

運動員在有氧至無氧轉移中固定乳酸濃度的生理反應與自覺強度之比較

陳相榮

摘 要

本研究目的在比較耐力及非耐力運動員2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的跑速、耗氧量、心跳率、換氣量、氧換氣當量及自覺運動強度。十二名大專男子長跑、短跑及投擲選手為受測者，平均年齡19.8歲，身高174公分，體重69.5公斤。利用電動跑步機實施持續性水平跑步漸增負荷測驗，並以Gould 2900系統測量耗氧量、換氣量、心跳率及呼吸交換率。測試過程中，每隔三分鐘測量自覺運動強度並自前臂正中靜脈採血分析乳酸濃度。實驗所得資料以t值檢定法統計處理，結果獲得下列結論：(一)耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的跑速、耗氧量、換氣量及氧換氣當量(4mM除外)均大於非耐力運動員，惟在心跳率方面並無顯著差異。(二)耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM、4mM血液乳酸濃度的最大耗氧量百分比及2mM、2.5mM的最高心跳率百分比大於非耐力運動員，但最高速度和最大換氣量的百分比沒有顯著差異。(三)耐力運動員在2mM、2.5mM血液乳酸濃度的自覺運動強度大於非耐力運動員，但3mM、4mM時則無顯著差異。

第壹章 緒 言

一、研究動機

從能量轉換的觀點而言，輕度運動時所需的能量主要是由有氧路徑提供，此時肌肉中的氧儲存加上呼吸及循環因應運動而提供的氧足以完全符合需求，故而運動中形成的乳酸迅速被氧化〔Astrand & Rodahl, 1986〕。適度運動時，無氧路徑提供初期的能量，亦即先由磷肌酸系統(ATP-PC系統)，接著由醣酵解系統參與供應，直到獲得穩定狀態由有氧能量取而代之〔Powers & Howley, 1990〕。因此，這種運動繼續進行時，血液乳酸濃度再降至安靜水準。惟在較為劇烈運動時，無氧代謝佔據優勢，不僅缺氧量(oxygen deficit)升高，乳酸含量增加，最後導致肌肉暫時疲勞無法持續運動〔Hermansen and Osnes, 1972; Tesch et al., 1978〕。

由輕度運動有氧代謝到劇烈運動無氧代謝的過渡期中，早自六十年前學者即已認定有一個臨界運動強度(critical exercise intensity)存在，逾越此一強度將使

乳酸堆積遽增〔Owles, 1930〕。Wasserman和McIlroy〔1964〕首先以無氧閾值（anaerobic threshold）的名稱表示能量代謝轉移點，並且發展非侵入性呼吸指標用來判定無氧閾值〔Wasserman et al., 1973〕。當時由於“無氧”及“閾值”名稱及定義曖昧不明，引起極大爭議〔Hagberg, 1984; Brooks, 1985; McLellan, 1985〕。為了釐清有氧至無氧代謝過渡期的爭議，部分學者〔Skinner & McLellan, 1980〕提出術語名稱的修正。彼等認為從低到最大強度的漸增運動出現三個階段：第一至第二階段的轉移稱為有氧閾值（aerobic threshold），大約發生在40~60% VO_{2max} ，相當於2mM的血液乳酸水準；第二至第三階段的轉移稱為無氧閾值，約在65~90% VO_{2max} 發生，相當於4 mM的血液乳酸水準。在上述兩閾值間則稱為有一無氧過渡期（aerobic-anaerobic transition）。另外一個描述4mM血液乳酸水準的名稱為血液乳酸堆積開始點（onset of blood lactate accumulation，簡稱OBLA）〔Sjodin & Jacobs, 1981〕。

長久以來，最大耗氧量（ VO_{2max} ）一直被視為耐力運動表現的重要決定因素〔DeVries, 1986〕，而最大耗氧量百分比（% VO_{2max} ）亦常被做為運動強度的標準〔ACSM, 1990〕。然而，以無氧閾值當作運動代謝需求的效標時，同樣最大耗氧量百分比的強度卻無法產生相同的代謝刺激〔Katch et al., 1978〕。最近，由於實驗證明無氧閾值或血液乳酸堆積開始點與骨骼肌的氧化能力以及慢縮纖維百分比、肌肉微血管密度有密切相關〔Ivy et al., 1980; Sjodin & Jacobs, 1981〕，故被認為是心肺適能及訓練強度的較佳指標。此外，有多位學者以無氧閾值及2.0、2.5及4.0mM的固定血液乳酸濃度為效標，探討訓練特殊性〔Pierce et al., 1990〕、踏車頻率〔Buchanan & Weltman, 1985〕、自覺運動強度〔Hetzler et al., 1991; Seip et al., 1991〕等問題，但以固定血液乳酸濃度比較耐力及非耐力運動員的生理反應及自覺運動強度者尚付缺如，實有研究必要。

二、研究目的

- (一)比較耐力運動員與非耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的跑步速度、耗氧量、心跳率、換氣量及換氣當量。
- (二)比較耐力運動員與非耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的自覺運動強度。

三、研究範圍

本研究以十二名自願參加實驗的國立台灣體專長跑選手（耐力組）及短跑、投擲選手（非耐力組）為受測對象，在電動跑步機上做水平跑步最大負荷測驗所測得的各階段生理反應及血液乳酸值為限。

四、名詞釋義

- (一)無氧閾值（Anaerobic Threshold）

指分級運動中血液乳酸濃度開始增加的運動強度。本研究是指相當於血液乳酸濃度4mM的工作強度，超過此點則乳酸呈現不合理指數的上升〔Kinderman et al., 1979; Skinner & McLellan, 1980〕。

㉒ 固定血液乳酸濃度 (Fixed Blood Lactate Concentrations)

指有氧至無氧代謝轉移的某種血液乳酸值，本研究係指2mM、2.5mM、3mM及4mM而言〔Davis et al., 1976; Kinderman et al., 1979〕。

㉓ 最大耗氧量 (Maximal Oxygen Consumption, 簡稱 VO_{2max})

指最大運動時每分鐘所消耗的最大氧量〔Noble, 1986〕。

㉔ 自覺運動強度 (Rating of Perceived Exertion, 簡稱RPE)

為Borg所發明的數字等級，用來描述各種不同運動強度的主觀用力感覺，從6~20共有15個等級，代表最輕鬆至最吃力的程度〔Anshel, 1991〕。

㉕ 換氣當量 (Ventilatory Equivalent, 簡稱 VE/VO_2)

指每分鐘換氣量對氧消耗量之比〔McArdle et al., 1991〕。

㉖ 耐力組及非耐力組

耐力組係指5000、10000公尺及馬拉松項目的長跑選手；非耐力組則指100、200、400公尺及投擲選手。

第貳章 相關文獻的探討

一、無氧閾值方面的文獻

無氧閾值 (anaerobic threshold) 的名稱首先出現在Wasserman和McIroy〔1964〕的論文中，他們強調標準運動測驗中的呼吸交換率 (R) 可用於測量無氧代謝的開始。

