

國立臺灣體育學院體育研究所
碩士學位論文

間歇訓練對乳酸閾值之效應
THE EFFECT OF INTERVAL TRAINING
ON LACTATE THRESHOLD



研究生：葉明春 撰
指導教授：呂欣善 教授
協同教授：張嘉澤 教授

中華民國九十五年六月

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800m及1500m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 (2mmol/l) 能力具有顯著差異，無氧閾值速度 (4mmol/l) 能力方面，前測與後測未達顯著差異，但在心跳率部分，Test-2較Test-1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。訓練負荷方面未達顯著差異。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200m最大訓練負荷有進步，而與300m最大訓練負荷則無明顯進步。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

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 through athletic training. Interval training has commonly been utilized by coaches and athletes while training, because it results in a higher lactate level as compared 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 administering a pre-post test experiment. Results have shown a significant change in running speed at aerobic threshold (2 mmol/l) and no difference in running speed at anaerobic threshold (4 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. Training load was not changed throughout the study. Lactate level was found to have a significant difference in the third minute of recovery in the first and fifth of the training. Recovery heart rate was significantly lower following the training, indicating an improvement in endurance. Maximum training load improved 200 m and did not change for 300 m run. 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

誌謝

兩年的學習與進修終於告一段落，在這段期間從擔心、徬徨，到順利完成碩士學位，心中最感謝的人有兩位，首先是我的指導教授呂欣善博士，對我他總是不時的給我鼓勵與耐心的指導。另一位是國立體育學院的張嘉澤博士，從開始的實驗設計到結果的分析，甚至協助筆者服務學校田徑選手的檢測分析與訓練比賽方面的種種建議，使我不只在學術方面的獲得，更讓我在訓練比賽實務方面，創造佳績。心中的感謝實無法以言語表達，只能再一次向兩位說聲謝謝！

葉明春 謹誌
中華民國九十五年六月

目錄

中文摘要	
英文摘要	
誌謝	
目錄	
表目錄	
圖目錄	
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究假設	2
第四節 研究範圍	3
第五節 操作性定義	3
第貳章 文獻探討	6
第一節 田徑中長距離的介紹	6
第二節 乳酸閾值在運動中的影響	15
第三節 間歇訓練與乳酸閾值之相關研究探討	20
第四節 間歇訓練與運動心跳率之相關研究探討	23
第參章 研究方法	27
第一節 研究對象	27
第二節 時間及地點	27
第三節 研究器材	27
第四節 研究參數	28
第五節 實驗步驟	28
第六節 訓練方式	30

第七節	實驗流程	31
第八節	資料處理與分析	32
第肆章	結果與討論	33
第一節	基礎耐力 (2-4mmol/l).....	33
第二節	訓練負荷 (100%).....	35
第三節	乳酸	37
第四節	心跳率	39
第五節	無氧閾值 (4mmol/l) 與 200m 最大訓練負荷	42
第六節	無氧閾值 (4mmol/l) 與 300m 最大訓練負荷	44
第七節	無氧閾值 (4mmol/l) 與 乳酸堆積	46
第八節	2mmol/l 速度與第一週、第五週最大負荷心跳率	48
第肆章	結論與建議	49
第一節	結論	49
第二節	建議	51
參考文獻	52
附錄	58

表目錄

表 2-1：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組男子田徑 800 公尺前六名平均成績一覽表	9
表 2-2：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組男子田徑 1500 公尺前六名平均成績一覽表	10
表 2-3：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組女子田徑 800 公尺前六名平均成績一覽表	11
表 2-4：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組女子田徑 1500 公尺前六名平均成績一覽表	12
表 3-1：參與者基本資料	27
表 3-2：檢測方式	28
表 3-3：快速間歇訓練處方	29
表 3-4：訓練內容	30
表 4-1：基礎耐力前測 (test-1) 與後測 (test-2)	33
表 4-2：5 週訓練速度 Set-2 (100%) 平均值與標準差	35
表 4-3：運動結束乳酸堆積	37
表 4-4：運動負荷結束心跳率	40

圖目錄

圖 1-1：在漸增式運動中血乳酸濃度的變化	4
圖 2-1：不同運動項目所需的有氧及無氧 ATP 所佔的比率 ...	14
圖 2-2：主要生物參數改善所需之時間	15
圖 2-3：乳酸之產生	17
圖 2-4：粒線體“氫梭”系統，無法保持與 $\text{NADH}+\text{H}^+$ 肝醣產物 速率，造成丙酮酸轉化乳酸	19
圖 3-1：實驗流程圖	31
圖 4-1：基礎耐力前測與後測乳酸與心跳率變化	34
圖 4-2：Set-2 第一週與第五週訓練速度比較	36
圖 4-3：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	38
圖 4-4：第一週與第五週運動負荷結束心跳率之分析	41
圖 4-5：無氧閾值速度與第一週 200m Set-1、Set-2 速度之分 析	42
圖 4-6：無氧閾值速度與第五週 200m Set-1、Set-2 速度之分 析	43
圖 4-7：無氧閾值速度與第一週 300m Set-1、Set-2 速度之分 析	44
圖 4-8：無氧閾值速度與第五週 300m Set-1、Set-2 速度之分 析	45
圖 4-9：4mmol/l 無氧閾值前測與後測之比較	46
圖 4-10：無氧閾值 (4mmol/l) 後測與訓練最大乳酸堆積 (La_{max}) 之比較	47

圖 4-11：4mmol/l 速度（後測）與第一週、第五週最大負荷心跳率之關係..... 48

第壹章 緒論

第一節 研究背景

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（醱酵解）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，而間歇訓練時所產生的乳酸值又高於反覆訓練，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手段。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)。乳酸是無氧醱酵解所生成的產物，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；採血部位則可能與採集部位有關 (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 H₂O 和 CO₂，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)。

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。

第二節 研究目的

- 一、利用訓練距離變化的快速間歇訓練方法，分析訓練前及訓練後所產生的乳酸閾值之變化研究。
- 二、利用訓練距離變化的快速間歇訓練方法，分析訓練前與訓練後運動心跳之變化研究。

第三節 研究假設

- 一、中長距離運動員經由五週的快速間歇訓練後，所產生的

乳酸閾值具有顯著差異。

- 二、中長距離運動員經由五週的快速間歇訓練後，運動心跳率具有顯著差異。

第四節 研究範圍

- 一、研究對象：國立員林崇實高工之男性中長距離運動員 6 人，在全國性田徑賽前實施為期五週之研究。年齡分別在 16 至 17 歲之男性青少年，從事田徑中距離運動項目訓練已有 4 至 5 年之時間。
- 二、所有實驗結果受到參與者本身個別差異的影響，在進一步推論時，可能有所限制。
- 三、訓練期間之營養等因素暫不列入本研究範圍。
- 四、參與者依照研究前測得之 200 公尺及 300 公尺之最佳成績做為訓練課表中三組訓練強度之依據，分別為 80%、95% 及 100%。

第五節 操作性定義

- 一、快速耐力間歇訓練

間歇訓練 (interval training) 是以增強全身性耐力為目標，不但要求跑速度要快，也要提高耐久能力 (許樹淵, 1992)。Graf (1930) 以運動醫學診斷，藉助間歇訓練方式，觀察運動員耐力與能量提供系統。研究顯示，間歇訓練方式對於運動員之耐力提昇具有顯著效果。Harre (1975) 亦提到間歇訓練主要功能在於選手必須在未完全恢復狀態下，立即進行下一次之訓練。在足夠的練習距離，與穩定的高速度，即快速耐力間歇訓練。

Rudi Harbig 訓練 400 與 800m，藉助間歇訓練方式於 1940 年，創造佳績。目前許多世界優秀的徑賽選手與球類運動項目也將間歇訓練列為重要的訓練方式之一。本文中所提之快速間歇訓練，乃將運動強度設定為 80%、95%及 100%之速度下從事間歇訓練。

二、乳酸閾值 (lactate threshold)

又稱為無氧閾值 (anaerobic threshold)，在漸增性運動剛開始時，大部份提供肌肉收縮的能量為有氧代謝。但是，在運動的強度隨之增加時，血液中的乳酸值也相對升高，當乳酸值突然升高時其轉折點，稱之為乳酸閾值或稱為血中乳酸開始累積 (OBLA)，如圖 1-2 (Power & Howley, 2002)。乳酸閾值常被用來作為教練及選手在擬定訓練計畫或運動強度時的依據。

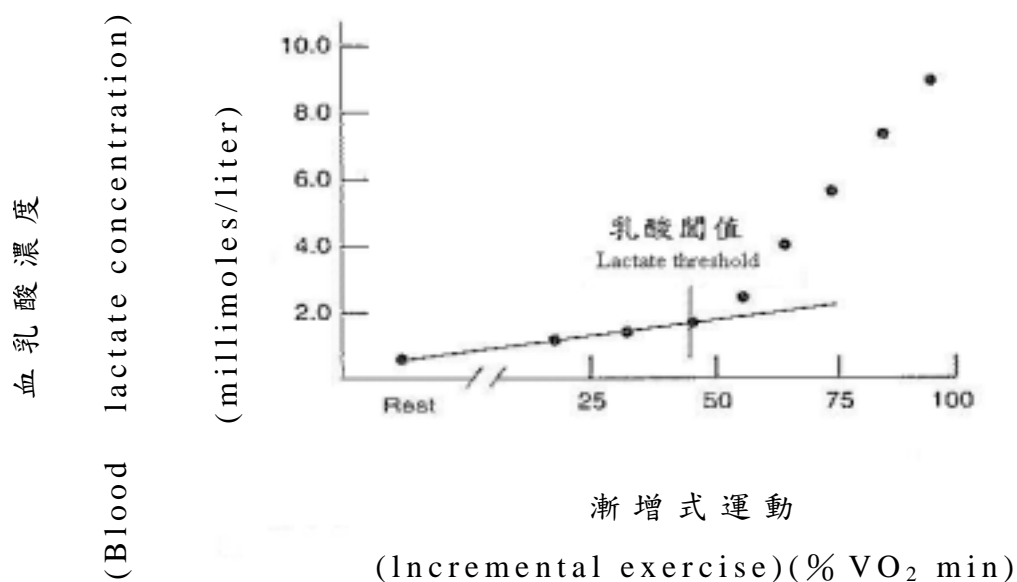


圖 1-1：在漸增式運動中血乳酸濃度的變化。(乳酸突然的升高就是乳酸閾值)

三、運動心跳率

心跳率，是指心臟每分鐘的搏動次數，是所有測量循環系統中最為簡單的方法，也可從中檢測出循環系統的能力。當人體處於疲勞狀態時，心跳率是增加的；運動時心跳率也是增加的，在一個限定的範圍內，心跳率與運動的量是呈正比關係。兒童及老年人高於中年人、男性較女性為低、飲食後較飲食前高、心跳率隨體溫升高而提高、站姿高於坐姿、體能佳者較體能劣者低等等，都能影響心跳率高低。而依照受試者之年齡，間歇訓練最大運動強度（100%）運動期間之目標心跳率假設為每分鐘 190 次。在運動訓練中每一位受試者均配帶 CARDIO SPORT 心跳錶，並於跑完一段距離後立即記錄心跳數，作為受試者運動強度及身體狀況之監控。

第貳章 文獻探討

本研究之文獻探討可分為：一、田徑中長距離的介紹。二、乳酸閾值在運動中的影響。三、間歇訓練與乳酸閾值之相關研究探討。四、間歇訓練與運動心跳率之相關研究探討。

第一節 田徑中長距離的介紹

一、田徑中長距離的演進

中長距離（800 公尺及 1500 公尺）起源於英國 18 世紀，當時在許多距離賽跑中及包括了相當於現代的中長距離項目。其發展大致可分為三個階段：

第一階段：1936 年（30 年代中期）以前，因英國出現了中長距離項目競賽，許多的國家亦相繼發展。在第一屆（1896）現代奧運會上男子 800 公尺及 1500 公尺皆由澳大利亞的埃·福蘭克所獲得。1936 年前後，美國、芬蘭及英國相繼在中長距離項目中創造出優異的成績，當時廣泛使用了長時間均速跑、節奏跑及越野跑。而美國的訓練體系更加入了短於比賽距離的跑步訓練，在 1934 年更創造出 3 分 48 秒 80 的 1500 公尺世界記錄。

第二階段：1936 年至 1971 年（30 年代至 70 年代）初期間，芬蘭的教練發展出法特雷克訓練法，此種訓練法又稱為速度遊戲，此法兼具速度及耐力的優點，創下了當時 1942 年一年之中打破了 10 次 7 項中長距離項目的世界記錄。同一時期德國教練波格詩特利用間歇訓練法，於 1936 年和墨林德爾供同培養出 800 公尺的世界新記錄。50 年代中長距離項目運動員大量採用了間歇訓練法，也由於大強度運動量的增加，使得世界記錄一再的翻新。

