

低氧環境對於 2000m 划船測功儀負荷 之生理反應與運動表現之影響

蕭敬衡*、陳佳慧、張嘉澤

國立體育大學競技與教練科學研究所

摘 要

目的：探討在常氧與低氧環境下進行 2000m 室內划船運動時，對於運動員心跳率、血乳酸及運動表現之影響。方法：以 7 名大專競技運動員為研究對象。所有受試者以平衡次序的方式於常氧（20%）及低氧（15%）環境分別進行一次 2000m 高強度無氧負荷測試，兩次測試間隔 7 天。結果：本研究發現，在常氧環境下，0-500m 的槳頻為 29.3 ± 3.5 SPM，平均輸出功率為 155.1 ± 36.3 Watt。然而 1500-2000m 之槳頻為 32.9 ± 4.5 SPM，平均輸出功率為 184.5 ± 39.6 Watt，達顯著差異（ $p < .05$ ）；低氧環境 0-500m 與 1500-2000m 平均輸出功率下降了 24.3 ± 0.4 Watt，達顯著差異（ $p < .05$ ），而槳頻則未達顯著差異。在兩者相互比較下，常氧 0-500m 之平均輸出功率比低氧減少了 28.5 ± 0.9 Watt（ $p < .05$ ），1500-2000m 常氧比低氧增加了 25.2 ± 0.7 Watt（ $p < .05$ ），而槳頻則未達顯著差異。在血乳酸方面，常氧環境下血乳酸 7.8 ± 1.3 mmol/l，顯著低於低氧環境 10.2 ± 2.6 mmol/l（ $p < .05$ ），心跳率則未達顯著差異。結論：在低氧環境下進行 2000m 室內划船運動時，相較於常氧環境下，受試者無法維持高力量輸出，同時，血乳酸濃度明顯高於常氧環境，亦即在低氧下進行運動時，其負荷量將大於常氧環境。

關鍵詞：耐力、槳頻、平均輸出功率、氧氣濃度

* 通訊作者：蕭敬衡；國立體育大學競技與教練科學研究所；E-mail: a85122500@hotmail.com

壹、緒論

一、研究背景

划船運動 (rowing) 從 1982 年引進台灣，至今已發展 30 年，許多民眾以及競技運動員，對於此運動項目皆不陌生，而後來爲了克服天候不佳的因素及訓練的便利性，則發明了划船測功儀做爲訓練工具的應用，因此測功儀又稱做室內划船器，它是利用一個旋轉輪子產生風，並利用風口之大小來控制阻力，一般分爲十個等級，划船測功儀發展至今，已具備了電腦記憶之功能，如速度、時間、距離、槳頻 (Stroke per minute-SPM) 及輸出功率 (Watt)，教練可藉由此數據做爲選手訓練上負荷之判斷，以調整訓練計畫之安排。Yoshiga (2002) 以 55 名健康的男性針對划船測功儀及跑步機上運動之生理變項做比較，其結果指出在相同強度下，划船測功儀所使用的攝氧量皆高於跑步機，可能的原因爲划船測功儀所動員到較多的肌群參與運動負荷所至。而過去研究指出，利用室內的划船測功儀做爲測試方式，可以將個人對於划船運動的技巧因素降至最低，因此可以排除影響因素，成爲一般人進行運動測試以及運動選手訓練的設施 (鍾雨純、陳麗玉、陳竑廷、吳慧君，2010)。訓練除了不同器材的應用之外，近年來在低氧環境下，從事訓練亦可提升與有效改善耐力以及運動表現 (邱奕棠、蕭敬衡、王胤之與張嘉澤，2012; Dofour et al., 2006; Akinobu et al., 2010; Mori et al., 1999)。因此，在實際訓練上廣泛被運用。綜合上述，划船測功儀屬於全身性的運動，所動用的肌群與跑步機及腳踏車相較下來的多，可提供非划船專項之運動選手使用，且過去對於划船測功儀之研究大多以划船選手爲受試對象，甚少探討對於其它項目運動員之效益，低氧訓練利用高地自然低氧環境或人工模擬對人體產生特殊生物學效應配合運動訓練，來增加當人體在缺氧環境下以改變身體反應及適應能力進而提高運動能力。當人體缺氧下進行單次高強度無氧運動時，此時體循環以及新陳代謝之負荷將會呈現何種症狀，因此本研究主要針對一般競技運動員爲目標，探討於常氧及低氧情況下進行划船測功儀高強度無氧負荷之症狀反應。

