



中國醫藥大學  
基礎醫學研究所  
碩士學位論文

運動習慣對身體能量來源消耗的影響  
**Effects of regular exercise to energy consumption**

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：謝榮恩

中華民國九十七年六月

## 摘要

本研究的目的是在探討運動習慣在身體處於不同運動強度的情形下對能量來源消耗的影響。本研究徵召 30 名受試者年齡界於 19-43 歲，15 位為有規律運動習慣組及 15 位為無規律運動習慣組。讓受試者穿戴可攜式無線遙測氣體分析測量儀(MetaMax 3B, Cortex)，在跑步機上以 Bruce protocol 運動模式運動直到其力竭為止，以擷取無氧閾值(anaerobic threshold, AT)前後的能量消耗相關的生理數值(AT 前表低強度運動，AT 後高強度運動)；而採用重複量數變異數分析來比較組別間和 AT 前後在呼吸交換率(RER)、脂肪、葡萄糖的消耗量、及總能量消耗的效應。

結果顯示規律運動者的 RER 於 AT 前( $0.72\pm 0.12$ )明顯小於 AT 後( $1.04\pm 0.13$ ) ( $P < 0.05$ )，而無規律運動習慣者在 AT 前的 RER 明顯大於規律運動習慣者( $P < 0.05$ )。在 AT 前，規律運動習慣者利用脂肪，而無規律運動習慣者以葡萄糖為主要能量來源( $P < 0.001$ )；AT 後，有、無規律運動習慣二者皆利用葡萄糖為主要能量來源( $P < 0.001$ )；而有規律運動習慣者的 AT 後的總能量消耗明顯大於無規律運動習慣者( $P < 0.001$ )。本研究建議有規律運動習慣者能在低強度運動狀態下主要燃燒脂肪，而無規律運動習慣者在高低強度運動也無法有效燃燒脂肪，因此，規律運動後可促進新陳代謝、提升體適能，並可改善能量來源的消耗情形。

關鍵詞：能量消耗、呼吸交換率、無氧閾值、規律運動習慣

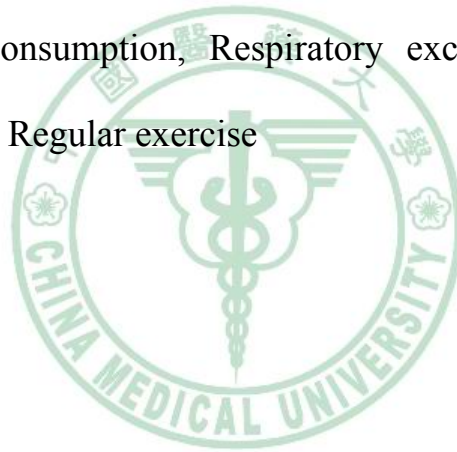
## Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of regular exercise to energy consumption under different intensity exercises. Thirty subjects, range were recruited for this study, and 15 subjects with regular exercise were selected as the exercise group and 15 subjects with sedentary lifestyle were selected as the non-exercise group. Subject was asked to wear a mobile cardiopulmonary stress test system (MetaMax 3B, Cortex, Germany) and run on treadmill to exercise according to a Bruce protocol until volitional exhaustion. The physiological parameters were obtained including respiratory exchange ratio (RER), fat and glucose consumptions, and total energy consumption before and after anaerobic threshold (AT) (“before AT” represents a low intensity exercise, and “after AT” represents a high intensity exercise) in this study. A two-way repeated measures of ANOVA were used to test groups and before-after of AT effects on RER, fat and glucose consumptions, and total energy consumption. A level of statistical significance was  $p < 0.05$ .

Results showed the RER was significantly larger before AT ( $0.72 \pm 0.12$ ) than after AT ( $1.04 \pm 0.13$ ) ( $P < 0.05$ ). There were larger RERs before AT for non-exercise group than exercise group ( $P < 0.05$ ). Before AT, the fat for exercise group and the glucose for non-exercise group were the major sources of energy consumption ( $P < 0.001$ ). But after AT, the major

energy source was glucose for both groups ( $P < 0.001$ ). And exercise group have larger total energy consumption than non-exercise ( $P < 0.001$ ). We suggested that person with regular exercise may be to consume the body fat in low-intensity endurance exercise, but sedentary lifestyle person was no efficiency to consume the fat during any intensity exercise in this study. Therefore, to form a regular exercise will contribute to the physical metabolism, promote the aerobic fitness, and improve the better situation in energy consumptions.

**Keywords:** Energy consumption, Respiratory exchange ratio, Anaerobic threshold, Regular exercise



## 謝誌

從大學到研究所這 6 年的時間裡，首先要感謝一路上陪伴我學習成長的老師們，包括張文正、洪維憲、王慧如、吳鴻文等老師，以及許多曾經給予我指導的師長們，感謝您們認真的付出及用心的教導，雖然在學習的路上還有許多可以努力的空間，但是老師們總是一次又一次的包容及提醒，引導我在學習的路上學習獨立的思考及對自己負責，再次感謝老師們的用心良苦，希望在將來的路上能夠學習您們的精神及態度繼續學習更多人生的功課。再來要感謝一路在實驗上幫助我的同學、隊友及朋友們，沒有您們的配合，實驗的對象想必是我最大的難題，感謝您們抽空花費精神與體力來幫助我完成我的實驗，同時也感謝在實驗的過程給予我的建議和配合。最後我要感謝上帝及我的家人，謝謝您們給予我學習的機會，同時在經濟上讓我無後顧之憂，尤其是爸爸媽媽和弟弟的支持，總是在我挫折及遇到困難的時候陪我一起走過，謝謝您們的愛心及關懷讓我能順利完成學業。還有許多師長、同學、學長姐、學弟妹們的幫忙，由於人數眾多無法一一致謝，謹在此用一句簡短的感謝來表達我的謝意，沒有你們就沒有今天的我，謝謝大家。

謝榮恩 敬上

# 目錄

第一章、緒論 .....	1
第一節 研究背景與動機 .....	1
第二節 研究目的與假設 .....	4
第二章、文獻探討 .....	5
一、呼吸交換率與能量消耗 .....	5
二、無氧閾值與運動的關係 .....	6
三、運動習慣與身體組成對能量消耗的影響 .....	9
第三章、實驗方法與材料 .....	13
一、受試者 .....	13
二、實驗步驟 .....	14
三、資料分析 .....	18
四、統計分析 .....	19
第四章、實驗結果 .....	20
第五章、討論 .....	37
第一節、結果討論 .....	37
第二節、其它相關性討論 .....	42
第三節、研究限制 .....	44
第六章、結論與建議 .....	46

第一節、結論.....	46
第二節、建議.....	46
參考文獻.....	48
附錄.....	56



## 圖目錄

圖 1. 無氧閾值概念圖.....	7
圖 2. Meta Max 3B 氣體分析儀.....	14
圖 3. 運動跑步機.....	14
圖 4. Meta Max 3B 氣體分析儀.....	15
圖 5. DVT 氣量轉換器.....	15
圖 6. Polar 心率表.....	15
圖 7. 無線訊號接受器.....	15
圖 8. 樣本收集線.....	16
圖 9. 面罩及頭套.....	16
圖 10. 生物電阻測量儀器.....	17
圖 11. 30 歲以下組身體質量指數量化圖.....	25
圖 12. 30 歲以上組身體質量指數量化圖.....	26
圖 13. 30 歲以下組體脂肪量化表.....	27
圖 14. 30 歲以上組體脂肪量化圖.....	28
圖 15. 30 歲以下組氣體交換率趨勢圖.....	29



圖 16. 30 歲以上組氣體交換率趨勢圖.....	30
圖 17. 30 歲以上組無氧閾值前能量消耗圖.....	31
圖 18. 30 歲以上組無氧閾值後能量消耗圖.....	32
圖 19. 30 歲以下組無氧閾值前能量消耗圖.....	33
圖 20. 30 歲以下組無氧閾值後能量消耗圖.....	34
圖 21. BMI 和葡萄糖消耗相關性比較圖.....	35
圖 22. 體脂肪和葡萄糖消耗相關性比較圖.....	36



## 表目錄

表 1. 受試者基本資料.....	13
表 2. 30 歲以下組實驗測量參數.....	23
表 3. 30 歲以上組實驗測量參數.....	23
表 4. 30 歲以上組無氧閾值前後能量來源使用的情形.....	24
表 5. 30 歲以下組無氧閾值前後能量來源使用的情形.....	24



## 縮寫表

AT	Anaerobic Threshold	無氧閾值
ACSM	American College of Sports Medicine	美國運動醫學學會
BMI	Body Mass Index	身體質量指數
BF	Body Fat	體脂肪
ED	Exercise Duration	運動週期
HW	Hydrostatic Weighing	水中秤重法
MHR	Maximal Heart Rate	最大心跳率
PF	Physical Fitness	體適能
PAR-Q	Physical Activity Readiness Questionnaire	體能活動準備度問卷
RER	Respiratory Exchange Ratio	氣體交

# 第一章、緒論

## 第一節 研究背景與動機

近年來大家對於如何藉由運動來保持身體健康，以及提升體適能的概念，已經越來越重視，各式各樣的運動休閒產業的興起，也帶動了運動風氣的興起。運動逐漸成為日常生活不可或缺的一部分，也因此運動時的能量消耗成為大家關注的重點。人體的能量來源主要有三大類，分別是醣類、蛋白質、脂質。如果人體以葡萄糖來當作能量來源時，每消耗1公升的氧氣會產生1公升的二氧化碳，也就是說，以葡萄糖為能量來源時的呼吸商(體內局部組織二氧化碳產生量除以氧氣攝取量; Respiratory of Quotient, RQ); 而以脂質為能量來源時的RQ約等於0.7; 以蛋白質為能量來源時的RQ約等於0.8 (Hsu and wong, 2003)。但是，要藉由人體內組織呼吸狀況評量，有其執行上的困難。因此，透過人體參與運動時的肺部氣體交換狀況(呼吸交換率，respiratory exchange ratio，簡稱RER，肺部氣體交換時的二氧化碳增加量除以氧氣消耗量)的測量過去最常被用來評估活動時的能量消耗(Croonen and Binkhorst, 1974; Mole and Hoffmann, 1999)，一般來說，人體安靜休息時的RER 約0.82、在極低強度(散步、慢跑、輕鬆騎車)運動時的RER 反而下降(約0.75至0.80 之間)、接近最大強度運動時的RER 約等於1 (林正常, 1997; Powers and Howley, 2001)。因此

我們將依據肺部的氣體交換，評量出運動過程的能量消耗特徵。

在許多的研究報告有指出，不同的運動強度之下，人體所使用的能量來源會有所不同(Wilmore and Costill, 2004; Dawson et al., 1996)。主要的原因也是在於不同的運動強度造成身體的耗氧量及二氧化碳產生量的差別，導致所使用的能量來源不同，而有不同的能量消耗(Wilmore and Costill, 2004)。人體低強度的運動狀態下，脂質(fat oxidation)為主要的能量來源(Brooks , 1997; Gray et al., 2000 ; Romijn et al., 2000 ; Luc, 2004 ; Dorien et al., 2002)。隨著運動強度的增加，RER 也隨著上昇，葡萄糖(glucose)參與提供能量的比例也增加，當進入高強度的運動狀態下，身體會轉變成以葡萄糖當作主要的能量來源(Romijn et al., 1993 ; Van Loon et al., 2001)；再加上蛋白質僅在激烈運動時，才有少量參與提供能量的情形(Tarnopolsky et al., 1986; Lemon et al., 1992)，因此，藉由RER在運動時的改變，可以幫助評量能量來源使用的情形。而人體如何對能量來源有效率的使用，同時加速乳酸的清除，是我們關注的焦點。

現代生活型態趨向於坐式生活型態(sedentary lifestyle)，沒有規律運動的坐式生活容易造成基礎代謝率降低(Christopher et al., 2001)、肥胖(Gortmaker et al., 1996)、增加心血管疾病危險(Pollock & Wilmore, 1990; Vale, 2000)。而研究也顯示，運動可以預防心血管疾病的發生，增進體適能(Karmisholt and Gotzsche, 2005; Fagard, 2006)。然而，對於運動習慣

對於能量來源的使用情形則較少研究提到。

同時，身體組成和體脂肪有著密切的關係。有研究指出運動可改變體脂肪率，有效的影響在於脂質的代謝(Ball-Burnett et al., 1991; Banz et al., 2003)，然而，有其他研究指出運動並不會改變脂肪濃度(Milani and Lavie, 1995; Rowland et al., 1996)，因此，對於運動對脂肪代謝的影響沒有一致的結果。是否能藉由身體組成或體脂肪來評量能量來源消耗的情形，則有待進一步的研究。



## 第二節 研究目的與假設

### 研究目的：

- 一、探討運動習慣在身體處於不同運動強度的情形下對能量來源消耗的影響。主要針對有無規律運動習慣在高強度和低強度運動時脂肪和葡萄糖消耗的情形。
- 二、探討個人身體組成及體脂肪是否對於身體能量來源的消耗有影響。

### 研究假設：

- 一、低強度的運動狀態以利用脂質為主；隨著運動強度的增加脂肪代謝量減少，高強度的運動狀態轉由以葡萄糖的代謝為主。
- 二、個人的體脂肪及身體組成對能量來源的使用沒有明顯相關性。

## 第二章、文獻探討

### 一、呼吸交換率與能量消耗

人體在運動時會造成氧氣和二氧化碳的量產生改變，耗氧量的增加及二氧化碳量的產生促使肺部的氣體交換更加頻繁，藉由耗氧量的增加及二氧化碳量的改變計算出呼吸交換率(respiratory exchange ratio，簡稱 RER，肺部氣體交換時的二氧化碳增加量除以氧氣消耗量)，藉此評量活動時能量消耗的情形(Croonen and Binkhorst, 1974; Mole and Hoffmann, 1999)，一般來說，人體安靜休息時的 RER 約 0.82、在極低強度(散步、慢跑、輕鬆騎車)運動時的 RER 反而下降(約 0.75 至 0.80 之間)、接近最大運動時的 RER 約等於 1 (林正常, 1997; Powers and Howley, 2001)。過去研究顯示呼吸交換率會隨著運動強度增加而上升(Calvin et al., 2005) 因此，呼吸交換率在許多研究裡常被用來當作評估運動強度的指標 (Havemann et al., 2006)。

肌肉收縮的能量來源最主要來自醣類和脂肪。其中，運動強度會顯著影響肌肉中醣類及脂肪代謝的比例。不同的運動強度，肌肉收縮的能量來源也不一樣(Wilmore and Costill, 2004; Dawson et al., 1996)。在低強度運動時，人體主要使用的能量來源是以脂肪為主(Brooks et al., 1997; Gray et al., 2000 ; Romijn et al., 2000 ; Luc et al., 2004 ; Dorien et al.,