第三階段：1972 年至今，雖然沒有出現新的訓練法，但是許多國家的教練及運動員們，結合其他國家的訓練經驗及自己本身的特點發展出屬於自己的科學化訓練方法。

二、我國田徑中長距離之演變

我國早期在 1936 年第 11 屆奧運會中，由賈連仁代表我國參加 800 公尺及 1500 公尺的比賽，只跑出 2 分多與 4 分 20 秒的成績。到了 1972 年慕尼黑奧運會時，我國女子選手李秋霞參加 800 公尺及 1500 公尺二個項目，800 公尺跑出 2 分 11 秒 8 及 1500 公尺 4 分 37 秒 2 的成績，雙雙打破當時的全國紀錄。由於近年來我國在 800 公尺及 1500 公尺的成績，與國際水準仍有一段差距，因此很難有很好的成績表現。

不過，綜觀國內 800 公尺與 1500 公尺的成績表現。在男子 800 公尺方面，從 1946 年楊名的 2 分 15 秒 3，到 1958 年孫丕典突破 2 分的 1 分 59 秒 5。1974 年由譚廣嘉所創的 1 分 52 秒 6 的佳績，乃至於王榮華在 1980 年創下的 1 分 47 秒 24 的全國紀錄至今都尚未有人突破。在男子 1500 公尺方面，則由 1946 年竇友目跑出的 4 分 42 秒 4 開始，歷經了 30 年才由黃文成以 3 分 57 秒 52 的成績突破 4 分大關，更在 1983 年以 3 分 46 秒 4 的優異表現，將成績往前推進了將近 11 秒至今已 22 年尚無人能打破。

在女子 800 公尺方面，1963 年由林秋滿跑出的 2 分 29 秒 2 的成績、1981 年賴利嬌的 2 分 10 秒 3、1991 年林淑惠的 2 分 10 秒 36，乃至 1998 年由李雅惠創下的 2 分 04 秒 74 至今。在女子 1500 公尺方面，1970 年由李秋霞跑出的 4 分 48 秒 9 的成績為代表作，1975 年時更將女子 1500 公尺的成績大幅提升至 4 分 22 秒 8 的全國紀錄至今，可見我國在女子

中長距離項目的表現仍然有待努力。

目前我國青年組在田徑中長距離方面的表現，以男子組而言，800公尺及1500公尺均由陳福彬所保持的，分別為1分50秒51與3分47秒54為最佳。而在女子青年組方面，800公尺由李雅惠所保持的2分04秒74的全國紀錄為最佳；1500公尺表現方面，則以黃春莉的4分28秒22為最佳。

三、我國高中生田徑中長距離近年來之成績表較分析

由於筆者目前服務於高中職，因此針對國內2001年至2005年全國中等學校運動會高中組之800公尺及1500公尺成績做分析比較。

由表 2-1 可看出最近這 5 年高中組男子田徑 800 公尺前六名平均成績介於 1 分 56 秒至 2 分之間。若要在高中組跑進前六名，運動員必須具備有 2 分內的實力，甚至 1 分 55 秒內的成績方可名列前矛。

表 2-1：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組男子田徑 800 公尺前六名平均成績一覽表。

年度	前六名平均 成績 (min:s)	標準差 (s)	最大值 (min:s)	最小值 (min:s)
90	1:57.21	1.46	1:58.74	1:54.59
91	1:56.19	2.53	1:59.10	1:53.53
92	2:00.86	0.87	2:01.87	1:59.69
93	1:57.99	1.95	2:00.45	1:55.62
94	1:57.15	2.03	1:58.78	1:53.54

由表 2-2 可看出最近這 5 年高中組男子田徑 1500 公尺前六名平均成績介於 4 分 11 秒內至 4 分 5 秒左右的實力。若要在高中組跑進前六名，運動員必須具備有 4 分 10 秒內的水準，甚至 4 分 6 秒內的成績方可名列前茅。

表 2-2：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組男子田徑 1500 公尺前六名平均成績一覽表。

年度	前六名平均 成績 (min:s)	標準差 (s)	最大值 (min:s)	最小值 (min:s)
90	4:06.12	5.19	4:11.18	3:56.69
91	4:06.16	1.92	4:09.03	4:03.58
92	4:10.89	3.85	4:15.56	4:06.96
93	4:10.07	2.92	4:12.64	4:05.01
94	4:05.43	2.33	4:08.17	4:02.00

由表 2-3 可看出最近這 5 年高中組女子田徑 800 公尺前六名平均成績介於 2 分 17 秒至 2 分 15 秒左右的實力，成績起伏並不大。因此，若要在高中組跑進前六名，運動員可能具備有 2 分 17 秒內的水準，或許便可名列前茅。

表 2-3：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組女子田徑 800 公尺前六名平均成績一覽表。

年度	前六名平均 成績 (min:s)	標準差 (s)	最大值 (min:s)	最小值 (min:s)
90	2:15.96	1.01	2:17.19	2:14.52
91	2:16.66	1.11	2:18.04	2:14.99
92	2:17.63	2.06	2:19.81	2:15.26
93	2:17.97	3.10	2:22.00	2:13.87
94	2:15.67	1.29	2:17.06	2:13.56

由表 2-4 可看出最近這 5 年高中組女子田徑 1500 公尺前六名平均成績介於 4 分 53 秒至 4 分 45 秒左右。因此，若要在高中組跑進前六名，運動員可能需具備有 4 分 50 秒左右的水準，甚至 4 分 40 秒或許便可名列前茅。

表 2-4：90 年至 94 年全國中等學校運動會高中組女子田徑 1500 公尺前六名平均成績一覽表。

年度	前六名平均 成績 (min:s)	標準差 (s)	最大值 (min:s)	最小值 (min:s)
90	4:45.14	7.58	4:55.96	4:37.08
91	4:45.90	7.78	4:54.73	4:36.83
92	4:53.12	5.63	5:02.13	4:44.88
93	4:48.97	5.27	4:54.97	4:42.21
94	4:50.06	8.17	4:58.39	4:39.11

四、運動生理學在田徑中長距離的所扮演角色

依照運動生理學在運動上的應用，800 公尺及 1500 公尺因運動強度與時間之不同，有氧及無氧能量所佔的比例也因而不同 (Neumann, 1984)；如圖 2-1。徑賽項目之中長距離 (800 公尺及 1500 公尺) 項目，它需具備優異的速度及維持高速度穩定的耐力能力。教練及運動員都非常了解，在激烈的比賽中，速度之調整與控制能力非常重要，因為這關係到能量系統消耗速率的問題。當賽跑前段速度若分配太快時，則能量系統消耗過高，將導致能量提早耗盡，反之，為了確保能量消耗，而降低速度，將無法達到最佳成績。因此如何針對速度性調配的能力，與能量系統來源的取得做更有效的跑法，就凸顯其重要性。在運動生理學中能量來源可分為無氧非乳酸系統 ATP-PC 系統 (6-10 秒)、無氧醣酵解乳酸系統 (1-2 分鐘)、有氧系統 (>2 分鐘以上)，如 800 公尺競賽時所需的能量來源比例，無氧系統佔 53% 及 47 % 有氧系統 (Neumann, 1990)。大部份偏重於無氧醣酵解系統；而 1500 公尺的競賽中使用無氧醣酵解則在於最後衝刺階段。和其他運動一樣，運動時肌肉收縮能量有賴於 ATP 之分解，非最大跑步速度與身體之攝氧量，可從跑速與 ATP 之分解速率中的反應得知，當速度提高時造成 $V O_2$ 不再增加，相對的必需仰賴無氧代謝 (Liesen et al., 1981)。

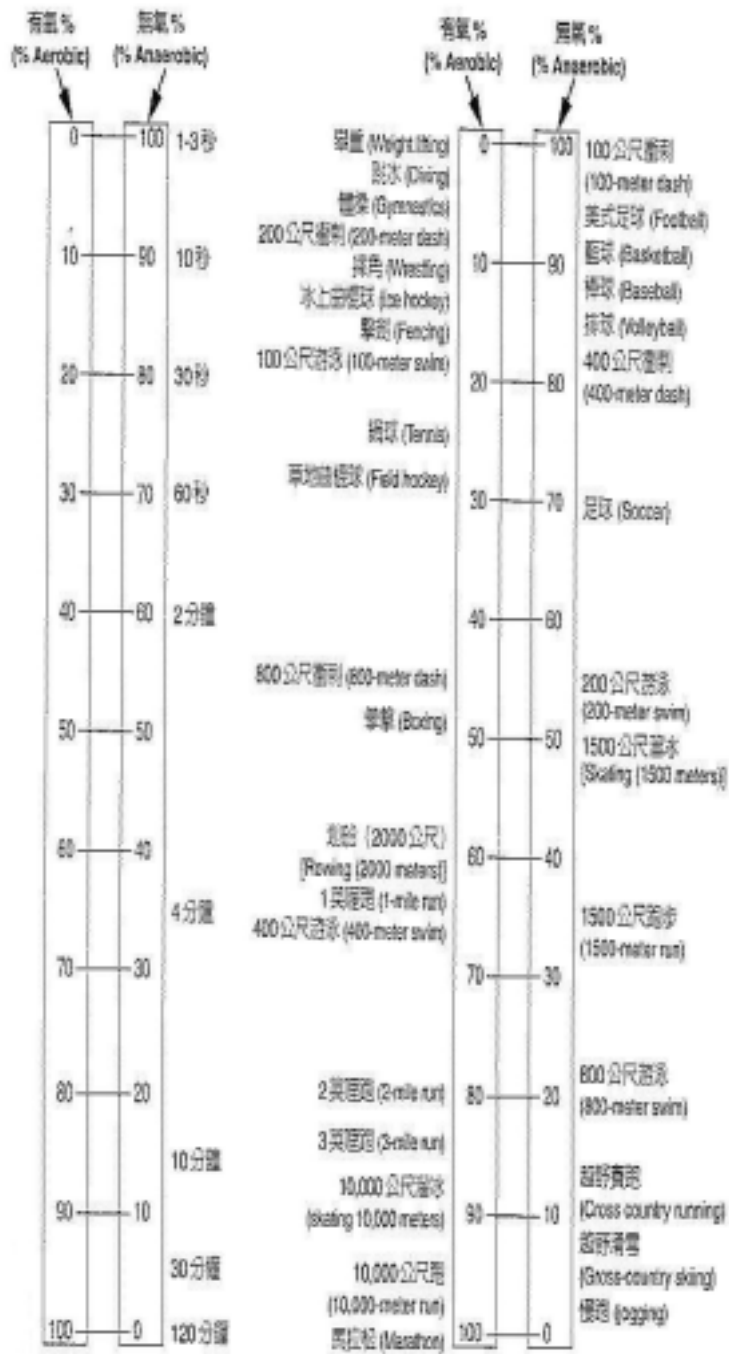


圖 2-1: 不同運動項目所需的有氧及無氧 ATP 所佔的比率 (摘錄自 Power & Howley, 2002, P44)

第二節 乳酸閾值在運動中的影響

一、乳酸的產生

當我們人體在安靜休憩時，不論是在內臟器官方面或者肌肉、紅血球等部位都會產生乳酸。而且一般人與運動員在安靜時的乳酸值是沒有差異的。休息時的乳酸值之所以能夠維持 1mmol/l 的原因，是因為乳酸的生成與排除維持平衡狀態 (Heck, 1990)。當肌肉因收縮而造成乳酸無法大量地被快速移除時，乳酸就會在肌肉與血液當中開始形成堆積 (Brooks & Divine-Spurgeon, 1982)。在運動生理學的領域中，只要談到能量系統方面的問題，乳酸系統經常是佔有非常重要的一部分。乳酸是肌肉運動時能量代謝所產生的一種物質，當能量代謝愈快時，乳酸的生成就相對愈快速、產生的量也就愈多。在同樣的負荷與時間下，肌肉所代謝之乳酸值，將因器官組織對訓練所產生的適應現象，而出現下降的效應。而血液乳酸值的堆積，也將加速排除，如圖 2-2。根據 Neumann (1991) 提出的 4-6 生理適應週期原理，人體透過訓練對訓練之強度於 4-6 週將產生適應，進而提升運動能力。

