

常氧與低氧間歇訓練方式對於人體血氧飽和濃度、乳酸、心跳率之影響

熊育彬¹、陳佳慧¹、張嘉澤²

¹ 國立體育大學教練研究所 ² 國立體育大學運動技術研究所

摘要

目的：探討間歇訓練於不同氧氣濃度對血液乳酸堆積與心臟負荷之影響。**方法：**研究對象為體育科系研究所學生共 6 名，其中男性 4 人女性 2 人，平均年齡 24 ± 1.1 歲，身高 169 ± 6.2 cm 體重 66 ± 8.1 kg。**方式：**分別於常氧 (21%) 與低氧(15%) 環境進行 10 次 V4 負荷劑量於跑步機之間歇跑步，每次持續 2min，間歇 30s。兩次測試間隔 48 小時，生物參數收集為血液乳酸、運動負荷心跳率與血氧飽和濃度。數據以相依樣本 *t* 檢定進行兩次測試分析。**結果：**血液乳酸堆積於低氧 (15%) 環境之第 5 次 (5x) 高於常氧 $+0.42$ mmol/l ($p > 0.05$)，運動結束第 1min(E1)至第 7min(E7)乳酸排除慢於常氧，但第 10min 下降弧度高於常氧，於第 15min 趨於相等。運動負荷心跳率於常氧與低氧負荷均未產生明顯變化 ($p > 0.05$)。**結論：**兩項測試對血液乳酸與心跳率均未呈現顯著改變，這種反應症狀可能是負荷劑量造成。建議亦應用低氧 (15%) 訓練，負荷劑量必須高於常氧。或降低氧氣濃度，始能改善肌肉能量代謝與體循環系統。

關鍵字：常氧、低氧、V4 速度

Effect of normal oxygen and hypoxic interval training on SPO₂ 、 blood lactate and heart rate in human

Abstract

Purpose: The purpose of the study was to investigate the effect of different oxygen concentration on blood lactate and heart rate. Subjects were six institute of physical education student(four male, two female), their average years, height, weight were 24 ± 1.1 years, 169 ± 6.2 cm, 66 ± 8.1 kg, respectively. **Methods:** Training plan was 10 time interval training in treadmill running machine, intensity was two minutes anaerobic threshold velocity 4, resting 48 hours after test one. Bio-parameter were blood lactate, heart rate, blood oxygen saturated concentration. The all data were analyze twice by dependent t test . **Result :** The blood lactate accumulation (5x) of hypoxic(15%) was higher than normal oxygen $+0.42$ mmol/l ($p>0.05$), E1, E7 of hypoxic was higher than normal oxygen, but E10 was lower normal oxygen, E15 was equal. Heart rate was no significant change in two conditions ($p>0.05$). **Result:** blood lactate and heart rate were no significant difference in two conditions, this result might be induce by intensity. In the future, training should use hypoxic training (15%) and the intensity should be higher than normal oxygen, or decrease oxygen concentration, and then could improve energy metabolism of muscle and body circulation system.

Key word : normal oxygen, hypoxic, anaerobic threshold velocity 4

壹、緒論

一、研究背景與動機

Davidson and Stalcup(1984)發現急性低氧($\text{PaO}_2=60\text{mmHg}$)會使得心輸出量增加(+25%)、血壓上升(+15%)、組織血流重新分配(增加心臟、腦部、骨骼肌之血流量)等。經過長期高強度低氧適應後會出現血漿容積增加的現象。近年來也有研究指出高地的低氧環境耐力訓練能使骨骼肌之粒線體增生(Hood, 2001)、肌細胞葡萄糖轉運體數量增加(Ren, Semenkovich, Gulve, Gao, & Holloszy, 1994)、微血管密度擴大(Gute, Fraga, Laughlin, & Amann, 1996)等生理機轉顯著提高有氧代謝能力(Dufour et al., 2006; Ponsot et al., 2006; Zoll et al., 2006), 提昇耐力能力。目前常應用低氧之訓練模式為: 間歇性低氧訓練(Interval hypoxic training)、低住高練(Training High, Living Low)、高住低練(Living High, Training Low)。這些訓練模式, 與長時間待在地進行訓練, 截然不同。其中以間歇性低氧訓練模式, 最讓人引起爭議, Rodriguez(2000)、Katayama(2004)、陳亮仔(2006)認為間歇性低氧能夠促進運動表現, 其生理學基礎是低氧刺激了補償機制, 在吸入低氧時補償機制已經開始運作, 損傷還未造成時就已經開始休息(陳小龍、雷志平, 2000)。在休息間歇中補償機制依然活躍, 肺部細胞, 呼吸肌和心肌得到更多的血液、氧氣、營養與能量物質, 同時帶走更多的代謝廢物, 這些都有利於提高機體對低氧的適應能力, 促進機體的生物合成。(李登光、張曉東, 2007)但是Karlsen(2002)與Vallier(1996)則是持相反之意見(陳亮仔, 2006)。

