



不同氧氣濃度 Warm up 對腳踏車測功儀運動負荷無氧代謝

黃沛蓁¹ 張嘉澤² 鄭晉賢³

¹ 國立體育大學競技與教練科學研究所

壹、緒論

運動前需要足夠的熱身已是眾所皆知，不只是選手甚至一般人，有效的熱身可以大幅降低運動傷害也可快速進入比賽模式，然而熱身的內容包含強度、時間、恢復時間及環境皆可能影響比賽時的運動表現。過去多篇研究證實運動前熱身(Warm-up)皆有助於提升運動表現透過熱身運動使肌肉收縮產生熱能提高體內溫度，有助於活化體內代謝反應、細胞內酶的活性、提升肝醣分解速率、血液流速及神經傳導速度，並減少肌肉沾黏等(Bishop,2003)。另外 Gladwell&Coote 指出心跳率會隨著肌肉收縮而上升，使體內血液流量增加，提高氧氣輸送效率增加有氧代謝延緩運動中進入體內無氧代謝，降低乳酸生成速度。(2002)

受到環境下氧分壓下降之影響，導致身體出現動脈血氧飽和度下降，而此現象將會促使血紅素結合氧氣能力下降，使作用的肌群產生缺氧現象，且實驗發現在低氧環境運動會造成脂肪使用率下降，及碳水化合物代謝率增加 (Geiser et al.,2001)。Manfred and Fuchs (1990) 指出，在低氧環境對人體的刺激在於空氣壓力、 pO_2 、 pCO_2 的下降，因此在此狀態下運動將增加無氧糖酵解的使用率及心跳率的上升。且當體內氧氣調節能力下降時也會影響大腦自主調控能力，使身體動作控制能力降低。(Gatto et al.,2007)

在低氧訓練的研究也發現從事低氧訓練後能促進回到常氧環境下的肺通氣量和有氧能力(Wang,Wu,Mao,Fu&Hsu,2010)。且低氧訓練對身體的適應有不同的效果，透過低氧介入運動時亦可增加交感神經活性，調節心肺壓力的感受性。(Katayama,Ishida,Saito,Koike,&Ogoh,2016)

蕭敬儒、陳佳慧、張嘉澤研究指出以 7 名大專運動員於不同氧氣環境進行 2000m 室內划船運動，相較常氧環境下受試者無法於低氧環境中維持高力量輸出，即低氧負荷量大於常氧。

在競技運動下，想要消耗最少的體能並同時達到足夠的熱身維持最佳的狀態上場，如何制定短時間並且有效率的熱身是值得探討的，因此本研究結合低氧環境使用於熱身研究對於訓練之影響。

貳、研究方法

對象

本研究實驗受試者為 6 名健康成人 (年齡 32.8 ± 15.8 歲、身高 169 ± 10.5 cm、體重 67.4 ± 18.8 kg)。研究測試分為低氧 (O_2 -13%) 與常氧 (O_2 -20.9%) 熱身 (Warm up) 兩項。兩項 Warm up 強度皆為 2.3 m/s (3 min) 與 2.5 m/s (2 min)。腳踏車測功儀運動負荷則為 3W/kg，運動範圍 3 次 60s (3x60s)，RPM 轉速為 90-100，每次間歇 60s。生物參數收集包含心跳率 (HR)、乳酸 (La)。兩項 (低氧、常氧) 研究測試間隔 24h (圖-1)。研究測試採用平衡次序法進行，所有數據以平均數呈現，數據統計採用 t-Test 進行分析。

參、結果分析與討論

結果分析顯示在低氧熱身後 (R2) 血液乳酸堆積濃度為 4.2 ± 1.8 mmol/l，常氧環境則為 1.8 ± 0.6 mmol/l，兩項平均值差異 $+2.4$ mmol/l ($p > 0.05$)。運動結束恢復期第一分鐘 (E1) 乳酸堆積分別為 8.7 ± 2.9 mmol/l (WU O_2 -13%)、 7.5 ± 1.3 mmol/l (WU O_2 -20.9%)，兩項平均值差異 $+1.2$ mmol/l ($p > 0.05$)。恢復期 E5 分鐘兩項平均值差異為 $+1.4$ mmol/l (圖-2)。

運動負荷心跳率分析顯示在兩項不同氧氣濃度熱身 (WU) 後，心跳率平均值分別為 160 ± 17 min^{-1} (O_2 -13%)、 147 ± 17 min^{-1} (O_2 -20.9%)，兩項平均值差異 $+13$ min^{-1} ($p < 0.05$)。運動負荷第一次 (1x) 與第三次 (3x) 平均值差異皆為 $+3$ min^{-1} ($p > 0.05$) (圖-3)。

