



急性常壓低氧運動負荷對生理機制調節之反應

陳宇恆¹ 張嘉澤¹ 方奕晴¹

¹ 國立體育大學競技與教練科學研究所

壹、問題背景

在低氧環境下，人體的呼吸功能必須作出調整，以代償在低氧所減少的 pO₂ (氧氣分壓)，包括改變換氣、血紅素對氧氣的依賴性以及血紅素的濃度 (Fox, 2002)。一般呼吸系統健康的人在平地環境下血氧飽和濃度 (SpO₂) 介於 95-98%，根據世界衛生組織對缺氧的定義為 SpO₂ 低於 94%，若低於 90% 表示需要採用臨床的措施 (World Health Organization, 2011; Smith et al., 2012)。在低氧環境下進行運動訓練將提高以碳水化合物做為主要能量來源之比例，加上 pO₂ 下降的影響，導致身體出現 SpO₂ 下降的現象 (Geiser et al., 2001)，此時細胞供應的氧氣將不足以維持有氧代謝之所需，糖解作用 (glycolysis) 將轉向乳酸去氫酶 (lactic dehydrogenase) 系統，此途徑將導致乳酸的堆積而造成血液 pH 值下降 (Ernsting, 1965)。

低氧訓練能有效改善人體心血管功能，提高血液氧氣運輸與氧氣利用的能力使運動能力提升，也促使交感神經活化並增加心跳率，交感神經活化的影響將導致不同血管做調節，使血管擴張及血流增加，保持器官氧氣供給 (Rowell et al., 1989; Westendorp et al., 1997)，在低氧環境下，因血液含氧量下降而誘發出缺氧誘導因子 (hypoxia-inducible factors-1 α , HIF-1 α)，同時低氧過程中血液一氧化氮 (NO) 增加，調節肌肉周邊的血管擴張與血流速度，提高肌肉的氧氣供應 (Semenza et al., 1999; Timothy et al., 2002)。另一生理機制則是 HIF-1 α 的刺激產生 VEGF (vascular endothelial growth factor) (Heinicke et al., 2002)，使血管生成改善氧氣運輸，並透過改善葡萄糖運輸和糖酵解酶活性誘導骨骼肌對耐力訓練的適應。最後，在低氧狀態下的訓練會增加 PGC-1 α mRNA 的釋放 (Zoll et al., 2006)，從而誘發粒線體的生成。因此，本研究目的旨在探討在低氧環境低負荷強度對生理機制反應之影響。

貳、研究方法

受試者為 6 名健康成人 (男性)，年齡為 26.3 $\pm$ 2.7 歲，身高與體重則分別為 178 $\pm$ 5.9cm、71.5 $\pm$ 8.5kg。研究測試在低氧環境下，氧氣濃度為 O₂-13%，低氧環境生物參數收集包含血液乳酸 (La) 心跳率 (HR)、血氧飽和濃度 (SpO₂)。低氧環境生物參數收集包含血液乳酸 (La) 與心跳率 (HR)、血氧飽和濃度 (SpO₂)。

參、結果分析與討論

數據分析顯示低氧環境血氧飽和濃度 (SpO₂) 介於 63-88% 之間，運動知覺量表 (RPE) 則介於 9-15，兩項呈現正相關 (r=0.492)。血液乳酸濃度在第一次 (1x) 運動負荷為 2.7 $\pm$ 0.4 mmol/l，第三次 (3x) 則為 3.9 $\pm$ 0.3 mmol/l，兩次差異 +1.2 mmol/l (p>0.05)。運動負荷心跳率在第一次與第三次分別為 148 $\pm$ 14 min⁻¹ 與 159 $\pm$ 9.9 min⁻¹，兩項平均值差異 +11 min⁻¹ (p<0.05)。

結果分析顯示乳酸值在最後一次 (3x) 平均值只有達到 4 mmol/l 而已，此現象表示本研究低氧運動負荷強度不高，低氧運動負荷乳酸值不高的可能原因是血液的 SpO₂ 還維持在 80% 以上，因此未因低氧環境壓力而造成缺氧，所以未走向太高的無氧糖酵解路徑 (圖-2)。