由上述得知根據實驗研究與實踐證明, 低氧訓練能有效的提高運動能力及成績, 而間歇低氧訓練則有正反兩面不同的結論。目前不論是國內國外對於間歇低氧訓練的研究, 訓練劑量大部分採用持續的方式排至不同環境-低氧($15\%\text{O}_2$)-常氧($20\%\text{O}_2$)-低氧($15\%\text{O}_2$)-常氧($20\%\text{O}_2$)-之訓練型態, 若將間歇低氧訓練, 環境定為一個固定的變項($15\%\text{O}_2$)而是將間歇訓練方式排至於低氧環境, 來探討在低氧與常氧的環境下從事間歇式訓練對於人體影響之生理反應。因此, 藉助於常壓低氧艙所模擬的低氧環境下, 排除高山訓練的不便性, 藉由測試, 進一步瞭解低氧間歇訓練對於人體所造之生理反應。

二、研究目的

常氧與低氧間歇訓練方式對於血液乳酸與心跳率之影響。

貳、研究方法

本研究的受試者為 4 名男性與 2 名女性，自願參與此研究計畫，所有受試者的平均年齡為（ 24.3 ± 1.11 歲）。在實驗之前發給每位受試者「受試者須知與同意書」與「健康調查表」，並向受試者說明有關的研究目的、過程及相關問題，同時並要求受試者在同意書與健康調查表上簽名，表示願意參加本實驗，相關基本資料則如表 1 所述。

表 1 受試者基本資料（N=6）

	身高(cm)	體重(kg)	年齡(歲)
M±SD	168.5±6.24	65.8±8.09	24.3±1.11

一、實驗器材及設備

- （一）跑步機 h/p/cosmos pulsar 3p 4.0
- （二）心率錶 Polar 610i(芬蘭製)
- （三）採血工具(酒精、毛管、採血針等)
- （四）國立台灣體育大學(桃園)之常壓低氧艙
- （五）手指血氧探測器 Pulse Oximeter Oxiheart OX-700
- （六）EFK 德國製血糖乳酸分析儀 (DiagnosticBiosen C_line)
- （七）掌上型血氨分析儀 (PocketChem BAPA-4130)

二、研究流程與方法

本研究使用之漸增式基礎能力檢測方式是依據 Mader 等人（1976）提出的 2~4mmol/l 基礎能力檢測理論所建立，於室內跑步機進行，依平衡次序方式先後在常氧（20%O₂）、低氧（15% O₂ 常壓低氧艙）環境中作測試，兩次測試間隔 48 小時。開始前先於受試者耳垂採集安靜時血乳酸值，以 Polar 心率錶紀錄運動全程心

跳率。跑步機開始速度為 2.3 m/s，每 5min 為一階，每階速度上升 0.3 m/s，階與階之間間歇 30s 採集 10 μ l 血液分析運動中乳酸，如此進行至受試者所能承受之最大負荷（all-out）為止，以乳酸分析軟體算出個人 4mmol/l 乳酸閾值速度如表 2 所示。間歇訓練分別於低氧與常氧進行，10 次的 2min (V4)，間歇 30s 如圖 1 所示。生物參數蒐集，使用心率錶(polar 610i，芬蘭製)收取全程心跳率至結束後第 5min(E5)、在每次間歇過程中採集血氧濃度（Spo2），血乳酸（lactate）於安靜值、測試中第 3、5、7 間歇時間與結束後第 1、3、5、7、10、15 分鐘採取。

