發表題目：間歇訓練對乳酸閾值之效應

作者姓名：葉明春、林輝明、賴峻男、張嘉澤、呂欣善

服務單位：國立員林崇實高工、國立台灣體育學院、國立台灣體育學院、國立體育學院、國立台灣體育學院

通訊地址：彰化市平和九街 49 巷 3 號 4 樓之 2

電話：04-7635728(家)　04-8347106 轉 35(公)　0938604678(手機)

傳真：04-7511129

E-mail：yah@csvs.chc.edu.tw

間歇訓練對乳酸閾值之效應

葉明春　國立員林崇實高工　專任運動教練
林輝明　國立台灣體育學院　體育研究所　研究生
賴峻男　國立台灣體育學院　競技運動研究所　研究生
張嘉澤　國立體育學院　教練研究所　助理教授
呂欣善　國立台灣體育學院　運動健康科學學系　教授

摘要

當人體從事各種運動項目時，隨著運動強度、時間甚至環境等因素，都會影響提供能量來源的比例，進而產生不同的結果及變化。而田徑中的800 m及1500 m運動員，所需具備的優異速度耐力與快速乳酸排除能力，則是需要經由訓練取得。而間歇訓練時所產生的乳酸值又高於反覆訓練，因此間歇訓練成為許多教練及運動員最為常用之訓練法。為瞭解中長跑運動員對於間歇訓練在強度的、生理適應等方面的結果，本研究以六位高中男子中長跑運動員為對象，實施五週的快速耐力間歇訓練，以前、後測的方式觀察乳酸閾值、心跳率、有氧與無氧能力、運動負荷等方面的變化並加以分析。結果發現，經過五週的間歇訓練後，有氧閾值速度 (2 mmol/l) 能力具有顯著差異，在心跳率部分，Test-2 (後測) 較Test-1 (前測) 顯示有進步。乳酸於3.5 m/s與測試速度4.5 m/s前測與後測均達顯著差異。運動結束乳酸堆積在Set-1 (訓練組別第一組) 方面，第一週與第五週之第三分鐘達顯著差異。運動後恢復心跳率達顯著差異，最大負荷心跳率呈現下降之現象顯示耐力有進步。在無氧閾值與最大訓練負荷之關係方面，與200 m最大訓練負荷有進步。總結以上，心跳率、基礎耐力及乳酸閾值之檢測，可做為協助提升選手之有氧與無氧耐力之能力訓練之依據。

關鍵詞：間歇訓練、中長跑運動員、乳酸閾值、有氧閾值、無氧閾值

壹、問題背景

許多人都知道，當人體從事不同時間的最大運動時，所動用的能量供應系統就會有所不同。肌肉三大能量來源系統中，10 秒以內之短時間最大運動，主要來源為 ATP-PC 系統或磷化物系統；1-2 分鐘時間左右之最大運動，其主要能量來源為 ATP-PC 系統與乳酸系統 (醣酵解) 之搭配；至於 3 分鐘以上的最大運動或低強度長時間運動則為有氧系統 (Neumann, 1990)。

在田徑運動項目中，800 公尺及 1500 公尺的運動員必須具備優異的速度耐力及快速乳酸排除的能力，才能在激烈的競賽中獲得優異的成績。運動員在激烈的運動中肌肉會產生大量的乳酸，而間歇訓練與反覆訓練除運動強度設定不同外，最大不同之處乃在於因運動後其間歇採未完全休息之方式，而反覆訓練則因完全休息之方式為之，造成間歇訓練所產生的乳酸值乃高於反覆訓練，這也是近來許多人以間歇訓練來作為提升無氧耐力的方式 (Keul et al., 1972)，可見間歇訓練對於乳酸系統是一項不錯的訓練法。多年來許多的運動實驗研究發現，乳酸濃度之多寡是隨著漸增運動負荷之強度、耗氧量及功率的增加而增加(Weltman, 1995)。

另外也在一項游泳訓練研究中發現，乳酸濃度在較高之運動強度下產生線性上升之效應 (Wilmore & Costill, 1988)。因此，可見得透過訓練所產生的效果，將改變人體本身體能狀況進而影響乳酸濃度對運動強度之反應 (呂欣善、陳相榮，1997)。乳酸是無氧醣酵解所生成的產物，而影響之因素有，運動的強度與訓練狀態、肌肉型態、營養物質、運動型態及恢復方式等有關；高地運動則可能與大地氣溫有關；採血部位，如耳下或指尖之位置，則可能因採集的方式(埋針、針刺等方式)而受影響 (呂欣善、陳相榮，1997)。除此之外，乳酸的生成與排除也和有氧代謝能力有關 (Hollmann et al., 1976) 。Mader et al. (1977) 運動負荷在無氧閾值範圍，持續運動將造成乳酸堆積。大多數人都知道，在身體活動以長時間、低強度運動方式，主要能量來源有氧代謝系統。由於自由脂肪酸的代謝，活動過程並不會產生乳酸堆積症狀。特殊情況為比賽時之最後衝刺，形成血液乳酸的堆積。此時有 55%-70%是透過氧化而轉化成為 H_2O 和 CO_2，有 20% 轉換成為肌肉或肝臟

肝醣，5%-10% 成為蛋白質構成物，2% 轉換為葡萄糖及 10% 轉換成胺基酸等方式進行移除 (Gasser & Brook, 1984)。因為這樣，所以當乳酸之生成率大於排除率時，便會造成乳酸堆積影響運動能力的表現。再者，有研究顯示，無氧閾值與耐力能力具有高度相關（Liesen et al., 1981）。如 Power & Howley 於 2002 年指出，無氧閾值不但可以因訓練而提昇，以無氧閾值的強度，做為耐力性運動訓練的負荷基準相當有效。

因此研究者希望透過本研究之設計，分析、了解並觀察中長距離選手訓練負荷對血液乳酸與心跳率之變化，以作為訓練上運動能力評價、訓練效果的判斷和訓練強度調控之應用，進而協助運動員創造個人最佳成績。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究以國立員林崇實高工男子中長距離選手 6 人為研究對象，受試者基本資料如表一所示。

表一：受試者基本資料

受試者(n=6)	平均數	標準差	最大值	最小值
年齡(歲)	16.5	0.5	17.0	16.0
身高(公尺)	1.73	4.6	1.77	1.65
體重(公斤)	64.7	6.6	70.0	53.0
運動年齡(年)	4.5	0.5	5.0	4.0

