



中國醫藥大學
基礎醫學研究所
碩士學位論文

乳酸閾值對於重量運動後乳酸產生的關係
The relationship between lactate threshold and lactate
production after resistance exercise

指導教授：洪維憲 助理教授
共同指導教授：張文正 教授

研究生：陳則瑜

中華民國九十七年 六月

摘要

乳酸閾值 (lactate threshold, LT) 可以視為在運動的狀態下身體乳酸堆積的開始的時間，其已被用來評估個人有氧能力及體適能的指標。本研究的目的是探討乳酸閾值對重量運動後乳酸產生的關係。針對其重量運動乳酸堆積及血液生化反應的比較，了解有氧運動及無氧運動者乳酸代謝的情形。本研究徵召 20 名自願參與的大專男性 (age: 21.0 ± 1.1 year ; BMI: 22.6 ± 2.5 kg/m²)，將受試者區分兩組：10 位為有氧運動組，及 10 位為無氧運動組。讓受試者穿戴可攜式無線遙測氣體分析測量儀 (MetaMax 3B, Cortex, Germany)，在跑步機上以 Bruce protocol 運動模式運動，共歷時 18 分鐘，以測試其最大攝氧量 (VO_{2max})、乳酸閾值及相對 %VO_{2max}。48 小時後，以重量運動刺激來評估二組人員在運動前後血液生化值的數值，包括乳酸值、酸鹼值 (pH)、二氧化碳分壓 (PCO₂)、氧氣分壓 (PO₂)、重碳酸根離子 (HCO₃⁻)、血氧飽和度 (SO₂%)，和二氧化碳總量 (TCO₂)。採用獨立樣本 T 檢定 (Independent t Test) 來比較兩組的最大攝氧量、乳酸閾值及相對 %VO_{2max}。採用重複量數變異數分析 (Repeated Measures ANOVA) 來比較組間和運動前後的乳酸值、pH 值、HCO₃⁻、PCO₂、PO₂、SO₂% 和 TCO₂ 效應，以 $p < 0.05$ 表示有顯著差異。

結果顯示有氧運動組在乳酸閾值明顯大於無氧運動組 ($P < 0.05$)，而乳酸閾值相對 %VO_{2max}，有氧運動組明顯 (78.0 ± 9.9 %VO_{2max}) 比無氧組

($55.7 \pm 17.8 \% \text{VO}_{2\text{max}}$)來得大($P < 0.05$)；而有氧運動組比無氧運動組有較大的pH值，但有較小的lactate值($P < 0.05$)；而 HCO_3^- 和 TCO_2 值在後測比前測小，但 $\text{SO}_2\%$ 和 PO_2 值後測比前測大 ($P < 0.05$)；乳酸閾值和乳酸堆積量呈現負相關性($r = -0.724, p < 0.01$)。本研究建議，乳酸堆積是肌肉疲勞的主要原因，而從事有氧運動者有較高的乳酸閾值。乳酸堆積量和乳酸閾值呈現負相關，也就是說增加乳酸閾值可提昇乳酸的代謝率；提升耐力適能可增加乳酸閾值。因此，透過有氧運動訓練能有效地增加乳酸閾值。

關鍵詞：乳酸閾值、乳酸代謝、重量運動、有氧運動



Abstract

Lactate threshold (LT) is defined the onset point of blood lactate accumulation during exercise, it was used to assess the individual aerobic capability. The purpose of this study was to investigate the relationship between lactate threshold and lactate production after resistance exercise. It was to compare the lactate metabolism and blood biochemical reaction between person with aerobic and anaerobic capacity after resistance exercise.

Twenty college male subjects, average age is 21.0 ± 1.1 year, and average BMI is $22.6 \pm 2.5 \text{ kg/m}^2$, were recruited in this study. Subjects divided into aerobic exercise group and anaerobic exercise group according to their daily physical activity in this study. Subject was asked to wear a mobile cardiopulmonary stress test system (MetaMax 3B, Cortex) and run on treadmill to exercise according to a Bruce protocol for 18 minutes. Maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$), LT, and LT related to % of $\text{VO}_{2\text{max}}$ were obtained after exercise. After 48 hours, the resistance-exercise stimulation (RES) was used to assess the blood biochemical values including blood lactate、pH、 HCO_3^- 、 PCO_2 、 PO_2 、 $\text{SO}_2\%$, and TCO_2 . A two-way repeated measures of ANOVA were used to test groups and before-after RES effects on these blood biochemical values. A level of statistical significance was $p < 0.05$.

Results showed there were significantly larger LT and LT related to VO_{2max} for aerobic exercise group ($78.0 \pm 9.9 \%VO_{2max}$) than anaerobic exercise group ($55.7 \pm 17.8 \%VO_{2max}$). The aerobic exercise group has larger pH value and lower blood lactate compared to anaerobic exercise group. The HCO_3^- and TCO₂ were lower as well as $SO_2\%$ and PO_2 were larger as after RES compared to before RES. There is a negative correlation between LT and blood lactate ($r=-0.724, p<0.01$). We suggested that lactate accumulation was the major cause of muscle fatigue, and person engaged in aerobic exercise will have a lower LT. There was a negative correlation between lactate accumulation and LT, it means that increasing LT can promote lactate metabolism rate and promoting the endurance fitness can increase LT. Therefore, aerobic exercise training may be effective in increasing LT in this study.

Keywords: Lactate threshold, Lactate metabolism, Resistance exercise,
Aerobic exercise

誌謝

首先我要感謝我的父母這幾年來在我求學過程中給我的幫助和照顧，他們總是尊重我的決定並給予最大的支持。

在中國醫藥大學求學至今已經進入第六個年頭，從大學部的運動醫學系到基礎醫學研究所運動醫學學門，一路走來感謝張文正、王慧如、吳鴻文和洪維憲等老師的提攜和指導栽培，可以讓我在這些日子裡充實地學習。

在實驗過程中感謝參與研究的受試者們，並且感謝運動醫學系三年級的葉建緯、廖晏崧、吳榆潔、林怡欣和楊鎮鴻等同學的熱心協助使得實驗順利進行。



目錄

第一章 前言	1
第一節 研究背景和目的	1
第二節 名詞定義	3
第二章 文獻回顧	5
一、人體有氧和無氧的能量系統	5
二、乳酸閾值	11
三、運動與乳酸代謝	13
四、重量運動(resistance exercise)對能量消耗的影響	14
第三章 研究方法	17
第一節 研究材料	17
一、受試者	17
三、實驗設備	18
四、乳酸閾值測量	22
五、血乳酸值和酸鹼值測量	23
六、重量運動刺激	25
第二節 實驗設計	26
第三節 統計方法	28
第一節 描述性統計分析	29

第二節、討論性統計分析	31
一、乳酸閾值	31
二、血液中的酸鹼值(pH)	32
三、血液中的乳酸值(lactate of blood)	33
四、血液中的碳酸氫根 HCO_3^-	34
第三節 相關性分析	35
第五章 討論	39
第一節 結果討論	39
第二節 其他相關性討論	45
第三節 研究限制	48
第六章 結論與建議	50
第一節 結論	50
第二節 建議	51
參考文獻	52
附錄	61



圖目錄

圖 1. 乳酸的產生.....	7
圖 2. 葡萄糖的氧化作用.....	9
圖 3. 各項運動項目所使用的能量系統比例.....	10
圖 4. MetaMax 3B 主機.....	19
圖 5. 無線接收器.....	19
圖 6. 氣體採樣線.....	19
圖 7. Polar 心率表、固定綁帶及接收器.....	19
圖 8. 流量傳感器.....	20
圖 9. 受試者儀器配帶.....	22
圖 10. Bruce protocol.....	23
圖 11. 採取受試者靜脈血.....	24
圖 12. 將血液注入晶片.....	24
圖 13. 進行載血晶片判讀.....	25
圖 14. 實驗流程圖.....	27
圖 15. 有氧運動組和無氧運動組之乳酸閾值.....	32
圖 16. 在重量運動測試之前後的血液中的酸鹼值(pH)之前的比較結果.....	33
圖 17. 重量運動測試之前後的血液中的乳酸值.....	34

圖 18.重量運動測試之前後的血液中的 HCO_3^- 35

圖 19.乳酸閾值和乳酸堆積量的相關性.....37

圖 20.乳酸堆積量和 pH 值的相關性.....37

圖 21.乳酸閾值和血液中的 HCO_3^- 的相關性.....38

圖 22. 乳酸閾值和血液中的 TCO_2 的相關性.....38



表目錄

表 1 有氧無氧運動的定義(American College of Sports Medicine, 2001)..	9
表 2 受試者的基本資料.....	17
表 3 有氧運動組和無氧運動組之BMI、LT、VO _{2max} 和RER比較	29
表 4 在重量運動刺激前後有氧運動組和無氧運動組之Lactate、pH、 HCO ₃ ⁻ 、PCO ₂ 、PO ₂ 、SO ₂ %、以及TCO ₂ 的比較。	30
表 5 健康成年人動脈和靜脈血液中PCO ₂ 、PO ₂ 和HCO ₃ ⁻ 的值	31
表 6 乳酸閾值和RER、VO _{2max} 、乳酸堆積量、pH值、HCO ₃ ⁻ 、PCO ₂ 、 PO ₂ 、SO ₂ %、TCO ₂ 和BMI的相關性分析	36



第一章 前言

第一節 研究背景和目的

隨著時代的進步，文明病也愈多，如肥胖、高血壓等，而研究發現運動是維持健康很重要的因素（American College of Sports Medicine, 2001），而近年來運動休閒產業的發展也帶動大家運動的風潮，然而運動所引起的機體疲勞是長久來從事運動的人員所關心的問題，疲勞的產生主要導致於乳酸堆積，而乳酸的清除將有利於疲勞後的恢復(Martin et al., 1998; Felix et al., 1997)。當人體在運動的狀態下因為體內產生能量的機轉會產生乳酸，而此時體內也會開始代謝乳酸，當乳酸產生率大於代謝率時，就會發生乳酸堆積的現象。

乳酸閾值 (lactate threshold, LT)可以視為一個人在運動的狀態下身體乳酸堆積的開始的時間，目前乳酸閾值已被用來評估個人有氧能力及體適能的指標 (Casaburi et al., 1995; Patessio et al.,1997)。過去認為運動能力與有最大攝氧量(maximal oxygen uptake, VO_{2max})密切相關(Sjödín and Svedenhag, 1985)，但也有研究顯示在同質性的運動表現卻與有最大攝氧量不具相關性(Coetzer et al., 1993)，然而卻與無氧閾值更有高度相關(Sjödín and Svedenhag, 1985)，因此，使用無氧閾值或血液中乳酸的濃度優於使用最大的攝氧量去預測運動能力(Rustu et al., 2005)。由於運動習慣

不同，人體會因為從事不同的運動而產生生理上的適應性(Sööt et al., 2005; Carsten, 2006)。從事有氧運動的人，如慢跑、游泳、自行車等等，其強度不大且每次運動持續時間長；相對地，從事無氧運動的人，多屬強度大而運動持續時間短的運動類型，如短跑衝刺、舉重等等。比較其乳酸閾值，有氧運動的族群高於無氧運動族群(Oshima et al., 1997)。然而，是否具有氧運動特性的人體內也具有較好的乳酸代謝能力，過去沒有相關的研究有進一步的驗證。

因此，本研究的目的是在探討乳酸閾值對重量運動後乳酸產生的關係。而以乳酸閾值將分為有氧運動及無氧運動組別，針對重量運動乳酸堆積及血液生化反應的比較，了解有氧運動及無氧運動者乳酸代謝的情形。本研究的假設是有氧運動具有較高的乳酸閾值，而無氧運動者具有較高的乳酸堆積量，及較低 pH 及重碳酸根離(HCO_3^-)的產生量。

第二節 名詞定義

一、最大攝氧量(Maximal oxygen uptake)

攝氧量等於心輸出量(Cardiac output = heart rate \times stroke volume) 乘以動、靜脈血氧濃度差 (A-VO₂diff)，通常以L/min 或ml/kg/min 或 MET 來表示(1 個MET 相當於消耗3.5 ml/kg/min 的氧氣)，程度上代表運動強度。從事最激烈運動時，每分鐘所能攝取消耗的氧氣的最高值，稱為最大攝氧量(maximal oxygen uptake)。最大攝氧量為代表最大運動能力(Maximal exercise capacity)的最佳指標。

二、呼吸交換率(Respiratory exchange ratio ; RER)

正常狀況下，運動中蛋白質代謝供能之比例低於總能量需求之2%下，因此，在估計代謝能量來源時常予以忽略。利用醣類與脂肪酸氧化所需之氧氣與生成之二氧化碳量在比例上不同之原理，可推估醣類與脂質氧化供能之比例。然而必須在穩定狀態的運動進行下，分析呼吸所得之 VO₂ 與 VCO₂ 才能代表組織中的氣體交換狀況。

三、血乳酸(Blood lactate, Bla)

乳酸是糖酵解代謝生成的。細胞不管在有氧或無氧時，都可能生成乳酸。但當負荷強度增大時機體缺氧增加，造成丙酮酸和 NADH 堆積增加，乳酸生成增多，所以，乳酸生成與負荷強度密切

相關。運動時，骨骼肌是乳酸生成的主要部位，肌肉中乳酸進入血液成爲血乳酸。因此，在運動訓練中，測定血乳酸不僅可以瞭解體內乳酸的代謝變化，還可作評定運動強度和訓練效果的重要指標。

四、酸鹼值(pH)