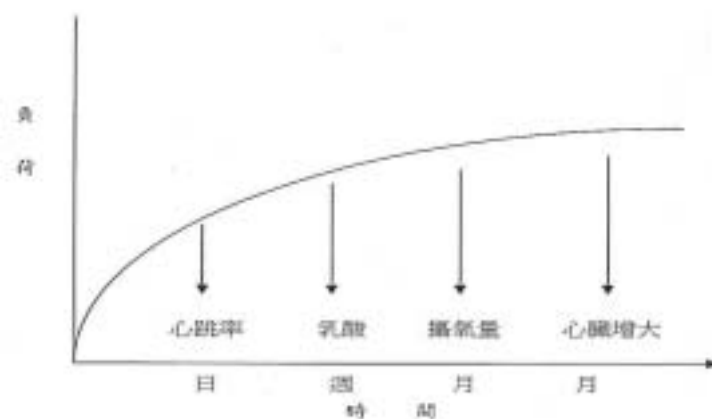


圖 2-2：主要生物參數改善所需之時間

(Neumann/Hettenrott . 2002, No. 075, S 223)

然而，其所產生的堆積的多寡，對抑制運動能力有直接的關係。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。乳酸在運動後出現大量堆積，導致在身體組織中的液體 PH 值是呈現酸性的；當肌肉和血液中的乳酸值達到 60 至 70g 左右時，將造成運動衰竭或疲勞的產生，肌乳酸的產生與血乳酸濃度之變化情形，其決定因素之一在於 NADH 的產生速度和氧化磷酸化的速度兩者之間的關係 (Weicker et al.,1994)。以中低強度運動時所產生之醣酵解速度較為緩慢，此時 NADH 在細胞內之濃度亦較低，它可以透過呼吸鏈的作用氧化產生能量。當運動強度逐漸增加時，NADH 在細胞中形成累積，進而促使丙酮酸接受質子還原為乳酸建。據研就指出，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 (Klausen,1972)。

在高強度運動後如繼續維持較緩和的運動，將有助於乳酸的排除速度，其有效之強度則為最大耗氧量的 30%~40% 左右 (Power & Howley, 2002)。我們知道，在漸增性運動初期時，提供肌肉收縮大部份主要來源為有氧系統，但是當運動負荷強度逐漸增加時，血液中的乳酸也隨之以指數 (exponential fashion) 出現上升情形。肌肉中肝醣經過分解作用 (glycogenolysis) 後成為為葡萄糖，葡萄糖再經由醣酵解作用 (glycolysis) 而成為丙酮酸 (pyruvic acid) 釋放出 ATP，如圖 2-3，以作為提供肌肉收縮之用。另外在其他的研究中指出，乳酸閾值與肌肉纖維型態有所關聯，在快縮纖維中 LDH 同工酶連接丙酮促進形成乳酸具有較高的親合力。因

此如何有效地掌握乳酸閾值，確切地將乳酸閾值與運動負荷及時間做為訓練的依據指標，將成為擬定訓練計劃非常重要的一環。

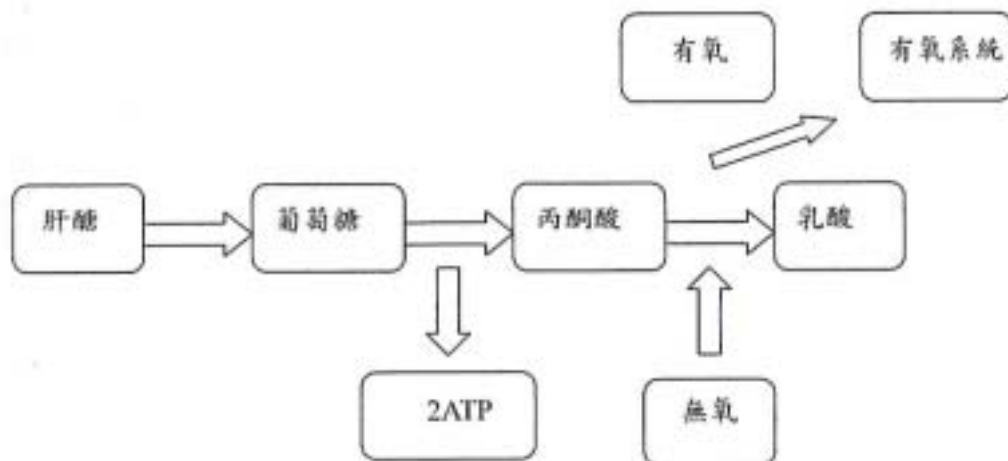


圖 2-3：乳酸之產生 (摘錄自筆者上課筆記)

在許多運動訓練中，乳酸之濃度經常被用來做為運動強度之指標，因此有很多的研究發現，由於運動強度增加，乳酸之濃度亦隨之上升 (Weltman,1995)。此外，Wilmor & Costill (1988) 經由游泳訓練中研究發現，運動訓練使乳酸濃度呈線性上升之效應，應在較高之強度運動下出現。在訓練時，乳酸脫氫酵素濃度、粒線體密度、微血管分佈、以及肌紅蛋白含量等等產生增加之變化，進而減緩乳酸濃度之上升 (Fox et al.,1993)。換言之，透過運動訓練所產生之效果，可改變運動選手身體之體能狀況，影響乳酸濃度對運動負荷強度之反應 (呂欣善、陳相榮，1997)。林正常等人曾於 1997 年以國內 20 名男性長跑選手作為研究對象，實施長跑選手不同臨界速度 (CV) 跑的血乳酸反應結果發現，長距離運動員 CV 與三個不同距離跑步成績的平均速度均達顯著相關。

在 CV 強度方面，全部的受試者均能在 20 分鐘跑完以 85% 與 100% CV 強度。可是在 115% CV 強度的跑步時間，平均只能完成 9.13 分鐘，三種強度之運動後的血乳酸濃度均達顯著差異；而且運動後的血乳酸濃度，則有超過 4mmol/l 乳酸閾值的現象。也就是說，CV 與長跑運動能力具有高度相關。

二、乳酸之製造率與清除率

一般而言，身體活動時會導致能量代謝增加，但是當身體進行低強度、長時間運動時，在有氧代謝系統提供三磷酸腺甘過程中，產生少許之乳酸，甚至沒有乳酸產生，其原因可能是乳酸清除率與製造率形成平衡狀態。當乳酸清除率與製造率失衡時，也就是說當運動強度升高時，須以無氧醱酵解進行合成三磷酸腺甘時，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 (Gasser & Brooks, 1984)。在觀察長時間、不同運動強度對乳酸濃度之變化時發現，運動強度以 50%-85% 最大耗氧量作業時，在開始 5-10 分鐘期間，血中乳酸濃度略微上升，且因運動強度持續穩定或降低而下降。運動負荷持續增進，負荷強度在無氧閾值以上，此時乳酸即開始堆積。而在運動停止後 3-5 分鐘之後，乳酸即開始排除 (Mader et al., 1986)。

目前許多研究指出，在不同運動強度時，造成乳酸濃度出現變化之因素與運動單位參與收縮之數量、細胞中 NADH 之含量及肌乳酸釋出等等有關 (Weicker et al., 1994)。以中低之運動強度作業時，Type a 肌纖維 (有氧提供能量) 將第一個參與也就是說，當運動強度增加時，Type b 肌纖維逐漸被征召參與運動時，肌乳酸便會快速生成，濃度上升，進而造成擴散之速度相對提高。在快縮肌纖維中發現，LDH 同

工酶對連接丙酮酸加速形成乳酸有較高的幫助。反之，慢縮肌纖維則具有促進乳酸產生丙酮酸的 LDH。所以，可見更多的快縮肌纖維參與運動，對乳酸的增加及乳酸閾值的生成具有關聯性。細胞中 NADH 因強度較低醣酵解速度慢之故，導致細胞內 NADH 因濃度低，而能透過呼吸鏈形成能量之產生；但是當強度提高時，NADH 產生速度高過呼吸鏈之氧化速度時，造成在細胞中累積而還原成為乳酸，如圖 2-4。

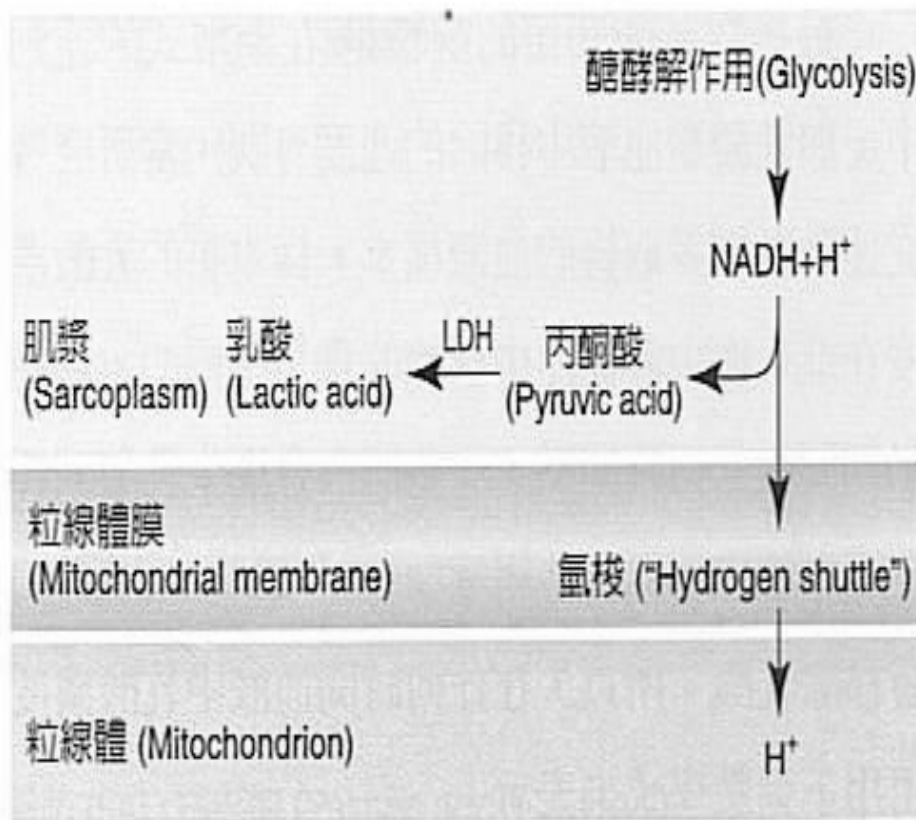


圖 2-4：粒線體“氫梭”系統，無法保持與 NADH+H⁺ 肝醣產物速率，造成丙酮酸轉化乳酸（摘錄自 Power & Howley, 2002, P53）。

在肌乳酸釋出方面，研究指出運動強度較低時，擴散速度慢，運動強度提高時，肌乳酸擴散速度相對以指數函數規律提高。乳酸閾值代表著當運動達到一定的高強度時，血液中之乳酸濃度便有系統的開始遞增。Hermanse et al. (1977) 造成血液乳酸堆積，在於運動刺激與肌肉型態 (Tyb -II)。

第三節 間歇訓練與乳酸閾值之相關研究探討

一、運動與乳酸

在運動訓練結束後，人體各部機能的復原是需要時間的。根據 Zintl (1994)指出，在運動的型態以及負荷強度方面，將恢復時間分為短時間、中時間及長時間恢復三種階段。當最大運動負荷結束後，人體內最快恢復的是心跳率，其次是能量酵素 CrP，約需 3-5 分鐘的時間；而在運動結束後 15 分鐘開始乳酸排除，大約一小時之後便可恢復到運動前的乳酸值。血乳酸值的變化與運動能量消耗之關係相當密切，以磷酸系統為主要能量供應，血乳酸產生較少，一般而言不超過 4mmol/l。以醣酵解系統為主要能量供應者則可高達 15 mmol/l。而以有氧系統供應時，則在 4 mmol/l。

Klausen 曾於 1972 年以 600-800 kpm/min 之負荷強度實施手轉曲柄 (cranking) 運動實驗發現，因運動後恢復時間不足 (其最高值約於恢復期之第 5 分鐘出現)，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。筆者曾以 6 名 16 歲左右之男性中長距離運動員為觀察對象，實施 2-4 mmol/l 有氧-無氧閾值測試結果發現，兩次檢測之曲線移動，在有氧閾值 (2 mmol/l) 方面，前測 (T-1) 與後測 (T-2) 之速度間差異為 0.2 m/s ($p>0.05$)；心跳率之差異為 6.7

min^{-1} ($p>0.05$)。無氧閾值 (4 mmol/l) 方面，速度前測 (T-1) 與後測 (T-2) 間之差異為 -0.1 m/s ($p>0.05$)；心跳率之差異為 9.7 min^{-1} ($p>0.05$) 均未達顯著差異。儘管如此，但受試者在前測 (T-1) 時只能承受至 5.0 m/s 之速度，而在後測 (T-2) 時承受速度則進步至 5.5 m/s ，可見受試者對於承受訓練強度 (耐力) 提高了，顯示在快速耐力能力方面具有訓練效果。運動負荷是乳酸增加的因素之一，以一般人來說，在 $50-60\% \text{ VO}_2\text{max}$ 的運動強度下，就會開始產生大量的乳酸堆積，達到所謂的無氧閾值之相對強度。另外也有研究指出，因運動時間的不同，乳酸也會有不同的反應出現。但當運動負荷達到適應後，乳酸反而出現下降之現象，且能維持的時間也相對較長。

