工具 (採血針、酒精、手術用手套、紅血球破壞劑、衛生紙、毛管等)
- 三、乳酸血糖分析儀 (Diagnostic Biosen C-line ; EKF-diagnostic, Germany)
- 四、血氨測定儀 (PocketChem BA PA-4130 ; ARKRAY, Japan)
- 五、溫溼度測量器 (Thermo recorder TR-72U, Japan)
- 六、Borg's Scale 知覺量表 (Borg, 1982)
- 七、Sagge's Scale 熱感覺量表 (Sagge, Stolwijk, & Hardy, 1967)
- 八、全功能專業熱像分析系統 (P384-20)
- 九、超低溫設備 (Space Cabin, CRYOMED Ltd ,Ukraine)
- 十、高速跑步機 (h/p/cosmos, Germany)
- 十一、西式划船測功儀 (Concept II, Model E, Morrisville, VT, USA)
- 十二、測力板 (Fusion Sport Smart Speed System, Australia)
- 十三、分段計時器 (New Test-Power Timer System 300 Series, Oulu, Finland)
- 十四、反應時間測定器 (Lynx System Developers Inc, USA)

第五節 資料處理與統計

- 一、數值以平均數及標準差 (Mean $\pm$ SD) 呈現
- 二、以重複量數二因子變異數分析分別考驗不同冷卻模式 (control, 2x60, 90, 150s) 與不同時序 (運動前：R, R2；運動中：1x, 2x, 3x, 4x；運動後：E3, E6, E10, E15, E30, E60, E90) 之生物參數：體溫、乳酸、血氨、心跳、RPE、熱感受度) 之變化。
- 三、以重複量數二因子變異數分析分別考驗不同冷卻模式 (control, 2x60, 90, 150s) 與不同時序 (E30, E60, E90) 之神經肌肉表現。
- 四、若交互作用 (冷卻模式 x 時序) 達顯著，進行單純主要效果比較並以 LSD 進行事後比較，若交互作用不達顯著，則進行主要效果比較。
- 五、統計考驗水準訂為 $\alpha = .05$ 。

第肆章 研究結果

第一節 超低溫應用對乳酸、血氣及壓力指標之影響

一、 乳酸

以二因子變異數分析後發現，高強度間歇運動後恢復期 (E6 - E15) 經不同恢復處理之乳酸值未達顯著交互作用 ($F = 0.85, p = 0.998, p > .05$)，四種恢復處理因子變項也無顯著差異 ($F = 0.763, p = 0.516, p > .05$)，不過時間因子則達顯著差異 ($F = 9.574, p = .000, p < .05$)，經事後比較 LSD 比較發現，恢復期 E6 相較 E10 及 E15，隨著恢復時間延長，乳酸值隨之顯著下降於 E10 ($p = 0.000, p < .05$)、E15 ($p = 0.002, p < .05$)。各組內以單因子變異數分析結果如下：(一) 控制組：運動結束後立即 (4x) 至恢復期第 15 分鐘顯示，除了 E3 顯著低於 E15 (E3: 10.88 ± 2.41 mmol/l vs. E15: 8.46 ± 2.69 mmol/l, $p = 0.018, p < .05$)，其餘組內各時間點 (4x - E15) 無顯著差異；(二) 2x60s 組：恢復期第 3 (E3: 11.07 ± 2.86 vs. E15: 9.08 ± 2.28 mmol/l, $p = 0.044, p < .05$)、6 分鐘 (E6: 11.05 ± 2.69 vs. E15: 9.08 ± 2.28 mmol/l, $p = 0.042, p < .05$) 與第 15 分鐘達顯著差異，其餘時間點比較未達顯著；(三) 2x90s 組：運動後第 3 (E3: 11.86 ± 2.73 vs. E15: 9.23 ± 1.87 mmol/l, $p = 0.002, p < .05$)、6 分鐘與第 15 分鐘達顯著差異 (E6: 11.34 ± 2.05 vs. E15: 9.23 ± 1.87 mmol/l, $p = 0.12, p < .05$)，其餘時間點比較亦未達顯著；(四) 2x150s 組：運動後第 3 (E3: 10.86 ± 2.48 vs. E15: 8.54 ± 2.73 mmol/l, $p = 0.035, p < .05$)、6 分鐘與第 15 分鐘達顯著差異 (E6: 10.91 ± 2.84 vs. E15: 8.54 ± 2.73 mmol/l, $p = 0.033, p < .05$)，其餘時間點比較亦未達顯著，上述趨勢如圖 4-1-1，與表 4-1-1 所示。

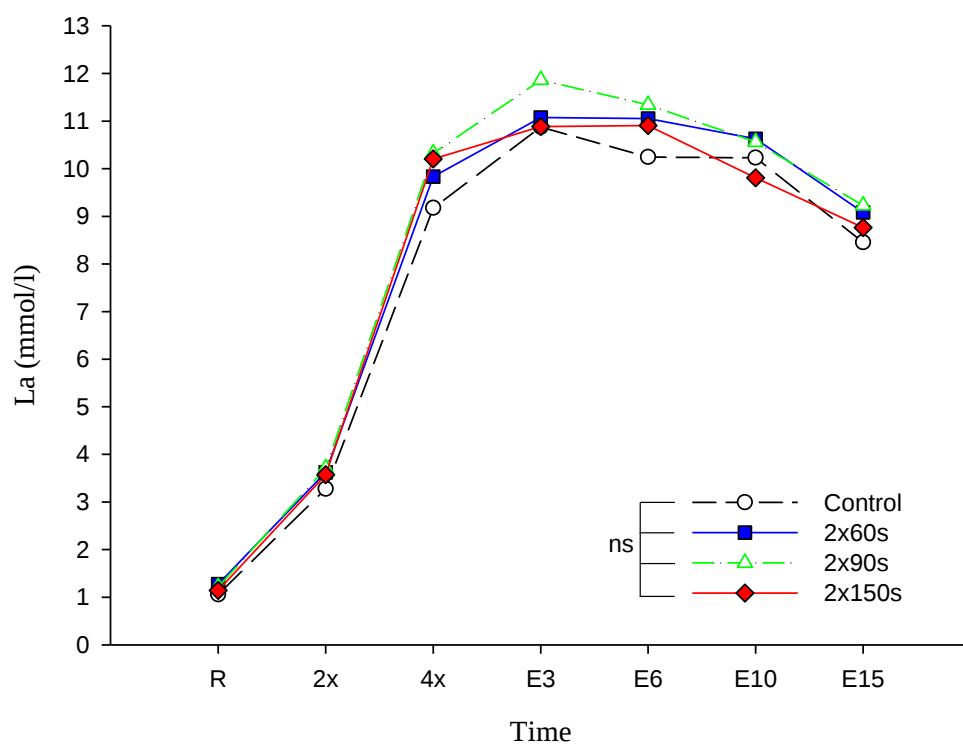


圖 4-1-1 乳酸變化趨勢圖

R: 安靜值；2x: 第2組高強度間歇負荷；4x: 第4組高強度間歇負荷；
 E3: 恢復期第3分鐘；E6: 恢復期第6分鐘；E10: 恢復期第10分鐘；E15: 恢復期第15分鐘；註: ns 指各組統計未達顯著差異

表 4-1-1 各組乳酸變化

La (mmol/l)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	1.06±0.32 ^{γεζη!Ω}	1.28±0.47 ^{γεζη!Ω}	1.22±0.46 ^{γεζη!Ω}	1.46±0.48 ^{γεζη!Ω}
2x	3.23±0.74 ^{αεζη!Ω}	3.62±1.42 ^{αεζη!Ω}	3.71±1.18 ^{αεζη!Ω}	3.57±1.32 ^{αεζη!Ω}
4x	9.18±10.88 ^{αγζ}	9.84±2.26 ^{αγ}	10.32±1.96 ^{αγζ}	10.21±2.62 ^{αγ}
E3	10.88±2.41 ^{αγεΩ}	11.07±2.86 ^{αγεΩ}	11.86±2.73 ^{αγεΩ}	10.89±2.49 ^{αγεΩ}
E6	10.25±2.67 ^{αγεΩ}	11.05±2.69 ^{αγεΩ}	11.34±2.05 ^{αγεΩ}	10.91±2.84 ^{αγεΩ}
E10	10.23±2.97 ^{αγεΩ}	10.63±2.47 ^{αγ}	10.56±2.15 ^{αγ}	9.81±2.23 ^{αγ}
E15	8.46±2.69 ^{αγζη!}	9.08±2.28 ^{αγζη}	9.23±1.87 ^{αγζη}	8.76±2.76 ^{αγζη}
Diff	2.42 (20%)	1.99 (17%)	2.63 (22%)	2.15 (24%)

α 指組內比較與安靜值 (R) 呈顯著差異； γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；ζ 指組內比較與 E3 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；Ω 指組內比較與 E15 呈顯著差異；* 指組間比較呈顯著差異 (p < .05)；Diff 指各組乳酸最高值與 E15 之差，括號指 $\frac{L_{max}-La_{E15}}{Time}$ %，即乳酸下降百分比。

二、血氨

恢復期 E30 經二因子變異數分析顯示各組與時間變項因子的血氨之交互作用未達顯著 ($F = 0.520, p = 0.859, p > .05$)，但在於時間變項達顯著差異 ($F = 58.218, p = 0.000, p < .05$)。單就恢復期 E30 血氨值的組間比較也未呈顯著差異 (控制組: 67.79 ± 45.75 ; 2x60s: 69.29 ± 40.93 ; 2x90s: 74.93 ± 48.80 ; 2x150s: $89.08 \pm 39.22 \mu\text{mol/l}$; $F = 0.650, p = 0.587, p > .05$)。各組血氨自安靜值開始，隨著運動強度增加而提高並達顯著差異 ($p < .05$)，組內各時間點比較如下：(一) 控制組：時間變項達顯著差異， $F = 12.582, p = 0.000 (p < .05)$ ；(二) 2x60s 組：血氨在各時間點也呈顯著差異， $F = 20.013, p = 0.000 (p < .05)$ ；(三) 2x90s 組：統計結果顯示 $F = 12.823, p = 0.00$ ，時間性比較達顯著差異($p < .05$)；(四) 2x150s 組：在時間點呈顯著差異 $F = 17.103, p = 0.000 (p < .05)$ ，上述結果如表 4-1-2，及圖 4-1-2 所示。

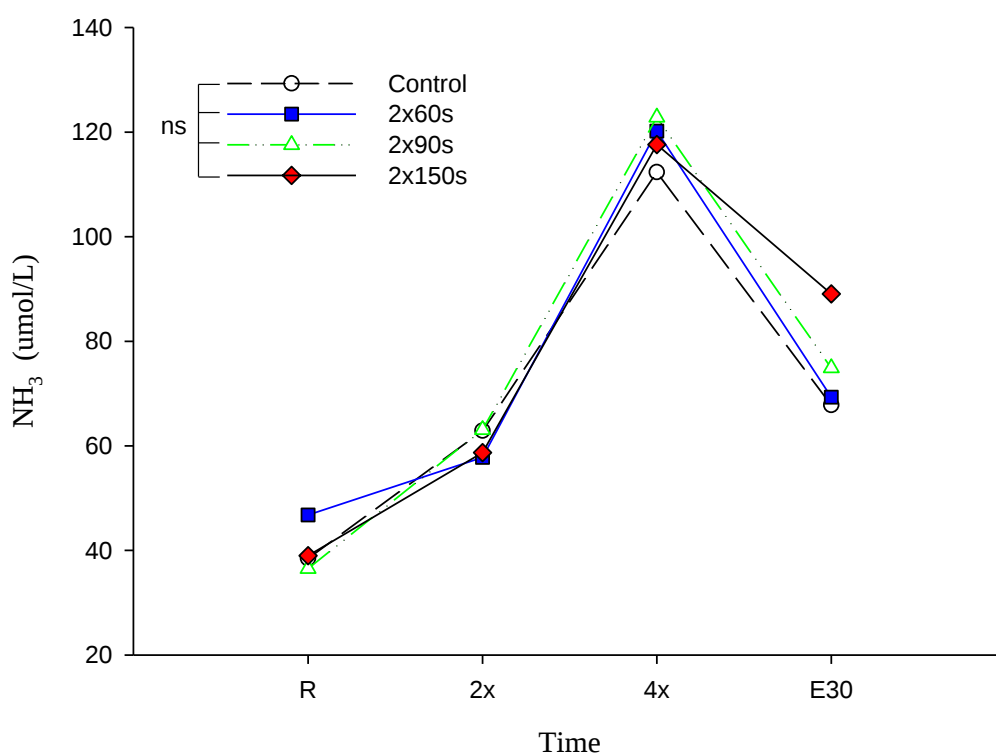


圖 4-1-2 血氨變化趨勢圖

R: 安靜值；2x: 第2組高強度負荷；4x: 第4組高強度負荷；E30: 恢復期第30分鐘；註: ns 指各組間統計未達顯著差異

表 4-1-2 各組血氨變化

NH ₃ (μmol/l)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	38.43±18.98 ^{ετ}	46.79±11.62 ^{ετ}	36.50±18.30 ^{ετ}	39.00±16.59 ^{ετ}
2x	62.86±27.11 ^ε	57.79±17.73 ^ε	63.07±41.42 ^ε	58.69±21.54 ^{ετ}
4x	112.36±32.16 ^{αγτ}	120.21±28.70 ^{αγτ}	122.86±35.56 ^{αγτ}	117.62±36.64 ^{αγτ}
E30	67.79±45.75 ^{αε}	69.29±40.93 ^{αε}	74.93±48.80 ^{αε}	89.08±39.22 ^{αγε}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；τ 指組內比較與 E30 呈顯著差異；* 指組間比較呈顯著差異 ($p < .05$)。

三、心跳

四組恢復型態之心跳變化 (R - E10) 經二因子變異數分析顯示恢復因子與時間因子的交互作用未達顯著 ($F = 0.297, p = 0.999, p > .05$)，恢復因子也未達顯著差異 ($F = 1.212, p = 0.305, p > .05$)，但在時間因子則呈現顯著差異 ($F = 472.018, p = 0.000, p < .05$)。無論組別，自安靜值開始，心跳隨負荷次處增加而上升，當負荷結束後隨之顯著下降 ($p < .05$)，各組內恢復期心跳比較如下：(一) 控制組：經單因子變異數分析後，發現各時間點比較呈顯著差異 ($F = 117.714, p = 0.000, p < .05$)；(二) 2x60s 組：各時間點經單因子變異數分析呈顯著差異 ($F = 105.711, p = 0.000, p < .05$)；(三) 2x90s 組：各時間點經單因子變異數分析呈顯著差異 ($F = 123.881, p = 0.000, p < .05$)；(四) 2x150s 組：各時間點經單因子變異數分析呈顯著差異 ($F = 131.596, p = 0.000, p < .05$)，各組時間點及差異如表 4-1-3 所示。

表 4-1-3 各組心跳變化

HR(min ⁻¹)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	66.21±8.25 ^{βγδεζη!}	63.57±6.74 ^{βγδεζη!}	64.57±5.71 ^{βγδεζη!}	64.69±9.70 ^{βγδεζη!}
1x	157.93±10.69 ^{αδεζη!}	155.21±14.27 ^{αδεζη!}	156.43±15.07 ^{αδεζη!}	156.23±12.59 ^{αδεζη!}
2x	160.00±11.14 ^{αεζη!}	160.00±13.46 ^{αεζη!}	159.64±14.56 ^{αδεζη!}	158.62±13.46 ^{αεζη!}
3x	168.21±12.32 ^{αβζη!}	169.71±12.73 ^{αβζη!}	171.00±14.00 ^{αβγδεζη!}	167.69±11.09 ^{αεζη!}
4x	174.57±12.03 ^{αβγζη!}	177.50±10.91 ^{αβγζη!}	177.57±10.66 ^{αβγζη!}	175.08±11.70 ^{αβγζη!}
E3	122.86±17.79 ^{αβγδεη!}	127.71±20.11 ^{αβγδε!}	129.00±12.84 ^{αβγδεη!}	121.31±13.29 ^{αβγδε!}
E6	111.14±14.76 ^{αβγδεζ}	119.14±15.62 ^{αβγδε}	118.64±13.68 ^{αβγδεζ}	115.15±12.70 ^{αβγδε}
E10	106.57±15.14 ^{αβγδεζ}	110.93±12.57 ^{αβγδεζ}	110.43±12.75 ^{αβγδεζ}	107.62±9.47 ^{αβγδεζ}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；β 指組內比較與 1x 呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；δ 指組內比較與 3x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；ζ 指組內比較與 E3 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；* 指組間比較呈顯著差異 (p < .05)。

四、 知覺感受分數

經二因子變異數進行知覺感受分數 (RPE) 不同恢復組別及時間變項之統計發現，兩變項之間無交互關係 ($F = 0.264, p = 1.000, p > .05$)，組間也未呈現差異 ($F = 0.313, p = 0.816, p > .05$)，時間變項呈現差異 ($F = 127.313, P = 0.000, p < .05$)。各組時間因子比較如下：(一) 控制組：經統計顯示 $F = 31.616, P = 0.000 (p < .05)$ ，自安靜值開始至恢復期第 90 分鐘在時間變項呈顯著差異，RPE 顯著上升 ($p < .05$)，運動結束後第 3 分鐘 (E3) 及顯著下降至 E90 ($p < .05$)，至 E60 之後 (含 E90) RPE 分數與安靜值無差異，表示控制組接受高強度負荷後至恢復期第 60 分鐘，知覺量表分數回到與安靜值無異的水準；(二) 2x60s 組：自安靜值開始，RPE 隨運動負荷組數增加呈現顯著上升，並同樣在恢復期第三分鐘後顯著下降 ($p < .05$)，其時間變項呈現顯著差異 ($F = 36.372, p = 0.000, p < .05$)，並且至恢復期第 90 分鐘 (E90) 的 RPE 分數與安靜值無差異 ($p > .05$)；(三) 2x90s 組：時間因子達顯著差異 ($F = 33.481, p = 0.000, p < .05$)，RPE 趨勢同前面兩組，但 RPE 分數提前至恢復期 E60 與安靜值無異 ($p > .05$)。；(四) 2x150s 組：RPE 分數與前三組趨勢相近，在時間因子上呈顯著差異 $F = 27.56, p = 0.000 (p < .05)$ ，但在恢復期 E30 之 RPE 分數顯示與安靜值無顯著差異 ($p > .05$)，顯示受試者的知覺感受量表呈現狀態趨近於運動前安靜狀態水準，上述結果呈現於表 4-1-4 及圖 4-1-3。

