

國立台灣師範大學體育學系  
碩士學位論文

遞減強度的長時間持續跑步對  
脂肪代謝的影響

研究生：陳奐杰

指導教授：謝伸裕

中華民國九十七年七月

中華民國臺北市

# 遞減強度的長時間持續跑步對脂肪代謝的影響

研究生：陳奐杰

指導教授：謝仲裕

2008年7月

## 摘要

**目的：**探討固定強度運動 (constant intensity exercise, CIE) 與遞減強度運動 (gradual intensity decrement exercise, GDE) 兩種模式在長時間持續跑步 (60分鐘) 的脂肪代謝與能量消耗之變化。**方法：**以12名健康男性為受試者 (年齡  $25.2 \pm 2.4$  歲、身高  $176.9 \pm 6.6$  公分、體重  $70.2 \pm 9.0$  公斤、身體質量指數  $22.5 \pm 3.8 \text{ kg/m}^2$ 、體脂肪  $17.6 \pm 5.2\%$ 、最大攝氧量  $48.2 \pm 5.3 \text{ ml/kg/min}$ )，採重複量數設計，依照平衡次序法進行兩種不同模式運動。CIE與GDE之間休息7天。實驗數據均以平均數  $\pm$  標準差表示，分別以重複量數單因子變異數分析與相依樣本t考驗進行統計分析，顯著水準訂於 $\alpha=.05$ 。**結果：**能量消耗方面，CIE在第20~30分鐘 ( $122.8 \pm 26.9 \text{ kcal}$ )、第40~50分鐘 ( $124.1 \pm 23.5 \text{ kcal}$ ) 與第50~60分鐘 ( $124.9 \pm 23.6 \text{ kcal}$ ) 顯著高於GDE ( $114.1 \pm 24.3$ 、 $103.0 \pm 23.8$ 、 $102.8 \pm 25.3 \text{ kcal}$ )。能量消耗累積量，CIE ( $736.2 \pm 149.3 \text{ kcal}$ ) 顯著高於GDE ( $673.0 \pm 137.5 \text{ kcal}$ )。總能量消耗，CIE ( $1600.1 \pm 323.7 \text{ kcal}$ ) 顯著高於GDE ( $1283.3 \pm 228.0 \text{ kcal}$ )。脂肪利用方面，在呼吸交換率的比較上，GDE在第40~50 ( $0.80 \pm 0.06$ ) 與50~60分鐘 ( $0.79 \pm 0.06$ ) 顯著低於CIE ( $0.83 \pm 0.06$ 、 $0.83 \pm 0.06$ )。以脂肪為來源的能量消耗量，CIE與GDE的比較上並無顯著差異。脂肪累積代謝量與脂肪利用率同樣未達顯著差異。但隨著運動時間的增加，兩者的脂肪利用均有上升的趨勢。自覺努力程度方面，GDE在第20~30 ( $10.6 \pm 1.4$ )、30~40 ( $10.8 \pm 1.9$ )、40~50 ( $10.4 \pm 2.2$ )、50~60 ( $10.3 \pm 2.4$ ) 分鐘顯著低於CIE ( $12.0 \pm 1.9$ 、 $12.3 \pm 2.2$ 、 $12.7 \pm 2.4$ 、 $13.0 \pm 2.6$ )。**結論：**持續跑步60分鐘，CIE的能量消耗雖然較多，但以脂肪為來源的利用量兩者並無差異。兩種模式均隨運動持續時間的增加而提升脂肪利用。在脂肪利用方面，GDE與CIE效果是相當的。GDE模式由於強度遞減，有助於延長更多的運動持續時間。因此強度遞減的運動模式是可以提供給民眾多一項選擇的。

**關鍵詞：**脂肪代謝、能量消耗、運動強度、運動持續時間、遞減強度

# The effect of gradual intensity decrement long duration running on fat metabolism

Student: Huan-Chieh Chen

July, 2008

Advisor: Shen-Yu Hsieh

## ABTSTACT

**Purpose:** To investigate the effect of gradual intensity decrement long duration running on fat metabolism and energy expenditure. **Methods:** Twelve healthy male served as subjects (age:  $25.2 \pm 2.4$  yrs ; height:  $176.9 \pm 6.6$  cm ; weight:  $70.2 \pm 9.0$  kg ; BMI:  $22.5 \pm 3.8$  kg/m<sup>2</sup> ; body fat %:  $17.6 \pm 5.2$  % ; VO<sub>2</sub>max:  $48.2 \pm 5.3$  ml/kg/min). Subjects performed the same duration (60 min) treadmill running with constant intensity exercise (CIE) and with gradual intensity decrement exercise (GDE). A repeated-measures design (seven days apart) was used, and the testing order was counter balanced. All numerical data were expressed in mean  $\pm$  SD. Repeated measures one-way ANOVA and Student's paired *t*-test were used for statistical analysis (SPSS 13.0). The significance level was set at  $p < .05$ . **Results:** CIE was significantly higher than GDE on the 20~30、40~50、50~60 min of the energy expenditure ( $122.8 \pm 26.9$  kcal v.s.  $114.1 \pm 24.3$  kcal ;  $124.1 \pm 23.5$  kcal v.s.  $103.0 \pm 23.8$  kcal ;  $124.9 \pm 23.6$  kcal v.s.  $102.8 \pm 25.3$  kcal). CIE was significantly higher than GDE of the accumulate energy expenditure ( $736.2 \pm 149.3$  kcal v.s.  $673.0 \pm 137.5$  kcal). CIE was significantly higher than GDE total energy expenditure ( $1600.1 \pm 323.7$  kcal v.s.  $1283.3 \pm 228.0$  kcal). On fat metabolism, the RER of GDE was significantly lower than CIE on the 40~50 and 50~60 min ( $0.80 \pm 0.06$  v.s.  $0.83 \pm 0.06$  ;  $0.79 \pm 0.06$  v.s.  $0.83 \pm 0.06$ ). Fat as the fuel of energy expenditure, two patterns had no significant differences. The total fat metabolism and the ratio of fat utilization also had no significant differences. Both CIE and GDE increase fat metabolism as exercise duration increase. On the rating of perceived exertion (RPE), GDE was significantly lower than CIE on the 20~30、30~40、40~50、50~60 min ( $10.6 \pm 1.4$  v.s.  $12.0 \pm 1.9$  ;  $10.8 \pm 1.9$  v.s.  $12.3 \pm 2.2$  ;  $10.4 \pm 2.2$  v.s.  $12.7 \pm 2.4$  ;  $10.3 \pm 2.4$  v.s.  $13.0 \pm 2.6$ ). **Conclusions:** Although CIE expensed more calorie than GDE, it was not significantly higher than GDE on fat metabolism. Both CIE and GDE increase fat metabolism as exercise duration increase. However, due to the decrease of exercise intensity, GDE would make it easier to increase exercise duration. Therefore, GDE is an alternative mode of exercise for weight loss.

**Key words:** fat metabolism, energy expenditure, exercise intensity, exercise duration, gradual decrement intensity

## 謝誌

時光荏苒，很快的三年的碩士班生活告一段落。在師大求學的日子，我感到很幸福也很幸運。未來的某天夜深人靜時回首來時路，這將是一段重要且精彩的回憶。

在許多的歡笑快樂與挫折失敗中，一路跌跌撞撞，也終於完成重要的人生階段。碩士班學業與論文得以完成，要感謝的人實在太多。很幸運的在求學過程中遇到了兩位老師，就像暴風雨中的明燈指引我方向。指導教授謝仲裕老師在碩士班期間的悉心指導與照顧，扮演著嚴格卻又慈祥的角色。老師在學術與做人處世的嚴謹，都是我學習的典範。東華大學林嘉志老師，引導我進入運動科學的領域，在大學與碩士班期間的教導與幫忙，讓我對運動科學有更進一步的認識，且其追求學問的精神更影響我甚多。口試委員卓俊辰老師與劉燦宏醫師在實驗設計與論文寫作上給予許多建議與指正，使我的論文更加完整。卓老師對於師大體育系的犧牲奉獻著實令人佩服，劉醫師的專業素養與待人溫和有禮也是未來我必須努力的。兩位委員不只是指導我的論文，還有許多特質與為人處事的態度讓我獲益匪淺。老師們辛苦了，謝謝！

實驗過程中，受試者義不容辭的賣力配合。許多的好友與同學，易廷、致瑋、明嘉、勇志、偉義、易霖等，不僅互相鼓勵給予支持，也豐富了我的碩士班生活。大哥力元，在家幫忙分擔父母辛勞，讓我可以安心的在異地求學。還有許多曾經對我說加油的人，一句微不足道的加油總是使我心懷感恩並更有動力。感謝上天，讓我的人生中出現這些人。謝謝！

最後，我最感謝的人，我的父母，總是無怨無悔的付出，總是給我無數的支持與鼓勵。千言萬語難以表達內心的感激，僅以此論文獻給我最敬愛的父母。

陳煥杰 謹誌於國立台灣師範大學 體育學系  
中華民國九十七年八月

# 目次

## 前序部分

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
謝誌.....	iii
目次.....	iv
表次.....	vi
圖次.....	vii

## 內文部份

第壹章 緒論.....	1
一 前言.....	1
二 問題背景.....	2
三 研究目的.....	5
四 研究假設.....	5
五 研究範圍與限制.....	6
六 研究的重要性.....	6
七 名詞操作性定義.....	7
第貳章 相關文獻探討.....	8
一 運動與能量供應來源.....	8
二 運動的能量系統.....	10
三 運動與脂肪代謝.....	12
四 運動與脂肪最大代謝強度.....	13
五 運動與疲勞.....	14
六 本章總結.....	17
第參章 研究方法.....	18
一 研究對象.....	18
二 實驗設計.....	18
三 實驗方法與步驟.....	20
四 統計分析.....	23

第肆章	結果.....	24
一	基本資料.....	24
二	攝氧量的比較.....	24
三	能量消耗的比較.....	27
四	脂肪代謝的比較.....	30
五	自覺努力程度的比較.....	35
六	心率的比較.....	37
第伍章	討論.....	39
一	不同運動模式對於攝氧量的影響.....	39
二	不同運動模式對於能量消耗與脂肪利用的影響.....	40
三	不同運動模式對於運動後超額攝氧量的影響.....	42
四	不同運動模式對於自覺努力程度的影響.....	43
五	不同運動模式對於心率的影響.....	45
六	結論與建議.....	46
引用文獻.....		48
 <b>後篇部分</b>		
附錄一.....		54
附錄二.....		55
附錄三.....		57
附錄四.....		58
個人小傳.....		59

## 表次

表一	受試者基本資料.....	24
表二	不同運動模式之攝氧量比較表.....	26
表三	在不同時間點之攝氧量比較表.....	27
表四	不同運動模式之能量消耗比較表.....	28
表五	在不同時間點之能量消耗比較表.....	30
表六	不同運動模式之呼吸交換率比較表.....	31
表七	不同運動模式之脂肪消耗比較表.....	32
表八	不同運動模式之脂肪利用比率比較表.....	33
表九	不同運動模式之自覺努力程度比較表.....	36
表十	在不同時間點之心率比較表.....	38

## 圖次

圖一	脂肪與碳水化合物之能量交叉概念圖.....	3
圖二	問題背景的關係預想圖.....	5
圖三	實驗流程圖.....	19
圖四	運動處理的操作流程圖.....	22
圖五	進行強度遞減模式的運動強度.....	22
圖六	不同運動模式在運動期的攝氧量比較圖.....	25
圖七	不同運動模式在不同時段的攝氧量比較圖.....	26
圖八	不同運動模式在不同時段的能量消耗比較圖.....	29
圖九	不同運動模式的呼吸交換率比較圖.....	31
圖十	不同運動模式的脂肪利用比率比較圖.....	33
圖十一	在不同時間點的脂肪利用比率比較圖.....	35
圖十二	在不同時間點的自覺努力程度比較圖.....	37
圖十三	不同運動模式的心率比較圖.....	38



# 遞減強度的長時間持續跑步 對脂肪代謝的影響

## 第壹章 緒論

### 一、前言

運動時的能量供應來源，一直是運動科學領域所注重的課題。長久的發展下，對於這方面的課題也有許多豐富的成果。就目前來說，運動的方式愈來愈多元。長時間的運動類型，包括有傳統的馬拉松、鐵人三項或一萬公尺競賽，以及現代發展出來的超級馬拉松、24 小時馬拉松與 100 公里馬拉松等。

對於長時間的持續運動，一般認為是以有氧系統來供應能量來源的運動。換言之，能量來源以脂肪為主。然而，在長時間的運動下，其人體的能量供應來源似乎是不單純的，應該以多方面的考量較為合理。基於此，許多學者的意見有不同看法。專業選手在長距離的競賽過程中，仍然可以維持高強度的攝氧量，其能量來源有可能以醣類為主。這可能與比賽的激烈程度與過程中碳水化合物和營養品的補充有關。而隨著運動時間的增加，體內碳水化合物逐漸消耗，能量來源會轉換成以脂肪為主。