二、時間及地點

（一）時間：全國性田徑賽前，共五週。

（二）實施地點：國立員林崇實高工 200 m 運動場。

三、研究器材

（一）BIOSENC-line 乳酸血糖分析儀及紅血球破壞劑(德國製)。

（二）CARDIO SPORT 心跳錶(台灣製)。

（三）酒精、消毒用具、毛管、手術用手套、採血針(台灣製)。

（四）SEIKO 碼表、列表機(日本製)。

四、研究參數

血液分析以德國 BIOSENC-line 乳酸血糖分析儀化驗，以台灣製 CARDIO SPORT 心跳錶收集心跳率，做為觀察分析參與者生物參數之變化。

五、實驗步驟

（一）實驗方法：

第 1 (前測) 、2、3、4 週每週一及第 5 週之週五 (後測) 以 Mader (1984) 二段式測試 (2×200 m-300 m-200 m-300 m) 作為研究訓練觀察方式。受試者於檢測前先於耳垂採血 10 μl 。Test-1（前測）與 Test-2（後測）間隔四週。受試者進行 200 m-300 m-200 m-300 m 的速度訓練，Set-1（第一組）個人的最佳速度的 80%，Set-2（第二組）為個人的最大速度 100%，每段距離間歇 2 min。在 Set-1 運動結束後休息 15 分鐘，並於第 1 與第 3 分鐘採集血液，每次亦為 10 μl；Set-2 則在 1、3、5、7 分鐘收集血液樣本並以 BIOSENC-line 乳酸血糖分析儀分析其乳酸值。受試者於檢測過程中均佩帶心跳錶，並於每次跑完後紀錄心跳率；並以碼錶紀錄速度，如表二。

表二：檢測方式

組別 (Set)	距離 (m)	強度 (%)	間歇休息 (min)	結束休息 (min)	採血時間點 (min)
1	200-300-200-300	80	2	15	R、1、3
2	200-300-200-300	100	2		1、3、5、7

備註：採血時間點中，R 代表實施檢測前。

（二）快速間歇訓練處方內容如表三所示。

表三：快速間歇訓練處方

時間	訓練內容及強度	間歇休息	組間結束休息
週一	Set-1：(200 m-300 m-200 m-300 m) 80% Set-2：(200 m-300 m-200 m-300 m) 100%	2 min	15 min，採血點為 R、1、3、5、7 min
週二	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週三	Set-1：(200 m-300 m-200 m-300 m) 80% Set-2：(200 m-300 m-200 m-300 m) 95% Set-3：(200 m-300 m-200 m-300 m) 100%	2 min	10 min
週四	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週五	Set-1：(200 m-300 m-200 m-300 m) 80% Set-2：(200 m-300 m-200 m-300 m) 95% Set-3：(200 m-300 m-200 m-300 m) 100%	2 min	10 min
週六	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週日	休息		

六、訓練方式

訓練頻率為每週一、三、五實施，共計五週。在 200 m PU 跑道實施訓練。訓練內容以 3x200 m-300 m-200 m-300 m 為訓練距離，間歇休息時間為 2 min，每組休息 10 min，強度為參與者個人最佳成績之 80%、95%及 100%，為期五週之快速間歇訓練，如表四。

表四：訓練內容

組別	訓練距離 (m)	間歇休息 (min)	訓練強度 (%)	結束休息 (min)
1	200-300-200-300	2	80	10
2	200-300-200-300	2	95	10
3	200-300-200-300	2	100	

七、資料處理與分析

（一）本實驗所得之生物參數數據以SPSS 10.0統計軟體 (美國) 及曲線分析以 SigmaPlot 8.0 (美國) 製作，無氧閾值判斷則採用德國奧林匹克中心所研發之軟體 (Laktat-Explorer)分析。

（二）使用相依樣本T檢定分析考驗間歇訓練期間乳酸值、心跳率的變化。單因子變異數分析比較訓練期間無氧閾值之變化，如有差異時再進行Tukey事後比較。

（三）顯著水準為$p \leq 0.05$。

參、結果與討論

一、基礎耐力 (2-4 mmol/l)

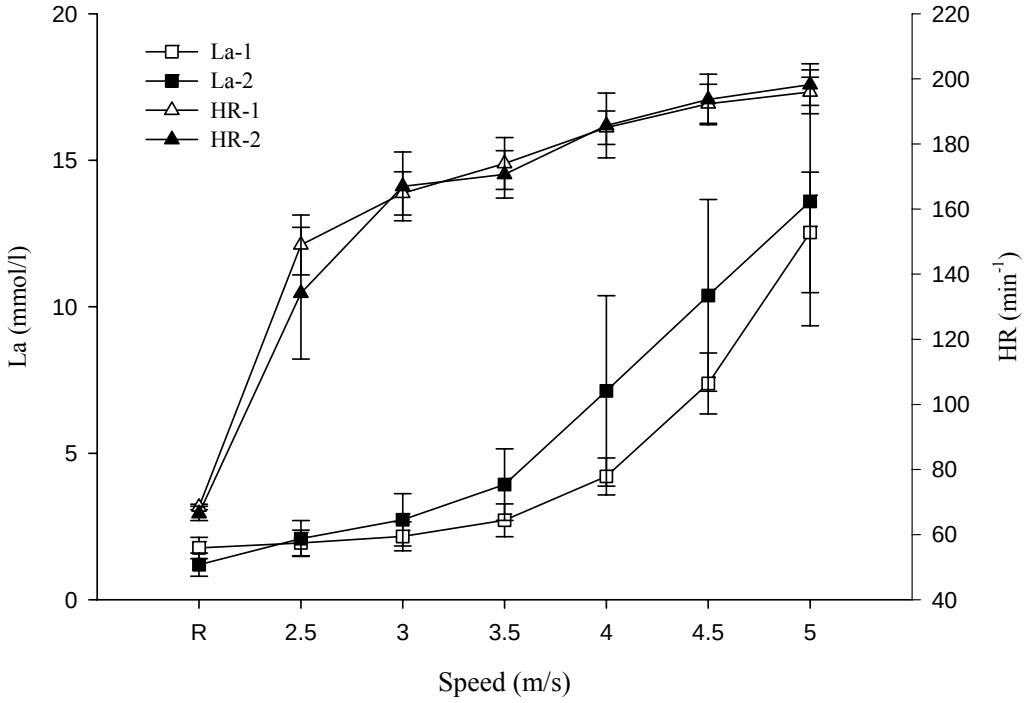
依據 Mader 等人於 1976 年所提出之 2-4 mmol/l 理論發現，有氧閾值 2 mmol/l 前測與後測差異為 0.2 m/s ($p<0.05$)，具有顯著差異。這個結果與 Hollmann (1966) 之間歇訓練有助於有氧能力系統之改善相符。亦符合 Hollmann et al. (1976)指出，乳酸的生成與排除也和有氧代謝能力有關。無氧閾值 4 mmol/l 前測與後測則為-0.1 m/s ($p>0.05$)，雖未達顯著差異，但實際上卻有下降的趨勢，其原因可能是受試者因運動後恢復時間不足，肌肉與血液無法大量完成乳酸排除，也因此影響到恢復

