



壹、問題背景

血液氣體為評估急性或慢性患者的工具 (Fajac et al., 1988), 但也被應用於競技運動中 (Muntean, 2014)。在運動過程中的每一個動作都是由血液氣體的運輸來供應能量。從血液氣體中各參數的變化, 可觀察到個體肺部氣體交換的效率、心血管功能、體內血液分布以及肌肉代謝 (Wassermann, Hansen, Sue, Stringer, & Whipp, 2005)。

體內產生負荷壓力時將導致乳酸生成, 進而使氫離子 (H^+) 濃度增加。過多的 H^+ 產生將導致體內 pH 值下降 (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2005), 亦將影響能量的供給並且容易導致肌肉疲勞 (Sahlin, 1992)。一般情況體內的酸鹼平衡是由肺部及腎臟調節, 然而運動期間, 腎臟無法快速排出 H^+ , 此時將消耗碳酸氫鹽 (bicarbonate, HCO_3^-) 以進行緩衝 (Lang, 2000)。過去研究發現 HCO_3^- 的減少與乳酸的增加有密切的關連 (Beaver, Wasserman, & Whipp, 1986), 也將影響運動能力的維持 (Yoshida et al., 1989)。

近年來, 低氧訓練由於儀器設備的精進使得訓練方式更多種排列組合, 為提升訓練效率, 低氧、常氧交互應用的方式將會更常見。然而不同的應用順序將立即影響體內負荷壓力, 因此本研究將探討低氧及常氧不同應用順序對間歇負荷之代謝及血液氣體調節之效果。

貳、研究方法

對象

本研究以 6 名健康成人為受試者 (身高 175.3 ± 6.3 cm, 體重 67.5 ± 10.3 kg, 年齡 32.5 ± 13.3 歲), 並以隨機方式分配至 A 組及 B 組。

方式

本研究觀察測試之間歇負荷範圍為 $2 \times 4 \times 60$ s, 強度為 3.5 m/s, 組間休息 (5 min) 及間歇時間 (60 s) 皆於跑步機上以 1.3 m/s 走動。A 組由低氧環境開始進行間歇負荷, 組間休息以及第二組負荷於常氧環境進行。B 組則由常氧開始, 第一組結束後進入低氧環境進行組間休息以及完成後續負荷。生物參數收集包含心跳率 (HR)、血液氣體 (BE、 HCO_3^- 、 TCO_2 、La) 以及血氧飽和濃度 (SpO_2)。

參、結果分析與討論

結果分析顯示, A 組 (圖 1) 在低氧及常氧負荷後之 HCO_3^- 濃度依序為 19.80 ± 0.5 mmol/l 以及 22.3 ± 3.1 mmol/l; B 組 (圖 2) 在常氧為 24.4 ± 4.4 mmol/l, 在低氧則為 20.4 ± 5.8 mmol/l。在低氧負荷後的乳酸堆積濃度, A 組為 9.3 ± 2.4 mmol/l, B 組為 9.59 ± 5.0 mmol/l; 在常氧負荷後, A 組及 B 組的乳酸濃度則分別為 6.22 ± 2.2 mmol/l、 5.0 ± 3.8 mmol/l。血氧飽和度 (表 1) 在兩組負荷後, A 組呈現由 $75 \pm 8.08\%$ 上升至 $97 \pm 1.15\%$, B 組則由 $96 \pm 0.58\%$ 下降至 $72 \pm 4.73\%$ 。

由結果發現, 運動及低氧都將引起血液氣體的改變, 而低氧所引起的調節幅度更甚於運動: 由於氧氣供應量被限制, 加上肌肉收縮所需的能量需求, 迅速引起體內進入無氧糖酵解作用, 導致乳酸快速生成。而在丙酮酸轉化為乳酸的過程中, 將伴隨 H^+ 的累積, 使體內 pH 值下降。為了維持體內酸鹼值的恆定, 此時血液緩衝系統中之 HCO_3^- 將與過多的 H^+ 結合形成碳酸, 以避免血液 H^+ 濃度過高。過去研究發現乳酸堆積的濃度相當於 HCO_3^- 減少的濃度, 顯示乳酸幾乎被 HCO_3^- 所緩衝 (Osnes & Hermansen, 1972; Beaver et al., 1986)。

在低氧負荷後繼續進行常氧負荷時, 儘管肌肉仍需維持相同速度之離心向心收縮, 但相對充足的氧氣使體內的無氧代謝壓力趨緩, 乳酸及 H^+ 的生成速度將下降。體內的緩衝系統可能於組間休息時進行解離作用, 釋出 H^+ 及 HCO_3^- , 提供後續運動負

