



超低溫應用對高強度組合運動重碳酸鹽及乳酸調節之效果

方奕晴¹ 張嘉澤² 陳佳慧³

¹ 國立體育大學競技與教練科學研究所 ²SPDI 運動能力診斷與訓練調整研究中心 ³ 國立臺灣科技大學

壹、問題背景

高強度運動負荷下，肌肉的收縮將導致乳酸及氫離子 (H^+) 的生成與累積，並引起體內 pH 值下降 (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2005)。而休息時體內 pH 值將由鈉氫轉運蛋白 (Na^+/H^+ exchanger) 或碳酸氫鹽 (Bicarbonate) 輸送系統所調節 (Juel, 1997, 1998)。

為避免負荷壓力而引起的肌肉疲勞，初始應用於治療類風濕性關節炎的超低溫 (Yamauchi, Nogami, & Miura, 1981) 也開始應用於運動訓練中。過往研究中發現運動前進行超低溫冷卻有助於降低負荷時的乳酸及血氨生成，亦降低心跳率 (Joch, Ückert, & Fricke, 2004)；應用於運動中及負荷結束後的研究，也發現能加速乳酸排除並調節 pH 值 (Khashaba, 2013)。

然而，乳酸濃度的改變與重碳酸鹽 (HCO_3) 是密切關聯的 (Beaver, Wasserman, & Whipp, 1986)，而 HCO_3 亦影響運動的持續能力 (Yoshida et al., 1989)。超低溫冷卻在改善乳酸濃度的同時對於 HCO_3 會產生何種改變有待商榷，故本研究將探討超低溫應用對高強度組合運動重碳酸鹽及乳酸調節之效果。

貳、研究方法

對象

本研究以 8 名體育科系學生為受試者，平均年齡為 24.6 ± 3.1 歲，身高 168.9 ± 5.9 cm，體重 69.4 ± 8.7 kg。其運動頻率為每周至少三次，每次大於 20 min，且不具有運動傷害。

方式

本研究實驗由基礎耐力測試、高強度組合運動以及超低溫應用所組成，共為期兩天，運動負荷皆以腳踏車測功儀進行。第一天進行基礎耐力測試 (Mader, 1976)，每階持續 3 min，初始功率為 100 Watt，後續則每 3 min 增加 30 Watt，當受試者達到最大負荷時結束。高強度組合運動包含持續負荷以及間歇負荷 (間隔 13 min)，根據閥值耐力測試結果訂定運動強度。持續負荷以個人無氧閥值 (6 mmol/l) 的功率進行 10 min 持續騎乘 (70-80 rpm)。間歇負荷以個人最大負荷功率進行 4×90 s (70-80 rpm)，間歇 60 s 則以 100 Watt 維持 60-70 rpm 騎乘。超低溫應用以半罩式低溫艙進行，溫度設定於 -120°C ，每次 120 s，兩次為一組，次間隔 3 min。於基礎耐力測試、持續負荷及間歇負荷結束後 3 min 各實施一組，於持續負荷前 3 min 亦實施一組。觀察的生物參數有：心跳率 (HR)、乳酸 (La)、重碳酸鹽 (HCO_3)、體表溫度 (Temp)。

參、結果分析與討論

結果分析顯示 (圖-1)，持續負荷前 3 min 冷卻後 (Cool-1)，體表溫度下降至 $24.3 \pm 3.6^\circ\text{C}$ ， HCO_3 則上升至 27.0 ± 1.3 mmol/l。持續 (Exe-1) 及間歇 (Exe-2) 負荷後，體表溫度分別上升至 $30.2 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 及 $29.3 \pm 2.3^\circ\text{C}$ ，乳酸則分別上升到 9.64 ± 1.6 mmol/l、 8.9 ± 2.7 mmol/l， HCO_3 下降至 16.8 ± 2.2 mmol/l、 17.4 ± 2.6 mmol/l。兩次負荷間 (Cool-2) 與負荷結束 (Cool-3) 進行超低溫冷卻後，體表溫度平均為 $22.4 \pm 4.3^\circ\text{C}$ ， HCO_3 分別增加 2.7 ± 1.3 mmol/l 及 2.1 ± 1.1 mmol/l，乳酸各為減少 3.0 ± 1.6 mmol/l 及 2.2 ± 0.6 mmol/l。運動過程中， HCO_3 與乳酸的調節 (圖-2)，兩者呈現負相關 ($r=0.9$)。

由結果發現， HCO_3 與乳酸在高強度組合運動中隨著負荷壓力、體溫上升以及超低溫冷卻呈現反向的調節。負荷時，高強度引起體內代謝需求快速上升，無氧糖酵解途徑成為供應肌肉收縮的主要能量來源，在消耗能量的同時也將伴隨熱能的產生。在產生乳酸的過程， H^+ 濃度也隨之上升 (di Prampero & Ferretti, 1999)，而溫度上升亦將提高 H^+ 的活性。為避免體內酸鹼狀態失衡， HCO_3 將與過多的 H^+ 還原為碳酸，也致使 HCO_3 濃度下降 (Casiday & Frey, 2012; Kreisberg, 1980)。