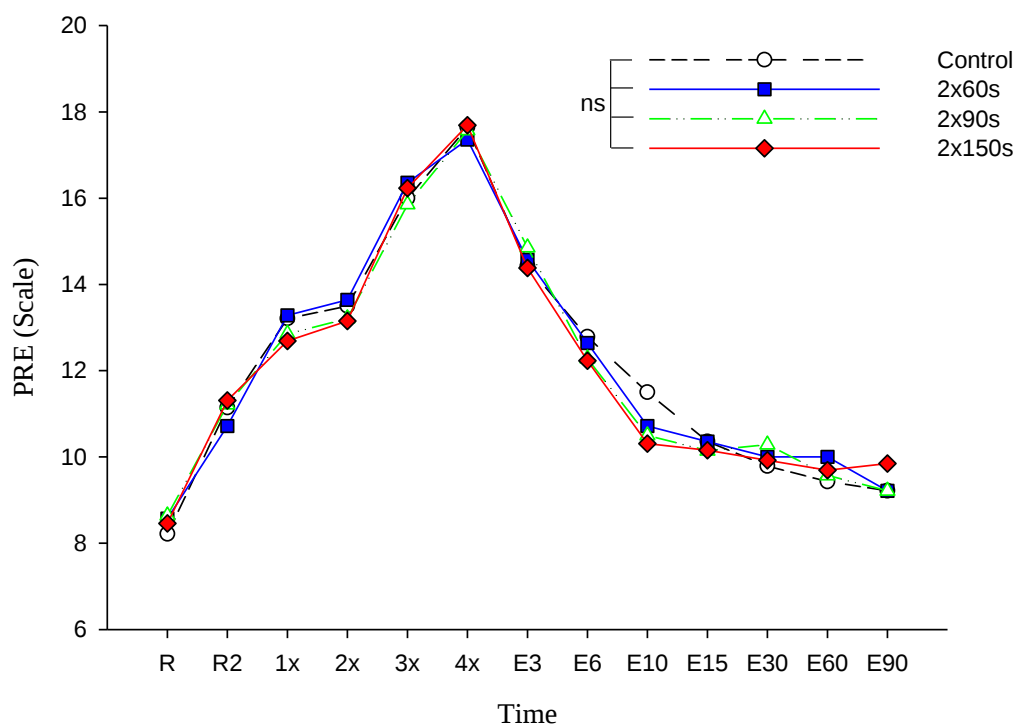


圖 4-1-3 知覺量表分數變化趨勢圖

R:安靜值；R2:暖身後；1x-4x:第1-4組高強度間歇負荷；E3-E90:恢復期第3-90分鐘；註:ns 指組間未達統計顯著差異

表 4-1-4 知覺量表分數比較表

RPE (Scale)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	8.21±1.89 ^{βγδεζη!Ωτ}	8.57±2.17 ^{βγδεζη!Ωτξ}	8.64±2.17 ^{βγδεζη!Ωτ}	8.46±2.11 ^{βγδεζη!Ω}
1x	13.21±1.37 ^{αδε!Ωτξθ}	13.29±1.4 ^{αδε!Ωτξθ}	12.86±1.35 ^{αδεζ!Ωτξθ}	12.69±1.65 ^{αδεζ!Ωτξθ}
2x	13.50±1.83 ^{αδε!Ωτξθ}	13.64±1.65 ^{αδε!Ωτξθ}	13.21±1.53 ^{αδεζ!Ωτξθ}	13.15±2.04 ^{αδε!Ωτξθ}
3x	16.00±1.80 ^{αβγδεζη!Ωτξθ}	16.36±1.74 ^{αβγζη!Ωτξθ}	15.86±1.75 ^{αβγεη!Ωτξθ}	16.23±1.79 ^{αβγζη!Ωτξθ}
4x	17.64±2.06 ^{αβγδεζη!Ωτξθ}	17.36±1.87 ^{αβγζη!Ωτξθ}	17.57±1.40 ^{αβγδεζη!Ωτξθ}	17.69±1.70 ^{αβγζη!Ωτξθ}
E3	14.43±2.17 ^{αδεη!Ωτξθ}	14.57±1.70 ^{αδεη!Ωτξθ}	14.86±1.92 ^{αβγεη!Ωτξθ}	14.38±2.43 ^{αβδεη!Ωτξθ}
E6	12.79±2.46 ^{αδεζ!Ωτξθ}	12.64±2.13 ^{αδεζ!Ωτξθ}	12.29±1.94 ^{αδεζ!Ωτξθ}	12.23±1.69 ^{αδεζη!Ωτξθ}
E10	11.50±2.38 ^{αδεζ}	10.71±1.20 ^{αβγδεζηθ}	10.50±1.45 ^{αβγδεζη}	10.31±1.44 ^{αβγδεζη}
E15	10.36±1.74 ^{αβγδεζ}	10.36±1.28 ^{αβγδεζη}	10.14±1.88 ^{αβγδεζη}	10.15±1.82 ^{αβγδεζη}
E30	9.79±1.76 ^{αβγδεζη!}	10.00±1.71 ^{αβγδεζη}	10.29±2.20 ^{αβγδεζη}	9.85±2.30 ^{βγδεζη}
E60	9.43±1.91 ^{βγδεζη!}	10.00±1.80 ^{αβγδεζη}	9.57±2.10 ^{βγδεζη}	9.62±2.26 ^{βγδεζη}
E90	9.21±1.76 ^{βγδεζη!}	9.21±2.29 ^{βγδεζη!}	9.21±2.19 ^{βγδεζη}	9.77±2.32 ^{βγδεζη}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；β 指組內比較與 1x 呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；δ 指組內比較與 3x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；ζ 指組內比較與 E3 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；Ω 指組內比較與 E15 呈顯著差異；τ 指組內比較與 E30 呈顯著差異；ξ 指組內比較與 E60 呈顯著差異；θ 指組內比較與 E90 呈顯著差異；* 指組間比較呈顯著差異 (p < .05)。

第二節 超低溫應用對高強度間歇運動後之運動表現

一、下蹲跳

各恢復模式與時間經二因子變異數分析顯示無組間差異 ($F = 0.219, p = 0.883, p > .05$)。組內經單因子變異數分析顯示如下：(一) 控制組：恢復期 E30 - 90 分鐘的跳躍高度，平均值依時間順序為 E30: 40.73 ± 9.78 、E60: 40.56 ± 9.44 、E90: $40.75 \pm 10.09\text{cm}$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.18, p = 0.982, p > .05$)；(二) 2x60s 組：組各下蹲跳高度依序為 E30: 40.80 ± 8.16 、E60: 40.56 ± 8.25 、E90: $41.41 \pm 10.51\text{cm}$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.196, p = 0.822, p > .05$)；(三) 2x90s 組：依序如下，E30: 41.11 ± 9.00 、E60: 40.46 ± 9.79 、E90: $41.00 \pm 10.29\text{cm}$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.202, p = 0.818, p > .05$)；(四) 2x150s 組：恢復期跳躍高度如下，E30: 40.21 ± 9.02 、E60: 41.69 ± 9.87 、E90: $41.77 \pm 10.78\text{cm}$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.305, p = 0.739, p > .05$)。綜合上述，控制組、2x60 與 2x90s 組三種恢復模式組內未隨著恢復時間延長 CMJ 而有顯著性的高度差異，雖然在 2x150s 組呈現隨恢復時間增長，CMJ 高度增加之趨勢，但未達統計上的顯著差異 ($p > .05$)。從各時間點下蹲跳的最高與最低值顯示，高強度運動後第 30 分鐘 (E30)，CMJ 跳躍最高為 2x90s 組(41.107cm) 最低 2x150s 組 (40.208cm)，兩組差異 0.90cm ；E90 的 CMJ 平均值最高為 2x150s 組(41.692cm)，最低為 2x90s 組 (40.457cm)，兩組差異 1.24cm ；E150 時間點平均最高仍為 2x150s 組 (41.769m)，最低為控制組(40.750cm)，兩組差異為 1.02cm ，表現如圖 4-2-1 顯示。

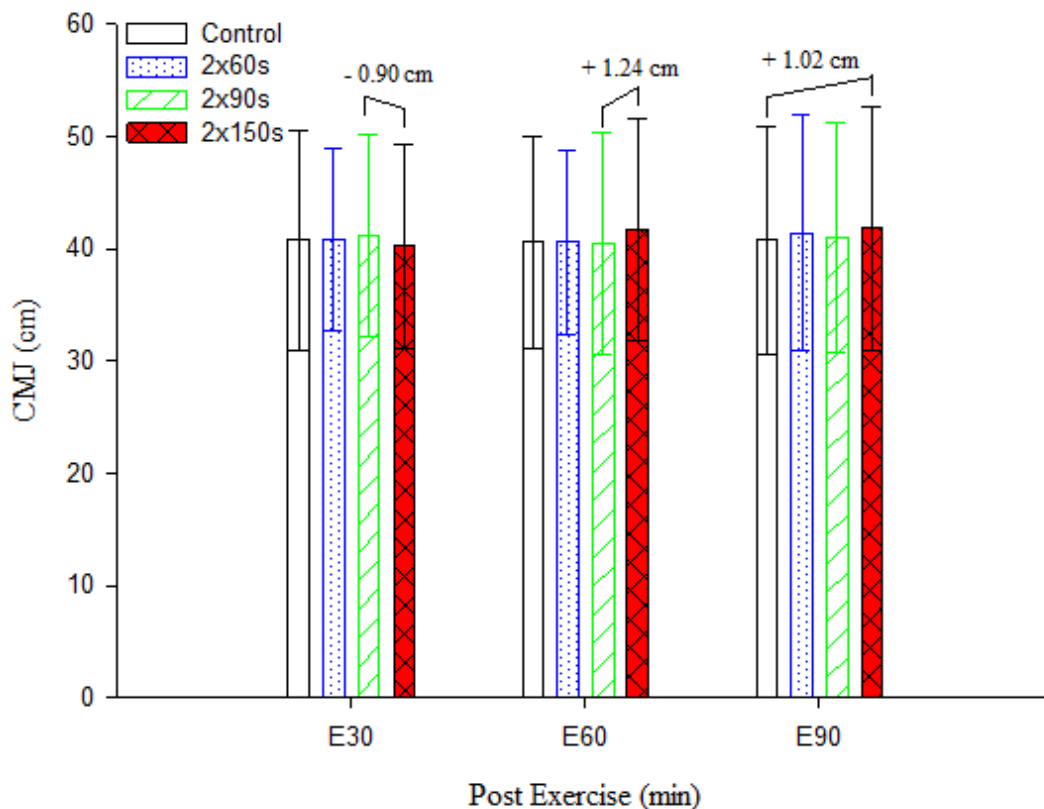


圖 4-2-1 各組下蹲跳時間變化柱狀圖

E30-E90: 恢復期第30-90分鐘

二、反應時間

各恢復模式與時間經二因子變異數分析顯示無組間差異 ($F = 0.616, p = 0.606, p > .05$)。組內比較經單因子變異數分析顯示如下: (一) 控制組: 反應時間 E30 - 90 分鐘平均依序為 E30: $0.1481 \pm 0.022s$ 、E60: $0.1446 \pm 0.019s$ 、E90: $0.1438 \pm 0.017s$, 各時間點未達顯著差異 ($F = 0.190, p = 0.827, p > .05$); (二) 2x60s 組: 各反應時間依序如下為 E30: $0.1593 \pm 0.029s$ 、E60: $0.1436 \pm 0.022s$ 、E90: $0.1467 \pm 0.023s$, 各時間點未達顯著差異 ($F = 1.552, p = 0.225, p > .05$); (三) 2x90s 組: 反應時間依序呈現如下, E30: $0.1486 \pm 0.010s$ 、E60: $0.1449 \pm 0.017s$ 、E90: $0.1485 \pm 0.020s$, 各時間點未達顯著差異 ($F = 0.247, p = 0.783, p > .05$); (四) 2x150s 組: 的反應時間表現如下, E30: $0.1456 \pm$

0.013s、E60: $0.1478 \pm 0.017s$ 、E90: $0.1404 \pm 0.009s$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 1.035, p = 0.366, p > .05$)。綜合上述，經不同恢復模式對於高強度間歇運動後而言，隨著恢復時間延長，受試者反應時間呈現縮短趨勢，但未達統計的顯著差異 ($p > .05$)，如圖 4-2-2 所示。

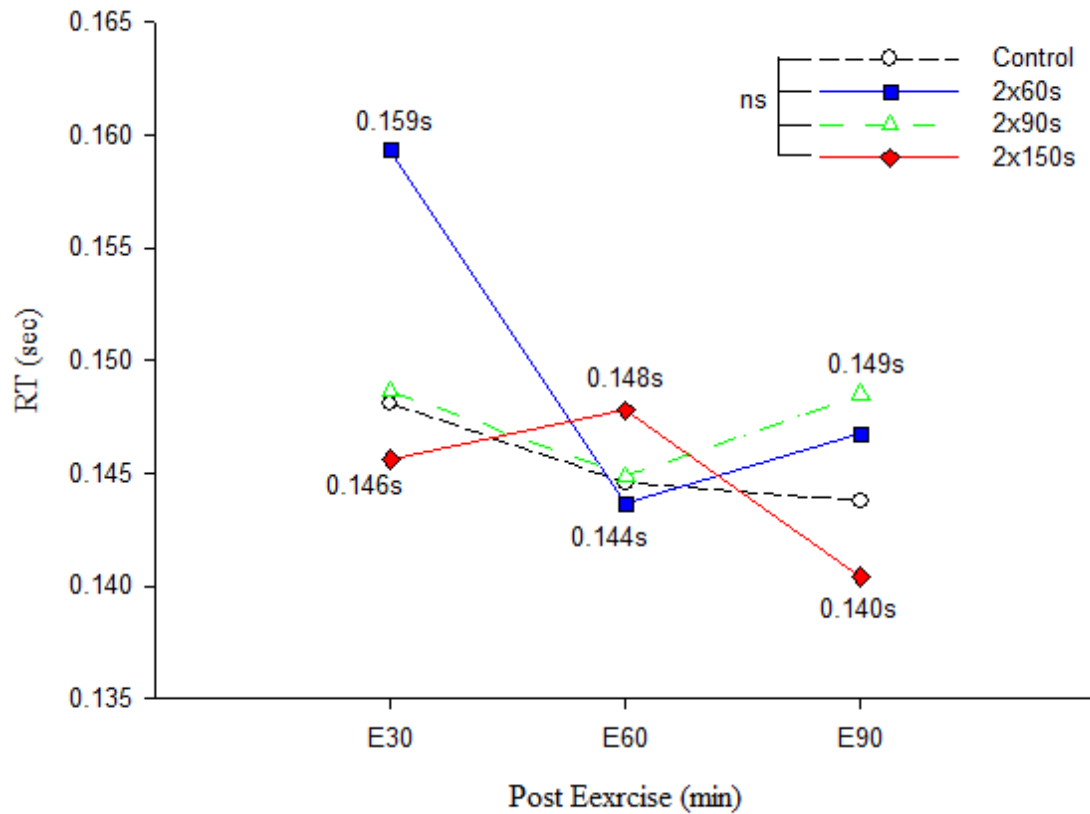


圖 4-2-2 反應時間變化圖

E30-90:恢復期第30-90分鐘；註: ns 指組間統計未達顯著差異

三、 30 公尺運動表現

各恢復模式與時間經二因子變異數分析顯示在 30 公尺衝刺表現也無組間統計上差異 ($F = 0.140, p = 0.936, p > .05$)。組內比較經單因子變異數分析顯示如下：(一) 控制組：衝刺時間 E30 - 90 分鐘平均依序為 E30: 4.510 ± 0.32 、E60: 4.511 ± 0.26 、E90: $4.492 \pm 0.29s$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.18, p = 0.983, p > .05$)；(二) 2x60s 組：各時間依序如下為 E30: 4.532 ± 0.35 、E60: 4.471 ± 0.31 、E90: $4.464 \pm 0.30s$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.196, p = 0.822, p > .05$)；(三) 2x90s 組：30 公尺衝刺表現依序呈現如下，E30: 4.519 ± 0.29 、E60: 4.467 ± 0.27 、E90: $4.453 \pm 0.31s$ ，各時間點亦未達顯著差異 ($F = 0.202, p = 0.818, p > .05$)；(四) 2x150s 組：表現如下，E30: 4.510 ± 0.27 、E60: 4.455 ± 0.31 、E90: $4.421 \pm 0.31s$ ，各時間點未達顯著差異 ($F = 0.305, p = 0.739, p > .05$)。綜觀而言，控制組、2x60、2x90 與 2x150s 組四種恢復模式皆隨著恢復時間延長而 30m 衝刺表現隨之提高，並且以 E60 及 E90 觀察，冷卻時間越長似乎呈現運動表現越佳的趨勢，且無論是何種恢復模式，在高強度間歇運動後各組隨著恢復時間的增長，30 公尺運動時間也縮短，但未達統計上的顯著差異 ($p > .05$)，如圖 4-2-3 所示。上述三項神經肌肉表現 (下蹲跳、反應時間、30 公尺運動表現) 之平均與標準差結果如表 4-2-1 所示。

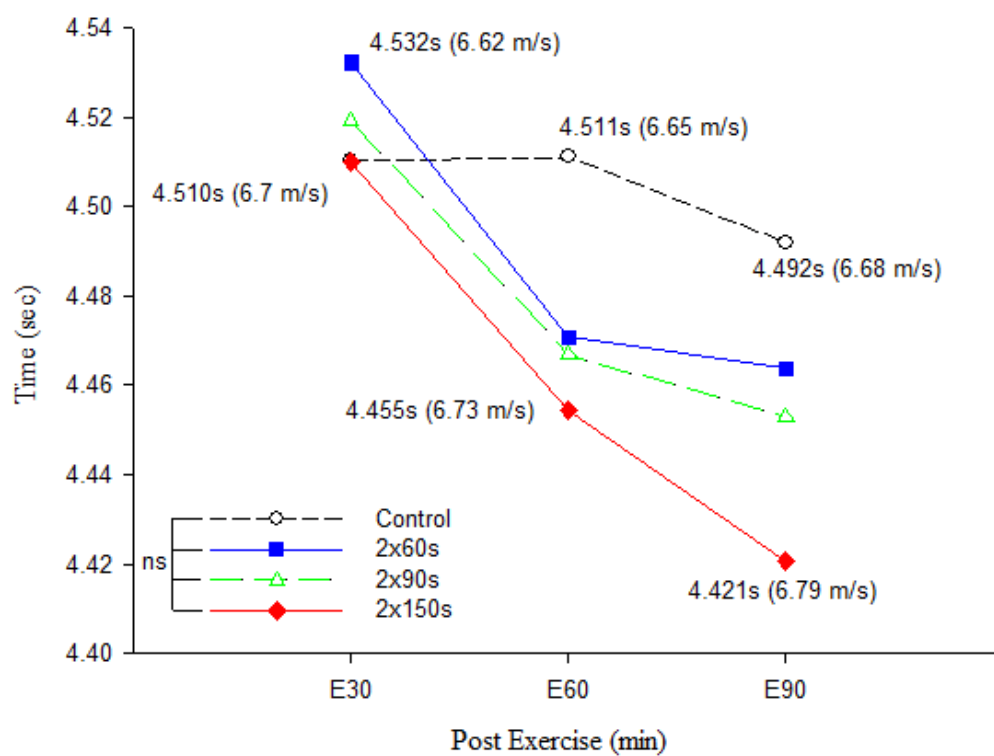


圖 4-2-3 30m 運動表現時間圖

E30-E90:恢復期第30-90分鐘；註：ns 指組間統計未達顯著差異

表 4-2-1 各恢復模式之神經肌肉表現

Tests		E30	E60	E90
RT(s)	Control	0.148±0.023	0.145±0.019	0.144±0.017
	2x60s	0.159±0.029	0.144±0.022 [#]	0.147±0.023 [#]
	2x90s	0.149±0.010	0.145±0.017	0.149±0.020
	2x150s	0.146±0.013	0.148±0.017	0.140±0.009
CMJ	Control	40.729±9.78	40.564±9.44	40.750±10.09
	2x60s	40.800±8.16	40.557±8.25	41.407±10.51
	2x90s	41.107±9.00	40.457±9.79	41.000±10.29
	2x150s	40.208±9.02	41.692±9.87	41.769±10.78
30m(s)	Control	4.510±0.32	4.511±0.26	4.492±0.29
	2x60s	4.532±0.35	4.471±0.31	4.464±0.30
	2x90s	4.519±0.29	4.467±0.27	4.453±0.31
	2x150s	4.510±0.27	4.455±0.31	4.421±0.31

註：E30-90:恢復期第 30-90 分鐘；# 指組內比較與 E30 有顯著差異 (p < .05)



第三節 不同恢復環境對體溫的影響

一、核心體溫

經二因子變異數統計顯示，運動後恢復期進行不同恢復模式對核心體溫 (T_{core}) 產生顯著差異 ($F = 14.271, p = 0.000, p < .05$)。進一步分析顯示，控制組溫度在恢復期顯著高於各組 ($p = 0.000, p < .05$)，2x150s 組恢復期核心溫度除顯著低於控制組外，也顯著低於 2x60s 組 ($p = 0.013, p < .05$)。各組內核心溫度比較如下：(一) 控制組：除了與安靜值比較呈顯著差異外，與 2x60、90 及 150 秒應用之各組間相比無顯著差異；(二) 2x60s 組：復期 E6、E10 核心溫度顯著低於運動狀態 (2x 與 4x, $p < .05$)；(三) 2x90s 組：經 2x90 秒超低溫冷卻後，依據各時間點比較呈顯著差異 ($F = 26.164, p = 0.000, p < .05$)，恢復期 E6、E10 核心溫度顯著也低於運動狀態 (2x 與 4x, $p < .05$)；(四) 2x150s 組：經單因子變異數分析顯示，時間因子呈顯著差異 ($F = 35.460, p = 0.000, p < .05$)。整體而言，各組核心溫度變化於恢復期呈現顯著差異 ($p < .05$)，組內比較各恢復模式的時間差異，安靜值、運動中之體溫起伏並無組間差異存在，如表 4-3-1 所示，變化曲線如圖 4-3-1 所示。

