

單次高強度組合訓練運用超低溫冷卻對體循環、能量代謝與閾值耐力之影響

方奕晴¹、張嘉澤²、李寶潤¹、陳佳慧³、陳德盛²

¹ 臺灣 桃園市 333 國立體育大學競技與教練科學研究所

² 臺灣 桃園市 333 國立體育大學運動能力診斷與訓練調整研究中心

³ 臺灣 臺北市 106 國立臺灣科技大學體育室

通訊作者：方奕晴
地址：333 桃園市龜山區文化一路 250 號
電話號碼：(03)328-3201 轉 2420
電子郵件：fleanna1992@gmail.com
投稿日期：2018 年 12 月 20 日
接受日期：2019 年 4 月 29 日

摘要

本研究目的主要在於探討單次高強度組合訓練運用超低溫冷卻對體循環、能量代謝與閾值耐力之影響。受試者為 8 名健康體育科系學生。研究測試分為個人閾值耐力測試與訓練兩項，皆以腳踏車測功儀進行。閾值耐力測試第一階為 100 watt，每階 3 分鐘，每增加一階即增加 30 watt，進行至個人最大負荷為止。訓練則分為持續與間歇兩項：持續負荷強度為個人閾值耐力 6 mmol/L（10 分鐘），間歇負荷則為個人階梯式測試最高負荷（4 × 90 秒）。超低溫冷卻（-120°C）則於前測與後測結束，以及訓練前、中、後進行，每次 120 秒。結果分析顯示體表溫度在各時間檢測點與運動前比較分析顯示：第 1 次冷卻後下降 9.28°C。第 2 次冷卻下降 10.70°C，血液氣體均無顯著差異。運動負荷心跳率（beats per minute, bpm）在持續負荷第 5 分鐘與第 10 分鐘平均值差異增加 9.38 bpm，間歇負荷在第 1 次與第 4 次則差異增加 15.25 bpm。持續運動負荷乳酸濃度於運動結束後第 1 分鐘為 9.64 ± 1.52 mmol/L，運動結束後第 10 分鐘則為 6.68 ± 1.89 mmol/L，兩項差異 2.96 mmol/L。間歇負荷則差異 2.16 mmol/L。恢復期運動結束後第 5 分鐘血氨在兩項測試差異為 15.50 mmol/L。閾值耐力部分，有氧閾值增加 13.91 watt，心跳率下降 3.75 bpm。無氧閾值 4 mmol/L 增加 5.74 watt。本研究結論：運動前、中、後超低溫冷卻對血液氣體、乳酸未能達到顯著差異，但確實降低了體表溫度，且有提升氧分壓、減少二氧化碳分壓之趨勢。此外，單次高強度組合訓練能快速提升閾值耐力。

關鍵詞：血液氣體、血氨、乳酸



壹、緒論

短週期訓練為教練於週期轉換或賽前調整階段所應用，其目的為對選手的特定、需加強的能力進行特訓或者輔助訓練（陳德盛、陳佳慧、張嘉澤，2017），也因其為額外的訓練而非原有之主訓練，訓練週期越精簡則對主訓練影響越小。然而要在短時間內產生訓練效果，訓練負荷勢必為高強度才能對生理產生刺激，而高強度間歇訓練（high intensity interval training, HIIT）即是一種兼具短時間與高強度特性之訓練模式。研究指出 HIIT 能在短時間內達到與長時間耐力訓練同樣的效果（Laursen, 2010）。Kaspar et al. (2016) 指出 HIIT 與傳統、耗時的耐力訓練相比起來較有時間效率，因此近幾年越來越流行。另有文獻說明 HIIT 最早是在 20 世紀早期被應用，並在之後被推廣應用於訓練奧林匹克運動員。其他作者亦有提出 HIIT 日漸普遍的觀點（Emberts, Porcari, Doherty, Steffen, & Foster, 2013; Kravitz, 2014; Liu, Su, Jiang, Wen, & Shao, 2018）。HIIT 則能產生以下之效果：增加骨骼肌肉氧化的能力、降低肝醣使用率及乳酸生成率、增強末梢血管的結構與功能、提高運動表現並增加最大攝氧量（Burgomaster et al., 2008; Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005; Gibala et al., 2006; Rakobowchuk et al., 2008）。HIIT 後 3 小時會增加數倍的轉錄調控因子（peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1 α , PGC-1 α ）（Gibala et al., 2009; Little et al., 2011）。PGC-1 α 在人體內負責代謝相關的調控（Liang & Ward, 2006），並且誘導類胰島素生長因子 1（insulin-like growth factor 1, IGF-1）、協調體內之乳酸恆定及傳導肌肉適應。其協調能改變乳酸脫氫酶（lactate dehydrogenase, LDH），防止運動過程中血乳酸不斷累積（Matsukawa et al., 2017）。然而，短時間高強度的運動容易造成運動員的疲勞及降低恢復再生的機制（Äyrämö et al., 2017; Selmi, Ben khalifa, Zouaoui, Azaiez, & Bouassida, 2018）。因此各種恢復方式因應而生，其中超低溫冷卻（cryotherapy）在近代已逐漸取代傳統的冰敷、泡水。

超低溫冷卻則是以乾冷的氮氣直接接觸皮膚表層，表層之冷感受器會傳訊息給大腦身體遇冷，致使大腦控制身體調節，產生恢復機制。冷卻時，皮膚表層受溫度變化影響使微血管收縮進而影響體內