2002)； Venables 等人(2005)發現運動強度在  $48.3 \pm 0.9$  最大攝氧量 (maximal oxygen uptake,  $VO_{2max}$ )時，出現脂肪代謝的高峰(maximal fat oxidation, MFO)，此時的運動強度稱為最大脂肪代謝強度，約 50 % $VO_{2max}$ 。因此，運動強度約 50% $VO_{2max}$  時，葡萄糖和脂肪各佔 50%，此時稱為交叉點(cross point)，當運動強度超過最大脂肪代謝強度時，肌肉中的脂肪代謝量隨運動強度的增加而減少，隨後則以葡萄糖為主要的能量來源(Romijn et al., 1993 ; Van Loon et al., 2001)。而能量消耗不單存在運動的過程，在運動後的恢復期間也會繼續能量的代謝(Dohm et al., 1985)。運動後的呼吸交換率會有下降的趨勢，當運動過後呼吸交換率變的更低時，會身體增加對脂質的氧化(fat oxidation) (Calvin et al., 2005; Michael et al.,2007; Tracy et al., 2006)。當呼吸交換率處於較高的情形下，醣類被分解來當作能量來源的消耗就增加了(Arkininstall et al., 2004)。因此，呼吸交換率的高低和脂質及醣類的氧化存在相當大的關係。過去研究針對攝取脂質為主和攝取醣類為主的受試者作比較，發現攝取脂質為主的受試者在休息及運動狀態下的呼吸交換率都比較低(Havemann et al., 2006; Burke et al.,2002)。因此，呼吸交換率的改變和能量來源的消耗有著密切的關係，在過去的研究大多藉由呼吸交換率來評量能量消耗的情形(Sahlin et al., 2005; Calvin et al., 2005; Michael et al.,2007)。

## 二、無氧閾值與運動的關係

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)，是人體在運動的過程中，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)(圖 1)。此點當乳酸產生率高於乳酸清除率。

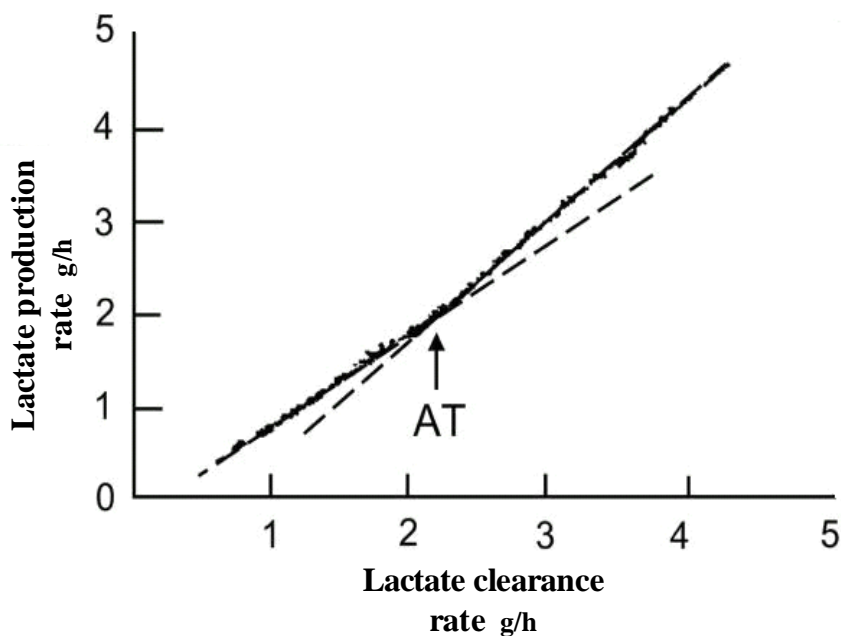


圖 1.無氧閾值概念圖 (Pokan et al., 2004)

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<sub>2</sub>max) 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 閾值最高 (79.8±9.2%VO<sub>2</sub>max)，而個體無氧閾值為 (66.2±15.2%VO<sub>2</sub>max)，而對數轉換判定法為最低(50.2±9.4%VO<sub>2</sub>max)，各閾值間相關係數在 0.69-0.89 之間(p<0.05)，而除了對數轉換判法外，其餘三項閾值與 12 分鐘跑步成績相關係數高於最大耗量，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)。

無氧閾值的高低代表著有氧運動能力的好壞(Wasserman et al., 1994)。透過肌耐力的運動訓練，可以幫助身體提升無氧閾值(Helen et al., 2000)；無氧閾值的提升代表在同一個負荷的運動下，身體具有較好的乳酸清除能力，防止乳酸的堆積。過去研究顯示當運動強度改變，會造成乳酸堆積量的迅速增加，乳酸堆積提高了體內乳酸的濃度，進而造成能量的代謝的改變(Shalin et al., 2005)。而且，乳酸閾值的高低受到心肺適能的影響，在運動過程中，肺部的氣體交換會影響到血液中乳酸堆積的影響(Ozcelik and Kelestimur, 2004)。當肺部無法提供適量的氧氣來被身體利用時，身體的能量系統就會從有氧系統轉變成無氧系統(Wilmore and Costill, 2004)，此時乳酸就開始產生堆積，導致代謝酸性增加，肌肉疲勞產生，導致運動表現下降 (Newsholme & Blomstrand, 2006)。雖然，無氧

閾值可以當作判斷有氧能力好壞的指標(Wasserman et al., 1994)，然而當身體進入無氧運動後，乳酸開始堆積時，有氧能力並無法幫助身體進入無氧運動後乳酸濃度的降低(Denadai et al., 2004)。而乳酸的產生及清除隨著運動時間的增加或運動強度的增強會達到一個平衡點，一旦超過這個平衡點即是所謂的無氧閾值(Willmore and Costill, 2004)。當處於這個平衡點，稱為最大乳酸穩定狀態(Maximal lactate steady state, MLSS)，代表血乳酸的產生與排除速率是在平衡的狀態。而有研究顯示利用固定強度運動時的血乳酸反應狀況，來評估運動時血乳酸濃度不會隨著運動時間增加而提高的 MLSS 負荷(Aunola & Rusko, 1992；Beneke et al., 1996)。Riley 等人(1996)的研究則發現，呼吸系統的攝氧量與二氧化碳產生量反應並無法立即有效的反應肌肉的代謝狀況。Clark 等人(1996)的研究也發現，在漸增強度的跑步運動過程中，換氣量與二氧化碳產生量間的並沒有顯著的關連，因此造成換氣量提高的因素，可能還需要進一步的探討。

### 三、運動習慣與身體組成對能量消耗的影響

根據統計，心臟血管疾病是耗費醫療資源的疾病之一，在已開發國家中有 46%的死亡原因為心臟血管疾病(Mital & Shrey, 1996)。台灣現今的疾病型態已轉為慢性病，其中心血管疾病(cardiovascular disease)是近幾年來國內十大死亡原因的重大因素，在行政院衛生署 93 年所公布的國人十大死亡原因中，與心血管病變的死亡原因包括：腦血管疾病

(10.37%)，心臟病(8.69%)，高血壓性疾病(1.39%)等(衛生署，2004)。這和現代生活型態趨向於坐式生活型態(sedentary lifestyle)有關。所謂坐式生活形態，以美國疾病管制局(CDC)的定義為「一個星期5天以上每天少於30分鐘中等強度運動(moderate exercise)或者一星期有3天少於20分鐘費力強度運動(vigorous exercise)」(US Department of Health and Human Services Centre for Disease Control and Prevention, 2003)；依據代謝當量(metabolic equivalent tasks, METs)的指標定義：一個人每天少於2.0 METs的活動量即屬於坐式生活形態(Kujala et al., 2002)。而所謂「規律運動(regular exercise)」則是指以全身骨骼活動，以消耗能量，而且是漸進的由低到高所產生連續的動作、與體適能有關、有計劃與組織的重複身體活動、以增進與維持體適能為目標(Caspersen et al., 1985)；其定義為三至五次/周且20-60分/次、最大心跳率(HRmax)的60-90%、從事有氧運動時，最大耗氧量(VO<sub>2</sub>max)達50-80%(American College of Sports Medicine, 2001)。研究顯示沒有規律運動的坐式生活容易造成基礎代謝率降低(Christopher et al., 2001)、肥胖(Gortmaker et al., 1996)、增加心血管疾病危險(Pollock & Wilmore, 1990; Vale, 2000)。有研究指出，參與運動可以預防心血管疾病的發生，增進體適能(Karmisholt and Gotzsche, 2005; Fagard, 2006)。然而，對於運動習慣對於能量來源的使用情形則較少研究提到。

身體組成簡單來說由兩個元素所構成的，一個就是脂質的重量(Fat Mass, FM)；另一個為非脂質的重量(Fat Free Mass, FFM) (Willmore and Costill, 2004)，因此，身體組成和體脂肪有著密切的關係。有研究指出，受過專業訓練的運動員在休息的時候和沒受過訓練的人做比較，發現運動員具有比較高的脂解速率(rates of lipolysis) (Romijn et al., 1993)，顯示運動可以使脂蛋白解脂酶 (Lipoprotein lipase) 增加，這可能是造成血脂變化的因素(Ball-Burnett et al., 1991)。Banz 等( 2003)的實驗，對中年肥胖者進行 10 週的有氧訓練或阻力訓練，其腰臀比或總體脂肪都得到顯著的改善，運動對血脂肪長期而有效的影響在於脂質的代謝。然而有其他研究指出運動並不會改變血脂肪濃度(Milani and Lavie, 1995; Rowland et al., 1996) 。由以上的研究顯示，運動對脂肪的代謝結果不甚一致。因此，是否能藉由身體組成和體脂肪(body fat mass)來評量能量來源消耗的情形則有待進一步研究。

## 總結

- 1.呼吸交換率在許多研究裡常被用來當作評估運動強度的指標，不同的運動強度，肌肉收縮的能量來源也不一樣。因此，呼吸交換率的改變和能量來源的消耗有著密切的關係，本研究將藉由呼吸交換率來評量能量消耗的情形。
- 2.過去研究顯示個體無氧閾值測定法是一種較為準確且有效的方法，因此，本研究將以此方法作為判定標準，而其大小皆以最大耗氧量( $\%VO_{2max}$ )表示。人體在無氧閾值以下的運動強度進行運動稱為有氧運動；在無氧閾值以上的運動強度進行運動稱為無氧運動。本研究也將比較在無氧閾值前後能量消耗的情形。
3. 過去研究顯示運動習慣可以減少心血管疾病的發生，增進體適能，然而，對於運動習慣對於能量來源的使用情形則較少研究提到，這是本研究所要探討的方向。同時，身體組成和體脂肪有著密切的關係，過去研究對於運動對脂肪代的影响則沒有一致結果，因此，是否能藉由身體組成或體脂肪來評量能量來源消耗的情形，這是本研究第二個要探討的方向。

### 第三章、實驗方法與材料

#### 一、受試者

本研究徵召 20 位年齡界於 19-22 歲之間的受試者，其中 10 位有規律運動習慣，10 位則沒有規律運動習慣來當作 30 歲以下組；另外，10 位年齡界於 30-43 歲的受試者，其中的 5 位有規律運動習慣，5 位則沒有運動習慣的當作 30 歲以上組。受試者在開始實驗前，必須先填寫一份身體健康狀況的問卷(Canadian Society for Exercise Physiology: physical activity Readiness Questionnaire(PAR-Q), Revised 1994. 附錄 A)，確定身體無特殊疾病，方可接受本實驗的運動測試，同時，也要了解受試者是否有運動的習慣，一週內運動的時數、運動種類、受試者的身高、體重，以便計算身體質量指數(Body Mass Index, BMI)，同時對受試者進行體脂肪的測量。而二組平均的個人基本資料的結果如表 1。

表 1. 受試者基本資料

	Age (years)	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	BMI	Body fat (%BW)
Under 30 years old	19-22	165-187cm	58-84kg	18.8-29.0	16-29
Over 30 years old	30-43	148-178cm	47-90kg	21.4-32.2	19-31



## 二、實驗步驟

本實驗分別需對受試者進行兩部分的實驗流程，以了解受試者在接受運動測試、身體質量指數、及體脂肪三方面受到運動影響的狀況。所以受試者必須接受在跑步機上以跑步方式的運動測試以及靜態方面的體脂肪及身體質量指數的測量及計算。

### 測試準備：

為確保實驗過程避免受試者身體有不適情形發生，以及實驗數據之準確性，本研究要求受試者在實驗前48小時避免熬夜及過度激烈運動，並在實驗前兩小時禁止飲食；同時，在開始運動測試前先說明整個運動測試的流程，以及可能會發生的情形讓受試者了解，以確保整個運動測試的安全性。

### 儀器設備：

本實驗所採用的設備：

(1)硬體: Meta Max 3B氣體分析儀(圖2.)、桌上型電腦、運動跑步機(圖3.)。



圖2. Meta Max 3B 氣體分析儀

圖3. 運動跑步機

(2)軟體: 氣體分析軟體(Metasoft 1.2)、跑步機控制軟體(treadmill control)、肺功能測量(spirometry)、間接測卡法(indirect calorimetry)。

(3)Meta Max 3B 氣體分析儀標準配備:

Meta Max 3B 氣體分析儀(圖4)、MaxBelt運動背心、DVT 氣量轉換器 (volume transducer) (圖5)、樣本收集線(sample line)、Polar心率表 (圖6)、無線訊號接受器(圖7)、面罩及頭套。



圖4. Meta Max 3B 氣體分析儀

圖5. DVT 氣量轉換器



圖6. Polar 心率表

圖7. 無線訊號接受器

(I) Meta Max 3B 氣體分析儀:

尺寸規格(Dimension)(L/W/H): 2 modules 120x110x45mm each

重量(Weight): 570g。

中央處理器(CPU): 16bit processor, 20MHz, flash memory

資料收集(Data logger): 8MB data

(II) MaxBelt運動背心：分別有S,M,L三種尺寸。

(III)樣本收集線: 60cm及200cm兩種規格(圖8)

(IV)面罩及頭套：分別有S,M,L三種尺寸(圖9)。



圖8. 樣本收集線



圖9. 面罩及頭套

(V) 氣體校正：經由Metasoft 校正轉能器、壓力感測器及氣體分析在每次進行測試之前進行兩點大氣校正。

同時本實驗還藉助生物電阻測量儀器(bioelectrical impedance)來幫助測量體脂肪在人體的比例(圖 10)，同時還有利用公式： $\text{體重} \div (\text{身高})^2$   $\text{kg/m}^2$  來計算 BMI 指數。



[www.megacard.com.tw/news/news950907\\_109\\_index.htm](http://www.megacard.com.tw/news/news950907_109_index.htm)

圖10. 生物電阻測量儀器

### 實驗流程：

首先，輸入基本資料：包括年紀、體重、身高、性別、運動習慣、及有無健康上的問題等。在進行運動測試前，會先以生物電阻儀器測量受試者的體脂肪，同時測量受試者的身高、體重，以用來計算身體質量指數。但為避免在運動測試過後對這兩個指數有所影響，所以先行測量避免實驗上的誤差，以及對整體實驗準確性的影響。