期後的運動表現(Klausen , 1972)，因而造成效果之顯現較為緩慢。如表五。

表五：基礎耐力前測 (Test-1) 與後測 (Test-2)

	2 mmol/l (m/s)	HR (mim^{-1})	4 mmol/l (m/s)	HR (mim^{-1})
Test-1	2.2±0.9	138.0±26.6	3.7±0.4	174±13.0
Test-2	2.4±0.4	131.3±11.9	3.6±0.2	164.3±6.7

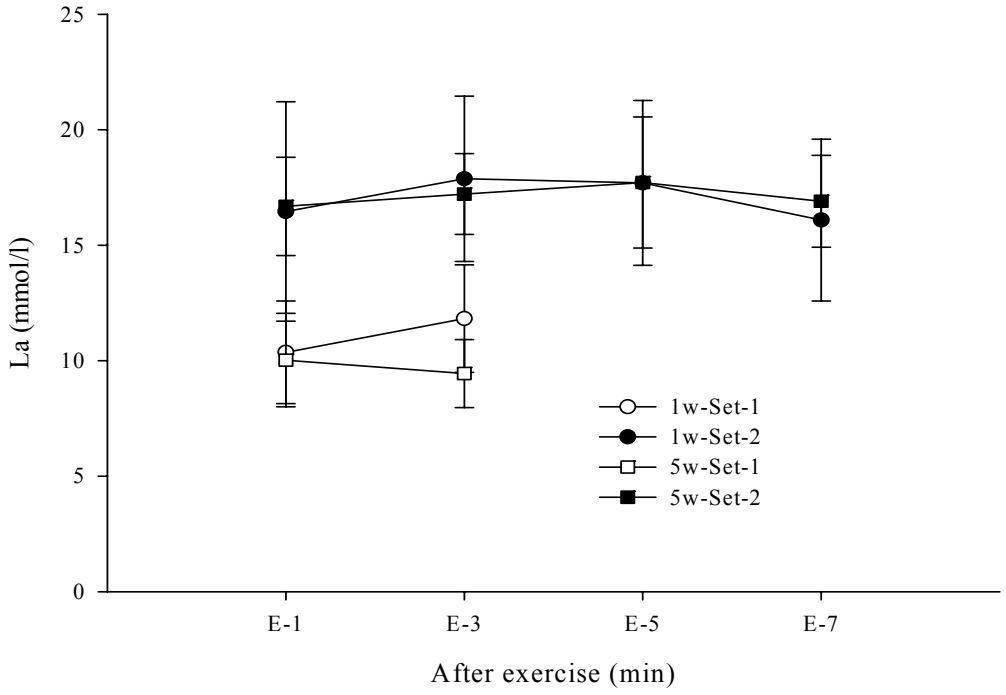
乳酸於 3.5 m/s 前測與後測達顯著差異 ($p<0.05$)。測試速度 4.5 m/s 前測與後測差異為 3 m/s ($p<0.05$)，曲線向左移動 (如圖一)。表示當速度愈快時，產生的乳酸值相對提高，這與 Gasser & Brooks 於 1984 年所提，當運動強度升高時，乳酸即被大量製造，而造成乳酸製造率高於清除率，乳酸堆積就會出現相符。



圖一：基礎耐力前測與後測乳酸與心跳率變化

二、乳酸

圖二為運動結束乳酸堆積分析，Set-1 第一週與第五週之 E-3 達顯著差異 ($p<0.05$) 。Set-2 運動結束後第一、三、五與第七分鐘，第一與第五週均未達顯著差異 ($p>0.05$) 。



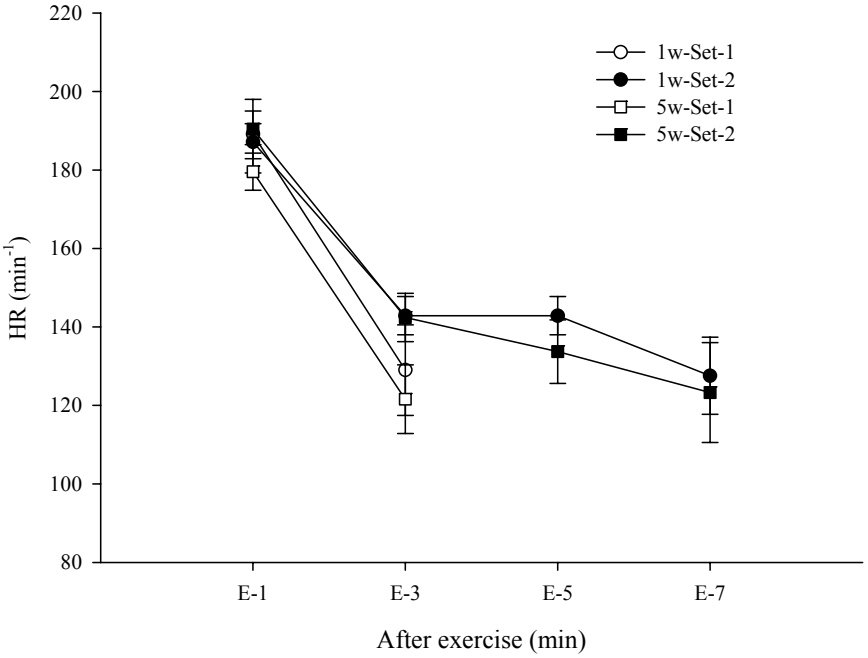
圖二：運動結束 (E-1、E-3、E-5、E-7) 乳酸堆積於第一週與第五週之比較