運動負荷劑量造成生理平衡干擾，此現象反應在於體循環以及新陳代謝的壓力，過去研究指出，在運動過程中體循環及新陳代謝的變化可反應出個人承受負荷的情況，其中以心跳率最能直接反應出體循環的能力，新陳代謝部分則普遍以血乳酸做爲主要的生物參數觀察 (Hottenrott, 1993)。在常氧下進行運動負荷時，人體能量系統主要由三種能量供應，磷酸肌酸 (ATP-PC)、無氧糖酵解以及有氧系

統；前兩者為無氧運動能量供給來源，而有氧能量的主要供給來源則為有氧系統。依據不同的運動強度及持續時間能量供給路徑將有所改變，當人體從事短時間高強度的運動時，主要能量供應來源為 ATP-PC 系統，只能維持 1-10s；而當運動以無氧方式持續時間達 1-8min 時，則以無氧糖酵解做為主要能量來源，此時乳酸將迅速堆積，導至疲勞的發生 (Fox, 2002)。張嘉澤 (2008) 指出，糖酵解系統中乳酸的大量生成，將導致血液 pH 值下降、血糖濃度上升、血液氧氣濃度改變、皮質醇 (Cortisol)、腎上腺皮質激素 (ACTH)、胰島素 (Insulin) 的上升等症狀出現，將影響競技能力的穩定。當人體進入到低氧環境時，為了適應低氧環境所帶來的刺激，將可能改變其生理的適應能力以及能量提供的路徑，因此在低氧中，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的現象，而此現象將會促使血紅素結合氧氣能力下降，使作用肌群產生氧氣供給不足之情形 (Geiser et al., 2001)。Friedmann, Bauer, Menold, and Bärtsch (2004) 利用個體無氧閾值 (IAT)，在常氧 (20%) 以及低氧 (15%) 環境下進行一小時之持續跑，發現運動中之血乳酸在低氧中略高於常氧，但無顯著差異 ($p > .05$)。Roberts et al. (1996) 以 11 位沒受過訓練的受試者，分別低氧環境 (12%) 中進行同樣強度 (50% 攝氧峰值- $\dot{V}O_{2peak}$) 的運動，發現在低氧環境運動會造成脂肪使用率下降，以及碳水化合物代謝率增加。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。

在低氧訓練之研究，分為高地訓練以及常壓低氧訓練。前者，是指 2-3 週居住和訓練於海拔高度 1800-3500m (Billings, Bason, Mathews, & Fox, 1971; Smith & Sharkey., 1984)。但進行高地訓練時，必須克服許多適應的問題，包括平地與高地往返耗時的適應，訓練強度以及訓練量下降等，因此近年來對於低氧的研究則開始朝向常壓低氧之方向，透過人為製造密閉式常壓低氧的環境，克服了高地訓練強度之不足外，並節省了高山與平地往返耗時之缺點。而過去研究指出，低壓低氧與常壓低氧兩種訓練模式，在許多的生理參數上，並無顯著差異，透過常壓低氧之訓練模式，雖無法改變血液中血球蛋白之數量，但同樣擁有高地訓練之刺激效果 (Hammond, Gale, Kapitan, Ries, & Wagner., 1986)。過去有關於低氧對於運動能力影響之研究指出，當氧氣濃度下降至 12.2% (相當於高地 4000m) 以下時，生理補償能力將下降，而下降至 10% (6000m) 以下時，則達到生理危險閾值 (Fuchs et al., 1990)。Sheffied and Heimbach (1996) 亦指出，當氧氣濃度下降至 11.3%