### 測試步驟：

其次，以氣體分析儀收集運動刺激時氣體交換和氣體代謝的情形，其步驟如下：

1. 將Meta Max 3B氣體分析儀標準配備穿戴在受試者身上，並請受試者在增強式(grade-incremented)跑步機上預備，注意面罩部分是否有漏氣的情形。面罩上會連接一條幫助蒐集氣體的樣本收集線。為了能

夠準確的蒐集到受試者在整個運動測試的過程呼吸時氣體進出的情形，面罩不能有漏氣的情形出現。

2. 穿戴完畢後進行大氣兩點校正，並檢查跑步機和電腦的連線狀況。大氣校正的時間大概需要3-4分鐘，由於校正氣體時需由連接在氣體分析儀上的樣本收集線蒐集氣體。校正完畢後電腦會詢問是否開始進行測試，這個時候方可開始運動測試。
3. 運動測試的模式是採用 Metasoft 軟體裡面所設計的 Bruce protocol 來進行測試(附錄表 4)。將跑步機和電腦進行連線之後，由電腦直接控制跑步機，而 Bruce protocol 就是跑步機固定在 8 km/hr, 0-3 min 時為 0%坡度，之後每 3 min 增加坡度 3%。隨著時間運動的強度會慢慢增加，直到受試者力竭即停止運動。

### 三、資料分析

本實驗運動測試的結果由 Metasoft 軟體進行資料分析，從軟體上可以觀察到數據所呈現的趨勢，藉由觀察氣體交換率可以知道受試者在運動測試過程中能量使用的狀況以及運動強度改變的情形，同時本實驗也需觀察受試者無氧閾值(AT)出現的時間點，可以知道受試者在哪個時間點從有氧運動的情形進入到無氧運動，然後比較無氧閾值出現前後能量使用的情形，和有無運動習慣做對照。在能量消耗的紀錄上，分別記錄無氧閾值前 30 秒及無氧閾值後達到最大耗氧量的兩個時間點，當作能量

消耗參數(脂質和葡萄糖消耗值)的取樣點。

#### 四、統計分析

本研究使用統計軟體 SPSS 來做分析，採用獨立樣本 T 檢定 (Independent t Test) 來比較有無運動習慣兩組間無氧閾值、最大耗氧量時間點、運動週期、體脂肪及身體質量指數(BMI)。而採用重複量數變異數分析(Repeated Measures ANOVA)來比較組間(有無運動習慣)和組內(無氧閾值前後)的 RER、脂肪、葡萄糖的能量消耗量、及總能量消耗；利用 Pearson's 相關性分析針對體脂肪和 BMI 和能量消耗間的相關性分析。而  $p < 0.05$  表示有統計上顯著的差異。



## 第四章、實驗結果

表2、3顯示運動過程最大耗氧量、無氧閾值及運動週期的時間參數。結果顯示，有規律運動習慣者的最大耗氧量的時間點要比無規律運動習慣者來的大( $P = 0.0045$ )；無氧閾值時相對最大耗氧量百分比差別並不大( $P = 0.207$ )，但無氧閾值出現的時間點，有規律運動習慣者(67.1% ED)要比無規律運動習慣者(34.2% ED)來的大( $P = 0.005$ )。而規律運動習慣者運動周期較長，有統計上的差異( $P = 0.003$ )。

圖 11、12 及圖 13、14 分別為有無規律運動習慣者間體脂肪及身體質量指數(BMI)的比較。結果顯示，在 30 歲以下組方面，有規律運動習慣者，BMI 指數平均值 24.5，略高於正常體重的標準(附錄表 1)；而無規律運動習慣者，BMI 指數平均值 27.7，處於稍為體重過重的情形(附錄表 1)，但有無規律運動二者間並無顯著差異( $P = 0.51$ ,  $P=0.17$ )。在體脂肪的部分，30 歲以下組方面，有規律運動習慣者，體脂肪平均值 20.1%，處於正常的範圍(附錄表 2,3)；而無規律運動習慣者，體脂肪平均值 21.8%，也處於正常範圍之內(附錄表 2,3)，兩者也是無顯著差異( $P = 0.14$ )；30 歲以上組別方面，有規律運動習慣者，體脂肪平均值 22.0%，處於正常的範圍(附錄表 2,3)，而無規律運動習慣者，體脂肪平均值 26.4%，非常靠近正常標準的上限(附錄表 2,3)，而經過比較過後，呈現

顯著差異的情形( $P=0.027$ )。

圖 15、16 為呼吸交換率趨勢圖。兩組呼吸交換率皆隨著運動強度增加而上升。結果顯示呼吸交換率有規律運動習慣者在無氧閾前比在無氧閾值後明顯較小( $P<0.05$ )，然而無規律運動習慣者在無氧閾值前後間無明顯差異；而無規律運動習慣者在無氧閾值前，呼吸交換率明顯大於有規律運動習慣者( $P<0.05$ ) (表 4,表 5)。

在身體能量消耗的來源方面，分別在不同組別觀察在無氧閾值(AT)前後能量消耗的情形。不論年紀因素，無氧閾值前有無規律運動習慣者比較發現，規律運動習慣者利用脂質當作主要能量來源( $F=132.6, P<0.001$ )；無氧閾值後有無規律運動習慣者比較發現，規律運動習慣者利用葡萄糖當作主要能量來源( $F=62.3, P<0.001$ )。

在 30 歲以上組方面，在 AT 之前，有規律運動習慣者，會使用較多的脂質少量的葡萄糖( $P=0.002$ )；無規律運動者則使用較多的葡萄糖少量的脂質當作能量的來源(表 4，圖 17)，但並無顯著差異。而在 AT 之後，有規律運動習慣者，則會使用較多的葡萄糖，當作能量的來源，幾乎不會用到脂質( $P<0.001$ )；無規律運動習慣者則會用到脂質以及葡萄糖兩種能量來源(表 4，圖 18)，但是葡萄糖使用占的比例還是多於脂質，但在統計上並無顯著差異( $P=0.067$ )。在 30 歲以下組 AT 之前，有



規律運動習慣者使用較多的脂質少量的葡萄糖( $p < 0.001$ )；無規律運動習慣者則使用較多的葡萄糖少量的脂質當作能量的來源，(表 5, 圖 19)( $P = 0.001$ )。而在 AT 之後，有規律運動習慣者，幾乎完全使用葡萄糖當作主要的能量來源( $P < 0.001$ )；無規律運動習慣者則會用到脂質以及葡萄糖兩種能量來源，但還是以葡萄糖較多(表 5, 圖 20)( $P = 0.006$ )。

結果也顯示有規律運動習慣者在無氧閾值後( $153.7 \pm 24.4$  g/h)的總能量消耗明顯大於無氧閾值前( $36.3 \pm 15.6$  g/h) ( $F = 44.86, P < 0.001$ )；無規律運動習慣者無氧閾值前後的總能量消耗則沒有明顯差異；有規律運動習慣者於無氧閾值後的總能量消耗( $153.7 \pm 24.4$  g/h)明顯大於無規律運動習慣者( $72.5 \pm 20.5$ ) ( $F = 32.56, P < 0.001$ )。

由樣本迴歸的相關性統計過後，BMI 和葡萄糖的消耗並沒有顯著相關性( $r = 0.193, p = 0.306$ ) (圖 21)；而體脂肪和葡萄糖的消耗之間也沒有顯著相關性( $r = 0.345, p = 0.061$ ) (圖 22)。

**表 2.30 30 歲以下組實驗測量參數**

	VO <sub>2</sub> max% at AT	Time of VO <sub>2</sub> peak (min)	AT (min)	ED (min)
Exercise	59.9±13.2	11.62±1.34	8.58±0.99 (67.2% of ED)	12.80±1.44
Non-exercise	56.0±10.5	8.76±1.05*	3.39±1.09* (34.2% of ED)	9.90±0.62*

Values are mean±SD. \* exercise v.s non-exercise, P < 0.05; AT, anaerobic threshold; RER, respiratory exchange ratio; ED, exercise duration

**表 3.30 30 歲以上組實驗測量參數**

	VO <sub>2</sub> max% at AT	Time of VO <sub>2</sub> peak (min)	AT (min)	ED (min)
Exercise	63.0±12.0	10.39±1.00	7.95±1.33 (68.4% of ED)	11.62±1.53
Non-exercise	53.6%±11.8	6.47±1.99*	3.26±1.53* (40.4% of ED)	8.06±2.29*

Values are mean±SD. \* exercise v.s non-exercise, P < 0.05; AT, anaerobic threshold; RER, respiratory exchange ratio; ED, exercise duration

表 4. 30 歲以上組無氧閾值前後能量來源使用的情形

	Before AT		After AT	
	Exercise group	Non-exercise group	Exercise group	Non-exercise group
RER	0.74±0.09	0.93±0.10*	1.15±0.14†	1.14±0.12
Fat (g/h)	23.0±4.0	10.4±14.2	0.0±0.07†	11.4±2.6*
Glucose (g/h)	5.4±9.2	55.0±39.3	132.6±24.7†	52.2±28.2

Values are mean±SD. \* exercise v.s non-exercise after AT, P< 0.05 ; † befor AT v.s after AT, P< 0.05; RER: respiratory exchange ratio.



表 5. 30 歲以下組無氧閾值前後能量來源使用的情形

	Before AT		After AT	
	Exercise group	Non-exercise group	Exercise group	Non-exercise group
RER	0.72±0.12	0.84±0.07*	1.04±0.13†	1.03±0.17†
Fat (g/h)	30.5±4.0	16.8±11.3	3.7±7.2†	22.6±12.6*
Glucose (g/h)	5.8±8.0	47.2±29.6	150.0±53.0†	49.9±41.9*

Values are mean±SD. \* exercise v.s non-exercise after AT, P< 0.05 ; † befor AT v.s after AT, P< 0.05; RER: respiratory exchange ratio.

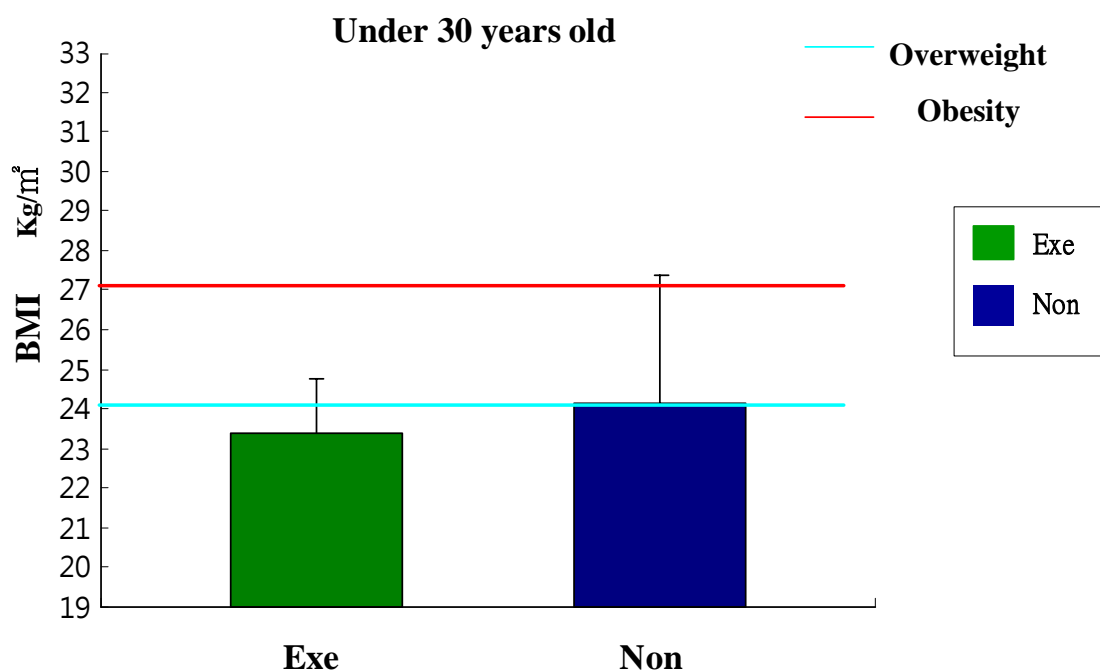


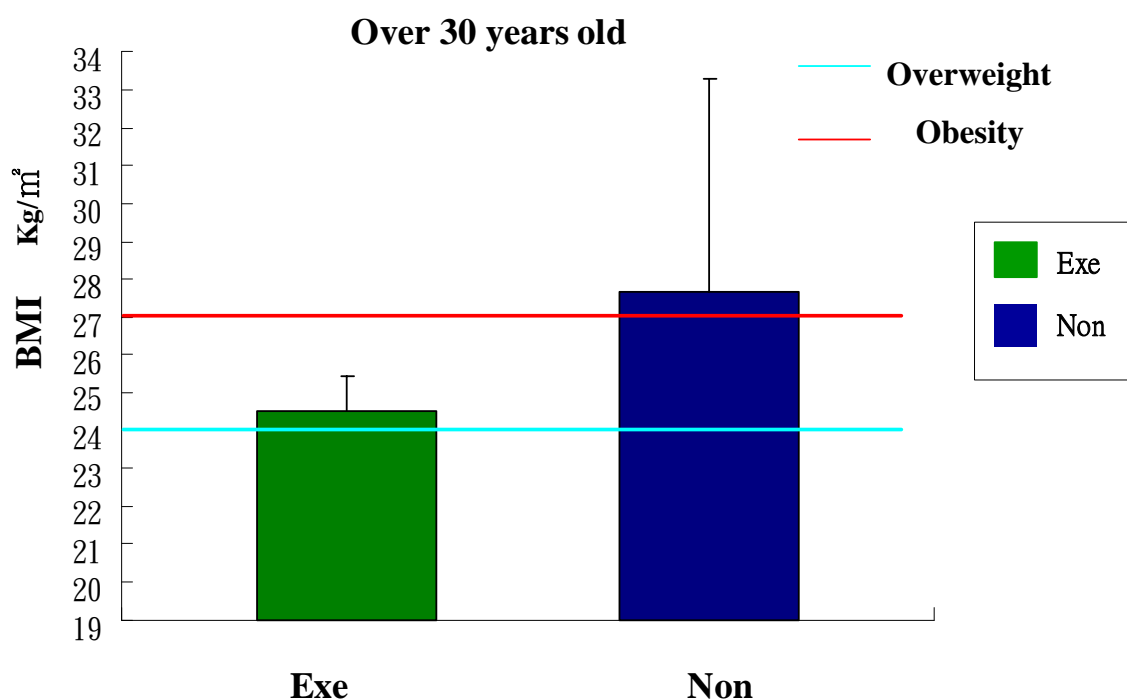
圖 11. 30 歲以下組身體質量指數量化圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組

運動習慣組 BMI 平均值 23.4 正常體重；無運動習慣組 BMI 平均值 24.1 體重過重。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group

The average of BMI in exercise group 23.4, normal weight ; The average of BMI in non-exercise group 24.1, overweight.



**圖 12. 30 歲以上組身體質量指數量化圖**

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組

運動習慣組 BMI 平均值 24.5 體重過重；無運動習慣組 BMI 平均值 27.7 體重肥胖。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group

The average of BMI in exercise group 24.5, overweight ; The average of BMI in non-exercise group 27.7, obesity.