在圖二中發現，受試者在乳酸變化之比較，第一週與第五週運動結束後，第一分鐘 (E-1) 乳酸平均值兩週差異為 -0.33 mmol/l 。而在運動結束第三分鐘差異則為 -2.38 mmol/l 。Set-2 運動結束後第七分鐘乳酸堆積於第一週平均值為 16.09±3.50 mmol/l，與第五週差異為+0.8 mmol/l。運動結束乳酸堆積分析，Set-1 第一週與第五週之 E-3 達顯著差異 ($p<0.05$)，符合 Neumann (1991)提出的 4-6 生理適應週期原理。Klausen (1972) 曾提到，如果運動後恢復的時間過短，將造成肌肉組織及血液中的乳酸無法有效地進行排除，也就是說將會影響恢復後的運動表現。當負荷每提高一次，將會造成閾值變數又一次持續的上升，乳酸堆積也就越多。

三、心跳率

從本研究結果圖三中顯示，運動結束心跳率在第一分鐘 (E-1) 第五週Set-1與Set-2 達顯著差異 ($p<0.05$)。而第一週與第五週Set-1、Set-2之 E-3 均達顯著差異 ($p<0.05$) ，因此本次實驗顯示運動後心跳率確實有明顯之影響。

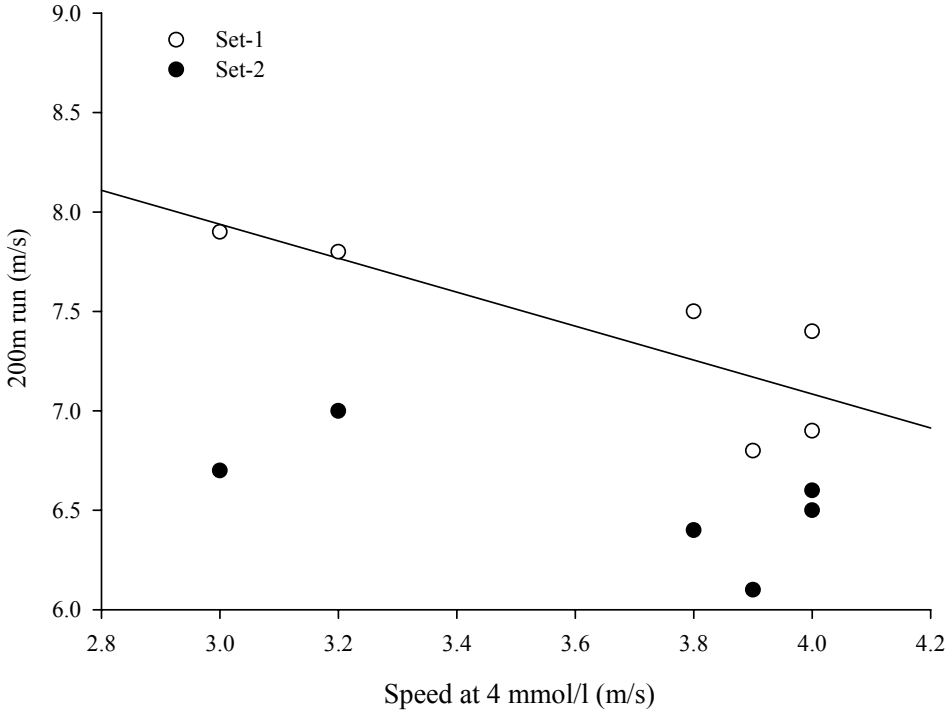
Set-1 第一分鐘 (E-1)、與 Set-1、Set-2 運動結束後 E-5 與 E-7 則均未達顯著差異 ($p>0.05$) 。



圖三：第一週與第五週運動負荷結束心跳率之分析

四、無氧閾值 (4 mmol/l) 與 200 m 最大訓練負荷

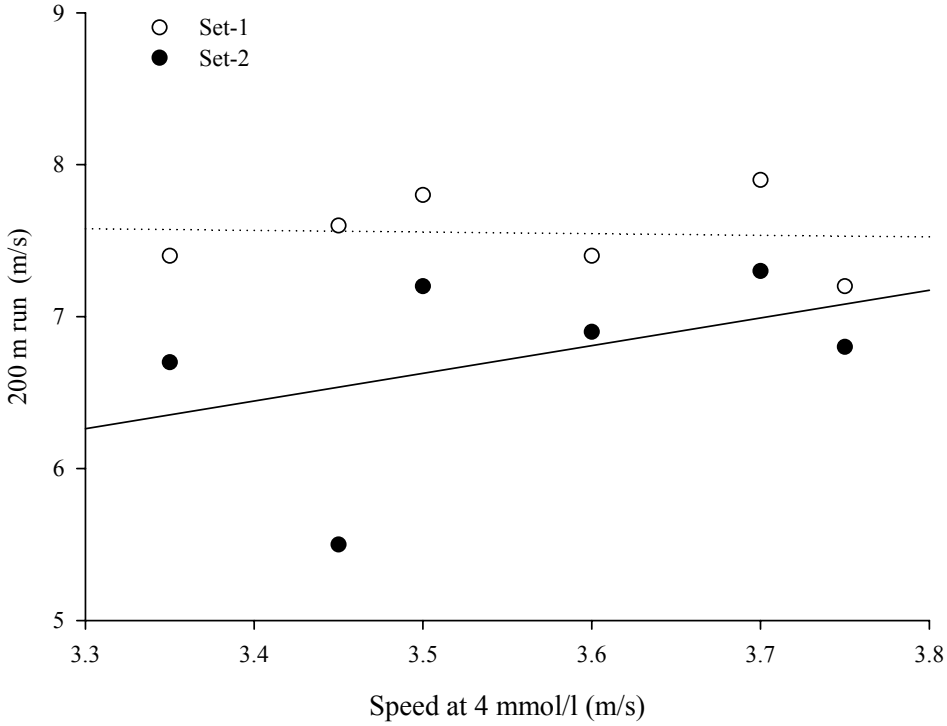
第一週 200 m 之 Set-1 與 Set-2 速度慢，無氧閾值 (4 mmol/l) 速度快，呈現負相關，如圖四。



