

高地訓練對高中田徑選手耐力運動表現的影響

李文志¹ 楊孫燭² 羅仁駿³ 黃文成³ 何正峰¹ 祁崇溥⁴
¹世新大學體育室 ²銘傳大學體育室 ³臺北市立體育學院體育室 ⁴臺北醫學大學體育室

目的：將探討一週中等高地訓練對高中田徑選手耐力運動表現的影響。方法：以 10 位（男性 6 位，女性 4 位）為對象，受試者將分別在山地訓練前後將接受最大攝氧量、心肺功能、身體組成與血液生化值的測試，以觀察高地訓練對高中田徑選手耐力運動表現的影響。結果：發現在高地訓練後體重有顯著下降($p<.05$)，而最大攝氧量、心肺功能、12 分鐘跑之成績有顯著的改善($p<.05$)，一週後之成績亦有顯著進步($p<.05$)。結論：一週中等高地訓練顯著改善高中田徑選手耐力運動的表現。

關鍵詞：紅血球，最大攝氧量，血球容積比，12 分鐘跑

壹、結論

一、問題背景

高地訓練可以透過一些機轉來改善運動表現，特別是人體透過環境適應可以改善氧氣運輸和攝取，進而產生增加耐力訓練的效果(Noahkes, 2000)。

而高地訓練面臨的第一個問題便是大氣壓力的降低，他會引起氧和血紅素結合比率的降低，引起過度換氣(hyperventilation)、鹼血症(alkalosis)、脫水及最大攝氧量下降等現象；長期的效應則是增加肺換氣(過度換氣)、增加紅血球數和血紅素濃度、尿中碳酸離子減少、組織肌肉的微血管密度、增加肌肉蛋白質量、增加粒線體密度與糖酵素的變化以加強氧化能量，這些變化的主要功能在於氧氣不足時協助氧輸送至組織。

因此，人體在山地進行訓練或比賽，會比在海平面時造成更高的缺氧狀態，對人體是更強的刺激，人體利用對這種刺激的適應，希望能夠達到對海平面的比賽提供一些助益，也就是透過高地訓練的低氧刺激來改善成績。

Balke, Nagle, and Daniels(1965)、Daniels and Oldridge(1970)、Karvonen, Peltola, Saarela, and Nieminen(1990)、Noahkes(2000)的研究即指出在山地訓練返回海平面後，在運動表現與生理反應上有正面的效益。而並非所有的高地訓練的研究對運動表現都是正面的，Frisancho, Martinez, Velasquez, Sanchez, and Montoye(1973)、Levine and Stray-Gundersen(1992)、Wolski, McKenzie, and Wenger(1996)、Gore et al.(1998)則發現無顯著正面的效益，而且會造成心輸出量與血流至骨骼肌的減少甚至會有免疫力下降等問題(Asano et al., 1998)，因此訓練的時間、訓練環境高度、訓練的質與量與停留於海拔地區的時間都會影響訓練結果(Wolski et al., 1996)。何種高地訓練方式才是有效且具經濟效益是值得探討的問題，也就是能使用最少的時間與金錢來進行高地訓練。有效的高地訓練，所在之高度必須使紅血球增生進而使最大攝氧量增加，並且可以維持適當的訓練強度。根據 Karvonen et al.(1990)、Morris, Kearney, and Burke(2001)的研究指出最低的訓練高度為 1,840-1,886 公尺，Hahn et al.(2001)則認為超過 1,800 公尺運動時會明顯增加心跳與乳酸並感到吃力，Asano et al.(1998)也指出在 1,866m 訓練 21 天紅血球與 EPO 有顯著增加，Klausen, Mohr, Ghisler, and Nielsen(1991)訓練時間是 7 天，在第 2 與 7 天血紅素有顯著增加。由以上數據可知在海平面 1,800 公尺左右訓練一週似乎為高地訓練的最低要求。

