

急性高強度負荷間歇期應用不同氧氣濃度對無氧動力之影響

摘要

黃沛綦 張嘉澤 陳宏溢

研究背景：近代各項運動比賽規則改變，競賽趨向高節奏型態。運動員在比賽期間必須具備更快速的恢復能力。過去研究發現運動負荷的適應與急性調節機制，是比賽勝利的關鍵。短時間高強度運動負荷，運動員是否產生肌肉疲勞反應，取決於肌肉是否儲存足夠之 ATP。在高氧與低氧研究上也發現不同的效果，目前低氧在運動上的應用則以常壓低氧 (Normobaric hypoxia) 為主，其主要訓練目的也不再只提升競技能力，而是以恢復再生 (Regeneration) 作為應用的目的。低氧與高氧的應用皆有不同的效果，對於運動訓練也有不同的效益。因此本研究目的旨在探討運動間歇期應用不同氧氣濃度是否對無氧代謝產生影響。**方法：**研究受試者為 5 名健康成人 (年齡 31 ± 17 歲、身高 171 ± 7 cm、體重 71 ± 10 kg)。研究測試分為低氧 (O_2 -12.6%) 與高氧 (O_2 -70%) 兩項，運動強應用 Wingate Test 方式設定，運動持續時間為 10s，共 2 次。每次間歇總時間 10 分鐘，其中 7 分鐘呼吸低氧與高氧。研究數據收集包含乳酸 (La)、心跳率(HR)與測功儀輸出功率 (Watt)。**結果：**分析顯示低氧 (Hypoxie) 應用乳酸 (La) 堆積濃度分別為 5.07 ± 1.01 mmol/l (Pre)、 3.04 ± 0.13 mmol/l (Post)，兩次平均值差異 -2.03 mmol/l ($p>0.05$)。高氧 (Hyperoxie) 應用在 Pre 與 Post 平均值分別為 5.2 ± 71.8 、 2.8 ± 21.2 mmol/l，兩次差異 -2.45 mmol/l ($p>0.05$)。心跳率在兩次 (Pre、Post) 高氧 (Hyperoxie) 應用測試，平均值差異 -6 min⁻¹。在低氧應用則未呈現差異。**結論：**在本研究結果分析發現，運動間歇期應用呼吸高濃度氧氣可以降低肌肉無氧代謝與體循環壓力；呼吸低氧可以增加力量的輸出。訓練中建議可以使用低氧來增加運動負荷，比賽中則建議呼吸高氧降低身體壓力。

關鍵詞：常壓低氧、高氧、高強度間歇訓練

問題背景

在競賽與訓練，運動員都必需維持高競技的能力(耐力、速度、力量)。除了高競技能力的穩定，另一因素則在於運動員對運動負荷的適應與急性調節機制，才是比賽勝利的關鍵 (Krüger et al., 2015)。過去 Mader (1998) & Newsholme et al. (1992) 研究發現短時間高強度的運動負荷，運動員是否產生肌肉疲勞反應，取決於肌肉是否儲存足夠之 ATP。另一因素則在於短時間的間歇產生 ATP 的恢復機制。因此，如何在短時間內快速恢復也是值得探討的。過去研究發現運動後呼吸高濃度氧氣，可以提升恢復速度 (Peeling & Andersson, 2011; White et al, 2013; Zinner et al., 2015)。另一研究也發現呼吸高氧，可以加速血液乳酸的排除 (Maeda & Yasukouchi, 1997, 1998) 與磷酸肌酸 (phosphocreatine, pCr) 再重組 (Haseler et al, 1999; Haseler et al, 1998)。Plet et al. (1992) 的研究證實運動後恢復期呼吸高濃度氧氣，乳酸排除速率比在常氧環境快。