亦稱氫離子濃度指數，是溶液中氫離子活度的一種標度，也就是通常意義上溶液酸鹼程度的衡量標準。這個概念是1909年由丹麥生物化學家Søren Peter Lauritz Sørensen提出。p代表德語*Potenz*，意思是力量或濃度，H代表氫離子(H^+)。當 $pH < 7$ 的時候，溶液呈酸性，當 $pH > 7$ 的時候，溶液呈鹼性，當 $pH = 7$ 的時候，溶液為中性。人體血液的pH值通常在7.35~7.45之間

五、重碳酸根離子(HCO_3^-):

氫離子與血紅素結合，而重碳酸根離子擴散離開紅血球，因為重碳酸根離子帶負電，為了平衡電位，紅血球外的氯離子進入紅血球內與重碳酸根離子交換，稱之為“氯轉移”。進入紅血球的氯離子與鉀離子結合形成穩定的氯化鉀，離開紅血球的重碳酸根離子與鈉離子結合形成穩定的碳酸氫鈉。以此形式循環到肺泡微血管時，所有反應逆行，最後由紅血球釋出二氧化碳，擴散至肺泡以進行氣體交換。運動時，重碳酸根離子對乳酸進行緩衝，通過細胞膜交換時反應生成的 CO_2 增加了體內的 CO_2 濃度，而重碳酸根離子量則會減少。

第二章 文獻回顧

一、人體有氧和無氧的能量系統

過去研究指出，人體主要的能量供應系統有三個，第一個是腺嘌呤核苷三磷酸及磷酸肌酸系統(ATP-PC system)，第二個是醣分解系統(glycolytic system)，以上二系統可在無氧情況下進行，稱為無氧系統(anaerobic systems)；第三個是有氧能量系統(aerobic system) (Wilmore and Costill, 2004)。

(一) ATP-PC 系統

當食物在體內分解時所釋放出的能量，並不能直接應用於肌肉活動上，這些能量必須先用來製造一種名為腺嘌呤核苷三磷酸(adenosine triphosphate，簡稱ATP)的高能量化合物，並儲存於肌肉細胞之中，只有ATP被分解時所釋放出的能量，才能直接被應用到肌肉活動當中。另一種高能量化合物-磷酸肌酸(phosphocreatine, PC)，PC分子經過肌酸激酶(Creatine kinase)的催化會分解為肌酸(Creatine)和氫磷酸根(Hydrogen Phosphateion, Pi)以及些許能量，但是此反應產生的Pi又會和低能量的腺嘌呤核苷二磷酸(Adenosine Diphosphate, ADP)結合便成新的ATP分子來提供所需能量(Barnard and Holloszy 2003)。不過，在人體內儲存量也是極為有限，根據Karlsson (1971)研究顯示每千克(kg)肌肉內有15-17微摩爾

(M-mole)的PC，以每摩爾的 PC可釋放10千卡(Kcal)，則相當每公斤肌肉可釋放0.15-0.17千卡的能量，人體全身的肌肉內只有450 至510 微摩爾PC，也就是4.5 至5.1大卡的能量(Karlsson, 1971)。因此，這個能量系統使用的時間大約只有10秒鐘而已，所以人體才需要另外的能量系統。

(二) 醣分解系統

醣分解系統，又稱乳酸系統(lactic acid system)。人體內的碳水化合物(carbohydrates)先轉化為葡萄糖(glucose)，然後供機體使用，或者以肝醣(liver glycogen)的形式，分別儲存於肝及肌肉中。而肝醣需分解為葡萄糖才能被人體組織所利用，這個過程我們稱為肝醣分解(glycogenolysis)；但是在這個反應開始時肝醣和葡萄糖需要先轉變成一個的化合物叫做葡萄糖六磷酸(Glucose-6-phosphate)，此時醣分解系統的一連串反應才正式開始。其中參與的酵素反應就多達了 12 種，反應最終產物就是丙酮酸(Pyruvate)，而丙酮酸最後就會轉變成乳酸(Lactic acid)，其反應如下圖 1 所示(Spriet et al., 2000)。此能量系統可提供運動初期的前幾分鐘的能量，但是還是不夠維持到整個運動中期和末期的能量利用(Wilmore and Costill, 2004)。

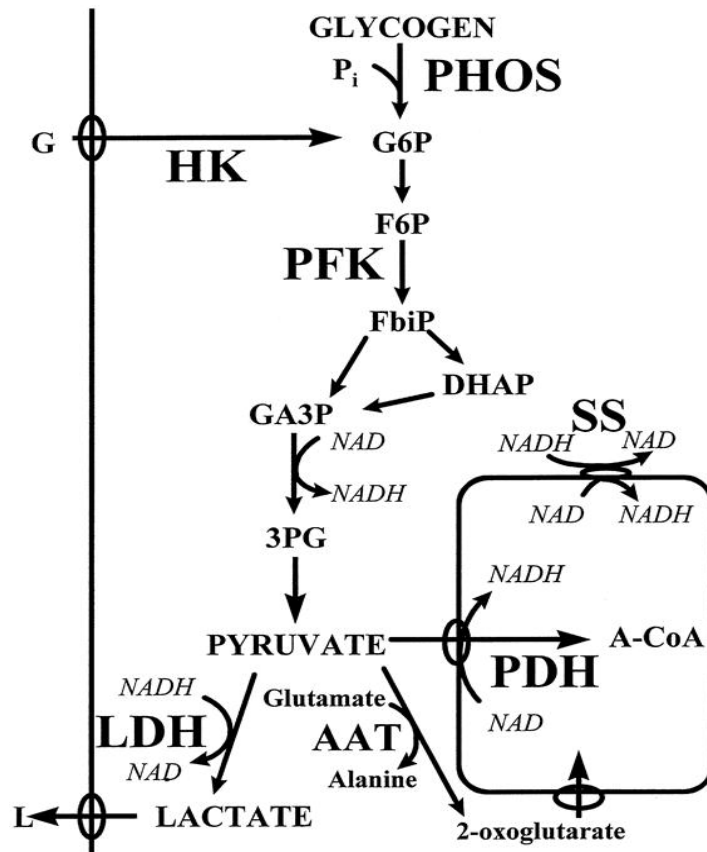


圖1. 乳酸的產生(G, glucose(葡萄糖); L, lactate(乳酸); A-CoA, acetyl-coenzyme A(六碳糖激酶); PHOS, glycogen phosphorylase (肝糖分解酶); HK, hexokinase; PFK, phosphofruktokinase(磷酸果糖激酶); SS, malate aspartate shuttle system; LDH, lactate dehydrogenase (乳酸脫氫酶); AAT, alanine amino transferase(胺基丙酸轉移酶); PDH, pyruvate dehydrogenase (丙酮酸脫氫酶). (圖來源: Spriet et al., 2000)

當運動員停止訓練時，肌肉醣酵素(glycolytic enzymes)的活性，例如磷酸化酶(phosphorylase)和磷酸果糖激酶(phosphofruktokinase, PFK)僅是些微的改變，如果要有所改變至少也要 4 週以上(Staron et al., 1991)。事實上，在長達 84 天的停止訓練，Coyle 等人發現醣酵素的活性並沒有改變，但是各種氧化酶的活性大約減少 60% (Coyle et al., 1984)，如此意味著由於停止訓練，肌肉無氧運動能力比有氧運動能力可以維持較長的時間，這可以解釋為什麼一個月或以上的不運動並不影響短跑的成績，但

短短 2 週的停止訓練會顯著的降低長時間的耐力表現。一件值得注意的是，停止訓練期間肌肉肝醣含量的改變；耐力訓練會增加肝醣的儲存，但是四週的停止訓練已顯示肌肉肝醣大約減少40% (Costill et al.,1985)。

(三)有氧能量系統

此系統產生能量的效能相當大而且是主要提供於中長時間的運動能量來源。此系統複雜的程度是三個能量系統之最，其中反應過程大致分為三個部分，第一個部份是有氧的醣分解(Aerobic glycolysis)，第二部分是克氏循環(Kerbs cycle)，最後的反應就是電子傳遞鏈(Electron transport chain)。無氧氣參與的情形下，糖酵解作用的終產物焦葡萄糖酸會變成乳酸，而堆積在肌肉細胞及血液中，但是一旦有氧氣參與代謝，焦葡萄糖酸就會變成乙醯輔酶 A(Acetyl coenzyme A)，這個代謝物會進入克列伯循環，而此循環與糖酵解作用會釋放出氫離子進入電子傳遞鏈，產生大量的 ATP(見圖 2)(Hsu and Wong, 2003)。當人體在從事一次數秒鐘或是數分鐘以下甚至更少時間之下的中高強度運動時，提供能量的系統主要是 ATP-PC 系統和醣分解系統(Gastin, 2001)，而從事一項持續時間較長的運動時，時間可能達到 10 多分鐘以上甚至更多，那麼此時主要的供能系統就是以有氧能量系統為主。

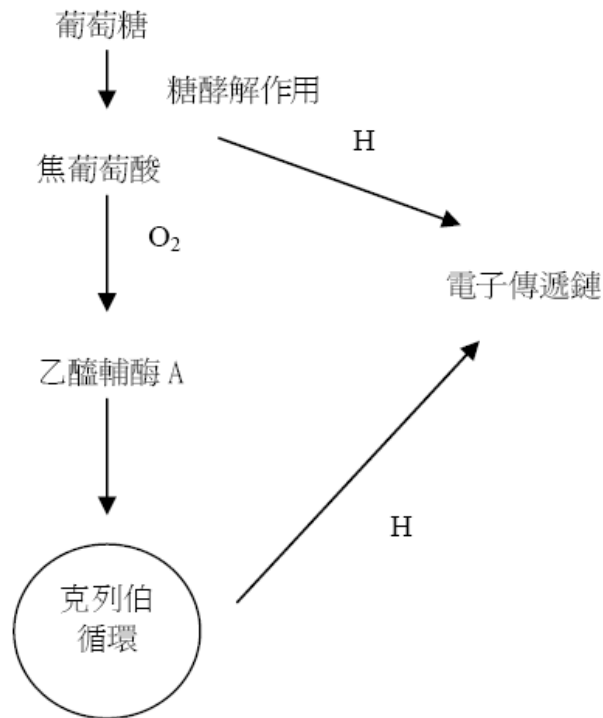


圖2：葡萄糖的氧化作用(參考Hsu and Wong, 2003)

所謂無氧運動通常是單次運動時間短但是運動強度屬於中強度或高強度；反之，有氧運動則是單次運動持續時間較長且運動強度屬於低強度至多接近中強度。以美國運動醫學學會(American College of Sports Medicine, ACSM)所描述的有氧無氧運動定義作成一個簡表如下(American College of Sports Medicine, 2001)。

表 1 有氧無氧運動的定義(American College of Sports Medicine, 2001)

	每次持續時間	運動強度	舉例
有氧運動 Aerobic	20 min~ 60min	中等	慢跑、自行車等
無氧運動 Anaerobic	5min 以下	強	100m 短跑、舉重、跳遠等等

從表 1 中了解有氧和無氧運動的區別，就是每次運動持續時間和運動強度的強弱來判斷之。而圖 3 左列分別是各項運動項目，而上方行分別為使用到的能量系統，包括了運動強度強且持續時間短屬於無氧運動能量系統的 ATP-PC 系統和糖分解系統(Glycolysis system) ；接著是處於從無氧運動過度到有氧運動型態供給能量的系統為 Glycolysis 和氧化 Oxidative 系統；最後是運動時間長、運動強度中等， Oxidative 系統唯一的主要能量供給(Stager and Tanner, 2005; Foss and Keteyian, 1998)。

Sport	ATP-PCr & Glycolysis	Glycolysis & Oxidative	Oxidative
Basketball	60	20	20
Fencing	90	10	0
Field Events	90	10	0
Golf swing	95	5	0
Gymnastics	80	15	5
Hockey	50	20	30
Rowing	20	30	50
Running (distance)	10	20	70
Skiing	33	33	33
Soccer	50	20	30
Swimming (distance)	10	20	70
Swimming (50m freestyle)*	40	55	5
Tennis	70	20	10
Volleyball	80	5	15

圖.3 各項運動項目所使用的能量系統比例(參考: Foss and Keteyian, 1998; *: Stager and Tanner,2005)

二、乳酸閾值

過去研究顯示無氧閾值(anaerobic threshold, AT)比最大耗氧量(VO_{2max})、心跳閾值、及通氣閾值更能有效評估人體的有氧運動能力(Walsh et al., 1988; Anderson et al., 1989)。所謂的無氧閾值又稱為乳酸閾值(lactate threshold, LT)，在運動強度增加的過程中，血乳酸的堆積量在體內開始迅速累積上升的一個轉折點(Willmore and Costill, 2004)。然而，判定乳酸閾值的方法很多，包括以達4 mmol/L時的運動強度為依據的表示法，稱血乳酸開始堆積點(onset of blood lactate accumulation, OBLA)(Sjödín and Jacobs, 1981)、對數轉換判定法(Beaver et al., 1985)、最大距離點(Dmax)閾值判定法(Cheng et al., 1992)、及個體無氧閾值(individual anaerobic threshold, IAT) (Stegmann et al., 1981)，然而其大小皆以最大耗氧量 ($\% VO_{2max}$) 表示。有研究針對這四種乳酸閾值判定方法，在相同運動負荷模式，12分鐘跑步成績下其測量值的差異及相關性，結果發現不同測定法之閾值運動強度，以4 mmol/L時閾值最高 ($79.8 \pm 9.2\% VO_{2max}$)，而以個體無氧閾值為 ($66.2 \pm 15.2\% VO_{2max}$)，而對數轉換判定法時最低為 ($50.2 \pm 9.4\% VO_{2max}$)，各閾值間相關係數在0.69-0.89之間($p < 0.05$)；與 VO_{2max} 相比，乳酸閾值與人體的耐力運動成績的關聯度較高。而結果也顯示個體無氧閾值測定法是一種較為準確且有效的方法(吳慧君及林正常, 1995)。