然而，一般民眾並非訓練有素的運動選手，體能狀況與個體差異

均不如運動選手，運動疲勞是尤其需被考量的重點。未經訓練的民眾無法在長時間持續運動下始終保持高強度，即使是以固定強度的穩定狀態來運動，運動的後半段也可能因為疲勞的產生而體力不支。這是運動員與一般民眾較大的差別。

隨著文明與科技進步，現代人生活在便利的時代，因而造成缺少身體活動的坐式生活型態。坐式生活型態是導致肥胖的主因，許多對身體有風險的疾病即因肥胖而產生，包括心血管疾病、糖尿病、冠狀動脈疾病、高血脂與高血壓等，甚至會引發某些癌症 (Must, Jacques, Dallal, Bajema, & Dietz, 1992 ; Pi-Sunyer, 1993)。換句話說，肥胖是必須受到極度重視的危險因子。同時，人們也意識到身體健康的重要，有愈來愈多的人開始投入運動的行列，對相關的知識也有高度的需求。

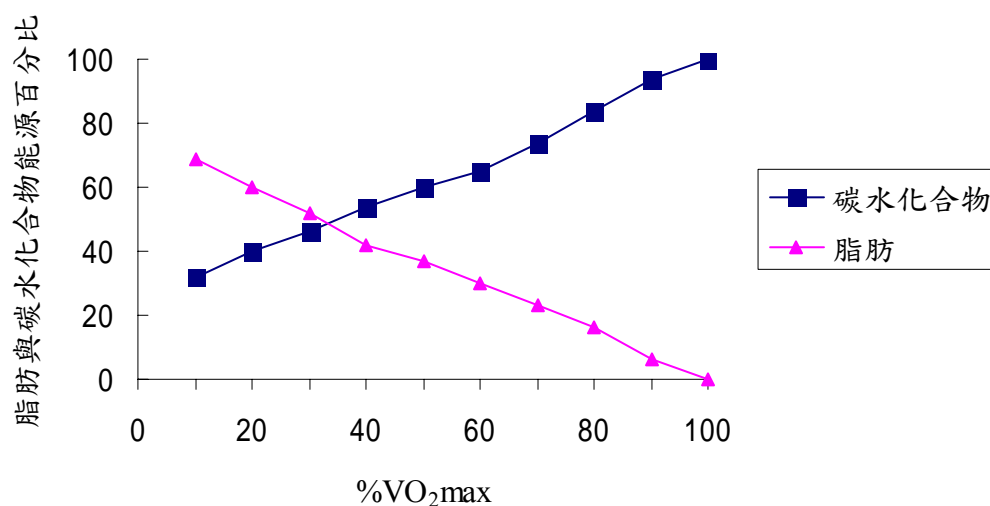
從能量來源的觀點來看，有氧運動已被證實是減少脂肪的有效運動方式，特別因為其低強度的特性，可以使運動持續時間延長 (Palvou, Steffee, Lerman, & Burrows, 1985 ; Coyle, 1995 ; Epstein & Goldfield, 1999 ; Powers & Howley, 2001)。有減肥需求的人，目標是減少脂肪，因而選擇較適合的有氧運動。

## 二、問題背景

既然有氧運動已經被認同是減少脂肪的運動方式，而此概念也慢

慢普及至一般民眾。但仍有許多人提出疑問，哪一個運動強度對於燃燒脂肪是最有效的？通常得到的答案是低強度、長時間的運動。但是如果以經濟效益作為考量的話，最大效益應是在無氧閾值以下的較高強度，這個強度對於脂肪的消耗是最大的。

能量的來源供應與消耗的比例與能量交叉調控概念有極重要的關係。此概念由 Brooks and Mercier (1994) 提出，解釋運動強度與運動時間和能量消耗的關係。高強度的運動下，碳水化合物使用的比例較高，而低強度則是脂肪使用比例較高，當運動強度增加至交叉點 (crossover point) 之上，脂肪代謝會逐漸轉移為醣類代謝（如圖一）。另外，隨著運動持續時間增加，碳水化合物逐漸耗盡，脂肪的利用也會隨著增加。

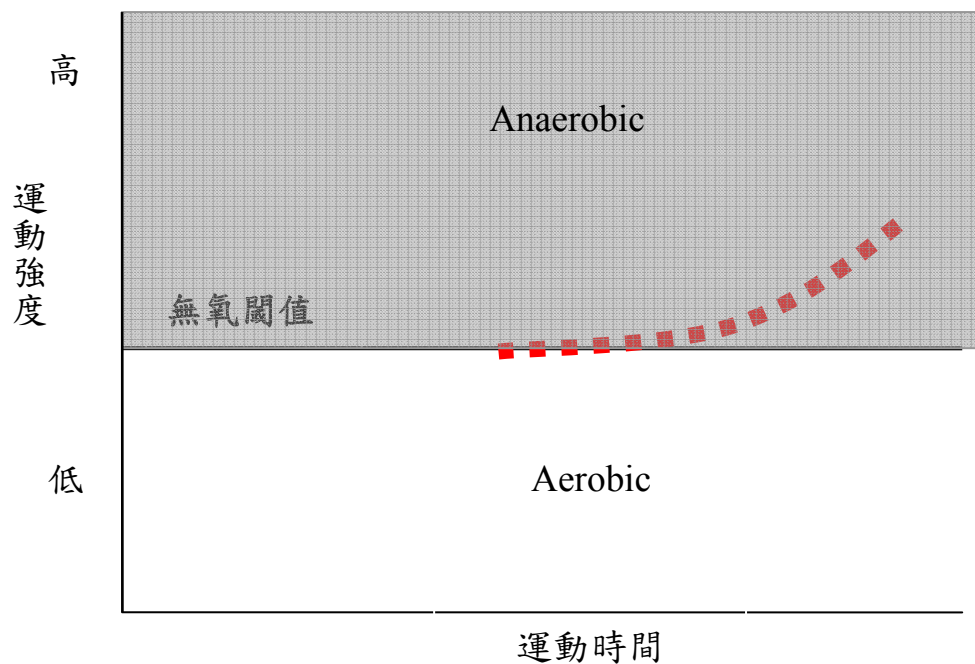


圖一 脂肪與碳水化合物之能量交叉概念圖  
(資料參考 Brooks & Mercier, 1994)

其實，能量的消耗可以從運動強度與運動持續時間二者乘積看出。當强度高時，體內能源較快用盡；反之，可以持續較長時間的低強度運動，脂肪的利用率較高，因此從事低強度的運動對坐式生活型態的人幫助較大是可以理解的。

但必須注意的是，在長時間的運動下，隨著時間的增加，因為運動而產生的疲勞度也會增加。固定強度的運動可能因運動持續時間使個體更覺吃力、困難與辛苦，甚至轉換為以無氧系統供應能量來源的階段。在許多觀察能量供應來源變化的研究中，常忽略了長時間運動造成疲勞的因素。因此，以強度遞減的模式運動可能可以避免因疲勞而轉化成無氧代謝供能，將強度維持在無氧閾值之下，對於脂肪消耗的效益應是更有利的（如圖二）。

目前為止，大部分探討能量供應來源的研究都以固定強度進行運動。以強度遞減的模式進行較為少見，且其對於脂肪代謝的影響仍不明確，因此有必要進一步研究。本研究將以非運動員來探討遞減強度模式的運動，觀察是否對於脂肪利用的效果更佳。假使成效良好，則可以提供於大眾有效的減脂肪運動模式之選擇。



圖二 問題背景的關係預想圖

註：虛線表示因疲勞而體力下降，對個體而言，相同的強度事實上可能已經提高，甚至進入無氧閾值以上的狀況。

### 三、研究目的

比較遞減強度與固定強度運動二種模式在長時間持續跑步的脂肪代謝百分比與總能量消耗之變化。

### 四、研究假設

長時間的固定強度持續跑步，會因運動造成的疲勞使攝氧量上升，醣類提供能量的百分比提高，而脂肪代謝供應的能量百分比會減少。

## 五、研究範圍與限制

本研究擬以 60 分鐘為運動持續時間，對超過 60 分鐘以上的持續運動其能量來源的推估可能有所不同。

本研究以 20 歲左右的健康男性為受試者，如將結果推論至其他族群，可能會因年齡、體型、性別與個體差異等因素影響而造成誤差。

## 六、研究的重要性

能量的供應來源一直是影響運動表現的重點議題，而此議題雖已有大多學者進行研究並發表，可惜的是仍有些許問題並未釐清。本研究對於長時間運動下，在其脂肪代謝的變化加以觀察，盼能加以佐證。

另一方面，遞減強度運動的研究實屬少見，對能量消耗與脂肪代謝的影響仍然不甚清楚，是否有利於減少脂肪，有其研究價值存在。盼能在本研究中對遞減強度運動有更深入的了解。

對坐式生活型態的人而言，普遍有肥胖的困擾。肥胖是不健康的代名詞，背負著許多疾病發生的風險。現代人對於減去脂肪的觀念雖然已經較為提升，但如能找到更有效率的運動模式來減少脂肪，即能吸引更多人投入運動的行列，也提供這些需要減脂肪的人有較適合的強度與時間可以選擇，以達事半功倍。

## 七、名詞操作性定義

### (一) 固定強度運動模式 (constant intensity exercise, CIE)

以固定的 (相同的) 強度 (無氧閾值的相對應攝氧量以下 5%) 下進行 60 分鐘的跑步機跑步，過程中運動強度保持不變。

### (二) 遞減強度運動模式 (gradual intensity decrement exercise, GDE)

本研究中，以遞減強度的模式進行持續 60 分鐘的跑步運動。開始強度與固定強度模式相同 (無氧閾值的相對應攝氧量以下 5%)，隨著運動時間增加，每 20 分鐘即減少 5% 攝氧量的強度。

## 第貳章 相關文獻探討

運動的能量供應影響並決定運動表現，一直以來都被認為是相當重要的課題。然而，在運動中的能量來源其供應的比例，仍有些許未知的影響因素是有待釐清的。如何能更有效益的去利用能量來源，不但是運動員想更加了解的，對於一般大眾而言，尤其是脂肪的部份，也相當的重要。在本章節中，將針對：一、運動與能量供應來源；二、運動的能量系統；三、運動與脂肪代謝；四、運動與脂肪最大代謝強度；五、運動與疲勞等部分加以介紹與探討。

### 一、運動與能量供應來源

人體運動時的能量來源有碳水化合物、脂肪與蛋白質。而其中醣類與脂肪二者影響運動表現，蛋白質則因轉化為能源的量甚少，大都忽略。碳水化合物 (carbohydrates, CHO) 又被稱做醣類，是由碳、氫與氧三種原子所組成。儲存於體內碳水化合物具有能快速的轉化成能源供身體利用的特徵。

碳水化合物以不同的形式存在，可分為四大類，分別是單醣 (monosaccharides)、雙醣 (disaccharides)、寡糖 (oligosaccharides) 與多醣 (polysaccharides)。單醣為含有 3 到 6 個碳原子的簡單醣類，譬如果糖和葡萄糖 (glucose) 屬之。其中的六碳糖中的葡萄糖對於人體運



動的能量來源特別重要。雙糖由兩個單糖組成，日常生活中可見的蔗糖、麥芽糖都是雙糖。寡糖是由 3 到 6 個單糖組成，而多糖則是 6 個以上的單糖結合而成，也有人將寡糖與多糖歸類為同一類 (謝伸裕，1997)。

肝糖 (glycogen) 是儲存於動物組織中的多糖，肝糖由許多的葡萄糖分子聚集並合成，體內儲存的肝糖提供人體運動時重要的能源供應。在運動過程中，肝臟與肌肉細胞均可以分解肝糖而成葡萄糖，供肌肉與其他組織利用，這過程又稱作肝糖分解作用 (glycogenolysis)。

脂肪是另一個人體內重要的能量來源，其組成成分與糖類相同，但原子數較糖類多。每克的脂肪可以產生約 9 卡的熱量，是糖類與蛋白質的兩倍 (McMurray, 1977 ; Stanley & Connett, 1991 ; Suttie, 1977)。在運動科學的領域中普遍認為，對於長時間的運動而言脂肪是儲存於體內最理想的能源。脂肪又可以分成四大類：脂肪酸 (fatty acids)、三酸甘油酯 (triglycerides, TG)、磷脂 (phospholipids) 和類固醇 (steroids)。其中脂肪酸是運動時的主要來源。脂肪酸在體內以三酸甘油酯的方式儲存，而三酸甘油酯是由三分子的脂肪酸和一分子的甘油組成。磷脂和類固醇二者並不被用來作為運動的能量來源，但它們在生物學上均是重要的成員。