本研究比較不同環境熱身，結果顯示在常氧環境下乳酸及心跳皆低於低氧環境，如圖-2、圖-3 所示，此現象可了解在低氧環境下熱身會造成選手後續運動代謝反應有較大負荷，導致氧氣進入身體組織的能力下降，相對造成運動強度的提高，因而增加生理壓力 (Sinex&Chapman,2015)，在低氧熱身後乳酸平均值已高於 2 mmol/l，已超過運動員的有氧閾值，進入有-無氧閾值混合區間；運動結束後乳酸平均值已達 8.72 mmol/l，此時肌肉收縮、能源供應及神經傳導速度將會受到影響，導致疲勞的產生。在問題背景中提到低氧介入在運動期間會增加誘發交感神經活性，調節心肺壓力的感受性 (Katayama, Ishida, Saito, Koike, & Ogoh, 2016)，於常氧環境下可提升心肺功能表現，於本研究中並無明顯表現。可能原因在於低氧訓練需經過一段時間適應後，肌肉組織與體內循環能力才能獲得明顯提升 (Dufour et al., 2006; Zoll et al., 2006)，本實驗熱身時間總

共為 5 分鐘身體尚未產生適應即回到常氧環境進行因此並無改善。另外在低氧環境進行運動負荷，提早啟動碳水化合物做為主要能量來源，其原因在於人體為了因應環境變化刺激，所產生的生理調節，低氧的刺激對於細胞層面的生理反應，氧氣的不足將導致氧化磷酸化受到抑制，故在安靜狀態下，游離脂肪酸的氧化轉向糖酵解 (Hochachka et al.,1991)。當人體開始動用無氧糖酵解做為主要能量來源時，其路徑下的副產物乳酸及氫離子將迅速堆積。

在所有生物參數中，心跳率是最容易取得與應用的生理參數，本研究受試者之心跳在熱身時平均值差異 $+13$ min^{-1} ($p < 0.05$)，但在運動負荷第一次 (1x) 與第三次 (3x) 平均值差異皆為 $+3$ min^{-1} ($p > 0.05$)，此現象顯示在低氧環境下比起常氧環境熱身，提升了更高的負荷量。Sheffield and Heimbach (1996) 以不同高度對於人體生理反應之研究指出，在低氧環境下將有呼吸率、心跳率以及心輸出量提高之症狀產生與本研究結果相符。本實驗證實低氧環境進行熱身可使肌肉快速收縮達到熱身效果，但在強度上的設定能再進一步探討。

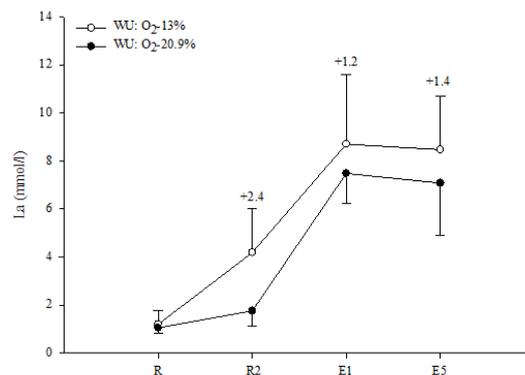


圖-1 低氧-常氧熱身 (WU) 後腳踏車測功儀運動負荷血液乳酸 (La) 堆積濃度分析

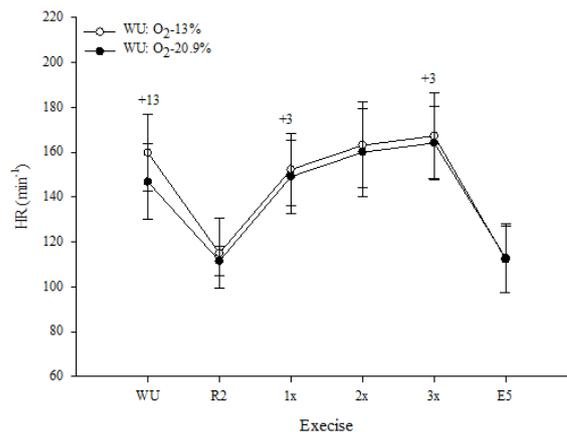


圖-2 低氧-常氧熱身 (WU) 後腳踏車測功儀運動負荷心跳率 (HR) 分析

肆、結論

結論：研究數據分析發現，在低氧 (O_2 -13%) 環境進行熱身會增加隨後的運動肌肉無氧代謝反應，但是在體循環心跳率上，並未呈現明顯差異。本研究只有進行一項氧氣濃度 (O_2 -13%) 測試，未來將再進行其他不同濃度氧氣測試分析，探知其變化結果，以提供最佳的熱身環境。