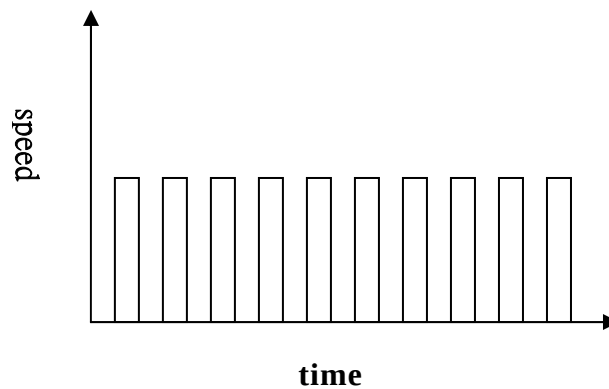


圖 1 間歇訓練模型

表 2 4mmol/l 乳酸閾值速度（N=6）

	Speed(m/s)	HR(min ⁻¹)
	*	
20%	2.8±0.3	163.8±10
15%	2.3±0.3	159.2±9.5
Diff	0.5	4.6±0.5

* $p < 0.05$

三、資料統計處理

- （一）Microsoft Office Excel 進行各項統計分析，採用相依樣本 t 檢定。
- （二）德國奧林匹克中心所研發之軟體（Laktat-Explorer）分析個人乳酸閾值速度。
- （三）分析圖形，採用 SigmaPlot 8.0 軟體。
- （四）研究的顯著水準皆定為 $\alpha = 0.05$ 。

參、結果與討論

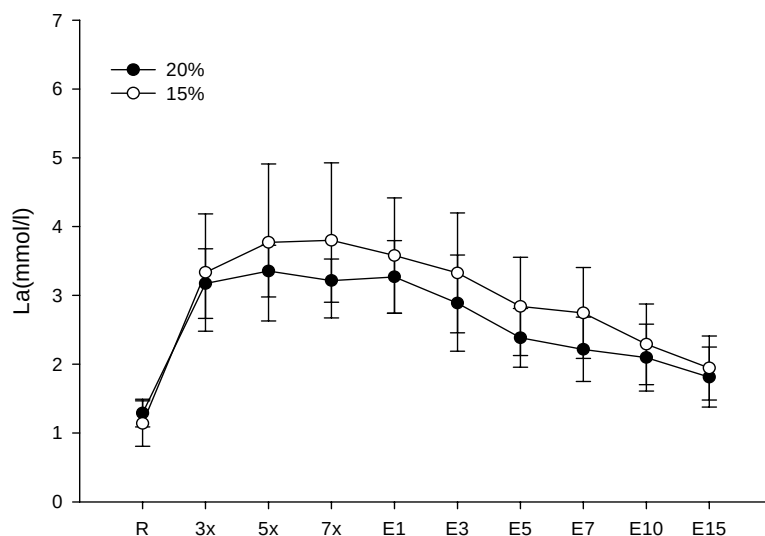


圖 2 常氧與低氧間歇訓練之乳酸值

常氧與低氧間歇訓練，乳酸在不同環境下均呈現上升趨勢，第5次間歇訓練時在低氧環境乳酸上升弧度明顯高於常氧，並且在第7次間歇達到最高值 3.8 ± 0.4 mmol/l，而常氧下的間歇訓練，第3次達到高點形成穩定的狀態直到最後一次間歇訓練結束，但兩者乳酸並無顯著差異($p > 0.05$)，這種現象與Friedmann等(2004)利用在常氧及低壓氧($FiO_2 0.15$)環境中的個體無氧閾值(IAT)進行一小時持續跑，發現運動中血乳酸在低氧中略高於常氧但無顯著差異($p > 0.05$)的研究相同。訓練結束後第1min(E1)至第15min(E15)乳酸的排除也是顯現穩定的下降情形，低氧方面結束後第7min(E7)下降弧度較常氧大，這種症狀是因為身體在低氧環境下做間歇訓練，適應環境中的低濃度氧氣，訓練結束後於常氧恢復，使得身體有更多的氧氣供給如同，胡永欣、肖國強(2002)所提出的吸高氧可使LDH（乳酸脫氫酶）、CK（肌酸激酶）、ALP（鹼性磷酸酶）等活性下降，促進細胞形態的改變，這些變化改善了組織細胞缺氧，有利於酸性產物的消除。在結束後第15分鐘乳酸值幾乎趨於相等，常氧間歇訓練乳酸最大值為 3.35 ± 0.2 mmol/l，低氧間歇訓練乳酸最大值為 3.8 ± 0.4 mmol/l，兩者之間並不無顯著差異，在另一方面常氧與低氧間歇訓練劑量之速度卻有顯著的差異($p < .05$)如表2所示，根據以往的研究指出，乳酸是表示運動強度的一個代表性數值，因此我們可以得知，雖然低氧間歇訓練的速度顯著低於常氧，但是乳酸值在訓練期間至結束後15min,均無顯著差異，所以在不同環境下、不