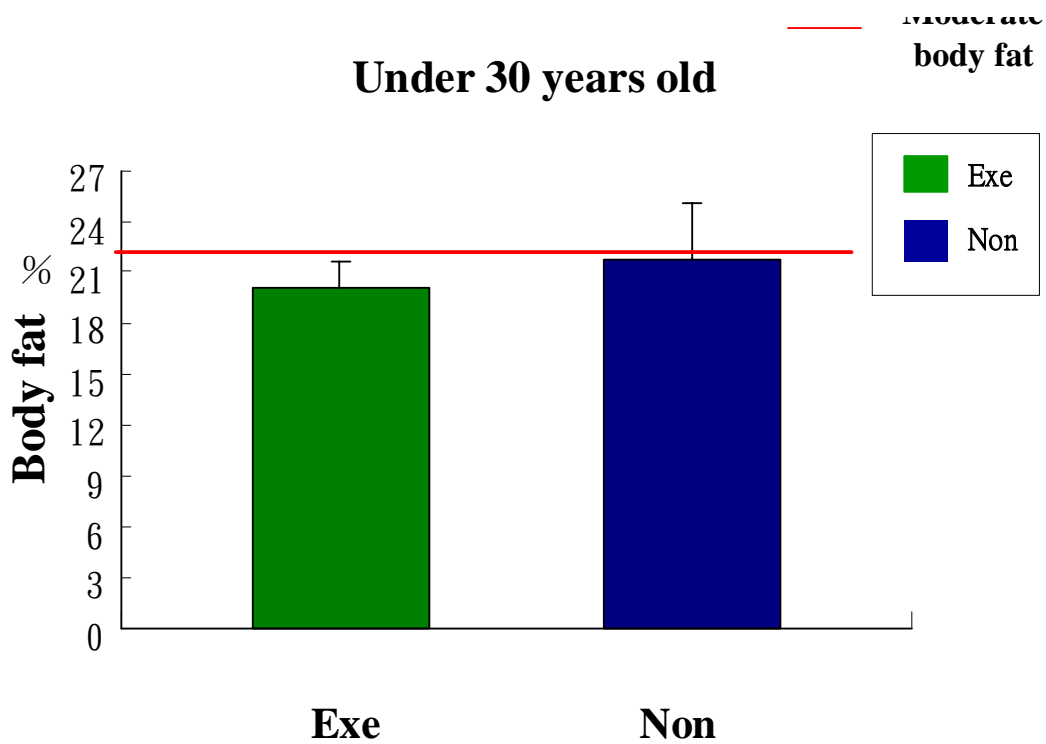


圖 13. 30 歲以下組體脂肪量化表

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組

運動習慣組體脂肪平均值 20.1% 正常範圍；無運動習慣組體脂肪平均值 21.8% 正常範圍，但略高於運動習慣組。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group

The average of body fat% in exercise group 20.1%, normal range ; The average of body fat% in non-exercise group 21.8%, normal range, a little bit higher than exercise group.

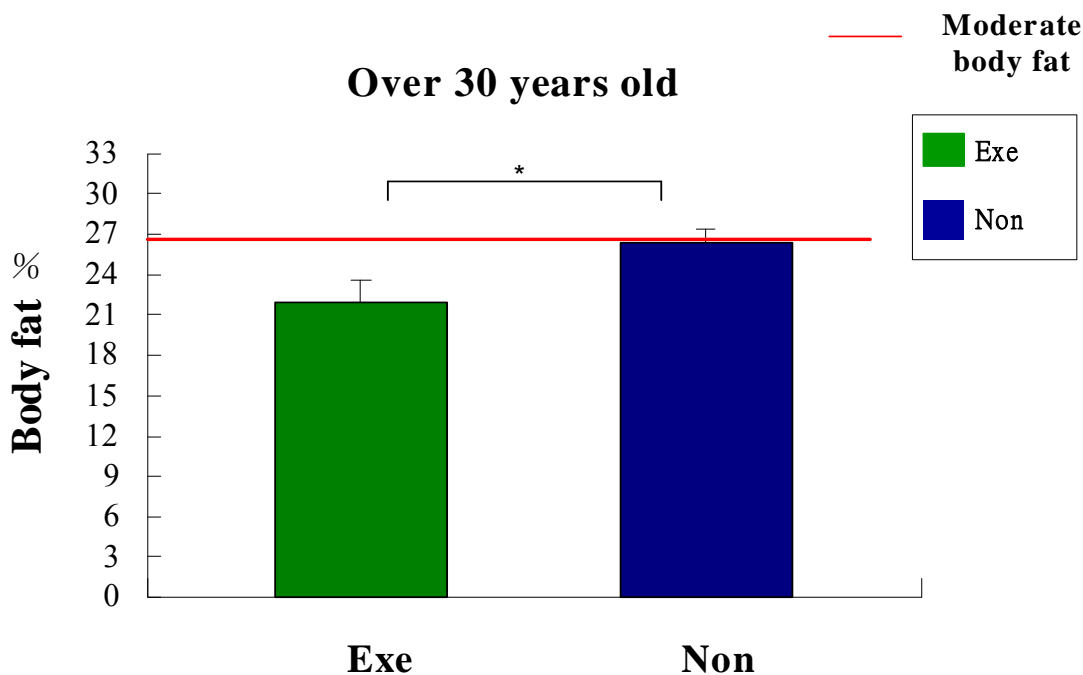


圖 14. 30 歲以上組體脂肪量化圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組；\* 運動習慣組 v.s 無運動習慣組 ,  $P < 0.05$   
 運動習慣組體脂肪平均值 22.0% 正常範圍；無運動習慣組體脂肪平均值 26.4% 正常範圍，但已接近正常值上限。兩組比較有顯著差異。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group; \* exercise v.s non-exercise ,  $P < 0.05$

The average of body fat% in exercise group 22.0%, normal range ; The average of body fat% in non-exercise group 26.3%, normal range, but very close to the normal limitation . There is a significant difference.

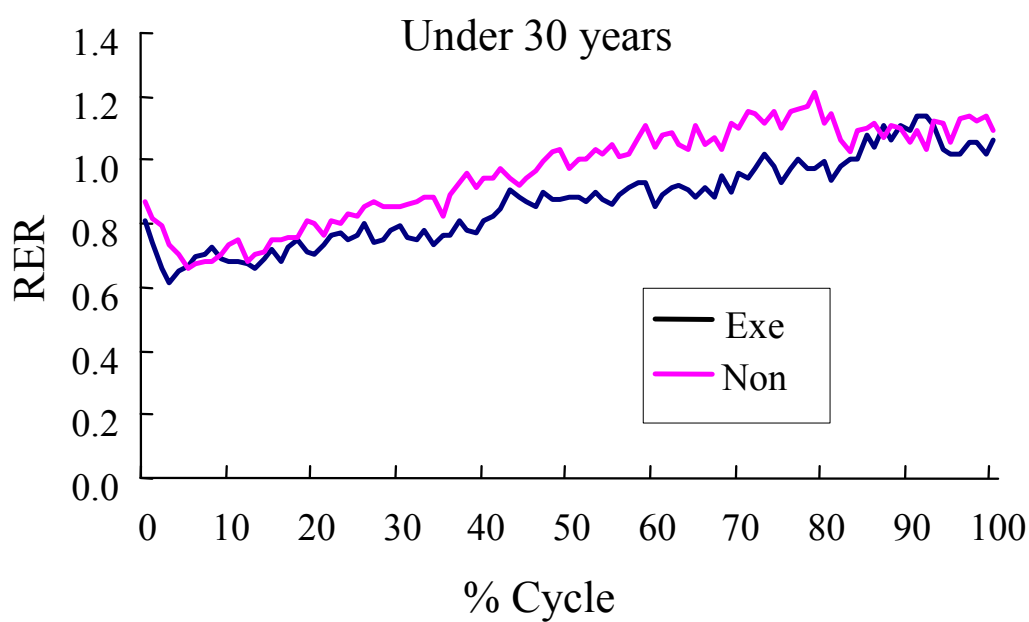


圖 15. 30 歲以下組呼吸交換率趨勢圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組

兩組呼吸交換率皆隨著運動強度增加而上升，無運動習慣組增加的趨勢較為明顯。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group

The respiratory exchange ratio were increased by exercise intensity in both groups, but the change of non-exercise group more significant than exercise group.



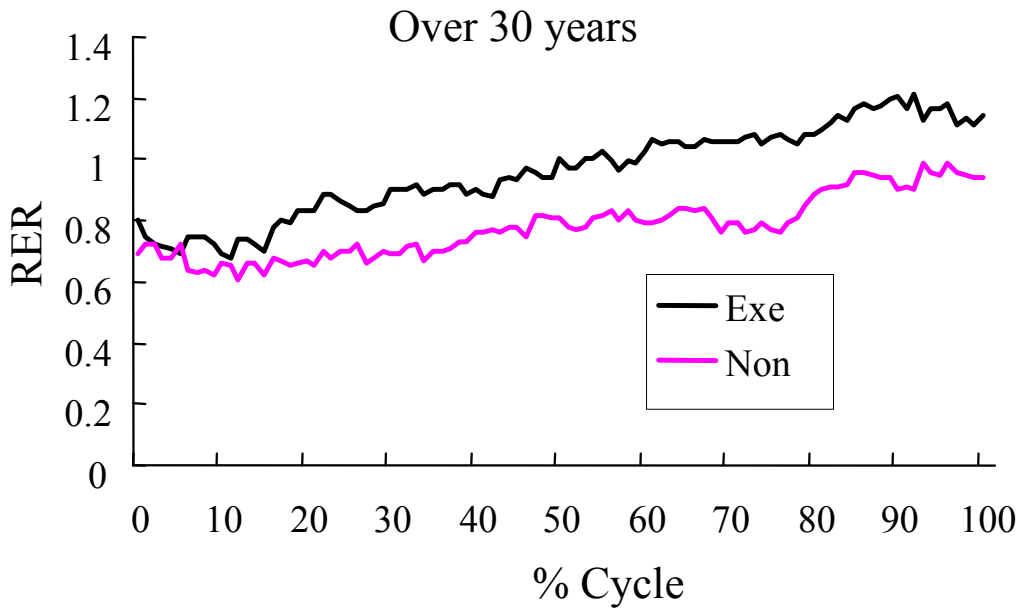


圖 16. 30 歲以上組氣體交換率趨勢圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組

兩組呼吸交換率皆隨著運動強度增加而上升，無運動習慣組增加的趨勢較為明顯。

30 歲以上組的運動周期時間較 30 歲以下組短。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group

The respiratory exchange ratio were increased by exercise intensity in both groups, but the change of non-exercise group more significant than exercise group.

The exercise duration of over 30 yr group was shorter than under 30yr group.

### Over 30 yr before AT

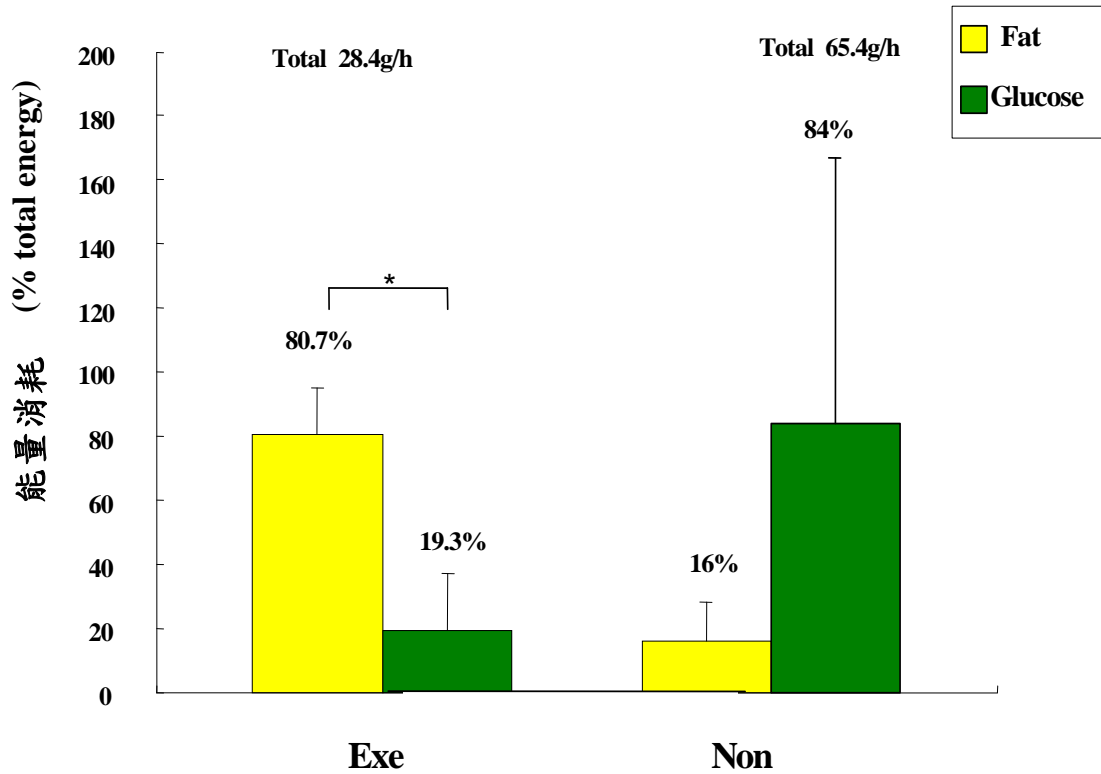


圖 17. 30 歲以上組無氧閾值前能量消耗圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組；無氧閾值前能量消耗的紀錄，是以達到無氧閾值的前 30 秒當作紀錄能量消耗多寡的時間點。

在無氧閾值前，運動習慣組以脂質為主要能量來源；無運動習慣組以葡萄糖為主要能量來源，但有少量的脂質被利用。

Exe, exercise group; Non, non-exercise group; it recorded energy source at 30sc before AT to evaluate energy consumption.

Before anaerobic threshold, exercise group used more fat as an energy source; non-exercise group used more glucose as an energy source, and used a few fat as an energy source.