要判斷個人體能的最好方法是測量個人的乳酸閾值，這是有氧運動能力的有效指標之一。人體在乳酸閾值以下的運動強度進行運動稱為有氧運動；在乳酸閾值以上的運動強度進行運動稱為無氧運動。過去研究顯示世界級運動員的乳酸閾值一般在70-80% VO_{2max} ，未受訓練的人其閾值發生較快，約在50-60% VO_{2max} (Cerretelli et al., 1975; Farrell et al., 1979)；另有研究顯示，無運動習慣的人會有較低的乳酸閾值大約出現在55% of VO_{2max} ，而受過耐力訓練的運動員的乳酸閾值就相當高約出現在80 - 90% of VO_{2max} (Davis 1985)。具有相同 VO_{2max} 的運動參與者，如果具備較高的「乳酸閾值」能力時，代表可以在比較高的強度(速度)下運動，相對在耐力運動上有較好的成績表現。研究也顯示，乳酸閾值對耐力長跑的表現有比以 VO_{2max} 的預測來得更為可靠(Farrell et al., 1979)。

透過運動訓練能有效增加乳酸閾值。這是由於乳酸產生降低及增加乳酸的清除，致使在任何強度下減少乳酸堆積(Bergman et al., 1999)。Davis 等人(1979)對坐式生活型態的中年人施以 45 分鐘固定踏車訓練，並持續 9 週後，發現受測者的乳酸閾值受耐力訓練而增加(Davis et al., 1979)；然而，另研究建議耐力的訓練效果只提昇乳酸的清除而不是降低乳酸的產生(Donovan and Brooks, 1983)。Londeree(1997)的研究發現以「無氧閾值」或低於「無氧閾值」的強度進行訓練時，訓練的效果有顯著提升的效果(非線性的增加)，超過「無氧閾值」的強度進行訓練時，

訓練的效果則有漸趨緩和的情形(趨近於線性增加)。也就是說，隨著運動強度的增加，對於心肺適能的訓練效果會逐漸的提高，當訓練的強度超過「無氧閾值」強度以後，訓練的效果反而不再顯著上升。

三、運動與乳酸代謝

肌肉需要有足夠的能量供應來完成運動負荷，需要消耗一定的氧氣；當運動強度增加時，對氧氣需求量也增加。當氧氣供應量不能滿足時，無氧代謝參與供能，以補有氧代謝不足的部份。在細胞內這一過程是由丙酮酸轉化成乳酸來完成 (Spriet et al., 2000)。當乳酸堆積使體內酸鹼平衡遭到破壞，身體為了達到新的內環境穩定，發生一系列生理改變。重碳酸根離子(HCO_3^-)對乳酸進行緩衝，通過細胞膜交換時反應生成的 CO_2 ，增加了體內的 CO_2 濃度(Wasserman et al., 1973)。緩衝作用和酸鹼不平衡必定會導致氣體代謝成分動態變化，即可檢測和記錄下各種氣體代謝指的變化曲線。

研究指出，乳酸濃度在激烈運動開始後會瞬間增加直到整個運動結束前，而乳酸釋放量在高度強的運動下比次強度的運動下來得高很多 (Medbo and Tabata, 1989; Medbo, 1993)。有研究顯示，受過訓練的自行車運動員在適中和高強度運動時，因為有效控制乳酸代謝能力，所以使得運動表現增加了 2% 至 3% (Burnley et al., 2005)。這樣的選手就算在運動強度高於乳酸閾值情形下運動 10 分鐘，其被動恢復期裡的血液乳酸

濃度只表現出中度上升，因此，有助於延長運動開始到耗竭的時間約30%~60%，進而增加運動的表現(Jones et al., 2003)。也有學者認為運動所引發的血乳酸大量升高，將影響在高強度運動下的攝氧量，導致運動表現受影響(Gerbino et al., 1996)。

另外，乳酸可說是運動訓練中較早的指標(Karlsson & Saltin, 1971)，由於運動後肌肉中的乳酸與血液乳酸平行，而乳酸的變化取決於體內乳酸生成速率與消除速率。運動所引發乳酸堆積在肌肉中，造成細胞內酸鹼值(pH 值)下降而產生肌肉疲勞，導致運動員的運動表現下降(Westerblad et al., 1991; Fitts, 1994) 過去研究發現運動後靜脈乳酸最高值出現在運動後第5分鐘(Zoladz et al., 1998)，而95%的乳酸從血液中排除需1小時左右(Fleck and Kraemer, 1997)。因此，乳酸的堆積確實會影響到肌肉生理的正常表現，運動後乳酸堆積量常用來當作肌肉功能或降低肌肉疲勞發生的評估指標。

四、重量運動(resistance exercise)對能量消耗的影響

有關運動強度，研究指出低強度運動(30-60% of VO_{2max})相對產生較小的恢復期能量消耗及增加(Melby et al., 1993)。而增加低強度運動的時間顯示導致和總恢復期能量成線性增加(Melby et al., 1993)，然而增加運動強度可能以指數形式增加恢復期的能量消耗(Bahr and Sejersted, 1991; Melby et al., 1993)，由此可知，運動後恢復期的能量消耗可能和運動強度

有極大的關係。

運動後恢復期能量消耗對運動後身體組成的影響是一重要考慮(Bahr and Sejersted, 1991; Elliot et al., 1992)的因素，有研究測試穩定狀態(steady-state)運動在恢復期氧消耗情形，建議訓練強度可能比運動持續時間對恢復期的能量消耗有較大的影響(Melby et al., 1993)；愈高的運動強度可能比低強度運動有較大的干擾體內平衡(deturb homeostasis)，導致恢復期有更多的能量被使用(Melby et al., 1993)。重量訓練(weight training)是一般人用來高強度的無氧運動訓練上，可能因為重量訓練可以充分干擾體內平衡，進而明顯增加運動後氧氣消耗及恢復期能量的需求(Elliot et al., 1992; Melby et al., 1993)。研究也發現，重量運動在運動後恢復期的能量消耗更顯著高於低強度的有氧運動(Elliot et al., 1992; Burleson et al., 1998)。此外，有研究發現高強度的間歇性運動對恢復期脂肪氧化量(fat oxidization)要比穩定狀態的有氧運動多(Tremblay et al., 1990)，而重量運動本質就是一種間歇性運動。因此，重量運動在恢復期可能會有持續時間較長的能量消耗和氧化較多的脂肪。而且高強度的重量運動會有較大的體內平衡干擾，藉由較的的運動通氣量、心跳率、及乳酸堆積，因此，以重量運動評估比在跑步機上的有氧運動來評估能量消耗更為有效。

總結

1. 要判斷個人體能的最好方法是測量個人的乳酸閾值。而無運動習慣的人會有較低的乳酸閾值大約出現在55 % of $VO_{2\max}$ ，而受過耐力訓練的人乳酸閾值約出現在80 - 90% of $VO_{2\max}$ 。因此，本研究將以乳酸閾值來將受測者分為有氧運動組及無氧運動組。
2. 乳酸堆積干擾體內酸鹼平衡，身體為了達新的內環境穩定，將發生一系列生理改變。包括碳酸氫(HCO_3^-)對乳酸進行緩衝，通過細胞膜交換時增加了體內的 CO_2 濃度、造成細胞內酸鹼值(pH值)下降，導致氣體代謝成分動態變化。因此，本研究將評估氣體代謝及血液生化來比較有氧和無氧運動者在運動生理的表現。
3. 重量訓練一般用來高強度的無氧運動訓練上，主要是重量訓練可以充分干擾體內平衡，進而明顯增加運動後氧氣消耗及恢復期能量的需求。間歇性運動對恢復復期脂肪氧化量(fat oxidization)要比穩定狀態的有氧運動多。因此，以重量運動評估比在跑步機上的有氧運動來評估運動的能量消耗更為有效。

第三章 研究方法

第一節 研究材料

一、受試者

本研究徵召二十位自願參與實驗的大專男性，平均年齡 21.0 ± 1.1 歲，健康狀況正常無任何先天或後天的疾病且無任何肥胖和過重，體脂肪和身體質量指數 BMI(Body Mass Index)皆符合國人健康之標準(20~25 kg/m^2)。

經過實驗前的問卷調查所有受試者沒有不良嗜好，如藥物使用、抽煙、喝酒並且飲食及生活作息正常。所有受試者皆有運動習慣，每週至少運動 3 次；從事運動的時間至少超過 6 個月以上；但是運動方式不同，分為從事有氧運動和無氧運動兩種。

表 2 受試者的基本資料

年齡(age)	身高(height) (公尺)	體重(weight) (公斤)	BMI(kg/m^2)
21.0 ± 1.1	1.74 ± 0.06	69.2 ± 10.9	22.6 ± 2.5

二、組別定義

經由問卷調查，並以美國運動醫學學會(ACSM)之有無氧運動定義，來判斷受試者習慣從事有氧或無氧的運動歸類(American College of

Sports Medicine, 2001)。

經由定義後分為有氧運動組和無氧運動組，每一組各十個人。

並在確定參與實驗後基於運動測試時的安全考量，請每位受試者詳細填寫運動安全問券(PAR-Q)與受測者同意書。

三、實驗設備

本研究採用的設備有可攜式無線遙測氣體分析測量儀(MetaMax 3B, Cortex, Germany)來測量耗氧量(VO_2)、心跳、呼吸交換率、及乳酸閾值；而 iSTAT Analyzer (Abbot, USA) 血氧分析儀主要測量血乳酸和酸鹼值。iSTAT Analyzer 分析範圍為 PO_2 : 5-800 mmHg、 PCO_2 : 5-130 mmHg、pH : 6.5-8.0、乳酸 : 0.30-20.00 mmol/L。各數值偵測的原理如下：

- (1) 血氧分壓(PO_2)：氧氣經薄膜擴散到卡匣內的溶液被還原後產生的電流與氧氣分壓成正比，因此，以電流量推算血氧分壓。
- (2) 酸鹼值(pH)、二氧化碳(PCO_2)分壓則是利用 Nernst Equation 計算血氧分析儀測得之電位時血中 H^+ 或 HCO_3^- 的濃度。
- (3) 乳酸(lactate)則是利用卡匣內的乳酸氧化酶 (lactate oxidase)將乳酸轉變為丙酮酸與過氧化氫，而過氧化氫接著會被鉑電極氧化而產生電流，因產生之電流量與乳酸成正比，血氧分析儀可依此推算出乳酸濃度。

氣體分析測量儀的標準配置如下：

1. MetaMax 3B 主機(每次呼吸法 Breath by Breath)包括(圖 4)：

數字渦輪傳感器範圍: 0.05 20 升/秒,通氣量:> 300 升/分鐘。

2. 無線接收器及其接收天線(圖 5)

3. 回饋用耳機

4. 充電電池和充電器



圖 4. MetaMax 3B 主機



圖 5. 無線接收器

5. 氣體採樣線 60 厘米(圖 6)

6. Polar 心率表、固定綁帶及接收器 (圖 7)

7. COM (串口) 通訊纜及電源線



圖 6. 氣體採樣線圖



7. Polar 心率表、固定綁帶及接收器

8. CORTEX 心肺功能分析軟體(MetaSoft 3.0 中文軟體)

9. 操作手冊

10. 儀器箱

11. 標準校準器

硬體技術參數：

1、氣體分析法：每次呼吸分析法

2、MetaMax 3B 主機尺寸：120 X 110 X 45 (毫米)

3、MetaMax 3B 主機 重量：570 克

4、CPU 中央處理器：16 位，20MHz, 閃存

5、資訊存儲器

6、流量傳感器(圖 8)：

A、類型：Triple V 數字渦輪

B、測量範圍：0.05 20 升/秒

C、分辨率：7 毫升

D、誤差：2%

E、阻抗： < 0.1 千帕/秒 (16 升/秒)

7、氧傳感器 (O₂)：

A、類型：電化學傳感器

B、測量範圍：0- 35% 氧



圖 8. 流量傳感器

C、回應時：100 毫秒

D、誤差：0.1 流量%

8、二氧化碳傳感器(CO₂)：

A、類型：ND 紅外線

B、測量範圍：0- 13% 二氧化碳

C、回應時：100 毫秒

D、誤差：0.1 流量%

9、溫度傳感器：

A、類型：NTC 熱敏電阻

B、測量範圍：-55 - +155 攝氏度

D、誤差：1 度

10、氣壓傳感器：

A、類型：矽半導體

B、測量範圍：200-1050 毫帕

C、誤差：1.80%

11、心跳率：POLAR 測量參數：beats/mins

12、氣體參數：

A、VO_{2max}：最大攝氧量，（升/分/公斤）

B、LT：乳酸閾值（%VO_{2max}）



13、呼吸參數：呼吸交換頻率(RER)

由上述可知有相當多的參數可以利用此儀器測得，但在本次實驗中只採用部分參數來記錄與分析。

四、乳酸閾值測量

二十位大專男性以耗氧量氣體分析儀器(MetaMax 3B)配戴於身上，且口鼻覆蓋在矽膠罩中進行呼進呼出氣體收集計算分析(圖 9)。



圖 9.受試者儀器配帶

耗氧量氣體分析儀器連接電腦控制跑步機以運動模式(Bruce protocol)來做測試。請受試者穿著運動服裝和運動鞋參加測量。運動模式(Bruce protocol)總共歷時 18 分鐘，每 3 分鐘為一個階段，共為 6 階段。跑步機的坡度和速度會隨著階段的進行而增加。

STANDART BRUCE				
STAGE	DURATION (min)	TOTAL TIME	SPEED (mile/h)	GRADE (%)
1	3		1.7	10
2	3	6	2.5	12
3	3	9	3.4	14
4	3	12	4.2	16
5	3	15	5.0	18
6	3	18	6.0	20