血液流動速度；回溫時，微血管擴張血液將重新分配，此時氧氣及營養物質將隨血液流入肌肉組織中，促進肌肉中代謝物質的排除（Klimek, Lubkowska, Szyguła, Fraczek, & Chudecka, 2011）。關於超低溫冷卻對於體循環的影響，過去研究指出超低溫冷卻應用於運動訓練可降低心跳率（beats per minute, bpm）（Ückert & Joch, 2003），此外對於血液氣體（氧分壓、二氧化碳分壓），Papenfuss (2005) 指出在訓練後進行超低溫冷卻能提升氧分壓，減少二氧化碳含量；在訓練前進行超低溫冷卻則能提升體循環活性、改善血液流動。對於能量代謝方面，超低溫冷卻亦能產生正面效果，Smith et al. (1997) 以鐵人三項運動員為受試者，並在比賽前進入低溫艙 3 × 3 分鐘，其結果發現超低溫冷卻減少受試者乳酸。Joch and Ückert (2003) 則進行 5 × 2 分鐘腳踏車間歇負荷，並在負荷前進行超低溫冷卻 3 分鐘，結果實驗組之血氨（NH₃）與乳酸皆顯著低於對照組。

閾值耐力為基礎體能之一，可區分為有氧閾值（2 mmol/L）與無氧閾值（4 mmol/L），其檢測方式採階梯式負荷（Mader et al., 1976），透過乳酸與心跳率的分析，最終可得到個人在有氧、無氧之強度依據（速度／功率與相對應的心跳率）。閾值能力越佳者，其恢復速度越快。而個人的閾值耐力，也就是身體對於不同強度負荷時能量的供給與身體壓力的調節，主要與人體心臟、細胞組織及賀爾蒙之功能有關。影響體循環能力的因素包括安靜心跳率、紅血球數量、血液容量與血液流動情況等，能量代謝部分則與微血管數量、粒腺體密度、酵素活性等有關。為了改善這些因素，在過去須以每週規律訓練 3 ~ 5 天之頻率持續數週才能產生改善體循環及能量代謝之機轉。而現今，隨著短週期訓練相關的研究越來越多（Chen & Hsieh, 2001; Coburn et al., 2006; Kasai et al., 2017），亦有研究指出能在數天之內改善閾值耐力的研究結果。過去研究曾以 8 名男性運動員進行 5 天低氧訓練，負荷內容為以乳酸達 6 mmol/L 之無氧閾值進行 4 × 3 分鐘跑步機測試，其結果在訓練第 3 天乳酸濃度下降、第 5 天心跳率亦下降（Jang, Wang, Chen, & Chan, 2012）。蕭婉柔（2015）研究 8 名成年體育相關科系學生以跑步機、腳踏車及划船機進行各 3 天之高強度間歇訓練，並在每 3 天訓練前後安排前後測，結果發現跑步機訓練改善了有氧閾值耐力，划船機與腳踏車訓練則提升了無氧閾值

耐力。另有研究進行 3 天高氧跑步機訓練 ($3 \times 3 \times 90\%$)，其研究結果發現在訓練第 3 天不論是訓練時心跳率、 NH_3 與恢復期乳酸均呈現下降的改善效果 (Wang, Smith, & Jang, 2009)。

在這些短週期的研究中可發現，實驗設計中若無休息日者會搭配恢復設備儀器以加速恢復或提升訓練效果，而本研究認為人體在這些恢復設備儀器的輔助下對於負荷強度的適應可以多迅速是值得被探討的。綜合上述，本研究將探討於單次高強度組合訓練前、間歇期與恢復期實施超低溫冷卻對於人體體表溫度、血液氣體、心跳率之調節與對恢復期乳酸及 NH_3 之影響，其次，將探討單次高強度組合訓練是否能有效改善閾值耐力。

貳、方法

一、研究對象

本研究以 8 名健康之體育相關科系學生為受試者，年齡 24.6 ± 3.1 歲、身高 168.88 ± 5.94 cm、體重 69.38 ± 8.67 kg (表一)，其運動頻率為每週 3 次以上，每次至少 20 分鐘，並且無運動傷害。

二、實驗流程

實驗為期 3 天，依序為前測 (T1)、單次高強度組合訓練與後測 (T2)，運動負荷工具皆為腳踏車測功儀 (Excalibur Sport, Lode B.V., Groningen, Netherlands) 並輔以半罩式低溫艙 (Cryosauna, Space Cabin, Kherson, Ukraine) 進行超低溫冷卻。超低溫冷卻溫度設定為 -120°C ，兩次為一組，一次為 120 秒，次間間隔 3 分鐘，冷卻時間點為：T1、T2 結束後 3 分鐘及單次高強度組合訓練前、中、後 (圖一)。

表一 受試者資料

項目	平均值 $\pm$ 標準差
年齡 (歲)	24.6 ± 3.1
身高 (cm)	168.88 ± 5.94
體重 (kg)	69.38 ± 8.67
6 mmol/L (watt)	191.31 ± 34.82
最大負荷 (watt)	238.75 ± 33.33

(一) T1、T2 個人有氧、無氧閾值基礎耐力測試

測試開始功率為 100 watt 持續 3 分鐘，每 3 分鐘即增加功率 30 watt，測試直到受試者達到個人最大負荷即結束。其中，T1 之測試結果將作為單次高強度組合訓練之訓練強度依據。

(二) 單次高強度組合訓練

依序進行持續負荷 (Tr1) 與間歇負荷 (Tr2)，並於負荷前、間歇期及恢復期各進行一組超低溫冷卻。

1. Tr1

以個人無氧閾值 (6 mmol/L) 功率 (6 mmol/L-Watt) 作為運動強度，持續踩踏 10 分鐘，並且維持每分鐘 70 ~ 80 轉 (revolutions per minute, rpm)。