因此本研究將於海拔 1,850 公尺高度訓練一星期，然後回到海平面以相同強度再訓練一星期，以觀察高地訓練對耐力運動表現的影響並探討回到平地後以相同強度訓練一星期的訓練效果。

二、訓練前後血液值變化情形如表三

由表三可知在經過 7 天高地訓練後，紅血球、血球容積比有顯著的增加($p<0.05$)，白血球則顯著下降($p<0.05$)，血紅素則無顯著差異。

表三 訓練前後血液值基本資料

項目	訓練前	訓練後	顯著水準
紅血球	459±26.87	475.63±25.07	$p<0.05$
血紅素	13.52±0.52	14±0.56	NS
白血球	7012±374.4	5175±340.56	$p<0.05$
血球容積比	38.8±1.56	40.7±1.55	$p<0.05$

單位：紅血球(萬/ μ) 血球容積比(%) 血紅素(g/dl) 血球容積比(%)

三、訓練前後最大運動強度生理值變化情形如表四

由表四可知在經過 7 天高地訓練後，在最大攝氧量、最大氧脈與最大換氣量皆有顯著的增加($p<0.05$)，顯示訓練後身體有氧能力與組織使用氧的能力變好。

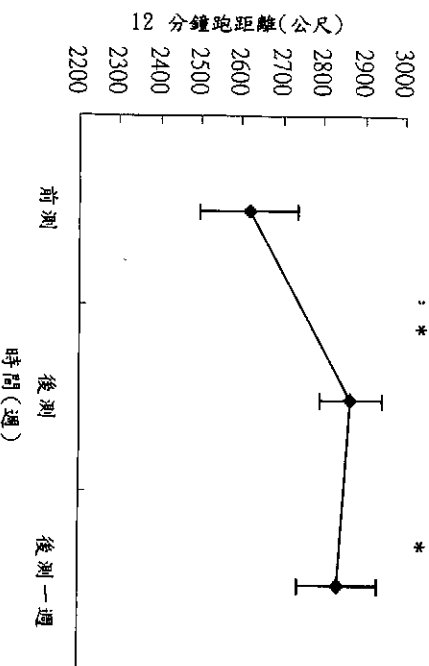
表四 訓練前後最大運動強度生理值基資料

項目	時間	訓練前	訓練後	顯著水準
最大運動持續時間		12.8±0.54	14.32±0.46	$p<0.05$
最大攝氧量(體重)		47.11±2.47	51.57±2.78	$p<0.05$
最大攝氧量(肌肉)		53.45±2.39	58.88±2.77	$p<0.05$
最大心跳		190.25±2.37	192±2.54	NS
最大氧脈		16.7±1.71	18.01±1.75	$p<0.05$
最大換氣量		123.59±11.95	138.40±11.76	$p<0.05$
呼吸頻率		50.1±2.37	53.9±2.26	$p<0.05$
潮氣量		2.49±0.24	2.58±0.22	NS
呼吸商		1.13±0.02	1.17±0.02	$p<0.05$

單位：運動持續時間(min) 最大攝氧量(ml/kg/min) 最大心跳率(beats/min) 最大氧脈(ml/min/beat)
換氣量(l/min) 潮氣量(l/min)

四、訓練前後 12 分鐘跑成績之比較如圖一

在為期一週的高地訓練之後，我們可以發現 12 分鐘跑從訓練前 2615±118.8 公尺增加到訓練後 2864±75.31 公尺，並以相同強度訓練一週成績為 2835±97.79 公尺都顯著高於訓練前($p<0.05$)，但與後測成績無顯著差異。



圖一 受試者在訓練前後各週 12 分鐘跑之比較，*表示前後測有顯著差異

肆、討論

在為期一週的高地訓練之後，我們發現最大攝氧量從訓練前 47.11±2.47 ml/kg/min 增加為 51.57±2.78

貳、方法

一、研究對象

本研究是以 10 位高中田徑隊員（男性 6 位，女性 4 位）為對象，基本資料如表一。

表一 受試者基本資料			
Subjects	年齡	身高	體重
男生(N=6)	19.0±4.47	184.33±4.92	72.83±8.11
女生(N=4)	16±0.5	168±2.83	51.3±3.05