Wasserman等人〔1973〕以每分鐘增加15W的運動研究氣體交換的變化，並確定非侵害性代謝酸中毒開始 (無氧代謝) 的指標。彼等指出無氧閾值 (AT) 可由下列幾點判定：(1) VE 非線性增加，(2) VCO_2 非線性上升，(3) 呼吸終末的 O_2 增加而 CO_2 則無相同的減少，(4) R 值增加，其中以 R 值最不敏感。根據上列方法發現，17~91歲的85位正常受試者之無氧閾值，下限為45W ($VO_2=1\text{ l/min}$)，優者高達180W。

Davis等人〔1976〕使用實驗室的氣體交換測量，即 VE 和 VO_2 非線性增加以及 FEO_2 突然上升，藉以探究無氧閾值的效度和可行性。此外，以30名大學男受試者研究三種運動方式 (手搖車、腳踏車和跑步機走跑) 的無氧閾值和最大耗氧量之比較性。結果發現兩種腿部運動方式 (腳踏車和走跑) 的無氧閾值沒有顯著差異，但手搖車對兩種腿部運動則有顯著不同。另外九位受試者做腳踏車試驗，發現氣體交換AT測量 (以 $\% VO_{2max}$ 表示) 與靜脈血乳酸AT測量 ($\% VO_{2max}$) 二者有顯著相關

($r=0.95$)。結論指出，氣體交換AT測量乃是漸增運動中偵測乳酸酸中毒的有效又有價值的間接方法。

Weltman和Katch〔1979〕以31名男受測者在漸增踏車運動中測量呼吸的氣體交換及最大耗氧量，藉此探討代謝酸中毒（無氧閾值）開始與最大耗氧量之關係。結果發現最大耗氧量與無氧閾值點的耗氧量（ VO_{2-AT} ）有相當高的相關（ $r=0.85$ ），表示 VO_{2max} 高者確實能夠延緩代謝酸中毒。

Davis等人〔1979〕以9名坐式生活的中年男子每天實施45分鐘固定踏車訓練，持續9週。訓練前後，受測者做三種踏車測驗。前兩種測驗，每分鐘增加15W，直至忍受極限。第三種測驗以略低於無氧閾值 VO_2 的固定負荷踏車。結果證明坐式生活中年男子的無氧閾值深受耐力訓練影響。

Ivy等人〔1980〕研究骨骼肌呼吸容量與乳酸堆積開始（乳酸閾值）工作速率之關係，並對纖維型、最大耗氧量及乳酸閾值作比較。肌肉活體檢視取自股外側肌以測定呼吸容量及纖維類型。乳酸閾值根據絕對工作速率（ VO_2 ）和相對工作速率（ $\% VO_{2max}$ ）評定。結果指出，肌肉的呼吸容量在確定血液乳酸堆積開始之工作速率時最為重要，而且認為慢縮纖維比例在確定相對的乳酸閾值時扮演重要角色。

Rupp〔1981〕針對20名男女受測者實施固定腳踏車最大進階測驗，採用四種方法決定無氧閾值。第一方法是 VE 和 VCO_2 非線性上升；第二方法為 FEO_2 增加而 $FECO_2$ 沒有減少；第三方法為 VE 第二次非線性上升（轉折點）；第四方法為工作強度增加時 $FECO_2$ 減少。結果發現一、二方法測出的無氧閾值相同，三、四方法所測無氧閾值亦同，惟一、二與三、四方法（ VO_2 ， HR 和 $\% VO_{2max}$ ）有明顯差異；女子在無氧閾值的心跳率高於男子，而且在較高的 $\% VO_{2max}$ 發生。

Sucec〔1981〕為探討男女長跑選手 VO_{2max} 和無氧閾值（AT）的遞增水平跑步機測驗（HT）之效度和信度以及性別對AT之關係，以12名男子和12名女子長跑選手為實驗對象，另以6名正常活動女子做為控制組。結果發現，從HT測量AT對男子和女子均為適當可靠。男子在AT時的 VO_2 為3.28 l/min或48 ml/kg/min，女子顯著較低，只有2.33/min或40.6 ml/kg/min，惟以 $\% VO_{2max}$ 表示AT時，男女之間沒有差別（分別是72.3%及73.2%）。

McLellan等人〔1981〕利用隨機方式令6名受測者在固定腳踏車上進行四項漸進負荷運動直至衰竭的測驗，藉以研究工作負荷（WL）時間對有氧閾值（AerT）和無氧閾值（AnT）間接及直接判定。工作負荷每1或2分增加15W以及每3或4分增加30W。AerT和AnT分別間接地由第一次及第二次 VE 對 VO_2 的轉折點及直接地自乳酸開始上升（ La ）及乳酸迅速上升開始的工作負荷決定。由於絕對的AerT和AnT值隨著工作負荷時間增加而升高， VO_{2max} 隨著較長的2及4分鐘而降低，故相對的AerT和AnT值在4對1分鐘測驗時明顯較高；AerT的乳酸在3和1分鐘測驗時亦顯著

較高，但AnT的乳酸水準沒有差異。這些乳酸值相關的 VO_2 與直接決定的AerT及AnT不同，雖然有人認為2和4mM乳酸水準通常分別在AerT及AnT時發現，此乃霸道而且未必一直適用，需視測驗方法而定，相對的AerT和AnT值（% VO_{2max} ）可能明顯改變。

Tesch〔1981〕研究血液乳酸堆積開始（OBLA）的肌肉乳酸濃度，以10名常活動男子為受測對象在踏車運動中測量最大耗氧量。測驗過程中，監控耗氧量和心跳率，並在每階段最後一分鐘採血。運動測驗在估計的OBLA負荷達到且維持四分鐘後即停止。結果發現OBLA在65%（55~84） VO_{2max} 時出現，而OBLA的肌肉乳酸濃度則在2.1~12.6mM·kg⁻¹W.W.。結論指出，在上述實驗情況下，肌肉及血液的乳酸濃度並無一致關係，故而討論“無氧代謝開始”時，肌肉及血液乳酸的個別差異必須加以考慮。

Caiozzo等人〔1982〕以四種常見的氣體交換指數比較無氧閾值的信度。16名受測者實施兩種達到意志疲勞的踏車測驗。在4分鐘無負荷踏車之後，工作速率增至20W/min，每隔30秒氣體分析一次。其中一項測驗為每30秒自靜脈採血檢驗血液乳酸（HLA）濃度。使用 VE 、 VO_{2max} 、 R 、 VE/VO_2 及HLA所測AT值（ VO_2-l/min ）分別為 17.9 ± 0.11 、 1.74 ± 0.11 、 1.58 ± 0.06 、 1.84 ± 0.11 及 1.85 ± 0.11 l/min。換氣或氣體交換AT與 AT_{max} （標準值）相關最高的是 VE/VO_2 。由實驗結果可知以 VE/VO_2 為非危害性AT測量乃是氣體交換指數中最靈敏而可靠者。

Hughson和Green〔1982〕使用傾斜式（ramp）運動負荷測驗探討血液酸鹼性與乳酸之關係。6名男女受測者在固定腳踏車上，分別以65.4 W/min及49 W/min之快速傾斜負荷或8.2 W/min及6.1 W/min之緩慢傾斜負荷增加工作速率進行運動。結果快速及緩慢傾斜負荷的最高 VO_2 沒有顯著差異；由 VE 對 VO_2 複迴歸所測的氣體交換AT得知，快速及緩慢傾斜負荷測驗二者相似；緩慢傾斜測驗時，血液乳酸比安靜值上升0.5mM的 VO_2 低於氣體交換AT，而快速傾斜測驗時，乳酸達到2.0 mM的 VO_2 則大於氣體交換AT。結論指出，氣體交換測出的AT很明顯的與改變工作速率促進機能的血液乳酸閾值無關，其他機轉如 H^+ 、 CO_2 儲存量都有可能解釋氣體交換AT。