2. Tr2

以 T1 之個人最大負荷功率作為運動強度，進行 4×90 秒間歇負荷，期間維持 70 ~ 80 rpm；間歇時間 60 秒，期間維持 100 watt 以及 60 ~ 70 rpm。

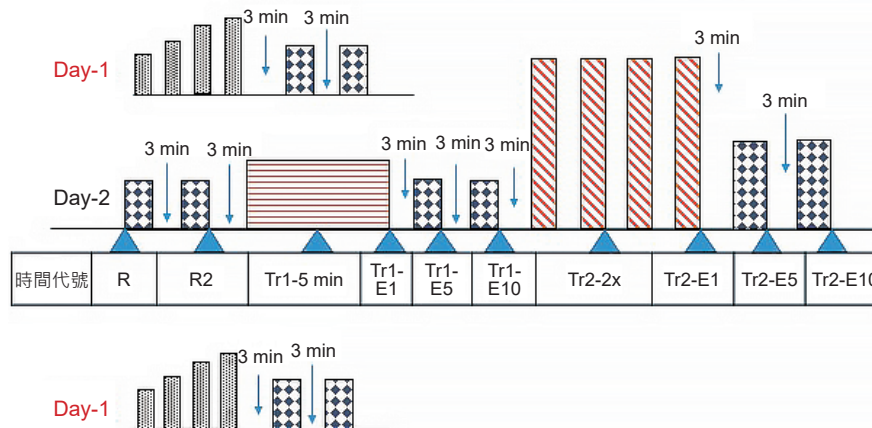
三、生物參數

本實驗觀察之生物參數有：乳酸 (自耳垂採集血液 10 mmol/L 並以血糖乳酸分析儀 [Diagnostics Biosen C-Line, EKF Diagnostics, Barleben, Germany] 進行化驗)、 NH_3 (自指尖採集血液 20 mmol/L 並以 NH_3 分析儀分析 [PocketChem BA PA-4140, Arkray, Kyoto, Japan])、血液氣體 (自指尖採集血液 90 mmol/L 並以血液氣體分析儀 [i-STAT Handheld, Abbott Park, IL, USA] 分析)、心跳率 (i-Heart 運動心跳率安全監測系統，鉉龍，臺北市，臺灣)、體表溫度 (P384-20 紅外線熱像即時溫度分析系統，景興，臺北市，臺灣)。體表溫度量測位置為腹部、兩大腿肌、背部與兩腿後肌。

四、資料處理

所有數值以平均值與標準差呈現，並以 SPSS Statistics version 22.0 進行統計分析。以相依樣本 t 檢定分析前測、後測各項參數差異。以重複量數單因子變異數分析比較單一測試之各時間點參數差異。有氧—無氧閾值基礎耐力測驗試以乳酸分析軟體 (Lactate Express, Mesics, Münster, Germany) 代入 Mader 4 mmol/L 方式，計算出受試者個人有氧—無氧閾值能力及無氧閾值 (6 mmol/L) 功率。結果分析以 SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc., San Jose,

- T1、T2：腳踏車階梯式負荷，每階 3 mm（100 watt 開始，每次上升 30 watt）
- Cooling: 120 s
- Tr1: 10 min 持續式腳踏車，70 ~ 80 U/min (6 mmol/L-watt)
- Tr2: 4 × 90 s 間歇式腳踏車，70 ~ 80 U/min (watt_{max})，間歇 60 s (100 watt, 60 ~ 70 U/min)



圖一 實驗流程圖

註：R 為安靜值、R2 為預冷後、Tr1-5min 為持續負荷第 5 分鐘、Tr1-E1 為持續負荷後第 1 分鐘（Tr1-E5、Tr1-E10 依此類推）、Tr2-2x 為間歇負荷第二組結束、Tr2-E1 為間歇負荷後第 1 分鐘（Tr2-E5、Tr2-E10 依此類推）。

California, CA, USA) 進行繪圖。本研究統計考驗水準皆訂為 $\alpha = .05$ 。

異 2.16 mmol/L ($p > .05$)。恢復期運動結束後第 5 分鐘 (E5) NH₃ 在兩項測試差異為 15.50 mmol/L ($p < .05$)。

參、結果

一、體循環相關參數

體表溫度在各時間檢測點與運動前比較分析顯示：第 1 次冷卻 (R2) 後，體表溫度下降 9.28°C ($p < .05$)。第 2 次冷卻 (Tr1-E10) 下降 10.70°C ($p < .05$) (圖二)。在血液氣體調節的部分，血氧氣體在各時間檢測點均無顯著差異 (表二)。對心跳率部分，運動負荷心跳率在 Tr1 第 5 分鐘與第 10 分鐘平均值差異 9.38 bpm ($p > .05$)，Tr2 在第一次 (1x) 與第四次 (Tr2-E1) 平均值差異則為 15.25 bpm ($p < .05$) (圖三)。

二、能量代謝相關參數

對肌肉能量代謝的部分 (表二)，Tr1 運動結束後第 1 分鐘 (Tr1-E1) 血液乳酸濃度為 9.64 ± 1.52 mmol/L，運動結束後第 10 分鐘 (Tr1-E10) 平均值則為 6.68 ± 1.89 mmol/L，兩項差異 2.96 mmol/L ($p < .05$)。Tr2-E1 與 Tr2-E10 乳酸堆積濃度平均值差