二、間歇訓練與乳酸關係

間歇訓練其主要目的在於促進無氧效率及快速耐力的能力，最主要是在短時間與中時間耐力之運動項目。其特點是訓練中穿插不完全休息的型態 (動態)，訓練期間其乳酸堆積將因而加速排除。間歇訓練的時間不同，就會有不同的能量系統，以提供運動時所需的能量，造成乳酸堆積的情形也會不同。例如 1-2 分鐘之運動所動用之能量為乳酸系統。透過訓練可使人體處於最大運動負荷時，能忍受更多的乳酸堆積量。而且由於組織中粒線體濃度及有氧能力都增加的情形下，相對的乳酸值也會下降。以乳酸閾值作為評估運動成績，經常認為在漸增負荷的高強度運動中 VO_2 呈線性遞增時，乳酸在血液中的濃度是一個平穩的線性指數。

在進行漸增負荷運動時，隨運動強度的遞增，而形成血乳酸濃度發生非線性上升，此非線性上升的開始點稱為乳酸

閾值 (LT)，當運動負荷達 4mmol/l 時，稱為無氧狀態 (Mader et al.,1976)，判斷 4 mmol/l 乳酸閾值。OBLA 受通過神經內分泌系統的調整加速醣酵解作用、快肌纖維募集、乳酸移除和醣原產生作用降低及血液重新分配等影響 (Weicker et al., 1994)。，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。而乳酸堆積具有二種意義，一種為因加速醣酵解的作用，導致產生大量的能源以供使用。其二為較高的乳酸堆積表示肌肉中酸化程度提高，且此時有氧系統代謝產生的能量不敷使用，全仰賴無氧醣酵解作用來提供能量。在最大乳酸值方面，影響的因素為所實施的運動項目與負荷時間。但是乳酸曲線中的轉折點本身並不能完全解釋無氧代謝的問題，只能反映乳酸進出血液間平衡的變化情形 (Heck,1990)。據此，近代的研究人員稱該點為乳酸閾值 (LT)。

曾經有研究發現指出，徑賽跑步之乳酸值為最大，其次是游泳、快速滑冰。一般情況下，最高乳酸堆積出現在從事高負荷強度運動後約 7.05 秒 (Inbar, 1981)。有研究者對於女性徑賽項目運動員實施測驗結果顯示，提高耐力效率之訓練其乳酸值呈下降趨勢。以女性 800 公尺運動員訓練時的平均乳酸值約為 3.5 mmol/l 時，女性馬拉松運動員的乳酸值介於 1-1.5 mmol/l 之間。耐力效率低者處於相對高的乳酸範圍 2-6 mmol/l 中，依然可積極地應付訓練產生的適應過程。因此，訂定乳酸值的訓練強度應該是依據耐力效率來決定的。

第四節 間歇訓練與運動心跳率 之相關研究探討

一般而言，運動訓練的強度負荷越高，頻率越多和訓練期間越長，越能收到訓練所產生的適應效果。不過還有一些並未受到影響，例如像間歇訓練頻率或期間長短無法對最大耗氧量產生影響，但是助於有氧系統能力之改善(Hollmann,1966)。不過儘管如此，在這裡要特別強調的是，訓練的頻率與期間對從事次最大運動時，確實有降低心跳率的影響。也就是說，訓練的期間、頻率越長越多，在從事次最大運動時其心跳率相對就越低。這一點對需要耐力的運動項目來說，顯的非常重要，因為大部分從事耐力項目的競技運動，大多是屬於次最大的運動，因此在運動時心跳率的降低，表示對心肺系統的壓力也會減小，所以需要耐力的競技運動訓練，在擬定訓練計畫時應安排較長的訓練期間和較多的訓練頻率。在訓練時要依照何種標準來決定最恰當的強度呢？一般教練對於耐力訓練之強度訂定，可以運動員最高的心跳率作為估計的方法，使其在運動時達到最高心跳率的85%-90%。在與負荷強度及時間相較之下，休息時間過短時，即可想而知乳酸將持續地增加。許多情況下，尤其是透過心跳率來控制休息時間時。在心跳率達到120次/分，而且快速下降時，經常就會因此而停止負荷休息時間，在無氧負荷範圍內，心跳率與新陳代謝之間並無一定的關係(許樹淵，1999)。而且當運動結束後，心跳率的恢復要比乳酸消除率來得快。運動員在從事訓練後的恢復期時，其心跳率呈現下降現象，可是血壓卻依然維持在與運動時期一樣高的數值，以作為供給身體各組織於恢復時期運送血液需求，也就是說，

心跳與收縮壓在恢復期間存在著顯著性的差異。我們都知道，透過運動的方式可以有效地降低高血壓患者的血壓，亦可減少心跳率、提高心臟的血液輸出量、加強心臟本身的血液供給能力、減低心臟工作量及過敏性，進而減輕心臟作業的負擔。許多教練經常在運動訓練時，將安靜休息的心跳率，與運動中心跳率的上升率，以及運動後休息時的恢復心跳率，當作評斷心臟功能的優劣與否。尤其是運動後的心跳恢復情形，對於觀察運動員心肺機能的好壞具有非常重要的地位。而影響運動後心跳率的恢復情形，卻因運動的負荷強度、心肺功能的個別差異而有所不同。而心跳率下降最為明顯則是在運動結束後的一分鐘內。運動後心跳率恢復的越快，顯示心肺功能越佳。依據此一論點，對於與心跳率有關之研究，經常就以觀察運動一分鐘以後之心跳率的變化。

心跳率在人體運動生理上是相當具有重要的指標。測量心跳率不但可以檢測人們的身體狀況，另外還可以藉此判斷心肺功能好壞，尤其是做為運動負荷的依據，評量及估計運動所消耗的能量，及運動訓練效果等等。我們常有一種觀念，那就是運動員在運動後恢復得比非運動員要來得快。曾經有研究者以 30 名 13 歲左右的青少年作為研究對象，並將其分為運動員與非運動員各 15 名。研究後發現，這些受試者在跑完 400 公尺的慢跑後，其心跳率恢復到運動開始前的時間，運動員組平均恢復時間為 1 分 32 秒其中最慢 5 分鐘、最快 1 分鐘。而非運動員組的平均恢復時間為 3 分 28 秒其中最慢為 6 分鐘、最快為 1 分鐘；如此看來，運動訓練似乎可以有效地加速心跳恢復的時間 (Marsh, 2003)。事實是如此嗎？在 1988 年 Darr, Bassett, Morgan, and Thomas 這些專家學者，

就針對 20 名男子作為研究對象，其中分為：年輕訓練者、年長訓練者、年輕非訓練者、年長非訓練者等四組；進行最大努力的漸增負荷腳踏車運動發現，訓練者與非訓練者的心跳恢復方面，並未因年齡的因素而受影響；可是在訓練者與非訓練者間的心跳恢復方面，訓練者則皆顯著優於非訓練者。換言之，心跳恢復受訓練情況的影響有相當的程度。

安靜心跳率一般是指人在長時間安靜休息下的每分鐘跳動次數，通常以清晨初醒尚未下床時測量最為準確。如果安靜時的心跳率愈低，那就代表著心肺功能愈好。以長跑選手而言，其安靜心跳率大約為每分鐘 50 次甚至更低。而一般人的安靜心跳率則平均約每分鐘 72 次左右。在運動訓練時因受到運動的限制，經常需要佩帶特殊的心跳率測量儀器（如 CARDIO SPORT 心跳錶）方能精確的測量出心跳率。但在一般的運動訓練時，由於沒有特殊儀器的協助，只好以運動剛結束時所測得的心跳率來作為運動時的心跳率。當在一定的運動強度下從事運動時，如果運動心跳率愈低，及代表心肺功能愈佳。人體處於低強度運動時，心跳率可能會呈現穩定狀態。但是，當運動的強度漸漸的提高時，運動心跳率也相對的上升。但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 (Böhmer et al., 1975)。

林必寧等人，於 2005 年在固定心跳率跑速變異評估 3000 公尺跑步成績之研究時發現，不同距離固定心跳率 RSV 與 3000 公尺跑步成績具顯著相關 (-0.60、-0.69、-0.70、-0.72、-0.76)。而不同距離固定心跳率 RSV 之間皆具備顯著相關

(0.90 至 0.98 之間)。以一個經常參與運動的年輕人為例，在運動強度極低的情況之下運動時，發現運動心跳率會比剛開始運動時還要低；隨著運動強度的增加，運動心跳率除了在運動剛開始的 1 至 2 分鐘會顯著上升以外，因運動時間的增加，運動心跳率也將逐漸的提高。在運動強度達到極高時（運動心跳率達 180 次/分以上），運動心跳率隨著運動時間增加的現象，反而會因能夠增加的範圍有限而呈現緩和現象。因此，透過運動時心跳率的高低，來檢測運動強度的大小時，除了運動強度是改變運動心跳率的因素外，運動時間亦是具有相當重要的影響因素之一。

第叁章 研究方法

本章旨在敘述整個實驗過程及資料處理的方式，包括：一、研究對象，二、時間及地點，三、研究器材，四、研究參數，五、實驗步驟，六、訓練方式，七、實驗流程，八、資料處理與分析。

第一節 研究對象

本研究以國立員林崇實高工男性中長距離選手 6 人為研究對象，受試者基本資料如表 3-1 所示。

表 3-1：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)	16.50	0.5	17.00	16.00
身高(公分)	172.67	4.6	177.00	165.00
體重(公斤)	64.70	6.6	70.00	53.00
運動年齡(年)	4.50	0.5	5.00	4.00

第二節 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 200m 運動場。

第三節 研究器材

- 一、BIOSENC-line 乳酸血糖分析儀。
- 二、CARDIO SPORT 心跳錶。
- 三、酒精、消毒用具、毛管、手術用手套、採血針、紅血球破壞劑。
- 四、SEIKO 碼表 (含列表機)。

第四節 研究參數

血液分析以德國 BIOSENC-line 乳酸血糖分析儀化驗，以 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。

第五節 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) 2 段式測試 (2×200m-300m-200m-300m) 為研究訓練觀察方式，強度為個人最佳成績之 80% 及 100%，收集生物參數，如表 3-2。

表 3-2：檢測方式

組別	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		R、1、3、5、7

備註：1. 檢測時間：1-4 週，每週一實施，第 5 週則為週五實施。

2. 生物參數：乳酸、心跳率、速度。

3. 採血位置：耳垂。

4. R 代表安靜值。

二、快速間歇訓練處方內容如表 3-3 所示。

表 3-3：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	1Set：(200m-300m-200m-300m)80% 2Set：(200m-300m-200m-300m)100%	2min	15min 採血點為 1、 3、5、7 min
週二	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週三	1Set：(200m-300m-200m-300m)80% 2Set：(200m-300m-200m-300m)95% 3Set：(200m-300m-200m-300m)100%	2min	10min
週四	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週五	1Set：(200m-300m-200m-300m)80% 2Set：(200m-300m-200m-300m)95% 3Set：(200m-300m-200m-300m)100%	2min	10min
週六	慢跑 20 分鐘或輕鬆活動		
週日	休息		

第六節 訓練方式

- 一、頻率：每週一、三、五實施，共計五週。
- 二、場地：200mPU 跑道。
- 三、內容：訓練時以 3×200m-300m-200m-300 為訓練距離，
間歇休息時間為 2min，每組休息 10min，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 3-4。