Yeh等人〔1983〕以8名常人為對象在固定腳踏車上實施兩種運動測驗，包括3分鐘休息，3分鐘零負荷及每分鐘20W傾斜負荷（1 W/3s）直至衰竭。第二種測驗同時自動脈和靜脈採血。無侵害性氣體反應數據係以電腦每口呼吸（breath-by-breath）測試系統測量。結果沒有發現乳酸堆積的閾值現象。動脈乳酸水準在傾斜負荷運動開始後即持續升高。靜脈乳酸水準上升比動脈乳酸落後有1.5分鐘，故靜脈乳酸不適於偵測AT。結論指出，雖然無氧代謝在運動中確實發生，但非侵害方式無法偵測閾值現象。此外，以目前非侵害方式偵測AT時，因判定者不同致使個

人的AT值有極大出入。

Davis等人〔1983〕研究氣體交換無氧閾值是否發生在2或4mM的固定乳酸濃度。14名受測者進行漸增負荷踏車測驗。氣體交換每30秒計算一次，在同樣30秒間隔中自靜脈採血測量乳酸。無氧閾值以四項基準決定：(1)VE/VO₂系統增加而VE/VCO₂並無伴隨增加，(2)乳酸轉折點，(3)乳酸達2mM，(4)乳酸達4mM。結果指出，由氣體交換或乳酸轉折點決定無氧閾值與2mM或4mM的固定乳酸值並不一致。

Tanaka和Shindo〔1985〕以66名6~15歲男孩在跑道進階運動負荷測驗中測量略低於2mM血液乳酸（乳酸閾值）的跑步速度，與23名16~18歲及18名18~23歲未訓練男子比較。受測男孩分成：6-7、8-9、10-11、12-13及14-15五組。結果全部年齡組的平均乳酸閾值之速度均顯著高於未訓練男子，但與有訓練青年男子並無差異。全部各組男孩間沒有差異，惟乳酸閾值的速度與骨骼成熟分數有明顯負相關。乳酸閾值的心跳率和最大心跳率百分比與年齡有關。這些結果顯示成熟為影響乳酸閾值的因素之一。

Beaver等人〔1986〕發展一種偵測無氧閾值之新法，彼等針對VCO₂與VO₂繪圖的斜度使用電腦化迴歸分析，藉此可偵測來自〔H⁺〕緩衝劑產生CO₂輸出過多的開始。由V-slope分析所得AT的平均VO_{2max}雖與富於經驗六人小組使用傳統目測法測得平均值沒有明顯差異，但由V-slope法所測AT較為可靠。結論指出，此種確定AT的方法比依賴正常呼吸形式及呼吸化學敏感性的其他方法則有顯著優點。

Maffulli等人〔1987〕使用三種運動測驗（1、2和4分鐘運動）探究各種增速下的心跳率（HR）與跑速（RS）關係。所有受測者在三種運動測驗中均可確定HR/RS直線關係中具有傾斜變化點（Slope Variation Point, SVP）。此外亦顯示SVP、RS與血液乳酸濃度所測的AT有高度相關。實驗數據指出，此種測驗對迅速非侵害性確定AT頗有助益，同時可作為馬拉松賽跑速度的預測工具。

Gibbons〔1987〕研究無氧閾值對運動處方的重要性。29名有訓練女子在跑步機上最大耗氧量測驗中確定無氧閾值、有氧能量、最大心跳率、無氧閾值的耗氧量及心跳率。根據最大耗氧量測驗結果把受測者區分成：高適能、一般適能及低適能三組。研究結果指出，適能水準影響無氧閾值到達點，單祇依據最大心跳率百分比或有氧能量百分比分配運動處方將產生多種代謝反應，故而設定處方時應評估無氧閾值的影響。

Vago等人〔1987〕研究換氣無氧閾值（T_{vent}）是否為耐久能力的良好指數。15名受測者進行兩種固定腳踏車測驗。首先是每分鐘增加20W直至衰竭的最大運動測驗，確定氣體交換無氧閾值及最大耗氧量。其次是以80% VO_{2max}負荷竭力運動的耐力測驗。統計顯示：(1)VO_{2max}和耐久時間（ET）關係不大，(2)VO₂ T_{vent} ml/kg/min和ET_{min}，VO₂ T_{vent} l/min和ET_{min}，T_{vent}% VO_{2max}和ET有直線相關。本研究指

出耐久能力可藉換氣無氧閾值評估。因為 T_{max} 可以容易和 VO_{2max} 在同樣最大運動測驗中決定，故宜在運動實驗室中有系統的測定。對運動員及教練而言，具有兩種標準評估體能及訓練計劃之效果，運動醫學之控制更能引人注意。

Yoshida等人〔1987〕以四種血液乳酸參數與有氧動力及12分跑成績比較。(1) 乳酸閾值(LT)——漸進運動測驗中血液乳酸濃度開始增加超出安靜水準的 VO_2 ，(2)LT₁(乳酸比安靜值高出1mM的 VO_2)，(3)LT₂(乳酸濃度達到固定的2mM值)，(4)OBLA(乳酸達到4mM值)。結果發現：(1)乳酸參數(LT、LT₁、LT₂和OBLA)彼此間具有高度相關，(2)所有乳酸參數與 VO_{2max} 及耐力跑成績均有高度相關，其中以LT與 VO_{2max} 及耐力跑成績相關最高。結論指出，乳酸閾值為有氧能力及耐力跑成績的最佳指數。

Iwaoka等人〔1988〕探討年紀較大的耐力跑者在運動中的血液乳酸堆積。34名男跑者(21~69歲)實施漸增負荷跑步機跑步測驗。年青跑者、中年跑者及較老跑者的訓練距離及相對體脂肪均無明顯差異。較老跑者之最大耗氧量及5km跑時間分別比年青跑者及中年跑者低而且緩慢，但相當於4mM血液乳酸的耗氧量(OBLA VO_2)以% VO_{2max} 表示時各組相同。各組OBLA的 VO_2 ($ml/kg/min$)與5km跑時間則有顯著相關存在。這些結果表示較老跑者所達到的一定血液乳酸水準和年青跑者及中年跑者幾乎在相同的% VO_{2max} ，同時較老跑者之OBLA VO_2 如同年青和中年跑者一樣對評估耐力成績頗有用處。

Acevedo和Goldfarb二人〔1989〕為確定增加訓練強度對 VO_{2max} 、血漿乳酸堆積、換氣閾值(VT)及有訓練長跑選手成績的影響，7名男長跑選手增加訓練強度，以90~95% HR_{max} 負荷每週實施3天，持續8週。發現增加訓練強度沒有改變 VO_{2max} ，但使10公里跑時間增快，跑步機上以相同速度及坡度跑至衰竭時間延長。增加訓練強度後，85%和90% VO_{2max} 的血漿乳酸濃度明顯降低，換氣閾值或65、70、75或80% VO_{2max} 的血漿乳酸沒有差異。10公里跑時間與85或90% VO_{2max} 的血漿乳酸有顯著相關。在2.5及4.0mM的乳酸堆積在增加訓練強度後，% VO_{2max} 明顯增高。此外，血漿乳酸的改變在增加訓練強度後與換氣閾值的變化無關。這些數據顯示先前有訓練選手可增加訓練強度以促進耐力成績，因減低他們訓練強度的乳酸而不管 VO_{2max} 及VT沒有改變。此結果表示有訓練選手增加訓練強度可在達到OBLA以前使用較高% VO_{2max} 的強度來運動。