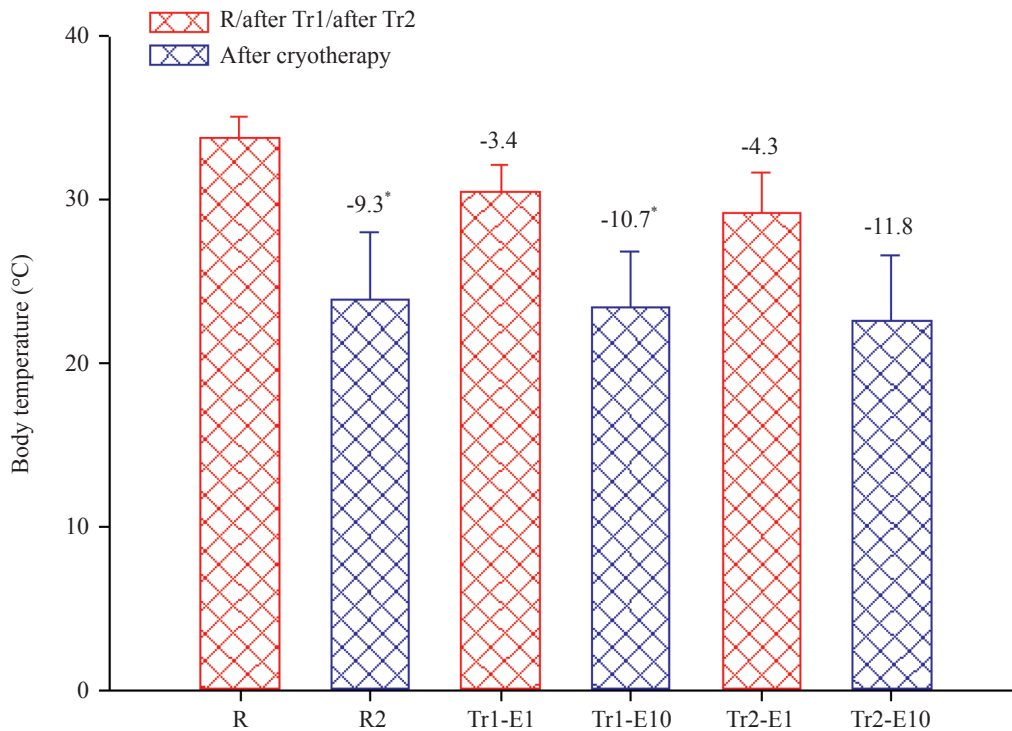
三、閾值耐力相關參數

針對單次高強度訓練後，後測之個人閾值耐力分析，T2 有氧閾值 (2 mmol/L) 增加 13.91 watt ($p < .05$)，心跳率下降 3.75 bpm ($p > .05$)。無氧閾值 4 mmol/L 則增加 5.74 watt (表三)。

肆、討論

一、單次高強度組合訓練運用超低溫冷卻對體循環之影響

體表溫度部分，超低溫冷卻確實能降低皮膚表層溫度，且溫度的變化亦影響了體內氣體交換情形與肌肉代謝物質。超低溫冷卻時低溫氮氣會直接接觸皮膚，皮膚表層微血管遇冷收縮，其內的血液因表層微血管縮小而流進較深層的血管中，並且加速血液流動。停止冷卻後回溫，表層微血管預熱擴張，體內血液將重新分配，並且促進了血液氣體交換效率。本研究發現冷卻後進行運動負荷，體表溫度會逐漸上升，氧分壓隨之上升，而二氧化碳分壓雖然



圖二 各時間體表溫度與安靜值之差異

註：R 為安靜值、R2 為預冷後、Tr1-E1 為持續負荷後第 1 分鐘（Tr1-E5、Tr1-E10 依此類推）、Tr2-E1 為間歇負荷後第 1 分鐘（Tr2-E5、Tr2-E10 依此類推）。* 表示與 R 時間點之體表溫度有顯著差異 ($p < .05$)。

較不受溫度變化影響，但其含量都在正常範圍的較低含量中。超低溫冷卻對於運動負荷所產生的代謝物質——乳酸亦因為血流速度加快且血液氣體交換率上升的關係而有加速排除的效果。根據表四可發現氧分壓受體表溫度影響較大，隨著體表溫度上升而上升，反之二氧化碳分壓則不會隨著體表溫度改變而有明顯起伏，但是經 Tr1 持續運動後，其含量都在正常範圍 (35 ~ 45 mmHg) 之較低含量。過去研究曾指出激烈運動後肌肉組織內的氧分壓降至 5 mmHg (Murray, Chen, Marshall, & Macarak, 1990)，此外身體溫度由 37°C 降低至 30°C 時，血液氣體會產生改變 (Bacher, 2005)。但是 Papenfuß (2005) 提出於訓練中進行超低溫冷卻可減少二氧化碳含量並提升氧分壓。本研究結果亦顯示超低溫冷卻後及運動回溫後的氧分壓呈現上升甚至高於常溫時，且二氧化碳分壓亦偏低，與先前實驗呈現相同結果。根據表五則發現乳酸濃度會受到超低溫冷卻的影響而下降。先前研究進行 5 × 2 分鐘之 250 watt 間歇腳踏車訓練，實驗組在訓練前進行 -110°C 低溫冷卻 3 分鐘，對照組則無。其結果發現實驗組在運動結束後之心跳、乳酸及 NH₃ 皆低於對照組 (Joch & Ückert,