二、實驗時間、地點及方式

(一)測驗時間：

- 1.前測：民國 91 年 8 月 16 日。
- 2.高地訓練期：民國 91 年 8 月 18-24 日。
- 3.後測：民國 91 年 9 月 25 日。

(二)測驗地點：陽明大學心肺功能實驗室。

(三)高地訓練地點：清境國小與清境農場（平均高度 1,850 公尺）

三、訓練方式

頻率：每週 7 次；時間：60 分鐘（上午與下午各一次）共 120 分鐘；強度：最大攝氧量 50%與 70%各 10 分鐘共 3 個循環。

四、最大運動強度測試

每位受測者以 Bruce protocol 測試之流程(Mead, 1979)，測試時需同時帶上心跳偵測儀(polar)與便攜式氣體分析儀(MetaMax 1, Cortex, Leipzig, Germany)連線，並戴上面罩，測量心肺功能各項生理值。

五、身體組成測試

以「Biospace Inbody3.0 Body Composition Analyzer 身體組成分析儀」以生物電阻抗分析法(BIA)測量包括體脂肪、水分、肌肉等身體組成。此儀器以「八點觸感式電極系統」、「分段生物電阻抗分析」、「右臂/左臂/軀幹/右腿/左腿」及多頻生物電阻抗分析(5/50/250/500 KHz)測量體脂肪重、肌肉重。

六、血液分析

血液以 OUTO Analyzer(SYSMEEX SE 9000)分析，紅血球、血紅素、血球容積比。

七、資料分析

- (一)所有資料均以 SPSS/PC+統計軟體處理，所有資料均以平均數、標準誤表示。
- (二)以相依樣本 t 考驗分析高地訓練前與後之各項生理值之差異。
- (三)以重複量數變異數分析訓練前、訓練後與訓練後一週 12 分鐘跑之成績表現差異。
- (四)本研究之顯著水準 $\alpha=0.05$ 。

參、結果

一、訓練前後身體組成變化情形如表二

由表二可知在經過 7 天高地訓練後，體重有顯著的下降($p<.05$)，其他部分則無顯著差異。

表二 訓練前後身體組成基本資料

項目	時間	訓練前	訓練後	顯著水準
體重		65.01±3.98	64.17±3.93	$p<.05$
去脂體重		57.07±3.95	56.57±3.91	NS
體脂肪重		7.94±0.67	8.4±0.44	NS
體脂肪百分比		12.52±1.24	12.82±1.05	NS
腰臀圍比		0.735±0.01	0.738±0.01	NS
單位：體重(公斤) 去脂體重(公斤) 體脂肪重(公斤) 體脂肪百分比(%) 腰臀圍比(%)				

ml/kg/min (增加 9.2%) 達顯著水準($p < 0.05$)，12 分鐘跑從訓練前 2615 ± 118.87 公尺增加到訓練後 2864 ± 75.31 (增加 9.5%) 公尺，並以相同強度訓練一星期成績為 2835 ± 97.79 公尺，都顯著高於訓練前($p < 0.05$)，顯示一週高地訓練將有助於成績提升，配合回平地訓練將有助於成績提升後之維持。

本研究發現在最大攝氧量從訓練前 47.11 ± 2.47 ml/kg/min 增加為 51.57 ± 2.78 ml/kg/min 達顯著水準($p < 0.05$)，造成之可能原因歸納如下：