荷時所需要的緩衝液, 進而降低負荷時血液酸化程度。

常氧負荷後再進行低氧的組間休息及負荷時, 氧氣濃度的下降使體內緩衝系統較難恢復至原先的恆定狀態, 且負荷時需消耗更多的 HCO_3^- 以減少 H^+ 累積, 過多的 H^+ 生成及不足的血液緩衝液將不利於運動能力的維持。研究指出, 酸中毒可能降低糖酵解的效率並干擾體內能量的供給, 也造成肌肉疲勞 (Sahlin, 1992), 而 HCO_3^- 濃度的下降亦將顯著地影響在低氧中的運動表現 (Yoshida et al., 1989)。

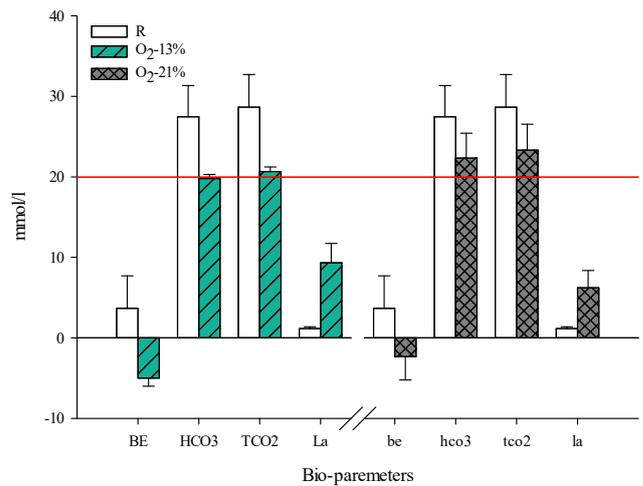


圖 1: A 組間歇之代謝及血液氣體調節

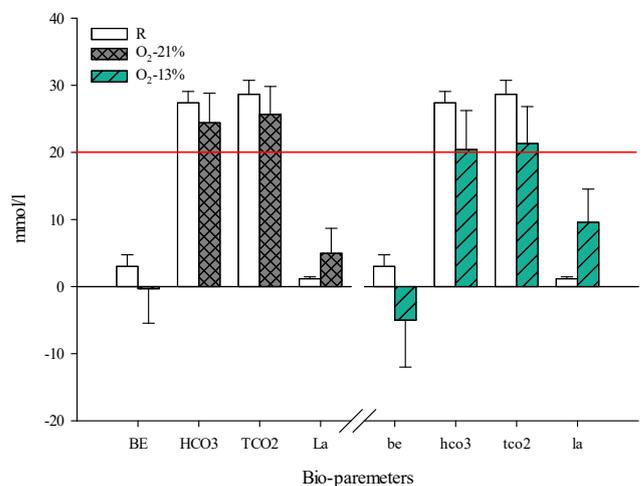


圖 2: B 組間歇之代謝及血液氣體調節

表 1: 不同排序低氧及常氧應用對 SpO_2 (%) 之效果

| Time | SpO_2 (%) | | | | |
|------|---------------|------|---------------------|------|---------------------|
| | R | Set1 | | Set2 | |
| | | M±SD | O_2 concentration | M±SD | O_2 concentration |
| A | 97 ± 1.41 | 13% | 75 ± 8.08 | 21% | 97 ± 1.15 |
| B | 98 ± 1.53 | 21% | 96 ± 0.58 | 13% | 72 ± 4.73 |

肆、結論

研究結果發現, 先進行低氧負荷將導致 HCO_3^- 迅速下降, 再回到常氧時則調節回升, 進而減少乳酸生成。因此, 建議應用不同濃度氧氣訓練時, 將低氧負荷安排於常氧負荷前, 較有助於血液氣體調節以避免血液酸化程度並維持運動能力。

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: McGraw-Hill Higher Education.
- Fajac, I., Texereau, J., Rivoal, V., Dessanges, J. F., Dinh-Xuan, A. T., & Dall'Ava-Santucci, J. (1998). Blood gas measurement during exercise: a comparative study between arterialized earlobe sampling and direct arterial puncture in adults. *European Respiratory Journal*, 11(3), 712-715.
- Lang, F. (2000). *Basiswissen Physiologie*. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Muntean, P. (2014). *Kapilläre Blutgasanalyse und Leistungsdiagnostik bei stufenförmiger Belastungsergometrie*. Unveröffentl. Dipl. Arb., Universität Graz.
- Osnes, J. B., & Hermansen, L. A. R. S. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology*, 32(1), 59-63.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Medicine*, 13(2), 99-107.
- Wassermann, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Stringer, W.W., & Whipp, B.J. (2005). *Principles of Exercise Testing and Interpretation. Including Pathophysiology and Clinical Applications* (4. Ausg.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- 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.