2003)。綜合超低溫冷卻後再運動回溫使含氧量增加之研究結果，以及冷熱溫度交替導致微血管收縮加速了體內血流的循環機制，本研究認為超低溫冷卻可以提升體循環效率。

二、單次高強度組合訓練運用超低溫冷卻對能量代謝之影響

從 Tr1 與 Tr2 之最大乳酸值觀察，可發現兩項負荷未呈現差異，顯示其運動強度相近。但是在 NH₃ 濃度部分兩項負荷卻差異 16 mmol/L，顯示超低溫冷卻對於 Tr2 之效果較佳。Nielsen, Savard, Richter, Hargreaves, and Saltin (1990) 指出運動過程中所產生的熱壓力會導致腎上腺素增加，進而使肌肉生成較多的肌苷酸 (inosinemonphosphate, IMP) 與 NH₃。另有研究認為冷卻能降低運動負荷開始前的初始身體溫度，進而延緩運動過程中熱容量的累積 (Quod, Martin, & Laursen, 2006)。Smith et al. (1997) 以鐵人三項運動員進行測試，比賽前進入 -110°C 低溫艙 3 × 3 分鐘，結果顯著改善運動員耐力能力並且減少乳酸堆積。Gharbi et al. (2008) 指出

表二 不同運動負荷能量代謝與血液氣體

生物參數	負荷前			持續負荷 (10 min—6 mmol/L)						間歇負荷 (4 × 90 秒)		
	R	R2		E1	E5	E10	E1	E5	E10			
乳酸 (mmol/L)	1.21 ± 0.47	—		9.64 ± 1.52	8.24 ± 2.16	6.68 ± 1.89	8.93 ± 2.50	8.08 ± 2.78	6.77 ± 2.16			
血氨 (mmol/L)	54.13 ±15.72	—		—	96.75 ± 24.78	—	—	81.25 ± 21.08	—			
氧分壓 (mmHg)	64.00 ± 7.33	58.83 ± 9.58		80.75 ± 7.09	—	72.20 ± 6.50	77.17 ± 3.42	—	63.57 ± 3.15			
二氧化碳分壓 (mmHg)	41.29 ± 2.93	44.18 ± 3.05		36.19 ± 2.91	—	34.00 ± 1.77	35.50 ± 3.18	—	35.89 ± 3.46			
pH	7.41 ± 0.02	7.40 ± 0.03		7.27 ± 0.05	—	7.34 ± 0.05	7.29 ± 0.03	—	7.35 ± 0.04			
重碳酸鹽 (mmol/L)	26.23 ± 1.22	27.02 ± 1.33		16.84 ± 2.20	—	18.63 ± 2.61	17.35 ± 2.61	—	19.86 ± 2.83			

註：R 為安靜值、R2 為預冷後、Tr1-E1 為持續負荷後第 1 分鐘 (Tr1-E5、Tr1-E10 依此類推)、Tr2-E1 為間歇負荷後第 1 分鐘 (Tr2-E5、Tr2-E10 依此類推)。

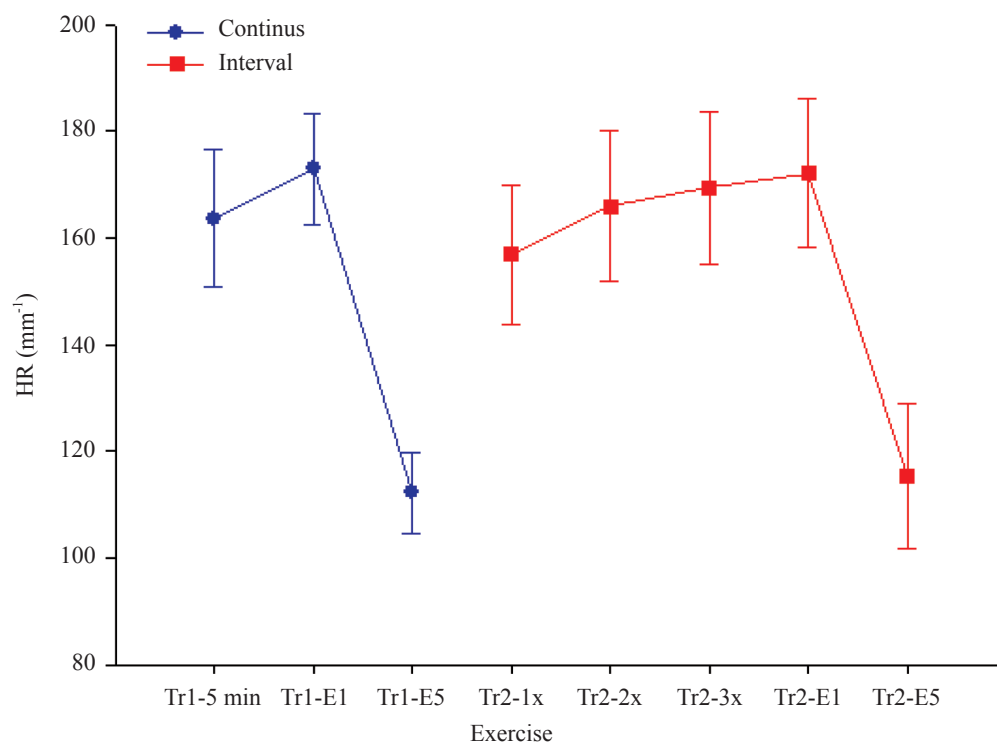
持續與間歇訓練皆能改善最大乳酸值，但間歇訓練更有助於提高最大有氧速度及乳酸的交換與排除。先前有研究以 17 名 22 ~ 25 歲之男性為受試者進行腳踏車間歇訓練，並以實驗組與對照組進行實驗，實驗組在負荷前進行 pre-cooling，對照組則無。其研究結果發現，實驗組之 NH_3 、心跳率與乳酸濃度皆顯著低於對照組 (Joch & Ückert, 2003)。本研究之超低溫冷卻亦於運動負荷前進行，且間歇負荷之最大乳酸值亦略低於 Tr1，顯示超低溫冷卻對於間歇訓練可維持較佳之訓練品質。