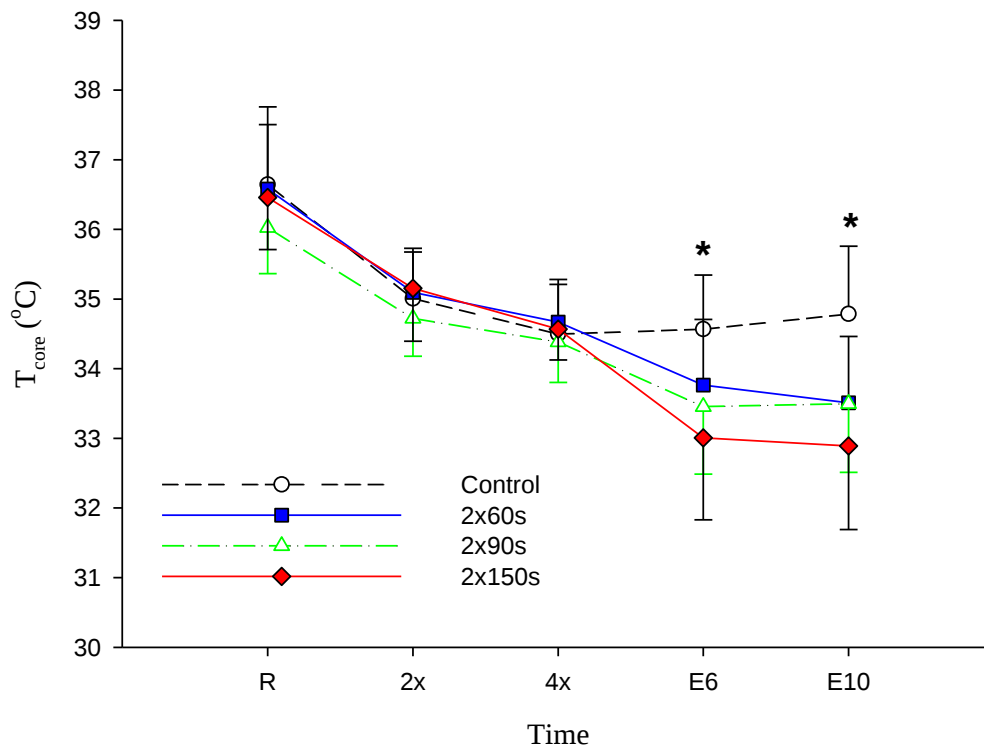


圖 4-3-1 核心溫度趨勢圖

R: 安靜值；2x: 第2組高強度間歇負荷；4x: 第4組高強度間歇負荷；
 E6: 恢復期第6分鐘；E10: 恢復期第10分鐘；註: * 指組間統計達顯著
 差異($p < .05$)

表 4-3-1 各恢復模式與核心溫度比較

Temp _{core} (°C)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	36.64±1.12 ^{γεν!}	36.58±0.92 ^{γεν!}	36.03±0.66 ^{γεν!}	36.46±0.75 ^{γεν!}
2x	35.01±0.67 ^α	35.10±0.63 ^{αν!}	34.72±0.54 ^{αν!}	35.16±0.76 ^{αν!}
4x	34.50±0.71 ^α	34.67±0.61 ^{αν!}	34.38±0.58 ^{αν!}	34.57±0.44 ^{αν!}
E6	34.57±0.78 ^{ωρψα}	33.76±0.94 ^{*ψαγε}	33.45±0.97 ^{*αγε}	33.01±1.18 ^{*ωαγε}
E10	34.79±0.97 ^{ωρψα}	33.51±0.96 ^{*ψαγε}	33.50±0.98 ^{*αγε}	32.89±1.20 ^{*ωαγε}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；* 指控制組比較呈顯著差異 ($p < .05$)，ω 指與 2x60 組呈顯著差異；ρ 指與 2x90 組呈顯著差異；ψ 指與 2x150 組呈顯著差異。

二、體表溫度

體表溫度 (T_{shell}) 以熱感攝影機拍攝體表上肢：左右手的肱二頭肌、掌心部位，以及下肢：左右腿之股四頭肌、脛前肌，上述四部位經統合整理後以二因子變異數 (組別 x 時間) 進行統計。經統計分析顯示不同恢復處理的恢復期 (E6、E10) 體表體溫在組別 ($F = 71.960$, $p = 0.000$, $p < .05$) 與時間 ($F = 5.193$, $p = 0.024$, $p < .05$) 呈顯著差異，各組恢復期變化如圖 4-3-2 所示。各組之間恢復期溫度比較如下：(一) 控制組：控制組與 2x60s ($p = 0.00$, $p < .05$)、2x90s ($p = 0.00$, $p < .05$)、2x150s 組 ($p = 0.00$, $p < .05$) 比較後顯示，恢復期體溫顯著高於各組；(二) 2x60s 組：顯著低於控制組，但顯著高於 2x90s ($p = 0.00$, $p < .05$)、2x150s 組 ($p = 0.00$, $p < .05$) 的溫度；(三) 2x90s：與控制組、2x60s 呈顯著差異，顯著低於前述兩組，但體溫顯著高於 2x150s ($p = 0.019$, $p < .05$)；(四) 2x150s：恢復期 E6、E10 皆顯著低於各組，2x150s

組溫度顯著低於各組 ($p = 0.000, p < .005$)，且冷卻時間越長體表溫度越低。恢復期兩個時間 (E6 & E10) 觀察發現，體表溫度變化唯控制組呈現微幅上升，其餘各組呈現下降趨勢如圖 4-3-3 所示，各組內自安靜值開始到恢復期第 10 分鐘各時間點比較如下表 4-3-2 呈現。

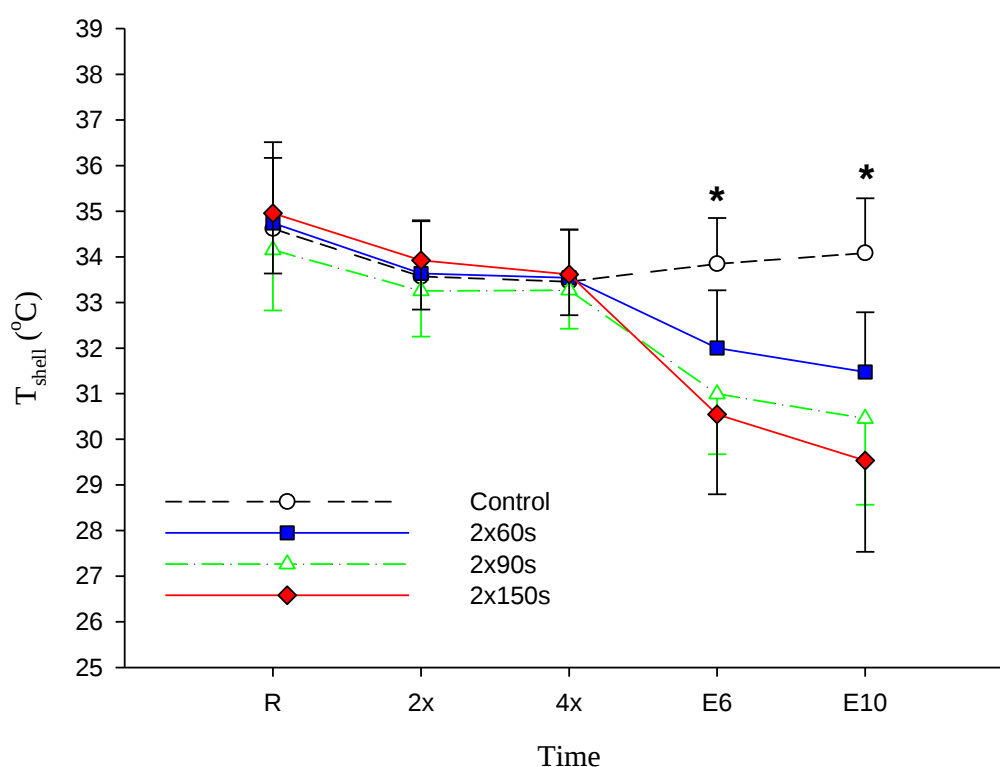


圖 4-3-2 體表溫度趨勢圖

R: 安靜值；2x: 第2組高強度間歇負荷；4x: 第4組高強度間歇負荷；E6: 恢復期第6分鐘；E10: 恢復期第10分鐘；註：* 指組間統計達顯著差異($p < .05$)

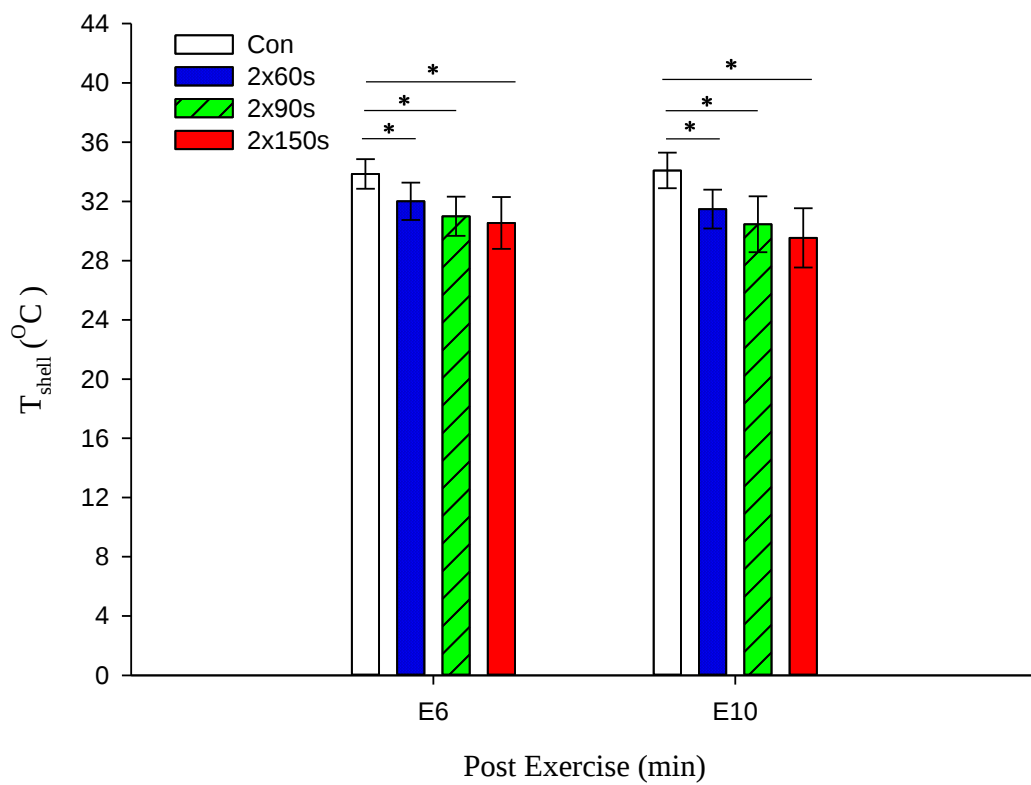


圖 4-3-3 各組恢復期體表溫度變化柱狀圖

E6:恢復期第6分鐘；E10:恢復期第10分鐘；註：*指組間統計達顯著差異($p < .05$)

表 4-3-2 各恢復模式與體表溫度比較

Temp _{core} (°C)	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	34.62±1.89 ^{γεν}	34.74±1.47 ^{γεν!}	36.15±1.33 ^{γεν!}	34.88±1.41 ^{γεν!}
2x	33.57±1.21 ^α	33.63±1.17 ^{αν!}	33.26±1.00 ^{αν!}	33.93±1.08 ^{αν!}
4x	33.46±1.14 ^α	33.54±1.06 ^{αν!}	33.27±0.85 ^{αν!}	33.62±0.89 ^{αν!}
E6	33.85±1.00 ^{ωρψα}	32.00±1.26 ^{*ρψαγε}	30.99±1.32 ^{*ωψαγε}	30.55±1.75 ^{*ωραγε!}
E10	34.09±1.20 ^{ωρψ}	31.48±1.31 ^{*ρψαγε}	30.45±1.89 ^{*ωψαγε}	29.54±2.00 ^{*ωραγε!}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；* 指控制組比較呈顯著差異 ($p < .05$)，ω 指與 2x60 組呈顯著差異；ρ 指與 2x90 組呈顯著差異；ψ 指與 2x150 組呈顯著差異。

二、熱感量表分數

各組恢復模式經二因子變異數分析顯示各組恢復模式在數據統計上達顯著差異 ($F = 13.953, p = 0.000, p < .05$)，以及時間性亦具統計性差異 ($F = 65.629, p = 0.000, p < .05$)。高強度間歇運動後恢復期組間比較經事後檢定顯示，控制組的熱感分數顯著高於各組 ($p = 0.000, p < .05$)。各組內時間差異經單因子變異數比較如下：(一) 控制組：自安靜值開始，經運動中與恢復期的熱感溫度分數呈顯著變化 ($F = 10.478, p = 0.00, p < .05$)；(二) 2x60s 組：自安靜值開始，經運動中與恢復期的熱感溫度分數呈顯著變化 ($F = 28.033, p = 0.00, p < .05$)，並且在 E6 之後的熱感溫度及與安靜值分數無差異 (E6: $p = 0.569, p > .05$; E10: $p = 0.120, p > .05$)；(三) 2x90s 組：自安靜值開始，經運動中與恢復期的熱感溫度分數呈顯著變化 ($F = 33.341, p = 0.00, p < .05$)，並且在 E6 之後的熱感溫度及與安靜值分數無差異 (E6: $p = 0.673, p > .05$)；(四) 2x150s 組：經運動中與恢復期的熱感溫度分數呈顯著變化 ($F = 30.638, p =$

0.00, $p < .05$), 並且在 E6 的熱感溫度及與安靜值分數無差異 (E6: $p = 0.231$, $p > .05$), 再者, 在 E10 體感分數更低於安靜值狀態 ($p = 0.026$, $p < .05$), 各組間與組內差異如圖 4-3-4 及表 4-3-3 所示。

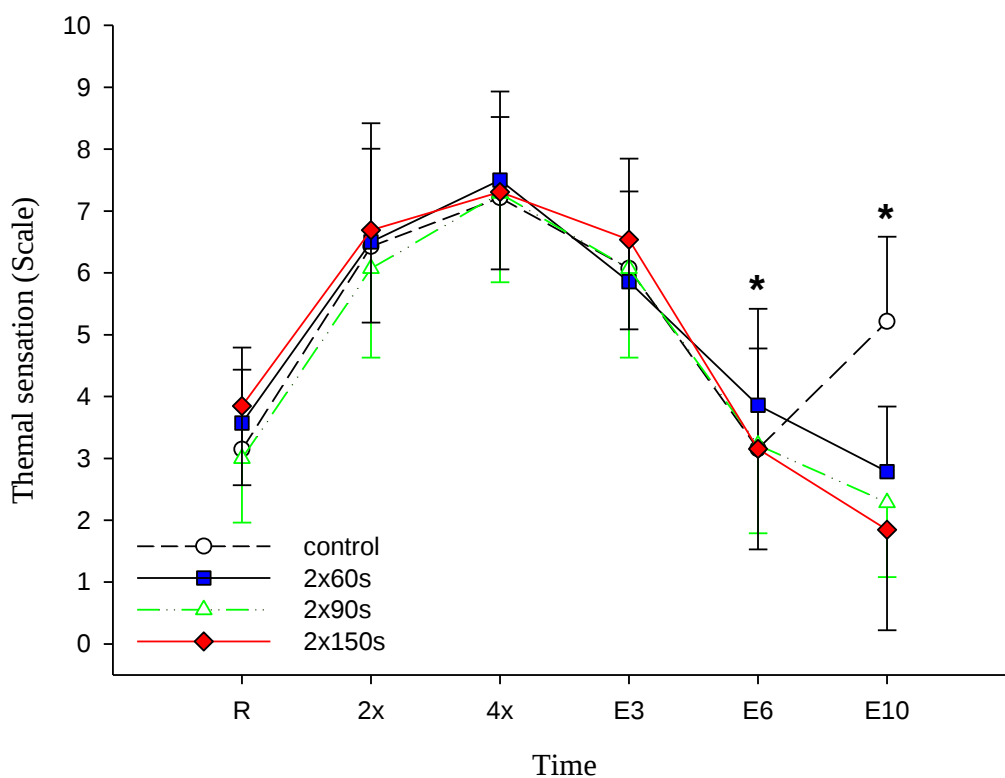


圖 4-3-4 熱感量表分數變化趨勢圖

R: 安靜值; 2x: 第2組高強度間歇負荷; 4x: 第4組高強度間歇負荷;
 E6: 恢復期第3分鐘; E6: 恢復期第6分鐘; E10: 恢復期第10分鐘;
 註: * 指各組間與控制組比較達顯著差異($p < .05$)

表 4-3-3 各恢復模式與熱感溫度分數變化

熱感量表 分數	Control	2x60s	2x90s	2x150s
R	3.14±1.29 ^{γεζη!}	3.57±1.22 ^{γεζ}	3.00±1.04 ^{γεζ}	3.85±1.28 ^{γεζ!}
2x	6.43±1.99 ^{α!}	6.50±1.51 ^{αεη!}	6.07±1.44 ^{αεη!}	6.69±1.49 ^{αη!}
4x	7.21±1.72 ^{αη!}	7.50±1.02 ^{αγζη!}	7.29±1.44 ^{αγζη!}	7.31±1.25 ^{αη!}
E3	6.07±1.77 ^α	5.86±1.46 ^{αεη!}	6.07±1.44 ^{αεη!}	6.54±1.45 ^{αη!}
E6	5.57±1.40 ^{ωρψαε}	3.86±1.56 ^{*ψγεζ!}	3.21±1.42 ^{*γεζ}	3.15±1.63 ^{*ωγεζ!}
E10	5.21±1.37 ^{ωρψαε}	2.79±1.05 ^{*ψγεζη}	2.29±1.20 ^{*γεζ}	1.85±1.63 ^{*ωαγεζη}

α 指組內比較與安靜值呈顯著差異；γ 指組內比較與 2x 呈顯著差異；ε 指組內比較與 4x 呈顯著差異；ζ 指組內比較與 E3 呈顯著差異；η 指組內比較與 E6 呈顯著差異；! 指組內比較與 E10 呈顯著差異；* 指與控制組比較呈顯著差異(p < .05)，ω 指與 2x60 組呈顯著差異；ρ 指與 2x90 組呈顯著差異；ψ 指與 2x150 組呈顯著差異。

第四節 划船負荷與運動表現

一、划船負荷結果

比較四次恢復處理前之划船負荷，經輸出功率與完成比較後顯示並無顯著差異，透過單因子變異數分析統計分析後顯示四次運動強度相近，輸出功率 ($F = 0.32, p = 0.992, p > .05$)；完成時間也無顯著差異($F = 0.019, p = 0.996, p < .05$)，表示受試者在四次最大負荷運動強度呈現相近的負荷時間與輸出功率，受試者在四次划船負荷平均值如表所示 4-4-1，及 300 公尺完成時間如表 4-4-2 所示。



表 4-4-1 個人 300 公尺划船平均功率

Subject	control	2x60s	2x90s	2x150s	SD
1	356.50	395.00	388.00	419.00	25.77
2	217.00	218.00	223.00	232.00	6.86
3	287.50	278.50	270.00	287.50	8.40
4	362.00	351.00	381.00	363.50	12.41
5	343.50	359.50	330.00	323.50	15.93
6	363.00	376.50	381.00	377.00	7.85
7	370.50	366.00	368.00	366.00	2.14
8	364.00	340.50	351.00	354.00	9.67
9	419.50	415.00	394.00	373.50	21.15
10	272.50	277.50	267.00	266.29	5.25
11	210.00	233.00	246.50	206.00	19.21
12	235.50	227.50	238.50	274.00	20.61
13	331.50	346.00	326.50	296.50	20.80
14	312.00	334.00	318.50	346.50	15.54
M±SD	317.50±63.94	322.71±64.29	320.21±60.58	324.54±61.91	13.68±7.18

表 4-4-2 個人 300 公尺划船平均時間

Subject	control	2x60s	2x90s	2x150s	SD
1	59.60	57.60	57.90	56.20	1.40
2	70.30	70.25	69.45	68.80	0.72
3	64.50	64.52	65.50	64.05	0.61
4	61.50	59.95	58.30	59.25	1.35
5	60.40	59.70	61.25	61.60	0.86
6	59.25	58.50	58.45	58.50	0.38
7	58.80	59.05	59.05	58.70	0.18
8	59.25	59.75	60.00	59.75	0.31
9	56.55	56.75	57.40	58.81	1.02
10	64.85	64.75	65.70	65.70	0.52
11	66.15	68.80	67.40	71.60	2.34
12	69.40	69.30	67.90	65.00	2.05
13	61.05	60.25	61.35	63.67	1.47
14	62.00	61.05	61.80	60.20	0.82
M±SD	62.40±4.09	62.16±4.54	62.25±4.14	62.01±4.45	1.00±0.65

第伍章 討論

本研究旨在探討高強度運動後應用不同超低溫冷卻對於運動員接續後的神經肌肉表現之時序性效果，並以 2 次 0、60、90、150 秒為時間變項，除了針對運動表現外，亦對能量代謝與體循環指標—乳酸、血氨、心跳進行探究，就研究目的，本研究主要發現如下：

- 一、神經肌肉表現：2 次不同超低溫時間長度 (60、90、150 s) 對於高強度運動後的神經肌肉表現指標—反應時間和下蹲跳相較於常溫恢復無負面影響。
- 二、能量代謝指標之乳酸和血氨，與體循環之心跳無顯著差別，顯示高強度負荷後應用超低溫與常溫恢復無顯著差異。
- 三、高強度間歇運動後，超低溫 2 次 150s 模式相較於其他時間應用，有助於促使運動員知覺感受分數 (RPE) 提前恢復。
- 四、冷卻時間長度對於核心及體表溫度具有顯著的影響，且對體表與核心溫度之冷卻效應持續到冷卻後第 10 分鐘。