恢復期乳酸值下降速度慢，可能原因是因為在低氧環境下氧氣濃度低的關係，導致體內細胞產生壓力，進而使肌肉細胞內乳酸滲透到血液速度慢，所以使恢復期乳酸下降慢 (圖-2)。SpO₂ 與 RPE 方面，在低氧環境恢復期 SpO₂ 介於 74-90，RPE 介於 7-10，且在低氧環境 SpO₂ 低時，RPE 並未因低氧環境壓力而上升，代表本研究運動負荷未造成生理壓力 (圖-1)。

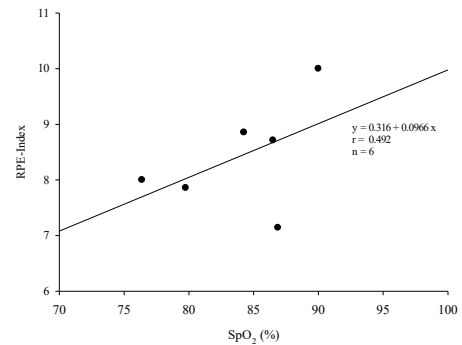


圖-1：低氧 (O₂-13%) 運動負荷與恢復期之血氧飽和濃度 (SpO₂) 與運動負荷知覺量表 (RPE-Index) 相關分析

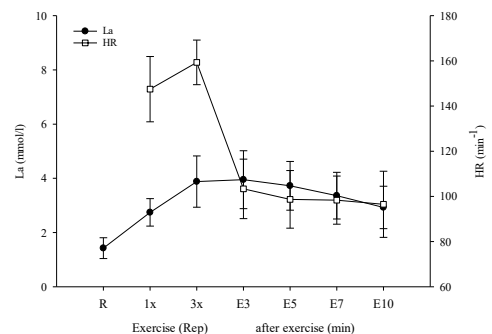


圖-2：低氧運動負荷與恢復期血液乳酸濃度與心跳率曲線分析

肆、結論

本研究結果分析發現低氧運動負荷強度未造成肌肉缺氧壓力，另一現象則是低氧環境出現高心跳率症狀。但是在恢復期心跳率則呈現快速下降反應，這種機制可能原因是在低氧環境下血液產生 NO 的關係，誘發血管擴張，提高血流速度所致。因此建議一般人欲提高體循環功能可以應用本研究方式進行。

參考文獻

- Ernsting J. (1965). The effects of anoxia on the central nervous system, In: A Textbook of Aviation Medicine (1st. edition), J.A. Gillies (Ed.), 270-289, Pergamon Press, Oxford.
- Fox, S. I. (2002). Human Physiology, 7th ed. McGraw-Hill, Inc. 508-531.
- Geiser, J., Vogt, M., Billeter, R., Zuleger, C., Belforti, F., & Hoppeler, H. (2001). Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. International Journal of Sports Medicine, 22, 579-585.
- Heinicke, K., Hofer, T., Wenger, R. H., Gassmann, M. (2002). Die zelluläre Antwort auf Sauerstoffmangel. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Jahrgang 53, 270-276.
- Rowell, L. B., Johnson, D. G., & Chase, P. B. (1989). Hypoxemia raises muscle athletic activity but not norepinephrine. Journal of Applied Physiology, 66, 1736-1743.
- Semenza, G.L. (1999). Regulation of mammalian O₂ homeostasis by hypoxia-inducible factor 1. Annual review of cell and developmental biology, 15, 551-578.
- Gary B Smith, David R Prytherch, Duncan Watson, Val Forde, Alastair Windsor, Paul E Schmidt, Peter I Featherstone, Bernie Higgins, Paul Meredith. (2012). S(p)O₂ values in acute medical admissions breathing air--implications for the British Thoracic Society guideline for emergency oxygen use in adult patients? Resuscitation, 83(10):1201-5.
- Timothy J McMahon, Richard E Moon, Ben P Luschingier, Martha S Carraway, Anne E Stone, Bryant W Stolp, Andrew J Gow, John R Pawloski, Paula Watke, David J Singel, Claude A Piantadosi, Jonathan S Stamler (2002). Nitric oxide in the human respiratory cycle. Nature medicine, 8(7):711-7.
- Westendorp, R. G. J., Blauw, G. J., Frolich, M., & Simons, R. (1997). Hypoxic Syncope. Aviation Space Environment Medicine, 68, 410-414.
- Zoll, J.; Ponsot, E.; Dufour, S.; Doutreleau, S.; Ventura-Clapier, R.; Vogt, M.; Hoppeler, H.; Richard, R.; Fluck, M. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. J. Appl. Physiol, 100, 1258-1266.