低氧在運動的應用，早在 1968 年墨西哥奧運之前已開始。過去皆著重在自然高地 (Altitud) 的訓練。近代低氧在運動上的應用則以常壓低氧 (Normobaric hypoxia) 為主，其主要訓練目的也不再只提升競技能力，而是以恢復再生 (Regeneration) 作為應用的目的。在氧氣濃度 13-16% (3500-2000 m) 的常壓低氧環境下進行運動訓練，將有效提升運動員耐力與運動表現 (Bailey et al., 2000; Koistinen et al., 2000)。

不論低氧或是高氧恢復，對於運動訓練皆是有益處的，但兩者之間是否有不同的恢復效果目前較少的研究，期望本研究可以比較出兩者之間的差異。

方法

本研究實驗受試者為 5 名健康成人 (年齡 31.4 ± 17.28 歲、身高 171.8 ± 7.56 cm、體重 71.4 ± 10.9 kg)。研究測試以腳踏車測功儀運動進行個人最大負荷，運動範圍 2 次 10s (2x10s)。中間分別以低氧 ($O_2-12.6\%$) 與高氧 ($O_2-70\%$) 於跑步機上進行動態恢復，跑步機速度設定為 1.3 m/s 進行 7 min。生物參數收集包含心跳率 (HR)、乳酸 (La)，兩項 (低氧、高氧) 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。