表 3-4：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	

第七節 實驗流程

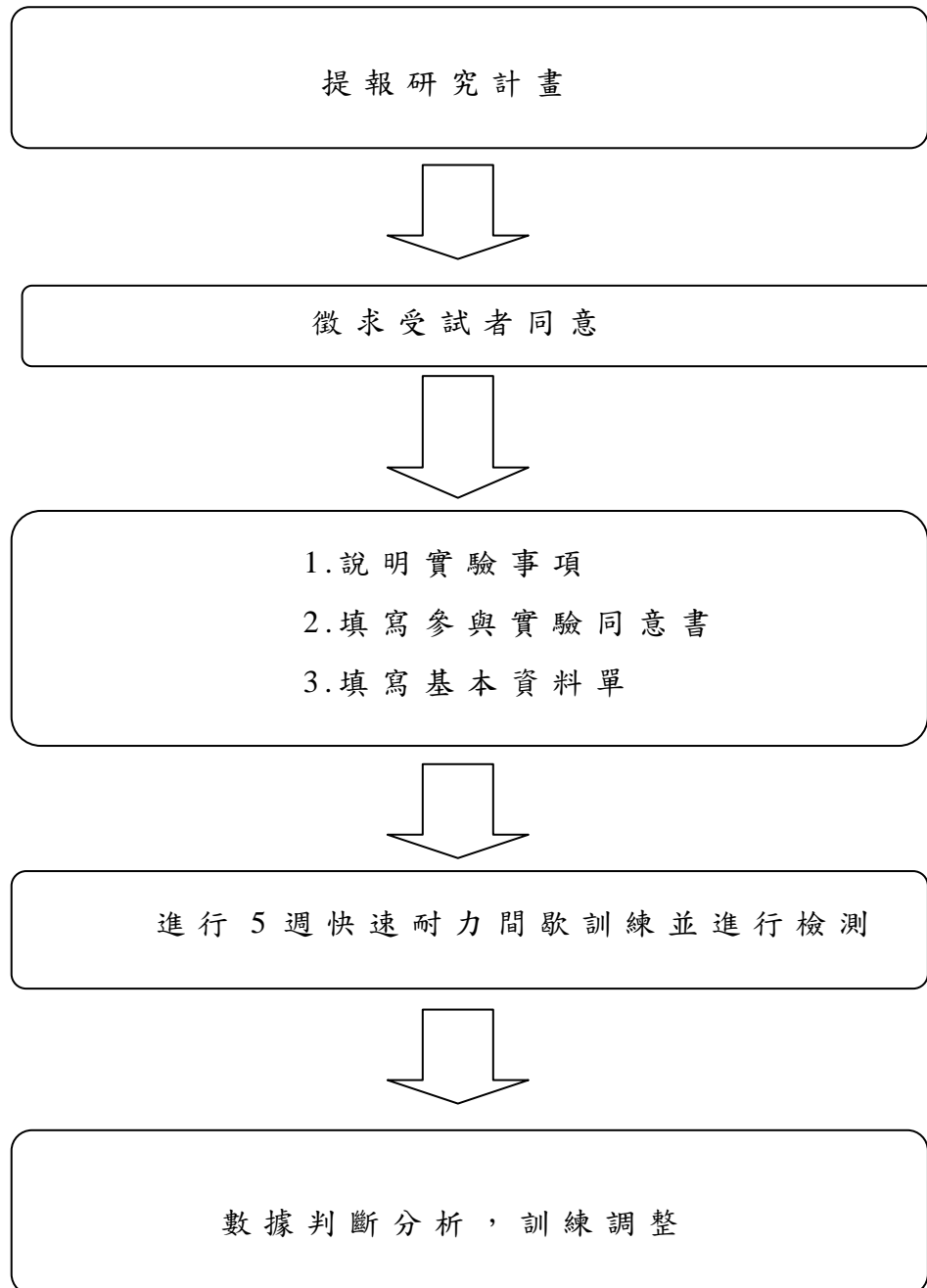


圖 3-1：實驗流程圖

第八節 資料處理與分析

- 一、本實驗所得之生物參數數據以SPSS 10.0統計軟體及曲線分析以SigmaPlot 8.0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 $p = 0.05$ 。

第肆章 結果與討論

本研究主要目的在於探討田徑中長跑運動員經過五週快速耐力訓練後，其有氧閾值與無氧閾值能力之差異，以及瞭解不同閾值心跳率強度設定之快速耐力訓練，對田徑中長跑運動員運動後乳酸堆積與恢復心跳率之影響。本研究結果透過資料統計與分析後，將分為七部分來加以討論：

第一節 基礎耐力 (2-4 mmol/l)

前測 2mmol/l 速度平均值為 2.2 ± 0.9 m/s，心跳率為 138.0 ± 26.6 mim^{-1} 。前測 4mmol/l 速度與心跳率平均值分別為 3.7 ± 0.4 m/s 與 174 ± 13.0 mim^{-1} 。有氧閾值 2 mmol/l 前測與後測差異為 0.2 m/s ($p < 0.05$)，無氧閾值 4mmol/l 前測與後測則為 -0.1 m/s 未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如表 4-1。

表 4-1：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

本研究以六位受試者個人之 200m 與 300m 之 80%、95% 及最大能力 100% 做為訓練的強度設定，經過五週的快速耐力訓練後，有氧閾值 2 mmol/s 前測與後測差異為 0.2 m/s ($p < 0.05$)，具有顯著差異，顯示快速耐力訓練對有氧閾值能力的提升有著一定的效果存在。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。而無氧閾值 4mmol/l 前測與後測雖然未達顯著差異 ($p>0.05$)，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。在基礎測試心跳率前測 (HR-1)與後測 (HR-2)未達顯著差異 ($p>0.05$)，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 4-1)。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。

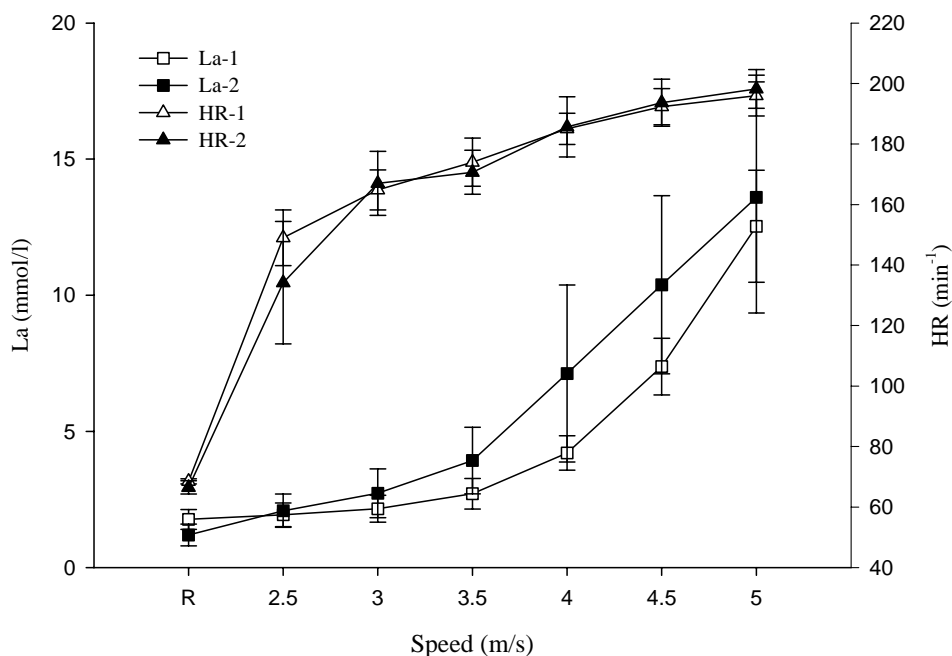


圖 4-1：基礎耐力前測與後測乳酸與心跳率變化

圖 4-1 基礎測試心跳率前測 (HR-1) 與後測 (HR-2) 未達顯著差異 ($p>0.05$)，乳酸於 3.5 m/s 前測 (La-1) 與後測 (La-2) 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。

第二節 訓練負荷 (100%)

最大訓練負荷 Set-2 速度平均值與標準差，第一週第一次 200m 為 27.2 ± 1.7 s，第二次為 30.6 ± 1.4 s，二次差異 3.4 s。300m 第一次與第二次分別為 44.8 ± 1.6 s、 48.8 ± 2.3 s。第一次 200m 第一週至第五週無明顯差異，300m 第二次速度平均值第一週至第五週未達顯著差異，如表 4-2。

表 4-2：5 週訓練速度 Set-2 (100%) 平均值與標準差

週	200m(s)	300 m(s)	200 m(s)	300 m(s)
1	27.2 ± 1.7	44.8 ± 1.6	30.6 ± 1.4	48.8 ± 2.3
2	27.6 ± 0.7	45.7 ± 1.7	31.1 ± 2.3	48.2 ± 3.2
3	27.1 ± 0.6	45.0 ± 2.9	29.7 ± 2.5	47.9 ± 4.4
4	27.1 ± 0.9	43.9 ± 1.8	30.3 ± 2.1	48.1 ± 4.6
5	26.5 ± 0.9	44.8 ± 2.7	29.7 ± 1.2	48.1 ± 2.7

經過五週之快速耐力訓練發現，在最大訓練負荷 Set-2 速度平均值與標準差，第一週第一次 200m 與第二次 200m 差異 3.4 s。而 300m 第一次與第二次之差異則為 4.0 s。也因此受試者在第一週至第五週出現無明顯差異之現象。300m 第二次速度平均值第一週至第五週亦未達顯著差異。此現象顯示

受試者對運動訓練負荷之適應並不理想。以 Klausen (1972) 這位學者所做的研究中指出，乳酸之排除其最高值約於恢復期之第 5 分鐘出現，因此對於非優秀運動員於訓練計畫之擬定應考量其間歇休息時間之適當安排，使其肌肉與血液完成部份之乳酸排除。

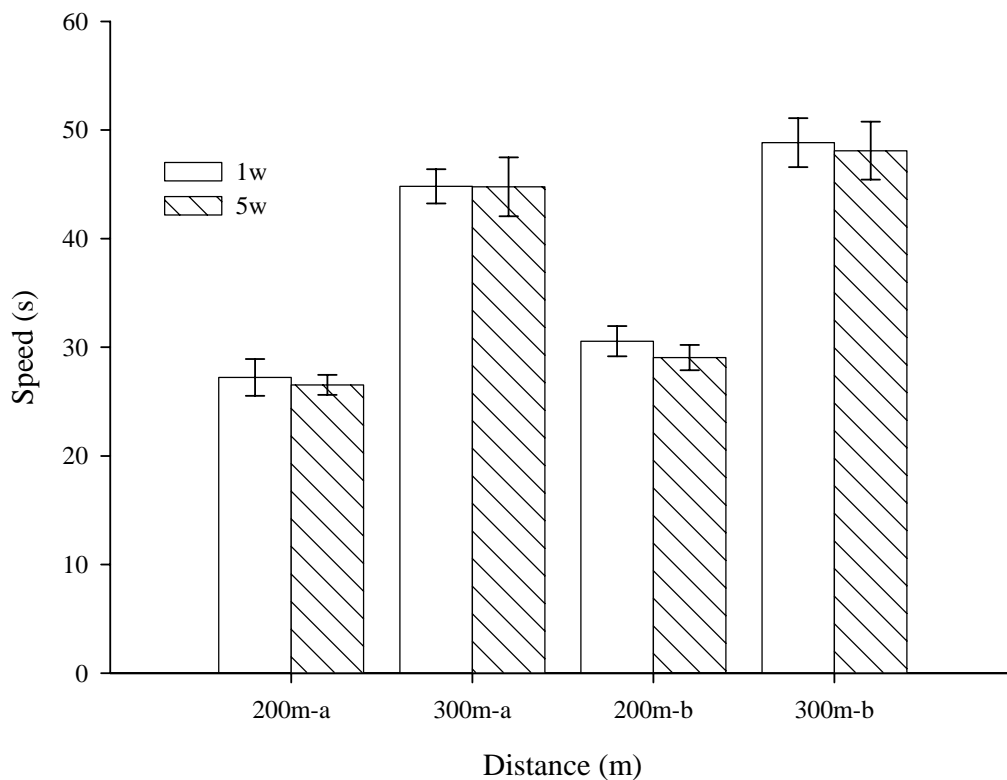


圖 4-2：Set-2 第一週與第五週訓練速度比較

第一週前測 (1w) 與第五週後測 (5w) 200m 第一次未達顯著差異 ($p > 0.05$)，第二次差異 0.9 s。300m 第一次與第二次於前測與後測亦未達顯著差異 ($p > 0.05$)，如圖 4-2。

第三節 乳酸

Set-1 (第一週) 運動結束後，第一分鐘 (E-1) 乳酸平均值為 10.36 ± 2.22 mmol/l，第五週為 10.03 ± 2.02 mmol/l，兩週差異為 -0.33 mmol/l。運動結束第三分鐘差異為 -2.38 mmol/l。Set-2 運動結束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，如表 4-3。