## Over 30 yr after AT

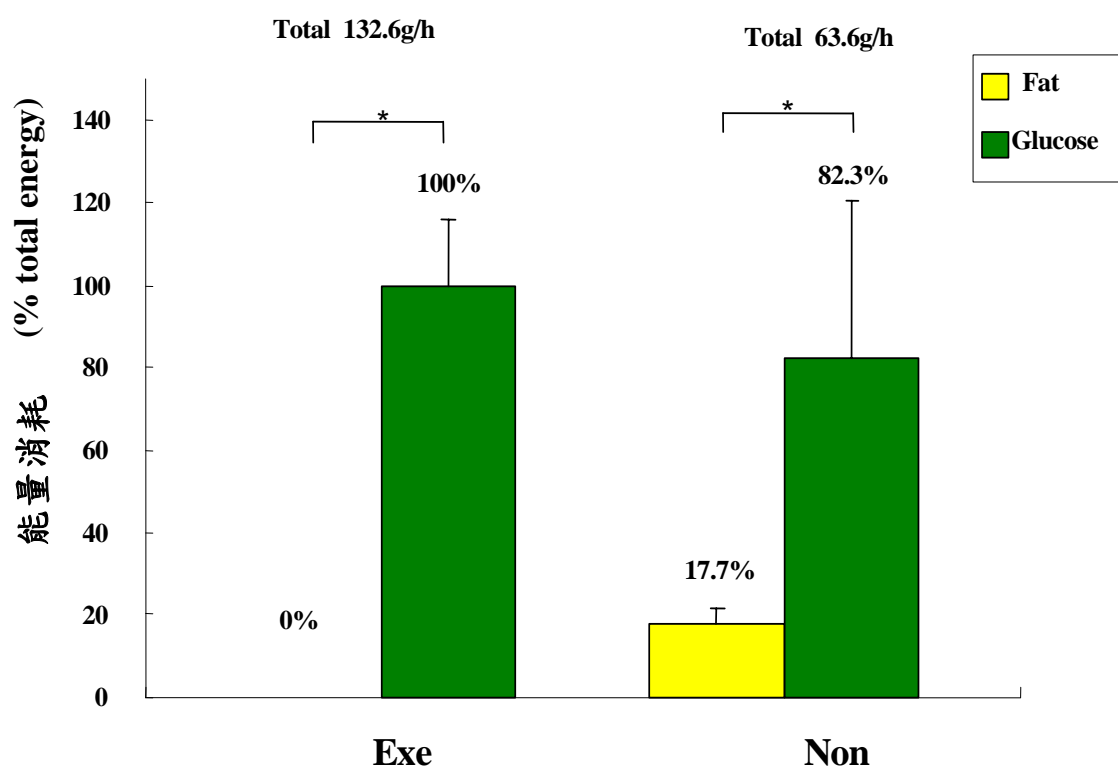


圖 18. 30 歲以上組無氧閾值後能量消耗圖 \*,  $P < 0.05$

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組；無氧閾值後能量消耗的紀錄，是以達到最大耗氧量的時間點當作紀錄能量消耗多寡的情形時間點。

在無氧閾值後，運動習慣組以葡萄糖為主要能量來源；無運動習慣組以葡萄糖為主，但也少量使用到脂質當作能量來源。

Exe, exercise group; Non, non-exercise group; it recorded energy source when subjects reached  $VO_{2peak}$  to evaluate energy consumption.

After anaerobic threshold, exercise group used more glucose as an energy source; non-exercise group used more glucose but still used a few fat as an energy source.

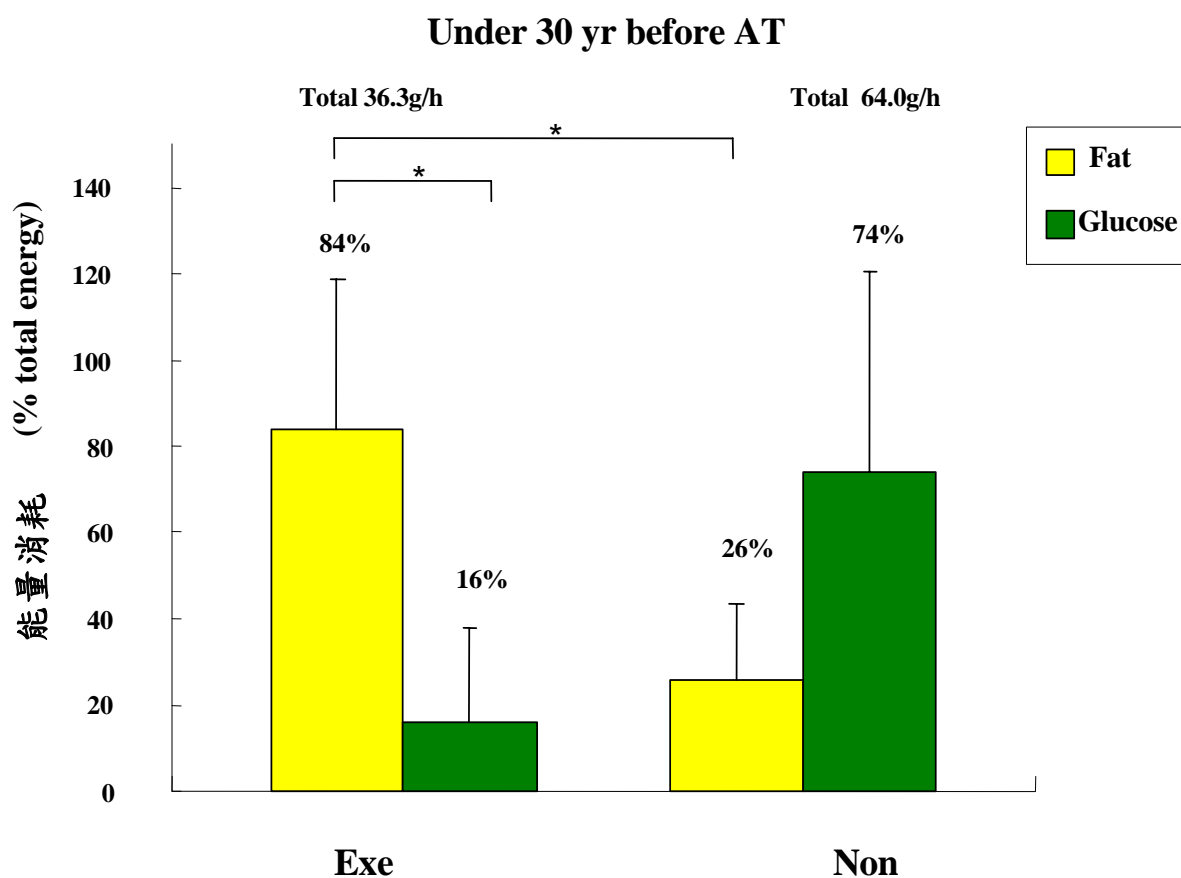


圖 19. 30 歲以下組無氧閾值前能量消耗圖

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組；無氧閾值前能量消耗的紀錄，是以達到無氧閾值的前 30 秒當作紀錄能量消耗多寡的時間點。

在無氧閾值前，運動習慣組以脂質為主要能量來源，少量使用到葡萄糖；無運動習慣組也是以脂質為主要能量來源，但較多葡萄糖參予能量的提供。

Exe, exercise group; Non, non-exercise group; it recorded energy source at 30sc before AT to evaluate energy consumption.

Before anaerobic threshold, exercise group used more fat as an energy source, and used less glucose; non-exercise group used more fat as an energy source also, but used glucose more than exercise group.

## Under 30 yr after AT

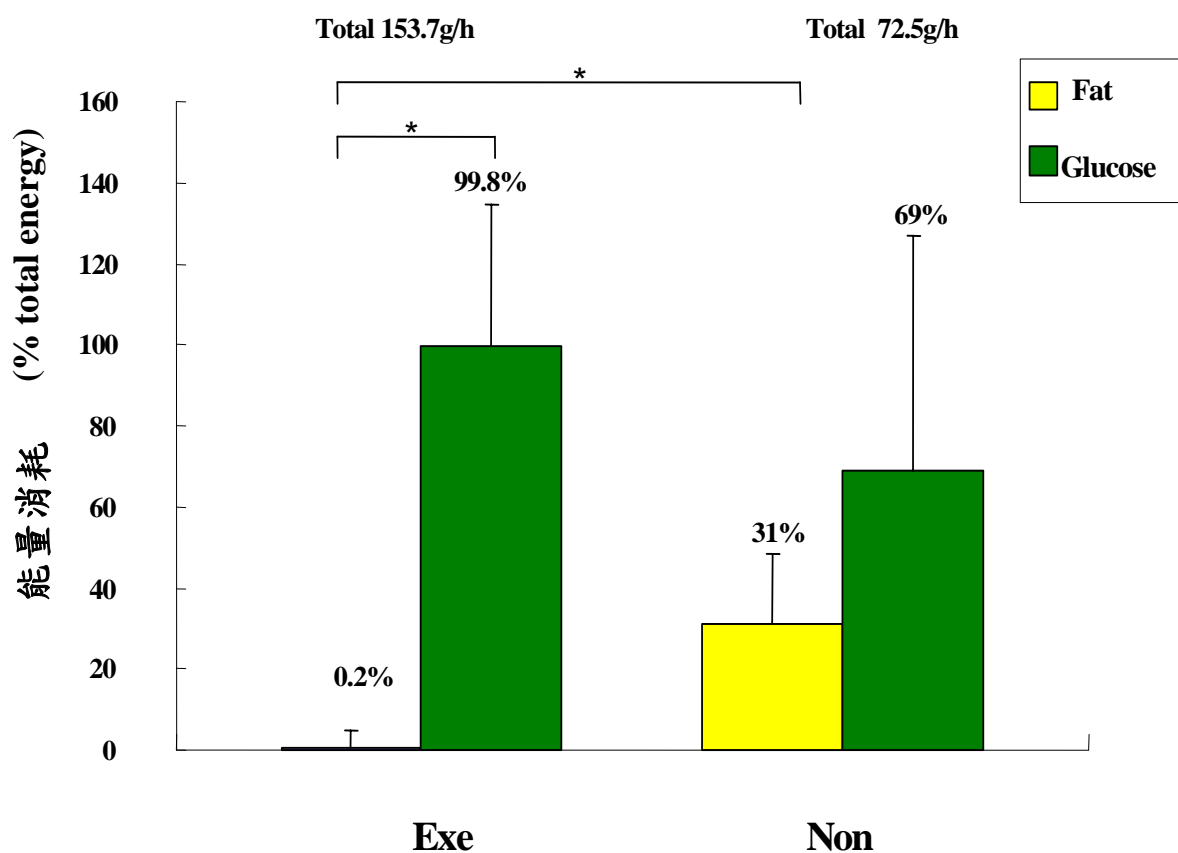


圖 20. 30 歲以下組無氧閾值後能量消耗圖 \*,  $P < 0.05$

Exe, 運動習慣組；Non, 無運動習慣組；無氧閾值後能量消耗的紀錄，是以達到最大耗氧量的時間點當作紀錄能量消耗多寡的情形時間點。

在無氧閾值後，運動習慣組以葡萄糖為主要能量來源，很少量的利用到脂值；無運動習慣組以葡萄糖為主，但也使用到脂質當作能量來源。

Exe, exercise group ; Non, non-exercise group; it recorded energy source when subjects reached  $VO_2$  peak to evaluate energy consumption.

After anaerobic threshold, exercise group used more glucose as an energy source; non-exercise group used more glucose but still used a few fat as an energy source.

BMI & Glucose樣本迴歸線圖

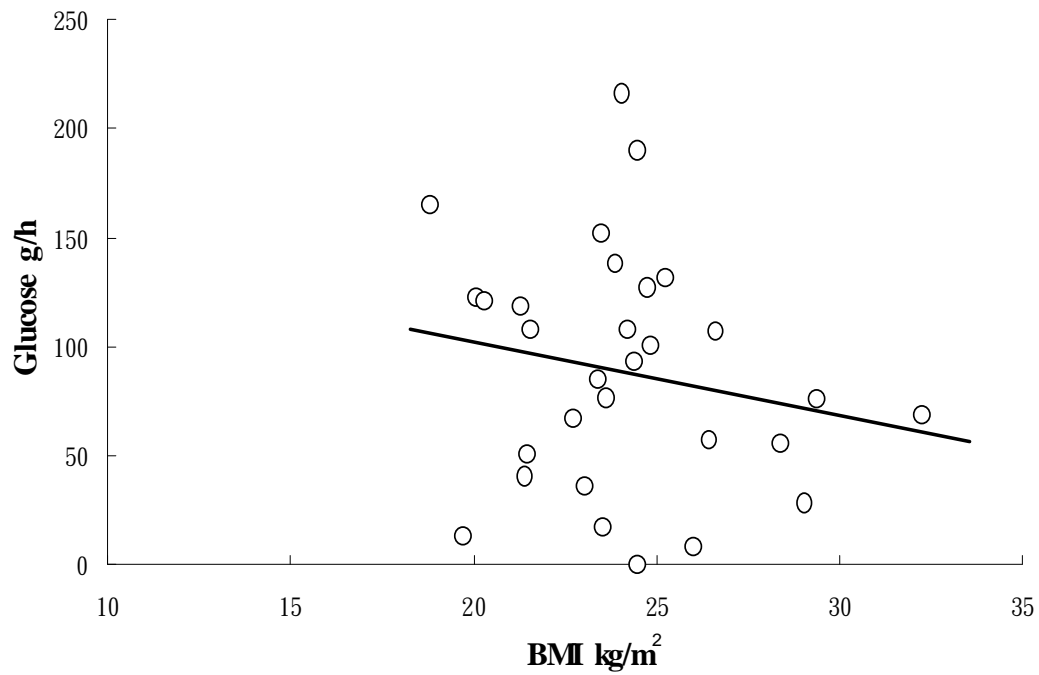
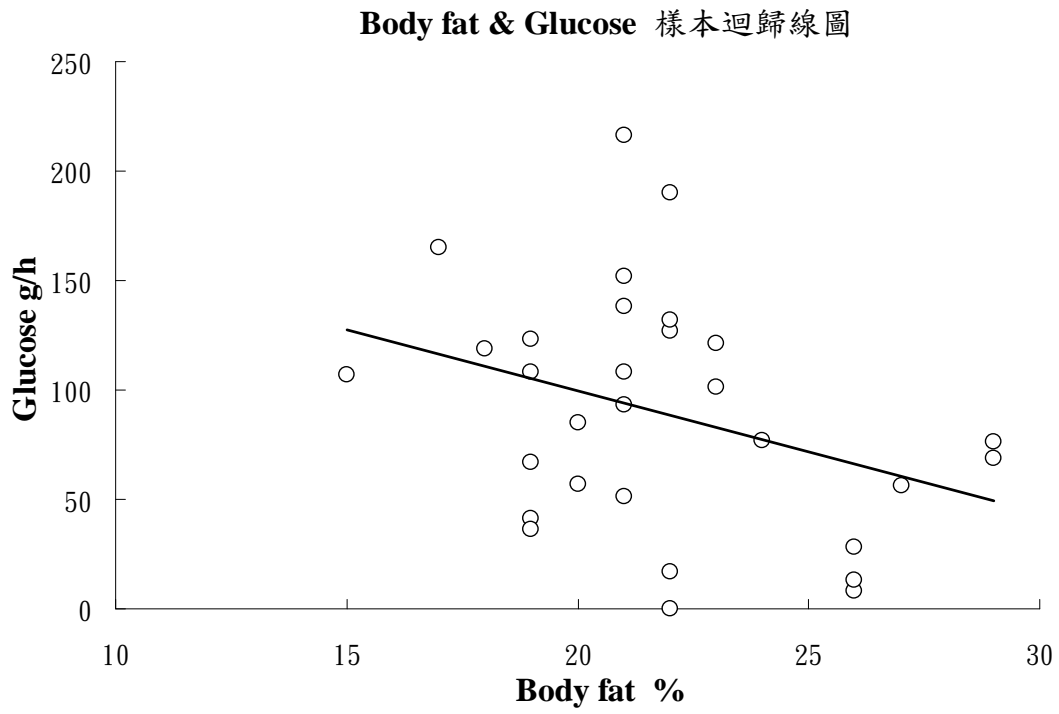


圖 21. BMI 和葡萄糖消耗相關性比較圖  $r = 0.193$  ;  $P = 0.306$

經由相關性比較後，發現身體質量指數和葡萄糖的消耗並無顯著相關性。

There is no significant relationship between BMI and glucose consumption.