圖四：無氧閾值速度與第一週 200 m Set-1、Set-2 速度之分析

圖四中第一週 200 m Set-1 與 Set-2 速度第一次實施，所跑的速度愈慢，無氧閾值速度 (4 mmol/l) 相對較快，呈現負相關。此現象符合 Böhmer et al. (1975) 指出，當運動強度逐漸到達身體之最大運動負荷時，上升的現象反而趨於緩和。這種現象，是因為心臟循環系統血液供給的能力，進而影響人體繼續從事更高強度的運動。第五週 200 m Set-1 速度與無氧閾值速度無顯著差異；Set-2 之 200 m 最大速度與無氧閾值速度呈現正相關。

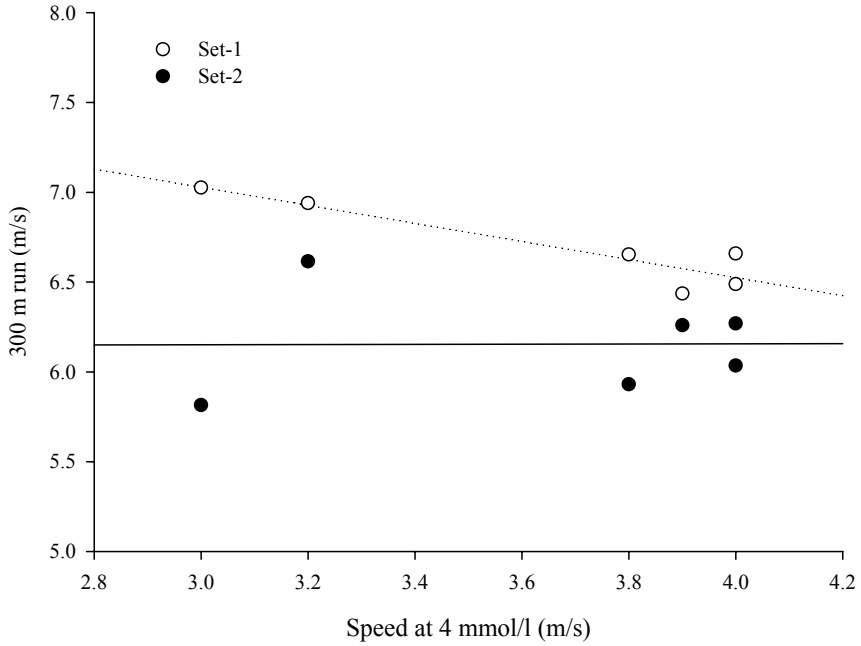
反觀第五週 200 m Set-1 速度與無氧閾值速度 (4 mmol/l) 雖無顯著差異，但 Set-2 之 200 m 最大速度與無氧閾值速度 (4 mmol/l) 卻已出現正相關之現象，如圖五。顯示經過五週之訓練無氧閾值速度 (4 mmol/l) 已有進步，此結果符合 Neumann (1991)之生理適應週期原理。



圖五：無氧閾值速度與第五週 200m Set-1、Set-2 速度之分析

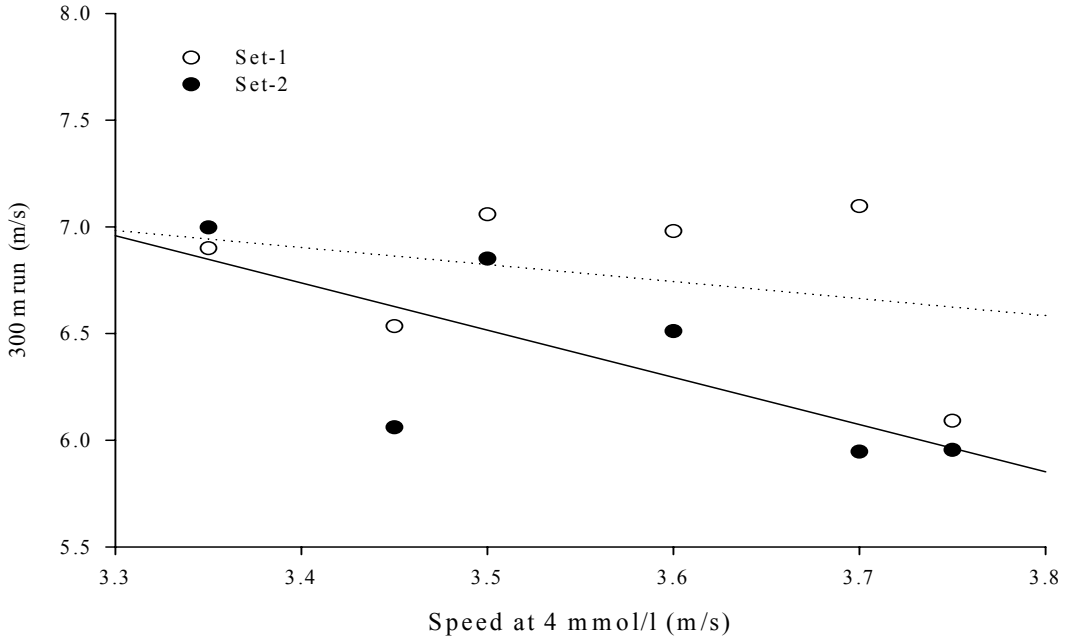
五、無氧閾值 (4mmol/l) 與 300m 最大訓練負荷

從圖六顯示，當 300 m Set-1 速度在第一週無氧閾值速度 (4 mmol/l) 提高時，出現下降之現象，呈現負相關，Set-2 速度則維持不變。可見得受試者於本次研究之前之無氧閾值速度 (4 mmol/l) 不甚理想。