蛋白質由至少 20 種不同的胺基酸所組成，不同的胺基酸和不同

的排列組合可以形成各種特殊的蛋白質。目前已知有 9 種必需胺基酸 (essential amino acids) 是人體內無法自行合成，故須由食物中攝取。而其他在人體可以自行合成的胺基酸則被稱作非必需胺基酸 (non-essential amino acids)。

胺基酸須經由血液循環的攜帶，到達肝臟後，丙氨酸 (alanine) 會在肝臟中轉化成葡萄糖，再由血液循環運送至骨骼肌使用。這個過程又稱作葡萄糖-丙氨酸循環 (glucose-alanine cycle)。胺基酸還有另一個提供能量的方式，許多胺基酸可以在代謝過程中，於肌肉細胞中轉化成中間產物直接供應能源 (Mathews & vanHolde, 1996 ; McArdle, Katch, & Katch, 1996 ; McGilvery, 1983 ; Stanley & Connett, 1991)。

以胺基酸為能量來源的量較少，而當它被作為能量來源時，每克約有 4 卡的熱量。如同上述，胺基酸並不是運動時的主要能源供應者，但在主要能源被耗盡時，亦是不可或缺的角色。

## 二、運動的能量系統

在人體內的代謝路徑有兩種，分別是無氧代謝與有氧代謝。顧名思義，有氧代謝是體內的能量代謝發生的一連串化學反應，都有氧氣的參與。反之，無氧代謝則可以在沒有氧氣參與的情況下進行代謝。

一般來說，運動時的能量供應系統被整理歸類成 3 種，分別是 ATP-PC 系統、醣解系統與有氧系統。

人體活動中，肌肉收縮是需要能量的，而這個能量即是腺苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP)。ATP 是一種高能磷酸化合物，主要結構含三部份，包括腺苷 (adenine)、核糖 (ribose) 與三個磷酸。

ATP-PC 系統以無氧代謝的方式製造 ATP，分解磷酸肌酸 (phosphocreatine, PC) 形成 ATP，為人體可以直接利用的能源。這種方式為人體內最簡單、最快速利用 ATP 的路徑，可惜的是，肌肉細胞只能儲存少量的 PC，因此，此系統所製造之 ATP 非常快即消耗殆盡，約只能維持 5 到 6 秒。但是它提供的 ATP 對於運動開始時與短距離的爆發力項目十分重要。



醣解系統也被稱作醣解作用 (glycolysis)，是另一個不需要氧氣的代謝路徑。提供的能量數目介於 ATP-PC 系統與有氧系統之間，中距離的運動即以此為能量來源。醣解作用是將葡萄糖和肝醣分解，經由人體複雜的生物代謝路徑，其中包含酶的催化與偶合反應，最終產物是丙酮酸 (pyruvic acid) 或乳酸 (lactic acid)。每莫爾 (mole) 的葡萄糖經由此路徑可以產生 2 個 ATP。

第三種則為有氧系統。有氧系統以醣類和脂肪做為能量來源，但以脂肪為較重要的能源，在代謝過程中必須要有氧氣的參與。其特性

是適合用在較低的運動強度，因此是較適合非選手的一般民眾參與的，是本研究中討論的重點。

脂肪以三酸甘油酯的形式儲存與體內的大部分脂肪細胞與肌肉纖維中，脂肪要轉變成能源的過程中，三酸甘油酯首先分解成游離脂肪酸，再經由 $\beta$ 氧化作用變成乙醯輔酶A，之後進入檸檬酸環 (Citric acid cycle) 與電子傳遞鏈 (electron transport chain)，產生大量的ATP。這之中包含許多種酶催化的化學反應，是一複雜的代謝路徑。

### 三、運動與脂肪代謝

在本研究中，所欲研究的對象為脂肪。其問題背景是，有鑑於現代人許多有脂肪過多的困擾，雖然運動與脂肪的研究課題已被許多學者進行，但可惜的是其中仍有些拼圖並未湊齊。Roepstorff 等 (2002) 讓男性與女性運動員以58 %  $VO_2max$ 進行90分鐘運動，發現性別會影響呼吸交換率 (respiratory exchange ratio, RER)，女性的脂肪代謝較多，但二者在運動過程中的RER沒有顯著差異。國內學者的研究中，林玉瓊、吳忠芳與王順正 (2006) 以臨界負荷強度 (critical velocity, CV) 的強度，相當於約70 % 的 $VO_2max$ 進行跑步運動30分鐘，結果顯示能量物質的利用保持穩定。

事實上，會影響脂肪代謝的因素可能仍有許多是不明朗的，有待更多的證據來說明與支持能量代謝與運動的關聯中不明確的部份。

在一般人的觀點中，用最少的力氣得到最好的效果是減肥人士最想了解的。然而，體重重的人不等於肥胖，必須視體脂肪量才客觀。而肥胖的人必須進行的即是有助於減脂的有氧運動。

如同前面所述，大量利用氧氣進入代謝路徑而產生 ATP 以供利用的運動，被稱之為有氧運動，而有氧運動已被證實是有效減少脂肪的運動。在目前來說，大眾也都有這樣的概念。脂肪是有氧運動中最重要能量來源，所以從事有氧運動有助於減少脂肪。

#### 四、運動與脂肪最大代謝強度

在目前，已知有氧運動可以減少脂肪，但是多少的運動強度才適合呢？有許多的學者做了相關的研究。Astorino (2000) 的研究發現在換氣閾值 (ventilatory threshold) 的強度與最大脂肪代謝強度非常接近。目前一般可以接受在無氧閾值之下的較高強度是對於減少脂肪最有效益的運動強度 (林正常等, 2002)。Jeukendrup and Achten (2001) 提出最大脂肪代謝率強度 (maximal fat oxidation rate, 一般簡稱 FATmax) 的理論，說明在單位時間內隨著運動強度的增加，脂肪的利用率也會增加至最大。

同樣的有許多學者致力於與 FATmax 相關的研究。Klein 等 (1994) 分別以受過訓練 (trained) 與未受過訓練 (untrained) 的受試者進行4 小時的長時間跑步機運動，發現受過訓練者的脂肪代謝量顯

著高於未訓練者；另外 Bergman and Brooks (1999) 同樣進行受過訓練者及未受過訓練的研究，結果顯示受過訓練的受試者脂肪代謝的最大值出現在 59 %  $VO_2max$ ，而未受過訓練的受試者則出現在 40 %  $VO_2max$ 。

Glass, Santos, & Armstrong (1999) 的研究則發現跑步機與腳踏車測驗最大脂肪代謝率產生的運動強度並沒有顯著差異。Astorino (2000) 進行 9 位女性受試者接受 6 種不同運動強度的 15 分鐘跑步，發現最大脂肪代謝率的強度為 75 %  $VO_2max$ 。

由以上可見，FATmax 同樣受到許多因素的影響，例如上述研究中的有無運動訓練習慣、性別等。個體差異的不同就會出現不同的 FATmax。

## 五、運動與疲勞

運動開始後會隨著時間的增加逐漸開始產生疲勞 (fatigue)，而疲勞將會影響後續的運動表現。疲勞的定義為無法在反覆的肌肉收縮中維持能量輸出或力量的情況 (林正常、林貴福、徐台閣、吳慧君，2002)。不管是運動員或是一般民眾，都會有經歷過疲勞的體驗，譬如說一分鐘仰臥起坐、3000 公尺的跑步或反覆的搬重物。造成疲勞的因素有能量消耗、代謝產物堆積、神經系統運作失調、肌肉收縮機制失調，而這些因素是混合發生的。除了這些生理因素，心理層面也

會對疲勞有影響；舉例來說，選手的求勝意志即可能左右高強度的長距離比賽的勝負。

運動中由於能量消耗，肌肉對於 ATP 的需求速率大於產生時，便會出現疲勞的狀況。肌肉對於 ATP 需求增加，PC 也會加速合成。當 PC 用盡時，ADP 開始累積，藉由肌激酶 (myokinase) 反應產生 ATP，在這個無氧糖解的過程中造成氫離子 ( $H^+$ ) 的累積。

肌肉收縮的原理為橫橋理論，在橫橋理論過程中 ATP 是必需的，它的作用為使橫橋產生動作及橫橋與肌動蛋白兩者脫離。當 ATP 耗盡時，橫橋的力量將受到限制。此外，也因為  $H^+$  濃度增加，會干擾橫橋中一個相當重要的動作，即鈣離子 ( $Ca^{++}$ ) 與旋光素的結合，並抑制  $Ca^{++}$  從肌漿網釋放出 (Westerblad, Lee, Lännergren, & Allen, 1991)。另一機械因素是，運動會造成肌節物理性的撕裂。這些現象都會使肌肉收縮不像一開始運動時有足夠的力量。在運動科學的領域中，對於疲勞的研究常以肌肉產生的最大收縮力或反覆收縮時的功率輸出來觀察運動與疲勞的關係 (Grandevia, Enoka, McComas, Stuart, & Thomas, 1995 ; Sterner, Pincivero, & Lephart, 1998)。

乳酸是運動中的代謝產物，對於肌肉疲勞也佔有極重要的份量。在運動中，細胞需要利用 ATP，此時糖解作用的速率大於粒線體內氧化乳酸的速率，造成乳酸的堆積。乳酸的堆積也會提高  $H^+$  的濃度，

導致體液 pH 值下降，影響酶活性 (Sahlin, 1992)。酶無法正常的合成 ATP 時，疲勞就此產生 (謝伸裕，1997)。由上述可見，ATP 的數量對於疲勞是非常重要的。

在神經因素上，疲勞可能與神經肌的連結失調是有關的。鉀離子 ( $K^+$ ) 在細胞膜外堆積使細胞內的鉀離子減少，引起細胞的去極化反應和動作電位振幅減少。這些情況的發生會導致肌漿網降低  $Ca^{++}$  的釋放，同樣的橫橋的循環受到影響。

運動過程中，醣類的消耗也可能導致疲勞的產生 (Wasserman, & Mcilroy, 1964)。醣類消耗將使 ATP 的合成受到限制，進而影響運動表現。長時間的持續運動會使肌肝醣與肝肝醣含量明顯降低 (Gollnick, 1985 ; Sahlin, Katz, & Broberg, 1990)。

另外，也有研究指出，運動中產生的自由基 (free radical) 可能會加速肌肉的疲勞 (Barclay & Hansel, 1991 ; Reid 等，1992)。電子傳遞鏈是有氧 ATP 製造的必需路徑，而自由基在電子傳遞鏈中形成，因此，長時間的有氧運動所造成的疲勞有部分的原因可能來自於自由基 (Davies, Packer, & Brooks, 1982 ; Gomez-Cabrera, Martínez, Santangelo, Pallardó, Sastre, & Viña, 2006)。

雖然疲勞的產生會影響後續的運動表現，但以另一角度的觀點，疲勞是身體非常重要的保護機制。疲勞使細胞對 ATP 的使用率下降，



比 ATP 的產生速度更慢，以維持 ATP 的濃度。這樣的機制使體內維持恆定，達到保護的功能。

## 六、本章總結

綜上所述，運動與脂肪代謝的關係是運動科學領域研究的重點之一。許多因子影響運動的能量物質之利用表現，其中又以運動強度和運動持續時間為重要因子。過去研究中，遞減強度運動的能量利用情形與其對於脂肪代謝的影響極少被探討，這樣的運動模式是否有利於大眾進行並減少脂肪尚不清楚，因此有必要加以觀察並釐清。