表 4-3：運動結束乳酸堆積

週	Set-1 (mmol/l)		Set-2 (mmol/l)			
	E-1	E-3	E-1	E-3	E-5	E-7
1	10.36 ± 2.22	11.82 ± 2.33	16.46 ± 4.75	17.88 ± 3.58	17.70 ± 3.57	16.09 ± 3.50
2	10.28 ± 2.21	8.19 ± 0.97	18.49 ± 1.79	17.85 ± 2.62	19.05 ± 1.46	19.55 ± 5.47
3	8.24 ± 1.58	8.40 ± 1.32	15.64 ± 2.77	17.27 ± 2.08	16.62 ± 1.71	16.40 ± 1.58
4	10.63 ± 1.44	9.81 ± 1.62	18.81 ± 1.51	20.41 ± 2.55	21.05 ± 2.49	20.58 ± 1.60
5	10.03 ± 2.02	9.44 ± 1.47	16.68 ± 2.13	17.22 ± 1.75	17.72 ± 2.84	16.90 ± 1.99

圖 4-3 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 ($p > 0.05$)。

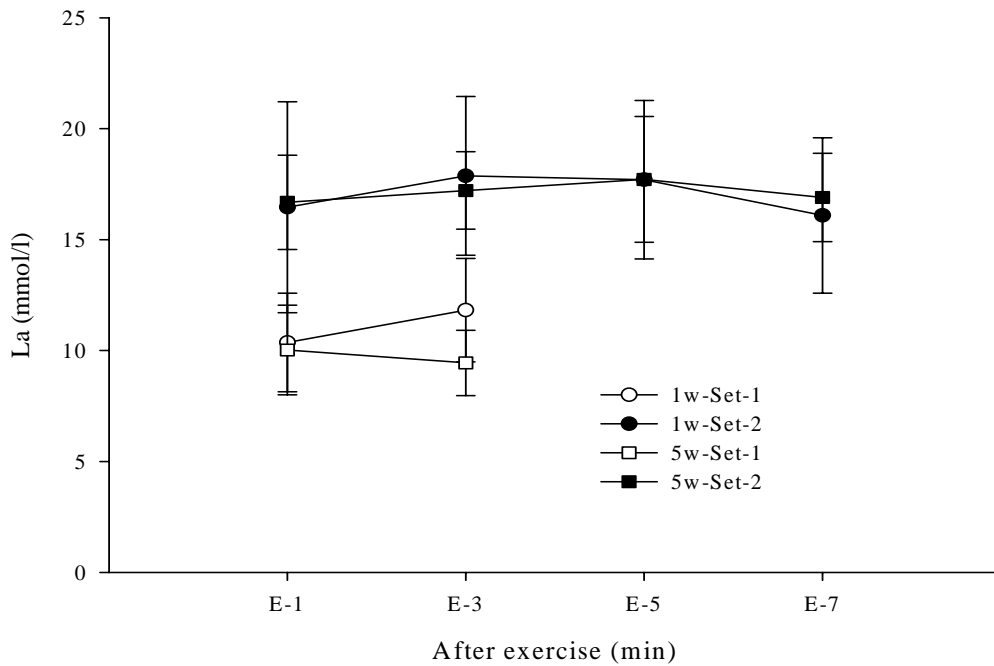


圖 4-3：運動結束 (E-1,E-3,E-5,E-7) 乳酸堆積於第一週與第五週之比較

根據運動生理學家指出，運動訓練後應產生乳酸濃度下降之現象，而其主要原因乃是乳酸製造率減少或乳酸清除率增加的效應 (Heck, 1990)。當肌肉因收縮而造成乳酸無法大量地被快速移除時，乳酸就會在肌肉與血液當中開始形成堆積 (Brooks & Divine-Spurgeon, 1982)。而乳酸堆積代表著二種意義，一為因加速醣酵解的作用，導致產生大量的能源以供使用。其二則為較高的乳酸堆積造成肌肉中的酸化程度提高，形成有氧代謝系統所產生的能量已不敷使用，必須仰賴無氧醣酵解作用來提供能量以維持運動。本研究發現，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 $16.09 \pm 3.50 \text{ mmol/l}$ ，與第五週差異為 $+0.8 \text{ mmol/l}$ 。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，如圖 4-3。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。

第四節 心跳率

Set-1 (第一週) 運動結束後，第一分鐘 (E-1) 心跳率平均值為 $189.5 \pm 2.7 \text{ min}^{-1}$ ，第五週為 $178.8 \pm 4.7 \text{ min}^{-1}$ ，兩週差異為 -10.47 min^{-1} 。運動結束第三分鐘差異為 -9.5 min^{-1} 。Set-2 運動結束第七分鐘心跳率於第一週平均值為 $128.5 \pm 10.4 \text{ min}^{-1}$ ，與第五週差異為 $+7.7 \text{ min}^{-1}$ ，如表 4-4。

表 4-4：運動負荷結束心跳率

	週	E-1(min^{-1})	E-3(min^{-1})	E-5(min^{-1})	E-7(min^{-1})
Set-1	1	189.5±2.7	130.0±12.3		
	2	187.2±7.1	121.3±11.3		
	3	186.7±5.6	122.2±13.0		
	4	141.7±11.0	118.7±13.4		
	5	178.8±4.7	120.5±9.1		
Set-2	1	187.2±8.7	143.5±5.0	142.7±6.1	128.5±10.4
	2	193.3±3.1	144.8±9.2	142.5±7.2	130.5±8.6
	3	193.3±2.3	146.3±8.6	137.3±10.1	134.8±9.9
	4	164.2±14.7	143.7±8.1	136.0±11.8	131.7±8.1
	5	189.8±8.1	141.3±6.0	133.5±8.8	120.8±12.0

當人體從事耐力性有氧運動4-6週左右便會出現適應的現象，其中包括血漿容量、心臟輸出量、血紅素總量、身體血液容量等方面的增加。不論測量運動期間或是運動結束後恢復期之心跳率，心跳率愈低者即表示心肺功能愈好。Darr等(1988)指出，訓練者在心跳恢復方面優於非訓練者。在無氧負荷範圍內，心跳率與新陳代謝之間並無一定的關係(許樹淵，1999)。而且當運動結束後，心跳率的恢復要比乳酸消除率來得快。運動員在從事訓練後的恢復期時，其心跳率呈現下降現象，可是血壓卻依然維持在與運動時期一樣高的數值，以作為供給身體各組織於恢復時期運送血液需求，顯示心跳與收縮壓在恢復期間存在著顯著性的差異。也就是說運動訓練是可以有效地加速心跳恢復的時間(Marsh, 2003)。從本研究結果圖4-4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。

圖 4-4 為運動結束心跳率分析，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 ($p < 0.05$)。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 ($p > 0.05$)。

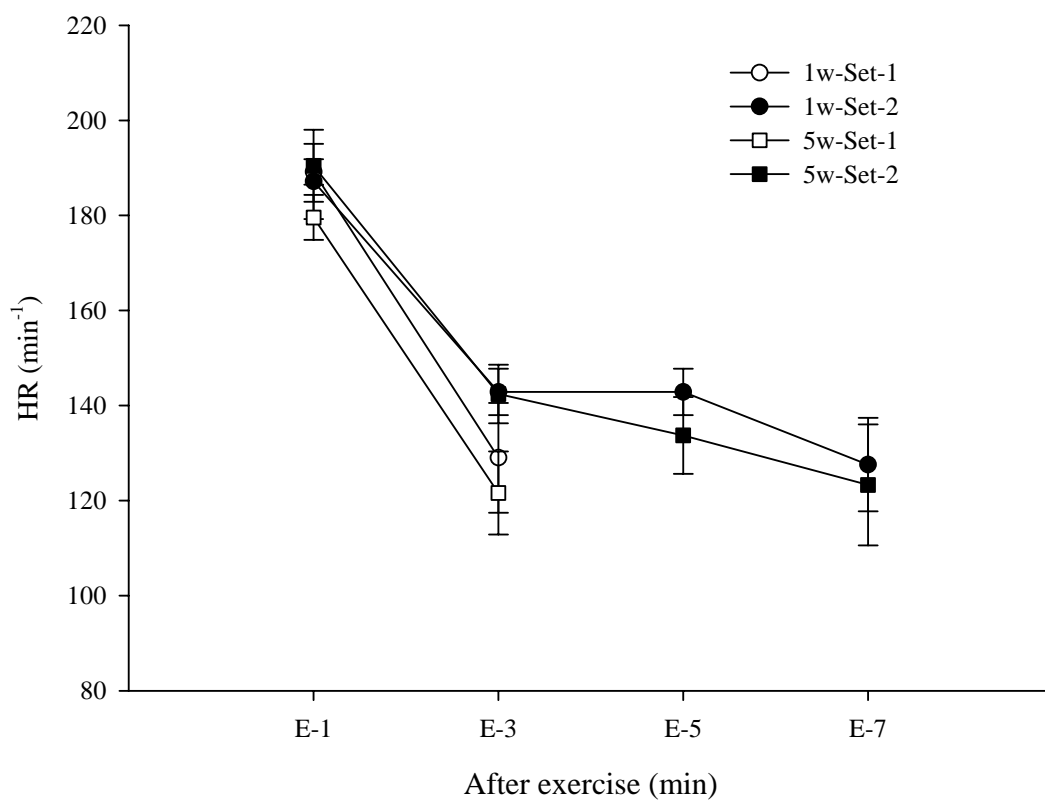


圖 4-4：第一週與第五週運動負荷結束心跳率之分析

第五節 無氧閾值(4mmol/l)與 200m 最大訓練負荷

第一週 200m Set-1 與 Set-2 速度慢，無氧閾值(4mmol/l) 速度快，呈現負相關，如圖 4-5。

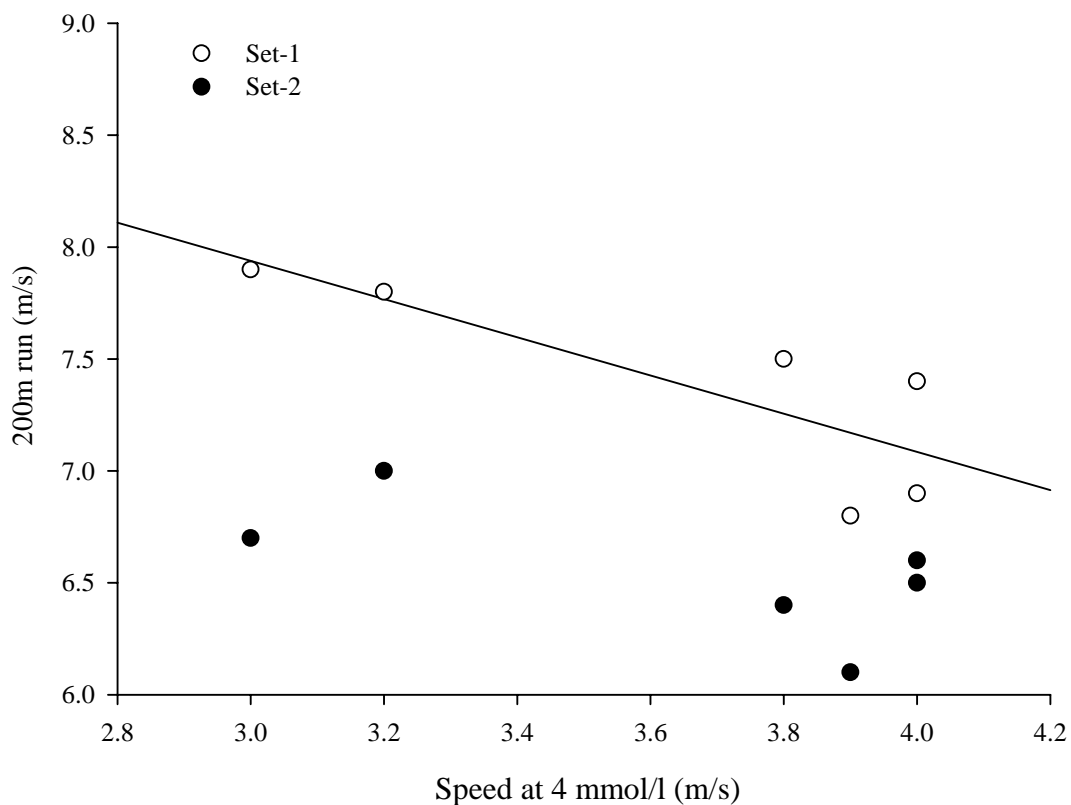


圖 4-5：無氧閾值速度與第一週 200m Set-1、Set-2

速度之分析

第一週 200m 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 (4mmol/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 200m Set-1 速度與無氧閾值速度無顯著差異；Set-2 之 200m 最大速度與無氧閾值速度呈現正相關，如圖 4-6。