圖六：無氧閾值速度 (4 mmol/l) 與第一週 300 m Set-1、Set-2 速度之分析

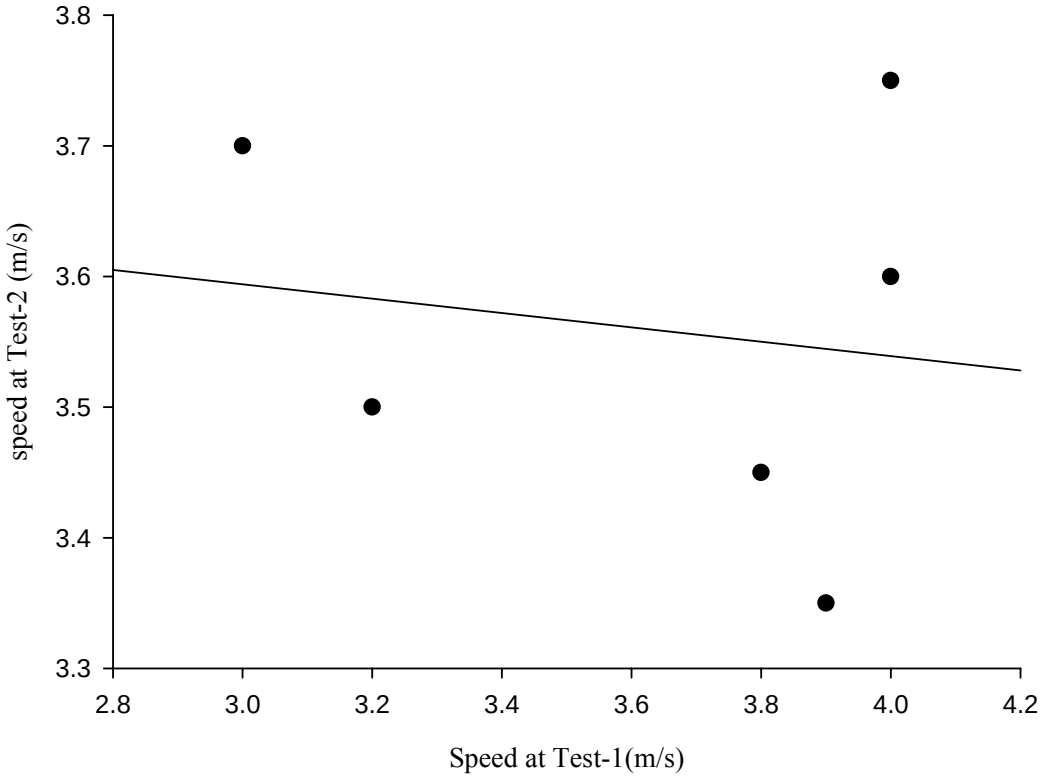
當經過第五週之快速耐力訓練後發現，當無氧閾值速度 (4 mmol/l) 愈快時，在 Set-2， 300 m 速度產生明顯下降之現象，兩者呈現負相關，如圖七。



圖七：無氧閾值速度 (4 mmol/l) 與第五週 300 m Set-1、Set-2 速度之分析

六、無氧閾值 (4 mmol/l) 與乳酸堆積

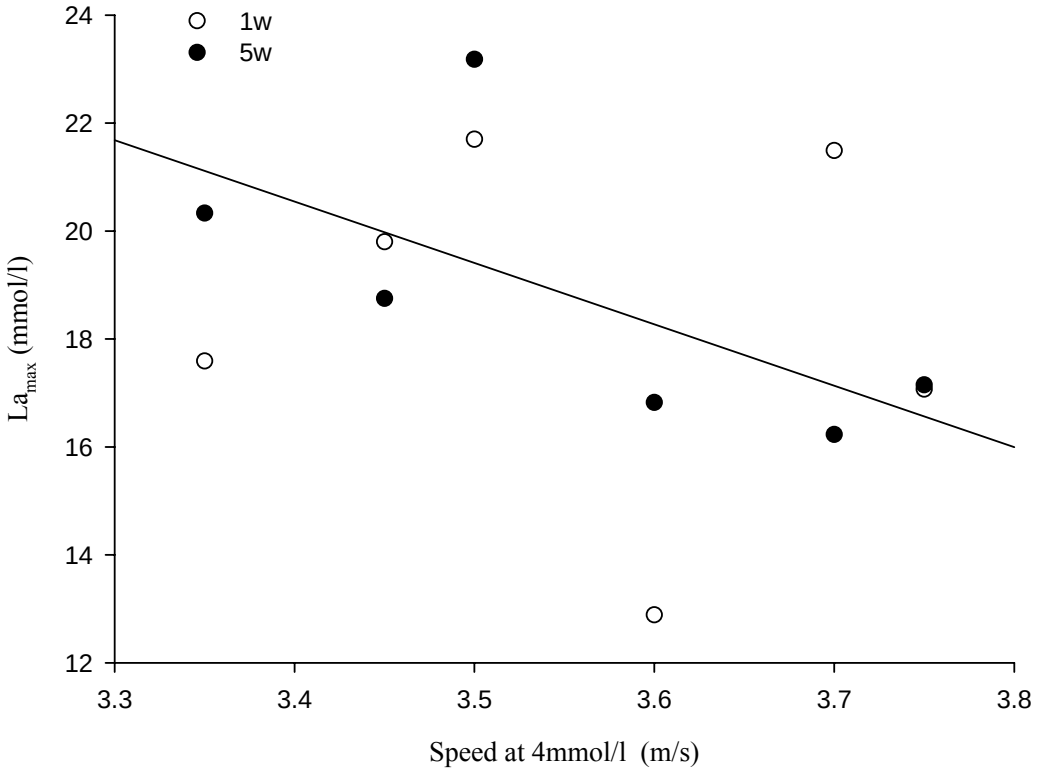
4 mmol/l 無氧閾值前測 (Test-1) 與後測 (Test-2) 之乳酸堆積均未達顯著差異 ($p>0.05$)，如圖八。



圖八：4 mmol/l 無氧閾值前測(Test-1)與後測(Test-2)之比較

以不同的運動強度從事運動時，血中乳酸值就有不同的堆積情形。屬於短時間高強度的運動，經常是乳酸堆積造成的主要原因之一 (Weicker et al., 1994)。當運動強度增加，乳酸之濃度亦隨之上升 (Weltman, 1995)。本次研究發現，六位受試者經過五週之快速耐力訓練後，圖八顯示在 4 mmol/l 無氧閾值 Test-1 與 Test-2 之乳酸堆積方面，無明顯進步之現象 ($p>0.05$)，但並不是代表著此訓練是無效的，因為可從圖九發現，經過五週之訓練後，無氧閾值 (4 mmol/l) 於 Test-2 檢測時出現當速度愈快時，訓練最大乳酸堆積 (La_{max}) 已產生下降之現象，表示無氧閾值 (4 mmol/l) 已經由訓練而逐漸達到適應，進而提升成績水準的。符合 Neumann (1991) 提出的 4-6 生理適應週期原理。有研究指出，無氧閾值不但可以因訓練而提昇，以無氧閾值的強度，做為耐力性運動訓練的負荷基準相當有效 (Power & Howley, 2002)。