圖 10. Bruce protocol

經過逐一測量之後電腦會依收集到的氣體做分析計算出每位受試者的乳酸閾值(LT)。乳酸閾值的出現是以時間點來做表示，也就是全長 18 分鐘的運動模式跑步機測試，受測者的乳酸閾值出現的時間介於起始的 1 分鐘到結束的 18 分鐘，乳酸閾值出現的時間越早則代表此人的乳酸閾值較低，反之則不然。

五、血乳酸值和酸鹼值測量

在做重量運動刺激測試前兩天，要求受試者這兩天內不要從事任何運動。在重量運動刺激前與後做血液的採樣，以 1c.c.的針抽取受試者位於上臂與前臂間的肱靜脈血(圖 11)。



圖 11.採取受試者靜脈血

將血液樣本隨即打入血液分析晶片(i-STAT CG4+ cartridges)中(圖 12)。



圖 12.將血液注入晶片

且確定血量達到測試標準即將載血晶片插入血液分析儀器(i-STAT Handheld Blood Analyzer)。



圖 13.進行載血晶片判讀

進行靜脈血中的 pH 值、乳酸量、氧氣分壓(PO_2)、二氧化碳分壓(PCO_2)、二氧化碳總量(TCO_2)、血氧飽和度($SO_2\%$)和重碳酸根離子(HCO_3^-)的分析。其中的 pH 值、乳酸量、 PCO_2 和 PO_2 是由血液直接測得，而 TCO_2 、 $SO_2\%$ 和 HCO_3^- 是經由儀器計算出來的數值。 $SO_2\%$ 血氧飽和度是指血液在一定的 PO_2 下氧合血紅蛋白 (HbO_2) 占全部血紅蛋白的百分比,其大小取決於 PO_2 。 TCO_2 是指血漿中所有各種形式存在的 CO_2 的總含量，其中 95% 為 HCO_3^- 一結合形式，少量為物理溶解的 CO_2 。

因運動所導致乳酸的生成與堆積，在運動後5分鐘內劇增，所以安排採血的時間是在做完重量運動測試之後的5分鐘(Zoladz et al., 1998)。

六、重量運動刺激

重量運動刺激的選取是依照先前各個受試者，經過評估各個肌群單次最大肌肉力量(1-repetition maximum ;1RM)力之後取 1RM 的 80~90%。

器材是利用啞鈴來進行上肢的主要肌肉的重量運動刺激，包含了肱二頭肌(Biceps)的二頭肌彎曲(Biceps curl)、肱三頭肌(Triceps)的三頭肌伸直(Kickback)、胸大肌(Pectoralis major)的胸外闊(Chest fly)、三角肌(Deltoid)的前舉(Frontal raise)。下肢的重量刺激是以複合式重量訓練機來進行，其肌群為大腿股四頭肌(Quadriceps)的腿伸直(Leg extension)、腿後肌(Hamstring)的腿曲屈(Leg curl)。每組肌肉做 3 組(3 sets)，每組作 8 下(8 repeats)，每一下之間要隔 20 至 30 秒，重量是 80%~90%1RM (Hudson et al., 2007)。以上所有的重量運動刺激的原則和指導動作接遵照美國運動醫學學會的運動處方(American College of Sports Medicine ;ACSM) (Williams and Wilkins, 2004)。

在重量運動測試中的肌群都是日常生活中，不論運動或活動時使用比例最高也最頻繁的肌肉，所以當它們受到重量運動或活動的刺激後，造成的肌肉乳酸堆積情形也較明顯。

第二節 實驗設計

本實驗設計雙因子設計(two factor design)：組別×測試前後。將設計 20 位大專學生經過運動習慣調查後，分為有氧運動組和無氧運動組。隨後進行乳酸閾值的測試，來印證從事有氧運動或無氧運動常達 3 個月以上是否會造就不相同的乳酸閾值。經過 48 小時的休息，並要求受試者在休息期間必須遵守 ACSM 所規定參加運動測試前的規範，如測試前

48 不能從事任何運動以求運動測試造成的刺激有效，不能攝取任何含有酒精和咖啡因的食品，並且不能服用任何藥物。評估運動刺激前後運動生理變化。

實驗流程順序如下圖所示

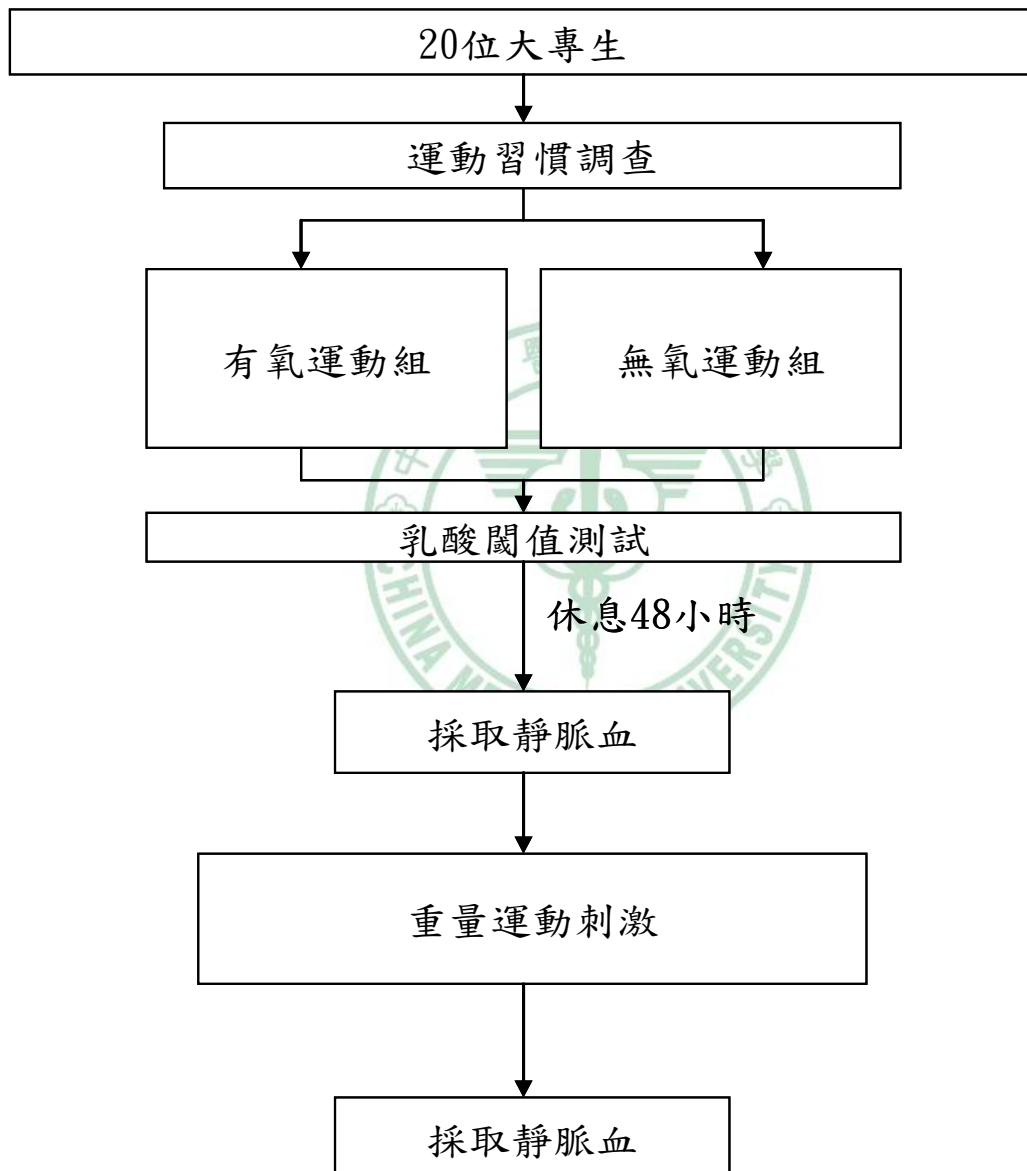


圖 14.實驗流程圖

第三節 統計方法

使用統計軟體SPSS來做分析，比較方法是採用重複量數變異數分析(Repeated Measures ANOVA)來比較組間和組內前後的乳酸值、pH值、 HCO_3^- 、 PCO_2 、 PO_2 、 $\text{SO}_2\%$ 和 TCO_2 。並採用獨立樣本T檢定(Independent t Test)來比較兩組的RER、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、BMI和LT。並且利用Person's 相關性分析LT、乳酸堆積量、BMI、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、和pH值來觀察關係。為了進一步了解乳酸閾值時間點(min)和參數間相關性，包含RER、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、乳酸堆積量、酸鹼值(pH)、二氧化碳分壓(PCO_2)、氧氣分壓(PO_2)、重碳酸根離子(HCO_3^-)、血氧飽和度($\text{SO}_2\%$)和二氧化碳總量(TCO_2)，將其作Pearson's相關性分析；統計結果以 $p < 0.05$ 表示有顯著差異。



第四章 研究結果

第一節 描述性統計分析

表 3 為兩組間的 BMI、LT、 VO_{2max} 和 RER 之比較。結果顯示有氧運動組在乳酸閾值(LT)明顯比無氧運動組來的大($P < 0.05$)，而且將乳酸閾值對照 $\%VO_{2max}$ 來作比較發現有氧運動組 ($78.0 \pm 9.9 \%VO_{2max}$) 明顯比無氧組($55.7 \pm 17.8 \%VO_{2max}$)來得大($P < 0.05$)；但有氧運動組的 VO_{2max} 和無氧運動組則無統計上的差異。

表 3 有氧運動組和無氧運動組之 BMI、LT、 VO_{2max} 和 RER 比較

參數/組別	有氧運動組	無氧運動組
BMI(kg/m ²)	22.3 ± 2.3	22.9 ± 2.8
LT(min)	10.3 ± 1.6	4.1 ± 1.5 *
LT (% VO_{2max})	78.0 ± 9.9	55.7 ± 17.8 *
VO_{2max} (l/min)	3.06 ± 0.8	2.63 ± 0.5
RER	1.03 ± 0.11	1.06 ± 0.16

(Mean ±SD, * : 兩組間有顯著差異 $P < 0.05$)

表 4 為血液中 Lactate、pH、 HCO_3^- 、 PCO_2 、 PO_2 、 $SO_2\%$ 、以及 TCO_2 數據比較。結果顯示有氧運動組比無氧運動組有較大的 pH 值，但有較小的 lactate 值($P < 0.05$)；而 HCO_3^- 和 TCO_2 值在後測比前測小，但 $SO_2\%$

和 PO₂ 值後測比前測大，且達統計上的差異(P<0.05)。

表 4 在重量運動刺激前後有氣運動組和無氣運動組之 Lactate、pH、HCO₃⁻、PCO₂、PO₂、SO₂%、以及 TCO₂ 的比較。

參數/組別	有氣運動組		無氣運動組	
	前測值	後測值	前測值	後測值
Lactate(mmol/L)	1.36±0.40	4.34±0.84	1.79±1.51	8.53±2.20*†
pH	7.36±0.04	7.33±0.05	7.33±0.04	7.27±0.03†
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	28.88±2.82	25.69±1.93	29.42±2.25	23.07±2.75*
PCO ₂ (mmHg)	51.8±17.71	48.39±7.87	56.05±8.55	49.64±5.91
PO ₂ (mmHg)	34.2±18.79	44.8±18.99	27.6±10.90	40.6±8.27*
SO ₂ %	51.9±25.48	69.0±21.78	43.2±19.94	66.4±10.66*
TCO ₂ (mmol/L)	30.5±3.06	27.1±2.33	31.1±2.42	24.5±2.87*

(Mean ±SD,†：兩組間有顯著差異；*：組內有顯著差異, p<0.05)

PO₂、PCO₂和 HCO₃⁻皆有在正常值範圍左右，如表 5(Sherman and Schindlbeck, 2006)，惟獨在無氣運動組 PO₂ 前測值較有明顯落差。

表 5 健康成年人動脈和靜脈血液中 PCO_2 、 PO_2 和 HCO_3^- 的值

	動脈	靜脈
PCO_2	38-42 mmHg	44-48 mmHg
PO_2	90-100 mmHg	40 mmHg
HCO_3^-	24 mmol/L	21-22 mmol/L

(Sherman and Schindlbeck, 2006)

第二節、討論性統計分析

一、乳酸閾值

在依從事運動特性調查之後，將 20 位受試者，分為有氧運動組和無氧運動組兩組各 10 人。由於雖經過從事有氧無氧運動習慣的調查，仍對於兩組受試者之乳酸閾值(LT)的特性有所疑慮，因而在分組後隨即測試乳酸閾值(LT)的高低，來證實有氧或無氧運動造就的乳酸閾值(LT)不同生理特性。氧運動組(Aerobic)和無氧運動組(Anaerobic)經過 18 分鐘的運動模式(Bruce protocol)之乳酸閾值測試後。有氧運動組的乳酸閾值 ($78.0 \pm 9.9 \% \text{VO}_{2 \max}$)明顯比無氧運動組的乳酸閾值($55.7 \pm 17.8 \% \text{VO}_{2 \max}$)來得高，並且有統計上的差異($P < 0.05$)(圖 15)。