三、單次高強度組合訓練運用超低溫冷卻對閾值耐力之影響

在閾值耐力部分，不論是有氧或是無氧，受試者皆有明顯進步。特別是在 2 mmol/L 及 4 mmol/L 的部分，受試者閾值能力功率皆增加，然而心跳率並沒有因強度增加而隨之上升，反而是明顯下降，顯示受試者之生理狀態迅速地適應了新的強度。僅經單次高強度運動即能達成此效果，本研究認為超低溫冷卻為其中之重要原因。Riggs, Johnson, Konopka, and Kilgour (1981) 指出冷卻將影響中樞神經對於體溫的調節，進而降低心跳率。另有冷卻相關研究實施實驗組與控制組，其研究結果皆呈現實驗組心跳率較控制組低 (Beaven, Kilduff, & Cook, 2018; Bloom, 2018)。Fricke (1989) 高強度肌肉力量訓練後 3 × 2 分鐘 (-110°C)，未發現運動員骨骼肌內引發肌肉疼痛之酵素。超低溫冷卻有助於改善血液流動以提升體循環活性 (Papenfuß, 2005)。此外，以往的訓練週期多為 4 ~ 6 週，為追求時間效益，短時間高強度之訓練已成為主流，先前研究已發現可藉由 3 天高強度訓練達成改善閾值耐力的目的 (吳杰茗、蕭敬衡、張嘉澤, 2015; 曾台霖, 2016; 蕭婉柔, 2015)。本研究結果則是更進一步將訓練時間濃縮為一天，並輔以超低溫冷卻使運動員經單次高強度運動後即能迅速恢復並回歸到日常訓練，此將可應用於準備期及專項期以協助運動員快速突破閾值耐力。

四、結論與建議

本研究發現超低溫冷卻對單次高強度組合訓練對體循環部分可產生降低體表溫度，並有提升氧分



圖三 負荷心跳率曲線

註：HR：心跳 (heart rate)。Tr1-5min 為持續負荷第 5 分鐘、Tr1-E1 為持續負荷後第 1 分鐘（Tr1-E5 依此類推）、Tr2-1x 為間歇負荷第一組結束（Tr2-2x、Tr2-3x 依此類推）、Tr2-E1 為間歇負荷後第 1 分鐘（Tr2-E5 依此類推）。

表三 有氧—無氧 (2 ~ 4 mmol/L) 閾值耐力分析

Test	有氧閾值		無氧閾值			
	2 mmol/L		4 mmol/L		6 mmol/L	
	Watt	HR	Watt	HR	Watt	HR
前測	73.83 ± 29.81	122.00 ± 26.05	151.01 ± 27.89	158.13 ± 14.30	191.31 ± 34.82	172.88 ± 9.74
後測	87.74 ± 25.10	118.25 ± 11.13	156.75 ± 31.71	151.13 ± 10.09	190.85 ± 35.19	165.50 ± 8.44
前後測差異	+14*	-3	+5*	-7	-1	-7

註：HR：心跳 (heart rate)。* 表示後測與前測之閾值耐力分析有顯著差異 ($p < .05$)。

表四 超低溫冷卻後體表溫度與血液氣體調節

生物參數	持續負荷		間歇負荷	
	負荷前 3 分鐘	負荷後 1 分鐘	負荷前 3 分鐘	負荷後 1 分鐘
體表溫度 (°C)	24.33 ± 3.61	30.18 ± 1.89	22.90 ± 3.94	29.34 ± 2.30
氧分壓 (mmHg)	58.83 ± 9.58	80.75 ± 7.09	72.20 ± 6.50	77.17 ± 3.42
二氧化碳分壓 (mmHg)	44.18 ± 3.05	36.19 ± 2.91	34.00 ± 1.77	35.50 ± 3.18

表五 超低溫冷卻後體表溫度與肌肉能量代謝

生物參數	持續負荷		間歇負荷	
	負荷後 1 分鐘	負荷後 10 分鐘	負荷後 1 分鐘	負荷後 10 分鐘
體表溫度 (°C)	30.18 ± 1.89	22.90 ± 3.94	29.34 ± 2.30	21.84 ± 4.70
乳酸 (mmol/L)	9.64 ± 1.52	6.68 ± 1.89	8.93 ± 2.50	6.77 ± 2.16

壓、減少二氧化碳之趨勢，對能量代謝部分則能降低 NH_3 濃度，特別是間歇負荷。最後，對於有氧、無氧閾值耐力呈現強度提升但心跳率下降的進步效果。

本研究提供了教練與運動員在短時間內急需突破個人閾值時之訓練方式，並且配合超低溫冷卻的使用以減少運動員的疲勞累積。在眾多科學家與教練追求短時間內改善肌肉缺氧反應機制的情形下，高強度訓練搭配超低溫冷卻將是競技運動之趨勢，特別是針對球類與技擊類項目。建議實務上可應用此訓練方式於準備期及專項期，使運動員經單次刺激後即能回歸日常訓練。而研究上則建議可以往超低溫之冷卻溫度、冷卻時間長度、最佳回溫時間與對血液氣體的影響等方向探討以善用超低溫冷卻進而緩解體內壓力、提升恢復效率。