Chwalbinska-Moneta等人〔1989*〕比較不同方式測定無氧閾值的代謝及循環變化。23名男孩(15~16歲)進行漸增負荷運動測驗直到衰竭，此外亦研究運動中血液酸鹼平衡的變化。結果顯示OBLA與換氣閾值(VT)在同樣運動強度範圍內發生，而相當於代謝及循環變化的IAT(individual anaerobic threshold)則在較低工作負荷才發生。

Chwalbinska-Moneta等人〔1989^b〕研究漸進負荷運動中肌肉及血液乳酸的關係。7名耐力訓練大學男生接受三種漸增負荷踏車測驗。前兩種測驗相同，每階段3分鐘，休息2分鐘，每階段增加50W直至衰竭。測驗中自耳垂採血測量乳酸、pH值（在測驗中自肘前靜脈採血）以及相當於乳酸閾值（LT）、個別無氧閾值（IAT）和血液乳酸堆積開始（OBLA）的運動強度。第三種測驗為事前決定的負荷（低於OBLA 50W、等於OBLA和高出OBLA 50W），運動階段及休息如同前二種測驗。在安靜及完成三種運動強度後做肌肉活體檢視以測定乳酸及pH值。結果發現肌肉乳酸濃度與血液乳酸有高度相關，而且在安靜時及低於OBLA、等於OBLA和高出OBLA時的肌肉與血液乳酸比分別是0.74，0.63，0.96和0.95。在LT、IAT和OBLA的 VO_{2max} 並沒有顯著差異，而且分別發生在54，55和60% VO_{2max} 時。LT、IAT和OBLA相當於肌肉LT，故表示漸進工作強度的運動中，肌肉和血液中的LT相同。

二、無氧閾值的自覺運動強度之文獻

Demello等人〔1987〕研究有訓練和未訓練男女的訓練狀態和性別對乳酸閾值（LT）的自覺運動強度（RPE）之影響，以及確定RPE在中度至重度的非最大運動中是否跟LT或% VO_{2max} 關係更為密切。結果指出乳酸閾值為運動感覺重要的生理固定點（anchor point），不受訓練狀態或性別影響。有訓練及未訓練男女在中度至重度運動強度中，乳酸閾值的自覺強度為“有些吃力”（RPE=13~14）。RPE與LT的代謝及氣體交換的關係比利用% VO_{2max} 更密切。

Hill等人〔1987〕探討訓練對換氣閾值的自覺運動強度之影響。受測對象為大學學生，分成訓練組（17人）和控制組（10人）。訓練內容包括六週的18次間斷訓練（以90~100% VO_{2max} 踏車5分×5次）和8次持續訓練（40分跑步或踏車）。訓練前、後在腳踏車漸增運動測驗中測量換氣閾值時的心肺、代謝及自覺強度。結果發現兩組在訓練前後換氣閾值的自覺運動強度為“有點吃力”到“吃力”（REP=13~15）。RPE和% VO_{2max} 的關係因訓練而變化，有訓練受測者在一定% VO_{2max} 的RPE較低。結論指出雖然訓練後換氣閾值在較高的工作速率發生，並且具有較高的絕對與相對代謝及心肺需求，但在換氣閾值的RPE並不因訓練影響。

Boutcher等人〔1989〕研究踏車及跑步訓練對乳酸閾值（LT）的自覺運動強度之影響。發現LT的RPE在訓練前、後或兩種測驗方式間都沒有差異。在LT的運動強度感覺由“非常輕鬆”至“輕鬆”。RPE和% VO_{2max} 的相關因訓練的特殊形式而改變，有訓練受測者在固定% VO_{2max} 時具有較低的RPE（RPE最大值不變）。結論是：儘管LT在訓練後在較高的工作速率發生，且與較高的絕對及相對代謝、心肺需求有關聯，但LT的RPE不受訓練影響。

Hill等人〔1989〕研究一日中的某段時間對高過或低於換氣閾值工作速率的自覺強度之影響。結果顯示高於換氣閾值的漸增非最大踏車運動中，早上對特殊工作

速率的自覺強度值比下午低，RPE的20%差異可由早上換氣需求較低來解釋。

Hetzler等人〔1991〕研究運動形式對各種乳酸濃度的自覺運動強度之影響。受測者為29名未訓練男子，以固定腳踏車（CE）和跑步機（TM）為測驗工具，在最大負荷運動中確定相當於乳酸閾值（LT）和2.0、2.5、4.0mM固定乳酸濃度（FBLC）的動力輸出的心跳率、 VO_2 和RPE。雖然運動形式在相當於乳酸閾值、固定乳酸濃度的HR和 VO_2 有顯著差異，但運動形式間的RPE並無顯著差異存在。結論指出，運動形式不會影響乳酸閾值、固定乳酸濃度或最大運動的自覺運動強度，而且RPE和血液乳酸濃度有很高相關。

Seip等人〔1991〕研究訓練狀態對乳酸閾值（LT）及2.0、2.5及4.0mM的固定血液乳酸濃度（FBLC）的自覺運動強度之影響。受測對象包含賽跑者20名和非賽跑者29名，實施漸進負荷無坡度跑步機跑步測驗以確定相當於LT和FBLC的跑步速度。結果發現除了4.0mM的心跳率及LT時的 VE/VO_2 之外，賽跑者在各個運動強度中具有較高跑步速度，較大的 VO_2 ， VE ，HR及較低的換氣當量（ VE/VO_2 ）。同時賽跑者在LT和2.0、2.5、4.0mM的相對最大值中具有較高的 VO_2 、 VE 和心跳率。雖然有這些相對及絕對的生理差異，在任何情況下，局部、中心或整體的RPE值在兩組間並無差異。

三、無氧閾值的生理反應文獻

Roberts等人〔1979〕以4名短跑選手（100公尺10.4-10.8秒）和4名長跑選手（10000公尺29：10~31：33分，馬拉松2小時19分~2小時42分）為受測對象做最大耗氧量（ VO_{2max} ）及無氧閾值（AT）測驗，並由外側腓腸肌的活體檢視以測定肌纖維類型及微血管。結果發現短跑選手與長跑選手在 VO_{2max} （60.7對71 ml/kg/min）、AT（78對83% VO_{2max} ）、AT的 VO_2 （47.3對58.9 ml/kg/min）、肌纖維組成（54對19% FT）及微血管數目（2.7對4.6條微血管/每條肌纖維）上有顯著差異。此由顯示短跑運動員在 VO_{2max} 、AT和AT時的 VO_2 較低亦代表耐久潛力較低。