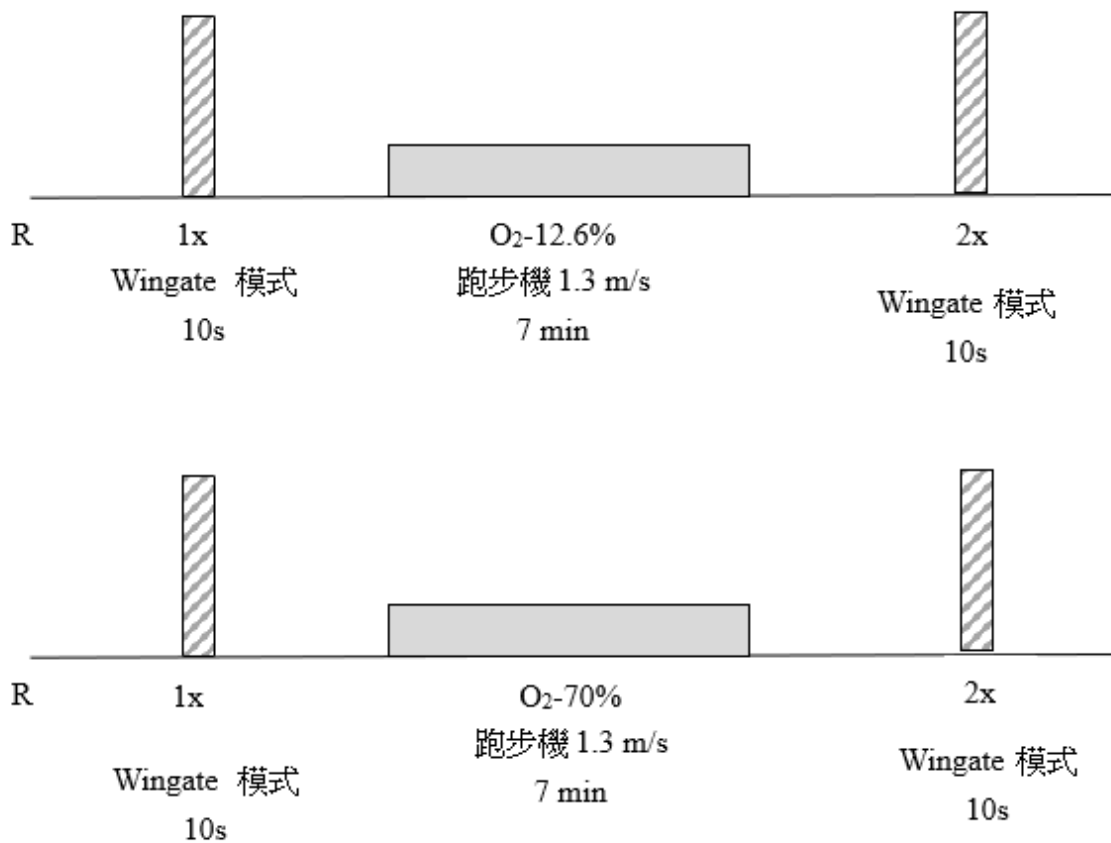


圖-1:實驗流程圖

結果分析與討論

低氧 (Hypoxie) 應用最大瓦特數分別為 727 ± 137 Watt (Pre)、 723 ± 128 Watt (Post)，兩次平均值差異 -4 Watt ($p > 0.05$)。平均瓦特數分別為 655 ± 131 Watt (Pre)、 667 ± 125 Watt (Post)，兩次平均值差異 $+12$ Watt ($p > 0.05$)。高氧 (Hyperoxie) 應用在 Pre 與 Post 平均值分別為 735 ± 140 、 728 ± 137 Watt，兩次差異 -7 Watt ($p > 0.05$)，平均瓦特 (Watt) 別為 670 ± 129 Watt (Pre)、 672 ± 127 Watt (Post)，兩次平均值差異 $+2$ Watt ($p > 0.05$) (表一)。

表-1: 間歇期不同氧氣濃度腳踏車測功儀輸出功率 (PP) 與平均功率 (AVG)

Oxygen	Pre		Post	
	PP	AVG	PP	AVG
Hypoxie	727 ± 137	655 ± 131	723 ± 128	667 ± 125
Hyperoxie	735 ± 140	670 ± 129	728 ± 137	672 ± 127
Diff.	8	15	5	5

結果分析顯示低氧 (Hypoxie) 應用乳酸堆積濃度分別為 5.07 ± 1.01 mmol/l (Pre)、 3.04 ± 0.13 mmol/l (Post)，兩次平均值差異 -2.03 mmol/l ($p > 0.05$)。高氧 (Hyperoxie) 應用在 Pre 與 Post 平均值分別為 5.2 ± 71.8 、 2.8 ± 21.2 mmol/l，兩次差異 -2.45 mmol/l ($p > 0.05$) (圖-2)。