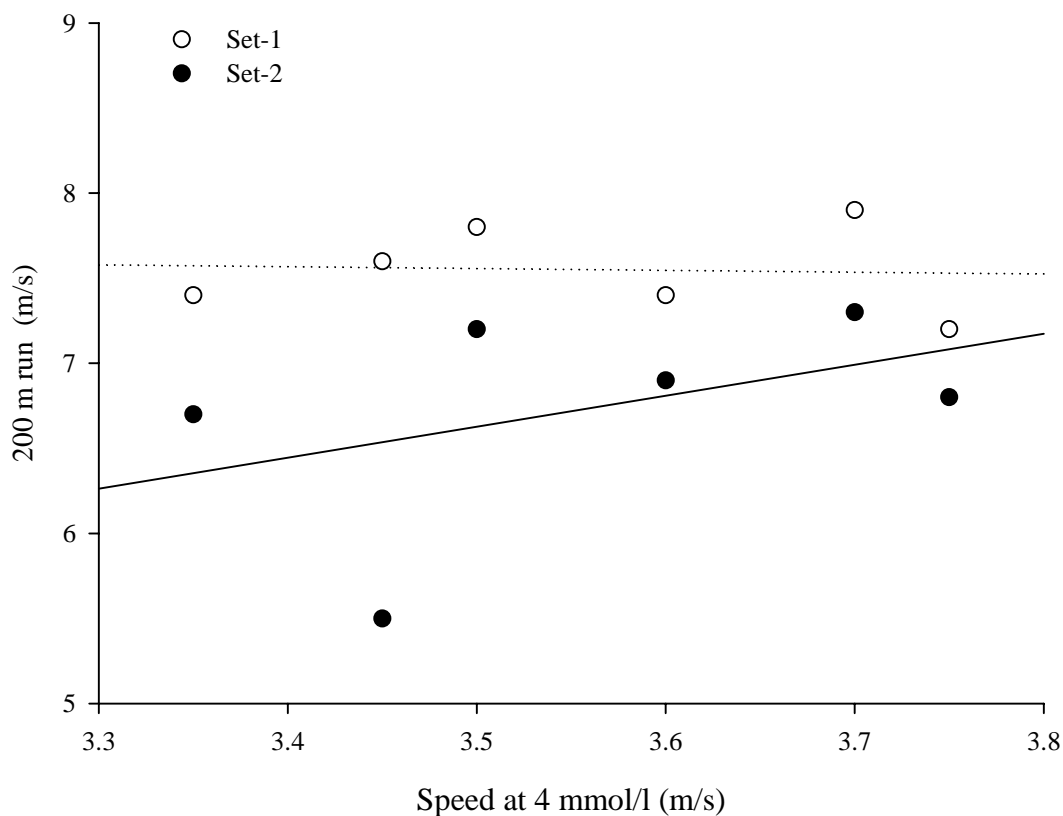


圖 4-6：無氧閾值速度與第五週 200m Set-1、Set-2 速度之分析

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

第六節 無氧閾值 (4mmol/l) 與 300m 最大訓練負荷

300m Set-1 速度在第一週無氧閾值速度 (4mmol/l) 提高時，出現下降之現象，呈現負相關，Set-2 速度則維持，如圖 4-7。

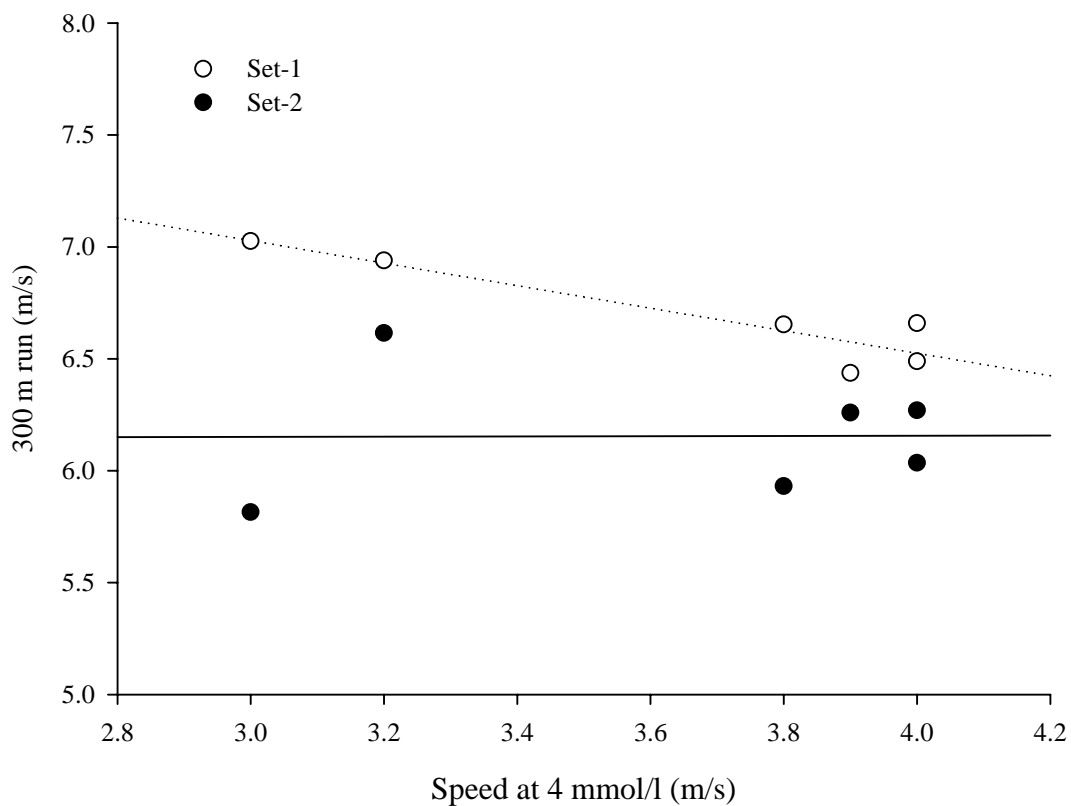


圖 4-7：無氧閾值速度 (4mmol/l) 與第一週 300m
Set-1、Set-2 速度之分析

從圖 4-7 顯示，當 300m Set-1 速度在第一週無氧閾值速度 (4mmol/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 (4mmol/l) 不甚理想。尤其當經過第五週之快速耐力訓練後發現，當無氧閾值速度 (4mmol/l) 愈快時，在 Set-2 300 速度產生明顯下降之現象，兩者呈現負相關，在 300m 速度方面依然無明顯進步，如圖 4-8。由於乳酸濃度之多寡是隨著漸增運動之負荷強度的增加而增加的 (Weltman, 1995)，因此當距離及速度增加時，乳酸濃度即隨之增加而影響其運動表現。

從以上得知，從事無氧閾值之訓練，應考慮可以 200m 做為訓練主要之距離較為適合。

第五週無氧閾值速度 (4mmol/l) 愈快時，Set-2 300 速度明顯產生下降之現象，兩者呈現負相關，Set-1 則無顯著相關，如圖 4-8。

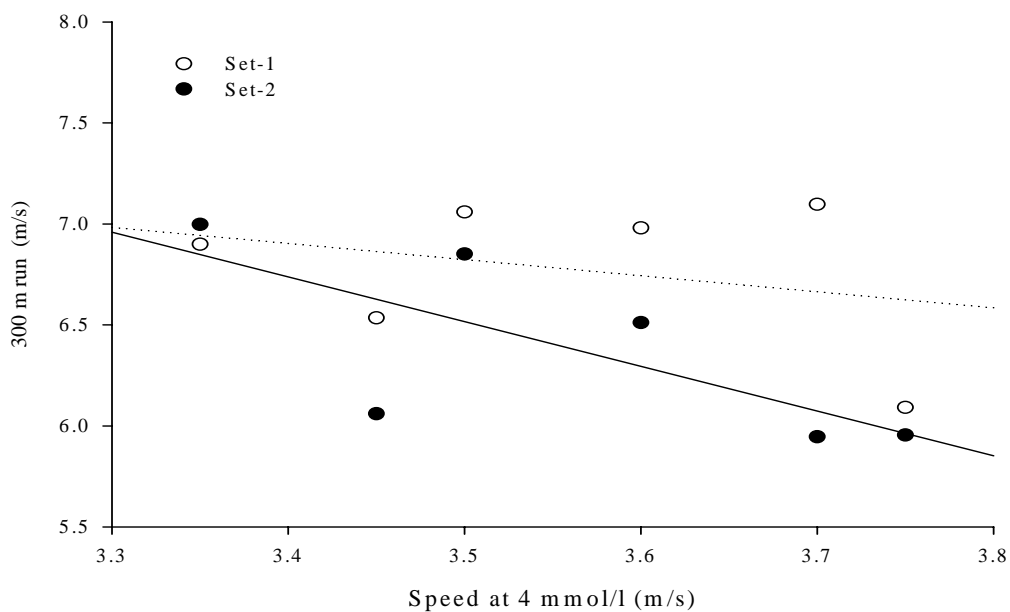


圖 4-8：無氧閾值速度 (4mmol/l) 與第五週 300m Set-1、Set-2 速度之分析

第七節 無氧閾值 (4mmol/l) 與乳酸堆積

4mmol/l 無氧閾值前測 (T-1) 與後測 (T-2) 之乳酸堆積均未達顯著差異 ($p>0.05$)，如圖 4-9。

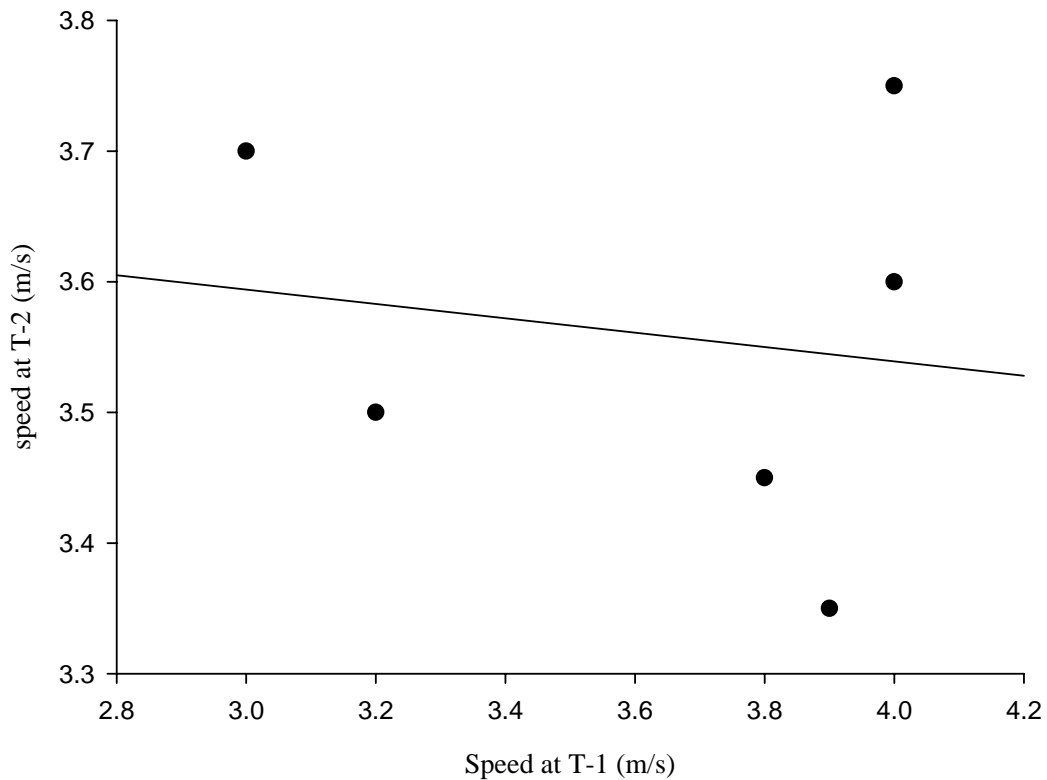


圖 4-9：4mmol/l 無氧閾值前測與後測之比較

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，在 4mmol/l 無氧閾值前測 (T-1) 與後測 (T-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 4-10

中發現，經過五週之訓練後，無氧閾值 (4mmol/l) 於後測 (5w) 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 (4mmol/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 (4mmol/l) 後測 (5w) 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 4-10。