Patton等人〔1979〕研究賽跑選手和非賽跑選手的無氧閾值，11名志願受測者（5名大學越野賽跑選手，6名為體能良好的非賽跑選手）在跑步機上實施漸進負荷測驗直至衰竭。AT以換氣反應非線性轉折點目測決定。結果賽跑選手與非賽跑選手在年齡、身高、體重、體脂百分比、最高血液乳酸及最大心跳率上並無顯著差異，惟賽跑選手在 VO_{2max} 、跑步時間上優於非賽跑選手。雖然賽跑選手到達AT時之絕對或相對 VO_2 都較大，但兩組AT時的心跳率沒有差異。

Smith〔1982〕比較12名游泳運動員的無氧閾值，採用非持續性繫繩游泳最大耗氧量測驗。結果發現短距離組的無氧閾值（65.89% VO_{2max} ）顯著低於耐力組（90.39% VO_{2max} ），但在最高乳酸濃度、最大心跳率、體脂肪百分比、游泳時間、身高、體重方面並無差異。此外，短距離組在最高能力的換氣當量（ VE/VO_2 ）

比耐力組低。由此顯示本研究結果與短跑、長跑選手間的關係相同。

Svedenhag和Sjodin二人〔1984〕探討不同徑賽項目傑出選手的生理特性。27名屬於瑞典國家代表隊的中長跑和400公尺選手，按照距離分成6組，從400公尺到馬拉松。由跑步機測驗所得最大耗氧量，除了馬拉松外，距離越長值越高（800~1500m組72.1 ml/kg/min；5000~10000m組78.7 ml/kg/min）；相當於4mM血液乳酸濃度的跑速在各組間有明顯差異，而長跑選手優於中距離選手，其中以5000~10000m組最高（5.61 m/s）；4mM血液乳酸濃度的耗氧量（% VO_{2max} ）在各組之間沒有顯著不同。衰竭後（ VO_{2max} 測驗）血液乳酸濃度則以長跑選手較低。

Bunc等人〔1987〕研究訓練有素各項運動員的換氣閾值（VT）。以跑步機測驗決定VT的有男馬拉松、男女長跑、年青男子長跑、成人男女及年青女子中距離選手、現代五項、成人男女獨木舟、年青男子獨木舟以及足球選手；以固定腳踏車測驗的有桌球、water slalom paddlers、年青女子獨木舟、划船及冰球選手。結果發現AT以% VO_{2max} 表示時，運動時間越長者越高（馬拉松選手86.7%）。在AT的% VO_{2max} 依負荷種類而定，身體器官與負荷配合越好則值越高。年青女子獨木舟及划船選手由腳踏車測驗的AT分別在74.2%及74.6%；而在特殊負荷場合，同樣運動員分別為84.8%和85% VO_{2max} 。在沒有特殊負荷下，高度訓練者AT值可能會較低，接近一般人的水準。比較相等訓練的青年及成人運動員，在AT水準的% VO_{2max} 方面並無顯著差異，同理，相等訓練的男女運動員在AT水準的% VO_{2max} 亦無不同。結論指出，在決定AT尤其解釋時除了必須考慮測定AT的方法之外，競賽時間、訓練過程的形式及負荷特殊性亦應顧及。

Vanden Eynde和Van Coppennolle二人〔1988〕研究兒童特殊訓練對最大有氧動力及無氧閾值之影響。發現施以特殊短跑訓練的男孩之AT值（以% VO_{2max} 表示）顯著比耐力選手及控制組低。

四、本研究相關文獻的綜合摘要

- (一)無氧閾值的測量方法可區分為非侵害性（noninvasive）和侵害性（invasive）兩種。前者主要以換氣反應來決定；後者則以乳酸反應決定。許多學者指出以上二種方法測得之無氧閾值沒有顯著差異，相關高達0.87~0.95。惟自換氣反應測得的無氧閾值常因判定者的不同而有極大出入，而由乳酸反應測得的無氧閾值則較為準確。
- (二)從輕度到最大強度的漸增運動中，不少學者以相當於2mM至4mM的血液乳酸濃度代表有氧至無氧代謝的轉移。近年來多人以無氧閾值（乳酸閾值）及2mM、2.5mM、4mM的固定乳酸濃度為基準來研究各種生理反應。
- (三)最近研究指出，無氧閾值及固定乳酸濃度的自覺運動強度（RPE）不受訓練影響，RPE和血液乳酸濃度相關很高，但RPE和% VO_{2max} 之關係則因訓練而變

化，有訓練者在一定% VO_{max} 的RPE較低。

(四)短距離運動員在最大耗氧量、無氧閾值及無氧閾值的耗氧量 ($ml/kg/min$) 方面顯著低於長距離運動員，但最高乳酸濃度，最大心跳率則無差異；此外，4mM血液乳酸濃度的跑速方面長距離運動員較優。

第叁章 研究方法與步驟

一、受測者

本研究係以國立體專長跑運動員（耐力組）及短跑、投擲運動員（非耐力組）十二人為受測對象。兩組受測者間的最大耗氧相對值具有顯著差異 ($P < 0.1$)。基本資料如表一。

表一 受測者基本資料 (N=12)

		年 齡 (歲)	身 高 (公分)	體 重 (公斤)	最大耗氧量 (毫升/公斤/分)	最大耗氧量 (公升/分)
耐 力 運 動 員 (6人)	平均數	19.83	175.16	63.33	65.96	4.18
	標準差	2.13	3.43	2.65	6.08	0.48
	全 距	18-23	169-179	60-66	57.37-74.09	3.5-4.8
非 耐 力 運 動 員 (6人)	平均數	19.83	172.83	75.66	53.78	4.02
	標準差	1.60	6.61	13.98	4.79	0.51
	全 距	18-22	163-180	58-98	46.7-59.2	3.38-4.89

二、實驗時間與地點

時間：民國八十年二月初旬至中旬

地點：國立體育學院運動科學研究所運動生理實驗室

三、實驗前準備階段

(一)儀器校正與檢視

1. 跑步機——採用美製Quinton 24-72型，實驗前依操作手冊之程序及方法對跑步機的速度與斜度進行校正。
2. 心肺功能測量系統——採用美製Gould 2900測量系統，其校正系統包含：A. 流量計校正 (flowmeter cal)，B. 流量計查對校正 (flowmeter verify cal)，C. 分析儀校正 (analyzer cal)，D. 分析儀查對校正 (analyzer verify)

cal) 和 E. 流量計清除 (flowmeter clean) 五部分。其中 A、C 每日必須校正，B、D 則在每位受測者測量前校正，E 則需要每日清除 10 秒鐘。

3. 乳酸分析儀——採用美製 YSI Model 23L 乳酸分析儀，使用前依照操作手冊加以校正，包括打入 5mM 及 15mM 標準液檢查分析是否在接受範圍內。

4. 心電圖儀——採用日製 FME Cardisuny 501 D Electrocardiograph。

5. 抽血針筒、靜脈留置針、透氣膠帶、生理食鹽水、導管、真空試管之檢視。

(二) 受測者之準備

受測者事先填寫健康調查表，並發給每位受測者一份受測者須知及同意書。除了向受測者說明實驗過程及目的，同時解答有關問題，然後讓受測者在同意書上簽名，表示願意做為本研究之受試者。