**圖 22. 體脂肪和葡萄糖消耗相關性比較圖**  $r = 0.345$  ;  $P = 0.061$   
 經由相關性比較後，發現體脂肪百分比和葡萄糖的消耗並無顯著相關性。  
 There is no significant relationship between body fat% and glucose consumption.

## 第五章、討論

### 第一節、結果討論

本研究結果顯示規律運動習慣者在低強度的運動狀態以利用脂肪代謝為主，隨著運動強度的增加脂肪代謝量減少，高強度的運動狀態轉由以葡萄糖代謝為主，和研究假設相一致。然而，對於無規律運動習慣者從低強度到高強度運動皆以葡萄糖的代謝為主。而結果也顯示個人的體脂肪及身體組成對能量來源的使用沒有明顯相關性，和研究假設一致。

研究顯示有規律運動習慣者，呼吸交換率在無氧閾值前(before AT)的為 0.72-0.74，而在無氧閾值後(after AT)為 1.03-1.04，這結果和先前的研究相一致(林正常, 1997; Powers and Howley, 2001)。在高強度運動能量來源幾乎為葡萄糖為主，因此，呼吸交換率判斷皆會在 1.0；而低強度的運動(無氧閾值前)能量來源以脂肪為主，其呼吸交換率判斷會接近 0.7(林正常, 1997; Powers and Howley, 2001)。過去研究提到，當呼吸交換率較低時，身體會消耗較多的脂質來當作能量消耗的來源(Calvin et al., 2005; Michael et al., 2007; Tracy et al., 2006)；呼吸交換率會隨著運動強度的增加而上升(Calvin et al., 2005)，轉換以消耗葡萄糖來當作能量的來源(Melissa et al., 2004)。本研究也發現，在運動過程中，呼吸交換率和葡萄糖代謝量(% total energy)呈現明顯的正相關( $r=0.758$ ,  $p<0.01$ )和脂肪



代謝量呈負相關。而對於無規律運動習慣者，在無氧閾值前其呼吸交換率較大為 0.87-0.93，此時能量消耗以葡萄糖代謝佔優勢(>30 歲, glucose: fat=84:16; <30 歲, glucose: fat=74:26)；雖我們沒測最大脂肪代謝率，但透過過去研究顯示無運動的肥胖者最大脂肪代謝率(maximal fat oxidation, MFO)在 42%  $VO_{2max}$  (Dériaz et al., 2001)和 30%  $VO_{2max}$  (Pérez-Martin et al., 2001)有提前情況，而我們前測的時間點是在無氧閾值前 30 秒，可能已超過最大脂肪代謝率，造成葡萄糖大於脂肪代謝，這可說明在無氧閾值前，其呼吸交換率達到約 0.9 的原因。

經由實驗結果發現確實在不同的運動強度下，所消耗的能量來源不同。規律運動習慣者在無氧閾值出現前使用脂質；無氧閾值出現後使用葡萄糖為主，這和過去研究有一致的結果(Brooks , 1997; Gray et al., 2000 ; Romijn et al., 2000 ; Luc, 2004 ; Dorien et al., 2002)。無氧閾值前代表低強度的運動狀態以利用脂質為主；隨著運動強度的增加脂肪代謝量減少，到達無氧閾值後，其代表高強度的運動狀態，此時轉由以葡萄糖的代謝為主(Romijn et al., 1993 ; Van Loon et al., 2001)。這可能的原因是，運動時作用肌肉主要脂肪來源是由長鏈游離脂肪酸(free fatty acids, FFAs)從皮下脂肪組織(adipose tissue)傳送到肌肉，另一個脂肪來源是肌肉三酸甘油酯(triacylglycerol, TG)內游離脂肪酸的釋放的結果(Lawrence, 2002)。規律運動者保有較高之肌肉量使身體基礎代謝量提高，能源供

應較不易供過於求，因而有研究顯示跑者在靜止休息狀態，脂肪燃燒比例較坐式生活者高(Romijn et al., 1993)。然而，隨著運動強度逐漸地增加，會有愈多的快肌纖維(fast-twitch fiber, FT)被徵召，而快肌纖維中本身含有豐富的醣解酵素(glycolytic enzymes)，卻只有較少的粒線體和脂肪分解酶(Green et al., 1979)；而當達高強度運動時，肌肉會大量進行醣解作用、降低 pH 值，進而抑制長鏈游離脂肪酸運送到粒腺體中進行氧化作用，而乳酸堆積的增加也抑制脂肪組織釋放游離脂肪酸(Lawrence, 2002)，導致有較佳的醣類代謝，而降低脂肪代謝能力。因此，有規律運動的人在無氧閾值前的運動以脂肪代謝為主，在超過無氧閾值後的運動幾乎完全由葡萄糖的代謝為主。

無規律運動習慣者，在無氧閾值前後的能量消耗以葡萄糖代謝為主。結果顯示無規律運動習慣者運動以葡萄糖的代謝為主(AT 前: 葡萄糖/脂肪=4.1; AT 前: 葡萄糖/脂肪=3.4)，這和過去研究結果相一致(Gary et al., 2000; Elizabeth et al., 2007; Joseph et al., 2007)。過去研究有指出，和規律運動習慣者相比較，無規律運動習慣者會偏向使用無氧的醣解系統來當作能量分解的途徑(Gary et al., 2000; Elizabeth et al., 2007; Joseph et al., 2007)。這是由於無規律運動習慣者生活型態偏向坐式生活型態，在這型態下骨骼肌會減少有氧酵素的活動能力(Chi et al., 1983)；有氧酵素活動能力的好壞，主要和粒線體的密度、大小及線粒體 DNA

(mitochondrial DNA, mtDNA) 的多寡有關係(Hoppeler H and Fluck, 2003; Irrcher et al., 2003; Weibel and Hoppeler, 2005)。而酵素活動量減少的結果，將導致 mtDNA 減少，造成偏向以無氧的醣解系統來提供能量，這是為何無規律運動習慣者在運動強度低時(無氧閾值前)的能量以葡萄糖為主要的代謝原因。過去研究指出，規律運動習慣者的心肺適能較佳，且無氧閾值出現時間較晚，而無氧閾值和脂質氧化的高峰有正相關(Jeukendrup and Achten, 2001)；而無規律運動習慣者，心肺適能和脂質氧化高峰不相關，脂質氧化的高峰又出現在無氧閾值後(Astorino, 2000)。雖然無氧閾值出現的時間點較早，然而當進入無氧運動的狀態，呼吸交換率卻還處在較低的情形，因此，在能量來源的使用上還是會使用到脂肪(Calvin et al., 2005; Michael et al., 2007; Tracy et al., 2006)，造成在無氧閾值後仍有脂肪的消耗情形。因此，無規律運動習慣者在無氧閾值前後的能量消耗皆以葡萄糖代謝為主，但也包含一定比例的脂肪代謝。

有規律運動習慣者在無氧閾值後(153.7 g/h)的總能量消耗遠大於無氧閾值前(36.3 g/h)；無規律運動習慣者無氧閾值前後總能量消耗則無明顯差異；而規律運動習慣者於無氧閾值後的總能量消耗明顯大於無規律運動習慣者。過去的研究指出，從有氧運動進入無氧運動後，會消耗更多的能量，而能量的來源是以醣類的利用為主(Christopher, 1999)。規律

運動習慣者，在有氧運動時會減少能量的代謝；而進入無氧運動後能量的消耗才上升以提供肌肉活動的使用(Foster et al., 2003)。因此，運動強度低時，身體所需徵召(recruitment)的肌纖維較少，同時以慢肌的使用為主；當運動強度增強時，會徵召較多的肌纖維，同時已使用快肌為主(Willmore and Costill, 2004; Altenburg et al., 2007)。當運動強度增加，肌肉收縮頻率增加，而使用的肌群血液的循環量會減少，導致必須依賴肌肉本身所儲存的肝醣為能量來源(Kang et al., 2004)。而對於無規律運動習慣者在相同強度下，需徵召較多的肌纖維來持續運動，運動強度愈大徵召肌纖維愈多來產生更大的力量(Willmore and Costill, 2004; Altenburg et al., 2007)。因此，在高強度運動下，無規律運動習慣者能持續運動的時間較為短暫，肝醣儲存也較少，造成在無氧閾值前後所消耗的量差異並不大。而規律運動習慣者在較高強度運動下，粒線體對醣類的氧化作用大於脂質(Frédéric et al., 2008; Tremblay et al., 1994)，肌纖維被大量徵招，而能夠被利用的肝醣較多，因此，不論是在哪個年齡層，無氧閾值後的總能量消耗遠遠超過無氧閾值前的總能量消耗，而且規律運動習慣者於無氧閾值後的總能量消耗明顯大於無規律運動習慣者。

能量來源的使用並沒有受到年紀的影響(Edward et al., 2007)。在本研究中不同年紀的兩個族群身上呈現同樣的趨勢。和過去研究比較發現，在本研究中規律運動習慣可以幫助身體明確的在不同的運動強度下

使用不同的能量來源(Jason et al., 2007; Michael et al.,2007)。

在BMI與體脂肪方面，經過相關性的統計分析發現不論年紀的因素，身體對能量來源的使用並不受這兩個因素影響。過去研究指出，受試者在接受相同的運動測試過後，都會達到類似的 $VO_{2max}$ ，因此，體重並不會影響能量的使用(Melissa et al., 2004)，也不會改變血脂肪濃度(Milani and Lavie, 1995; Rowland et al., 1996)，能量的消耗主要和運動及飲食控制有關(Edward et al., 2002)。而過去有研究也指出，BMI可以當作預測體脂肪及能量消耗的指標，BMI和能量代謝有相關性存在(Baker, 2005)，因此，身體組成會影響能量的代謝(Romijn et al.,1993; Nicole et al., 2001)。而運動會促進血漿中的正腎上腺素濃度增加，造成葡萄糖被身體氧化利用(Wojtaszewski et al. 2003)；在肥胖者運動所消耗的能量會比正常體重要多(Wayne et al., 1990)。在過去研究中，BMI或體脂肪對能量的消耗造成影響的說法並不明確；由於本實驗對象BMI和體脂肪指數大多數都在正常範圍，因此，經過相關性的統計結果並無顯著的相關性。

## 第二節、其它相關性討論

在不同運動訓練的運動員身上，耐力訓練的運動員在能量系統的使用上會偏向以有氧的系統為主；而在爆發力運動訓練的運動員則會以無氧的能量系統為主(Calbet, et al., 2003; Sidney et al., 2005)。本實驗的受試

者有規律運動習慣的人，大部分在運動的項目方面多半都會以有氧運動以及無氧運動兩種運動的模式參半。因此，在肌肉組成上，可能慢肌、快肌所佔的差別並不會像單一訓練方式的運動員來的那麼明顯。而在肥胖的人身上，有研究指出，經過運動的訓練同時配合飲食的控制，可以有效降低身體質量、體脂肪百分比，同時不會減少瘦肉組織(lean body mass)的重量，在基礎代謝率方面也不會跟著下降，因此，藉由運動配合節食可以達到良好的減重效果(Kraemer et al.,1997)。在運動的處方裡面以有氧運動搭配阻力訓練可以在一段時間的訓練過後，提升心肺適能及肌力增強的效果，儘管身體的重量有所下降，但體適能卻是向上提升的(ACSM, 2001)。身體質量的下降可能包括水份的流失，脂質的減少、或者蛋白質的分解，而後者發生的情形更是少見，在運動的過程中，以水份的流失及脂質的減少是達到減重效果的原因；在關於脂質減少的研究中，經過走路運動的訓練，可以促進體重下降、體脂肪下降，同時在內臟脂肪也會有所減低，經過分析後還發現，內臟脂肪的降低還對於身體的最大耗氧量有所增加，幫助提升心肺適能，同時減低罹患心血管疾病的風險(Nicole et al.,2001)。

運動後節食又牽連到另外一個難題，運動後為避免攝取過多食物而採取節食的方法，一段時間的節食可能會對食慾有所影響。有研究針對食慾和運動之間的關聯性探討，發現從胃或身體其他組織的內皮細胞分

泌一種激素稱為食慾素(ghrelin)，而這個激素和食慾的產生有關；而受試者在接受中強度的運動一個小時後，採集受試者血漿中食慾素的濃度有所下降，這是由於運動時飢餓的感覺以及食慾素的分泌被抑制，因此，降低食慾的產生(Broom et al.,2007)。這方面的研究也許可以幫助在食慾的控制方面有了更好的方法，進而在藉由運動來減重的效果上有所提升。

### 第三節、 研究限制

本研究受限的地方主要還是在受試者的身上。首先在飲食方面，每個受試者的飲食習慣不盡相同，長期的飲食習慣也許對能量的代謝及消耗有影響(Edward et al., 2002)，但對於受試者的飲食習慣難以控制，在這方面也沒有一個飲食的標準，有無運動習慣也許在飲食上的攝取也會有所不同，所以在執行上有一定的難度。

另外，在年紀方面，由於老年人的受試者較不易尋找，同時考慮到健康及安全的因素。因此，本實驗沒有針對此一老年的族群進行研究，而且大部分的老年人運動的習慣也都以較低強度的運動為主，如走路、跳舞、氣功等等，所以在本實驗的規律運動條件方面，也許也較不易達到標準，同時本實驗的運動測試強度增加的速率可能會增加風險，所以較難針對每個年齡層的族群來進行實驗。

本研究所有的受試者皆為健康無特殊疾病的人，所以在接受運動測試上面，安全性較高，因此實驗的結果只限制於健康的人身上所觀察到的情形，在一些有特殊疾病如糖尿病、高血壓、心臟病等等的人身上，如何藉由運動來促進健康還必須有更安全及完善的實驗方式後，才能給予更進一步的運動建議。





## 第六章、結論與建議

### 第一節、結論

本研究結果顯示規律運動習慣者在低強度的運動狀態以利用脂肪代謝為主，隨著運動強度的增加脂肪代謝量減少，高強度的運動狀態轉由以葡萄糖代謝為主；然而，對於無規律運動習慣則從低強度到高強度運動皆以葡萄糖的代謝為主；而規律運動習慣者於無氧閾值後的總能量消耗明顯大於無規律運動習慣者。呼吸交換率和能量消耗呈現明顯的相關性，其可用來評估運動時能量消耗的情形。而個人的體脂肪及身體組成對能量來源的使用沒有明顯相關性。本研究也建議無規律運動習慣者在高低強度運動也無法有效燃燒脂肪，因此，規律運動後可促進新陳代謝、提升體適能，並可改善能量來源的消耗情形。

### 第二節、建議

由於本實驗有針對身體質量指數及體脂肪和能量來源的使用作比較，但是在身體質量指數方面已經慢慢有研究開始使用量測腰圍的大小來幫助判斷身體肥胖的標準，因此在後續的研究可以增加腰圍這個部位的測量。而在體脂方部分由於實驗場所及為了讓受試者在實驗過程的方便，所以採用最容易操作的生物電阻方法來進行體脂測量，這對於體脂的測量準確度相對來說就無法達到相當的精確，所以在體脂的測量方

面，如果各方面條件許可的話，建議使用水中秤重法(hydrostatic weighing)，同時配合由美國 ACSM 所建議的量測時間來進行測量(Heath et al., 1998; Shinichi et al., 2008)。因此在這兩方面如果能夠更加仔細的測量到更正確的數值，就能幫助提升實驗的縝密性及準確度，在結果的分析方面也就可以有更科學的根據。



## 參考文獻

林正常：運動生理學。台北市：亞太圖書，1997。

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：pp.363-373。

衛生署(2004)。衛生統計資料表主要死亡原因標準化死亡率之國際比較。台北市：行政院衛生署。

Altenburg TM, Degens H, Van Mechelen W, Sargeant AJ, De Haan A. Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise. *J Appl Physiol* 2007;103:1752-1756.