綜上，本章依序討論為：一、超低溫應用對神經肌肉表現；二、超低溫應用對於能量代謝與體循環壓力的影響；三、超低溫應用對於體溫調節、熱覺感受及知覺感受分數的影響，三部分進行討論。

第一節 超低溫應用對神經肌肉表現

研究結果顯示，在高強度間歇運動後 (4x) 各組乳酸值 $> 9 \text{ mmol/l}$ 、 $\text{NH}_3 > 110 \text{ } \mu\text{mol/l}$ 、 $\text{HR} > 174 \text{ bpm}$ 、 $\text{RPE} > 17$ ，受試者皆顯著高於運動前各指標水準 ($p < .05$)，甚至達到運動誘發疲勞指標水平之上 (Sahlin et al., 1976; Sahlin, 1992; Halson, 2014)。過去已知，即使是不同的運動強度 (最大攝氧量強度) 之設定，乳酸、血氨、與 RPE 具有彼此間的關聯性，且當數值越高越能表現疲勞的意義 (Spodaryk et al., 1990)。當乳酸值高於 4 mmol/l ，也就是當乳酸生成速度高於排除速度 (onset of blood lactate accumulation, OBLA) 發生時，會和血氨呈現同時上升趨勢 (Ament et al., 2009)，乳酸濃度增加是由於 pH 值低於正常值，使得肌肉血流量受限與人體藉由糖酵解產能比率提升所致，最終造成肌肉自主收縮水準受到限制 (Ishii & Nishida, 2013)。再者，心跳、RPE 與乳酸也已證實對於運動誘發的疲勞具有密切關聯 (Dunbar et al., 1992)。當運動負荷持續累積或無足夠恢復時間，將導致疲勞或力量減退的現象 (Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1985; Mueller et al., 2015)。從本研究高強度間歇負荷設計，確實誘發受試者疲勞反應，且四組產生的生理壓力趨於一致，故較能推測受試者在接受不同恢復處理前，為相近的生理狀態。

一、超低溫對於反應時間的影響

所有組別接受不同恢復處理的統計分析顯示，各組內時間因子與組間的恢復因子並未達到顯著差異 ($p > .05$)。反應時間 (reaction time, RT) 結果顯示，各組在高強度運動後 90 分鐘 (E90) 的反應時間表現較 E30 佳，但未呈現顯著差異，各恢復模式組間也未呈現顯著差異，但常溫組的反應時間表現呈現隨恢復時間延長而縮短的趨勢；超低溫組別中，2x150s 組在 E30 及 E90 呈現較短的反應時間表現，但 E60 卻為各組中平均最長，2x60 與 2x90s 組則呈現起伏較大的現象。

總體而言，E90 各組的反應時間皆優於各自 E30 表現 (即隨恢復時間增長而反應時間縮短)，超低溫與常溫恢復後對反應時間是否縮短之差異不明顯。

Rammasayer and Bahner (1995) 比較暴露在 28 與 5 °C 環境對反應時間的影響指出，當核心溫度降低 0.5°C 時，反應與動作反應時間顯著增加，較低的核心溫度對於中樞訊息處理的各階段造成負面影響，可能因此延長反應時間，並且動作反應時間比單純反應時間對於冷造成的影響更為敏感，因此身體冷卻後可能在各時間階段身體對於訊息處理展現不同的動作效應。Berg, Hart, Palmieri-Smith, Cross, and Ingersoll (2007) 以 27 位受試者藉由碎冰塊冷卻 20 分鐘踝關節研究指出，低溫冷卻對於踝關節動作反應時間與反向動作表現與常溫組 (25 °C) 無顯著差別，作者並指出對關節機械感受器 (mechanoreceptors) 要有充足的冷卻才可能影響肌肉間訊息的傳遞。Thain, Bleakley, and Mitchell (2015) 以 58 位男女為對象，同樣碎冰應用於踝關節 10 分鐘同樣顯示冷卻後雖然會造成局部皮膚溫度降低，但同樣不會對下肢腓骨長肌 (peroneus longus muscle) 活性及反應時間產生負面影響。上述為透過冷卻但非超低溫模式呈現的結果，藉由超低溫研究相當少，一篇透過超低溫的文章以 49 名健康男性為對象，隨機分派 25 與 24 位比較 WBC (-60 + -120 °C, 30s + 3 min) 與常溫狀態反應時間的研究，但該研究是以連續數天不同次數的 WBC 研究實施，若要改善反應時間，作者指出需要 10 次以上的 WBC 才可能造成姿勢感受 (position sense) 與簡單反應時間的改善 (Giemza, Bieć, Ostrowska, Piechaczek, Sitny, & Kuczyński, 2016)。本研究為首篇以 PBC 探討 RT 不同時序的研究，就上述文獻顯示冷卻對於反應時間可能有冷卻部位、及次數可能造成影響，高強度運動後實施超低溫恢復模式對 RT 不會產生反應時間延長的現象，且無論是否實施常溫與低溫恢復模式，RT 呈現隨恢復時間延長而縮短的趨勢，當實施超低溫應用時，氣態冷卻對於局部肌肉需要足夠的刺激，亦即冷卻次數和長度兩者才可能對反應時間造成影響，本研究冷卻時間及次數在高強度間些運動後之短期反應時間的延長並不會產生負面效應。

二、超低溫對下蹲跳及 30 公尺衝刺表現

本研究下蹲跳 (CMJ) 結果顯示, E30 階段平均跳躍最高為 2x90s (41.107 cm) 相較最低 2x150s (40.208 cm) 差異 0.90 cm; E60 和 E90 則皆為 2x150s 組表現最佳 (E60: 41.692 cm; E90: 41.709 cm) 相較於最低組差異分別為 1.24 cm (2x90s 組) 及 1.02 cm (常溫組), 但組內與組間並未呈現顯著差異 ($p > .05$)。而 30m 運動表現顯示, 除了 E30 是常溫與 2x150s 衝刺時間同樣平均值最短 (常溫組: 4.510; 2x150s: 4.510s), 其餘時間點 E60、E90 則皆為 2x150s 表現最佳 (E60: 4.455s; E90: 4.421s), 並且 E60 和 E90 時間點表現最快至最慢依序為 2x150、2x90、2x60s、常溫組。以時間點分析, 高強度運動接續不同恢復模式短期 (E30) 的神經肌肉表現不一致, 然而 E60、E90 統合 RT 分析顯示 2x150s 呈現較多次的最佳平均表現, 2x60 與 2x90s 組僅在速度表現優於常溫組, 其餘表現並未因冷卻時間有所差別。就本研究 30m 速度表現顯示, 冷卻時間長度對於神經恢復 (< 90 min) 促進具有正面趨勢 (如表 4-2-1 與圖 4-2-3)。

Petterson et al. (2008) 以下肢流動式冷水浸泡法 (10°C , 20 min) 比較浸泡前後各種運動表現, 該研究發現當肌肉浸泡於冷水後會立即造成下蹲跳、跳躍時平均與最高動力輸出、40 碼衝刺 (約 36m)、T 字敏捷測試的表現下降, 並且持續到浸泡完成後第 22 分鐘都無法達到浸泡前的水準。Greicar, Kendrick, and Kimura (1996) 以流動式冷水浸泡 (1°C , 20 min) 至膝蓋高度, 發現浸泡完後下蹲跳高度下降 17.5%, 並相較於冷水浸泡前, 跳躍高度都低於浸泡前, 並持續至第 45 分鐘。部分低溫應用的文獻指出, 冷水浸泡 (cold water immersion) 對於肌肉力量輸出相關的表現 (Crowe et al., 2007)、衝刺性 (Higgins, Heazlewood, & Climstein, 2011) 的運動無顯著的提升效果 (Chow, Fong, Chung, & MacFarlane, 2015)。最大等速收縮性 (maximal voluntary concentration, MVC) 運動, 在肌肉溫度 $27 - 40^{\circ}\text{C}$ 範圍中, Bergh et al. (1979) 研究指出在此範圍, 肌肉溫度每降低 1 度造成 MVC 下降 2%。Kositsky (2017) 在以 10°C (2 - 3 min) 在下肢冷水浸泡 (CWI, 10°C , 2-

3 min) 前與後 (24、48 hr) 實施下肢最大自主收縮 (Maximal voluntary contraction) 與 DJ 誘發疲勞後，觀察力量與肌肉結構表現顯示，高強度的 SSC 運動模式可能造成肌肉結構性 (muscle architecture) 改變，而 DJ 運動表現至隔天仍低於誘發疲勞前 15% 的跳躍高度，肌肉溫度若降低可能在短時間會造成關節勁度 (joint stiffness) 的恢復時間比常溫組更長。這種冷卻後造成運動表現下降的原因部份是由於生理的保護機制所造成，Algaflly and George (2007) 以踝關節局部冷卻探討神經傳遞時間與疼痛抑制情況發現，當冷卻部位降低至 10 °C 時，神經傳導速度降低了 33%，若體表溫度每下降 1 °C 時，神經傳導速度降低 0.4 m/s，也因此降低了對疼痛的感受。當身體接觸低溫環境後導致神經傳導速度與降低酶的活性可導致肌肉間橫橋連結與解離作用降低 (Bleakley, Costello, & Glasgow, 2012)。部分研究指出，身體接受低溫後會導致肌腱勁度 (muscle-tendon stiffness)、組織黏滯性、彈性結締組織 (elastic stiffness tissue) 黏滯性的增加 (Bleakley & Costello, 2013) 以及鈣離子的釋放因為肌肉溫度下降受到限制等因素，造成肌肉勁度 (stiffness) 與張力 (muscle tone) 改變 (Mäkinen et al., 2005; García-Manso, Rodríguez-Matoso, Rodríguez-Ruiz, Sarmiento, de Saa, & Calderón, 2011)。當組織溫度降低時，接續降低神經傳導速度和姿勢/動態平衡 (postural balance) (Hubbard, Aronson, & Denegar, 2004; Tano, Fernandes, Moser, Pires-Oliveira, Gil, & de Oliveira, 2015)。而骨骼肌、肌束與肌肉細胞的結締組織 (包含肌外膜、肌束膜與肌內膜) 對於肌肉力量與瞬發力的展現具有重要的影響，其功能在於確保肌肉產生的力量能夠轉移到肌腱以及骨骼肌，保持肌肉活性的特殊專一性，促使身體能明確控制力量的展現 (Kjaer et al., 2006)，彈性結締組織則與肌肉瞬發力的產生有關，因此，當肌肉中結締組織與彈性結締組織黏滯性增加，將使肌肉伸展收縮循環機制 (SSC) 的動作型態的運動表現受到限制。Oksa, Rintamäki, Mäkinen, Martikkala, and Rusko (1996) 比較身體接受不同溫度 (27 vs. 10 °C) 後，探討不同 DJ 落下高度 (10、20、30、40、50、60 cm) 時，下肢肌肉 (腓腸肌) 肌電表現研究發現，體表與肌

肉溫度 (皮下 3cm) 下降 4 - 5.6 °C，同時指出當肌肉溫度下降造成運動單元招募的效能降低，進而降低力量的表現。當肌肉組內組織的溫度下降時，神經放電 (neural discharge) 與敏感性受到阻礙 (Mecomber, & Herman, 1971; Bergh et al., 1979; Kowal, 1983)，這種人體本身的保護機制，造成運動終板電位會降低，進而阻礙了神經傳遞訊號的興奮性，從而對肌梭與反射性活動造成了影響 (Mecomber et al., 1971; McMaster, 1982; Cross, Wilson, & Perrin, 1996)。另外，也有研究指出，冷卻時間將降低肌肉纖維間神經傳導的速度、關節間的感受能力降低 (Thieme, Ingersoll, Knight, Ozmun, 1996)，進一步降低動作能力 (Surenkok, Aytar, & Akman, 2008)。

在短時間 (E30) 超低溫應用後，人體接受極低溫的壓力，可能在短期間對組織肌肉溫度層面造成的調節上的壓力，進一步減損了神經肌肉和結構組織連結上的功能，造成無論 RT、CMJ、30m 表現不一致的現象。然而，並非所有研究皆顯示肌肉冷卻後對運動表現不利，Fonda et al. (2013) 以增強式 DJ (60 cm) 誘發肌肉損傷實驗中，超低溫時間長度 (3 min) 與本研究相近，該研究以運動結束後觀察受試者血液生化值及跳躍高度表現，顯示運動後跳躍性表現無論是否實施超低溫並無法呈現統計上的差異，然而該研究與本研究差異在於該實驗是在運動後 1 小時後才實施超低溫，這可能在肌肉冷卻再回溫及疲勞再恢復這兩方面與本研究有所差別。就肌力表現，De Nardi, Pizzigalli, Benis, Caffaro, and Micheletti Cremasco (2017) 以 200 位健康男女為對象，探討 PBC (-130 to -160°C, 150s) 實施後，是否對最大手握力測試產生影響，該研究指出超低溫後立即造成手掌握力顯著提升，這主要是在於超低溫後造成的血管擴張增加了肌肉中血液流動量，促使肌肉功能改善，並建議能運用於訓練或和比賽前實施超低溫。Ferreira-Junior et al. (2014)a 以 PBC 應用在離心性高強度間歇運動之中，研究指出在高強度離心運動後 40 分鐘，相較於常溫組，PBC 能快速促進恢復，但在向心性肌肉收縮則未顯示出明顯

的差別。上述文獻雖然藉離心性高強度運動探討隨後 PBC 應用對離心運動表現，但本研究以跑步結合划船之向心性運動為主的負荷，同樣呈現相似反應。

近期一篇針對 EIMD 的負荷 (5x20 drop jump, rep 2min, box 60cm) 探討 PBC (- 60 °C , 30 s+ - 135°C, 2 min) 與 CWI (10 °C, 10 min) 對運動後生理及恢復指標結果顯示，EIMD 後立即之垂直跳表現 PBC 組優於 CWI (PBC: 46.5 vs. CWI: 40.6 cm)，且持續到 EIMD 後 60 分鐘，但兩種恢復並無組間差異，最大自主收縮 (MVC) 表現同樣持續衰退到 EIMD 後 60 分鐘，不過 24 小時之後，PBC 的 MVC 表現優於 CWI，作者指出在跳躍誘發肌肉損傷的負荷之後，在一小時之內 PBC 較 CWI 能更快恢復垂直跳表現，而 MVC 同樣比 CWI 更快速恢復並且在冷卻後 10 分鐘相比較下，有較高的肌肉氧氣飽和度 (Hohenauer et al., 2017)^b。同期一篇以 EIMD (5x15 RM, 單腳股四頭肌離心收縮) 比較 CWI (10 °C, 10 min) 與 WBC (- 110 °C, 3 min) 之 CMJ 和疼痛分數則顯示完全相反的結果，該論點在於浸泡在水中除了水溫較低以外，冷卻浸泡較長的時間使得身體也接受含著靜水壓如同壓縮衣一樣產生的壓縮效應，也是促進恢復的原因 (Abaïdia et al., 2017)，因此就上述文獻，在肌肉氧氣飽和度與肌肉在壓縮效應上對於兩種恢復模式仍有待進一步研究證實。

就本研究實驗操作而言，在恢復處理階段，其實受試者在移動至 PBC 裝置的裝置中，由於身體的移動很可能也造成皮膚微循環、肌肉氧飽和度的變化，這也可能部分影響研究結果 (Hohenauer et al., 2017)^b。Hohenauer et al. (2017)^b 研究雖並未與常溫組比較，但恢復的時間趨勢與本研究相似，而本研究為超低溫組 CMJ 高度多數優於常溫組，再者，本研究藉高強度間歇運動作為運動負荷 (跑步 + 划船)，該研究單純為跳躍運動，雖然隨後同樣接受不同的低溫模式，但也可能因實驗設計的內容造成結果的差別；本研究增加短距離 30 公尺速度的測驗，並延續到運動後第 90 分鐘，部分能支持高強度運動後超低溫的應用，相較於常溫恢復

並不會造成負面運動表現的論點。但這些超低溫應用後正面的生理效應可能因身體包含肌肉組織溫度的下降而掩蓋了這些效果 (Ferreira-Junior et al., 2014)a。

若冷卻部位再縮小至小面積的肌肉可能產生不同的研究結果，Hopkins et al. (2002) 透過碎冰袋放置踝關節 30 與 60 分鐘後觀察下肢比目魚肌神經肌肉反應發現，無論 30 或 60 分鐘都能促進運動神經元池 (motoneuron pool) 活化，不過該研究是針對踝關節扭傷後積極性復健方面。Klimek et al. (2011) 研究指出，超低溫後提高肌肉血流量，加速氧氣與營養物質進入到肌肉中，並提高代謝物質的移除速率。García-Manso et al. (2011) 以 4x4 次 CWI (4 °C, 4 min/time) 研究顯示冷卻後握力顯著上升且高於常溫組。Vieira, Oliveira, Costa, Herrera, and Salvini (2013) 以冰袋冷卻後發現能提高等長收縮力矩。上述文獻多是上肢在冷卻後力量表現提升，可能部分在於肌肉量的多寡影響了恢復所需時間，以及接續的運動表現。Schmid, Moffat, and Gutierrez (2010) 透過碎冰 (20 min) 置於膝關節發現，冷卻後 20 分鐘促使該下肢肌肉組織的肌電活性下降，並特別指出在於活化前期的制動階段 (braking)、離心期、和向心收縮 (push-off) 階段在這段時間可能不利於動作表現。兩者出現不同結果可能與冷卻面積差異有關。就 Schmid et al. (2010) 的文獻部分能解釋本研究不同恢復模式階段，在短時間內，低溫組 E30 階段，相似動作模式的神經肌肉動作表現甚至不如常溫恢復組的原因。部分研究除了探討運動表現外，轉而討論冷卻後恢復狀態，Thornley, Maxwell, and Cheung (2003) 以大腿局部組織冷卻 (-17 °C, 20 min) 探討等速膝關節力矩峰值 (peak torque) 變化指出，當皮膚溫度下降 12.5 - 13.5 °C 並不會改變力矩峰值，但可縮短疲勞的時間，這可能在於冷卻導致肌肉中收縮耦聯作用減少，造成肌肉動作刺激頻率減少，從而降低了能量的消耗，該研究並指出肌肉活性的增加與皮膚溫度的下降呈現非線性的變化可能是由於運動單元招募的順序有關。但超低溫應用對於神經肌肉表現研究極少，故本文多以低溫冷卻研究進行探討發現，上述非超低溫的冷卻應用時間多超過 5 分鐘以上，冷卻時間較長，對於皮膚與肌肉冷刺激可能需要更長時

間反應，再者，屏除 Kositsky (2017) 以 EIMD 模式觀察以外，Pettersson et al. (2008) 與 Greicar et al. (1996) 觀察時間點介於 22 - 45 分鐘。對照本研究神經肌肉表現測驗在 E30 各組的確在 RT、CMJ、30m 呈現無差異且不一致的現象，可能部分在於超低溫應用後推測能降低肌肉溫度，其之後延續效應仍存在，並對於高強度運動後恢復期的第 30 分鐘的神經肌肉調節尚未達到穩定。由於本研究所施行的神經肌肉表現測驗的數值相當微小，因此可能在數據分析上也較不易達到統計性差異。從神經肌肉表現數據縱使發現部分正面趨勢，但也可能需要較大量的受試者樣本數才能更加確定是否具有正面效益。

雖然 Bergh et al. (1979) 與 Algafly et al. (2007) 研究皆指出，當肌肉溫度降低，造成 MVC、神經傳導速度及痛覺下降。然而，Racinais et al. (2010) 也指出，當肌肉溫度增加 1 度時，能提高短時間的運動表現 2 - 5%，然而若身體中心溫度 (central temperature) 過高時則會限制運動表現。部分關於肌肉溫度在超低溫後下降的趨勢顯示，超低溫後溫度可能持續下降至 20 分鐘至數小時不等，這可能在神經傳導速度上因體溫下降而受限，進一步造成運動表現的上與常溫組無差異的原因之一。因此，這有可能顯現於本研究之控制組、2x60、2x90、2x150 秒組的差異上，並未在各時間點呈現出組間上的差別。因此，肌肉溫度似乎必須處一個最佳表現區間，才可能促進肌肉有較佳的運動表現。包含 CWI、WBC、PBC 等冷卻方式促進恢復研究顯示，雖然都以降低肌肉與組織溫度為目的，不過對於生理反應仍存在部分差別。除了超低溫應用的時間長度、溫度變項，單就 WBC 與 PBC 在生理反應顯示，WBC 冷卻部位包含頭部與手掌，這些部位的腎上腺素纖維密度的差異，隨著冷卻部位在交感腎上腺素纖維 (sympathetic adrenergic fibers) 活性上也有著不同的生理反應 (Fonda, De Nardi, & Sarabon, 2014)。Domingues (2013) 回顧文獻也指出，超低溫應用後短期回溫階段 (數分鐘) 對於生理具有正面效應，但除此之外，在實施超低溫時，冷卻的部位也對受試者產生的效益具有很重要的影響。上述將接續影響身體部位對冷感受度的差異，而影響血管是否