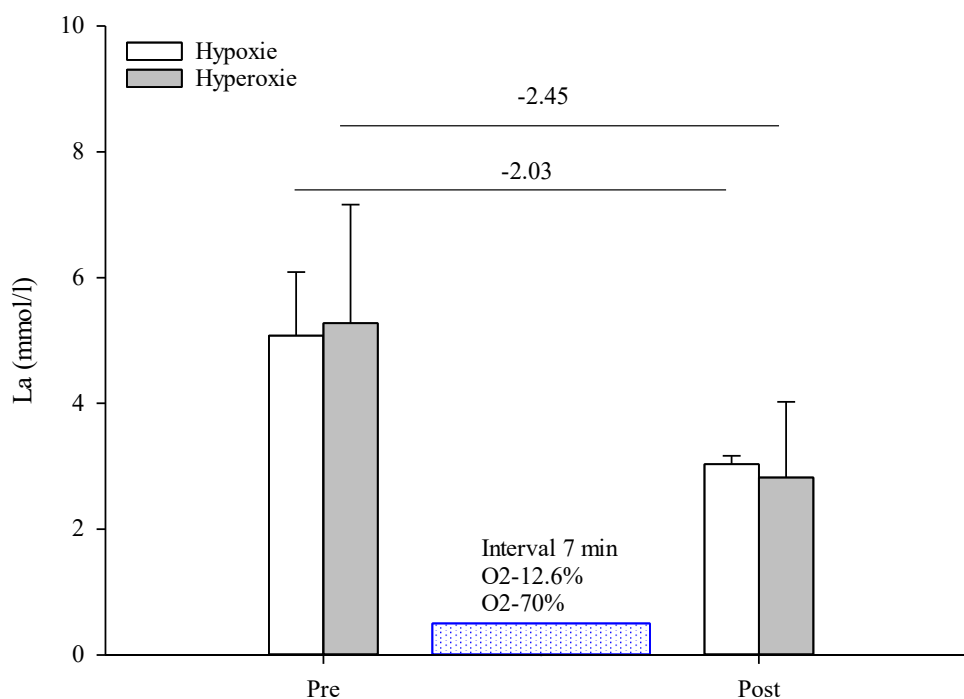


圖-2: 間歇期不同氧氣濃度對運動負荷 (Post) 血液乳酸 (La) 堆積濃度之影響

研究數據分析發現，在間歇期呼吸低氧與高氧對第二次 (Post) 的輸出功率平均值均呈現上昇 (表-1)。其中低氧應用呈現比較高的效果。這種現象顯示受試者的肌肉缺氧速度下降能夠穩定維持肌肉伸縮循環。這種生理調節反應可能與上述文獻提到在運動期間呼吸低濃度氧氣，會誘發交感神經活性。並調節心肺壓力的感受性，藉此提升在常氧環境下的心肺功能表現 (Katayama et al., 2016)。本研究另一發現，在 Post 的運動後血液乳酸 (La) 堆積濃度，也呈現下降現象 (圖-2)。這種反應，可能與過去研究發現的運動效果有關。運動員具備比一般人高的粒線體與微血管數量 (Hollmann et al., 1982)。因此，運動間歇期呼吸低氧或高氧皆能夠產生肌肉無氧代謝機制的調節。

另一研究發現呼吸高氧，可以提高動脈內氧氣的壓力 (PaO₂)，提升神經、心肺系統與能量代謝功能，特別是增加細胞內 HCO₃⁻，降低 H⁺ 濃度。這個路徑將影響無氧能量代謝的機轉，減少乳酸的形成與穩定 pH 值 (Sperlich et al., 2017)。在本研究應用高氧也呈現比較低的乳酸堆積濃度 (圖-2) 反應，可能與上述文獻產生相同的生理機制有關。