參考文獻

- 吳杰茗、蕭敬衡、張嘉澤（2015）。短期跑步機 HIIT 對田徑選手有氧閾值能力、乳酸排除率以及心跳率之效果。論文發表於 2015 國立體育大學國際教練科學研討會，桃園縣，國立體育大學。
- [Wu, J.-M., Hsiao, C.-H., & Jang, J.-T. (2015). *The effects of short term treadmill HIIT on aerobic threshold, ratio of excluding lactate and heart rate on track and field athletes*. Paper presented at the 2015 NTSU International Coaching Science Conference, Taoyuan, Taiwan.]
- 陳德盛、陳佳慧、張嘉澤（2017）。短期訓練對青年田徑選手 200 公尺速度表現之影響。運動表現期刊，4 卷 1 期，23-31 頁。
- [Chen, T.-S., Chen, C.-H., & Jang, J.-T. (2017). Effects of short-term training on 200 meter performance in young sprinters. *Journal of Sports Performance*, 4(1), 23-31.]
- 曾台霖（2016）。三天小型比賽訓練對足球選手專項耐力之影響（未出版之碩士論文，桃園市，國立體育大學競技學院競技與教練科學研究所）。
- [Tseng, T.-L. (2016). *The effect of three days small-side game training on endurance capacity in football players* (Unpublished master's thesis, National Taiwan Sport University, Taoyuan, Taiwan).]
- 蕭婉柔（2015）。急性短期不同高強度間歇訓練負荷型態對無氧能量路徑及心率變異度之效果（未出版之碩士論文，桃園縣，國立體育大學競技學院競技與教練科學研究所）。
- [Siao, W.-R. (2015). *The effect of acute high-intensity-interval-training loaded on anaerobic energy pathway and heart rate variability* (Unpublished master's thesis, National Taiwan Sport University, Taoyuan, Taiwan).]
- Äyrämö, S., Vilmi, N., Mero, A. A., Piirainen, J., Nummela, A., Pullinen, T., ... Linnamo, V. (2017). Maturation-related differences in neuromuscular fatigue after a short-term maximal run. *Human Movement*, 18(3), 17-25. doi:10.1515/humo-2017-0027
- Bacher, A. (2005). Effects of body temperature on blood gases. *Intensive Care Medicine*, 31(1), 24-27. doi:10.1007/s00134-004-2369-3
- Beaven, C. M., Kilduff, L. P., & Cook, C. J. (2018). Lower-limb passive heat maintenance combined with pre-cooling improves repeated sprint ability. *Frontiers in Physiology*, 9, 1064. doi:10.3389/fphys.2018.01064
- Bloom, M. (2018). *Effects of fan cooling at room temperature on indoor 20-km cycling time trial performance* (Master's thesis). Retrieved from https://pdxscholar.library.pdx.edu/open_access_etds/4482
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans: Metabolic adaptations to sprint or endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, 586(1), 151-160. doi:10.1113/jphysiol.2007.142109
- 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. doi:10.1152/jappphysiol.01095.2004
- Chen, T. C., & Hsieh, S. S. (2001). Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1732-1738. doi:10.1097/00005768-200110000-00018
- Coburn, J. W., Housh, T. J., Malek, M. H., Weir, J. P., Cramer, J. T., Beck, T. W., & Johnson, G. O. (2006). Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *Journal of Strength and*

- Conditioning Research*, 20(4), 892-898. doi:10.1519/R-18745.1
- Emberts, T., Porcari, J., Dobers-tein, S., Steffen, J., & Foster, C. (2013). Exercise intensity and energy expenditure of a tabata workout. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(3), 612-613.
- Fricke, R. (1989). Ganzkörperkältetherapie in einer Kältekammer mit Temperaturen um 110 °C. *Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Med. Klimatologie*, 18, 1-10.
- Gharbi, A., Chamari, K., Kallel, A., Ahmaidi, S., Tabka, Z., & Abdelkarim, Z. (2008). Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(2), 279-285.
- Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance: Rapid adaptations to sprint or endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901-911. doi:10.1113/jphysiol.2006.112094
- Gibala, M. J., McGee, S. L., Garnham, A. P., Howlett, K. F., Snow, R. J., & Hargreaves, M. (2009). Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 α in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 929-934. doi:10.1152/jappphysiol.90880.2008
- Jang, J.-T., Wang, Y.-C., Chen, C.-H., & Chan, Y.-S. (2012). Die Anpassungen eines fünftägigen hypoxie-trainings auf metabolismus und Kreislauf beim 400 m Läufer. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(7-8), 245.
- Joch, W., & Ückert, S. (2003). Ausdauerleistung nach Kälteapplikation. *Leistungssport*, 33, 17-22.
- Kasai, N., Kojima, C., Sumi, D., Takahashi, H., Goto, K., & Suzuki, Y. (2017). Impact of 5 days of sprint training in hypoxia on performance and muscle energy substances. *International Journal of Sports Medicine*, 38(13), 983-991. doi:10.1055/s-0043-117413
- Kaspar, F., Jelinek, H. F., Perkins, S., Al-Aubaidy, H. A., deJong, B., & Butkowski, E. (2016). Acute-phase inflammatory response to single-bout HIIT and endurance training: A comparative study. *Mediators of Inflammation*, 2016, 5474837. doi:10.1155/2016/5474837
- Klimek, A. T., Lubkowska, A., Szygula, Z., Fraczek, 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. doi:10.2478/s13382-011-0017-z
- Kravitz, L. (2014). Metabolic effects of HIIT. *IDEA Fitness Journal*, 11(5), 16-18.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? High-intensity and high-volume training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s2), 1-10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
- Liang, H., & Ward, W. F. (2006). PGC-1 α : A key regulator of energy metabolism. *Advances in Physiology Education*, 30(4), 145-151. doi:10.1152/advan.00052.2006
- Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., ... Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1554-1560. doi:10.1152/jappphysiol.00921.2011
- Liu, Y., Su, H., Jiang, Z., Wen, T., & Shao, J. (2018). PO-098 effect of HIIT on mitochondrial telomerase of skeletal muscle in aged rats. *Exercise Biochemistry Review*, 1(3). doi:10.14428/eb.v1i3.11723
- Mader, A. H., Liesen, H. H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schurch, P., & Hollman, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt Sportmed*, 27, 80-88.
- Matsukawa, T., Motojima, H., Sato, Y., Takahashi, S., Villareal, M. O., & Isoda, H. (2017). Upregulation of skeletal muscle PGC-1 α through the elevation of cyclic AMP levels by cyanidin-3-glucoside enhances exercise performance. *Scientific Reports*, 7, 44799. doi:10.1038/srep44799
- Murray, T. R., Chen, L., Marshall, B. E., & Macarak, E. J. (1990). Hypoxic contraction of cultured pulmonary vascular smooth muscle cells. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 3(5), 457-465. doi:10.1165/ajrcmb/3.5.457
- Nielsen, B., Savard, G., Richter, E. A., Hargreaves, M., & Saltin, B. (1990). Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1040-1046. doi:10.1152/jappl.1990.69.3.1040