一、中樞效益方面

(一)心臟功能變佳：原因可能為每跳輸出量的增加，因為本研究最大氣脈從由訓練前 16.7 ± 1.71 增至訓練後 18.01 ± 1.75 ml/min/beat (增加 7.3%) 達顯著差異($p < 0.05$)。氣脈通常被用來作為間接測量心輸出量的指標，由於沒有直接測量每跳輸出量，所以用此指標來推論每跳輸出量可能在高地訓練後有增加。其原因可能高地訓練的刺激，而讓心臟承受較大的刺激，而使心室容積增大和心室壁增厚造成心臟每跳輸出量增加。

(二)呼吸肌功能變佳：本研究結果發現最大換氣量由 123.59 ± 11.95 l/min 增加為 138.40 ± 11.76 l/min (增加 11.9%)，達顯著水準。而換氣量受呼吸頻率及潮氣量所影響，本研究最大呼吸頻率從 50.1 ± 2.37 次/min 增為 53.9 ± 2.26 次/min，達顯著水準，顯示呼吸肌群最大作業能力變佳，Bailey et al. (1998) 也指出高地訓練後呼吸肌功能會變好；而潮氣量從 2.49 ± 0.24 l/次增至 2.58 ± 0.22 l/次有增加趨勢但未達顯著，而潮氣量的增加會使肺泡有充分時間進行有效的氣體交換，並能減少呼吸死腔中所佔的通氣量，增加呼吸效率、減少呼吸肌所需之能量以利運動肌群作業。

(三)血紅素流量增加：本研究血紅素數從登前後由 459 ± 26.87 萬/ul 增為 475.63 ± 25.07 萬/ul 達顯著水準；血球容積比由 $38.8 \pm 1.56\%$ 增為 $40.7 \pm 1.55\%$ 達顯著水準；血紅素濃度由 13.52 ± 0.52 增為 14 ± 0.56 g/dl 有增加趨勢但未達顯著水準。Klausen et al. (1991) 的研究也指出七天的高地訓練，高度 2,700 公尺，以最大心跳 60-70% 為強度，每天訓練四小時結果發現紅血球、血紅素、紅血球生成素數有增加。Berglund (1992) 指出在中等高地紅血球與血紅素增生需要一週的時間，顯示一週時間在中等高地訓練會使紅血球增生，此結果與本實驗有相近之結果。Wolfel et al. (1991) 認為血比容從 40% 升到 55%，會增加血液黏滯性，增加血管阻力，降低心輸出量，另外血管會受到正腎上腺素的影響而收縮，亦阻礙了血流傳導，本實驗血比容增加由 39.13% 增為 40.48% ，並不是很高，應該不至會增加血管阻力，而造成心輸出量下降。

二、週邊效益方面

組織使用氧能力增加：將絕對最大攝氧量除以肌肉重，所得每公斤肌肉所需之攝氧量，用以判斷肌肉使用氧的情形，結果發現每公斤肌肉消耗氧氣的能力從訓練前 53.45 ± 2.39 ml/kg/min 增加為訓練後 58.88 ± 2.77 ml/kg/min (增加 10.1%) 達顯著差異，顯示高地訓練後組織使用氧的能力優於訓練前，原因可能為高地適應後，組織會發生適應性的變化，以便提高利用氧的能力，使人體的有氧代謝能力提高。Bailey et al. (1998) 指出這些適應包括微血管密度與數量的增加、骨骼肌中肌紅蛋白的含量的增加、粒線體數量與氧化酶含量活性的增加，不過本研究設計未能有實際驗證，上敘僅為推論。

三、結論

在經一週高地訓練後，對有氧能力有顯著改善，再配合一週平地練習，可維持高峰運動表現，此訓練模式可作為以後有氧能力訓練的參考。

參考文獻

- Asano, M., Kaneoka, K., Nomura, T., Asano, K., Sone, H., Tsurumaru, K., Yamashita, K., Matsuo, K., Suzuki, H., & Okuda, Y. (1998). Increase in serum vascular endothelial growth factor levels during altitude training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(4), 455-459.
- Bailey, D. M., Davies, B., Romer, L., Castell, L., Newsholme, E., & Gandy, G. (1998). Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 78(4), 360-368.
- Balke, B., Nagle, F. J., & Daniels, J. T. (1965). Altitude and maximum performance in work and sports activity.