(4500m) 以下時，將出現代償性生理反應漸趨無效、肌肉協調不佳等症狀。反之，有許多研究指出，於氧氣濃度 13-16% 的低氧艙進行運動訓練，相對於海平面高地 2000-3500m 高度，將有效提升運動員耐力能力或運動表現(Bailey, Davies, & Baker, 2000; Koistinen et al., 2000; Berglund., 1992; 邱奕棠、蕭敬衡、王胤之、張嘉澤, 2012)。Manfred and Fuchs (1990) 指出，當氧氣濃度在於 14.1-15.1% (2500-3000m) 之刺激，可有效增進運動員基礎耐力並使專項生物系統更有效果。Fuchs et al. (1990) 之研究亦指出，氧氣濃度為 16.1-14.1% (2000-3000m) 時，屬於生理補償負荷區域，體內血氧飽和濃度將下降。由此可知，當氧氣濃度下降至 16-13% 已可對人體造成生理上的刺激，倘若再下降將不適合進行高強度之運動，此外，本研究考量到受試者先前無進行過低氧訓練，為了安全起見，本研究設計利用氧氣濃度 15% (2500m)，進行實驗測試。

從上述文中瞭解，划船測功儀已並非侷限於划船選手使用，而低氧訓練之應用多為訓練效果或運動表現提升之觀察；針對單次低氧環境下進行高強度無氧運動負荷之生理反應較少，且目前國內的研究亦是多為訓練效果。因此，本研究主要目的在於探討在常氧 (20%) 與低氧 (15%) 環境下進行 2000m 室內划船運動時，對於運動員心跳率、血乳酸及運動表現之影響。

貳、方法

一、研究對象

研究對象為大專院校從事運動訓練 5 年以上不同項目之競技運動員 7 名 (網球、體操、跆拳道、柔道)，男生 3 名，女生 4 名，平均年齡 23.7 ± 1.5 年，身高 167.7 ± 7.8 公分，體重 62.7 ± 7.6 公斤，訓練年數 12.1 ± 3.7 年。所有受試者皆有接受正規訓練 (每週五天、每天 3-5 小時之訓練)。

二、研究程序

所有受試者於實驗前均瞭解本研究目的與方法後，皆填寫運動能力診斷疾病調查表以及研究參加同意書。

本實驗設計採用平衡次序 (counter balance method) 以及重複量數之方式進行，讓所有受試者皆在常氧 (20%) 與低氧 (15%) 兩種情況下進行高強度無氧運動負荷的過程；兩次測試中間安排間隔 1 週。

高強度無氧運動負荷使用划船測功儀 (Concept II Model E, Concept II - America) 上進行 2000m 最大努力測試；並利用划船測功儀測量記錄每 500 m 分段槳頻數 (SPM)、輸出功率 (Watt) 及完成時間。為確保所有受試者兩次測試皆為最大努力下完成，於測試前皆告知受試者，並以口頭提醒受試者需盡全力划槳。本研究中觀察之生物參數包括心跳率 (HR)，使用心率偵測器 (Polar S725X, Polar-Finland) 記錄運動結束後之心跳率；血液乳酸則於耳垂採血方式採集血液乳酸樣本，放至紅血球破壞劑內，採集時間點為安靜值以及運動結束後，利用 EFK 德國製血糖乳酸分析儀 (Diagnostic Biosen C-line, EFK) 分析。

三、資料統計

本研究以描述統計方式呈現各參數，以統計套裝軟體 SPSS 11.0 進行所需之統計分析。以 Sigma Plot 8.0 製作圖型分析。

- (一) 以相依樣本 *t* 考驗分析方式進行常氧與低氧下划船測功儀負荷結束後血液乳酸及心跳率之差異。
- (二) 重複量數二因子變異數分析觀察兩種氧氣濃度及個別情況下 (常氧或低氧) 於划船測試每 500m 分段距離之槳頻、輸出功率、時間之差異，顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。

參、結果分析與討論

一、結果分析

在個別環境下之比較，常氧 (20%) 負荷第一段 500m 與最後一段 2000m 槳頻分別為 29.3 ± 3.5 SPM 與 32.9 ± 4.5 SPM，達顯著上升 ($p < .05$)；低氧 (15%) 兩段距離則下降了 0.9 ± 0.6 SPM，未達顯著差異 ($p > .05$)，而兩種環境相較下均未達顯著差異，如圖-1 所示。