收縮或維持上的溫度調節機制的調整 (Johnson, Yen, Zhao, & Kosiba, 2005)，另外，對照於 CWI 與 PBC，透過雷射散斑顯像 (Laser speckle contrast imaging) 對皮膚血流與微循環 (microcirculation) 顯示，短時間極低溫的液態氮蒸散可能會是神經元驅動控制皮膚血液流動 (neuronal-driven control mechanisms of skin blood flow) 的誘發者 (Johnson et al., 2005; Hohenauer et al., 2017^a)。

本研究中 2x60 與 2x90s 組的運動表現兩者除了速度表現呈現差異外，RT 與 CMJ 則未呈現較明顯差別，可能原因在於冷卻時間差異較小所致，兩組冷卻時間差異 30 秒，相對於 2x150s 顯現出較大幅度的冷卻時間，相對於 2x90s 組也至少增長 1 分鐘的冷卻長度，可能對生理造成較大的刺激而影響接續的表現。在本研究 PBC 組 (2x60, 90, 150s) 速度表現上也較控制組好，可以部份解釋於 PBC 後並不會降低肌肉氧氣飽和度，因此提供作用肌群有較佳表現。上述顯示，即使是冷卻模式，時間、位置、溫度之變項，對於神經控制、血液動力學、溫度調節有著不同的調節機制。就恢復應用後的核心與體表溫度狀態 (圖 4-3-1、4-3-2、表 4-3-1、4-3-2) 顯示在 E10 受試者體溫隨冷卻時間越長而呈現越低的現象，這可能意味需要更長的回溫時間，就運動表現在 E30 卻是 2x150s 組最佳 ($p > .05$)，這與前述文獻有所抵觸，但該文獻以 5 °C 實施相對較長的時間，應用時間差異在於數分鐘 (< 5min) 和數十分鐘(10-30 min) 的差別，可能比較氣態冷卻對體溫有較長的延續反應，相反的，對於高強度後應用超低溫對神經肌肉表現的干擾則可能較快回復。由於本研究為首篇針對超低溫對反應時間的研究，因此仍需後續相關研究來解答。

第二節 超低溫應用對於能量代謝與體循環壓力的影響

高強度間歇運動後結合不同恢復模式比較顯示，受試者在控制組、2x60、2x90 與 2x150s 組恢復期各時間點並未呈現組間顯著差異 ($p > .05$)。高強度運動後，如前小節敘述，4x 的 $La > 9 \text{ mmol/l}$ 、 $NH_3 > 110 \text{ } \mu\text{mmol/l}$ 、 $HR > 174 \text{ bpm}$ ，受試者皆顯著高於運動前各指標水準 ($p < .05$)；E3 階段 (恢復應用前) 各組 La 持續上升 1 - 2 mmol/l ，隨後持續顯著下降至 E15 (如圖 4-1-1，表 4-1-1)，且恢復期各組在時間點 E15 乳酸值顯著低於 E3、E6，常溫組 E15 乳酸值則顯著低於 E3、E6、E10，且平均值低於各組 (E15: 8.46 mmol/l)，但各恢復模式在 E15 並無顯著差異 ($p > .05$)。血氨濃度在運動後採樣時間點為 4x 和 E30，各組內同樣呈現顯著下降趨勢，下降幅度介於 28 - 50 $\mu\text{mol/l}$ 之間 ($p < .05$)，如圖 4-1-2，表 4-1-2 所示。心跳率方面，運動結束後 4x 與 E3 之心跳值在各組呈現顯著下降趨勢，降幅介於 48 - 55 bpm ($p < .05$)，並持續下降至 E10，各組內心跳在恢復期 E15 均顯著低於 4x 和 E3 ($p < .05$)，如表 4-1-3。超低溫應用時間點依序介於 E3 至 E6 之間，以及 E7 至 E10 之間，在各指標在組間恢復因子和組內時間因子上，僅發現時間因子具統計性差異，常溫和超低溫之恢復應用對於能量代謝指標——乳酸、血氨，以及體循環壓力指標——心跳並無差別。

一、超低溫對於乳酸與血氨代謝

各組高強度運動後乳酸最高值呈現在 E3 和 E6，隨後隨恢復時間顯著下降，各種恢復模式對於乳酸值濃度高低無顯著的組間差異，然而就下降幅度而言，2x150s 組呈現較快的乳酸下降趨勢，最高值 10.91 mmol/l (E6) 相較其他組別最高值延後一個採樣時間點，不過在 E15 時，乳酸已迅速下降至 8.76 mmol/l ，乳酸下降幅度為每分鐘 24%，接續為 2x90s (22%)、控制組 (20%) 以及 2x60s (17%)，結果顯示 2x150s 組在乳酸移除速度略高於其他各組，但並未達到統計顯著。

雖然過去研究指出，當人體在運動負荷下，經低溫冷卻處理會造成體內酵素活性 (enzyme activity) 及新陳代謝速度減緩、血管收縮使得周遭血流速度下降，從而削弱了免疫反應以及限制了蛋白質降解的速度 (Bouzigon, Grappe, Ravier, & Dugue, 2016)。而這種代謝速度減緩，被認為能夠降低乳酸的產生速度，可能是由於當肌肉與血管在低溫狀態下，血管收縮導致血流速度受到限制造成，接續限制的無氧酵解模式的運動表現 (Crowe et al., 2007)。

在熱環境中進行運動且疲勞產生時，被認為碳水化合物利用效率與常溫狀態有所不同，研究指出，在冷環境進行運動將使的糖質新生利用率降低，這可能是在於冷卻後造成運動初期腎上腺素分泌減弱，而腎上腺素會影響在非最大運動強度下肝糖的使用效率 (Febbraio, Snow, Stathis, Hargreaves, & Carey, 1996; Parkin, Carey, Zhao, & Febbraio, 1985)。當肌肉因疲勞而降低肝糖儲存量和利用，IMP 與 NH_3 也會因此增加來作為能量來源 (Sahlin, Katz, & Broberg, 1990; Spencer, Yan, & Katz, 1991)。比較低溫和常溫狀態下進行高強度運動發現， NH_3 的濃度高於常溫可能是由於 AMP deaminase (脫胺酶) 和胺基酸分解代謝有關 (Wagenmakers, Coakley, & Edwards, 1990; MacLean, Spriet, Hultman, & Graham, 1991)。雖然低溫可能導致 NH_3 的增加，這可能代表著疲勞的產生與肝糖儲存的減少，但也表示能量供給來源也增加進而延長了運動的時間 (Parkin et al., 1985)。因此，長時間或高強度運動使得體溫升高，可能造成長時間運動能力下降，運動員或教練通常會藉由降低自身體溫、運動環境的溫度 (Febbraio et al., 1996) 或避免脫水 (Katz et al., 1986) 等方式，來避免肌肉因體溫上升所造成的肌肉肝糖利用效率降低 (Parkin et al., 1985; Jacobs, Martineau, & Vallerand, 1994)。

一篇以兩組腳踏車運動負荷 (2x35 min, 125-200 w) 比較 CWI (15°C, 15 min) 與動態恢復研究 (peak power output, PPO 40%) 顯示低溫應用與動態恢復同樣能降低乳酸濃度，顯示兩種恢復呈現相似的乳酸移除率 (Chan, Yim, Bercades, Cheng, Ngo, & Lo, 2016)。Russell et al. (2017) 以英超足球選手為對象在兩次的 15x30 m

衝刺之間，比較單次 WBC (30s/-60°C + 2min/-135°C) 和常溫是否對接下來生理數值有差異指出，在第二階段運動負荷結束後 2 小時，WBC 呈現較高的睪固酮濃度，不過在 La、CK、最大功率輸出及疼痛指標上則無顯著差異。Stacey, Gibala, Martin Ginis, and Timmons (2010) 以 CWI (10 °C, 10 min) 應用於三次腳踏車間歇衝刺中，與動態恢復相比同樣並未呈現組間差異，不過該負荷乳酸值介於 3 - 5 mmol/l 之間。Schaal et al. (2013) 指出，單次 3 分鐘的 WBC (-110 °C) 能提高乳酸的清除速度，該研究並發現，超低溫應用後的乳酸清除速度、以及隨後有氧運動輸出呈現相近的反應。就過去已知，動態恢復能促進乳酸及副產物 (byproducts) 的排除，例如氫離子、胺離子等 (Fitts, 1994; Fairchild, Armstrong, Rao, Liu, Lawrence, & Fournier, 2003)，而乳酸排除時間大約 15 - 30 分鐘回到運動前狀態 (Kindermann & Keul, 1977; Zintl, 1994; Ahmaidi, Granier, Taoutaou, Mercier, Dubouchaud, & Prefaut, 1996)。另一篇以女性攀岩做為運動負荷，比較低溫 (15 °C, 3x5 min) 和被動式恢復發現運動後乳酸值對兩種恢復策略無顯著差別，不過該運動時間 6 - 9 分鐘，乳酸值 5 - 7.5mmol/l 之間 (Heyman, DE Geus, Mertens, & Meeusen, 2009)。綜合上述，雖然部分文獻顯示低溫應用後有助於加速乳酸排除，然而前述文獻的運動型態和負荷較強度較本研究設計的強度低，高強度運動使受試者產生較大幅度的乳酸濃度變化可能影響統計結果。

Klimek et al. (2011) 指出，當人體接受短時間 (2 - 5min) 大面積的超低溫應用後，身體冷卻後再回溫階段所產生的血管舒張造成微血管血流量上升的生理機制，有利於提升血液輸氧量和營養物質送至骨骼肌，並提高代謝物移除速率。然而本研究超低溫變項設定於 0、60、90、及 150 秒，可能在冷卻時間上相較前述研究短，此外本研究為 PBC 模式，雖然在體溫呈現顯著改變，然而就能量代謝指標上仍未呈現顯著差別，部分可能因素在於冷卻時間的變項上。

依據過去研究顯示，運動誘發的疲勞會與肌肉肝醣消耗、知覺感受分數提高、肌肉損傷有所關連，並同時伴隨著神經肌肉功能的減退 (Balsom et al., 1999;

Nédélec et al., 2012; Twist & Highton, 2013)。無氧性負荷會造成血氨及乳酸上升 (Lowenstein, 1972; Gleeson et al., 1998)，代表肌肉因運動負荷產生缺氧現象，造成 pH 值降低 (Sahlin et al., 1976)，以及 PFK 活性受到限制，影響鈣離子釋放而使肌肉收縮能力下降 (Stamford et al., 1981; Kirkendall, 1990)。本研究結果發現，兩種高強度間歇負荷後，最後階段的划船負荷顯著誘使 NH_3 上升，並達顯著差異 ($p < .05$)，然而經過不同恢復處理後發現在運動結束後第 30 分鐘，各組 NH_3 均顯著下降，但平均值仍高於運動前；且 2x150s 組平均值略高於各組，不過並未達到組間統計性差異。整體而言，運動前、中 (2x & 4x)、後 (E30) 血氨升降幅度與 La 相近，顯示受試者能量代謝壓力受到高強度負荷的影響而顯著提高，這可能進一步產生疲勞反應 (Beckers et al., 1990; Urhausen et al., 1992)。雖然本研究在恢復各時間點之中，並未發現能量代謝指標乳酸及血氨呈現顯著差異，不過就 Krüger et al. (2015) 研究顯示，長時間耐力運動後接續超低溫應用之後，在施予一次長時間耐力運動能有較低的生理壓力，除了降低熱壓力與心跳以外，也能降低代謝壓力，例如乳酸等，這些壓力的減緩能促使下一階段工作效率提升。Parkin et al. (1985) 也表示，身體溫度降低可能相較常溫產生較高的 NH_3 ，除了表示負荷的提高以外，也表示能量來源供給的調節，可能延緩疲勞的壓力。

二、超低溫應用與心跳的影響

Schaal et al. (2015) 指出高強度運動 (芭蕾舞與游泳) 後利用超低溫能使副交感神經再活化 (parasympathetic reactivation)，而動態恢復也能產生相似的生理反應，並指出超低溫在這兩項運動後能大量提高與迷走神經相關的指標-心律變異度。上述反應也可能產生於安靜休息狀態 (Westerlund et al., 2006)。超低溫應用後，當組織溫度下降，促使交感腎上腺纖維受到激發，造成血管阻力與動脈血壓增加，進而使心臟在前負荷期的負荷因周遭血管收縮所造成的每跳輸出量 (SV) 增加，進而降低心跳 (Bonde-Peterson et al., 1992; Srámek et al., 2000; Wilcock et al., 2006)。Lubkowska and Szyguła (2010) 也指出 WBC 使動脈血壓增高，降低心跳的生理機制部分由於交感性 α 腎上腺素纖維興奮，造成周遭血管收縮 (vasoconstriction)，使隨後的血流再重新分配所致。

就心跳變化而言，受試者在不同恢復模式實施前所有運動負荷皆相同，因此呈現相近的心跳變化，在接受不同恢復模式後 (E6, E10) 心跳也未呈現顯著差異，不過在時間點 E6 顯示常溫組平均值低於超低溫的組別。Lubkowska et al. (2010) 以健康成人為對象比較 WBC (30s/-60°C + 3min/-120°C) 與未實施 WBC 的血壓和心跳變化，結果顯示接受超低溫後收縮壓顯著上升，並伴隨心跳下降 (7 bpm)，但該研究並未實施運動負荷。Krüger et al. (2015) 以 WBC (-110°C, 3min) 比較超低溫應用前後，在運動狀態的心跳差異顯示應用超低溫能使運動中心跳減低。雖然本研究在結束各種恢復模式後心跳仍持續下降，但各恢復模式並無組間性差異。部分可能因素為，冷卻部位及次數造成。LeBlanc, Dulac, Côté, and Girard (1975) 發現臉部是否冷卻，以及冷卻的次數會影響交感交感神經系統與迷走神經的活性。就下降幅度而言，Louis et al. (2015) 比較 WBC 與 PBC 實施後心跳下降比例，結果顯示 WBC 下降幅度 (-12.3 %) 高於 PBC (-8.6 %)，這主要由於自主神經系統調節及更低溫的刺激誘發更高的正腎上腺素釋放所造成的現象，不過該研究也未實施運動負荷。

以 E6 時間點而言，接受超低溫各組的心跳值微幅高於控制組可能原因在於高強度運動結束後 6 分鐘身體在體循環調節速度上仍不足以快速恢復。再者，人體在高強度負荷後接受極度低溫度的刺激，體溫快速下降的過程伴隨血管收縮，以及身體姿勢的改變，都可能造成心跳微幅高於控制組的現象。反之，常溫組在完成時運動負荷後，即以靜態伸展實施恢復動作後即以坐姿休息。因此可能在此時間點 (E6) 呈現較低的心跳值。在 E10 時間點，各組亦未呈現顯著差異，並且就 E6 及 E10 組內比較上也無顯著差異存在，各組僅在 4x、E3 對照 E6、E10 呈現隨恢復時間增長而心跳下降的現象。

綜上，高強度運動後實施 2x60、90、150 秒的超低溫應用和常溫恢復模式上，對於體循環壓力調節並無顯著差異，這可能受冷卻部位、次數與恢復處理後受試者動作及姿勢狀態有關。就生理壓力指標乳酸、血氨及心跳顯示，恢復期並未呈現統計性差異，但從神經肌肉表現來看，似乎超低溫組在速度表現較佳，部分能推測高強度運動應用超低溫後對於代謝壓力與體循環指標可能具有減緩的效果但與常溫組仍無明顯差別。

第三節 超低溫應用對於體溫調節、熱覺感受 及知覺感受分數的影響

一、超低溫應用對體溫調節的影響

本研究之溫度偵測以受試者的頭、胸、腹部定義為核心溫度 (Tc)，且以身體正面左右側上肢之股二頭肌、手掌心、下肢的股直肌、脛前肌四部位設定為體表溫度 (Ts) 進行探討。

透過熱像分析偵測顯示，受試者體溫自安靜開始，至運動過程中，各部位體表及核心溫度呈現下降的趨勢，這主要為運動時作用肌產生的熱能為了維持

平衡，部分透過汗腺排出的汗液蒸發，在每一次拍攝前雖然會執行擦汗的動作，但在拍攝同時受試者仍可能因為持續出汗的緣故而使得熱像分析系統感應出的溫度呈現較低的緣故。Gordon et al. (1976) 及 Nielsen et al. (1997) 即指出，身體運動使身體溫度上升，此時為了維持體溫穩定，皮下血管擴張來增加血流量，並透過汗腺蒸散作用來降低體熱。運動導致皮下血流量增加，同時伴隨發汗率 (sweat rate) 增高，這同時代表核心體溫上升 (Kenny, Periard, Journeay, Sigal, & Reardon, 2003)。以熱像分析可能因受試者在運動後發汗率增高的狀態下施測而受到部分影響。實驗過程中，雖可明確觀察發現冷卻組在接受冷卻後，發汗的現象明顯減緩，但並未測量受試者體重、體液、汗液流失量，故尚無法確定不同的冷卻時間與體溫、發汗率之間的相互關係為何。

綜觀四組中，僅常溫組的部分可以發現在運動結束後 (4x) 至恢復期 (E10) 的體表、核心溫度呈現回升的狀態 (表 4-3-1, 4-3-2; 圖 4-3-1, 4-3-2)。經不同恢復處理發現，冷卻時間的長短影響體表與核心溫度的高低，實驗過程中也發現受試者接受超低溫應用後發汗現象明顯減緩，而常溫、2x60s、2x90s、2x150s 組在體表與核心溫度呈現顯著的組間差別。此結果與一篇針對比較 4 分鐘的冷水浸泡 (8 °C) 與全身冷卻 (WBC) 的下降趨勢相近，該研究並指出當肌肉、皮膚、直腸經過冷卻處理後該部位溫度會下降持續至冷卻後 1 小時之後，不過皮膚溫度回溫較肌肉與直腸部位迅速 (Costello, Culligan, Selfe, & Donnelly, 2012)。Westerlund et al. (2003) 指出，人體短時間受到極度冷刺激時，體表各部位會立即呈現大幅下降，而核心溫度則維持相對穩定溫度，但當人體離開冷刺激後，核心體溫呈現持續下降 (afterdrop)。另外 Krüger et al. (2015) 以 WBC (- 110°C, 3 min) 觀察至 E15 與本研究核心和體表溫度下降趨勢相近。上述研究之趨勢與本研究超低溫恢復組現象相近，顯示冷刺激後，體內對流與傳導仍會相互作用來移除冷卻壓力 (Costello et al., 2012; Selfe et al., 2014)，身體接受超低溫處理後，體表與核心溫度呈現持續下降趨勢持續至 E10。

然而，超低溫應用對於皮膚下不同深度的溫度調節呈現不同的反應現象 Enwemeka, Allen, Avila, Bina, Konrade, and Munns (2002) 以 16 名健康男女為對象透過冰袋 (-15 °C, 20 min) 敷於股四頭肌發現，皮下 1 公分以上含體表溫度的變化隨著接觸的溫度環境產生立即的變化，但皮下深度超過 2 公分時，在冷卻後體表溫度呈現回溫時，較深的組織仍持續下降。這顯示體表溫度調節主要來自於溫度梯度的差異進行調節，而皮下組織 (> 2 cm) 的調節除了溫度梯度外，也包含血液動力學 (hemodynamics interchange) 在淺層及深層組織之間的調節機制。Westerlund et al. (2004) 以超低溫 (-110 °C) 也確立了冷卻時間 2 分鐘不至於對直腸溫度產生影響。就本研究而言，核心與體表溫度在經過不同恢復處理後，隨著不同冷卻時間的長度呈現顯著的溫度變化，下降趨勢與許多研究相近 (Westerlund et al., 2003; Bouzigon, Grappe, Ravier, & Dugue, 2017)。