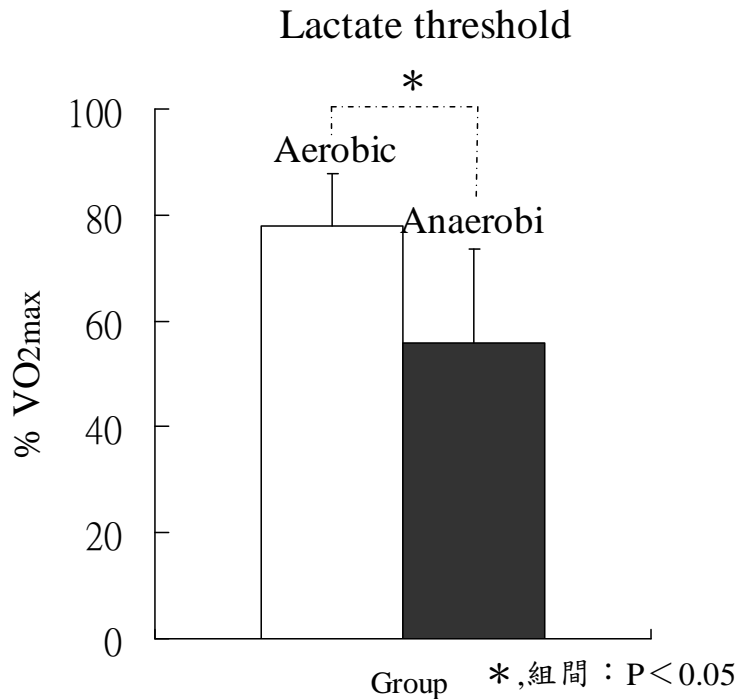


圖 15. 有氧運動組和無氧運動組之乳酸閾值。

二、血液中的酸鹼值(pH)

在重量運動測試之前的血液中的酸鹼值(pH)之前的比較結果。在重量運動測試之前(Resting)也就是說兩組受試者在尚未接受重量運動的刺激之前的血液酸鹼值程度相當，有氧運動組的 7.36 ± 0.042 和無氧運動組的 7.33 ± 0.05 兩組比較並無統計上的顯著差異($P > 0.05$)。但是在重量運動測試刺激之後(After resistant exercise stimulating)，血液中的酸鹼值(pH)在有氧運動組為 7.33 ± 0.047 和無氧運動組為 7.27 ± 0.03 ，兩者在統計分析比較下出現顯著差異($P < 0.05$)。也就是說在重量運動測試刺激之後有氧運動組的血液中酸鹼值(pH)比無氧運動組的血液酸鹼值(pH)來的高，無氧運動組的血液較為偏酸性(圖 16)。

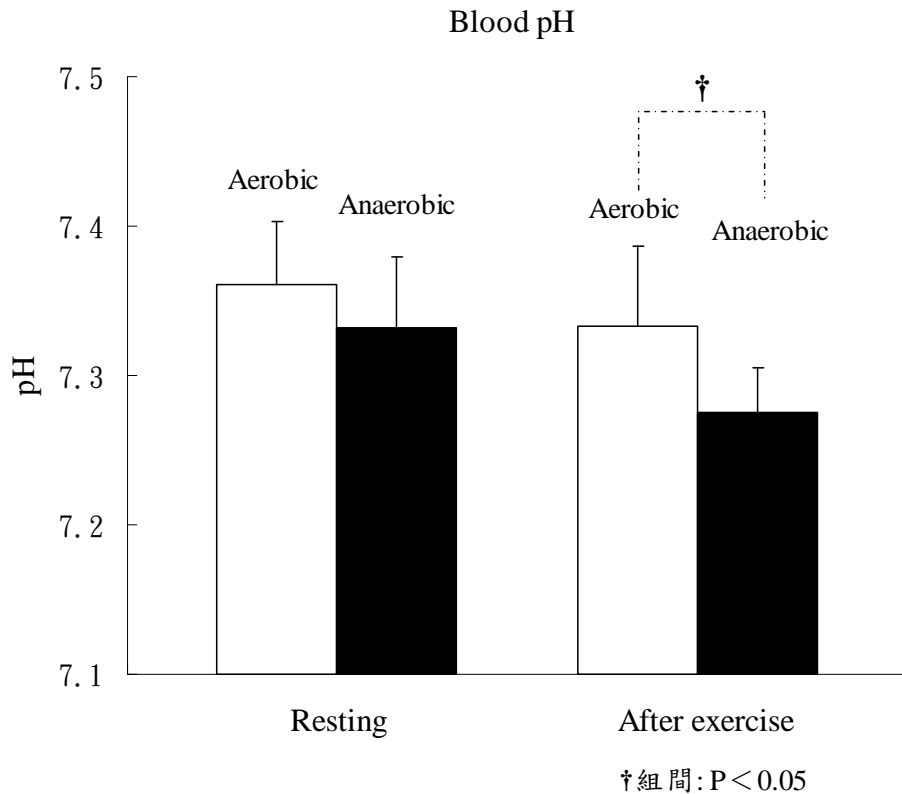


圖 16. 在重量運動測試之前後的血液中的酸鹼值(pH)之前的比較結果。

三、血液中的乳酸值(lactate of blood)

有氧運動組和無氧運動組在重量運動測試前的血液中的乳酸值，有氧運動組的 1.36 ± 0.39 和無氧運動組的 1.78 ± 1.51 ，並無顯著的差異($P > 0.05$)。

當在重量運動測試之後，乳酸堆積量在有氧運動組為 4.34 ± 0.84 和無氧運動組則為 8.53 ± 2.19 ，結果顯示無氧運動組明顯堆積相當多的乳酸，且在統計上有明顯差異($P < 0.05$) (圖 17)。

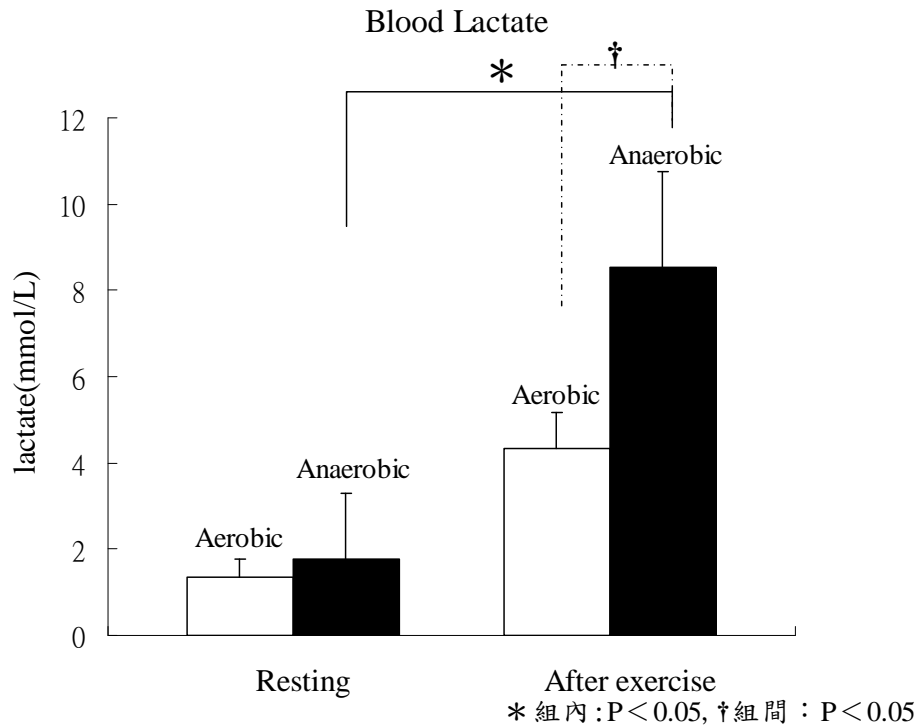


圖 17. 重量運動測試之前後的血液中的乳酸值

四、血液中的碳酸氫根 HCO_3^-

有氧運動組和無氧運動組在重量運動測試之前的血液中的 HCO_3^- 有
 氧運動組的 28.88 ± 2.82 和無氧運動組的 29.42 ± 2.25 ，並無顯著差異 ($P >$
 0.05)。

當在重量運動測試之後， HCO_3^- 在有氧運動組為 25.69 ± 1.93 和無氧
 運動組則為 23.07 ± 2.75 ，二者間沒有顯著的差異 ($P > 0.05$)；但是在前後
 比較之下無氧運動組的靜脈血液中 HCO_3^- 下降明顯，達統計上的顯著差
 異 ($P < 0.05$)。(圖 18)。

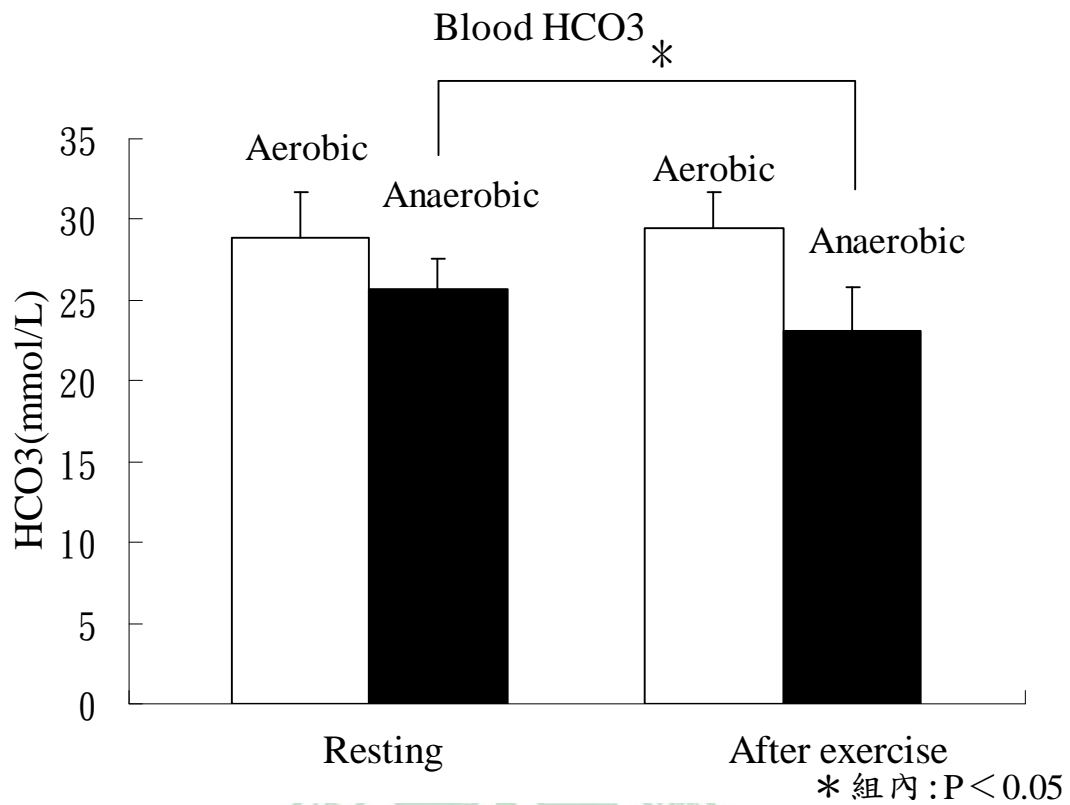


圖 18.重量運動測試之前後的血液中的 HCO₃⁻

第三節 相關性分析

為了進一步了解乳酸閾值和其他參數的相關性，包含RER、VO_{2max}、乳酸堆積量、pH值、HCO₃⁻、PCO₂、PO₂、SO₂%、TCO₂和BMI將其作Pearson相關性分析，其中發現到的相關性存在於乳酸閾值和乳酸堆積量、HCO₃⁻改變量、TCO₂改變量，而乳酸堆積量和pH值改變量有相關性(表5)。

表 6 乳酸閾值和 RER、VO_{2max}、乳酸堆積量、pH 值、HCO₃⁻、PCO₂、PO₂、SO₂%、TCO₂ 和 BMI 的相關性分析

Vs.		相關係數 r	顯著性 p
LT	lactate	-0.724	P<0.001**
	HCO ₃ ⁻	0.529	P<0.05*
	RER	-0.068	P=0.776
	VO _{2max}	0.172	P=0.470
	pH值	0.353	P=0.127
	TCO ₂	-0.668	P<0.001**
	BMI	-0.200	P=0.397
	PCO ₂	0.187	P=0.429
	PO ₂	-0.137	P=0.565
	SO ₂ %	-0.198	P=0.402
Lac.	pH	-0.694	P<0.001*

*: p<0.05; **: p<0.01

利用圖表顯示相關性，乳酸閾值和乳酸堆積量呈現負相關性 (Negative Correlation)(r=-0.724；p<0.01)(如圖 19)。乳酸堆積量和 pH 值的相關性存在著負相關性 (r=-0.692；P<0.05)(如圖 20)。乳酸閾值和血液中的碳酸氫根離子 HCO₃⁻的相關性存在著正相關性 (r=0.529；P<0.05)(如圖 21)。乳酸閾值和血液中的總二氧化碳(Total CO₂)的改變量存在著負相關 (r=-0.668；p<0.01)(如圖 22)。