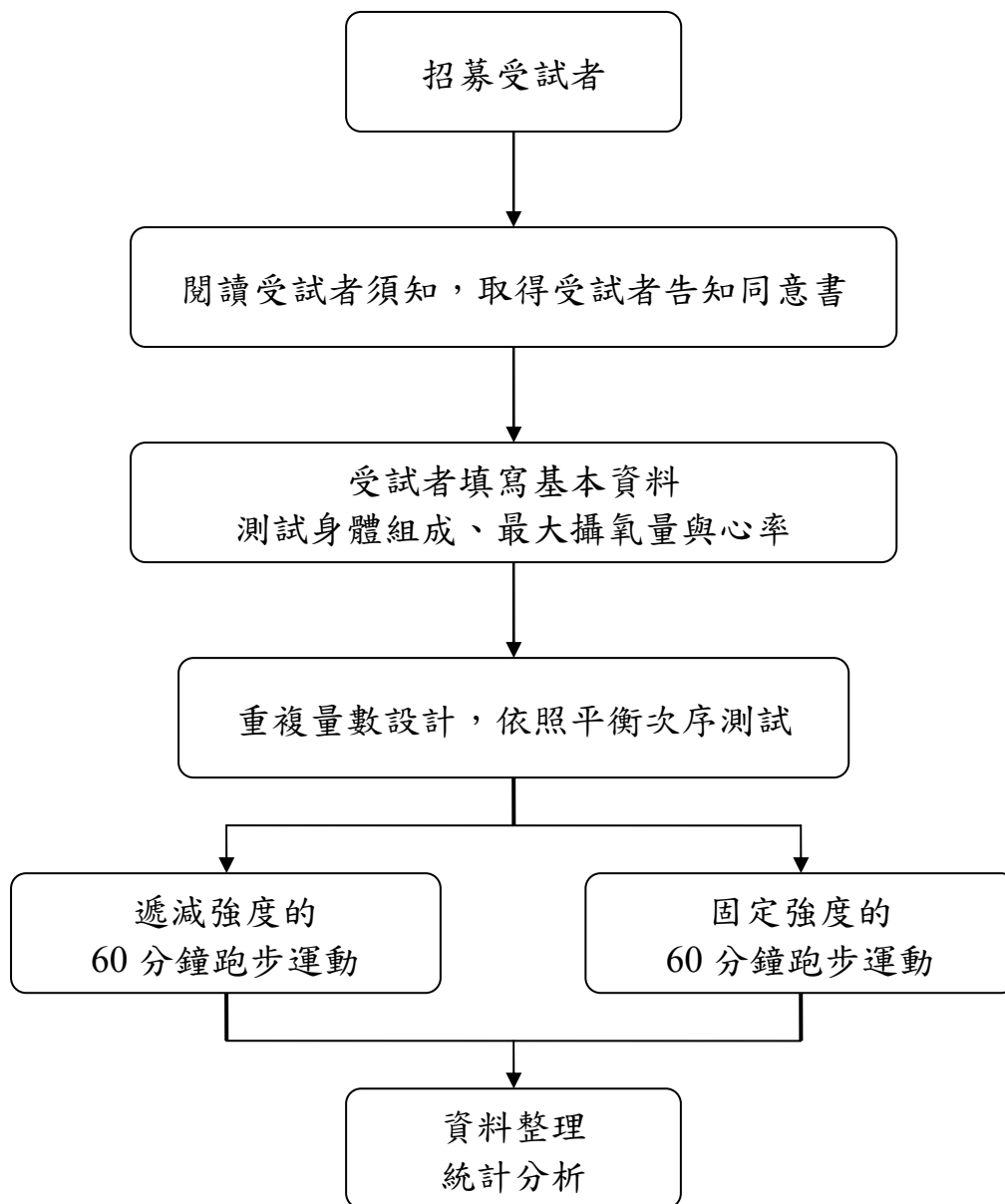
## 第參章 研究方法

### 一、研究對象

本研究招募12名男性受試者，為使研究結果可以推廣於大眾，因此受試者條件不拘，但必須為健康且自願的參與者。實驗進行的前兩週至結束不得有服用藥物之情形。實驗開始前，每位受試者均需接受健康情況調查（附錄三），確認受試者無心血管疾病且可接受運動測驗。此外，受試者必須閱讀受試者須知（附錄一），並在受試者同意書（附錄二）上簽名同意參與本實驗。另外，受試者在實驗進行前須參與受試者講習，確實了解本實驗之目的、過程、受試者權利及注意事項。

### 二、實驗設計

本研究為受試者重複量數的設計，以平衡次序法讓受試者分別進行遞減強度和固定強度的 60 分鐘跑步運動，比較兩種模式運動的脂肪代謝變化與其他生理指標在各時間點的情形。本實驗的操作流程如圖三。



圖三 實驗流程圖

### 三、實驗方法與步驟

受試者總共必須到實驗室 3 次。第一次的內容為熟悉實驗室的環境，閱讀受試者須知，並由研究者解說整個研究過程、操作方法與注意事項。在取得受試者同意書之後，填寫受試者基本資料，即開始進行測量受試者的身高體重、身體組成 (body composition)、心率 (heart rate, HR) 與最大攝氧量 ( $VO_2\max$ ) 的測量，其中心率的部份包含安靜、運動與最大心率。

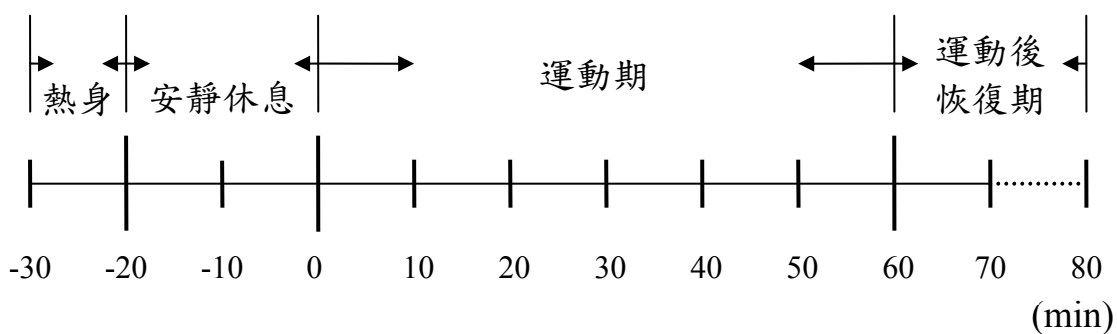
在使用的儀器方面，身高體重以身高體重計 (DS-102, Jenix, Korea) 測量，身體組成以身體組成測量儀 (Inbody2.0, Biospace, Korea) 測量， $VO_2\max$  的測驗是以跑步機 (TrackMaster™, JAS Fitness Systems, Pensacola, FL, USA.) 進行速度漸增運動，使用之 protocol 修改自 Bruce protocol，心率部份則以 Polar watch (Polar S625X, Polar, Finland) 測量，能量消耗使用 MetaMax 3B 攜帶式能量代謝分析系統 (MetaMax 3B, Cortex, Germany) 進行測量。

接下來的兩次，受試者分別接受遞減強度與固定強度的 60 分鐘跑步機跑步運動。先後順序依照平衡次序法決定，兩次受測必須間隔至少 7 天。跑步前需禁食兩小時，熱身後安靜休息 10 分鐘，在此期間紀錄安靜時各項數據。隨即進行 60 分鐘的持續跑步。在運動過程中，每 10 分鐘紀錄一次各項生理數值。

在 60 分鐘的跑步中，每 10 分鐘紀錄受試者的各項數據，包含有 VO<sub>2</sub>、自覺努力程度 (RPE) 與 HR。當跑步完成後，仍須以 MetaMax 繼續測量運動後超額耗氧量 (excess post exercise oxygen consumption, EPOC)，直到受試者的 VO<sub>2</sub> 回復到與運動前的安靜值時才停止 (如圖四)。

在跑步運動時，以攝氧量所對應的跑步機速度作為運動強度的監控。強度方面的設定，經由前導研究 (pilot study) 後將強度訂為：CIE 的強度設定於 AT 的相對應攝氧量以下 5 %。GDE 的開始強度與 CIE 相同為 AT 以下 5 % 的攝氧量強度，之後每 20 分鐘遞減 5 % (如圖五)。

檢測的變項包含有：攝氧量的變化、熱量消耗 (kcal) 之比較、以呼吸交換率 (respiratory exchange ratio, RER) 推算脂肪代謝的變化、二種模式的 EPOC 比較、自覺努力程度 (RPE) 和心率。



10 分鐘熱身活動，心率須達 70%Hrmax。隨後安靜休息 20 分鐘。

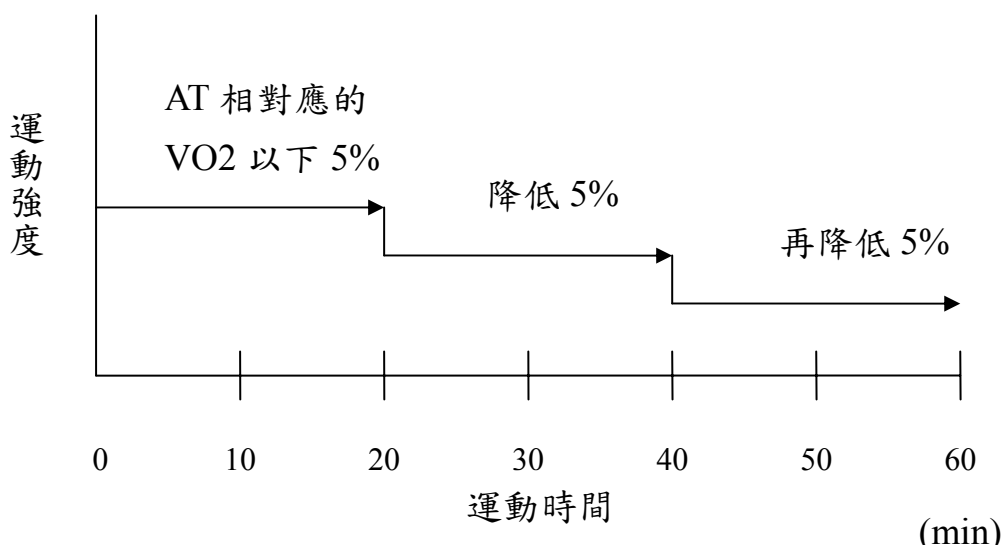


運動時間 60 分鐘，每十分鐘紀錄各項測量指標。



EPOC 測到回復至與運動前安靜態相同。

圖四 運動處理的操作流程圖



圖五 進行遞減強度模式的運動強度

#### 四、統計分析

- (一) 本研究中所獲得的各項資料均以平均數  $\pm$  標準差表示，顯著水準訂於  $\alpha = .05$ ，並以 SPSS 13.0 統計軟體分析。
- (二) 以重複量數單因子變異數分析考驗相同的運動模式下其不同時間點的各项生理指標之差異。
- (三) 以相依樣本  $t$  考驗 ( $t$  test) 比較兩種不同運動模式的運動中與運動後各時間點的生理指標數值之差異。

## 第肆章 結果

### 一、基本資料

為使研究結果可以推廣於大眾，本研究的受試者沒有條件限制，完成測試的12名男性受試者其基本資料如下：年齡  $25.2 \pm 2.4$  歲、身高  $176.9 \pm 6.6$  公分、體重  $70.2 \pm 9.0$  公斤、身體質量指數  $22.5 \pm 3.8$   $\text{kg/m}^2$ 、體脂肪  $17.6 \pm 5.2$  %、最大攝氧量  $48.2 \pm 5.3$   $\text{ml/kg/min}$ （如表一）。

表一 受試者基本資料

項目	平均	標準差	最大值	最小值
年齡 (year)	25.2	2.4	29	20
身高 (cm)	176.9	6.6	187.3	165.5
體重 (kg)	70.2	9.0	80.4	50.1
身體質量指數 ( $\text{kg/m}^2$ )	22.5	3.8	28.3	15.7
體脂肪 (%)	17.6	5.2	29.2	12.1
最大攝氧量 ( $\text{ml/kg/min}$ )	48.2	5.3	53	37

### 二、攝氧量的比較

#### (一) 不同運動模式對攝氧量的影響

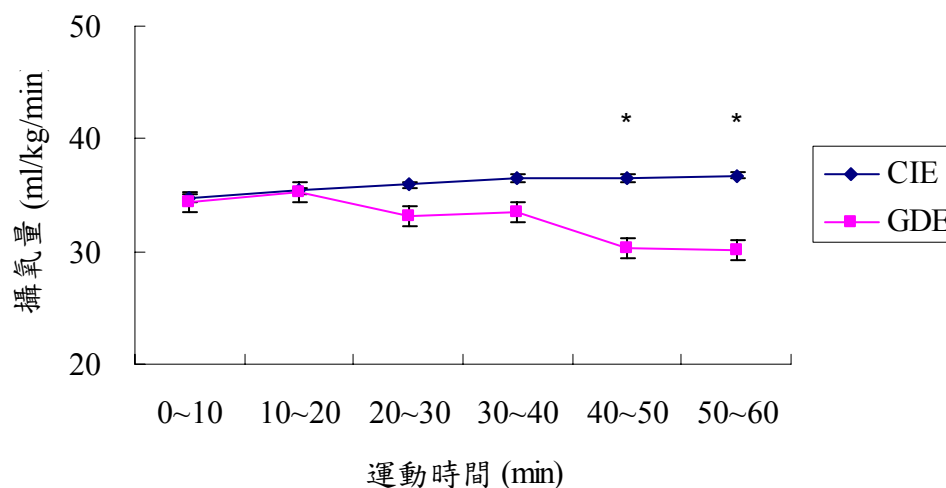
##### 1. 運動期

CIE與GDE的60分鐘運動中，CIE的攝氧量在第40~50分鐘為 36.5



$\pm 5.5$  ml/kg/min 與第50~60分鐘的  $36.8 \pm 5.3$  ml/kg/min 均顯著高於GDE的  $30.2 \pm 4.5$ 、 $30.1 \pm 4.6$  ml/kg/min ( $p < .05$ ) (如圖六)。其餘時段包含0~10、10~20、20~30與30~40分鐘的比較則無達到顯著水準。其中CIE隨運動時間增加有略微上升的趨勢。而20~40分鐘雖未達顯著水準，但GDE的攝氧量已出現下降的趨勢。