同的間歇訓練速度相對強度是相同的。

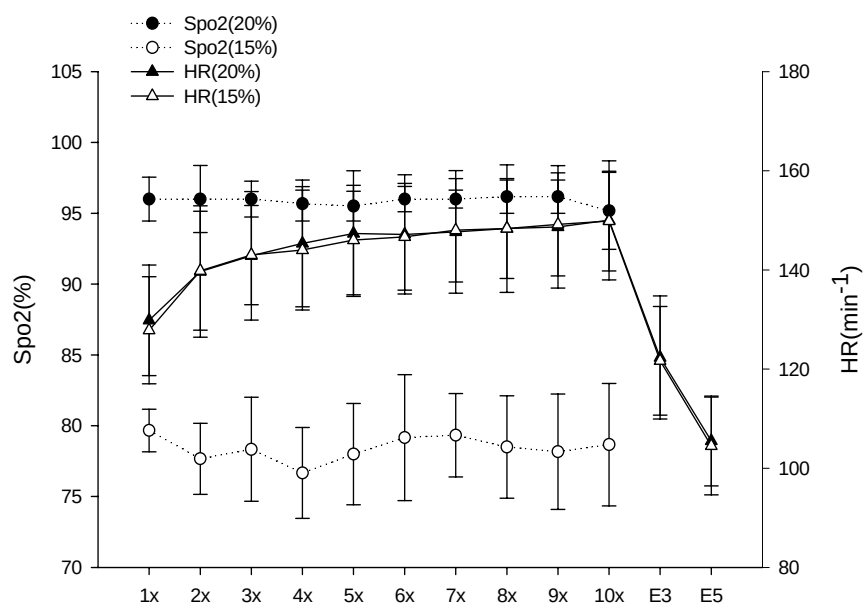


圖 3 間歇訓練血氧飽和濃度與心跳率

常氧間歇訓練中，每 1 次訓練中血氧飽和濃度(Spo2)呈現出非常穩定的狀態，而在低氧間歇訓練，訓練初期第 1 次(1x)至第 5 次(5x)所呈現的卻是起伏不定，在低氧的環境下訓練人體必需同時接受兩方面缺氧的刺激，一方面是由低氧空氣所造成的缺氧，稱為低氧缺氧(李登光、張曉東，2007)。另一方面是由於高強度運動訓練所造成的缺氧，稱為負荷缺氧。然而至第 5 次以後逐漸平緩，這種症狀是由於人體進入低氧環境中經過身體機能的調整後，能夠很快的適應環境的變化。常氧與低氧間歇訓練最大心跳率分別為 $150 \pm 4.9 \text{ min}^{-1}$ 、 $149 \pm 4.1 \text{ min}^{-1}$ 兩者之間並無顯著差異，心跳率是隨著負荷的強度而上升，低氧與常氧間歇訓練的相對強度相同，兩者所呈現出的心跳率也相同，但是常氧間歇訓練中負荷劑量之速度顯著高於低氧，因此在相同的負荷心跳率下，低氧環境負荷較高，與 Kontos et al. (1967)、Vogel & Harris (1967) 所提出即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，理論相同。