四、最大耗氧量的測量

(一) 運動測驗

最大耗氧量的測量採用持續性水平跑步 treadmill protocol [Weltman et al., 1990]。每個階段的時間為 3 分鐘，開始的跑步機速度為 150 公尺/分，以後每個階段增加 10 公尺/分。整個測驗過程中，跑步機坡度維持不變。為使每位受測者達到最高能力 (functional capacity)，在測驗過程中不斷的給受測者加油鼓勵，直到衰竭為止。

最大耗氧量是否達到，主要是以下列各點作為判定標準之參考 [林正常，民國 78 年]。

1. 耗氧量呈水平狀態 ($< 150 \text{ ml/min}$ 或 $< 2.1 \text{ ml/kg/min}$)。

2. 受測者主觀的疲勞、衰竭、無法繼續運動測驗。

3. 呼吸交換率在 1.0 或 1.10 以上。

4. 運動強度自覺量表達 19 或 20。

(二) 心跳率測量

以酒精擦拭受測者誘導電極粘貼位置，使用 CM_5 法把負極貼在胸骨柄上端，正極貼在左側第五肋骨和鎖骨正中央下垂交點，地線貼在右側與正極相對位置，再將電極導線接在心電圖儀。測得之心電圖以標準量尺 (M.E. Cardi Scale) 算出心跳率。測驗過程中，記錄每分鐘最後 5 秒之心電圖，直到衰竭為止。

(三) 採氣及分析

受測者帶上口罩，夾上鼻夾，呼出氣經由蛇管連接 Gould 2900 測量系統。氣體的收集及分析均由該系統處理。整個測驗過程中，每隔 20 秒自動分析及記錄數據一次。分析項目包括 VO_2 、 VCO_2 、 VE 、 R 、 VE/O_2 等，所有測驗數據立即顯示於電腦畫面上。

五、自覺運動強度 (RPE) 的測量

在整個測驗的每一階段最後10秒，以Borg 6-20點的RPE量表詢問受試者，“6”代表最為輕鬆的感覺，“20”則表示最為吃力的感覺。

六、採血及乳酸分析

在運動測驗前先把靜脈留置針插入受測者前臂正中靜脈，並接上一條點滴輸送管。待抽出3ml血液後，隨即打入約2ml的肝制凝素鹽液（heparinized saline solution）防止血液凝固，然後鎖緊點滴控制器，再以橡膠軟塞塞住輸送管入口端。運動測驗中每個階段（3分鐘）末尾抽血時，先以5ml針管抽出輸送管內的肝制凝素鹽液，復以5ml新針管抽血，同樣再打入肝制凝素鹽液。每次抽出的血液立即注入含有抗凝血劑之真空試管中。

血液樣本隨即使用YS1 Model 23L自動乳酸分析儀分析乳酸濃度（附錄三）。

七、決定固定乳酸濃度相對應的生理值

以內插法從每位受測者各階段的乳酸濃度與跑步速度間的曲線關係求出2mM、2.5mM、3mM及4mM乳酸濃度的對應速度（乳酸—速度）。其次，以各固定乳酸濃度的速度做為基準，使用同樣方式求出相對應的耗氧量（ VO_2 ）、換氣量（VE）、換氣當量（ VE/VO_2 ）、心跳率（HR）及自覺運動強度（RPE）。

八、資料分析

所有資料均由SPSS/PC+分析處理。以獨立樣本t檢定法考驗耐力運動員與非耐力運動員在各種固定乳酸濃度（2mM、2.5mM、3mM及4mM）的耗氧量、最大耗氧量百分比、換氣量、換氣量百分比、換氣當量、心跳率、最大心跳率百分比及自覺運動強度是否有差異。顯著水準定為5%（ $P < .05$ ）。

第肆章 結 果

一、乳酸分析的信度檢討

每位受測者在本實驗中，自安靜以及運動測驗開始每個階段直至衰竭為止，經過多次採血及乳酸分析。為了檢討乳酸分析的信度，乃以抽樣方式對血液樣本進行再測分析，並使用皮爾遜積差相關法求出前後二次乳酸分析的相關係數， $r = .99$ ，經信度考驗達.001顯著水準。

二、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的跑步速度及最高速度百分比

由表二可知耐力運動員與非耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM及4mM乳酸濃度的跑步速度，分別是 229.33 ± 11.98 m/min對 156.83 ± 4.91 m/min、 240.5 ± 9.79 m/min對 164.33 ± 5.42 m/min、 249.66 ± 10.98 m/min對 171.33 ± 6.25 m/min、 260 ± 11.36 m/min對 183.16 ± 8.03 m/min，耐力運動員顯著高於非耐力運動員（ $P < .01$ ）。最高速度亦復如此，耐力運動員高於非耐力運動員（ $P < .01$ ）。

表二 固定血液乳酸濃度及最大運動的速度及最高速度百分比平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
速 度 (m/min)	耐力組	229.33±11.98	240.5 ±9.79	249.66±10.98	260 ±11.36	285 ±18.7
	非耐力組	156.83± 4.91	164.33±5.42	171.33± 6.25	183.16± 8.03	208.33±14.72
	t 值	13.72**	16.66**	15.18**	13.52**	8.42**
最高速度 百分比	耐力組	80.57±3.24	84.51±2.76	87.7 ±2.13	91.34±2.48	100±0
	非耐力組	75.65±6.73	79.23±6.55	82.58±6.68	88.21±6.16	100±0
	t 值	1.57	1.52	1.47	0.65	0

** P <.01

* P <.05

以最高速度做為100%時，耐力運動員在各種固定乳酸濃度的最高速度百分比雖高於非耐力運動員，但未達顯著水準 (P> .05)。

三、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的耗氧量和最大耗氧量百分比

由表三可知，耐力組在2mM、2.5mM、3mM及4mM乳酸濃度的最大耗氧量百分比分別是：85.16%對75.01%、88.85%對79.18%、90.94%對82.94%、94.06%對87.57%，耐力組顯著高於非耐力組 (P <.01)。

表三 固定血液乳酸濃度及最大運動的耗氧量及最大耗氧量百分比平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
耗 氧 量 (ml/kg/min)	耐力組	56.12±4.37	58.54±4.43	59.93±4.66	62 ±5.03	65.96±6.18
	非耐力組	40.37±4.73	42.61±4.75	44.65±4.76	47.13±4.72	53.78±4.79
	t 值	5.99**	6.01**	5.61**	5.28**	3.85**
最大耗氧量 百分比	耐力組	85.16±3.84	88.85±2.73	90.94±2.47	94.06±2.34	100
	非耐力組	75.01±5.69	79.18±5.18	82.94±4.15	87.57±3.31	100
	t 值	3.62**	4.04**	4.06**	3.92**	0

** P <.01

* P <.05

四、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的心跳率和最高心跳率百分比

由表四可知，耐力組與非耐力組在2mM、2.5mM、3mM及4mM乳酸濃度的平均心跳率分別是159.33±10.53對158.6±6.43、165±11.17對167±7.79、168±11.39對173.5±9.46、171.83±10.61對182±8.57。除2mM以外，耐力組雖在其他乳酸濃度的心跳率均比非耐力組低，但未達顯著水準 (P> .05)。如以衰竭前最高心跳率的觀點而言，耐力組 (183.5±8.89次/分) 比非耐力組 (195.5±7.91次/分) 低