Selfe et al. (2014) 分別以口服溫度偵測器 (核心溫度) 與腹部體表溫度方式透過 WBC 實施 1、2、3 分鐘研究顯示，冷卻時間對於體表溫度呈現顯著差異，與本研究趨勢相符合。本研究以分別透過 PBC 以 0、60、90、150s 的間隔同樣呈現組間溫度的差別 ($p < .05$)，不過本研究核心與體表溫度定義與 Selfe et al. (2014) 略有不同，該研究是指透過口服偵測體內的核心理溫度，本研究以軀幹核心 (頭、胸、腹) 為主定義為核心理溫度。Fonda, Nardi, and Sarabon (2014) 以 PBC (-130 to -170 °C) 比較單次 90、120、150、180s 冷卻時間對於各身體部位、血壓、心跳等影響發現，不同的冷卻時間在心跳及血壓上並未呈現顯著差異，不過體溫差異則同樣受到冷卻時間影響。該研究呈現之結果與本研究相近，隨著冷卻時間增長，體表與核心理溫度越低，且 E10 時也呈現顯著較低的溫度 ($p < .05$)。本研究定義之核心理溫度部位在頭、胸、腹三部位，經過超低溫設施以 PBC 實施冷卻時，肩部以上 (包含頭部) 是屬於液態氮無法接觸的部位，可能造成三部位在統計時，因頭部溫度變化幅度不明顯造成在這四種實驗處理造成些微的差異，因此造成 60 與 90 秒組在 E6、E10；90 與 150 秒組在 E6、E10 並未造成顯著的組間差異的原因

之一。接觸面積的大小也影響體溫傳導上的差別，身體接觸冷卻的面積越大，例如上肢與下肢冷卻比較，下肢冷卻後對體溫調節產生較巨幅的影響 (Young, Sawka, Epstein, Decristofano, & Pandolf, 1987)。本研究之體表溫度在上述這記個時間點因為接觸液態氮的位置皆在肩部以下，因此統計上的差異較為明顯差異 (Con vs. 2x150s) 介於 3-5°C。而冷卻時間對於皮下深度可能隨時間而變低，Long, Cordova, Brucker, Demchak, and Stone (2005) 以碎冰控制低於 10 °C 敷在股四頭肌上，比較不同皮下深度的溫度的研究指出，深層皮下組織溫度需要透過較長的冷卻時間，這種不同皮膚下深度與溫度之間的關係可能反應著身體的保護機制。當組織溫度的下降，據信能降低發炎的產生與具有止痛的效果，這是由於組織溫度下降影響本體敏感度 (proprioceptive acuity) 的改變 (Costello & Donnelly, 2010)。

Hohenauer et al. (2017)b 以 PBC (-60°C/ 30s + -135°C/2min) 在運動後實施顯示，PBC 後體表溫度下降至 24.6 °C，10 分鐘後回溫至 32.0°C。本研究冷卻後介於 30.6 - 32.0 °C，10 分鐘後介於 29.5 - 31.5°C，相較於前述文獻，本研究溫度呈現較高的現象，差異在於體表溫度偵測部位的差別，本研究體表偵測以正面包含上肢與下肢左右側共 8 部位，而 Hohenauer et al. (2017)b 則以頸部、背、脛等 4 部位偵測，此外並顯示冷卻後 10 分鐘呈現回溫，而本研究則持續下降，可能原因在於偵測部位的不同，造成皮下脂肪比例差異而產生的結果，不過上述與本研究皆可確定，接受 PBC 會造成體表溫度大幅度下降。就實驗機器方面，Savic et al. (2013) 指出，上肢與下肢對於溫度的變化可能與 PBC 裝置在液態氮釋出位置有關，並且相較於暖空氣，冷卻氣體的密度較高，在低溫艙室中釋出的液態氮對於下肢的刺激可能甚於上肢。因此除了身體偵測部位的差異外，裝置對於體溫變化亦為影響的變數之一。

綜合上述，本研究結果顯示，接受不同恢復模式時，核心與體表溫度隨冷卻時間增長而顯著降低，體表溫度下降幅度較核心溫度大，且核心與體表溫度在超低溫組 (2x60、2x90、2x150s) 在冷卻後恢復期 (E10) 仍持續下降，核心及體表

體溫的變化，可能受致於冷卻溫度的高低、冷卻時間的長短、接觸體表面低的大小之變項，以及偵測身體部位及施作機器釋出液態氮的位置有所影響。

二、超低溫應用對知覺感受分數的影響

運動探討知覺感受的疲勞狀態採心理/精神疲勞 (mental fatigue) 一詞取代，該詞包含認知表現、個體感受倦怠、缺乏能量等 (Boksem & Tops, 2008)。就耐力性運動表現而言，心理疲勞造成耐力運動表現下降已獲得廣泛的支持 (Marcora, Staiano, & Manning, 2009; Smith, Marcora, & Coutts, 2015)，而超低溫研究也常藉由此量表來探知受試者反應 (Pointon, Duffield, Cannon, & Marino, 2011; Krüger et al., 2015; Hohenauer et al., 2017a)。

本研究結果顯示，知覺量表分數在高強度間歇運動後經不同恢復處理發現無組間性差異 ($p > .05$)，不過各恢復模式組內的時間變項則呈現顯著差異 ($p < .05$)。常溫組、2x60、2x90、2x150s 組經高強度運動負荷後第 3 分鐘 (E3) RPE 呈現顯著下降 ($p < .05$)，其中與運動前對照，2x150s 組在運動後第 30 分鐘 (E30) 的 RPE 降到與運動前無顯著差異的狀態 (圖 4-1-3；表 4-1-4)；但其餘各組則到 E60 之後才恢復到與運動前水準相近的數值。

自安靜值開始，受試者接受運動負荷後，隨著負荷強度的提升，心跳、乳酸、血氨值反應和 RPE 呈現相同上升趨勢，且研究並指出乳酸與 RPE 之具正相關性 (Berg, 1982)。本研究顯示結果也與上述理論符合，並各組當運動負荷結束後也隨之下降。這現象也反應出受試者對於體循環及能量代謝上的壓力反應 (Lowenstein, 1972; Borg, 1982; Borg et al., 1985)。此外，低溫應用於較高負荷運動的生理效應除了知覺感受外，其影響的時間可能也會持續到數十小時之久。一篇以誘發肌肉損傷的比較低溫與常溫恢復應用的研究指出，經低溫恢復者其 RPE 分

數較低，並且能持續到運動後 24 小時之久 (Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, & Clijnen, 2015)。

上述文獻呈現相似的正面趨勢，這可能意味著超低溫的冷卻時間長短對於生理與知覺感受刺激存在時間因子的變項。常溫組在心跳 E10 呈現顯著下降的反應 (表 4-1-2)，不過在常溫之心跳值也呈現顯著下降，除了因在受試者在恢復狀態較少的身體動作也是可能因素之一。

Kwon, Robergs, Kravitz, Gurney, and Mermier (2010) 以低溫、常溫與熱應用於握推運動時顯示，RPE 與核心溫度呈現同步趨勢，核心溫度降低時，RPE 同步下降並呈現較重的握推重量，並呈現較低的心跳率。雖然在本研究恢復期 E3-E10 心跳率各組並未呈現顯著差異，並且在完成恢復應用後同步觀察體溫至第 10 分鐘之 RPE 也未呈現顯著的組間差異，然而以 2x150s 該組而言，RPE 相較其他組提早至 E30 恢復至與運動前無差異的情況，並反應在隨後的 30m 的衝刺表現上。Kwon et al. (2010) 也指出較低的核心溫度可能產生較舒適的感受，進而促使身體能接受較多次數的負荷表現 (Bench press)。Smith et al. (2015) 也發現，當個體產生精神性疲勞時，也會影響耐力的運動表現。Fonda et al. (2014) 並指出，當冷卻時間越長時，對身體造成的不適感也會隨之增加，而知覺感受度而言，2 分鐘的潛在效益優於 1 分鐘。而 Westerlund et al. (2003) 同樣以超低溫 (2 min/ - 110 °C) 實施，指出體表溫度下降速度迅速，但直腸溫度並未呈現大幅變化。這主要的差別在於實施超低溫的時間可能影響體表與直腸溫度在接觸超低溫後所需的反饋時間上的差異所致，本研究超低溫應用至多至 150 秒 (2min 30s)，可能對於體內溫度變化產生的差異不至於造成大幅的變動。

再者，當體溫過高 (> 39 °C) 造成運動水準下降 (González-Alonso, Teller, Andersen, Jensen, Hyldig, & Nielsen, 1999)，因此透過調降體溫、或改變運動環境等措施來延緩疲勞與促進運動表現 (González-Alonso, Crandall, & Johnson, 2008)。

從本研究應用四種恢復模式顯示，無論是體表或核心溫度，在恢復期 E6、E10 均呈現顯著的組間差異（圖 4-3-1、圖 4-3-2），當體表與核心溫度同時下降時，表示周遭血管收縮及周遭血流量降少的生理反應，這導致中樞血流量以及血壓、心輸出量增加，進而產生心跳減緩 (Costello et al., 2015)。2x150s 組的核心與體表溫度顯著低於各組，心跳下降幅度也相對較多，可能推測 2x150s 組的體循環壓力也較低。Duffield and Marino (2007) 也指出，超低溫能改善運動時的心血管效率和降低的心血管壓力。因此就本研究結果推論，高強度間歇運動後藉由 2x150s 的超低溫應用可能因降低高強度運動所產生的體循環壓力，並且同時在 E30 呈現較理想的 RPE 狀態，進而提供較穩定且較良好的生理及心理狀態，因此產生相較其他各組較佳的運動表現。

三、超低溫應用對熱覺感受分數的影響

熱覺感受分數 (thermal sensation) 指個體對於溫度 (包含自身與環境) 的感受狀態，加以用數值表示，這分數仰賴受試者本身的感官體驗及知覺心理感受出的現象 (Westerlund, 2009)。熱覺感受溫度在超低溫應用下，研究發現其數值與室內的身體舒適感受相當接近 (Smolander et al., 2004)。Gagge et al. (1967) 研究指出，30 - 40 分鐘穩定的運動能使受試者溫度感受由冷轉變到熱，這代表心理與生理意涵，包含體表對於皮膚和環境溫度的感受、當感受到溫熱代表發汗率的提升以及皮下溫度傳遞的調節。因此，如結果所示（圖 4-3-4，表 4-3-4），第一次恢復處理後 (E6)，各超低溫組之熱感溫度分數介於 3 - 4 之間 (即涼爽—稍微涼爽) 之間，常溫組介於 5 - 6 分之間 (即自然—稍微溫熱)，不過第二次冷卻後，2x150s 平均介於 1 - 2 分 (非常冷—冷) 的狀態，2x60 與 2x90s 顯示「冷—涼爽」，常溫組在 E6 與 E10 則無顯著差別。受試者自運動前安靜狀態至高強度運動結束，隨著時間呈現顯著上升 ($p < .05$)，接受不同恢復模式處理後，明

顯發現常溫組恢復期 E6、E10 時間點顯著高於超低溫組 ($p < .05$)，其餘 2x60、2x90 與 2x150s 組恢復期之熱感受分數則無顯著差別，且均在第一次實施超低溫後，熱感受分數降至與安靜值無差異的水準，2x150s 組經第二次超低溫完成後，受試者之感受溫度低於安靜值 ($p < .05$)。

研究結果與 Selfe et al. (2014) 研究相近，該研究以單場橄欖球賽事後分別實施 1、2、3 分鐘 WBC 後發現，冷卻時間與熱覺感受分數具有相關性，作者表示冷時間越長，熱覺感受分數會越低，但該研究指 1 和 2 分鐘的比較，2 與 3 分鐘的冷卻則無明顯差別。本研究高強度間歇運動後以 PBC 模式顯示，控制組分數顯著高於各組，並持續到 E6 及 E10。再者，2x60s 組的熱覺感受分數除了顯著低於控制組外 (E6、E10) 並顯著高於 2x150s 組；就 E6、E10 這兩個時間點，2x60 對 2x90s 組，與 2x90 對 2x150s 組的熱覺感受分數並無顯著差別 ($p > .05$)。顯示接受短時間的超低溫處理 60s 會顯著造成熱感受分數的變化 (Lombardi, Ziemann, & Banfi, 2017)，而超低溫接受時間若間隔 $< 90s$ (例如 2x60 vs. 2x90s 或 2x90 vs. 2x150s)，當冷卻時間在大於 1 分鐘的條件下，這種冷卻間格小於 90 秒的冷卻長度，可能對於造成人體熱覺感受分數的差異感受並不明顯。但隨著冷卻時間的延長，對身體的不適感仍會呈現線性增加，受試者接受超低溫後，當體溫呈現相對穩定時，其身體對溫度感受的不適感仍會持續累積 (Fonda et al., 2014)。

Savic et al. (2013) 藉由 WBC 研究則發現，當冷卻 $> 150s$ 時，雖然體表溫度劇烈下降，但對熱覺感受溫度卻不至於產生明顯的反應，特別是對照於其他 $> 3min$ 的冷卻時間而言。這可能是在於冷卻時間延長造成的適應現象，此外多次重覆也可能產生冷適應 (Smolander et al., 2004)。總體而言，Noakes (2011) 與 Krüger et al. (2015) 指出超低溫對於人體對熱感受產生的效應不只在於心理層面，對於運動表現及疲勞也可能是重要的參考因子，也能推測運動後在超低溫應用下產生組織溫度下降所導致代謝性、體循環及心血管、及血液動力學產生

的變化。Hohenauer et al. (2017)b 以 PBC (30s/-60°C + 2min/-135°C) 指出，接受 PBC 後相較 CWI 能有較舒適的感受，可能因在於冷卻時間的長短所致。本研究由於只針對男性運動員，尚無法推測到女性選手，因男女性的脂肪組織比例及分布區域、肌肉分布的關係，對於熱平衡調節及熱覺感受上會與男性有所差別 (Chudecka, Zaborski, Lubkowska, Grzesiak, Klimek, & Modrzejewski, 2014)。

超低溫應用對於熱覺感受分數相對於常溫恢復組具有顯著差別，可能因素在於超低溫後對於核心及體表溫度為維持人體溫度穩定狀態下，仍持續作用而呈現下降的現象，並且持續數分鐘，其熱覺感受分數隨體溫變化呈現相同下降趨勢，超低溫冷卻時間的延長對於受試者不適感提高，但在超低溫結束後可能也促進其知覺感受分數更迅速回復到較佳水準，進而促進運動表現的改善。

綜合上述，本研究結果顯示高強度間歇運動後結合不同超低溫冷卻長度對於恢復期神經肌肉表現在統計上雖無顯著差異，然而對於運動表現上卻具有實質上的意義，就恢復期各階段顯示受試者隨著恢復時間延長呈現反應時間縮短、跳躍高度提升及 30 公尺速度改善的正面效益，特別針對於力量型及衝刺型運動項目上具有應用性的意義；而本研究也解答了以非 EIMD 模式的高強度間歇運動負荷後，不同超低溫應用對恢復期時序上的運動表現上的影響，據此作為後續相關研究之基石。

第陸章 結論與建議

第一節 結論

本研究結果發現，高強度間歇運動後對於運動員產生相當高的生理、知覺的負荷，並產生體溫及溫度感受上的變化。經由常溫及不同超低溫應用時間之恢復模式後，對於不同恢復期之時序上影響的研究結論如下：

(一)高強度間歇運動後應用超低溫恢復模式不會對神經肌肉表現產生干擾，冷卻時間長度越長 (2x150s) 對於速度、跳躍、反應時間於不同恢復期時序 (E60, E90) 上具有潛在正面效益。

(二)高強度間歇運動後應用超低溫發現 2x150s 組之恢復期乳酸移除速度優於各組，顯現其代謝壓力的正面效應，然而恢復期乳酸濃度、心跳及血氨指標，僅呈現組內時間因子的顯著下降，各恢復模式間在乳酸、血氨及心跳無顯著差異。

(三)超低溫應用後對體表及核心溫度呈現體溫後降趨勢，並持續到恢復期第 10 分鐘 (E10)，體表溫度下降幅度高於核心溫度，且冷卻時間長度對溫度下降幅度具有組間性差異。

(四)高強度間歇後應用不同恢復模式顯示，受試者熱感受分數與體溫變化趨勢一致，較長時間的超低溫冷卻模式 (2x150s) 加速知覺感受恢復，2x60 及 2x90 秒相較於控制組無明顯正面效益。

第二節 建議

一、訓練及比賽上

- (一)高強度負荷後實施超低溫有助於避免因運動後導致的高體溫現象，並有助於加速短時間乳酸排除速度，建議能應用於具有上下半場模式的運動項目(例：手球、籃球、足球等)。
- (二)高強度運動負荷後實施超低溫有助於恢復期衝刺及跳躍性表現的改善，若以徑賽及球類項目單日實施兩場以上之訓練或賽事，建議能於第一場訓練(或預賽)結束後實施超低溫應用，即預賽、複賽、決賽之間使用，有助加速下一階段生理與運動能力的恢復速度，減緩因疲勞導致的訓練品質及運動能力的下降。
- (三)冷卻應用模式包含固態、氣態及液態模式，教練與選手在應用此模式時可考量經濟性、器材可得性與冷卻目的性及訓練內容特殊性等因素，選擇最合適的方式實施。

二、研究上

- (一)運動導致發汗的現象再應用短時間超低溫(本研究設定的 60 - 90s)應用後，雖然發汗現象減緩，但若藉由紅外線顯影方式偵測體溫仍可能因皮膚表現仍存在汗液而造成溫度測定上的誤差，建議其後研究可增加口服體溫偵測計、耳溫度偵測計等方式提高溫度測量之信效度。
- (二)未來超低溫應用於恢復期之研究可針對運動項目或特質(例：短時間衝刺性、阻力性、運動專項特性等) 模式深入探討。
- (三)針對高強度運動結合超低溫負荷之恢復水準，建議能在實施運動負荷之前針對最佳運動表現實施前測，並在恢復期各時間點針對運動表現施測並同時測量體溫，藉此觀察受試者恢復狀態及與體溫的關係。

三、研究限制

- (一)本研究並未在高強度間歇運動前對每位受試者之神經肌肉表現之最佳值實施測試，故僅能推測受試者在高強度間歇負荷後實施不同恢復模式的恢復現象，無法推估其最佳值和接受高強度負荷後的衰退趨勢。
- (二)高強度間歇運動後恢復期之神經肌肉表現測試階段並未偵測受試者體溫，故無法推估其運動表現的改善是否為體溫回升所致。



參考文獻

- Abaïdia, A. E., Lamblin, J., Delecroix, B., Leduc, C., McCall, A., Nédélec, M., Dawson, B., Baquet, G., & Dupont, G. (2017). Recovery From Exercise-Induced Muscle Damage: Cold-Water Immersion Versus Whole-Body Cryotherapy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 402-409.
- Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., & Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power Following repeated intensive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(4), 450-456.
- Algafly, A. A. and George, K. P. (2007). The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 365-369.
- Ament, W. and Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Aniceto, R. R., Ritti-Dias, R. M., Dos Prazeres, T. M., Farah, B. Q., de Lima, F. F., & do Prado, W. L. (2015). Rating of Perceived Exertion During Circuit Weight Training: A Concurrent Validation Study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(12), 3336-3342.
- Asmussen, E. and Bøje, O. (1945). Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 10(1), 1-22. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1945.tb00287.x
- Balsom, P. D., Gaitanos, G. C., Soderlund, K., & Ekblom, B. (1999). High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 165, 337-345.
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Melegati, G. (2010). Whole-body

- cryotherapy in athletes. *Sports Medicine*, 40(6), 509-517.
- Banfi, G., Melegati, G., Barassi, A., d'Eril, GM. (2009). Effects of the whole-body cryotherapy on NTproBNP, hsCRP and troponin I in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 609-610.
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796.
- Beckers, E., Wagenmakers, A. J., & Saris, W. H. (1990). Ammonia accumulation during highly intensive long-lasting cycling: individual observations. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), S78-84.
- Beelen, A. and Sargeant, A. J. (1991). Effect of lowered muscle temperature on the physiological response to exercise in men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(5), 387-392.
- Bell, K. R. and Lehmann, J. F. (1987). Effect of cooling on H- and T-reflexes in normal subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68, 490-493.
- Benzinger, T. H. (1959). On physical heat regulation and the sense of temperature in man. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 45(4), 645-659.
- Bergh, U. and Ekblom, B. (1979). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107(1), 33-37.
- Berg, C. L., Hart, J. M., Palmieri-Smith, R., Cross, K. M., & Ingersoll, C. D. (2007). Cryotherapy does not affect peroneal reaction following sudden inversion. *Journal of Sport Rehabilitation*, 16(4), 285-294.
- Bigland-Ritchie, B., Thomas, C. K., Rice, C. L., Howarth, J. V., & Woods, J. J.