常氧第一段 500m 測功儀功率輸出平均值為 155.1 ± 36.3 Watt，最後一段 2000m 為 184.5 ± 39.6 Watt，兩段距離上升 29.4 ± 3.3 Watt，達顯著差異 ($p < .05$)；低氧兩段距離則下降了 24.3 ± 0.4 Watt ($p < .05$)，達顯著差異，而兩種環境相較下，常氧 0-500 m 比低氧減少了 28.5 ± 0.9 Watt，1500-2000m 常氧比低氧增加了 25.2 ± 0.7 Watt，均達顯著差異 ($p < .05$)，如圖-2 所示。

2000m 划船測功儀負荷於常氧 (20%) 結束後血液乳酸堆積平均值為 7.8 ± 1.3

mmol/l，低氧（15%）則為 $10.2 \pm 2.6 \text{ mmol/l}$ ，達顯著上升（ $p < .05$ ）。常氧與低氧環境負荷心跳率平均值分別為 $172 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ （20%）、 $175 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ （15%），未達顯著差異（ $p > .05$ ），如圖-3 所示。

常氧第一段分段距離完成時間為 $132.3 \pm 12.1 \text{ s}$ ，低氧為 $126.6 \pm 9.7 \text{ s}$ （ $p > .05$ ）；最後距離（1500-2000m）常氧完成時間為 $128.7 \pm 13.4 \text{ s}$ ，低氧為 $129.9 \pm 8.8 \text{ s}$ （ $p > .05$ ），皆未達顯著差異，如圖-4 所示。

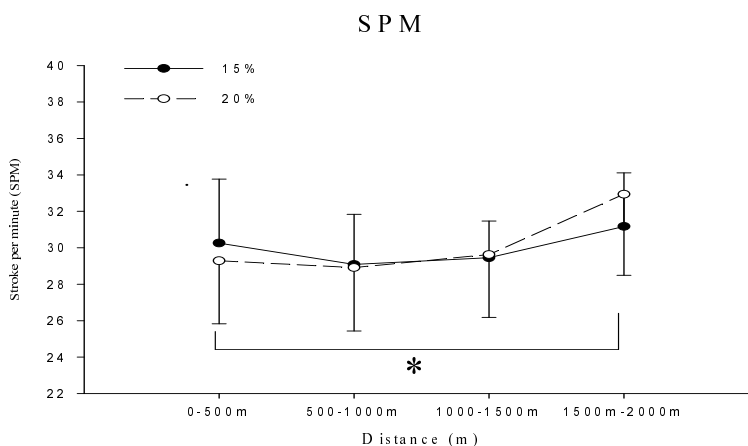


圖-1 兩種環境個別及相較下每 500m 分段平均槳頻（SPM）之重複量數變異數分析* $p < .05$ 。*表示常氧情況下，0-500m 與 1500-2000m 之顯著差異。

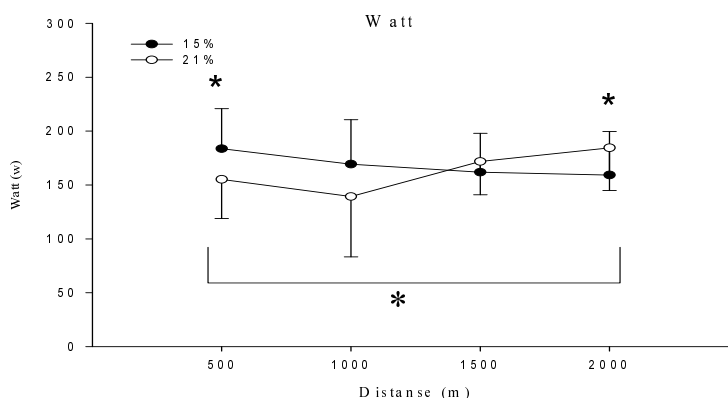


圖-2 兩種環境個別及相較下每 500m 分段平均輸出功率（Watt）之重複量數變異數分析* $p < .05$ 。*表示常氧及低氧各別情況下，0-500m 與 1500-2000m 之顯著差異。*為兩種環境 0-500m 與 1500-2000m 相較下之顯著差異。