在兩次負荷間以及負荷結束進行超低溫冷卻後，體內代謝壓力趨緩，血液緩衝系統進行解離作用，釋出 HCO_3 。過去研究指出超低溫冷卻有助於加速乳酸排除 (Joch, Ückert, & Fricke, 2004)，其機制為透過溫度變化影響微血管收縮，以及回溫後微血管舒張，進而加速體內血液流動以促進代謝效率。而此機制似乎也有助於 HCO_3 的調節。在未經過任何運動負荷而進行超低溫冷卻後 (Cool-1)， HCO_3 濃度呈現上升的趨勢。這也許是低溫冷卻後，體溫下降的影響，造成 H^+ 活性變小，加上回溫後微血管舒張使血流速度變快，促使解離作用進行，因而提升 HCO_3 含量。Khashaba (2013) 於研究中進行運動中及運動後的低溫冷卻，發現低溫有助於乳酸及 pH 的恢復，與本研究中 Cool-2 及 Cool-3 呈現類似的現象。

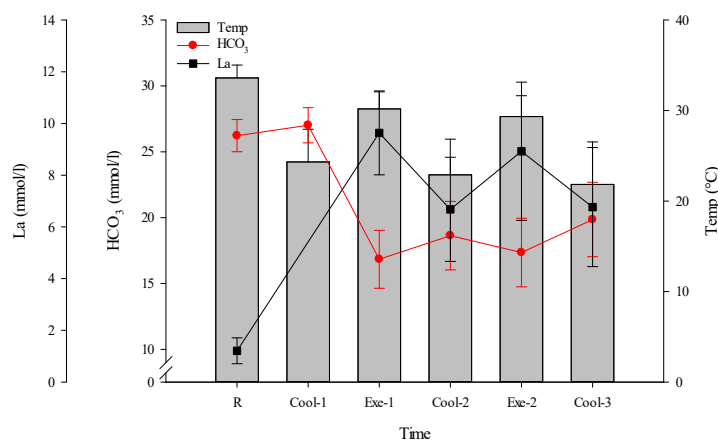


圖-1 高強度組合運動 HCO_3 、乳酸及體表溫度之變化

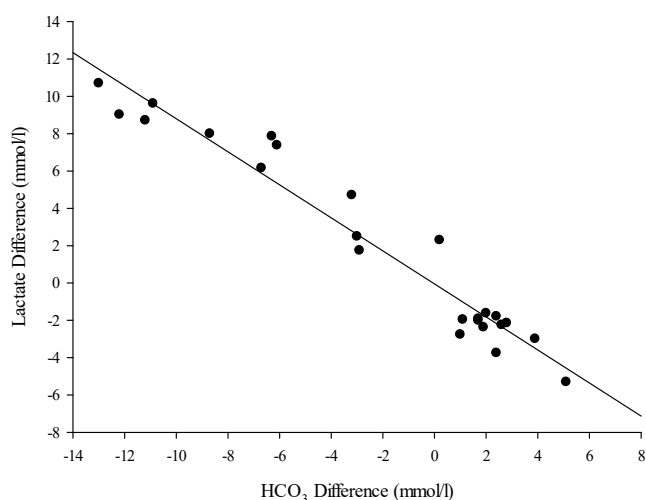


圖-2 HCO_3 與乳酸之調節變化關係

肆、結論

HCO_3 與乳酸在高強度組合運動中隨著負荷壓力、體溫上升以及超低溫冷卻呈現反向的調節，而超低溫冷卻除了有助於乳酸排除，似乎也有益於 HCO_3 的調節。

参考文献

- Beaver, W. L., Wasserman, K. A. R. L. M. A. N., & Whipp, B. J. (1986). Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 60(2), 472-478.
- Brooks, G.A., Fahey, T.D., & Baldwin, K.M. (2005). Exercise Physiology. Human Bioenergetics and its Applications (4. Auflage). Boston: McGrawHill Higher Education.
- Casiday, R., & Frey, R. (2012). Blood, Sweat, and Buffers: pH Regulation During Exercise. *Washington University*, 1-12.
- di Prampero, P. E., & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration physiology*, 118(2-3), 103-115.
- Joch, W., Ückert, S., & Fricke, R. (2004). Die Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kälteapplikation für die Realisierung sportlicher Leistungen I. *BiSp-Jahrbuch 2004*, 245-252.
- Juel, C. (1997). Lactate-proton cotransport in skeletal muscle. *Physiological reviews*, 77(2), 321-358.
- Juel, C. (1998). Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 359-366.
- Khashaba, A. S. (2013). Effect of cryotherapy on blood lactate concentration and blood pH in two swimming races in one session. *European Journal of Sports Medicine*, 1(1).
- Kreisberg, R. A. (1980). Lactate homeostasis and lactic acidosis. *Annals of Internal Medicine*, 92(2_Part_1), 227-237.
- Mader, A. H. (1976). Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt sportmed*, 27, 80-88.
- 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.
- Yoshida, T., Udo, M., Chida, M., Makiguchi, K., Ichioka, M., & Muraoka, I. (1989). Arterial blood gases, acid-base balance, and lactate and gas exchange variables during hypoxic exercise. *International journal of sports medicine*, 10(04), 279-285.