運動期的總攝氧量，CIE為  $215.7 \pm 33.9$  ml/kg/min 顯著高於GDE的  $196.7 \pm 22.2$  ml/kg/min ( $p < .05$ )。



圖六 不同運動模式在運動期的攝氧量比較圖 (\*  $p < .05$ )

## 2. 運動後恢復期

CIE的EPOC的量為  $191.1 \pm 15.5$  ml/kg/min 顯著高於GDE的  $136.4 \pm 10.5$  ml/kg/min ( $p < .05$ )，CIE較GDE多出  $54.7 \pm 17.4$  ml/kg/min。EPOC的持續時間方面，CIE為  $12.8 \pm 2.1$  min，GDE為  $12.8 \pm 1.4$  min，兩者沒有顯著差異。

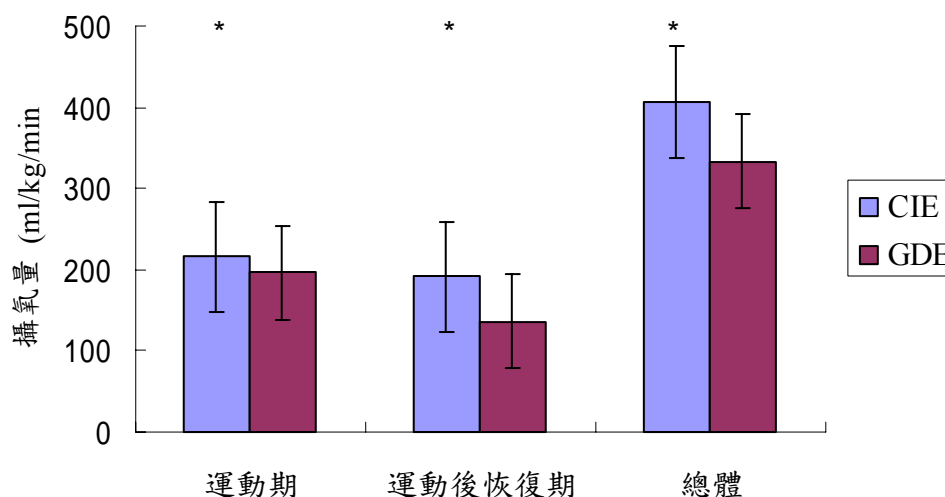
### 3. 總攝氧量

運動期加上運動後超額攝氧量之總耗氧量，CIE為  $406.8 \pm 46.8$  ml/kg/min 顯著高於GDE的  $333.0 \pm 27.9$  ml/kg/min ( $p < .05$ ) (如表二、圖七)。

表二 不同運動模式之攝氧量比較表

項目	固定強度運動 (CIE)	遞減強度運動 (GDE)
運動期攝氧量 (ml/kg/min)	$215.7 \pm 33.9^*$	$196.7 \pm 22.2$
運動後超額攝氧量(EPOC) (ml/kg/min)	$191.1 \pm 15.5^*$	$136.4 \pm 10.5$
總攝氧量 (ml/kg/min)	$406.8 \pm 46.8^*$	$333.0 \pm 27.9$
EPOC 持續時間 (min)	$12.8 \pm 2.1$	$12.8 \pm 1.4$

\*  $p < .05$



圖七 不同運動模式在不同時段的攝氧量比較圖 (\*  $p < .05$ )

#### (二) 在不同時間點的攝氧量

##### 1. 固定強度運動

CIE 在 60 分中的運動中，攝氧量出現上升的趨勢，其中 20~30 分鐘的  $35.9 \pm 6.3$  ml/kg/min 與 30~40 分鐘的  $36.5 \pm 5.9$  ml/kg/min 顯著高於 0~10 分鐘的  $34.7 \pm 6.0$  ml/kg/min ( $p < .05$ )。

## 2. 遞減強度運動

GDE 在 60 分鐘的運動中，則呈現下降的趨勢。其中 40~50 與 50~60 分鐘的攝氧量均顯著低於 0~10、10~20、20~30、30~40 等時段，如表三所示。

表三 在不同時間點之攝氧量 (ml/kg/min) 比較表

	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
CIE	$34.7 \pm 6.0$	$35.4 \pm 6.5$	$35.9 \pm 6.3$	$36.5 \pm 5.9$	$36.5 \pm 5.5$	$36.8 \pm 5.3$
	A	B	C	D	E	F
GDE	$34.4 \pm 4.3$	$35.2 \pm 4.1$	$33.2 \pm 4.2$	$33.5 \pm 4.0$	$30.2 \pm 4.5$	$30.1 \pm 4.6$
	G	H	I	J	K	L

\*C > A ; D > A

\*G > K, L ; H > I, J, K, L ; I > K, L ; J > K, L

\* $p < .05$

## 三、能量消耗的比較

### (一) 不同運動模式對能量消耗的影響

#### 1. 運動期

在能量消耗上，CIE 在第 20~30 分鐘的  $122.8 \pm 26.9$  kcal、第 40~50 分鐘的  $124.1 \pm 23.5$  kcal 與第 50~60 分鐘  $124.9 \pm 23.6$  kcal 顯著高於 GDE 的  $114.1 \pm 24.3$  kcal、 $103.0 \pm 23.8$  kcal 與  $102.8 \pm 25.3$  kcal ( $p < .05$ )，其餘時段的比較則未達顯著水準（如表四）。

隨著運動時間持續增加，能量消耗累積量的比較上，CIE在第50~60分鐘的 $736.2 \pm 149.3$  kcal 顯著高於GDE的 $673.0 \pm 137.5$  kcal ( $p < .05$ )，其餘時段的能量消耗累積量則無顯著差異。換言之，運動期前50分鐘的能量消耗累積量並無差異，60分鐘運動期的總能量消耗CIE高於GDE。

運動期的總能量消耗，CIE與GDE並未達顯著差異。

表四 不同運動模式之能量消耗比較表

項目	固定強度運動 (CIE)		遞減強度運動 (GDE)	
	各時段 (kcal)	各時段累積 (kcal)	各時段 (kcal)	各時段累積 (kcal)
0~10	$118.9 \pm 25.7$	$118.9 \pm 25.7$	$118.0 \pm 22.6$	$118.0 \pm 22.6$
10~20	$121.2 \pm 27.6$	$240.0 \pm 53.1$	$121.0 \pm 24.6$	$239.0 \pm 45.4$
20~30	$122.8 \pm 26.9^*$	$362.8 \pm 79.6$	$114.1 \pm 24.3$	$353.0 \pm 69.1$
30~40	$124.4 \pm 25.3$	$487.2 \pm 104.3$	$114.2 \pm 23.3$	$467.2 \pm 91.4$
40~50	$124.1 \pm 23.5^*$	$611.3 \pm 126.7$	$103.0 \pm 23.8$	$570.2 \pm 113.4$
50~60	$124.9 \pm 23.6^*$	$736.2 \pm 149.3^*$	$102.8 \pm 25.3$	$673.0 \pm 137.5$
運動後	$864.0 \pm 217.9^*$		$610.4 \pm 116.4$	
總能量 消耗	$1600.1 \pm 323.7^*$		$1283.3 \pm 228.0$	

\*  $p < .05$

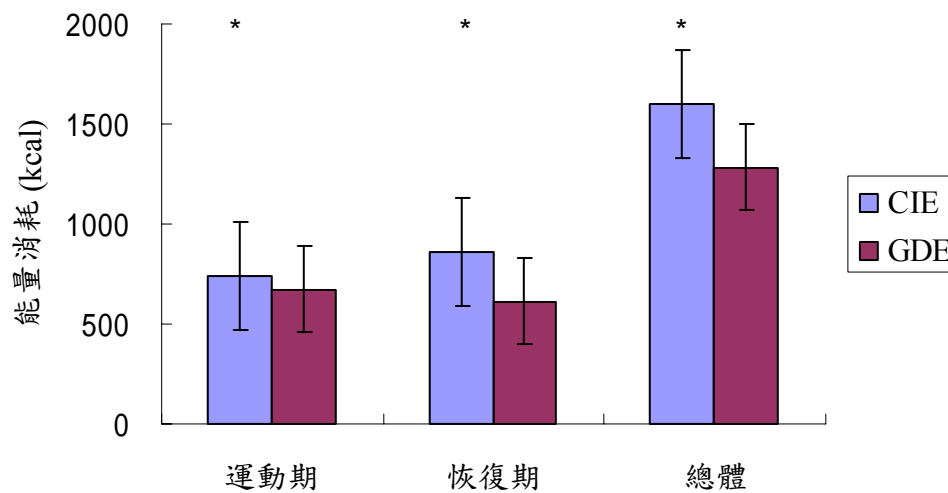
## 2. 運動後恢復期

EPOC消耗的熱量方面，CIE為  $864.0 \pm 217.9$  kcal 顯著高於GDE的  $610.4 \pm 116.4$  kcal ( $p < .05$ )。

## 3. 總能量消耗

運動期與運動後恢復期兩時段共消耗的熱量總量，CIE為  $1600.1$

$\pm 323.7$  kcal 顯著高於GDE的  $1283.3 \pm 228.0$  kcal ( $p < .05$ ) (如圖八)。



圖八 不同運動模式在不同時段的能量消耗比較圖 (\*  $p < .05$ )

## (二) 在不同時間點的能量消耗

### 1. 固定強度運動

CIE在60分鐘的運動期中，30~40分鐘的  $124.4 \pm 25.3$  kcal 顯著高於 0~10分鐘的  $118.9 \pm 25.7$  kcal ( $p < .05$ )。

### 2. 遞減強度運動

GDE在60分鐘的運動期中，能量消耗隨著強度遞減呈現下降的趨勢。其中40~50與50~60分鐘的消耗之能量均顯著低於0~10、10~20、20~30、30~40等時段 ( $p < .05$ )，如表五所示。

表五 在不同時間點之能量消耗比較表

	0~10 (kcal)	10~20 (kcal)	20~30 (kcal)	30~40 (kcal)	40~50 (kcal)	50~60 (kcal)
CIE	118.9 ± 25.7 A	121.2 ± 27.6 B	122.8 ± 26.9 C	124.4 ± 25.3 D	124.1 ± 23.5 E	124.9 ± 23.6 F
GDE	118.0 ± 22.6 G	121.0 ± 24.6 H	114.1 ± 24.3 I	114.2 ± 23.3 J	103.0 ± 23.8 K	102.8 ± 25.3 L

\*CIE : D &gt; A

\*GDE : G &gt; K, L ; H &gt; I, J, K, L ; I &gt; K, L ; J &gt; K, L

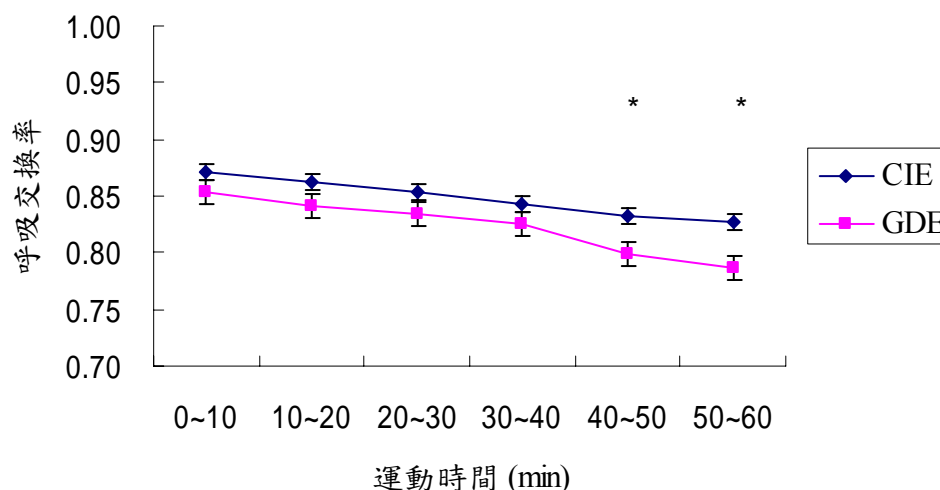
\*  $p < .05$ 

#### 四、脂肪代謝的比較

##### (一) 不同運動模式對脂肪代謝的影響

##### 1. 呼吸交換率 (respiratory exchange ratio, RER)

在 RER 方面的比較上，60 分鐘的運動過程中，GDE 在第二次運動強度降低時，即第 40~50 與 50~60 分鐘的 RER 分別為  $0.80 \pm 0.06$ 、 $0.79 \pm 0.06$ ，顯著低於 CIE 的  $0.83 \pm 0.06$ 、 $0.83 \pm 0.06$  ( $p < .05$ )。其他時間則兩者無顯著差異（如圖九、表六）。