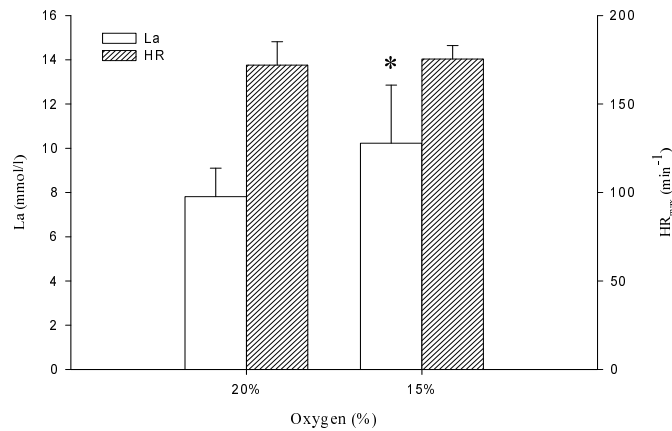


圖-3 常氧與低氧環境下，血乳酸與心跳率平均數之相依樣本 t 考驗分析* $p < .05$ 。

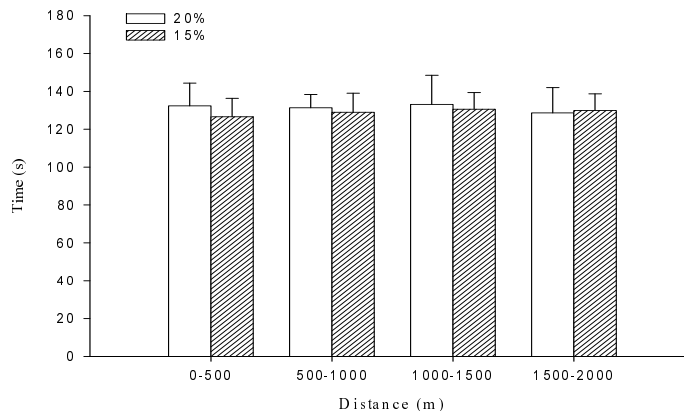


圖-4 兩種個別環境下，每 500m 分段平均完成時間之重複量數變異數分析

二、討論

在個別情況下之比較，本研究結果顯示在常氧環境下，起始分段距離(0-500m)與最後分段距離(1500-2000m)之平均槳頻及輸出功率皆呈現顯著上升；反之，在低氧環境下槳頻雖未達顯著差異，但平均輸出功率達顯著下降。而兩種環境相較下，常氧 0-500m 之平均輸出功率顯著低於低氧，但到了最後 1500-2000m 時，常氧顯著高於低氧，如圖-1、圖-2 所示。此現象可得知，於低氧環境下造成選手在後段距離時無法維持高強度的力量輸出狀態；此外，從運動結束後血乳酸方面可看出在低氧環境下，對人體造成的負荷大於常氧環境，在運動結束後之血乳酸在

不同環境下呈現上升趨勢，在低氧環境下之乳酸值顯著高於常氧 2.4mmol/l ($p < .05$)，如圖-3 所示。綜合上述可得知，雖然低氧環境下，最後分段距離(1500-2000 m)平均輸出功率呈現下降的趨勢，但血乳酸在運動結束後高於常氧，此現象顯示，在常氧下進行高強度無氧測試時，其負荷對於運動員而言未造成太大的壓力，故在最後階段運動員尚能做一個衝刺的動作，因此平均槳頻及輸出功率皆為上升的曲線。相反地，在低氧環境下受到環境氧分壓下降的影響，對運動員的產生負荷相對的較大，且因疲勞堆積的關係受試者平均輸出功率呈現下降的反應。在兩種環境個別進行分段比較，均未達顯著差異；表示不論在哪種環境下單次進行並不會影響分段完成時間，如圖-4 所示。