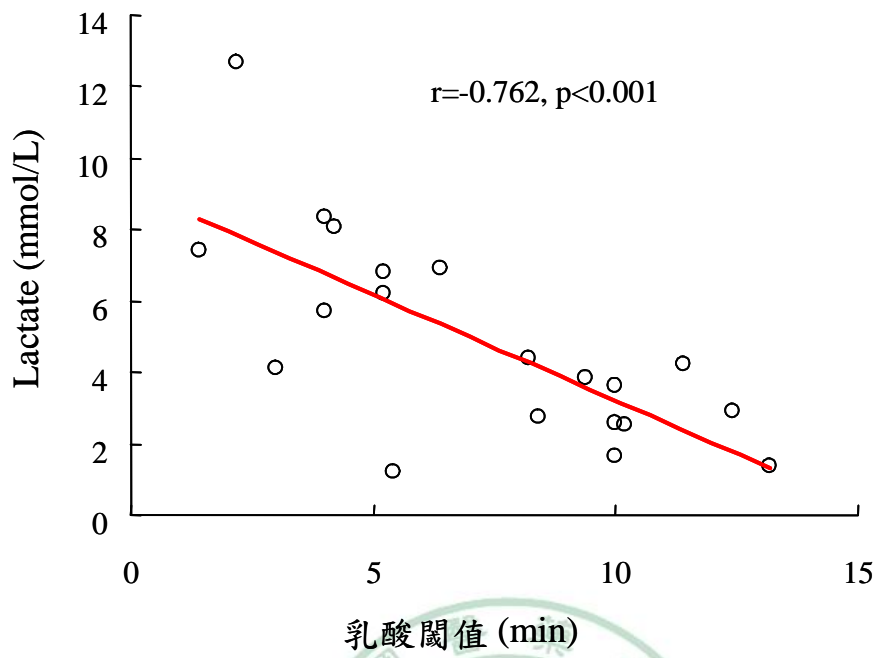


圖 19. 乳酸閾值和乳酸堆積量的相關性

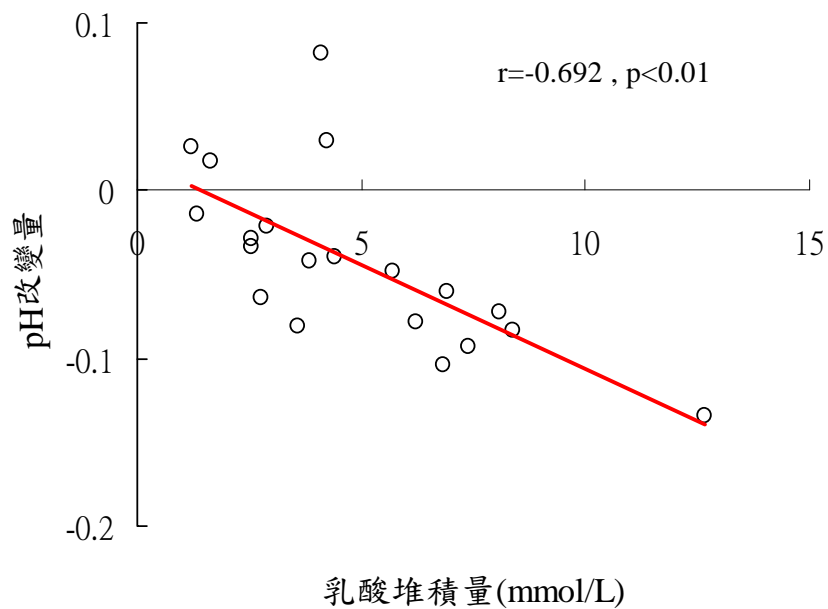


圖 20. 乳酸堆積量和 pH 值的相關性

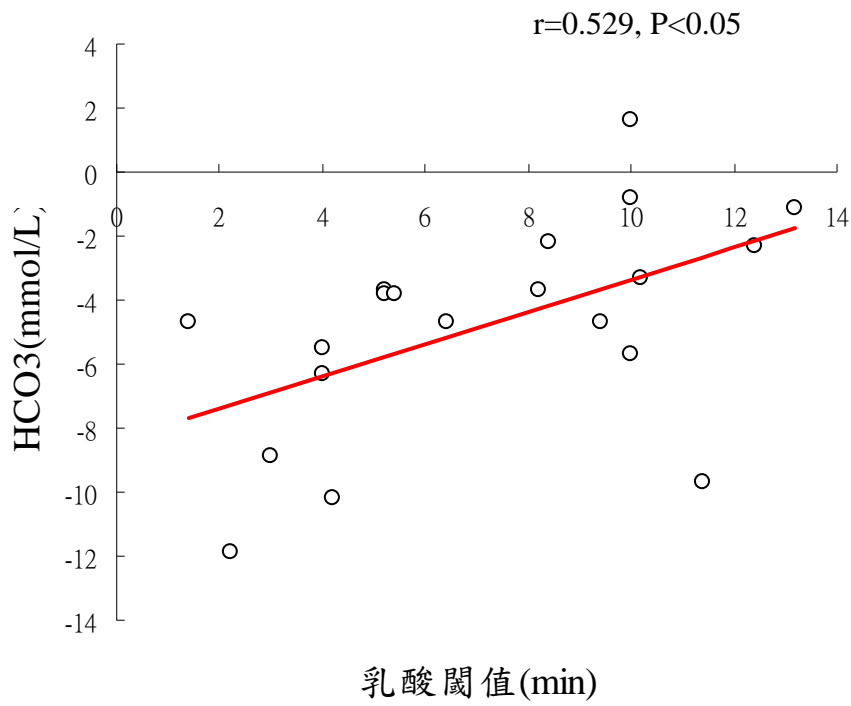


圖 21. 乳酸閾值和血液中的 HCO_3^- 的相關性

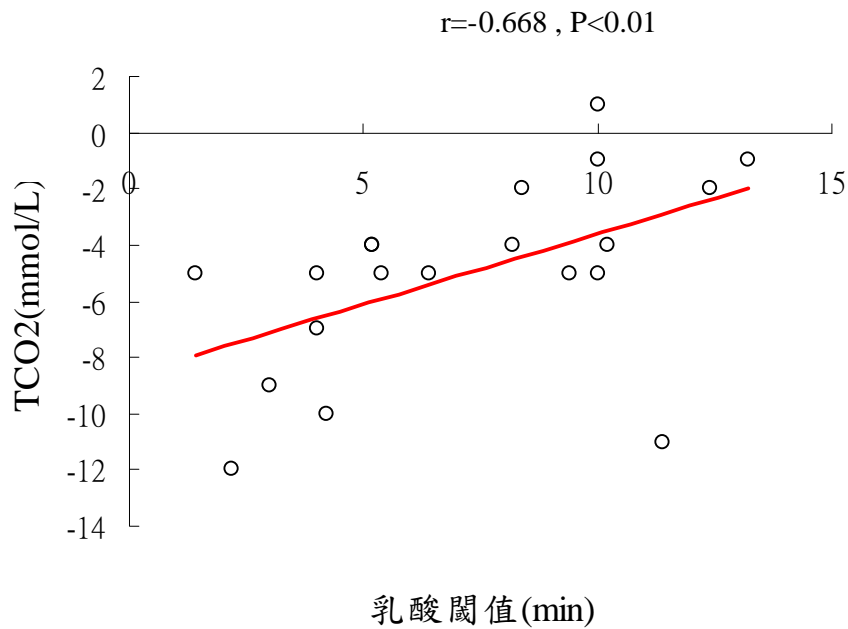


圖 22. 乳酸閾值和血液中的 TCO_2 的相關性

第五章 討論

第一節 結果討論

有氧運動組的乳酸閾值(%VO_{2 max})高於無氧運動組。結果顯示有氧運動組其乳酸閾值的時間點(10.3 min)及相對最大耗氧量(78.0%VO_{2 max})皆比無氧運動組(4.1 min; 55.7%VO_{2 max})明顯較大，這結果與過去的研究相一致(Cerretelli et al., 1975; Farrell et al., 1979; Davis, 1985)。過去研究指出，受過耐力訓練運動員的乳酸閾值出現在80 ~90% of VO_{2 max}，無運動習慣的人的乳酸閾值出現在55% of VO_{2 max} (Davis, 1985)。耐力訓練主要就是訓練心肺耐力的有氧運動(Urhausen, 1992)，而從事有氧運動會使得動靜脈的氧分差、心輸出量增加和心博量，進而提高最大耗氧量和乳酸閾值(Davis et al., 1979; Seals et al., 1984)。因此，本研究中有氧運動的人其乳酸閾值較從事無氧運動的人來得高，而最大耗氧量則二者間沒有顯著差異；有研究指出，具有相同VO_{2max}的運動參與者，如果具備較高的「乳酸閾值」能力時，代表可以在比較高的強度下運動，相對在耐力運動上有較好的成績表現(Farrell et al., 1979; Londeree, 1997)。也有研究顯示，乳酸閾值對耐力長跑的表現有比以VO_{2max}的預測來得更為可靠(Farrell et al., 1979)。因此，以乳酸閾值評量一個人有氧運動能力是很有效的指標。

重量運動刺激後，無氧運動組的血乳酸堆積量為有氧運動組的兩

倍；運動前後增加的幅度，有氧運動組增加3.2倍，而無氧運動組則增加4.8倍，和過去研究有一致的結果(MacDougall, 1974)。過去研究顯示，高強度重量運動後的能量消耗明顯高於有氧運動(Burleson et al., 1998; Elliot et al., 1992)，重量運動後導致有氧和無氧運動組都產生乳酸堆積，主要原因是運動造成血乳酸產生率高於乳酸的代謝率，進而造成肌肉乳酸的堆積 (Spriet et al., 2004; Grassi et al., 1999)，而乳酸透過擴散作用進入血管中。運動中乳酸的堆積與排除，是依據個人的有氧能力；這是由於乳酸產生降低及增加乳酸的清除，致使在任何強度下減少乳酸堆積(Bergman et al., 1999)。有氧能力高者將乳酸排除速度也快，相運動強度不變下，持續20分鐘以上，將產生乳酸穩定狀態(lactate steady state)，即乳酸堆積和排除達平衡(即乳酸閾值)。而有氧能力愈強，其乳酸排除能力也愈好(Neumann et al., 1991)，這是導致有氧運動組的乳酸值比較小的緣故。

乳酸閾值能有效地評估個體的有氧運動能力(Walsh et al., 1988; Anderson et al., 1989)。最近Knechtle等人發現乳酸閾值發生時和達到最高脂質氧化的強度間相關性(Knechtle et al., 2003)，因為身體主要的能量來源是利用脂質的氧化(Fat oxidation)，所以能有效動員及利用脂肪當成燃料的能力是非常重要的，而過去研究也顯示乳酸堆積和脂質氧化量之間有明顯的關係(Achten and Jeukendrup., 2004)。更有研究發現從事耐力運動

者在氧化脂酸及運動表現有高度的相關(Jansson and Kaijser, 1987)，這結果顯示誘發最大的脂質氧化的運動強度可能相似於乳酸閾值發生的強度(Knechtle et al., 2004 ; Achten and Jeukendrup, 2004)，因此，增加脂質氧化率是有助於增加乳酸的代謝(Jeukendrup and Achten, 2001)。而本研究發現乳酸堆積量和乳酸閾值呈現負相關，也就是說增加乳酸閾值可提昇乳酸的代謝率；而提升耐力適能可增加乳酸閾值。有研究也顯示在低於無氧閾值的強度進行訓練，心肺適能會有顯著提升的效果(Londeree, 1997)。因此，透過有氧運動訓練能有效地增加乳酸閾值。

重量運動刺激後，無氧運動組血液中的pH值下降程度大於有氧運動組。本研究顯示二組的pH值在重量運動刺激前是相同的，但是在運動刺激後，無氧運動組血液的pH下降程度明顯比有氧運動組大。過去研究認為，運動後體內pH值降低是因為乳酸的產生而增加體內H⁺的濃度和疲勞程度(Lindinger and Heigenhauser, 1988)，特別在高強度的運動後pH下降的最明顯(Allsop et al., 1991)。而血液中乳酸集中也反映在肌肉pH值的改變，少量pH值降低將誘發降低脂質氧化率(Starritt et al., 2000)，因而易造成乳酸的堆積；也有研究認為，運動後的pH下降是因為運動過後的初期PC再合成的時候這個過程會產生質子流(Proton efflux)，質子和乳酸共同運輸造成了運動過後pH的下降(Kemp, 1997)。因此，無氧運動者在重量運動刺激過後由於乳酸堆積較大，造成血液pH值下降程度大於有氧運動者。

無氧運動組在重量運動刺激之後 HCO_3^- 、 TCO_2 明顯下降，而 PCO_2 運動前後測則無顯著差異。在人體血液中的 PCO_2 、 HCO_3^- 和 TCO_2 主要是用來判斷體內酸鹼恆定的依據，其酸鹼平衡反應式為 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ (Kostas et al., 2005)，而 $\text{TCO}_2(\text{mmol/L}) = [\text{HCO}_3^-] + 0.03(\text{PCO}_2)$ ，由此得知， TCO_2 主要還是取決於 HCO_3^- 的值(Chittamma and Vanavanan, 2008)。有研究指出， HCO_3^- 下降是為了要中和由乳酸產生所增加的 H^+ 濃度，以避免pH值下降造成代謝性的酸化(Metabolic acidosis)(Nattie, 2004)，而且過去研究發現人體在運動前吸入6%的 CO_2 會使得運動表現下降85%之多，因為 PCO_2 增加會使得 H^+ 增加而降低了人體的pH值(Kato et al., 2005)。研究指出，有從事耐力運動的人會因增強體內 $[\text{HCO}_3^-]$ 和 PCO_2 調控pH值的緩衝機制，有利於對抗乳酸所造成的pH下降；並且增加肌肉跟血液之間乳酸的交換率達到更好的代謝效果(Böning et al., 2007)；而實驗結果中，無氧運動組在重量運動測試之後 HCO_3^- 大量下降以及 PCO_2 的減少，有利於產生更多的 HCO_3^- ，皆是為了中和過多的 H^+ 以維持正常的pH值。因此，長期從事有氧運動可以增進因為乳酸產生pH值改變的酸鹼恆定和緩衝的能力。

在血液分析方面，靜脈血氧的飽和濃度，有氧運動組在前後測都在正常範圍中(50%~70%)(Hoffman et al., 2000)，而無氧運動組的前測和正常值有了些許落差(43.2%)，也許是實驗操作上的誤差；然而，過去研究