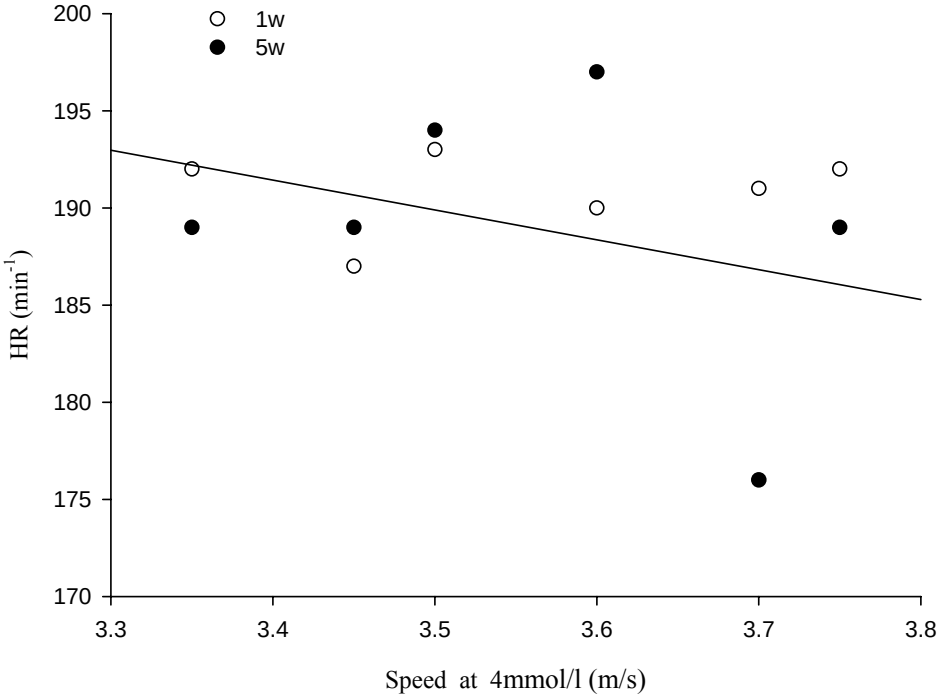
當無氧閾值 (4 mmol/l) Test-2 速度愈快時，訓練最大乳酸堆積 (La_{max})產生下降之現象，呈現負相關，如圖九。



圖九：無氧閾值 (4 mmol/l) 後測與訓練最大乳酸堆積 (La_{max}) 之比較

七、2 mmol/l 速度與第一週、第五週最大負荷心跳率

Hollmann (1966)指出透過運動訓練的方式可以有效地改善有氧系統能力。從圖十中發現，於第五週 (後測) 時，在 2 mmol/l 速度時，最大負荷心跳率呈現下降之現象，此現象表示六位受試者經過五週之快速耐力訓練後耐力方面有進步；也就是說其有氧能力方面經由快速耐力訓練而得到提昇，符合 Neumann (1991) 提出的 4-6 生理適應週期原理。



圖十：4 mmol/l 速度 (後測) 與第一週、第五週最大負荷心跳率之關係

肆、結論與建議

一、結論

經過五週的間歇訓練後，有氧閾值速度 (2 mmol/l) 能力、乳酸於 3.5 m/s 與測試速度 4.5 m/s 前測與後測、運動結束乳酸堆積在 Set-1 方面，第一週與第五週之第三分鐘及運動後恢復心跳率均具有顯著差異。在心跳率部分，Test-2 較 Test-1 方面顯示有進步，而最大負荷心跳率呈現下降之現象亦顯示耐力有進步。在無氧閾值與最大訓練負荷之關係方面，與 200 m 最大訓練負荷有進步。總結以上，心跳率、基礎耐力及乳酸閾值之檢測，可做為協助提升選手之有氧與無氧耐力之能力訓練之依據。

二、建議

本研究測試的對象為基層高中中長跑選手，受試者大部份均為二年級生，未來將更進一步，針對訓練劑量與訓練調整進行研究，尋求最佳之訓練方式與診斷

模型。例如心跳率、基礎耐力及乳酸閾值之檢測，做為日後訓練模式之參考。因此，教練在平日訓練的同時，應可配合以閾值速度或心跳率等之檢測，以監控訓練之品質，協助提升選手之有氧與無氧耐力之能力。

Abstract

Human performs exercises with different response, since the ratio of energy supply is changed depending on the intensity, duration of the exertion and environment condition. Elite 800 and 1500 meter runners particularly require higher speed endurance and faster lactic acid clearance abilities thought athletic training. Interval training has commonly been utilized by coaches and athletes while training, because it results in a higher lactate level as compare to repeat training. The purpose was to examine the effects of intensity and adaptation of interval training on distance runners. Six male distance runners from high school participated in this investigation as subjects. Interval training for speed endurance was performed for five weeks. The variations of lactate threshold, heart rate, aerobic and anaerobic abilities, and exercise load were examined and analyzed by administrating a pre-post test experiment. Result has shown a significant change in running speed at aerobic threshold (2 mmol/l) after the five-week interval training. An improved exercise heart rate was found from Test-1 to Test-2. Lactate was significantly different at 3.5 m/s and pre-post test at 4.5 m/s. Lactate level was found significant difference in third min of recovery in the first and fifth of the training. Recovery heart rate was significantly lower following the training indicating an improvement of endurance. Maximum training load has improved 200 m In summary, monitoring of heart rate, endurance and lactate threshold during training provides valuable information to trainers and training load can be optimized to enhance aerobic and anaerobic endurance of the runners.

Keywords:Interval training, Distance runners, Lactate threshold, Aerobic threshold, Anaerobic threshold

參考文獻

呂欣善、陳相榮 (1997)。影響運動後乳酸變化因素探討。*國立台灣體育學院學報*，(2)，107-119。

阮如鈞 (1986)。*競技運動訓練的理論與方法*。台北：體育出版社。

林文郎、何忠鋒 (1998)。血乳酸與運動之探討。*大專體育*，(40)，115-124。

林正常 (1986)。*運動科學與訓練-運動教練手冊*。台北：健行文化出版事業有限公司。

林正常、王順正、彭郁芬、林玉瓊、吳忠芳、康風都 (1997)。長跑選手不同臨界速度跑的血乳酸反應。*體育學報* ，(24) ，121-132。

林正常 (1999)。臨界動力 (速度) 在耐力運動訓練上的運用。*1999 年國際運動教練科學研討會手冊暨報告書*，107-124。

林必寧、王錠堯、王彥欽、楊群正、呂盈賢、王順正 (2005)。固定心跳率跑速變異評估 3000 公尺跑步成績之研究，*運動生理週訊電報 (201)*，2004 年 11 月 10 日，取自 http://www.epsport.idv.tw/。

林順安 (2001)。中距離賽跑與能量需求。*中華體育*，(3)，47-53。

張嘉澤、詹元碩(2005)。運動能力之診斷與訓連調整。*國民體育季刊*，34(3)，44-52。

Brooks, G.. A., L. Divine-Spurgeon. (1982). *Effects of training on oxidation of injected [U-l4C]-lactate in rates during exercise.* In Knuttgn, H.GJ. Poortmans, and J.A. Vogel (Eds.), Biochemisty of Exercise, Champaige, Ill.: Human Kinetice.