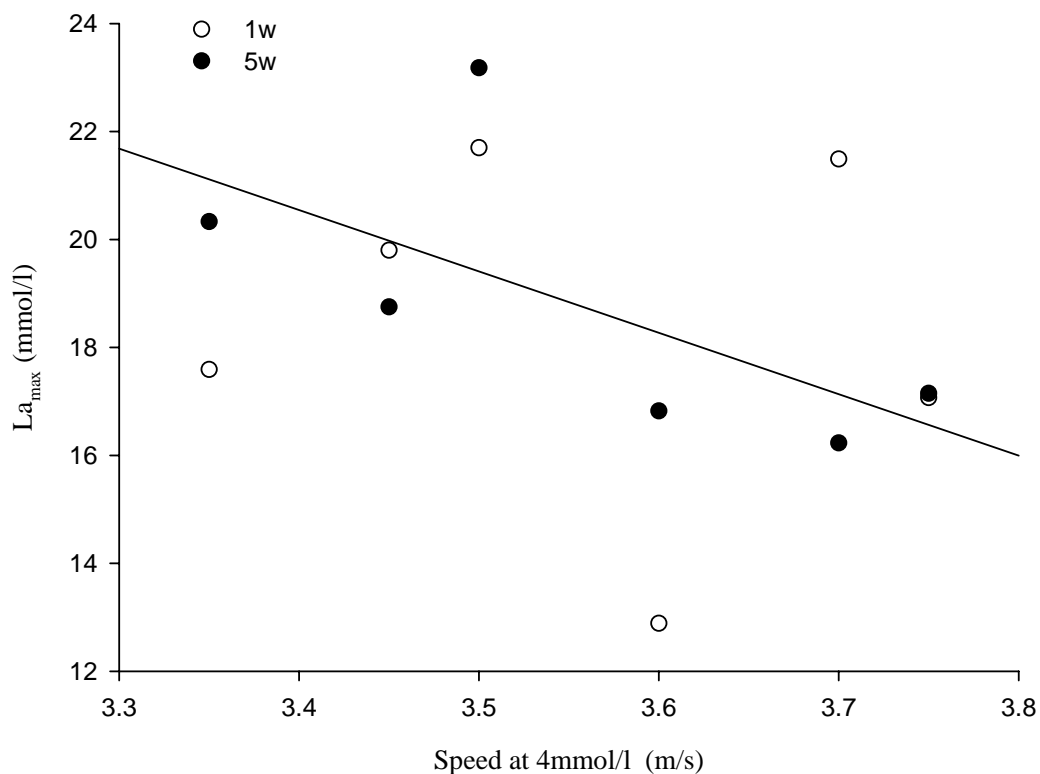


圖 4-10：無氧閾值 (4mmol/l) 後測與訓練最大乳酸堆積 (La_{max}) 之比較

第八節 2mmol/l 速度與第一週、第五週 最大負荷心跳率

經過五週訓練後，在第五週 2mmol/l 速度（後測）中，最大負荷心跳率呈現下降之現象，兩者之間呈負相關，如圖 4-11。

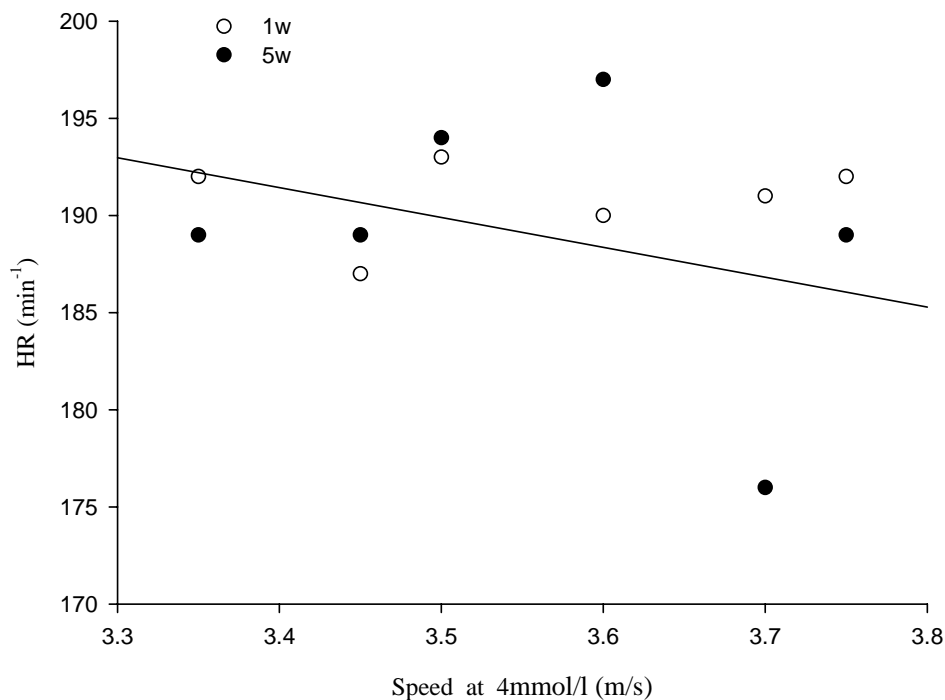


圖 4-11：4mmol/l 速度（後測）與第一週、第五週
最大負荷心跳率之關係

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 4-11 中發現，於第五週（後測）時，在 2mmol/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。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究是以六名中長跑運動員進行檢測，經過五週快速耐力訓練後，探討間歇訓練對其基礎耐力、乳酸閾值、心跳率、乳酸堆積情形與訓練負荷之影響並加以分析。並得到以下之結論：

一、基礎耐力

(一) 有氧閾值 (2mmol/l) 能力

有氧閾值 2 mmol/s 前測與後測差異為 ($p < 0.05$)，具有顯著差異，顯示快速耐力訓練對有氧閾值能力的提升有著一定的效果存在。

心跳率前測 (HR-1) 與後測 (HR-2) 未達顯著差異 ($p > 0.05$)，但 Test-2 較 Test-1 平均進步 6.7 min^{-1} ，顯示有進步。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 前測與後測達顯著差異 ($p < 0.05$)，曲線向左移動，表示當速度愈快時，產生的乳酸值相對提高。

(二) 無氧閾值 (4mmol/l) 能力

無氧閾值 4mmol/l 前測與後測則未達顯著差異 ($p > 0.05$)，但在心跳率部分，Test-2 較 Test-1 平均進步 9.7 min^{-1} ，顯示有進步。

乳酸於 3.5 m/s 前測 (La-1) 與後測 (La-2) 達顯著差異 ($p < 0.05$)。測試速度 4.5 m/s 前測與後測達顯著差異 ($p < 0.05$)。

二、訓練負荷

最大訓練負荷Set-2速度平均值與標準差，200m方面第一週第二次較第一次平均退步3.4 s。300m方面第二次較第一次平均退步4 s。第一次200m第一週至第五週無明顯差異，而300m方面，第二次速度平均值第一週至第五週亦未達顯著差異。

三、乳酸變化情形

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達顯著差異。而在Set-2運動結束後第一、三、五與第七分鐘，第一與第五週則均未達顯著差異。在4mmol/l無氧閾值前測與後測之乳酸堆積方面，無明顯進步之現象，但並不是代表著此訓練是無效的，因為經過五週之訓練後，無氧閾值(4mmol/l)於後測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(4mmol/l)已經由訓練而逐漸達到適應。

四、心跳率

(一)運動後恢復心跳率

在第五週運動結束後第一分鐘，Set-1與Set-2達顯著差異。而在前測與後測中Set-1、Set-2之第三分鐘均達顯著差異，顯示經過五週之訓練運動後恢復心跳率明顯下降。

(二)最大負荷心跳率

後測時在2mmol/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有進步。

五、無氧閾值與最大訓練負荷之關係

(一)無氧閾值與200m最大訓練負荷

在第一週200m中無氧閾值(4mmol/l)能力較差，但經過五週訓練後，Set-2之200m最大速度與無氧閾值速度(4mmol/l)卻已出現正相關之現象，顯示在這方面已有進步。

(二)無氧閾值與300m最大訓練負荷

經過第五週之快速耐力訓練後發現，當無氧閾值速度(4mmol/l)愈快時，300速度明顯下降，兩者呈現負相關，在300m速度方面依然無明顯進步。

第二節 建議

- 一、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。
- 二、本研究之部分結果雖未能達到預期之效果，但仍可做為未來訓練之依據，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。
- 三、乳酸閾值雖然在本研究中無明顯差異，未來在訓練上將基礎與專項練習比例進行調配，提供從事各項運動訓練之參考依據。因此，本研究建議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。

參考文獻

一、中文部分：

- 王瑞元、楊錫讓、劉柏、熊開宇 (1994)。運動生理學的現狀與展望。北京體育大學學報，17(4)，50-57。
- 田麥久 (1998)。論運動訓練計劃。台北：中國文化大學出版部。
- 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。
- 肖國強、石河利寬 (1996)。漸增運動負荷時不同環境條件對血乳酸濃度、血乳酸閾值和血乳酸開始堆積的影響。北京體育大學學報，21(2)，11-14。
- 阮如鈞 (1986)。競技運動訓練的理論與方法。台北：體育出版社。
- 沈云鶴 (1994)。對增強學生心肺功能的探討。南通醫學學院學報，1，125-126。
- 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。

許樹淵 (1978)。 *田徑運動訓練法*。台北：協進圖書有限公司。

許樹淵 (1992)。 *田徑論*。台北：偉彬體育研究社。

陳莖斐、李寧遠 (1997)。血乳酸值在運動訓練上的應用。 *國立體育學院論叢*，8(1)，93-101。

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

楊守博、簡榮章等編著 (1989)。 *田徑 (函授教材)*。北京：北京體育學院出版社。

楊錫讓等譯 (1991)。 *運動生理學*。台北：中國文化大學出版部。

二、外文部分：

Brooks, G.. A., L. Divine-Spurgeon. (1982). *Effects of training on oxidation of injected [U-14C]-lactate in rates during exercise*. In Knuttgn, H.G.J. 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 consumption: 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 Endurance trained 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 synthesis 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 körperliche Leistung* (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 Education, McGill University, Canada.
- Liesen, H. und Hollmann, W. (1981). *Ausdauer-sport 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 Ausdauerleistungsfähigkeit 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-Läufen 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 Stoffwechselaktivität der Muskelzelle als Folge des Energiebedarfs.* Habilitationsschrift. Deutsche Sporthochschule Koeln.
- Mader, A.; Heck, H. (1986): A theory of the Metabolic Origin of „Anaerobic Threshold“. *Int. J. Sports Med.* 7: 45-65, Thieme-Verlag, Stuttgart-New York.
- Neumann, G. (1991). Zur Leistungsstruktur 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 lactate 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)。

附 錄

附錄一

受試者同意書

題目：間歇訓練對乳酸閾值之效應

研究者：葉明春

聯絡電話：04-635728 手機：0938604678

本研究主要目的：觀察選手對間歇訓練的生理適應反應症狀。藉助乳酸閾值、心跳率等生物參數之變化，進而調整運動訓練計畫，促進訓練效果。實驗共計需5次，並進行耳垂採血。為了讓本實驗能順利進行，除了事前已充分準備外，更需要你的瞭解並同意配合下列事項：

- 一、實驗時間：全國性田徑賽前，每週一、三、五下午2點30分至5點；共計5週。
- 二、實驗地點：國立員林崇實高工田徑場
- 三、檢測時請著田徑短褲、T恤、慢跑鞋與釘鞋，並請提前20分到達，檢測前二小時應進食完畢。

本研究非常需要你的參與和配合才能順利進行，如果你願意參與本研究，請在下欄填妥個人基本資料，表示願意遵守同意書內容。

感謝你的合作與協助！

自願者簽名：_____ 班級：_____ 電話：_____

聯絡處：_____

附錄二

實驗記錄表	
日期： 年 月 日 星期 時間：	
地點：國立員林崇實高工 天氣：	
場地規格：200m PU 跑道	
內容：1set--200m+300m+200m+300m 80%	休息時間：2分鐘 /10分鐘
2set--200m+300m+200m+300m 95%	休息時間：2分鐘 /10分鐘
3set--200m+300m+200m+300m 100%	休息時間：2分鐘

SET	距離	1	2	3	4	5	6
(1) 80%	200m						
	脈搏數						
	300m						
	脈搏數						
	200m						
	脈搏數						
	300m						
	脈搏數						
(2) 95%	200m						
	脈搏數						
	300m						
	脈搏數						

	200 m						
	脈搏數						
	300 m						
	脈搏數						
(3) 100 %	200 m						
	脈搏數						
	300 m						
	脈搏數						
	200 m						
	脈搏數						
	300 m						
	脈搏數						