發現到有乳酸酸中毒人，即便生命跡象正常其靜脈血氧的飽和濃度卻明顯下降到26%~34%(Ander et al., 1998)，而靜脈血氧的飽和濃度保持在70%以上，血液中乳酸的濃度應該會低於2 mmol/L (Polonen et al., 2000)，因此，血液乳酸量和靜脈血氧飽和濃度應該存在著相關性；然而，在本實驗中卻沒有發現兩者的相關性。

本研究結果發現在 PO_2 無氧運動組當中出現前後測的差異。或許是因為實驗操作上的誤差，導致前測值不合理過低，使得前後比較出現顯著差異；然而，兩組在重量運動過後 PO_2 都有上升的趨勢。過去研究乳酸和 PO_2 至有兩種觀點，認為乳酸的堆積是由於供給氧氣至運動的肌肉不足所致(Bylund-Fellenius et al., 1981; Whipp et al., 1981)；然而，也有研究指出，運動後乳酸的產生主要還是因為運動的強度，而和氧氣的濃度較無關聯(Connett et al., 1984)。過去研究認為，乳酸的釋放和正腎上腺素釋放後產生的乙醯膽鹼作用有關(Brooks et al., 1998)；最近學者研究更指出，在中強度的運動後乳酸會增加而 PO_2 也會增加，但是考慮動靜脈氧分差之後則無相關性，反而和正腎上腺素有正相關(Chudalla et al., 2006)。因此，本實驗運動之後兩組的 PO_2 確實增加了，而乳酸濃度與乳酸閾值和 PO_2 間則皆無存在相關性。

本研究結果顯示，所有前後測的血液值，兩組比較上都沒有顯著差異。過去有研究比較坐式生活型態的人(每天活動低於10分鐘)、每天自行

車運動的人(每天運動30-90分鐘)、和職業自行車手(每天運動超過90分鐘)靜脈血液中的pH值、PCO₂、PO₂和SO₂%，在休息狀態下是沒有差異的；只是有運動的人在呼吸系統對於靜脈血液中狀態的改變可以有較好的反應，即有利於乳酸的移除和肺臟血流的改變(Lippi et al.,2007)。因此，本實驗血液分析的參數在前測兩組比較也沒有顯著的差異。



第二節 其他相關性討論

乳酸閾值在性別上有差異，女性會高於男性，因此在運動過後女性的乳酸堆積量較男性少(Sargent and Scroop, 2007)。

在無氧能量釋放相同的運動中，較激烈的運動之後確實會造成血液中的乳酸達到最高值(Medbo JI. et al.1998)。然而事實上，即便是無氧能量釋放相同，血液乳酸濃度還是會因為不同實驗狀況有所差異，可能是因為一些電解質像重碳酸鹽(Mellemgaard and Astrup., 1960)和乳酸(Klausen et al., 1974)在細胞外間質慢慢擴散需要10~20分鐘才能達到平衡。有學者認為，不能只觀察乳酸或是酸鹼值的改變就一定會造成肌肉功能障礙，因為這兩樣參數引響或是被影響的對象很多，比如血紅素和氧的結合，或是鉀離子等等的這些生理參數都有可能同時影響肌肉運動的表現。也有學者認為，乳酸的增加造就了高滲透壓進而減低了肌肉的力量，這個現象在攝氏37下特別的明顯(Spangenburg et al., 1998)。運動時的體溫也會直接或間接影響運動肌肉裡的離子的堆積而造成肌肉疲勞，並且影響了酸鹼值相關酵素系統的功能，如此的運動下的肌肉溫度可以達到攝氏42度之高(Allen, 2004 ; Fitts, 1994)。在運動強度相當高的運動狀態下，血液中的乳酸甚至會達到將近20 nM並且酸鹼值接近7.0，這時因為組織裡的酸鹼值下降會出現疼痛感和血液酸化，而動脈中血紅素的去飽和現象顯著，將導致降低有氧代謝和運動表現(Nielson, 2003)。

乳酸的產生並不是只有缺點，有學者認為乳酸並不是引起肌肉疲勞的主因，其反而會幫助延遲運動時疲勞出現的時間，原因是乳酸的產生有助於細胞外的鉀離子濃度在細胞膜上應激性上升，另一個原因是會抑制內質網上的鈣離子幫浦進而幫助細胞質的鈣離子濃度上升，而使得肌肉力量的增加(Lamb et al., 2006)。而且在肌肉等長收縮活動中，因為乳酸的堆積減少了，鈣離子的利用使得基質細胞內的鈣離子增加，如此會造成了低頻率性的疲勞(Westerblad et al., 2000)。

以肌動學觀點來看，酸化引起降低鈣離子從內質網移除的量進而減少了肌肉的放鬆速率，這是有利於肌肉在等長收縮裡的表現。以一個運動型式比如跑步時，肌肉活動是需要作用肌和結抗肌來協調，一個快速連續動作變換的運動，此時肌肉的放鬆速率降低也代表了運動速度也要下降，以維持整個運動中作用肌和結抗肌的協調，因此，乳酸產生有利於肌肉等張收縮，但是運動表現可能不會因此而增加(Tupling, 2004)。

對於天生代謝疾病像 McArdle's disease(MD) 和 mitochondrial myopathy(MM) 的病人，在低強度運動中就會堆積大量的乳酸，依此被認為有礙運動狀態；但是利用藥物DCA來降低乳酸堆積量，卻沒有對於疲勞或是運動表現的改善。因此，在MD和MM的病人身上來觀察乳酸或許不能為主要引起疲勞的原因(Vissing et al., 2001)。

雖然從事有氧運動的人乳酸產生量會較低，並不代表就不需要有重

量訓練等無氧運動的習慣。良好的重量運動(Resistance Exercise)對於健康的老年人來說，可以增加控制肌肉力量的穩定性和維持肌肉功能 (Hortobagyi et al. 2001)。並且確實的重量運動可以增加肌肉的質量、微血管的分布和動脈的直徑，而使得肌原纖維再生以及增加血流的供應 (Motoi et al. 2005)。重量訓練運動也會增加維持肌肉張力的效果，被認為有助延遲肌肉達到疲勞的時間(Hicks et al. 2001)。

年齡老化容易造成肌肉耗損而發展成為肌肉減少症(Sarcopenia)，經過10週單邊膝蓋伸肌的重量訓練運動後可以有效減緩此現象(Cory et al., 2008)，每週從事三次重量運動訓練的人可以維持膝蓋伸肌(Knee Extensor)肌肉的質量並且降低蹠屈肌(Plantar Flexor)肌肉的萎縮(Alkner and Tesch, 2004)。所以從事強度高的重量訓練運動可以明顯增加無氧的能力和爆發力(Anaerobic capacity and power)(Weber and Schneider, 2002)，所以從事重量運動訓練和沒有從事重量運動訓練的人在肌肉功能和無氧能力比較上有經過長時間重量訓練運動的人會較突出(Slade 2002)。正確的體適能(Fitness)是包含有氧運動和重量運動訓練兩部分，就是心肺耐力與肌肉適能(Wright et al., 2006)。

第三節 研究限制

在本實驗當中受試者從事有氧運動和無氧運動的大專學生，至少要維持一週運動 2~3 次運動，並且持續 3 個月以上才能合乎實驗對象。其中，或許有些受試者並不切確記得自己從事運動時間多久了和維持的習慣是否良好，或許能夠在情況許可下給予受試者相同的運動處方，並且在監控下確實完成 3 個月的有氧或無氧運動再進行實驗。

在運動測試前的相關規範都有請受試者詳閱並請絕對遵守，但是在測試前的 48 小時以內確實是很難規範受試者的作息跟飲食，所以若是能控制實驗前的飲食內容會更理想。

在重量運動測試中，強度都是以每位受試者的最大重量各個肌群單次最大肌肉力量(1-repetition maximum; 1RM)後的 80%~90%1RM 來定義；但是或許有些受試者並不想要全力維持強度的標準，比如說一位受試者實際上可以舉到 50 公斤重甚至更多，但是當他舉到 40 公斤就認為這已經是他的 80%~90%的 1RM 而不想再繼續加重。因此，為了實驗的安全性必須以受試者主觀回饋為重，本研究認為這也會影響些許實驗的結果。

在血液分析方面，過去採用靜脈血液主要分為三種，中樞靜脈血(Central venous blood)、周邊靜脈血(Peripheral venous blood)以及混合靜脈血(Mixed venous blood)。而本實驗採用周邊靜脈血被認為，在實現操

作上會有過多暴露在空氣中的疑慮造成分析上的差異(Toftegaard et al., 2008)，確實因為血液抽取的過程並不是每次都能順利，可能有幾次因為技術上的問題，而耽誤了些許將血液放入晶片判讀的時間。

而受試者的數量應該可以在多一些會更理想；但是由於本實驗需要接受採血，有相當多的受試者因為這樣的原因而放棄參與此次實驗，再者加上實驗耗時費力，可是能提供給受試者的實質回饋太少，以至於誘因不足。



第六章 結論與建議

第一節 結論

乳酸堆積是肌肉疲勞的主要原因，對於從事有氧運動或無氧運動的人，本研究發現有氧運動有較高的乳酸閾值。而乳酸堆積量和乳酸閾值呈現負相關，也就是說增加乳酸閾值可提昇乳酸的代謝率；提升耐力適能可增加乳酸閾值。因此，透過有氧運動訓練能有效地增加乳酸閾值。

在日常活動中，許多人會有腰酸背痛等肌肉不適症而影響生活的品質，這些狀況原因許多，其可能原因來自姿勢不正確或乳酸堆積所造成的疲勞現象；而改善運動習慣特別是增加有氧運動可提升高體內的乳酸閾值，加強體內代謝乳酸的能力，將對減緩一些因為負重活動(如：搬重物、提東西等等)，或是頻繁的動作(上下樓梯、走路等等)產生的肌肉酸痛或不適有所幫助。

第二節 建議

有鑑於研究的準確性，最理想的方法應該是可以有三個月前先徵求數位平常完全無運動習慣而且並不屬於肥胖的族群，將其分為有氧運動組、無氧運動組和不運動組的對照組。在接下來的三個月當中指導他們做各自有氧或無氧的運動，並且監控每週運動次數和時間加上控制運動的強度以及控制對照組不得超過日常生活的活動量，如此一來便可以確定每個受試者運動的量。在三個月後再進行乳酸閾值和血液乳酸值等等的測試，這樣的實驗結果就會是最完美。

為了更進一步的探討有氧運動和無氧運動造成的生理效應，還可以於歷經三個月一次測試後，在將兩組的運動習慣對調也就是說無氧運動組改做三個月的有氧運動，無氧運動組則反之，對照組則一樣。這樣可以更完整達到對象和實驗條件交換時是否達到相同的效果，如此一來就確定可以屏除個體的差異性和更肯定有氧運動和無氧運動帶給人體的效應為何。

參考文獻

吳慧君, 林正常: 乳酸閾值測定法及其外在效度的比較研究。體育學報 1995;12:363-373。

Achten J, Jeukendrup AE. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *Int J Sports Med* 2004;7:25-32.

Alkner BA, Tesch PA. Knee extensor and plantar flexor muscle size and function following 90 days of bed rest with or without resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* 2004;93:294-305.

Allen DG. Skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue damage and disease. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2004;31:485-493.

Allsop P, Anaes FC, Jorfeldt L, Rutberg H, Lennmarken C, Hall GM, Biol FI. Delayed recovery of muscle pH after short duration, high intensity exercise in malignant hyperthermia susceptible subjects. *British Journal of Anaesthesia* 1991;66:541-545.

Ander DS, Jaggi M, Rivers E. Undetected cardiogenic shock in patients with congestive heart failure presenting to the emergency department. *Am J Cardiol* 1998;82:888-891.

Anderson GS, Rhodes EC. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med* 1989;8:43-55.

Bahr R, Sejersted OM. Effect of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption. *Metabolism* 1991;40:836-841.

Barnard RJ, Holloszy JO. The metabolic systems: aerobic metabolism and substrate utilization in exercising skeletal muscle. In: Tipton CM, editor. *Exercise Physiology People and Ideas*. New York (NY): Oxford University Press; 2003, pp.292-321.

Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol* 1985;59:1936-1940.

Bergman BC, Wolfel EE, Butterfield GE, Lopaschuk GD, Casazza GA,

Horning MA, Brooks GA. Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *J Appl Physiol* 1999;87:1684-1696.

Böning D, Klarholz C, Himmelsbach B, Hutler M, Maassen N. Extracellular bicarbonate and non-bicarbonate buffering against lactic acid during and after exercise. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:457-467.

Brooks GA, Wolfel EE, Butterfield GE, Cymerman A, Roberts AC, Mazzeo RS, Reeves JT. Poor relationship between arterial [lactate] and leg net release during exercise at 4,300 m altitude. *Am J Physiol* 1998;275:R1192-R1201.

Burleson Jr MA, Obryant HS, Stone MH. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on excess post-exercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:518-522.

Burnley M, Doust JH, Jones AM. Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:838-845.

Bylund-Fellenius AC, Walker PM, Elander A, Holm S, Holm J, Schersten. Energy metabolism in relation to oxygen partial pressure in human skeletal muscle during exercise. *Biochem J* 1981;200:247-255.

Carsten J. Training-induced changes in membrane transport proteins of human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:627-635.

Casaburi R, Storer TW, Sullivan CS, Wasserman K. Evaluation of blood lactate elevation as an intensity criterion for exercise training. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:852-862.

Cerretelli P, Ambrosoli G, Fumagalli M. Anaerobic recovery in man. *Eur J Appl Physiol* 1975;34:141-148.

Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med* 1992;13:518-522.

Chittamma A, Vanavanan S. Comparative study of calculated and measured total carbon dioxide. *Clin Chem Lab Med* 2008;46:15-17.

Chudalla R, Baerwalde S, Schneider G, Maassen N. Local and systemic effects on blood lactate concentration during exercise with small and

large muscle groups. *Eur J Physiol* 2006;452:690-697.