- (1985). Muscle temperature, contractile speed, and motoneuron firing rates during human voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 73(6), 2457-2461.
- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 1015-1124.
- Bleakley, C. M., Costello, J. T., & Glasgow, P. D. (2012). Should athletes return to sport after applying ice? A systematic review of the effect of local cooling on functional performance. *Sports Medicine*, 42(1), 69-87.
- Bleakley, C. M. and Costello, J. T. (2013). Do thermal agents affect range of movement and mechanical properties in soft tissues? A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(1), 149-163.
- Boksem, M. A. and Tops, M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59(1), 125-139.
- Bonde-Petersen, F., Schultz-Pedersen, L., & Dragsted, N. (1992). Peripheral and central blood flow in man during cold, thermoneutral, and hot water immersion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 63(5), 346-350.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 371-381.
- Borg, G., Ljunggren, G., & Ceci, R. (1985). The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology*, 54(4), 343-349.
- Bouzigon, R., Grappe, F., Ravier, G., & Dugue, B. (2016). Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications. *Journal of Thermal Biology*, 61, 67-81.
- Bouzigon, R., Arfaoui, A., Grappe, F., Ravier, G., Jarlot, B., & Dugue, B. (2017). Validation of a new whole-body cryotherapy chamber based on forced convection. *Journal of Thermal Biology*, 65, 138-144.

- Brouns, F., Beckers, E., Wagenmakers, A. J., & Saris, W. H. (1990). Ammonia accumulation during highly intensive long lasting cycling: individual observations. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), S78-84.
- Buchheit, M. and Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, 43, 927-954.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 1985-1990.
- Chan, Y. Y., Yim, Y. M., Bercades, D., Cheng, T. T., Ngo, K. L. & Lo, K. K. (2016). Comparison of different cryotherapy recovery methods in elite junior cyclists. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, 5, 17-23.
- Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.
- Cheung, S. S., Montie, D. L., White, M.D., & Behm, D. (2003). Changes in manual dexterity following short-term hand and forearm immersion in 10 degrees C water. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74(9), 990-993.
- Chiu, L. Z., Fry, A. C., Schilling, B. K., Johnson, E. J., & Weiss, L. W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 385-392.
- Cholewka, A., Stanek, A., Sieroń, A. & Drzazga, Z. (2012). Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Research and Technology*, 18(2), 180-187.

- Chow, G. C. C., Fong, S. S. M., Chung, J. W. Y., & MacFarlane, D. J. (2015). Post-exercise cold water immersion on sports performance recovery: A Review. *Journal of Sports Research*, 2(2), 37-51.
- Chudecka, M., Zaborski, D., Lubkowska, A., Grzesiak, W., Klimek, A. & Modrzejewski, A. (2014). Temperature changes in selected areas of body Surface induced by systemic cryostimulation. *Aviation, space, and environmental medicine*, 85(12), 1170-1176.
- Coffey, V., Leveritt, M., & Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 1-10.
- Cooper, K. E. (1985). Some historical perspectives on thermoregulation. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1717-1724.
- Coso, J. D., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Soriano, L., Garde, S., & Perez-Gonzalez, B. (2012). Muscle damage and its relationship with muscle fatigue during a half-iron triathlon. *PLoS One*, 7(8), e43280.
- Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B., & Bleakley, C. (2015). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 9, CD010789.
- Costello, J. T., Culligan, K., Selfe, J., & Donnelly, A. E. (2012). Muscle, Skin and Core Temperature after -110°C Cold Air and 8°C Water Treatment. *PLoS One*, 7(11): e48190. doi: 10.1371/journal.pone.0048190.
- Costello, J. T. and Donnelly, A. E. (2010). Cryotherapy and joint position sense in healthy participants: a systematic review. *Journal of Athletic Training*, 45(3), 306-316.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1985). Muscle glycogen

- utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165-172.
- Cross, K. M., Wilson, R. W., & Perrin, D. H. (1996). Functional Performance Following an Ice Immersion to the Lower Extremity. *Journal of Athletic Training*, 31(2), 113-116.
- Crowe, M. J., O'Connor, D., & Rudd, D. (2007). Cold water recovery reduces anaerobic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 994-998.
- Debiec-Bak A, Skrzek A, & Podbielska H. (2013). Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111, 1853-1859.
- De Nardi, M., Pizzigalli, L., Benis, R., Caffaro, F., & Micheletti Cremasco, M. (2017). Acute Effects of Partial-Body Cryotherapy on Isometric Strength: Maximum Handgrip Strength Evaluation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3497-3502.
- Denys, E. H. (1991). AAEM Minimonograph 14: the influence of temperature in clinical neurophysiology. *Muscle Nerve*, 14, 795-811.
- Domingues, M. L. P. (2013). Cryotherapy and its Correlates to Functional Performance. A Brief Preview. *Sport Science Review*, 22(3-4), 229-254.
- Drinkwater, E. (2008). Effects of peripheral cooling on characteristics of local muscle. *Medicine and Sport Science*, 53, 74-88.
- Duffield, R., Cannon, J., & King, M. (2010). The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 136-140.
- Duffield, R. and Marino, F. E. (2007). Effects of pre-cooling procedures on intermittent-sprint exercise performance in warm conditions. *European Journal*

- of Applied Physiology*, 100(6), 727-735.
- Dunbar, C. C., Robertson, R. J., Baun, R., Blandin, M. F., Metz, K., Burdett, R., & Goss, F. L. (1992). The validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(1), 94-99.
- Edwards, R. H. (1981). Human muscle function and fatigue. *Ciba Foundation Symposium*, 82, 1-18.
- Enoka, R. (2002). Muscle fatigue: Neuromechanics of human movement. Champaign, Illinois: Human Kinetics (p374–96).
- Enwemeka, C. S., Allen, C., Avila, P., Bina, J., Konrade, J., & Munns, S. (2002). Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1), 45-50.
- Evans, T. A., Ingersoll, C., Knight, K. L., & Worrell, T. (1995). Agility Following the Application of Cold Therapy. *Journal of Athletic Training*, 30(3), 231–234.
- 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.
- Faulkner, J. A., Zerba, E., & Brooks, S. V. (1990). Muscle temperature of mammals: cooling impairs most functional properties. *American Journal of Physiology*, 28, 259-265.
- Febbraio, M. A., Snow, R. J., Stathis, C. G., Hargreaves, M., Carey, M. F. (1996). Blunting the rise in body temperature reduces muscle glycogenolysis during exercise in humans. *Experimental Physiology*, 81(4), 685-693.
- Ferreira Júnior, J. B. (2014). Uma sessão de crioterapia de corpo inteiro (-110 °c) acelera a recuperação do dano muscular. (Doctoral dissertation, Universidade de Brasília, Brasília). Retrieved from <http://repositorio.unb.br/handle/10482/17343>
- Ferreira-Junior, J. B., Bottaro, M., Vieira, C. A., Soares, S. R., Vieira, A., Cleto, V. A.,

- Cadore, E. L., Coelho, D. B., Simoes, H. G., & Brown, L. E. (2014)a. Effects of Partial-body Cryotherapy (-110°C) on Muscle Recovery between High-intensity Exercise Bouts. *International Journal of Sports Medicine*, 35(14), 1155-1160.
- Ferreira-Junior, J. B., Bottaro, M., Vieira, A., Siqueira, A. F., Vieira, C. A., Durigan, J. L., Cadore, E. L., Coelho, L. G., Simões, H. G., & Bembem, M. G.(2015)a. One session of partial-body cryotherapy (-110°C) improves muscle damage recovery. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), e524-30. doi: 10.1111/sms.12353.
- Ferreira-Junior, J. B., Bottaro, M., Loenneke, J. P., Vieira, A., Vieira, C. A., & Bembem, M. G. (2015)b. Could whole-body cryotherapy (below -100°C) improve muscle recovery from muscle damage? *Frontiers in Physiology*, 2(5), 247. doi: 10.3389/fphys.2014.00247.
- Ferreira-Junior, J. B., Vieira, C. A., Soares, S. R., Guedes, R., Rocha Junior, V. A., Simoes, H. G., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2014)b. Effects of a single whole body cryotherapy (-110°C) bout on neuromuscular performance of the elbow flexors during isokinetic exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 35(14), 1179-1183. doi: 10.1055/s-0034-1374602.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49-94.
- Folk, G. E., Riedesel, M. L., & Thrift, D. L. (1998). Principles of Integrative Environmental Physiology. Iowa: Austin and Winfield Publishers.
- Fonda, B. and Sarabon, N. (2013). Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(5), e270-278.
- Fonda, B., De Nardi, M., & Sarabon, N. (2014). Effects of whole- body cryo-therapy

- duration on thermal and cardio-vascular response. *Journal of Thermal Biology*, 42, 52-55.
- Fricke, R. (1989). Ganzkörperkältetherapie in einer Kaltekammer mit Temperaturen- -um -110°C . *Z Phys Med Baln Med Klim*, 18, 1-10.
- 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.
- Gandevia, S. C., Allen, G. M., Butler, J. E., & Taylor, T. L. (1996). Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. *The Journal of Physiology*, 490(2), 529-536.
- García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., & Calderón, J. (2011). Effect of cold-water immersion on skeletal muscle contractile properties in soccer players. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(5), 356-363.
- Garrandes F., Colson S.S., Pensini M., Seynnes O., & Legros P. (2007). Neuromuscular fatigue profile in endurance-trained and power-trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 149-158.
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531.
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A. Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 101(3), 901-911.

- Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *Journal of Applied Physiology*, 590(5), 1077-1084.
- Gibson, H. and Edwards, R. H. T. (1985). Muscular exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 2, 120-132.
- Giemza, C., Czech, P., Paluszak, A., Bieć, E., Borzucka, D., & Kuczyński, M. (2013). Acute effects of cryotherapy on postural control. *Neurosci Lett*, 536, 6-9.
- Giemza, C., Bieć, E., Ostrowska, B., Piechaczek, B., Sitny, G., & Kuczyński, M. (2016). Repeated cryostimulation improves position sense and simple reaction time. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(5), 1552-1555.
- Girard, O. and Millet, G. P. (2009). Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America*, 20(1), 181–194.
- Gleeson, M., Blannin, A. K., Walsh, N. P., Field, C. N., & Pritchard, J. C. (1998). Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77, 292-295.
- González-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(3), 1032-1039.
- González-Alonso, J., Crandall, C. G., & Johnson, J. M. (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of Physiology*, 586(1), 45-53.
- Gordon, R. G., Roemer, R. B., & Horvath, S. M. (1976). A Mathematical Model of the Human Temperature Regulatory System - Transient Cold Exposure Response. *IEEE Trans Biomed Eng*, 23(6), 434-444.
- Greicar, M., Kendrick, Z. & Kimura, I. (1996). Immediate and delayed effects of

- cryotherapy on functional power and agility. *Journal of Athletic Training*, 31(Supplc), S32.
- Gunga, H. C. (2005). Wärmehaushalt und Temperaturregulation, In P. Deetjen, E.J. Speckmann & J. Hescheler. *Physiologie* (4. ed.) (pp 669–698). München, Jena: Urban & Fischer.
- Halar, E. M., DeLisa, J. A., & Brozovich, F. V. (1980). Nerve conduction velocity: relationship of skin subcutaneous and intramuscular temperatures. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 61, 199-203.
- Halder, A., Gao, C., & Miller, M. (2014). Effects of Cooling on Ankle Muscle Strength, Electromyography, and Gait Ground Reaction Forces. *Journal of Sports Medicine*, Article ID 520124. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/520124>
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147.
- Hammond, L. E., Cuttell, S., Nunley, P., & Meyler, J. (2014). Anthropometric Characteristics and Sex Influence Magnitude of Skin Cooling following Exposure to Whole Body Cryotherapy. *BioMed Research International*, 2014, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/628724>
- Hamzat, T. K. and Fatudimu, M. B. (2005). Acute effects of cold and muscle vibration on maximal grip strength and muscle endurance in normal subjects. *African Journal of Medicine and Medical Sciences*, 34(3), 235-238.
- Hauswirth, C., Louis, J., Bieuzen, F., Pournot, H., Fournier, J., Filliard, J. R., & Brisswalter, J. (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One*, 6(12), e27749.
- Hauswirth, C., Schaal, K., Le Meur, Y., Bieuzen, F., Filliard, J. R., Volondat, M., &

- Louis, J. (2013). Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *PLoS One*, 8(8), e72658.
- Hayward, J. S., Eckerson, J. D., & Kemna, D. (1984). Thermal and cardiovascular changes during three methods of resuscitation from mild hypothermia. *Resuscitation*, 11(1-2), 21–33.
- Heyman, E., DE Geus, B., Mertens, I., & Meeusen, R. (2009). Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(6), 1303-1310.
- Higgins, T. R., Heazlewood I. T., & Climstein, M. (2011). A Random Control Trial of Contrast Baths and Ice Baths for Recovery during Competition in U/20 Rugby Union. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 25(4), 1046-1051.
- Hohenauer, E., Cescon, C., Deliens, T., Clarys, P., & Clijsen, R. (2017)a. The effect of local skin cooling before a sustained, submaximal isometric contraction on fatigue and isometric quadriceps femoris performance: A randomized controlled trial. *Journal of Thermal Biology*, 65, 88-94.
- Hohenauer, E., Costello, J. T., Stoop, R., Küng, U. M., Clarys, P., Deliens, T., & Clijsen, R. (2017)b. Cold-water or partial-body cryotherapy? Comparison of physiological responses and recovery following muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. DOI: 10.1111/sms.13014
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J. P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 10(9):e0139028.
- Hopkins, J. T. and Stencil, R. (2002). Ankle cryotherapy facilitates soleus function. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32(12), 622-627.
- Hopper, S. L. and Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring overtraining in athletes.

- Sports Medicine*, 20(5), 321-327.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyröläinen, H. (1996). Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 73(5), 393-403.
- Howatson, G., Gaze, D., van Someren, K. A. (2005). The efficacy of ice massage in the treatment of exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15, 416-422.
- Howell, T. H. (1948). Normal temperatures in old age. *The Lancet*, 1, 517-518.
- Hubbard, T. J., Aronson, S. L., & Denegar, C. R. (2004). Does Cryotherapy hasten return to participation? A systematic review. *Journal of Athletic Training*, 39(1), 88-94.
- Hultman, E., Spriet, L. L., & Söderlund, K. (1986). Biochemistry of muscle fatigue. *Biomedica Biochimica Acta*, 45(1-2), 97-106.
- Hunter, J., Kerr, E. H., & Whillans, M. G. (1952). The relationship between joint stiffness upon exposure to cold and the characteristics of synovial fluid. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 30, 367-377.
- Ishii, H. and Nishida, Y. (2013). Effect of Lactate Accumulation during Exercise-induced Muscle Fatigue on the Sensorimotor Cortex. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(12), 1637-1642.
- Jacobs, I., Martineau, L., & Vallerand, A. L. (1994). Thermoregulatory thermogenesis in humans during cold stress. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22(1), 221-250.
- Joch, W. and Ückert, S. (2004). Effects of Whole-Body Cooling to - 110° Celsius on Heart Rate During Endurance Sports and At Rest. *physikalische medizin rehabilitationsmedizin kurortmedizin*, 14, 146-150.

- Joch, W., Ückert, S., & Fricke, R. (2005). The value of short-term, high dosage cooling for achieving sports performances. In sport auf pap zimmer 2. Whole-body cryotherapy -110°C in sport medicine, sport performance (publications, reports, studies).
- Johnson, J. M., Yen, T. C., Zhao, K., & Kosiba, W. A. (2005). Sympathetic, sensory, and nonneuronal contributions to the cutaneous vasoconstrictor response to local cooling. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 288(4), H1573-1579.
- Johnston, R. D., Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Hulin, B.T. (2015). Influence of physical qualities on post-match fatigue in rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(2), 209-213.
- Johnston, R. D., Gibson, N. V., Twist, C., Gabbett, T. J., MacNay, S. A., & MacFarlane, N. G. (2013). Physiological responses to an intensified period of rugby league competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 643-654.
- Katz, A., Broberg, S., Sahlin, K., & Wahren, J. (1986). Muscle ammonia and amino acid metabolism during exercise in man. *Clinical Physiology*, 6(4), 365-379.
- Kędziora, J. (1998). Free radical processes in physiology and pathology. *Med Sport*, 2, 203-217.
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(Suppl. 2), 95-102.
- Kenttä, G. and Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery: A conceptual model. *Sports Medicine*, 26(1), 1-16.
- Kenny, G. P., Periard, J., Journeay, W. S., Sigal, R. J., & Reardon, F. D. (2003). Effect of exercise intensity on the postexercise sweating threshold. *Journal of*

- Applied Physiology*, 95(6), 2355-2360.
- Kindermann, W. and Keul, J. (1977). Lactate acidosis with different forms of sports activities. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 2, 177-182.
- Kirkendall, D.T. (1990). Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4), 444-449.
- Kjær, M., Magnusson, P., Krogsgaard, M., Møller, J. B., Olesen, J., Heinemeier, K., Hansen, M., Haraldsson, B., Koskinen, S., Esmarck, B., & Langberg, H. (2006). Extracellular matrix adaptation of tendon and skeletal muscle to exercise. *Journal of Anatomy*, 208(4), 445-450.
- 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. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 24(2), 184-191.
- Knicker, A.J., Renshaw, I., Oldham, A.R., & Cairns, S.P. (2011). Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. *Sports Medicine*, 41, 307-328.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33, 1197-1206.
- Kositsky, A. (2017). The effects of cold water immersion on medial gastrocnemius muscle architecture and performance post-exhaustive stretch-shortening cycle exercise. (Master's thesis). Retrieved from <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201708013390>
- Kowal, M. A. (1983). Review of physiological effects of cryotherapy. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 5(2), 66-73.
- Kurz, A. (2008). Physiology of thermoregulation. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 22(4), 627-644.

- Krüger, M., de Mareés, M., Dittmar, K. H., Sperlich, B., Mester, J. (2015). Whole-Body Cryotherapy Enhances Acute Recovery of Running-Performance in Well Trained Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 605-612.
- Kwon, Y. S., Robergs, R. A., Kravitz, L. R., Gurney, B. A., Mermier, C. M., & Schneider, S. M. (2010). Palm cooling delays fatigue during high-intensity bench press exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1557-1565.
- Laursen, P. B. and Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32, 53-73.
- LeBlanc, J., Dulac, S., Côté, J., & Girard, B. (1975). Autonomic nervous system and adaptation to cold in man. *Journal of Applied Physiology*, 39(2), 181-186.
- Lim, C. L., Byrne, C., & Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 37(4), 347-353.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1998). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(1-2), 176-181.
- Lombardi, G., Ziemann, E., Banfi, G. (2017). Whole-Body Cryotherapy in Athletes: From Therapy to Stimulation. An Updated Review of the Literature. *Frontiers in Physiology*, 8, 258. doi: 10.3389/fphys.2017.00258
- Long, B. C., Cordova, M. L., Brucker, J. B., Demchak, T. J., & Stone, M. B. (2005). Exercise and quadriceps muscle cooling time. *Journal of Athletic Training*, 40(4), 260-263.
- Louis, J., Schaal, K., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Filliard, J. R., Volondat, M., Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2015). Head Exposure to Cold during Whole-Body Cryostimulation: Influence on Thermal Response and Autonomic

- Modulation. *PLoS One*, 10(4): e0124776.
- Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues: the purine nucleotide cycle. *Physiology Review*, 52(2), 382-414.
- Lubkowska, A. and Szyguła, Z. (2010). Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23(1), 367-375.
- Ma, S. Y., Je, H. D., Jeong, J. H., Kim, H. Y., & Kim, H. D. (2013). Effects of Whole-Body Cryotherapy in the Management of Adhesive Capsulitis of the Shoulder. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(1), 9-16.
- MacLean, D. A., Spriet, L. L., Hultman, E., & Graham. T. E. (1991). Plasma and muscle amino acid and ammonia responses during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 70(5), 2095-2103.
- MacRae, H. S., Dennis, S. C., Bosch, A. N., & Noakes, T. D. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1649-1656.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Schürch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27(4), 80-88.
- Mäkinen, T. M., Rintamäki, H., Korpelainen, J. T., Kampman, V., Pääkkönen, T., Oksa, J., Palinkas, L. A., Leppäluoto, J., & Hassi, J. (2005). Postural sway during single and repeated cold exposures. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(10), 947-953.
- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., & Theisen, D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of

- human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 771-719.
- Mancinelli, C. A., Davis, D. S., Aboulhosn, L., Brady, M., Eisenhofer, J., & Foutty, S. (2006). The effects of massage on delayed onset muscle soreness and physical performance in female collegiate athletes. *Physical Therapy in Sport*, 7, 5-13.
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857-864.
- Marsh, D. and Sleivert, G. (1999). Effect of precooling on high intensity cycling performance. *British Journal of Sports Medicine*, 33(6), 393-397.
- Matsuo, T., Saotome, K., Seino, S., Shimojo, N., Matsushita, A., Iemitsu, M., Ohshima, H., Tanaka, K., & Mukai, C. (2014). Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on VO₂max and cardiac mass. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(1), 42-50.
- Mattacola, C. G., and Perrin, D. H. (1993). Effects of cold water application on isokinetic strength of the plantar flexors. *Isokinetics and Exercise Science*, 3(3), 152-159.
- McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G., & Rattray, B. (2015). Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Medicine*, 45(11), 1523-1546.
- McLellan, T. M., Pasiakos, S. M., & Lieberman, H. R. (2014). Effects of protein in combination with carbohydrate supplements on acute or repeat endurance exercise performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 44(4), 535-550.
- McMaster, W. C. (1982). Cryotherapy. *The Physician and Sportsmedicine*, 10, 112-119.
- Mecomber, S.A., and Herman, R. M. (1971). Effects of local hypothermia on reflex and voluntary activity. *Physical Therapy*, 51(3), 271-281.