- JAMA*, 194, 176-179.
- Berglund, B. (1992). High-altitude training: Aspects of haematological adaptation. *Sports Medicine*, 14(5), 289-303.
- Daniels, J., & Oldridge, N. (1970). The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Medicine & Science in Sports*, 2(3), 107-125.
- Frisancho, A. R., Martinez, C., Velasquez, T., Sanchez, J., & Montoye, H. (1973). Influence of developmental adaptation on aerobic capacity at high altitude. *J Appl Physiol*, 34, 176-188.
- Gore, C. J., Hahn, A., Rice, A., Bourdon, P., Lawrence, S., Walsh, C., Stanef, T., Barnes, P., Parisotto, R., Martin, D., Pyne, D., & Gore, C. (1998). Altitude training at 2,690m does not increase total haemoglobin mass or sea level $\dot{V}O_{2max}$ in world champion track cyclists. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 1(3), 156-170.
- Hahn, A. G., Gore, C. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Roberts, A. D., & Logan, P. A. (2001). An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training at sea level: Comparative biochemistry & physiology. Part A. *Molecular & Integrative Physiology*, 128(4), 777-789.
- Karvonen, J., Peltola, E., Saarela, J., & Nieminen, M. M. (1990). Changes in running speed, blood lactic acid concentration and hormone balance during sprint training performed at an altitude of 1860 metres. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 30(2), 122-126.
- Klausen, T., Mohr, T., Ghisler U., & Nielsen, O. J. (1991). Maximal oxygen uptake and erythropoietic responses after training at moderate altitude. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 62(5), 376-379.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1992). A practical approach to altitude training: Where to live and train for optimal performance enhancement. *International Journal of Sports Medicine*, 13(1), S209-212.
- Mead, W. F. (1979). Maximal exercise testing-Bruce protocol. *Journal of Family Practice*, 9(3), 479-490.
- Morris, D. M., Kearney, J. T., & Burke, E. R. (2000). The effects of breathing supplemental oxygen during altitude training on cycling performance. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 3(2), 165-175.
- Noahkes, T. D. (2000). Altitude training for enhanced athletic performance. *International Sport Med Journal*, 1(2), 112-119.
- Wolfe, E. E., Groves, B. M., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Mazzeo, R. S., Moore, L. G., Sutton, J. R., Bender, P. R., Dahms, T. E., & McCullough, R. E. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 70(3), 1129-1136.
- Wolski, L. A., McKenzie, D. C., & Wenger, H. A. (1996). Altitude training for improvements in sea level performance: Is there scientific evidence of benefit? *Sports Medicine*, 22(4), 251-263.

THE EFFECT OF ALTITUDE TRAINING ON ENDURANCE PERFORMANCE IN HIGH

SCHOOL TRACK ATHLETES

Wen-Chih Lee¹, Sun-Chin Yang², Jen-chun Lo³, Wen-Chen Huang³, Cheng-Feng Ho¹, & Chung-Pu Chi⁴
¹ Physical Education Office, Shih Hsin University, ² Physical Education Office, Ming-Chuan University, ³
 Physical Education Office, Taipei Physical Education College, & ⁴ Taipei Medical University

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the effect to altitude training on endurance performance in track athletes. Ten athletes were examined before and after one-week altitude training. Maximal oxygen consumption and cardiopulmonary fitness test were also measured before and after the altitude training. Body weight of these subjects was significantly reduced after the altitude training. We have found that maximal oxygen consumption, cardiopulmonary fitness, and running performance (distance for 12-min run) were significantly improved. One week after the altitude training, the better running performance was still well above sea-level. In the current study, we demonstrated that mild altitude training significantly improved the running endurance.

Key words: RBC, $\dot{V}O_{2max}$, HCT, 12-min run