從能量代謝角度而言，2000m 划船測功儀耐力測試其完成時間為 5-7 min，主要動用到的能量來源為無氧糖酵解以及有氧系統，但本研究在常氧環境負荷結束後乳酸值高達 7.8mmol/l，可得知所有受試者無氧糖酵解的使用率占大部分，而在低氧環境中，運動結束後平均乳酸值為 10.2mmol/l，與常氧環境達顯著差異 ($p < .05$)。Geiser et al. (2001) 指出，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，其原因為當人體暴露在低氧環境下，受到環境氧分壓下降之影響，導致身體出現動脈血氧飽和度下降的現象，而此現象將會促使血紅素結合氧氣能力下降，導至作用肌群產生氧氣供給不足之情形。因此，在低氧環境下進行運動，將產生比常氧下更高的負荷量，所以使用無氧糖酵解做為能量來源之比例將提升。過去研究指出，在低氧環境下進行運動負荷，將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應對環境變化刺激，而產生的各種生理調節，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，降低血液 pH 值，此時肌肉收縮、神經傳導速度及能源的應用將會受到干擾，進而導致疲勞的發生，影響運動表現 (Fox, 2002)。因此本研究在低氧環境下，其平均輸出功率呈現下降的症狀，反映出受試者受到低氧環境的影響而產生較高的負荷，導至後段無法維持較高的速度及力量的輸出。

心跳率是當人體接受運動負荷刺激時，最容易取得的生物參數之一。從本研究可以發現，在常氧或者在低氧環境下，本研究受試者之心跳率變化皆無顯著的差異存在 ($p > .05$)。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。

但本研究是以常壓低氧的環境下進行，未受到大氣壓力改變的刺激，因此產生與上述研究不符之情形。此外，心跳率可做為判斷個人運動負荷強度的指標，與運動強度呈現正相關，因此可再次驗證受試者在常氧與低氧環境下皆以個人最大努力進行運動測試，故在心跳率上未有顯著的差異。

肆、結論

在低氧環境下進行 2000m 室內划船運動時，相較於常氧環境下，受試者無法維持高力量輸出，同時，血乳酸濃度明顯高於常氧環境，亦即在低氧下進行運動時，其負荷量將大於常氧環境。

參考文獻

- 邱奕棠、蕭敬衡、王胤之、張嘉澤 (2012)。五天訓練對公路車選手體循環與新陳代謝之個案研究。2012 年國際運動教練科學研討會，2012.6.9，國立體育大學。
- 張嘉澤 (2008)。訓練學。桃園縣：台灣運動能力診斷協會。
- 鍾雨純、陳麗玉、陳竑廷、吳慧君 (2010)。划船測功儀對大學男生有氧能力評估之探討。運動教練科學，18 期，27-36 頁。
- Akinobu, N., Masaaki, S., Ko, K., Aki, F., Akihiro, S., & Atsumasa, U. (2010). Hypoxia Increases Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 497-508.
- 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. Aspects of Haematological Adaptation. *Sports Med.* 14, 289-303.
- Billings, C. R., Bason, R., Mathews, D., & Fox, E. (1971). Cost of submaximal and maximal work during chronic exposure at 3800m. *Journal of Applied Physiology*, 30, 406-408.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doupreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., Lampert, E., Flück, M., Hoppeler, H., Billat, V., Mettauer, B., Richard, R., Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance

- runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1238-1248.
- Fuchs & Manfred, R. (1990). Höhenttraining. Deutscher Sportbund Bundesaussch β Leistungssport. *Münster Philippka*. 49-50.
- Fox, S. I. (2002). *Human Physiology*. Dubuque, IA: McGraw-Hill.
- Friedmann, B., Bauer, T., Menold, E. & Bärtsch, P. (2004). Exercise with the intensity of the individual anaerobic threshold in acute hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1737-1742.
- 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.
- Hammond, M. D., Gale, G. E., Kapitan, K. S., Ries, A., & Wagner, P. D. (1986). Pulmonary gas exchange in humans during normobaric hypoxic exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61(5), 1749-1757.
- Hochachka, P. W., Stanley, C., Matheson, G. O., McKenzie, D. C., Allen, P. S., & Parkhouse, W. S. (1991). Metabolic and work efficiencies during exercise in Andean natives. *Journal of Applied Physiology*, 70(4), 1720-1730.
- Hottenrott, K. (1993). *Trainingssteuerung im Ausdauersport: Theorien-Untersuchungen Beispiele. Sportwissenschaft und sportpraxis*. Bd. 92, Czwalina Verlag.
- Koistinen, P. O., Rusko, H., Irjala, K., Rajamaki, 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.
- Manfred R., & Fuchs, U. (1990). Höhenttraining. Trainer Bibliothek 27, *Münster Philippka Verlag*. 116-118.
- Mori, M., Kinugawa, T., Endo, A., Kato, M., Kato, T., Osaki, S.,.....Shigemasa, C. (1999). Effect of hypoxic exercise conditioning on work capacity, lactate, hypoxanthine and hormonal factors in men. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 26, 309-314.
- Milosz, C., Zbigniew, W., Adam, Z., Stanislaw, P., Jaroslaw, C., & Robert, R. (2011).

- The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 175-183.
- Roberts, A. C., Butterfield, G. E., Cymerman, A., Reeves, J. T., Wolfel, E. E. & Brooks, G. A. (1996). Acclimatization to 4,300-m altitude decreases reliance on fat as a substrate. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1762-1771.
- Sheffied, P. J., & Heimbach, R. D. (1996). Respiratory Physiology. In: De-Hart (ed).: *Fundamental of Aerospace Medicine*, pp. 69-108. Baltimore: Willian & Wilkins.
- Smith, M. H., & Sharkey, B. J. (1984). Altitude training: who benefits? *The Physician and Sportsmedicine*, 12, 48-62.
- Yoshiga, C. C. (2002). Heart rate is lower during ergometer rowing than during treadmill running. *European Journal of Applied Physiology*, 87(2), 97-100.

Effect of the Hypoxia Environment on 2000 m Rowing Ergometer Exercise Physiology Responses and Sports Performance

Jing-heng Xiao* Jia-Hui Chen Jia-Tezr Jang

Graduate Institute of Athletics and Coaching Science

Abstract

The purpose of this study was to investigate the impact of 2000 m rowing ergometer in the normoxia and hypoxia environments on athletes' heart rates, blood lactic concentration, and sports performance. Method: The subjects were seven college athletes. By counter balance, each subject participated in the 2000 m high intensity anaerobic test in normoxia (20%) and hypoxic (15%) environments. Two tests were seven days apart. Result: Result showed that in the normoxia environment, the Stroke per minute of 0-500 m was 29.3 ± 3.5 SPM, and the Average power output was 155.1 ± 36.3 Watt, while the Stroke per minute of 1500-2000 m was 32.9 ± 4.5 SPM, and the Average power output was 184.5 ± 39.6 Watt. There was a significant difference between the SPM and Watt of the two distances ($p < .05$). In the Hypoxia environment, the Average power output of 1500-2000 m decreased by 24.3 ± 0.4 Watt compared to that of the 0-500 m. There was a significant difference between the Watt of the two distances ($p < .05$). However, there was no significant difference between the SPM of the two distances. The 0-500 m Average power output in normoxia decreased by 28.5 ± 0.9 Watt

* Corresponding author: Jing-heng Xiao; Graduate Institute of Athletics and Coaching Science;
E-mail: a85122500@hotmail.com

($p < .05$) compared to that in hypoxia. The 1500-2000 m Average power output in normoxia increased by 25.2 ± 0.7 Watt ($p < .05$) compared to that in the hypoxia. However, there was no significant difference between the SPM in the two environments. As for blood lactic concentration, in normoxia it was 7.8 ± 1.3 mmol/l, which was significantly lower than 10.2 ± 2.6 mmol/l in the hypoxia ($p < .05$). The heart rates in both normoxia and hypoxia remained the same. Conclusion: In contrast to the normoxia environment, the subjects of 2000 m rowing ergometer in the hypoxia environment cannot remain their power. At the same time, their blood lactic concentration was significantly higher. In short, the loading of the subjects was heavier when they exercised in hypoxia than in normoxia.

Keywords: endurance, stroke per minute (SPM), average power output (watt), oxygen concentrations