圖九 不同運動模式的呼吸交換率比較圖 (\*  $p < .05$ )

表六 不同運動模式之呼吸交換率比較表

項目	固定強度運動 (CIE)	遞減強度運動 (GDE)
0~10 分鐘	0.87 ± 0.04	0.85 ± 0.05
10~20 分鐘	0.86 ± 0.05	0.84 ± 0.06
20~30 分鐘	0.85 ± 0.05	0.83 ± 0.05
30~40 分鐘	0.84 ± 0.05	0.83 ± 0.06
40~50 分鐘	0.83 ± 0.06*	0.80 ± 0.06
50~60 分鐘	0.83 ± 0.06*	0.79 ± 0.06

\* :  $p < .05$

## 2. 以脂肪為能量來源的能量消耗量

本實驗將每分鐘之攝氧量及呼吸交換率 (RER)，依據 McArdle, Katch, & Katch (1996) 之非蛋白呼吸交換率 (R 值) 對照表，計算出每分鐘之能量消耗。其中，因為該表中 RER 最低為 0.7、最高為 1.0；因此，本研究中凡 RER 低於 0.7 者均以 0.7 計算、高於 1.0 者均以 1.0 計算。結果 CIE 與 GDE 在以脂肪作為能量來源的比較上並無顯著差異 (如表七)。

### 3. 脂肪累積代謝量

#### (1) 運動期

CIE與GDE的脂肪代謝累積方面，在運動期的比較上，同樣的未達顯著差異 ( $374.3 \pm 149.0$  kcal v.s.  $380.9 \pm 113.8$  kcal)。

#### (2) 運動後恢復期

在運動後恢復期，同樣的CIE與GDE兩者並未達顯著水準 ( $40.4 \pm 17.5$  kcal v.s.  $29.3 \pm 10.8$  kcal)。

#### (3) 總量

運動期與運動後揮會期所消耗的能量，以脂肪為能量來源，CIE為  $414.7 \pm 163.8$  kcal，GDE為  $410.2 \pm 120.0$  kcal，兩者並未達顯著差異。

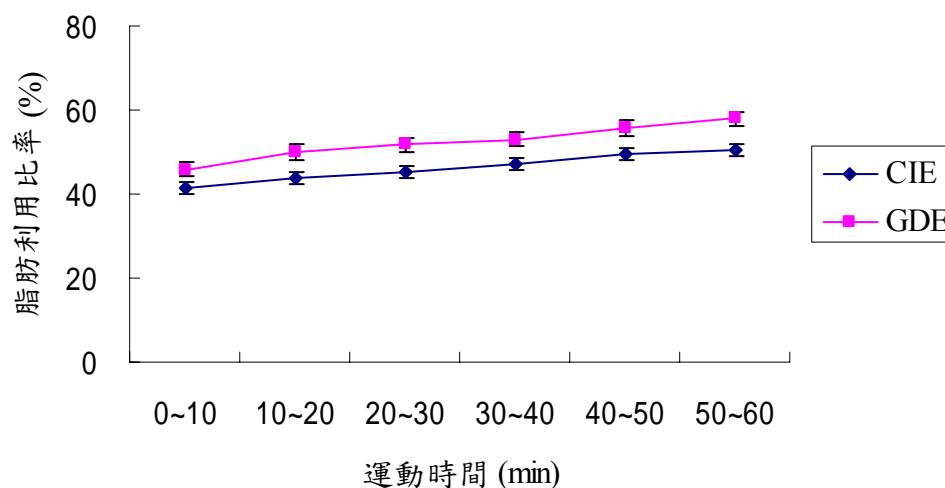
表七 不同運動模式之脂肪消耗比較表

項目	固定強度運動 (CIE)		遞減強度運動 (GDE)	
	各時段 脂肪利用量 (kcal)	脂肪利用 累積量 (kcal)	各時段 脂肪利用量 (kcal)	脂肪利用 累積量 (kcal)
0~10	$50.1 \pm 19.2$	$50.1 \pm 19.2$	$52.3 \pm 22.0$	$52.3 \pm 22.0$
10~20	$55.9 \pm 25.1$	$106.0 \pm 42.3$	$64.3 \pm 26.3$	$116.6 \pm 46.6$
20~30	$61.3 \pm 32.3$	$167.3 \pm 72.6$	$61.5 \pm 20.2$	$178.1 \pm 64.8$
30~40	$66.6 \pm 29.8$	$233.9 \pm 98.5$	$64.1 \pm 20.5$	$242.2 \pm 83.5$
40~50	$71.6 \pm 29.8$	$305.5 \pm 123.4$	$67.9 \pm 21.1$	$310.1 \pm 98.1$
50~60	$68.9 \pm 27.5$	$374.3 \pm 149.0$	$70.8 \pm 21.7$	$380.9 \pm 113.8$
運動後	$40.4 \pm 17.5$		$29.3 \pm 10.8$	
總能量 消耗	$414.7 \pm 163.8$		$410.2 \pm 120.0$	



#### 4. 脂肪利用率

運動期中以脂肪為能量來源所消耗的熱量，CIE與GDE的比較兩者未達顯著差異，但隨著運動時間的增加，兩者均有利用脂肪愈來愈多的趨勢（如圖十、表八）。



圖十 不同運動模式的脂肪利用率比較圖

表八 不同運動模式之脂肪利用率比較表

項目	固定強度運動 (%)	遞減強度運動 (%)
0~10 分鐘	41.6 ± 13.4	45.9 ± 19.1
10~20 分鐘	43.8 ± 14.0	50.0 ± 19.0
20~30 分鐘	45.4 ± 14.8	51.7 ± 17.9
30~40 分鐘	47.4 ± 14.4	53.0 ± 17.3
40~50 分鐘	49.7 ± 15.2	55.7 ± 16.9
50~60 分鐘	50.7 ± 15.7	58.0 ± 16.8

### (二) 在不同時間點的脂肪代謝

#### 1. 固定強度運動

##### (1) 脂肪消耗量

在以脂肪為能量來源消耗的熱量方面，CIE在運動期的各時段之比較，第30~40、40~50、50~60分鐘 ( $66.6 \pm 29.8$  kcal、 $71.6 \pm 29.8$  kcal、 $68.9 \pm 27.5$  kcal) 顯著高於第0~10分鐘 ( $50.1 \pm 19.2$  kcal) ( $p < .05$ )。第40~50、50~60分鐘 ( $71.6 \pm 29.8$  kcal、 $68.9 \pm 27.5$  kcal) 顯著高於第10~20分鐘 ( $55.9 \pm 25.1$  kcal) ( $p < .05$ )。

## (2) 脂肪利用比率

隨著運動時間增加，脂肪的利用比率也增加，CIE在第二次遞減強度後的第40~50、50~60分鐘 ( $49.7 \pm 15.2$  %、 $50.7 \pm 15.7$  %) 均顯著高於第0~10、10~20、20~30、30~40分鐘 ( $41.6 \pm 13.4$  %、 $43.8 \pm 14.0$  %、 $45.4 \pm 14.8$  %、 $47.4 \pm 14.4$  %) ( $p < .05$ ) (如圖十一)。

## 2. 遞減強度運動

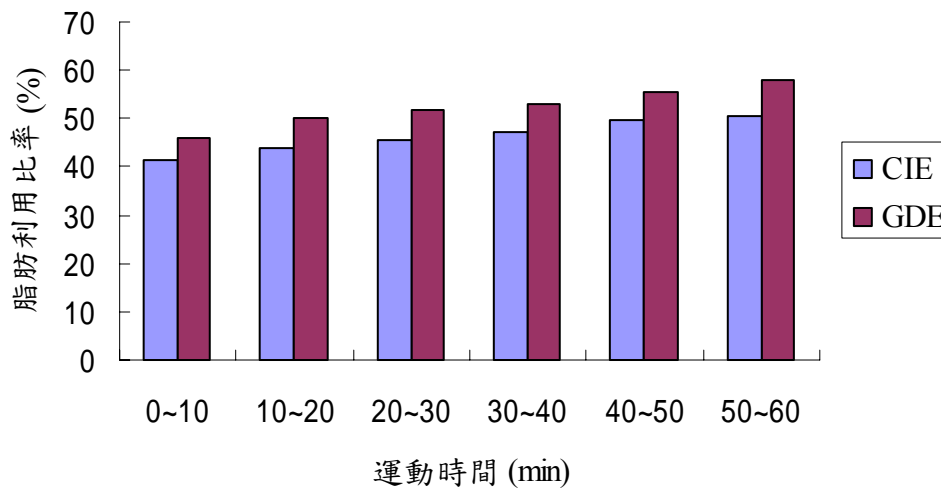
### (1) 脂肪消耗量

在以脂肪為能量來源消耗的熱量方面，GDE在運動期的各時段之比較，第10~20、20~30、30~40、40~50、50~60分鐘 ( $64.3 \pm 26.3$  kcal、 $61.5 \pm 20.2$  kcal、 $64.1 \pm 20.5$  kcal、 $67.9 \pm 21.1$  kcal、 $70.8 \pm 21.7$  kcal) 顯著高於第0~10分鐘 ( $52.3 \pm 22.0$  kcal) ( $p < .05$ )。

### (2) 脂肪利用比率

同樣的，隨著運動時間增加，GDE每時段的脂肪利用比率增加，除了第10~20分鐘與20~30分鐘的比較沒有差異，其餘的各時段互相比

較均達顯著差異( $p < .05$ ) (如圖十一)。



圖十一 在不同時間點的脂肪利用率比較圖

## 五、自覺努力程度的比較

### (一) 不同運動模式對自覺努力程度的影響

在運動自覺努力量值的比較上，兩種運動模式在第20~30、30~40、40~50、50~60分鐘均達顯著差異 ( $p < .05$ ) (如表九)。CIE的運動過程中，受試者有愈來愈辛苦的自我感覺，而GDE則維持“輕鬆”的自我感覺 (自覺努力程度之數值對照如附錄四)。

表九 不同運動模式之自覺努力程度比較表

項目	固定強度運動 (CIE)	遞減強度運動 (GDE)
0~10 分鐘	10.8 ± 1.5	10.6 ± 1.4
10~20 分鐘	11.4 ± 1.8	10.8 ± 1.6
20~30 分鐘	12.0 ± 1.9	10.6 ± 1.4 *
30~40 分鐘	12.3 ± 2.2	10.8 ± 1.9 *
40~50 分鐘	12.7 ± 2.4	10.4 ± 2.2 *
50~60 分鐘	13.0 ± 2.6	10.3 ± 2.4 *

\*  $p < .05$

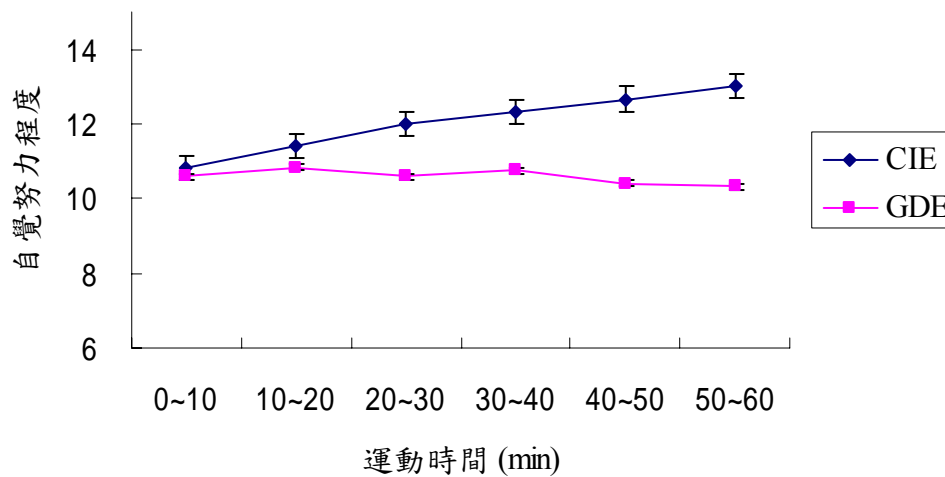
## (二) 在不同時間點的自覺努力程度

### 1. 固定強度運動

CIE在運動60分鐘的自覺努力量值，20~30分鐘的  $12.0 \pm 1.9$ 、30~40分鐘的  $12.3 \pm 2.2$ 、40~50分鐘的  $12.7 \pm 2.4$  與50~60分鐘的  $13.0 \pm 2.6$  均顯著高於0~10分鐘的  $10.8 \pm 1.5$  與10~20分鐘的  $11.4 \pm 1.8$  ( $p < .05$ ) (如圖十二)。