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

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

Arkininstall MJ, Tunstall RJ, Cameron-Smith D, Hawley JA. Regulation of metabolic genes in human skeletal muscle by short-term exercise and diet manipulation. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004;287:E25-E31.

Astorino TA. Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:209-216.

Aunola S, Rusko H. Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci* 1992;10:309-323.

Baker MZ. Energy Requirements, Prediction of Body Fat and Weight Status Analysis of Nursing Students in Gaza Strip. *Pakistan Journal of Nutrition* 2005;4:202-207.

Ball-Burnett M, Green H, Houston M. Energy metabolism in human slow and fast twitch fibers during prolonged cycle exercise. *J Physiol* 1991;437:257-267.

Banz WJ, Maher MA, Thompson WG, Bassett DR, Moore W, Ashraf M,

Keefer DJ, Zemel MB. Effects of resistance versus aerobic training on coronary artery disease risk factors. *Exp Biol Med* 2003;228:434-440.

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.

Beneke R, Heck H, Schwarz V, Leithauser R. Maximal lactate steady state during the second decade of age. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1474-1478.

Brooks GA. Importance of the crossover concept in exercise metabolism. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 1997;24:889-895.

Broom DR, Stensel DJ, Bishop NC, Burns SF, Miyashita M. Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *J Appl Physiol* 2007;102:2165-71.

Burke V, Mori TA, Giangiulio N, Gillam HF, Beilin LJ, Houghton S, Cutt HE, Mansour J, Wilson A. An innovative program for changing health behaviours. *Asia Pac J Clin Nutr* 2002;11 (Suppl 3):S586-S597.

Calbet JAL, De Paz JA, Garatachea N, De Vaca SC, Chavarren J. Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. *J Appl Physiol* 2003;94:668-676.

Calvin CK, Jill AF, Gregory CH, George AB. Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *J Appl Physiol* 2005;99:349-356.

Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 1985;100:126-131.

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.

Chi MM, Hintz CS, Coyle EF, Martin WH 3rd, Ivy JL, Nemeth PM, Holloszy JO, Lowry OH. Effects of detraining on enzymes of energy metabolism in individual human muscle fibers. *Am J Physiol Cell Physiol* 1983;244:C276-C287.

Christopher BS. Oxygen deficit and slow oxygen component relationships between intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci* 1999;17:951-956.

Christopher BC, Seals DR, Monroe MB, Day DS, Shapiro LF, Johnson DG, Jones PP. Tonic Sympathetic Support of Metabolic Rate Is Attenuated with Age, Sedentary Lifestyle, and Female Sex in Healthy Adults. *J Clin Endocrinol Metab* 2001;86:4440-4444.

Clark AL, Volterrani M, Piepoli M, Coats AJS. Factors which alter the relationship between ventilation and carbon dioxide production during exercise in normal subjects. *Eur J Appl Physiol* 1996;73:144-148.

Croonen F, Binkhorst RA. Oxygen uptake calculated from expiratory volume and analysis only. *Ergonomics* 1974;17:113-117.

Dawson B, Straton S, Randal N. Oxygen consumption during recovery from prolonged submaximal cycling below the anaerobic threshold. *J Sports Med Phy Fit* 1996;36:77-84.

Denadai BS, Figuera TR, Favaro ORP, Gonçalves M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Braz J Med Biol Res* 2004;37:1551-1556.

Dériez O, Dumont M, Bergeron N, Després JP, Brochu M, Prud'homme D. Skeletal muscle low attenuation area and maximal fat oxidation rate during submaximal exercise in male obese individuals. *Int J Obes* 2001;25:1579-1584.

Dohm GL, Israel RG, Breedlove RL, Williams RT, Ashew EW. Biphasic changes in 3-methylhistidine excretion in human after exercise. *Am J Physiol* 1985;284:E588-E592.

Dorien PC van Aggel-Leijssen, Wim HM Saris, Anton JM Wagenmakers, Joan M Senden, Marleen A Van Baak. Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *J Appl Physiol* 2002; 92: 1300-1309.

Edward PW, Susan BR, Dennis TV, Luigi F, Karen SM, Kenneth BS, Samuel K, Ali AE, John OH, Washington University School of Medicine CALERIE Group. Lower extremity muscle size and strength and aerobic capacity decrease with caloric restriction but not with exercise-induced weight loss. *J Appl Physiol* 2007;102:634-640.

Elizabeth VM, Vladimir BR, Robert EF, Koichiro A, Bret HG, David EK. Characteristics of skeletal muscle mitochondrial biogenesis induced by

moderate-intensity exercise and weight loss in obesity. *J Appl Physiol* 2007; 103:21-27.

Fagard RH. Exercise is good for blood pressure: effects of endurance training and resistance training. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2006;33:853-856.

Foster C, De Koning JJ, Hettinga F, Lampen J, La Clair KL, Dodge C, Bobbert M, Porcari JP. Pattern of Energy Expenditure during Simulated Competition. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:826-831.

Frédéric ND, Joffrey Z, Elodie P, Stéphane PD, Stéphane D, Evelyne L, Renée VC, Bertrand M, François P, Bernard G, Ruddy R. Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2008;104:1436-1441.

Gary RH, Carla JW, David AF, Amanda B, Marcas M B. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 2000;89:977-984.

Gortmaker SL, Must A, Sobol AM, Peterson K, Colditz GA, Dietz WH. Television viewing as a cause of increasing obesity among children in the United States, 1986 - 1990. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1996;150:356-362.

Green HJ, Thomson JA, Daub WD, Houston ME, Ranney DA. Fiber composition, fiber size and enzyme activities in vastus lateralis of elite athletes involved in high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* 1979;41:109-117.

Havemann L, West SJ, Goedecke JH, Macdonald IA, St Clair Gibson A, Noakes TD, Lambert EV. Fat adaptation followed by carbohydrate loading compromises high-intensity sprint performance. *J Appl Physiol*, 2006;100:194-202.

Heath EM, Adams TD, Daines MM, Hunt SC. Bioelectric impedance and hydrostatic weighing with and without head submersion in persons who are morbidly obese. *J Am Diet Assoc* 1998;98:869-875.

Helen C, Andrew MJ, Thmos JB, Mark B, Craig W, Jonathan HD. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol* 2000;89:1744-1752.

Hoppeler H, Fluck M. Plasticity of skeletal muscle mitochondria: structure and function. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:95-104.

Hsu CC, Wong KM. Principles of Exercise Prescription for the Elderly. *Formosan J Med* 2003;1.7:396-403.

Irrcher I, Adhihetty PJ, Joseph AM, Ljubicic V, Hood DA. Regulation of mitochondrial biogenesis in muscle by endurance exercise. *Sports Med* 2003;33:783–793.

Jason LT, Stuart DRG, George JFH, Arend B, Lawrence LS. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol* 2007;102:1439–1447.

Jeukendrup AE, Achten J. Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *Europ J Sport Sci* 2001;1:1-5.

Joseph AH. Do the mitochondria of obese individuals respond to exercise training? *J Appl Physiol* 2007;103:6-7.

Kang J, Hoffman JR, Wendell M, Walker H, Hebert M. Effect of contraction frequency on energy expenditure and substrate utilisation during upper and lower body exercise. *Br J Sports Med* 2004;38:31–35.

Karmisholt K, Gotzsche PC. Physical activity for secondary prevention of disease. Systematic reviews of randomized clinical trials. *Dan Med Bull* 2005;52:90-94.

Kraemer WJ, Volek JS, Clark KL, Gordon SE, Incledon T, Puhl SM, Triplett-McBride NT, McBride JM, Putukian M, Sebastianelli WJ. Physiological adaptations to a weight-loss dietary regimen and exercise programs in women. *J Appl Physiol* 1997;83:270-279.

Kujala UM, Kaprio J, Koskenvuo M. Modifiable Risk Factors as Predictors of All-Cause Mortality: The Roles of Genetics and Childhood Environment. *Am J Epidemiol* 2002;156:985-993.

Lawrence LS. Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1477-1484.

Lemon PW, Tarnopolsky MA, Macdougall JD, Atkinson SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol* 1992;73:767-775.

Luc JC, van Loon. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. *J Appl Physiol* 2004;97:1170-1187.

Melissa JA, Clinton RB, Sally AC, Caroline AR, Louise MB, John AH. Regulation of fuel metabolism by preexercise muscle glycogen content and exercise intensity. *J Appl Physiol* 2004;97:2275–2283.

Michael JO, John PT, Emily AJ, Raymond MK, Myung DC, Robert CH. Fat metabolism and acute resistance exercise in trained men. *J Appl Physiol* 2007;102:1767-1772.

Milani RV, Lavie CJ. Prevalence and effects of nonpharmacologic treatment of “isolated” low-HDL cholesterol in patients with coronary artery disease. *J Cardiopulm Rehabil* 1995;15:439-444.

Mital A, Shrey DE. Cardiac rehabilitations with special reference to return to work and the Americans with disabilities act. *Disabil Rehabil* 1996;18:149-158.

More PA, Hoffmann JJ.  $\text{VO}_2$  kinetics of mild exercise are latered by RER. *J Appl Physiol* 1999;87:2097-106.

Newsholme EA, Blomstrand E. Branched-chain amino acids and central fatigue. *J Nutr* 2006;136:274S-276S.

Nicole RG, Hickey MS, Macdonald KG, Walter JP, Inge H, Eric R, Dohm GL, Joseph AH. Substrate utilization during exercise in formerly morbidly obese women. *J Appl Physiol* 2001;90:1007-1012.

Ozcelik O, Kelestimur H. Effects of acute hypoxia on the estimation of lactate threshold from ventilatory gas exchange indices during an incremental exercise test. *Physiol Res* 2004;53:653-659.

Perez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun, JF, Fedou C, Bringer J, Mercier, J. Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 2001;27:466-474.

Pollock ML, Wilmore JH. Exercise in health and disease. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1990.

Powers SK, Howley ET. Exercise physiology: theory and application and performance. New York: McGraw Hill Higher Education, 2001.

Riley M, Wasserman K, Fu PC, Cooper CB. Muscle substrate utilization from alveolar gas exchange in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1996;72:341-348.



Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:380-391.

Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol* 2000;88:1707-1714.

Rowland TW, Martel L, Vanderburgh P, Manos T, Charkoudian N. The influence of short-term aerobic training on blood lipids in healthy 10-12 year old children. *Int J Sports Med* 1996;17:487-92.

Sahlin K, Sorensen JB, Gladden LB, Rossiter HB, Pedersen PK. Prior heavy exercise eliminates VO<sub>2</sub> slow component and reduces efficiency during submaximal exercise in humans. *J Physiol* 2005;564:765-773.

Shinichi D, Shunsuke Y, Takayoshi Y, Masaki M. Determination of body composition based on hydrostatic weighing without head submersion for Japanese young adults. *Eur J Sport Sci* 2008;8:153-161.

Sidney BP, Solange M, Franzói de M, Cecilia EMC, Luciana CB, Julie T, Sandra A, Magaly AM, Maria IC, Alonso-Vale, Cristina N, Borges-Silva, Fabio BL. Endurance exercise training increases insulin responsiveness in isolated adipocytes through IRS/PI3-kinase/Akt pathway. *J Appl Physiol* 2005;98:1037-1043.

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

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

Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Swarcz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* 1992;73:1986-1995.

Tracy JH, Gary KG, Jennifer L, Donahoo WT. Glucose kinetics differ between women and men, during and after exercise. *J Appl Physiol* 2006;100:1883-94.

Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism* 1994;43:814-818.

Vale A. Heart disease and young adults: Is prevention important? *J Community Health Nurs* 2000;17:225-233.

Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilization in humans. *J Physiol* 2001;536: 295-304.

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

Wasserman K, Hansen J, Sue D, Whipp B, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia.: Lea & Febiger, 1994, pp 52-72.

Wayne CM, Alice KL, Janet W, Michael N. Diet composition, energy intake, and exercise in relation to body fat in men and women. *Am J Clin Nutr* 1990;52:426-430.

Weibel ER, Hoppeler H. Exercise-induced maximal metabolic rate scales with muscle aerobic capacity. *J Exp Biol* 2005;208:1635-1644.

Wilmore JH, Costill DL: *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL, Human Kinetics, 2004.

Wojtaszewski JFP, MacDonald C, Nielsen JN, Hellsten Y, Hardie DG, Kemp BE, Kiens B, and Richter EA. Regulation of 5' AMP-activated-protein kinase activity and substrate utilization in exercising human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284: E813-E822.