- Papenfuß, W. (2005). *Die Kraft aus der Kälte: Ganzkörperkältetherapie bei -110° Celsius: Eine physikalische Kurzzeittherapie mit Langzeitwirkung*. Regensburg, German: Edition K.
- Quod, M. J., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2006). Cooling athletes before competition in the heat. *Sports Medicine*, 36(8), 671-682. doi:10.2165/00007256-200636080-00004
- Rakobowchuk, M., Tanguay, S., Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Gibala, M. J., & MacDonald, M. J. (2008). Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), R236-R242. doi:10.1152/ajpregu.00069.2008
- Riggs, C. E., Johnson, D. J., Konopka, B. J., & Kilgour, R. D. (1981). Exercise heart rate response to facial cooling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 47(4), 323-330. doi:10.1007/BF02332959
- Selmi, O., Ben khalifa, W., Zouaoui, M., Azaiez, F., & Bouassida, A. (2018). High intensity interval training negatively affects mood state in professional athletes. *Science & Sports*, 33(4), e151-e157. doi:10.1016/j.scispo.2018.01.008
- Smith, J. A., Yates, K., Lee, H., Thompson, M. W., Holcombe, B. V., & Martin, D. T. (1997). Pre-cooling improves cycling performance in hot/humid conditions 1501. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 263. doi:10.1097/00005768-199705001-01500
- Ückert, S., & Joch, W. (2003). Der Einfluss von Kälte auf die Herzfrequenzvariabilität. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 33(2), 14-20.
- Wang, Y. C., Smith, R. S., & Jang, J. T. (2009). *Effects of 3 days training with hyperoxia on metabolism and systemic circulation*. Paper presented at the meeting of 14th Annual Congress of European College of Sport Science, Oslo, Norway.

Effect of Single High Intensity Combined Training With Cryotherapy on Cardiovascular System, Energy Metabolism and Aerobic—Anaerobic Threshold

Yi-Ching Fang¹, Jia-Tzer Jang², Bo-Yoon Lee¹, Chia-Hui Chen³, and Te-Sheng Chen²

¹Graduate Institute of Athletics and Coaching Science, National Taiwan Sport University, Taoyuan 333, Taiwan

²Sport Performance Diagnostic Institute, National Taiwan Sport University, Taoyuan 333, Taiwan

³Sporting Education Office, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei 106, Taiwan

Corresponding Author: Yi-Ching Fang
E-mail: fleanna1992@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of single high intensity combined training with cryotherapy on cardiovascular system, energy metabolism, and aerobic—anaerobic threshold. Eight students participated in this study. The experiment was divided into aerobic—anaerobic threshold test and the training; both were done using an ergometer. The 1st phase of the aerobic—anaerobic threshold test started at 100 watts. Every phase lasted 3 min, and the power was increased 30 watts in each successive phase until subjects' efforts peaked. The training was divided into continuous and intermittent exercise: the intensity of continuous exercise was at the individual anaerobic threshold of 6 mmol/L (10 min). Intensity for the intermittent exercise was individual incremental test maximum load (4 × 90 sec). Cryotherapy (-120°C) lasting 20 sec was applied after pretest and posttest, also before, between, and after training. Results of the comparison of body surface temperature at each time point and before exercise showed that it decreased by 9.28°C after the first cryotherapy and 10.70°C after the second, with no significant difference in blood gas. The average heart rate increased 9.38 beats per minute (bpm) at the fifth and tenth minutes of continuous exercise, while the difference between the first and fourth periods of intermittent exercise was 15.25 bpm. Lactate concentration after the first minute of continuous exercise was 9.64 ± 1.52 mmol/L. After the tenth minute it was 6.68 ± 1.89 mmol/L, with a difference of 2.96 mmol/L. The corresponding difference for intermittent exercise was 2.16 mmol/L. The difference in blood ammonia between the two tests at the end of the recovery period was 15.50 mmol/L. The aerobic threshold increased 13.91 watts, and the heart rate decreased by 3.75 bpm. The anaerobic threshold at 4 mmol/L increased by 5.74 watts. We conclude that cryotherapy before during and after exercise did not make significant difference on blood gas and lactate,



but it did decrease the body surface temperature, and tended to increase the partial pressure of oxygen (PO_2) and reduce that of carbon dioxide (PCO_2). In addition, a single instance of high-intensity exercise can quickly increase aerobic and anaerobic threshold endurance.

Keywords: blood gas, blood ammonia, lactate