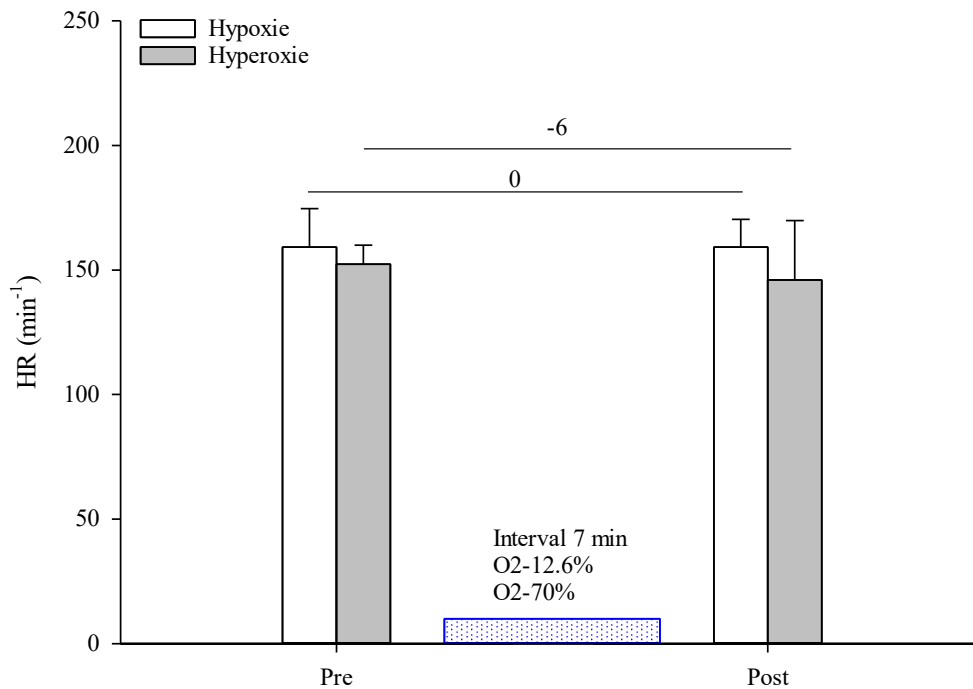


圖-3: 間歇期不同氧氣濃度對運動負荷 (Post) 心跳率 (HR) 之影響

心跳率在兩次 (Pre、Post) 高氧 (Hyperoxie) 應用測試，平均值差異 -6 min^{-1} 。在低氧應用則未差異 (圖-3)。

在高強度間歇運動中間歇期呼吸高濃度氧氣 (O₂-97%)，顯示可以降低肌肉無氧代謝壓力與心跳率 (Jang,2003)。本研究的 Post 呼吸高氧後運動測試，也呈現心跳率下降的反應 (圖-3)。但是，在間歇期呼吸低氧心跳率則未呈現差異 (圖-3)。這種生理反應，可能在於呼吸低氧期間增加去甲腎上腺素 (Adrenaline)有關，增加交感神經的活性，提高心臟壓縮的頻率。在 Rostrup (2002) 低氧相關研究發現去甲腎上腺素對心跳率產生影響。運動過程中、運動後恢復期吸入高濃度的氧氣，會使壓力荷爾蒙皮質醇濃度顯著低於常氧與低氧環境(Struder et al., 1996)。

Elbel et al. (1961) 發現運動後吸入高濃度氧氣後，使交感神經的活動被抑制，因此心跳率呈現下降較快，與本實驗結果相符。Kontos et al.(1967)、Vogel & Harris(1967)

所提出急性的低氧環境下不論是安靜或是在強度負荷下都會增加心跳率；Sheffield & Heimbach(1996)研究指出以不同高度對於人體生理反應，在低氧環境下呼吸率、心跳率以及心輸出量提高之症狀產生。

Struder et al.(1996) 研究指出運動過程中與運動後恢復期吸入高濃度的氧氣，會使壓力荷爾蒙皮質醇濃度顯著低於常氧與低氧環境與本實驗結果相符。Kontos et al.(1967)、Vogel & Harris(1967)所提出急性的低氧環境下不論是安靜或是在強度負荷都會增加心跳率，較高的高度會產生較高的心跳率，

結論

在本研究結果分析發現，運動間歇期應用呼吸高濃度氧氣可以降低肌肉無氧代謝與體循環壓力；呼吸低氧可以增加力量的輸出。訓練中建議可以使用低氧來增加運動負荷，比賽中則建議呼吸高氧降低身體壓力。

參考文獻

楊孫錦、王潔玲、廖進安、陳奕良（2020）。常壓高氧降低女性運動員阻力運動後恢復。大專體育學刊，22(2)，167-180。https://doi.org/10.5297/ser.202006_22(2).0006

魏振展、廖翊宏、陳宗與、史真真（2017）。探討低氧訓練模式在促進鐵人三項運動表現之應用效益。運動教練科學，(48)，107-121。https://doi.org/10.6194/SCS.2017.48.10

Bailey, D. M., Davies, B., & Baker, J. (2000). Training in hypoxia: Modulation of metabolic and cardiovascular risk factors in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1058-1066.

Berglund, B. (1992). High-altitude training. *Sports Medicine*, 14(5), 289-303.