- Metzger, D., Zwingmann, C., Protz, W., & Jäckel, W. H. (2000). Die Bedeutung der Ganzkörperkältetherapie im Rahmen der Rehabilitation bei Patienten mit rheumatischen Erkrankungen. *Rehabilitation*, 39, 93-100.
- Mila-Kierzenkowska, C., Jurecka, A., Wozniak, A., Szpinda, M., Augustynska, B., & Wozniak B. (2013). The effect of submaximal exercise preceded by single whole-body cryotherapy on the markers of oxidative stress and inflammation in blood of volleyball players. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013, 409567. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/409567>
- Miller, E. and Niwald, M. (2014). Novel Physiotherapy Approach for Multiple Sclerosis. *Journal of Novel Physiotherapies*, 4(4), 228. doi: 10.4172/2165-7025.1000228
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., Hopkins, W. G., Dorman, J. C., Cook, K., & Minahan, C. L. (2008). The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1135-1145.
- Moran, D. S. and Mendal, L. (2002). Core temperature measurement: methods and current insights. *Sports Medicine*, 32, 879-885.
- Murray, A. and Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta analysis. *Extreme Physiology & Medicine* 4(17). doi: 10.1186/s13728-015-0035-8
- Mueller, S. M., Knechtle, P., Knechtle, B., & Toigo, M. (2015). An Ironman triathlon reduces neuromuscular performance due to impaired force transmission and reduced leg stiffness. *European journal of applied physiology*, 115(4), 795-802.
- Neal, C. M., Hunter, A. M., Brennan, L., O'Sullivan, A., Hamilton, D. L., De Vito,

- G., & Galloway, S. D. (2013). Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 114(4), 461-471.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer: Part I—Post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Medicine*, 42(12), 997-1015.
- Nielsen, B., Strange, S., Christensen, N. J., Warberg, J., & Saltin, B. (1997). Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. *Pflügers Archiv*, 434(1), 49-56.
- Noakes, T. D. (2011). Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36(1), 23-35.
- Noble, B. J., Borg, G. A. V., Jacobs, I., Ceci, R., & Kaiser, P. (1983). A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 523-528.
- Oksa, J., Ducharme, M. B., & Rintamäki, H. (2002). The combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 92, 354-361.
- Oksa, J., Rintamäki, H., Mäkinen, T., Martikkala, V., & Rusko, H. (1996). EMG-activity and muscular performance of lower leg during stretch-shortening cycle after cooling. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157(1), 1-8.
- Oksa, J., Rintamäki, H., & Rissanen, S. (1997). Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(6), 484-490.

- Osternig, L. R., Hamill, J., Lander, J. E., & Robertson, R. (1986). Co-activation of sprinter and distance runner muscles in isokinetic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 431-435.
- Otte, J. W., Merrick, M. A., Ingersoll, C. D., & Cordova, M. L. (2002). Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(11), 1501-1505.
- Pääkkönen, T. and Leppäluoto, J. (2002). Cold exposure and hormonal secretion: a review. *International Journal of Circumpolar Health*, 61(3), 265-276.
- Park, K. S., Choi, J. K., & Park, Y. S. (1999). Cardiovascular regulation during water immersion. *Applied Human Science*, 18(6), 233-241.
- Parkin, J. M., Carey, M. F., Zhao, S., Febbraio, M. A. (1985). Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 902-908.
- Patterson, S. M., Udermann, B. E., Doberstein, S. T., & Reineke, D. M. (2008). The effects of cold whirlpool on power, speed, agility, and range of motion. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(3), 387-394.
- Petrofsky and Lind (1980). The influence of temperature on the amplitude and frequency components of the EMG during brief and sustained isometric contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 44(2), 189-200.
- Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., & Bangsbo, J. (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 276(2 Pt 1), E255-261.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., & Marino, F. E. (2011). Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *European*

- journal of applied physiology*, 111(12), 2977-2986.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Mounier, R., 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.
- Pritchard, K. A. and Saliba, S. A. (2014). Should athletes return to activity after cryotherapy? *Journal of Athletic Training*, 49(1), 95-96.
- Racinais, S. and Oksa J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 1-18.
- Rammasayer, T. H. and Bahner, E, & Netter, P. (1995). Effects of cold on human information processing: Application of a reaction time paradigm. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 30(1), 34-45.
- Ranatunga, K. W. (1982). Temperature-dependence of shortening velocity and rate of isometric tension development in rat skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 329, 465-483.
- Ranson, S. W. (1939). The hypothalamus as a thermostat regulating body temperature. *Psychosomatic Medicine*, 1, 486-495.
- Raven, P. B., Wasserman, D. H., Squires, W. G., & Murray, T. D. (2013). Exercise Physiology: An Integrated Approach. Wadsworth Cengage Learning, USA.
- Richendollar, M. L., Darby, L. A. & Brown, T. M. (2006). Ice bag application, active warm-up, and 3 measures of maximal functional performance. *Journal of Athletic Training*, 41(4), 364-370.
- Rimmer, J. H., Schiller, W., & Chen, M. D. (2012). Effects of disability-associated low energy expenditure deconditioning syndrome. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(1), 22-29.

- Rissanen, S., Oksa, J., Rintamäki, H., & Tokura, H. (1996). Effects of leg covering in humans on muscle activity and thermal responses in a cool environment. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 163-168.
- Ristow, M., Zarse, K., Oberbach, A., Klötting, N., Birringer, M., Kiehntopf, M., Stumvoll, M., Kahn, C. R., & Blüher, M. (2009). Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(21), 8665-70. doi: 10.1073/pnas.0903485106.
- Rome, L. C. (1990). Influence of temperature on muscle recruitment and muscle function in vivo. *American Journal of Physiology*, 259, 210-222.
- Roy, B. A. (2015). Overreaching/Overtraining: More Is Not Always Better. *ACSM'S Health & Fitness Journal*, 19(2), 4-5.
- Russell, M., Birch, J., Love, T., Cook, C. J., Bracken, R. M., Taylor, T., Swift, E., Cockburn, E., Finn, C., Cunningham, D., Wilson, L., & Kilduff, L. P. (2017). The Effects of a Single Whole-Body Cryotherapy Exposure on Physiological, Performance, and Perceptual Responses of Professional Academy Soccer Players After Repeated Sprint Exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(2), 415-421.
- Rutkove, S. B. (2001). Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology. *Muscle and Nerve*, 24(7), 867-882.
- Rymaszewska, J., Ramsey, D., & Chladzinska-Kiejna, S. (2008). Whole-body cryotherapy as adjunct treatment of depressive and anxiety disorders. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 56(1), 63-68.
- Sahlin, K., Harris, R. C., Nylin, B., & Hultman, E. (1976). Lactate content and pH in muscle obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv*, 367(2), 143-149.

- Sahlin, K. (1986)a. Metabolic factors in fatigue. *Sports Medicine*, 13, 99-107
- Sahlin, K. (1986)b. Muscle fatigue and lactic acid accumulation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 556, 83-91.
- Sahlin, K. and Broberg, S. (1990). Adenine nucleotide depletion in human muscle during exercise: Causality and significance of AMP deamination. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 62-67.
- Sahlin, K., A. Katz, & Broberg, S. (1990). Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *American Journal of Physiology*, 259(5Pt1), C834–C841.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Medicine*, 13(2), 99-107.
- Sanya, A. and Bello, A. (1999). Effects of cold application on isometric strength and endurance of quadriceps femoris muscle. *African Journal of Medicine and Medical Sciences*, 28(3-4), 195-198.
- Sargeant, A.J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 56(6), 693-698.
- Savic, M., Fonda, B., Sarabon, N. (2013). Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin. *Journal of Thermal Biology*, 38(4) 186-191.
- Schaal, K., Le Meur, Y., Bieuzen, F., Petit, O., Hellard, P., Toussaint, J. F., & Hausswirth, C. (2013). Effect of recovery mode on postexercise vagal reactivation in elite synchronized swimmers. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(2), 126-133.
- Schaal, K., LE Meur, Y., Louis, J., Filliard, J. R., Hellard, P., Casazza, G., & Hausswirth, C. (2015). Whole-Body Cryostimulation Limits Overreaching in Elite Synchronized Swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*,

47(7), 1416-1425.

- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147-155.
- Schmid, S., Moffat, M., & Gutierrez, G. M. (2010). Effect of knee joint cooling on the electromyographic activity of lower extremity muscles during a plyometric exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(6), 1075-1081.
- Selfe, J. Alexander, J. T. Costello, J. T., May, K., Garratt, N., Atkins, S., Dillon, S., Hurst, H., Davison, M., Przybyla, D., Coley, A., Bitcon, M., Littler, G., & Richards, J. (2014). The effect of three different (-135°C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players. *PLoS ONE*, 9(1), e86420.
- Senne, I. B. (2001). Effekte der Ganzkörperkältekammer bei Patienten mit Spondylitis ankylosans. Unpublished doctoral dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Germany.
- Sewell, D. A., Gleeson, M., & Blannin, A. K. (1994). Hyperammonaemia in relation to high intensity exercise duration in man. *Journal of European Applied Physiology*, 69(4), 350-354.
- Sharp, C. (1994). Neuromuscular Fatigue. *British Journal of Sports Medicine*, 28(3), 208-209.
- Shephard, R. J. (1993). Metabolic Adaptations to Exercise in the Cold. *Sports Medicine*, 16(4), 266-289.
- Shiojiri, T., Shibasaki, M., Aoki, K., Kondo, N., & Koga, S. (1997). Effects of reduced muscle temperature on the oxygen uptake kinetics at the start of

- exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 159(4), 327-333.
- Škof, B. and Strojnik, V. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery dynamics following prolonged continuous run at anaerobic threshold. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 219-222.
- Smith, M. R., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2015). Mental Fatigue Impairs Intermittent Running Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(8), 1682-1690.
- Smolander, J., Mikkelsen, M., Oksa, J., Westerlund, T., Leppäluoto, L., & Huttunen, P. (2004). Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiology & Behavior*, 82 (4), 691-695.
- Smolander, J., Westerlund, T., Uusitalo, A., Dugué, B., Oksa, J., & Mikkelsen, M. (2006). Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110 degrees C) during whole-body cryotherapy. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 26(4), 232-234.
- Smolander, J., Leppäluoto, J., Westerlund, T., Oksa, J., Dugue, B., Mikkelsen, M., & Ruokonen, A. (2009). Effects of repeated whole-body cold exposures on serum concentrations of growth hormone, thyrotropin, prolactin and thyroid hormones in healthy women. *Cryobiology*, 58(3), 275-278.
- Spencer, M. K., Yan, Z., & Katz, A. (1991). Carbohydrate supplementation attenuates IMP accumulation in human muscle during prolonged exercise. *American Journal of Physiology*, 261(1), C71-C76.
- Spodaryk, K., Szmatlan, U., & Berger, L. (1990). The relationship of plasma ammonia and lactate concentrations to perceived exertion in trained and untrained women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4), 309-312.

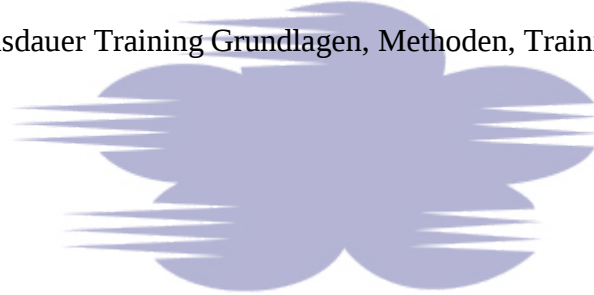
- Srámek, P., Simecková, M., Janský, L., Savlíková, J., & Vybíral, S. (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 81(5), 436-442.
- Stacey, D. L., Gibala, M. J., Martin Ginis, K. A., & Timmons, B. W. (2010). Effects of recovery method after exercise on performance, immune changes, and psychological outcomes. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 40(10), 656-665.
- Stamford, B. A., Moffatt, R., & Sady, S. (1981). Exercise recovery above and below the anaerobic threshold following maximal work. *Journal of Applied Physiology*, 51(4), 840-844.
- Surenkok, O., Aytar, A., & Akman M. N. (2008). Cryotherapy impairs knee joint position sense and balance. *Isokinetics and Exercise Science*, 16(1), 69-73.
- Suzuki, K., Peake, J., Nosaka, K., Okutsu, M., Abbiss, C. R., Surriano, R., Bishop, D., Quod, M. J., Lee, H., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2006). Changes in markers of muscle damage, inflammation and HSP70 after an Ironman triathlon race. *Journal of European Applied Physiology*, 98(6), 525-534.
- Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1439-1447.
- Tano, S. S., Fernandes, K. B. P., Moser, A. D. L., Pires-Oliveira, Gil, A. W. O., & de Oliveira, R. F. (2015). Effects of cold water immersion on variables of balance in healthy subjects with open and closed eyes. *Fisioterapia em Movimento*, 28(3). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-5150.028.003.AO05>
- Thain, P. K., Bleakley, C. M., & Mitchell, A. C. (2015). Muscle Reaction Time During a Simulated Lateral Ankle Sprain After Wet-Ice Application or Cold-

- Water Immersion. *Journal of Athletic Training*, 50(7), 697-703
- Thieme, H. A., Ingersoll, C. D., Knight, K. L., & Ozmun, J. C. (1996). Cooling does not affect knee proprioception. *Journal of Athletic Training*, 31(1), 8-11.
- Thornley, L. J., Maxwell, N. S., & Cheung, S. S. (2003). Local tissue temperature effects on peak torque and muscular endurance during isometric knee extension. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 588-594.
- Tjønnå, A. E., Leinan, I. M., Bartnes, A. T., Jenssen, B. M., Gibala, M. J., Winett, R. A., & Wisløff, U. (2013). Low- and High-Volume of Intensive Endurance Training Significantly Improves Maximal Oxygen Uptake after 10-Weeks of Training in Healthy Men. *PLoS One*, 8(5), e65382.
- Twist, C., Waldron, M., Highton, J., Burt, D., & Daniels, M. (2012). Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league. *Sports Medicine*, 16(4), 266-289.
- Twist, C. and Highton, J. (2013). Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 467-474.
- Ückert, S. (2014). Cold Application in Training & Competition: The Influence of Temperature on Your Athletic Performance. UK: Meyer & Meyer Sport.
- Urhausen, A. and Kindermann, W. (1992). Blood ammonia and lactate concentrations during endurance exercise of differing intensities. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(3), 209-214.
- Vieira, A., Bottaro, M., Ferreira-Junior, J. B., Vieira, C., Cleto, V. A., Cadore, E. L., Simões, H. G., Carmo, J. D., & Brown, L. E. (2015). Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout? *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 49-54.
- Vieira, A., Oliveira, A. B., Costa, J. R., Herrera, E., & Salvini, T. F. (2013). Cold

- modalities with different thermodynamic properties have similar effects on muscular performance and activation. *Sports Medicine*, 34(10), 873-880.
- Vincent, M. J. and Tipton, M. J. (1988). The effects of cold immersion and hand protection on grip strength. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 59(8), 738-741.
- Vøllestad, N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 74(2), 219-227.
- Wagenmakers, A. J., Coakley, J. H., & Edwards, R. H. (1990). Metabolism of branched-chain amino acids and ammonia during exercise: clues from McArdle's disease. *International Journal of Sports Medicine*, 11(Suppl 2), S101-S113.
- Webb, P. (1986). Afterdrop of body temperature during rewarming: an alternative explanation. *Journal of Applied Physiology*, 60(2), 385-390.
- Webster, J., Holland, E. J., Sleivert, G., Laing, R. M., & Niven, B. E. (2005). A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat. *Ergonomics*, 48(7), 821-837.
- Weerapong, P., Hume, P. A., & Kolt, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine*, 35(3), 235-56.
- Weicker, H. (1988). Purinnukleotidzyklus und muskuläre ammoniakproduktion. *Deutsche Zeitschrift Fur Sportmedizin*, 39, 172-178.
- Westerblad, H., Lee, J. A., Lännergren, J., & Allen, D. G. (1991). Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 261, C195-209.
- Westerlund, T., Oksa, J., Smolander, J., & Mikkelsen, M. (2003). Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C). *Journal of*

- Thermal Biology*, 28, 601-608.
- Westerlund, T., Uusitalo, A., Smolander, J., & Mikkelsen, M. (2006). Heart rate variability in women exposed to very cold air (-110°C) during whole-body cryotherapy. *Journal of Thermal Biology*, 31(4), 342-346.
- Westerlund, T. (2009). Thermal, Circulatory and Neuromuscular Responses to Whole-Body Cryotherapy (Doctoral thesis, Universitatis Ouluensis, Oulu). Retrieved from <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789514290435.pdf>.
- Weston, M., Taylor, K. L., Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2014). Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Medicine*, 44(7), 1005-1017.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Medicine*, 36(9), 747-765.
- Wisløff, U., Ellingsen, Ø., & Kemi, O. J. (2009). High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(3), 139-146. doi: 10.1097/JES.0b013e3181aa65fc.
- Wozniak, A., Wozniak, B., Drewa, G., Mila-Kierzenkowska, C., & Rakowski, A. (2007). The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training. *European Journal of Applied Physiology*, 100(2), 137-142.
- Yamauchi, T., Kim, S., Nogami, S., Kawano, A. D. (1981). Extreme cold treatment (-150°C) on the whole body in rheumatoid arthritis [abstract], *Rev Rhum*, 48(suppl), P1054.
- Yamauchi, T., Nogami, S., & Miura, K. (1981). Various applications of extreme cryotherapy and strenuous exercise program-focusing on chronic rheumatoid arthritis. *Physiotherapy and rehabilitation*, 5, 35-39.

- Young, A. J., Sawka, M. N., Epstein, Y., Decristofano, B., & Pandolf, K. B. (1987). Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *Journal of Applied Physiology*, 63(3), 1218-1223.
- Zalewski, P., Bitner, A., Słomko, J., Szrajda, J., Klawe, J. J., Tafil-Klawe, M., & Newton, J. L. (2014). Whole-body cryostimulation increases parasympathetic outflow and decreases core body temperature. *Journal of Thermal Biology*, 45, 75-80.
- Ziemann, E., Olek, R. A., Kujach, S., Grzywacz, T., Antosiewicz, J., Garszka, T., & Laskowski, R. (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training*, 47(6), 664-672.
- Zintl, F. (1994). *Ausdauer Training Grundlagen, Methoden, Trainingsteuerung*.



附錄一

運動能力診斷與訓練調整實驗室



疾病調查表-運動員

姓 名：	出生年月：	身高 (cm)：	體重 (kg)：	性別：
項目：		最佳成績：		訓練年數：

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) _____

運動員簽名： _____ 日期： _____

附錄二

超低溫使用調查表

超低溫使用調查，為了你的安全請謹慎回答以下問題：

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

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

簽名：

日期：

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

附錄三

運動自覺量表 (RPE)

6	完全沒有費力的感覺
7	
8	
9	非常輕鬆
10	
11	輕鬆
12	
13	稍微費力
14	
15	中度費力
16	
17	非常費力
18	
19	非常非常費力
20	最大費力

Borg, G. (1985). An Introduction to Borg's RPE-Scale, Mouvement, Ithaca, NY.

附錄四

熱感受量表

指數	感覺
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

Sagge et al. (1967)

附錄五

FJU-IRB F-034 /20151117

輔仁大學人體研究倫理委員會 通過證明

- 一、計畫編號： C104091
- 二、執行單位： 國立體育大學競技與教練科學研究所
- 三、主 持 人： 張嘉澤助理教授
- 四、共同/協同主持人：陳德盛/國立體育大學競技與教練科學研究所
- 五、計畫名稱： 超低溫應用對高強度運動之恢復與神經肌肉表現
- 六、計畫書版本/日期：3，2016/04/28
- 七、受試者說明暨同意書版本/日期：第 4 版，2016/05/30
- 八、計畫執行地點：國立體育大學運動能力診斷與訓練調整研究中心
- 九、研究方式/工具：
 - (1) 招募廣告:第 4 版，2016/05/30
 - (2) 超低溫使用調查表:第 2 版，2016/05/30
- 十、追蹤審查頻率： 每 6 個月 1 次

上述計畫業於 105 年 05 月 30 日業經本委員會審查通過，本通過證明有效期限自 105 年 05 月 30 日至 105 年 11 月 29 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 蕭達安

105 年 06 月 01 日