Böhmer, D., Baron, D., Bausenwein, I., Fischer, H., Groher, W., Hess, M., Jäger, D., Martin, L., Mühlfahrt, J., Nöcker, P., Nowacki, G., Rompe, A., Thiel, B.,Schmücker, O. (1975): *Das sportmedizinische Untersuchungssystem*. Leistungssport, Beiheft. In:張嘉澤，*運動能力診斷與訓練調整*(未出版)。

Darr, K. C., Bassett, D. R., Morgan, B. J., & Thomas, D. P. (1988). Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *American Journal of Physiology : Heart Circulatory physiology*, 254, 340- 343.

Fox, E. L., R. W. Bowers, & M. L. Foss. (1993). Exercise and the Endocrine System. In: The Physiological Basis for Exercise and Sport. Brown & Benchmark. *Dubuque, I A, Inc., 5th edition, chap*. 21, 602-603.

Gasser, G., and G. Brooks. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen comnsumption:a review. *Med. Sci. Exerc*. 16, 29-43.

Hollmann, W (1959). *The Relationship Between pH, Lactic Acid, Potassium in the Arterial and Venous Blood, the Ventilation, PoW and Pulse Frequency During Increasing Spiro-ergometric Work in Endurancetrained and Untrained Persons.*Pan-American Congress for Sportmedicine, Chicago.

Heck, H (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. *Verlag Karl Hofmann Schorndorf.* 28-30. In:張嘉澤，*運動能力診斷與訓練調整*(未出版)。

Hermanse, L., Vaage, O. (1977): Lactate disappearance and glycogen sxnthesis in human muscle after maximal exercise. *Am. J. Physiol*. 233:422-429.

Hollmann, W. (1966): *Intervall und Ausdauer*. In: Dokumentation zum Leistungssport.

Klausen,K., Knuttgen, H. G., & Forster, H. (1972). Effect of preexisting high blood lactate concentration on maximal exercise performance. *Scandinavia Journal of Clinical Laboratory Investigate*, 30, 415-410.

Keul, J.,und Haralamble,G. (1972). *Energiestoffwechsel und körperlicheLeistung* (S.80-100).In Hollmann, W. (Hrsg.), Zentrale Themin der Sportmedizin, Berlin-Heidelberg- New York. In:張嘉澤，*運動訓練學*(未出版)。

Lu, S. S. (1991). *The effects of active and passive on blood lactate concentration and exercise performance incycling tests.* Master thesis, Dept.Physical Eduction, McGill University, Canada.

Liesen, H.und Hollmann, W.(1981).*Ausdauersport und Stoffwechsel. Schorndorf*. In:張嘉澤，*運動能力診斷與訓練調整*(未出版)。

Mader, A.; Lisen, H.; Heck,; Philippi, H Rost, R.; Schurch, P.; Hollamnn, W. (1976). Zur Beurteilung der sportspezifischen Ausdauerleistungsfahigkeit in Labor.

Sportarzt und Sportmed. 27(4) ,80-88.

Mader, A. und Hollmann, W. (1977). Zur Bedeutung der Stoffwechselleistungsfähigkeit des Eliteruderers im Training und Wettkampf. *Beiheft zu Leistungs sport 9*, 9-62. In: 張嘉澤，*運動訓練學* (未出版)。

Mader, A., H. Heck, R. F & ouml; hrenbach, W. Hollmann. (1979). Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400-m-und 800-m -L & auml; ufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. *Dtsch Z. Sportmed*. 7.203;8,249.

Marsh, M. K. (2003). How Quick is your heart rate recovery? *California State Science Fair, 2003 Project Summary*. Project Number J1010.

Mader, A. (1984). *Eine Theorie zur Berechnung der Dynamik und des steady state von Phosphorylierungszustand und Stoffwechselaktivitaet der Muskelzelle als Folge des Energiebedarfs*. Habilitationsschrift. Deutsche Sporthochschule Koeln.

Mder, A.; Heck, H. (1986): A theory of the Metabolic Origin or „Anerobic Threshold". Int. J. *Sports Med*. 7: 45-65, Thieme-Verlag, Stuttgart-New York.

Neumann, G. (1990). Die Leistungsstruktur in den ausdauersportarten aus sportmedizinischer Sicht. In: *Leistungssport 20*, 14-20.

Neumann, G. (1991). Zur Leistungstruktur der Kurz-und Mittelzeitausdauer-Sportarten aus sportmedizinischer Sicht. *Leistungssport* 21,29-31.

Neumann, G.; Berbalk, A. (1991). *Umstellung und Anpassung des Organismus-grundlegende Voraussetzung der sportlichen Leistungsfähigkeit*.

Neumann,G. (1984). *Sportmedizinische Grundlagen der Ausdauerentwicklung*. In: 張嘉澤，*運動能力診斷與訓練調整* (未出版)。

Power, S. K., & Howley, E. (2002). *運動生理學：體適能與運動表現的理論運用* (林貴福, 徐台閣 & 吳慧君，Trans. 林正常總校閱 ed.)。 台北市：麥格羅希爾國際股份有限公司。

Tesch, P, A., D. S. Sharp., W. L. Danuels. (1981). Influence of fiber type composition and capillary density on onset of blood lactate accumulation. *Int, J. Sports Med.* 2, 252-255.

Weltman,A. (1995). Factor affecting the blood lactate response. The blood lac tate response to exercise. *Human Kinetics*, Canada, 29-47.

Wilmore, J. H. And D. L. Costill. (1988). *The physiological basis of the conditioning process: Training for sport and activity*. Dubuque, IA.

Weicker, H., Strobel, G. (1994): *Sportmedizin*. Biochemisch- physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung. In: 張嘉澤，*運動能力診斷與訓練調整*(未出版)。