肆、結論與建議

常氧與低氧環境下進行間歇訓練測試，兩項測試在相對的強度下，血液乳酸與心跳率均未呈現顯著改變，這種反應症狀可能是負荷劑量所造成。但是可以明顯得知低氧環境對身體負荷大於常氧，因此當個人訓練強度達到最高負荷適應時，建議使用常壓低氧艙訓練，亦可以提高負荷強度也能減少運動傷害的產生，在應用低氧(15%)訓練時，負荷劑量必須高於常氧。或降低氧氣濃度，始能改善肌肉能量代謝與體循環系統。

伍、參考文獻

- 陳亮仔 (2006) 。不同的間歇性低氧環境對血管功能及血液動力控制之短、長期效應。運動傷害防護研究所論文。桃園:國立體育學院。
- 胡永欣、肖國強 (2002) 。吸高氧對賽艇運動員大強度運動後血乳酸、酸鹼度的影響。體育學刊，第9卷第6期，52-53頁。
- 李登光、張曉東 (2007) 。傳統高原訓練、HiLi訓練、間歇訓練低氧訓練及高海拔地區交替訓練(低住高練)的理論比較。山西師大體育學院學報，第22卷第2期，115~120頁。
- 陳小龍、雷志平 (2000) :間歇性低氧訓練簡述「J」。體育學刊，第4期，第29~32頁。
- Davidson, D., & Stalcup, S. A. (1984). Systemic circulatory adjustments to acute hypoxia and reoxygenation in unanesthetized sheep: Role of renin, angiotensin II, and catecholamine interactions. *J Clin Invest*, **73**(2), 317-328
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., et al. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Improvement in aerobic performance capacity. *J Appl Physiol*, **100**(4), 1238-1248.
- Friedmann, B., Bauer, T., Menold, E. & Bärtzsch, P. (2004). Exercise with the intensity of the individual anaerobic threshold in acute hypoxia. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **36**, 1737-1742.
- Gute, D., Fraga, C., Laughlin, M. H., & Amann, J.F. (1996). Regional changes in capillary Supply in skeletal muscle of high-intensity endurance-trained rats. *J Appl Physiol*, **81**(2), 619-626.

- Hood, D. A. (2001). Plasticity in skeletal, cardiac, and smooth muscle: Invited review: Contractile activity-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. *J Appl Physiol*, **90**(3), 1137-1157.
- Katayama K, Sato K, Matsuo H, Ishida K, Iwasaki KI and Miyamura M.(2004).Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur J Appl physiol*.**92**:75-83.
- Karlsen, T., Madsen, O., Rolf, S., & Stray-Gundersen, J. (2002). Effects of 3 weeks hypoxic interval training on sea level cycling performance and hematological parameters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34**(5), Supplement abstract 1250.
- Kontos, H.A., Levasseur, J.E., Richardson, D.W. et al.(1967) Comparative circulatory responses to systemic hypoxia in man and in unanesthetized dog. *J.Appl.physiol*. **23**,78-81.
- Mader, A., H. Liesen, H. Heck, H. Philippi, R.Rost, P. Schürch, W. Hollmann.(1976) : Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, **27**(4): S. 80-88.
- Ponsot, E., Dufour, S. P., Zoll, J., Doutrelau, S., N'Guessan, B., Geny, B., et al. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II: Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *J Appl Physiol*, **100**(4), 1249-1257.
- Ren, J. M., Semenkovich, C. F., Gulve, E. A., Gao, J., & Holloszy, J. O. (1994). Exercise induces rapid increases in GLUT4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. *J.Biol.Chem.*,**269**(20),14396-14401.
- Rodriguez FA, Ventura JL, Casas M, Casas H, Pages T, Rama R et al. (2000). Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl physiol*. **82**:170-177.
- Vallier JM, Chateau P, Guezennec CY.(1996).Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. *Eur Appl Physiol*.**73**:471-478.
- Vogel, J.A. & Harris, C.W. (1967). Cardiopulmonary responses of resting man during early exposure to high altitude. *J.Appl.physiol*. **23**, 1124-8
- Zoll, J., Ponsot, E., Dufour, S., Doutrelau, S., Ventura-Clapier, R., Vogt, M., et al. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III: Muscular Adjustments of selected gene transcripts. *J Appl Physiol*,**100**(4), 1258-1266.