## 附錄

### 附錄 A

### 體能活動準備度問卷

是 否

- 1、   是否有醫師告訴你有心臟方面的問題，若要從事運動要在醫師的建議下才被允許。
- 2、   是否在運動的過程中感覺到胸痛。
- 3、   在過去的幾個月內是否在無從試運動的情形下有感覺到胸痛的情形。
- 4、   是否有過因為暈眩而失去平衡或者失去意識的情形。
- 5、   是否在身體的關節或骨頭有不適，而且在從事運動過後會變得更嚴重的情形。
- 6、   是否有服用一些控制血壓或心臟病的藥物。
- 7、   是否知道自己本身有其他任何原因而不該從事運動。

姓名

簽名

日期

見證人

## 附錄 B

表 1. 身體質量指數常模表

BMI 身體質量指數和體重的關係？(適用 18 歲以上)	
BMI	體重
<18.5	體重過輕
18.5~23.9	正常體重
24.0~26.9	體重過重
$\geq 27.0$	肥胖

註：上述標準適用於 18 歲以上

教育部 健康醫學學習網



表 2 男性體脂肪常模表

MEN					
Age	Excellent	Good	Moderate	Overweight	Significant-overweight
≤19	12.0	12.1-17.0	17.1-22.0	22.1-27.0	≥27.1
20-29	13.0	13.1-18.0	18.1-23.0	23.1-28.0	≥28.1
30-39	14.0	14.1-19.0	19.1-24.0	24.1-29.0	≥29.1
40-49	15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1-30.0	≥30.1
≥50	16.0	16.1-21.0	21.1-26.0	26.1-31.0	≥31.1

Moderate, health fitness standard ; Excellent , Good, High physical fitness standard

表 3. 女性體脂肪常模表

WOMEN					
Age	Excellent	Good	Moderate	Overweight	Significant-overweight
≤19	17.0	17.1-22.0	22.1-27.0	27.1-32.0	≥32.1
20-29	18.0	18.1-23.0	23.1-28.0	28.1-33.0	≥33.1
30-39	19.0	19.1-24.0	24.1-29.0	29.1-34.0	≥34.1
40-49	20.0	20.1-25.0	25.1-30.0	30.1-35.0	≥35.1
≥50	21.0	21.1-26.0	26.1-31.0	31.1-36.0	≥36.1

Moderate, health fitness standard ; Excellent , Good, High physical fitness standard

表 4 . Bruce protocol

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



## 運動習慣對運動能量消耗的影響

### Effects of regular exercise to energy consumption

謝榮恩<sup>1</sup>, 張文正<sup>2</sup>, 王慧如<sup>2</sup>, 洪維憲<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中國醫藥大學 醫學研究所

<sup>2</sup> 中國醫藥大學 運動醫學系

#### 摘要

本研究的目的是探討有規律運動和沒有運動習慣的人對能量消耗的影響。本研究徵召 20 名受試者年  
紀介於 19-22 歲，10 位為有規律運動組及 10 位為無運動習慣組，讓受試者在跑步機上以 Bruce protocol  
運動模式直到其力竭為止，測量其呼吸交換率(RER)、乳酸閾值前後的能量來源的分析，獨立樣本 t-test  
分析二組間每個時間點 RER 及 AT 前後脂肪及葡萄糖的能量來源，統計顯著水準為  $p < 0.05$ 。結果顯示 RER  
隨著運動強度的增強，而沒有運動習慣組的 RER 上升情形及速度明顯較快，而 AT 值出現之後規律運動  
組能量消耗主要以葡萄糖為主，而沒有運動習慣組能量消耗來源主要是葡萄糖及脂肪，結果顯示規律運動  
增進身體適能進而提升身體加速乳酸清除的能力。

**關鍵詞：**能量消耗、呼吸交換率、運動習慣

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of regular exercise to energy consumption during  
exercise. Twenty subjects were recruited in this study, and ten subjects with regular exercise were as the exercise  
group and ten subjects with sedentary lifestyle were as the non-exercise group. They run on a treadmill at a Bruce  
protocol until they became exhausted. We measured parameters including respiratory exchange ratio (RER)  
during exercise, and energy source before and after anaerobic threshold (AT). A t-test was used to examine the  
effects of RER during exercise, and the magnitude of energy source below and above AT. A level of statistical  
significance was  $p < 0.05$ . The results showed RER increased by exercise intensity, and the increasing rate of  
RER was larger in non-exercise group. Glucose was the major source of energy consumption to exercise group,  
and glucose and fat were the major sources to non-exercise group after AT. Conclusion, the regular exercise will  
promote the capacity of clearance lactic acid.

**Keywords:** energy consumption, respiratory exchange ratio, regular exercise

## 1.前言

近年來由於運動休閒產業的發展也帶動大家運動的風潮，而如何藉由運動促進健康及體適能更是值得重視的一個議題，也因此運動時的能量消耗成為大家關注的重點。有關人體的能量消耗，如果以葡萄糖做為能量來源時，每消耗 1 公升的氧氣會產生 1 公升的二氧化碳，也就是說，以葡萄糖為能量來源時的呼吸商(respiratory of quotient, 簡稱 RQ, 體內局部組織的二氧化碳產生量除以氧氣攝取量)等於 1；以脂肪為能量來源時的 RQ 約等於 0.7；以蛋白質為能量來源時的 RQ 約等於 0.8。不過，人體內的組織呼吸狀況評量，有其執行上的困難存在，因此，透過人體參與運動時的肺部氣體交換狀況(呼吸交換率，respiratory exchange ratio, 簡稱 RER, 肺部氣體交換時的二氧化碳增加量除以氧氣消耗量)的測量(Mole and Hoffmann, 1999)，一般來說，人體安靜休息時的 RER 約 0.82、在極低強度(散步、慢跑、輕鬆騎車)運動時的 RER 反而下降(約 0.75 至 0.80 之間)、接近最大運動時的 RER 約等於 1。再加上蛋白質僅在激烈運動時，才有少量參與提供能量的現象(Tarnopolsky et al., 1986; Lemon et al., 1992)；因此我們將依據肺部的氣體交換，評量出運動過程的能量消耗特徵。

在許多的研究報告指出在不同的運動強度下身體利用體內的能量來源有所不同，主要也是因為不同運動強度造成身體耗氧量和二氧化碳產生量的差別，導致所使用的能量來源不同，造成不同的能量消耗(Wilmore and Costill, 1999; Dawson et al., 1996)。人體在低強度運動狀態下，脂肪(fat)參與提供能量的比例較高(Brooks, 1997)，隨著運動強度的增加，RER 也隨著上昇，葡萄糖參與提供能量的比例也增加；在最大運動狀態下，則幾乎皆以葡萄糖(glucose)提供能量(Romijn et al., 1993; Van Loon et al., 2001)，而如

何對對能量來源有效率的使用的，也就是提升身體加速乳酸清除的能力，是我們關注的焦點。

現代生活型態趨向於坐式生活型態(sedentary lifestyle)，沒有規律運動的坐式生活容易造成基礎代謝率降低、增加心血管疾病危險，而研究也顯示運動可預防心血管疾病發生，增進體適能(Karmisholt and Gotzsche, 2005; Fagard, 2006)。然而運動習慣如何對我們能量消耗造成影響，在過去的研究中較少被提及，因此，本研究將透過實際的運動測試來探討有運動習慣和沒有運動習慣的人對能量消耗的影響。

## 2.方法

### 2.1 受試者

本研究徵召 20 名受試者年紀介於 19-22 歲，體重 45 到 80 公斤，身高 155cm 到 185cm 之間，10 位為有規律運動組(exercise group)及 10 位為無運動習慣組(non-exercise group)，為確保實驗數據之準確性，本研究要求受試者在實驗前 48 小時避免熬夜及過度激烈運動，並在實驗前兩小時禁止飲食，同時受試者皆為無吸菸者。

### 2.2 儀器設備

本實驗儀器主要有 META MAX 3B 可攜式氣體分析儀，其包含 MaxBelt 運動背心、DVT volume transducer、sample line、polar、面罩及頭套(圖 1)及一台運動跑步機。研究過程中需在每次使用 META MAX 3B 進行呼吸測試時進行大氣校正。



圖 1. 可攜式氣體分析儀及其配備



### 2.3 實驗步驟

本實驗是讓受試者在跑步機上跑步，受試者站在跑步機上，戴上採氣面罩，並將呼吸管與採氣面罩相連接。而跑步機的運動模式是設定為BRUCE protocol，以跑步機的速度及坡度隨著時間增加的方式，讓受試者開始以 20-30watt 的工作負荷(workload)行走在跑步機上，之後每 3 分鐘增加 20-30 watt 的負荷，直到受試者力竭為止，然後藉由氣體分析的方式來了解受試者身體能量運用的狀況。

### 2.4 資料分析

由 Metasoft 軟體進行資料分析，從軟體上可以觀察到數據所呈現的趨勢，氣體交換率 (RER)，而依據 RER 在 0.75 以下都已脂肪當作能量的使用來源，在 RER 介於 0.75-0.85 之間，能量消耗會從 FAT 逐漸轉變成葡萄糖的情形，而 RER 在 0.89 以上幾乎就已葡萄糖當作主要的能量來源(de Meirleir et al., 1986)，依 RER 比例定義出 AT 前後相對脂肪及葡萄糖能量來源(g/h)。

以獨立樣本 t-test 分析二組間每個時間點 RER 及 AT 前後脂肪及葡萄糖的能量來源，統計顯著水準為  $P < 0.05$ 。

### 3. 結果

圖 2 為隨著運動時間 RER 的變化情形，結果顯示 RER 隨著運動強度的增強，在兩組中皆有越來越高的趨勢，同時對兩組做比較發現，在運動強度隨著時間越來越高的運動模式下，non-exercise 組其 RER 上升的情形及速度明顯較快。

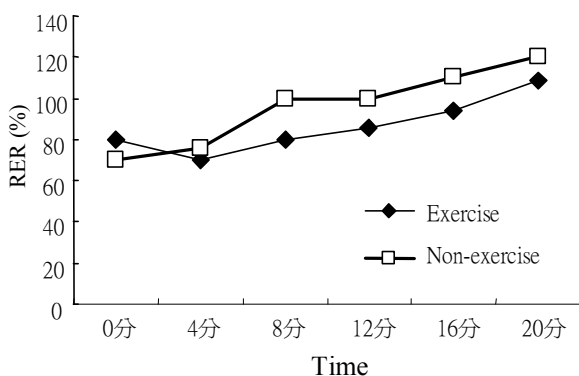


圖 2. RER 隨運動時間的變化情形

AT(無氧閾值):對兩組做比較發現，exercise 組的 AT 值在運動過程中出現的時間點(8.5mins)，明顯要比 non-exercise 組(4.6 mins)來的晚。

能量運用情形:在 AT 值出現前兩組的能量消耗使用情形均以脂肪為主要的使用來源，在 AT 值出現之後 exercise 組能量消耗主要以葡萄糖為主，幾乎不會再運用到脂肪，而 non-exercise 組能量消耗對於葡萄糖及脂肪皆繼續被當作能量使用的來源 (圖 3, 圖 4)。

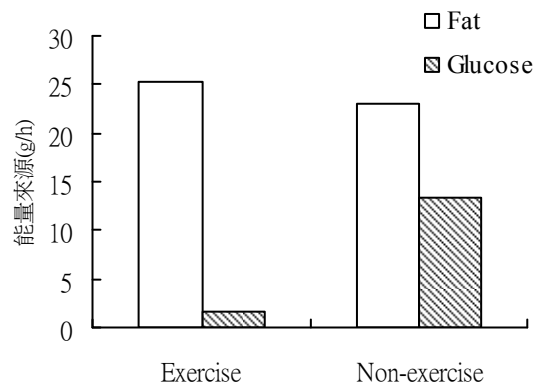


圖 3. Before AT 能量使用情形

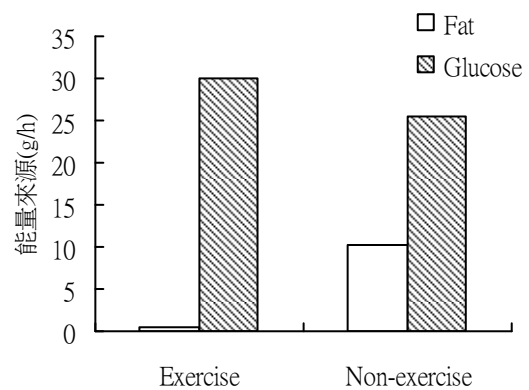


圖 4. After AT 能量使用情形

### 4. 討論

在先前許多的研究中發現，不同的運動強度和身體能量的運用情形可以得知在次最大運動強度(submaximal exercise intensity)的狀態下，身體主要的能量來源是利用脂質的氧化(Fat oxidation, FO)，而當運動強度越增加一直到最大

運動強度(Maximal exercise intensity)的狀態時，身體利用能量的來源會從 FO 轉變成葡萄糖的代謝來當作運動時的來源(Dorien et al., 2002)。而從上述的兩組結果中明顯觀察到這個情形；同時 exercise 組在 AT 值出現的時間點以後，身體利用脂肪當作能量來源的情形幾乎完全轉變成以葡萄糖為主，而 non-exercise 組所表現的狀況，則有從以脂肪當作能量來源逐漸轉變成以葡萄糖為主要能量利用的趨勢，不過在運動末期也就是運動強度接近最大時，其身體利用脂肪為能量來源的情形還是存在。過去研究顯示心肺適能者其 AT 和最高 FO 強度有相關性(Jeukendrup and Achten, 2001)，然而不運動者其 AT 和高 FO 強度出現不相關，其 AT 前提早出現脂肪轉成醣類氧化的情形，且最高 FO 強度出現在 AT 之後 (Astorino, 2000)，這可解釋為何沒運動習慣者在 AT 前即有葡萄糖而 AT 後仍有脂肪供應能量的情形。可能原因在於 exercise 組本身平常就有從事規律的運動的習慣，當身體在高強度的運動下，身體內平常所累積的葡萄糖足夠完全提供高強度運動時所需的能量來源，而反觀 non-exercise 組為坐姿生活型態者平常缺乏運動的訓練，體適能較差，導致身體所儲存的葡萄糖不夠使用，因而在面對高強度運動時，需要依賴其他能量來源才足以應付身體所需。

## 5. 結論

本研究藉由實驗所呈現出來的情形，發現到從事規律運動的人，身體對於能量利用的來源的使用有較明顯的區別，也就是說當身體在運動強度不同的時候，對於能量來源的使用更加明確及有效力，也因為這樣提升了身體加速乳酸清除的能力，使無氧閾值時間點較慢出現，也就提昇了身體體適能的狀態，達到防禦疾病及促進健康的目的。

## 參考資料

1. Astorino TA. Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:209-16.
2. Brooks GA. Importance of the “crossover” concept in exercise metabolism. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 1997;24:889-95.
3. Dawson B, Straton S, Randall N. Oxygen consumption during recovery from prolonged submaximal cycling below the anaerobic threshold. *J Sports Med Phy Fit* 1996;36:77-84.
4. Dorien PC van Aggel-Leijssen, Wim HM Saris, Anton JM Wagenmakers, Joan M Senden, Marleen AVan Baak. Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *J Appl Physiol* 2002;92:1300-9.
5. Fagard RH. Exercise is good for your blood pressure: effects of endurance training and resistance training. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2006;33:853-6.
6. Jeukendrup AE, Achten J. Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *Europ J Sport Sci* 2001;1:1-5.
7. Karmisholt K, Gotzsche PC. Physical activity for secondary prevention of disease. Systematic reviews of randomised clinical trials. *Dan Med Bull*. 2005;52:90-4.
8. Lemon PW, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Atkinson SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol* 1992;73:767-75.
9. More PA, Hoffmann JJ. VO<sub>2</sub> kinetics of mild exercise are latered by RER. *J Appl Physiol* 1999;87:2097-106.
10. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380-91.
11. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Swartz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* 1992;73:1986-95.
12. Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D et al. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol* 2001;536:295-304.
11. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sports and exercise*. Champaign, IL: Huamn kinetics, 1999.