### 2. 遞減強度運動

GDE的自覺努力量值在運動期間的各時段互比，均無達到顯著差異。

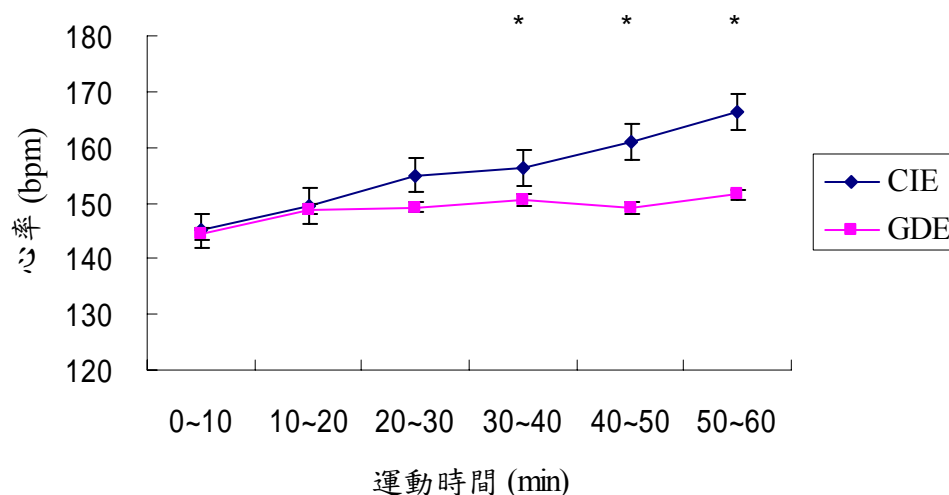


圖十二 在不同時間點的自覺努力程度比較圖

## 六、心率的比較

### (一) 不同運動模式對心率的影響

CIE在30~40分鐘的  $156.3 \pm 11.9$  bpm、40~50分鐘的  $159.4 \pm 12.0$  bpm、50~60分鐘的  $162.5 \pm 12.5$  顯著高於GDE的  $152.4 \pm 15.0$  bpm、 $151.6 \pm 15.4$  bpm 與  $153.9 \pm 15.2$  bpm ( $p < .05$ )。其餘時段的比較則未達顯著差異 (如圖十三)。



圖十三 不同運動模式的心率比較圖 (\*  $p < .05$ )

## (二) 在不同時間點的心率

### 1. 固定強度運動

CIE 的心率在不同時間點有顯著上升的現象 ( $p < .05$ ) (如表十)。

### 2. 遞減強度運動

GDE 的心率也有微幅上升的現象並達到顯著差異，如表十所示。

表十 在不同時間點之心率比較表

	0~10 (bpm)	10~20 (bpm)	20~30 (bpm)	30~40 (bpm)	40~50 (bpm)	50~60 (bpm)
CIE	145.0 ± 11.4 A	149.5 ± 12.7 B	155.0 ± 22.6 C	156.3 ± 11.9 D	161.0 ± 24.0 E	166.3 ± 18.2 F
GDE	144.5 ± 14.4 G	148.9 ± 14.6 H	149.3 ± 15.6 I	150.6 ± 17.3 J	149.1 ± 17.2 K	151.5 ± 16.5 L

\*CIE : F > A, B, C, D, E ; E > A, B, C, D ; D > A, B, C ; B > A

\*GDE : L > G, H, I, K ; K > G ; J > G, I ; I > G ; H > G

\* :  $p < .05$

## 第五章 討論

本研究主要探討固定強度與遞減強度兩種運動模式在長時間持續跑步時對於脂肪代謝的影響，現代人常因為坐式生活型態或飲食控制不當等原因導致肥胖，而肥胖對身體健康是非常不利的。然而，有效減少脂肪的運動模式是大眾想獲得的資訊，因此本實驗設計兩種不同模式來比較其脂肪的代謝變化，希望藉由本研究對脂肪代謝與長時間運動有更多的瞭解。根據本研究結果，以下將針對不同的運動模式對攝氧量、運動後超額攝氧量、能量消耗、脂肪代謝、自覺量值與心率進行探討：

### 一、不同運動模式對於攝氧量的影響

在持續 60 分鐘的運動過程中，CIE 的運動強度保持固定，結果顯示其攝氧量在中段 (20~40 分鐘) 上升。隨著運動時間增加，碳水化合物逐漸消耗，個體的疲勞感覺逐漸增加，疲勞因而產生。導致代表運動強度的攝氧量上升。與 GDE 相較，隨著強度遞減，GDE 的  $VO_2$  顯著降低，即運動強度愈來愈低。在長時間運動中，運動強度會影響個體的生理指標與能否完成。Green (1991) 說明肝醣含量減少與疲勞的關係，主要因為肌肉中肝醣量減少造成醣解作用的速率降低，而肌肉中丙酮酸濃度也隨著下降，進而使檸檬酸環 (Citric acid

cycle) 的中間產物減少，最後降低有氧代謝路徑製造 ATP 的速率。疲勞的產生或許即是導致 CIE 的攝氧量上升的原因。本研究中以速度監控運動強度，CIE 的跑步速度固定不變持續一小時，但實際上攝氧量在中後段上升，即使速度不變，但個體隨運動時間的增加已經經歷到不同的運動強度。

另外，本研究中將強度控制在有氧運動的強度範圍內，每位參與者都可以完成一小時跑步。然而，一般大眾並非訓練有素的運動員，長時間維持同一強度進行運動是有其難度的。因此 GDE 的模式可能較適合許多未經訓練或沒有運動習慣的民眾。

## 二、不同運動模式對於能量消耗與脂肪利用的影響

以能量消耗和脂肪代謝的觀點來看，運動強度與運動持續時間是重要的影響因子。能量消耗方面，強度高時熱量消耗多，強度低則要延長運動持續時間才能消耗相同的熱量。同樣的，脂肪代謝在強度高的運動時較少，強度低則時較多，而運動時間的增加也會使醣類代謝逐漸轉換成脂肪代謝。

本研究中兩種模式的運動持續時間均為 60 分鐘，但運動強度不同，因此兩者的總作功量不同。運動期中 CIE 維持同一強度，其消耗的熱量比 GDE 僅多出 60kcal 左右。所消耗的熱量中，以脂肪為能量來源的部分，CIE 與 GDE 兩者不論是在運動期、運動後恢復期或總



量，比較上都沒有達到顯著差異。然而，在 RER 方面 GDE 的後段 (40~60 分鐘) 顯著較低，脂肪利用量應較多，但實際上脂肪利用量卻沒有差異，從數據來看應是由於 CIE 消耗較多的熱量所致。換言之，CIE 運動 60 分鐘所消耗熱量雖然較多，但消耗掉的這些熱量中脂肪所佔的部份則較少。另外，CIE 與 GDE 在脂肪利用總量上幾乎是相同的 ( $414.7 \pm 163.8$  kcal v.s.  $410.2 \pm 120.0$  kcal)。兩者運動持續時間相同，且脂肪利用量也幾乎相同，強度遞減的運動模式是可以較輕鬆完成的。以效益來考量，肥胖者的需求是減少脂肪，GDE 模式運動應是不錯的選擇，也可避免固定強度造成的疲勞感而無法持續長時間運動。

持續 60 分鐘的跑步運動，本研究的數據顯示能量物質的使用並無保持穩定。運動持續時間增加，不論是固定強度的 CIE 或是遞減強度的 GDE，脂肪利用的比率均隨之提升。這樣的結果符合運動持續時間增加，醣類代謝逐漸轉換為脂肪代謝的觀念 (李再立, 1995; McArdle, Katch, & Katch, 1996)。因此，在長時間運動時的能量來源，似乎運動持續時間的影響力是大於運動強度的。

雖然對於減重而言，其原理是運動強度與運動持續時間兩者乘積的控制，但從本研究中的數據顯示，能量消耗的多寡與脂肪利用的多寡均必須考量。在消耗的熱量中有多少比例是以脂肪為來源的應是想

要減脂的民眾所關注的核心問題，而 GDE 與 CIE 的脂肪利用是相似的。

在本研究中的能量消耗與脂肪代謝，是以呼吸交換率 (respiratory exchange ratio, 簡稱 RER) 進行間接推估，為本研究測驗上的限制。RER 是人體肺部進行氣體交換時，二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 產生量和氧氣 ( $\text{O}_2$ ) 消耗量的比值 ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ )，藉由氣體交換以及蛋白質在運動中的利用非常微量 (Hood, & Terjung, 1990 ; Lemon, & Mullin, 1980)，進而評量碳水化合物與脂肪的利用情形。

一般而言，以呼吸商 (respiratory of quotient, 簡稱 RQ) 進行估算是較理想的，可惜的是人體內的組織呼吸狀況難以測得。因此大部分的運動生理學者採用 RER 這種非侵入性 (noninvasive) 的技術推估能量利用的情況。但 RER 必須是在穩定狀態 (steady-state) 下進行，且容易因受試者的過度換氣或閉氣而導致數據升高。本研究在實驗進行中不斷的提醒受試者保持連續性的呼吸，以儘可能的避免數據的誤差。

### 三、不同運動模式對於運動後超額攝氧量的影響

在EPOC的部分，本研究結果為CIE顯著高於GDE。影響EPOC的因素很多，目前已知的主要因素包含氧氣被用來再合成肌肉中的PC、肌肉、血液與組織中氧的儲存以及乳酸的移除，其他因素有激

素上升、體溫增高等。另外，運動持續時間也是重要的影響因素之一。過去研究指出在相同強度下，運動持續時間的延長會增加EPOC的量與持續時間 (Gore & Withers, 1990 ; Sedlock, Fissinger, & Melby, 1989)。本研究的兩種運動模式均從事一小時的持續跑步，而LaForgia, Withers, & Gore (2006) 的綜評性文章說明運動強度對於EPOC的量是有影響的。當運動強度在50~60 % 的VO<sub>2</sub>max以上時，會刺激EPOC呈線性的增加。因此，本研究CIE與GDE的運動持續時間相同，而CIE的運動強度在中後段 (20~60分鐘) 高於GDE，導致CIE的EPOC較高。

另一方面，CIE的EPOC較高，所消耗的熱量 (kcal) 也就較多，與GDE相比多出約250 kcal ( $864.0 \pm 217.9$  kcal v.s.  $610.4 \pm 116.4$  kcal)。但本研究的數據顯示EPOC消耗的熱量中以脂肪為來源的部份卻只佔少量，並且CIE與GDE之間並沒有達顯著差異 ( $40.4 \pm 17.5$  kcal v.s.  $29.3 \pm 10.8$  kcal)。換言之，從事CIE與GDE兩種不同運動模式，在EPOC方面所消耗掉的脂肪並沒有差異，兩種模式都是很好的選擇。

#### 四、不同運動模式對於自覺努力程度的影響

RPE 自覺努力程度量值是受試者本身的個體感覺，可以藉此觀察出受試者覺得辛苦、吃力的程度。一般而言，使用自覺努力程度量值的好處不僅可以反應受試者的努力程度，且其信度也高 (Ceci & Hassmén, 1991)，受到學者的肯定。更重要的是，以 RPE 自覺努力程

度量表進行測驗所得之數值與 % VO<sub>2</sub>max、無氧閾值、心率和血乳酸的關係非常密切 (Robertson 等, 1990 ; Hetzler 等, 1991 ; Seip, Snead, Pierce, Stein, & Weltman, 1991 ; Robertson 等, 1990 ; Borg, Hassmén, & Lagerström, 1987)。

在一個小時的運動中，肌肉持續的反覆收縮，因而疲勞產生，隨著運動時間的增加個體愈感辛苦。疲勞產生的因素有許多，其中主要原因是肌纖維內氫離子的累積與肌漿網釋放的鈣離子減少，鈣離子減少會降低橫橋作用 (Fitt, 1994)。另外，疲勞產生也會使個體控制肌肉的能力降低 (Buttelli, Seck, Vandewalle, Jouanin, & Monod, 1996)。本研究中，從自覺努力程度量表得到的數據顯示 CIE 模式下經過 20 分鐘後個體開始感到吃力，並愈來愈辛苦，而 GDE 的自覺努力程度量值在各時段都維持在 10 左右，為介於“非常輕鬆”與“輕鬆”之間的狀態。

CIE 的自覺努力程度量值在運動中隨著時間增加而逐漸提高，但實際上的運動強度是固定的。另一方面，GDE 雖然強度遞減，但其自覺努力程度量值並沒有愈來愈輕鬆，而是維持穩定的。這樣的結果應與疲勞是有密切關係的。運動持續時間的增加所累積的疲勞使個體的狀況不如剛開始運動時有許多能量可以利用。因此，即使是固定強度下運動，個體感覺到的實際強度事實上已愈來愈高，若以未經訓練