Elbel, E., Ormond, D., Close, D. (1961). Some effects of breathing oxygen before and after exercise. *American Physiological Society*, 16(1), 48-52. https://doi.org/10.1152/jap.1961.16.1.48

Haseler, L. J., Richardson, R. S., Videen, J. S., & Hogan, M. C. (1998). Phosphocreatine hydrolysis during submaximal exercise: The effect of FIO₂. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1457-1463. https://10.1152/jap.1998.85.4.1457

Haseler, L. J., Hogan, M. C., & Richardson, R. S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 2013-2018. https://10.1152/jap.1999.86.6.2013

Hollmann, W., Rost, R. (1982): Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren. 120-126

Karsten Krüger, Marius Schild, Martina Zügel, Thomas Beiter, Uwe Schumann, Jürgen M. Steinacker, Andreas Nieß & Frank C. Mooren. (2015) Optimierung von Training und Wettkampf: Belastungs- und Anpassungsmanagement im Spitzensport (BAM). BISpJahrbuch Forschungsförderung.

Katayama, K., Ishida, K., Saito, M., Koike, T., & Ogoh, S. (2016). Hypoxia attenuates cardiopulmonary reflex control of sympathetic nerve activity during mild dynamic leg exercise. *Experimental Physiology*, 101(3), 377-386. <https://10.1113/EP085632>.

Kontos HA, Levasseur JE, Richardson DW, Mauck HPJ, Patterson JLJ 1967. Comparative circulatory responses to systemic hypoxia in man and in unanesthetized dog. *J Appl Physiol*, 23: 381–386.

Koistinen, P. O., Rusko, H., Irjala, K., Rajamäki, A., Penttinen, K., Sarparanta, V. P., et al. (2000). EPO, red cells, and serum transferrin receptor in continuous and intermittent hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4), 800-804

Mader, A. (1988). A Transcription-translation Activation Feedback Circuit as a Function of Protein Degradation, with the Quality of Protein Mass Adaptation Related to the Average Functional Load. *J. Theor. Biol.* 134-135.

Mader, A., Heck, H., Föhrenbach, R., Hollmann, W. (1979). Das statische und dynamische Verhalten des Lactats und des Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400- und 800m Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. *Dt. Z- Sportmed.* 7. 203, 8:240.

Maeda, T., & Yasukouchi, A. (1997). Blood lactate disappearance during breathing hyperoxic gas after exercise in two different physical fitness groups—On the work load fixed at 70% VO₂max. *Applied Human Science*, 16(6), 249-255. <https://10.2114/jpa.16.249>

Maeda, T., & Yasukouchi, A. (1998). Blood lactate disappearance during breathing hyperoxic gas after exercise in two different physical fitness groups—On the workload fixed at 130% AT. *Applied Human Science*, 17(2), 33-40. <https://10.2114/jpa.17.33>

Newsholme, E. A., Blomstrand, E., McAndrew, N., Parry-Billings. (1992). Biochemical Causes of Fatigue and Overtraining. In: Hollmann et al.: *Sportmedizin*. 120.125.

Peeling, P., & Andersson, R. (2011). Effect of hyperoxia during the rest periods of interval training on perceptual recovery and oxygen re-saturation time. *Journal of Sports Sciences*, 29(2), 147-150. <https://10.1080/02640414.2010.526133>

Plet, J., Pedersen, P. K., Jensen, F. B., & Hansen, J. K. (1992). Increased working capacity with hyperoxia in humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(2), 171-177.

Rostrup M (2002). Catecholamines, hypoxia and high altitude. *Acta Physiologica*.

Sheffield, P. J., & Heimbach, R. D. (1996). *Respiratory Physiology*. In: De-Hart (ed): *Fundamental of Aerospace Medicine*, 69-108. Baltimore: Willian & Wilkins.

Struder, H. K., Hollmann, W., Donike, M., Platen, P., & Weber, K. (1996). Effect of O₂ availability on neuroendocrine variables at rest and during exercise: O₂ breathing increases plasma prolactin. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 74, 443-449.

Sperlich, B., Zinner, C., Hauser, A. et al (2017). The Impact of Hyperoxia on Human Performance and Recovery. *Sports Med* 47, 429–438 <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0590-1>

Vogel JA, Harris CW 1967. Cardiopulmonary Responses of resting man during early exposure to high altitude. *J Appl Physiol*, 22,1124–1128.