($P < 0.5$)。

表四 固定血液乳酸濃度及最大運動的心跳率及最高心跳率百分比平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
心跳率 (beat/min)	耐力組	159.33±10.53	165±11.17	168.5±11.39	171.83±10.61	183.5±8.89
	非耐力組	158.6 ± 6.43	167± 7.79	173.5± 9.46	182 ± 8.57	195.5±7.91
	t 值	.13	-.36	-.83	-1.83	-2.47*
最高心跳率 百分比(%)	耐力組	86.8 ± 3.13	89.87±2.89	91.77±2.64	93.60±2.15	100±0
	非耐力組	81.19±2.77	85.44±3.22	88.76±3.87	93.10±2.98	100±0
	t 值	3.29**	2.50*	1.57	.33	0

** $P < .01$

* $P < .05$

以最高心跳率做為100%的相對值時，耐力組在2mM、2.5mM分別為86.8%、89.87%，顯著高於非耐力組81.19%、85.44% ($P < .01$ 及 $.05$)，在3mM及4mM時雖亦高於非耐力組，但未達顯著水準。

五、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的換氣量和最大換氣量百分比

由表五得知，耐力組在2mM、2.5mM、3mM及4mM乳酸濃度的換氣量均顯著大於非耐力組 ($P < .05$ 或 $.01$)。如以最大換氣量的百分比予以比較時，耐力組在各乳酸濃度的平均最大換氣量百分比雖高過非耐力組，但未達顯著水準 ($P > .05$)。

表五 固定血液乳酸濃度及最大運動的換氣量及最大換氣量百分比平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
換氣量 (l/min)	耐力組	95.34± 8.85	102.5 ± 6.75	108.67± 5.93	116.17± 6.77	143.6 ± 13.5
	非耐力組	75.17±15.23	82.17±13.86	87.67±13.26	98.17±12.7	129.05±11.19
	t 值	2.81*	3.23**	3.54**	3.06*	2.03
最大換氣量 百分比(%)	耐力組	66.72± 7.52	71.73± 6.24	76.06± 6.07	81.31± 6.02	100±0
	非耐力組	58.44±11.67	63.83±10.35	68.28±10.83	76.41±10.29	100±0
	t 值	1.47	1.60	1.53	1.01	0

** $P < .01$

* $P < .05$

六、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的氧換氣當量 (VE/VO_2)

由表六得知，耐力組與非耐力組在乳酸濃度2mM、2.5mM、3mM的換氣當量分別是：27.5±2.43對24.67±1.63、28.17±2.32對25.34±1.51、28.84±1.73對26.34

±1.37，耐力組顯著大於非耐力組。在4mM時耐力組雖大於非耐力組，但未達顯著水準（ $P > .05$ ）。衰竭前最大換氣量亦無顯著差異。

表六 固定血液乳酸濃度及最大運動的氧換氣當量平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
換氣當量	耐力組	27.5 ± 2.43	28.17 ± 2.32	28.84 ± 1.73	30.34 ± 2.43	35.5 ± 3.45
	非耐力組	24.67 ± 1.63	25.34 ± 1.51	26.34 ± 1.37	28.34 ± 1.37	33.34 ± 4.08
	t 值	2.37*	2.51*	2.79*	1.76	.99

** $P < .01$

* $P < .05$

七、耐力組與非耐力組在固定血液乳酸濃度及最大運動的自覺運動強度（RPE）

由表七可知，耐力組在2mM及3mM乳酸濃度時自覺運動強度顯著大於非耐力組（ $P < .01$ 或 $.05$ ）。3mM及4mM時耐力組雖大於非耐力組，但未達顯著水準（ $P > 0.5$ ）。兩組在最大運動的自覺運動強度均為19.33。

表七 固定血液乳酸濃度及最大運動的自覺運動強度平均值

		2.0mM	2.5mM	3.0mM	4.0mM	Max
自覺運動強度	耐力組	12.5 ± 5.58	13.33 ± 2.73	13.66 ± 2.5	15 ± 2.82	19.33 ± 1.21
	非耐力組	8 ± 2.09	9.5 ± 2.58	10.83 ± 2.92	13.16 ± 2.48	19.33 ± 0.81
	t 值	3.31**	2.49*	1.80	1.19	0

** $P < .01$

* $P < .05$

第五章 討 論

一、跑速方面

本研究結果發現，耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM和4mM血液乳酸濃度的跑步速度均顯著大於非耐力組運動員（表三）。Svedenhag和Sjodin〔1984〕研究不同比賽項目傑出選手的生理特質，亦發現長距離選手在4mM血液乳酸濃度的跑速要比中距離或短距離選手大，惟其他乳酸值未做比較。從理論上而言，耐力運動員在固定乳酸濃度的跑速大，表示同樣強度的乳酸濃度較低。實際上，多年以來即有不少學者〔Bang, 1936; Ekblom et al., 1968; Karlsson et al., 1972〕指出，耐力訓練使得某個絕對或相對運動強度的肌肉及血液乳酸積聚減低。如Fox〔1975〕所做的短跑型和耐力型訓練對乳酸水準影響之比較研究亦發現，在非最大重度運動時，耐力訓練者血液乳酸堆積遠低於短跑訓練者。此種訓練後運動中乳酸堆

積的減少亦即意味著無氧閾值的增高〔Davis et al., 1979〕。有關訓練後乳酸堆積降低的生理機轉迄今仍未完全明瞭。惟耐力運動員在長時間性運動型態中對脂肪酸的利用較大，產生肝醣節約效果（glycogen sparing effect），以致肌肉中乳酸堆積較少（Fox et al., 1977）。此外，耐力性訓練的生化變化之一為骨骼肌粒線體的數目和體積增加。有了較多的粒線體，則每個粒線體所需的氧和ADP、Pi亦將較少。由於ADD和Pi的水準控制糖解速率，故而訓練後速率降低可能使得乳酸產生趨緩〔Holloszy, 1973〕。

二、耗氧量方面

在固定乳酸濃度的耗氧量方面，本研究結果得知（表三），耐力運動員比非耐力運動員高（ $P < .01$ ）。Roberts等人〔1979〕對短跑選手和長跑選手的最大耗氧量及無氧閾值的研究，發現短跑選手的最大耗氧量、無氧閾值以及無氧閾值的耗氧量均比長跑選手低。足見本研究結果與Roberts等人的相同。Weltman和Katch〔1979〕的研究指出，最大耗氧量較高者能延續代謝性酸中毒的開始，同時在無氧閾值點的耗氧量也較高。本研究的耐力運動員最大耗氧量為65.96 ml/kg/min，非耐力運動員為53.78 ml/kg/min，顯然耐力運動員較高（ $P < .01$ ）。

此外由表三亦發現，耐力運動員在各乳酸濃度的最大耗氧量百分比（% VO_{2max} ）遠高於非耐力運動員。以4mM乳酸濃度的% VO_{2max} 而言，本研究的耐力運動員高達94.06%，非耐力運動員達87.57%。Smith〔1982〕比較游泳運動員的無氧閾值，發現耐力組（90.39%）顯著高於短距離組（65.89%）。Roberts等人〔1979〕則發現，長跑選手達83%，短跑選手為78%。由此觀之，本研究所測無氧閾值的最大耗氧量百分比一般為高。究其原因可能與運動測驗使用的protocol有關。本實驗採用持續性水平跑步機protocol，每階段3分鐘增加10 m/min，雖然較為耗費時間，每個持續階段的 VO_2 增加較少，但卻有助於更精確決定固定血液乳酸濃度的生理反應值。根據Weltman等人〔1990〕的研究指出，此種protocol所測得 VO_{2max} 要比有坡度的跑步機protocol測量值略低（ $< 5.0\%$ ）。職此之故， VO_{2max} 值較低，則各乳酸濃度的% VO_{2max} 自然提高。