Coetzer P, Noakes TD, Sanders B, Lambert MI, Bosch NA, Wiggins T. Superior fatigue resistance of elite black South African Distance runners. *J Appl Physiol* 1993;75:18-22.

Connett RJ, Gayeski TE, Honig CR. Lactate accumulation in fully aerobic, working, dog gracilis muscle. *Am J Physiol* 1984;246:H120-H128.

Cory T, Walts ED, Hanson MJ, Delmonico MJ, Yao L, Wang MQ, Hurley BF. Do Sex or Race Differences Influence Strength Training Effects on Muscle or Fat? *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:669-676.

Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, King DS, Thomas R, Fielding R. Metabolic characteristics of skeletal-muscle during detraining from competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:339-343.

Coyle EF, Martin WH, Sinacore DR, Joyner MJ, Hagberg JM, Holloszy JO. Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *J Appl Physiol* 1984;57:1857-1864.

Davis JA.

Anaerobic threshold : Review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:6-18.

Davis JA, Frank HM, Whipp JB, Wasserman K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol* 1979;46:1039-1046.

Donovan CM, Brooks GA. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 1983;244:E83-E92.

Elliot DL, Goldberg L, Kuehl KS. Effects of resistance training on excess postexercise oxygen consumption. *J Appl Sport Sci Res* 1992;6:77-81.

Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 1979;11:338-344.

Felix SD, Manos TM, Jarvis AT, Jensen BE, Headley SA. Swimming performance following different recovery protocols in female collegiate

swimmers. *J Swimming Res* 1997;12:1-6.

Fleck SJ, Kraemer WJ. *Designing Resistance Training Programs* (2nd ed.) Champaign (IL): Human Kinetics, 1997, pp.131-163.

Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev* 1994;74:49-94.

Foss ML, Keteyian JS, Fox EL. *Physiological Basis for Exercise and Sport*. McGraw-Hill Book Co Ltd.1998:110-112.

Gastin PB. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Med* 2001;31:725-741.

Gerbino A, Ward SA, Whipp BJ. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 1996;80:99-107.

Grassi B, Quaresima V, Marconi C, Ferrari M, Cerretelli P. Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol* 1999;87:348-355.

Hicks AL, Kent-Braun J, Ditor DS. Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exerc Sport Sci Rev* 2001;29:109-112.

Hoffman GM, Ghanayem NS, Kampine JM. Venous saturation and the anaerobic threshold in neonates after the Norwood procedure for hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 2000;70:1515-1520.

Hortobagyi T, Tunnel D, Moody J, Beam S, DeVita P. Lower high-intensity strength training partially restores impaired quadriceps force accuracy and steadiness in aged adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001;56:38-47.

Hudson BM, Hosick AP, Mccauley OG, Schrieber L, Wrieden J, Mcanulty SR, Triplett TN, Mcberide JM, Quindry CJ. The Effect of Resistance Exercise on Humoral Markers of Oxidative Stress. *Med Sci Sports Exerc* 2007;6:542-548.

Jansson E, Kaijser L. Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained mean. *J Appl Physiol* 1987;62:999-1005.

Jeukendrup AE, Achten J. Fat max: A new concept to optimize fat

oxidation during exercise? *Europ J Sport Sci* 2001;1:1-5.

Jones AM, Wilkerson DP, Burnley M, Koppo K. Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:2085-2092.

Karlsson J, Saltin B. Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J Appl Physiol* 1971;31:203-206.

Kato T, Tsukanaka A, Harada T, Kosaka M, Matsui N. Effect of hypercapnia on changes in blood pH, plasma lactate and ammonia due to exercise. *Eur J Appl Physiol* 2005;95:400-408.

Kemp JG, Thompson HC, Taylor JD, Radda KG. Proton efflux in human skeletal muscle during recovery from exercise. *Eur J Appl Physiol* 1997;76:462-471.

Klausen K, Rasmussen B, Clausen JP, Trapjensen J. Blood lactate from exercising extremities before and after arm or leg training. *Am J Physiol* 1974;227:67-72.

Knechtle B, Muller G, Willmann F, Kotteck K, Eser P, Knecht H. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *Int J Sports Med* 2003;25:38-44.

Lamb GD, Stephenson DG, Bangsbo, Juel CJ. Point:Counterpoint: Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity. *J Appl Physiol* 2006;100:1410-1414.

Lindinger MI, Heigenhauser GJF. Ion fluxes during titanic stimulation in isolated perfused rat hind limb. *J Appl Physiol* 1988;254:R117-R126.

Lippi G, Schena F, Franchini M, Guidia CG. Chronic influence of demanding physical exercise on venous blood-gas status. *J Sci Med Sport* 2007;10:288-290.

Londeree BR. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:837-843.

MacDougall J. Limitations to anaerobic performance. *Proceeding: Science and the Athlete*. Hamilton: Coaching Association of Canada and McMaster University, 1974.

Martin NA, Robert FZ, Robertson RJ, Lephart SM. The comparative effects of sports massage, active recovery, and rest in promoting blood lactate clearance after after supramaximal leg exercise. *J Athl Train* 1998;33:30-35.

Melby CL, Scholl C, Edwards G, Bullough R. Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *J Appl Physiol* 1993;75:1847-1853.

Mellemgaard K, Astrup P. The quantitative determination of surplus amounts of acid or base in human body. *Scand J Clin Lab Invest* 1960;12:187-199.

Medbo JI. Glycogen breakdown and lactate accumulation during high-intensity cycling. *Acta Physiol Scand* 1993;149:85–89.

Medbo JI, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 1989;67:1881-1886.

Motoi Y, Hiroyasu T, Masataka N, Ryuji O, Norikazu O, Mitsuo K. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:572-580.

Nattie EE. *Pulmonary Biology in Health and Disease*. Springer New York 2004;273-288.

Nielsen HB. Arterial desaturation during exercise in man: implication for O₂ uptake and work capacity. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:339-358.

Oshima Y, Miyamoto T, Tanaka S, Wadazumi T, Kurihara N, Fujimoto S. Relationship between isocapnic buffering and maximal aerobic capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol and Occupational Physiol* 1997; 76:409-414.

Patessio A, Casaburi R, Perfaut C, Folgering H, Donner C. Exercise training in chronic lung disease: exercise prescription. *Eur Respir J* 1997;6:129-146.

Polonen P, Ruokonen E, Hippelainen M, Poyhonen M, Takala J. A

prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2000;90:1052-1059.

Rustu G, Burak K, Bülent U, Emin E. Running velocities and heart rates at fixed blood lactate concentrations in elite soccer players. *Advan Ther* 2005;22:613-620.

Sargent AC, Scroop CG. Plasma lactate accumulation is reduced during incremental exercise in untrained women compared with untrained men. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:91-96.

Seals RD, Hagberg MJ, Hurley FB, Ehsani AA, Holloszy OJ. Endurance training in older men and women Cardiovascular responses to exercise. *J Appl Physiol* 1984;57:1024-1029.

Sherman CS, Schindlbeck M. When is venous blood gas analysis enough? *Emerg Med* 2006;38:44-48.

Slade JM, Miszko TA, Laity JH, Agrawal SK, Cress ME. Anaerobic power and physical function in strength-trained and nonstrength-trained older adults. *J Gerontol Biol Sci Med Sci* 2002;57:168-172.

Sjödín B, Svedenhag J. Applied physiology of marathon running. *Sports Med* 1985;2:83-99.

Sjödín B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med* 1981;2:23-26.

Sööt T, Jürimäe T, Jürimäe J, Gapeyeva H, Pääsuke M. Relationship between leg bone mineral values and muscle strength in women with different physical activity *J Bone Miner Metab* 2005;23:401-406.

Spangenburg EE, Ward CW, Williams JH. Effects of lactate on force production by mouse EDL muscle: implications for the development of fatigue. *Can J Physiol Pharmacol* 1998;76:642-648.

Spriet LL, Howlett RA, Heigenhauser GJ. An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:756-763.

Spriet LL, Howlett RA, Heigenhauser GJ. An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004;32:756-763.

Stager JM, Tanner DA. Swimming: 2nd Edition. An International Olympic Committee Publication. Oxford UK: Blackwell Science Ltd, 2005.

Staron RS, Leonardi MJ, Karapondo DL, Malicky ES, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol* 1991;70:631-640.

Starritt EC, Howlett RA, Heigenhauser GJ, Spriet LL. Sensitivity of CPT1 to malonyl-CoA in trained and untrained human skeletal muscle. *Am J Physiol* 2000;278:462-8.

Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2:160-165.

Toftgaard M, Rees ES, Andreassen S. Correlation between acid-base parameters measured in arterial blood and venous blood sampled peripherally, from vena cavae superior, and from the pulmonary artery. *Eur J Emerg Med* 2008;15:86-91.

Tremblay A, Depres JP, Leblanc C, Craig CL, Ferris B, Stephens T, Bouchard C. Effect of intensity of physical activity on body fatness and fat distribution. *Am J Clin Nutr* 1990;51:153-157.

Tupling AR. The sarcoplasmic reticulum in muscle fatigue and disease: role of the sarco(endo)plasmic reticulum Ca²⁺-ATPase. *Can J Appl Physiol* 2004;29:308-329.

Urhausen A. Blood ammonia and lactate concentrations during endurance exercise of differing intensities. *Eur J Appl Physiol* 1992;65:88-96.

Vissing J, MacLean DA, Vissing SF, Saltin B, Haller RG. The exercise metaboreflex is maintained in the absence of muscle acidosis: insights from muscle microdialysis in humans with McArdle's disease. *J Physiol* 2001;537:641-649.

Walsh ML, Banister EW. Possible mechanism of anaerobic threshold. *Sports Med* 1988;5:269-302.

Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:

236-243.

Weber C, Schneider D. Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol* 2002;92:1795-1801.

Westerblad H, Lee JA, Lannergren J, Allen DG. Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol* 1991;261:C195-C209.

Westerblad H, Bruton JD, Allen DG, Lannergren J. Functional significance of Ca²⁺ in long-lasting fatigue of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:166-174.

Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol* 1981;50:217-221.

Williams L, Wilkins L. American College of Sports Medicine. ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. 4th ed. New York, 2001.

Williams L, Wilkins L. American College of Sports Medicine. ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. New York, 2004.

Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of Sport and Exercise* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2004;122-127.

Wright J, O'Flynn G, Macdonald D. Being Fit and Looking Healthy: Young Women's and Men's Constructions of Health and Fitness. *Sex Roles* 2006;54:707-716.

Zoladz J, Duda K, Majerczak J. Oxygen uptake does not increase linearly at high power outputs during incremental exercise test in humans. *European Journal of Applied Physiology* 1998;77:445-451.

附錄

1. 受試者同意書

本次實驗由 中國醫藥大學基礎醫學研究所 運動醫學學門研究生陳則瑜負責。

實驗內容：包含氣體分析儀和跑步機實驗，以及啞鈴重量訓練，在實驗時間內會對受試者採取少許靜脈血兩次作血液乳酸分析。

※注意：請受試者穿運動服裝,運動鞋和水。

所有實驗受試者已聽取過詳細說明，並樂意配合本次實驗

※本實驗可以讓您瞭解您自己身體的心肺和肌肉等資料，我會幫您解說並且讓你瞭解目前你的運動如何對你的身體影響。

聯絡電話：

年齡：

身高：

體重：

請簡述您日常生活做的運動：

譬如，我一週平均運動 2~3 次（平均一週），

慢跑（種類），

每次約 30 分鐘（時間），

已經持續 2 年了（多長時間了）。

2.體能活動適應能力問卷

PAR-Q FORM

經常進行體能活動不但有益身心，而且樂趣無窮，因此，開始每天做運動的人愈來愈多。對多數人來說，多做運動是很安全的。不過，有些人在增加運動量前，應先徵詢醫生的意見。

如果你計劃增加運動量，請先回答下列 7 條問題。如果你介乎 15-69 歲之間，這份體能活動適應能力問卷會告訴你應否在開始前諮詢醫生。如果你超過 69 歲及沒有經常運動，請徵詢醫生的意見。

普通常識是回答這些問題的最佳指引。請仔細閱讀下列問題，然後誠實回答：請答「是」或「否」

	是	否	問 題
1.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	醫生曾否說過你的心臟有問題，以及只可進行醫生建議的體能活動？
2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	你進行體能活動時，是否感到胸口痛？
3.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	過去一個月，你曾否在沒有進行體能活動時也感到胸口痛？
4.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	你曾否因感到暈眩而失去平衡，或曾否失去知覺？
5.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	你的骨骼或關節是否有毛病？且會因改變體能活動而惡化？
6.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	醫生現在是否有給你一些有關血壓或心臟藥物(例如利尿劑)服用？
7.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	是否有其他理由令你不應進行體能活動？

如果你的答案「是」：

一條或以上答「是」

在開始增加運動量或進行體能評估前，先致電或親身與醫生商談，告訴醫生這份問卷，以及你答「是」的問題。

- 只要在開始時慢慢進行，然後逐漸增加，你可以進行任何活動；又或者你須受限制，只可進行那些對你安全的活動。告訴醫生你希望參加的活動及聽從他的意見。
- 找出對你安全有幫助的社區活動？

全部答「否」

如果你對體能活動適應能力問卷的全部問題誠實地答「否」，你可合理地相信你可以：

- 開始增加運動量...開始時慢慢進行，然後逐漸增加，這是最安全和最容易的方法。
- 參加體能評估，這是一種確定基本體能的好方法，以便你擬定最佳的運動計劃。

延遲增加運動量：

- 如果你因傷風或發燒等暫時性疾病而感到不適，請在康復後才增加運動量。
- 如果你可能懷孕，請先徵詢醫生的意見或更改你的體能活動。