耐力運動員在各乳酸濃度或無氧閾值的較高% VO_{2max} 發生，可能跟遺傳稟賦（肌纖維類型）或訓練產生的特殊性適應，導致乳酸生成較少以及在任何運動水準中快速排除乳酸有關（Davis et al., 1981; Weltman, 1989; Donovan & Brooks, 1983）。

三、心跳率方面

本研究結果（表四）發現，耐力組除2mM之外在2.5mM、3.0mM及4.0mM血液乳酸濃度的平均心跳率都比非耐力組低，但未達顯著水準（ $P > .05$ ）。在最大心跳率方面，耐力組則顯著低於非耐力組。Smith〔1983〕研究則發現短距離游泳選

手和耐力游泳選手的最大心跳率沒有顯著差異 ($P > .05$)。顯見本研究結果與Smith的研究不同。一般而言，安靜心跳率與最高心跳率間成比例關係，亦即安靜心跳率低者，最大心跳率也低〔Grimby & Saltin, 1966〕。阿姆斯特丹奧運會田徑選手的安靜心跳率分別為：短距離66次/分、中距離63次/分、長距離61次/分、馬拉松58次/分〔Bramwell & Ellis, 1931〕。本研究所測得安靜心跳率，耐力組為52次/分，非耐力組為57次/分，與上述研究頗為相似。此外，Koeslag和Sloan〔1976〕的研究指出，訓練使得最大耗氧量升高而最大心跳率反而降低，亦即最大心跳率與最大耗氧量成反比。

以固定乳酸濃度的最大心跳率百分比 ($\% HR_{max}$) 予以比較時 (表四)，本研究結果發現耐力組在2mM、2.5mM時顯著大於非耐力組，3.0mM和4.0mM時兩組沒有顯著差異。表四可知最大心跳率分別是耐力組183次/分、非耐力組195.5次/分，而各乳酸濃度的相對心跳率係以最大心跳率做為100計算，由此或可解釋何以耐力組在各乳酸濃度的最大心跳率百分比普遍較高。

四、換氣量方面

本研究發現在固定乳酸濃度的換氣量方面，耐力運動員顯著大於非耐力運動員，但在最大換氣量百分比方面兩組間沒有顯著差異 (表五)。多年以來，業已證實運動時換氣量的增加在接近最大運動前幾乎與耗氧量成比例增加〔Fox et al., 1988〕。從表二、表三可知，耐力運動員在2mM、2.5mM、3.0mM及4.0mM血液乳酸濃度的跑速及耗氧量都比非耐力運動員大。此點可能是耐力運動員在固定乳酸濃度的換氣量高出非耐力運動員的主要原因。此外，大多數運動員對運動的換氣反應較低，尤其是耐力運動員最為明顯，一般咸認，此種運動的低換氣反應可能和傑出的耐力運動表現有關〔Martin et al., 1979〕。

五、氧換氣當量 (VE/VO_2) 方面

換氣量與耗氧量 (攝氧量) 的比例常以“換氣當量” (VE/VO_2) 或“氧攝取率” (VO_2/VE) 表示呼吸機能的效率。氧的換氣當量意味著需要多少公升換氣量才能有1公升攝氧量。常人安靜時換氣當量為20，適度運動時為25，最大運動時增高到30至40〔Astrand & Rodahl, 1986〕。

本研究發現耐力組運動員在血液乳酸濃度2mM、2.5mM及3mM的換氣當量都大於非耐力組運動員，4mM及最大運動時則未達顯水準。Smith〔1982〕的研究指出，耐力運動員在最大運動的換氣當量大於短距離運動員 ($P < .05$)。但Smith的實驗係在水中測試，根據Holmer〔1974〕研究指出，由於游泳時呼吸受到限制，以致換氣當量明顯下降。

一項比較耐力運動員和非耐力運動員呼吸效率的研究〔Martin et al., 1979〕發現，耐力運動員的換氣當量低於非運動員。由於換氣當量的逆數即為氧攝取率

(VO_2/VE)，故換氣當量低表示氧攝取率高，亦即呼吸效率高。耐力運動員呼吸效率高，意味著一定耗氧量的運動中換氣量較低〔Fox et al., 1988〕。至於本研究結果，耐力運動員在固定乳酸濃度的換氣當量之所以大於非耐力運動員，主要原因可能是耐力組在各乳酸值的跑速、耗氧量均顯著高於非耐力組所造成。

六、自覺運動強度 (RPE) 方面

Borg的自覺運動強度量表已被廣泛應用於運動處方及臨床運動測驗中做為身體活動的強度指標〔Noble, 1982; ACSM, 1991〕。有關乳酸濃度與自覺運動強度的關係迄今仍混沌不清。在一項研究中〔Kay & Shephard, 1969〕發現二者的相關僅達0.15，而另一研究〔Noble & Norris, 1974〕則發現，27名優秀長跑選手在跑步機上進行非最大運動時，乳酸堆積與自覺運動強度的相關達0.61，並且認為乳酸值為自覺運動強度的最佳單一預測值。

本研究的主要發現，耐力運動員在2mM、2.5mM血液乳酸濃度的RPE高於非耐力運動員，3mM及4mM時則未達顯著水準，而兩組受測者在最大運動衰竭時的RPE都達19.33，即“太吃力”的程度。因為耐力運動員在2mM至4mM乳酸濃度的跑步速度顯著大於非耐力運動員（分別高出70m/min），此點或可說明何以耐力運動員的RPE要高於非耐力組的原因。

本研究4mM乳酸濃度的RPE，非耐力組為13.16，耐力組為15。Vincent〔1984〕針對10名每週至少跑30哩的賽跑者，測得4mM乳酸濃度的RPE為14.2，大約介於非耐力組和耐力組之間。

Borg和Noble〔1974〕曾提出RPE和心跳率之關係式：即 $RPE \times 10 = HR$ 。如以本研究結果的各固定乳酸濃度的RPE乘10，則可發現不論耐力組或是非耐力組的預測值均低於實際心跳測量值，可見RPE、乳酸和心跳率的關係並不單純。

第陸章 結 論

本研究以十二名耐力及非耐力運動員為受測對象，比較有氧至無氧過渡期的固定血液乳酸濃度之生理反應及自覺運動強度。實驗結果經資料整理分析討論後，獲得下列結論：

- (一) 耐力運動員在2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的跑速、耗氧量、換氣量及氧換氣當量(4mM除外)均大於非運動選手，惟心跳率方面並無顯著差異。
- (二) 耐力運動員除了在2mM、2.5mM、3mM及4mM血液乳酸濃度的最大耗氧量百分比及2mM、2.5mM的最高心跳率百分比大於非耐力運動員外，最高速度及最大換氣量的百分比方面並無顯著差異。
- (三) 耐力運動員在2mM、2.5mM血液乳酸濃度的自覺運動強度大於非運動員選手，3mM及4mM濃度則無顯著差異。