的民眾來說，長時間持續運動可能難以完成或是非常辛苦的完成。

若以運動時間為考量，GDE 模式是可以幫助大部分的人完成長時間運動，這樣遞減的模式適合非運動員以外的大部分民眾，尤其缺乏決心的人。

## 五、不同運動模式對於心率的影響

一般來說，心率同攝氧量一樣也可以作為運動強度監控的指標。本研究在心率方面觀察到心率有逐漸上升的現象，CIE 在中後段(30~60 分鐘)的心率顯著高於 GDE，顯示兩種運動模式的運動強度已明顯不同，這與前述的攝氧量部分是相符合的。另一方面，就同一種模式內的比較而言，CIE 的心率隨運動時間增加而逐漸上升，而 GDE 的強度遞減，攝氧量是下降的，但心率卻仍然上升，運動期前後差了約 7 bpm，其機轉可能受到運動持續時間影響，並與呼吸肌的疲勞有關。

呼吸肌的功能為控制胸壁的擴張與收縮，使空氣在肺臟中進出以進行氣體的交換。這個控制的機制可以使人體的動脈血液、氣體與酸鹼值達到平衡。已有研究指出長時間運動會造成呼吸肌疲勞的現象 (Johnson, Aaron, Babcock, & Dempsey, 1996 ; Powers, & Criswell, 1996)，進而換氣的有效性降低。肺部的氣體交換與血液的循環是息息相關的，正常的氣體交換需要換氣與血流的相互配合，當換氣效率

降低時，血液中氧氣運輸的和酸鹼值受到影響，會再進一步的使運送到肌肉細胞的氧氣量也減少。而這整個環環相扣的過程中，心率的增加即為一種生理的代償現象。

## 六、結論與建議

### (一) 結論

本研究主要探討 60 分鐘的固定強度跑步與遞減強度跑步，其能量消耗、脂肪代謝與其他生理指標的變化。在運動中，CIE 的攝氧量上升而 GDE 則下降。能量消耗方面為 CIE 較多，但脂肪利用兩者並無差異。同樣的在 EPOC 方面，CIE 雖然較多，但其中以脂肪為來源的部分兩者並沒有差異。兩種模式的運動均隨運動持續時間的增加而提升脂肪利用。簡言之，若以脂肪消耗為目標，GDE 與 CIE 效果是相當的。

遞減強度的模式雖然在脂肪利用的效果並無較佳，但由於強度降低，個體可以較輕鬆的從事長時間的運動，此模式可能有助於運動參與者延長更多的運動持續時間。更重要的是運動持續時間的延長對累積的脂肪總消耗量是有正面幫助的。

在運動強度方面，本研究中以降低攝氧量的 5% 為遞減強度的設定，在實際上的速度約下降 0.4 mile 左右，足以讓個體有持續的動力，而不至於感到愈來愈吃力而停止運動。對非專業運動員的一般大眾是

適合的運動模式。

## (二) 建議

相同的運動持續時間下，遞減強度運動與固定強度運動的脂肪代謝量相當，這樣的研究結果可以提供給民眾多一項選擇，尤其是體力較差、不喜歡運動、剛開始從事運動與肥胖者等對象。遞減強度模式的優勢是可以較輕鬆的完成長時間運動，並且脂肪代謝量與固定強度是相當的。因此，遞減強度模式是可以較容易執行運動，也有鼓勵人們參與運動的效果。這樣的模式不僅具有實際應用上的價值，且能吸引更多民眾投入運動的行列。

在遞減強度模式的研究中，建議可針對遞減強度的多寡與更廣大的族群再做更深入的研究，未來也可將其設計完善的運動計畫，推廣並應用於有減肥需求之大眾。

## 引用文獻

- 李再立 (1995)。運動與脂肪酸的利用。 *中華體育季刊*, 9(3), 70-78。
- 林正常、林貴福、徐台閣、吳慧君 (譯) (2002)。 *運動生理學：體適能與運動表現的理論與應用*。台北市：藝軒。  
(Powers, S. K., & Hoeley, E. T., 2001)
- 林玉瓊、吳忠芳、王順正 (2006)。30 分鐘臨界速度跑步的脂肪代謝變化研究。 *體育學報*, 39(4), 23-34。
- 謝仲裕 (1997)。 *基礎運動生物化學*。台北市：力大。
- Astorino, T. A. (2000). Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(3), 209-216.
- Barclay, J. K., & Hansel, M. (1991). Free radicals may contribute to oxidative skeletal muscle fatigue. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69(2), 279-284.
- Bergman, B. C., & Brooks, G. A. (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*, 86(2), 479-487.
- Borg, G. (1982). Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *International Journal of Sports Medicine*, 3(3), 153-158.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Borg, G., Hassmén, P., & Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 679-685.
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid



- utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of Applied Physiology*, 76(6), 2253-2261.
- Buttelli, O., Seck, D., Vandewalle, H., Jouanin, J. C., & Monod, H. (1996). Effect of fatigue on maximal velocity and maximal torque during short exhausting cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(1-2), 175-179.
- Ceci, R., & Hassmén, P. (1991). Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(6), 732-738.
- Coyle, E. F. (1995). Substrate utilization during exercise in active people. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61, 968-979.
- Davies, K. J., Packer, L., & Brooks, G. A. (1982). Exercise bioenergetics following sprint training. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 215(1), 260-265.
- Epstein, L. H., & Goldfield, G. S. (1999). Physical activity in the treatment of childhood overweight and obesity : Current evidence and research issues. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 624-630.
- Fitt, R. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74, 49-94.
- Glass, S. C., Santos, V. J., & Armstrong, D. E. (1999). The effect of mode of exercise on fat oxidation during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 29-34.
- Gollnick, P. D. (1985). Metabolism of substrates: energy substrate metabolism during exercise and as modified by training. *Federation Proceedings*, 44(2), 353-357.
- Gomez-Cabrera, M. C., Martínez, A., Santangelo, G., Pallardó, F. V., Sastre, J., & Viña, J. (2006). Oxidative stress in marathon runners: interest of antioxidant supplementation. *The British Journal of Nutrition*, 96(1), S31-33.

- Gore, C. J., & Withers, R. T. (1990). The effect of exercise intensity and duration on the oxygen deficit and excess post-exercise oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60, 169-174.
- Grandevia, S. C., Enoka, R. M., McComas, A. J., Stuart, D. G., & Thomas, C. K. (1995). *Fatigue*. New York : Plenum Press.
- Green, H. J. (1991). How important is endogenous muscle glycogen to fatigue in prolonged exercise? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69(2), 290-297.
- Hetzler, R. K., Seip, R. L., Boutcher, S. H., Pierce, E., Snead, D., & Weltman, A. (1991). Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(1), 88-92.
- Hood, D. A., & Terjung, R. L. (1990). Amino acid metabolism during exercise and following endurance training. *Sports Medicine*, 9(1), 23-35.
- Jeukendrup, A. E., & Achten, J. (2001). FATmax: A new Concept to optimize fatoxidation during exercise? *European Journal of Sport Science*, 1(5), 1-5.
- Johnson, B. D., Aaron, E. A., Babcock, M. A., & Dempsey, J. A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(9), 1129-1137.
- Klein, S., Coyle, E. F., & Wolfe, R. R. (1994). Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. *American Journal of Physiology*, 267(6 Pt 1), E934-940.
- LaForgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1247-1264.

- Lemon, P. W., & Mullin, J. P. (1980). Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 48(4), 624-629.
- Mathews, C., & vanHolde, K. E. (1996). *Biochemistry*. Menlo Park, CA: Benjamin-Cummings.
- McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (1996). *Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- McGilvery, R. (1983). *Biochemistry: A functional approach*. Philadelphia: W. B. Saunders.
- McMurray, W. (1977). *Essentials of human metabolism*. New York: Harper & Row.
- Must, A., Jacques, P. F., Dallal, G. E., Bajema, C. J., & Dietz, W. H. (1992). Long-term morbidity and mortality of overweight adolescents. A follow-up of the Harvard Growth Study of 1922 to 1935. *New England Journal of Medicine*, 327(19), 1350-1355.
- Palvou, K. N., Steffee, W. P., Lerman, R. H., & Burrows, B. A. (1985). Effect of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake and strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 967-970.
- Pi-Sunyer, F. X. (1993). Medical hazards of obesity. *Annals of Internal Medicine*, 119(7 Pt 2), 655-660.
- Powers, S. K., & Criswell, D. (1996). Adaptive strategies of respiratory muscles in response to endurance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(9), 1115-1122.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2001). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (4th ed.). New York : McGraw-Hill.
- Sears, C., & Stanitski, C. (1983). *Chemistry for the health-related*

*sciences*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Reid, M. B., Haack, K. E., Franchek, K. M., Valberg, P. A., Kobzik, L., & West, M. S. (1992). Reactive oxygen in skeletal muscle. I. Intracellular oxidant kinetics and fatigue in vitro. *Journal of Applied Physiology*, 3(5), 1797-1804.
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Auble, T. E., Cassinelli, D. A., Spina, R. J., & Glickman, E. L. et al. (1990). Cross-modal exercise prescription at absolute and relative oxygen uptake using perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 653-659.
- Robertson, R. J., Stanko, R. T., Goss, F. L., Spina, R. J., Reilly, J. J., & Greenawalt, K. D. (1990). Blood glucose extraction as a mediator of perceived exertion during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1-2), 100-105.
- Roepstorff, C., Steffensen, C. H., Madsen, M., Stallknecht, B., Kanstrup, I. L., Richter, E. A., et al., (2002). Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 282(2), E435-47.
- Sahlin, K., Katz, A., & Broberg, S. (1990). Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *The American Journal of Physiology*, 259(5 Pt 1), C834-841.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Medicine*, 13(2), 99-107.
- Sedlock, D. A., Fissinger, J. A., & Melby, C. L. (1989). Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(6), 662-666.
- Seip, R. L., Snead, D., Pierce, E. F., Stein, P., & Weltman, A. (1991). Perceptual responses and blood lactate concentration: effect of training state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(1), 80-87.

- Stanley, W. C., & Connett, R. J. (1991). Regulation of muscle carbohydrate metabolism during exercise. *FASEB Journal*, 5(8), 2155-2159.
- Sterner, R. L., Pincivero, D. M., & Lephart, S. M. (1998). The effects of muscular fatigue on shoulderproprioception. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 8, 96-101.
- Suttie, J. (1977). *Introduction to biochemistry*. New York: Holt, Rinehart & Wilnston.
- Wasserman, K., & Mcilroy, M. B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American Journal of Cardiology*, 14, 844-852.
- Westerblad, H., Lee, J. A., Lännergren, J., & Allen, D. G. (1991). Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 261(2 Pt 1), C195-209.

## 附錄一 受試者須知

本研究的主要目的在於探討遞減強度的長時間跑步對脂肪代謝變化的影響。以兩種不同模式，分別是遞減強度與固定強度的60分鐘跑步，藉以觀察脂肪代謝與其他生理指標之變化。因此，在本實驗中，您必須接受：

### (一) 基本資料測量

檢測受試者身高、體重、身體質量指數 (body mass index, BMI)、安靜心跳率、安靜攝氧量與身體組成 (body composition)。

### (二) 運動測驗

1. **先前測驗部分**：受試者以跑步機進行漸增性負荷運動至衰竭以測驗最大攝氧量 (VO<sub>2</sub>max)、無氧閾值 (anaerobic threshold, AT) 與最大心率 (HRmax)。

#### 2. 正式實驗部分：

受試者依照平衡次序法決定二者模式運動的先後順序。

**固定強度模式**：強度訂於個體無氧閾值下5%之VO<sub>2</sub>max 相對應的速度，以此強度運動60分鐘，完成後仍需進行EPOC的測量，直到受試者的VO<sub>2</sub>回復至與運動前安靜狀態相同。

**強度遞減模式**：起始速度訂於個體無氧閾值下5%之VO<sub>2</sub>max 相對應的速度，之後每隔20分鐘速度遞減5%之VO<sub>2</sub>max，完成後仍需進行EPOC的測量，直到受試者的VO<sub>2</sub>回復至與運動前安靜狀態相同。

為了使實驗能順利進行，並得到正確的資料，請您在實驗期間務必確實遵守下列事項：

1. 實驗前2小時內，禁止飲食。
2. 實驗前48小時內，請勿從事激烈運動。
3. 實驗前48小時內，禁止任何的酒精性飲料或含咖啡因之刺激性食品或營養品。
4. 實驗前48小時內，請勿改變平常的飲食習慣。
5. 請遵守研究人員的指導，並且在指定的時間之前穿著運動服裝到達國立臺灣師範大學分部運動生理學實驗室。
6. 實驗期間因感冒或其他原因而服用藥物，須確實告知實驗者，以掌握受試者身體狀況。

所有參與本研究的受試者皆為自願參與，如果實驗期間有任何不舒服或是更改意願，請及時通知研究人員，您有權利隨時退出實驗而不受到任何限制。

研究單位：國立臺灣師範大學體育系 研究生：陳奐杰 聯絡電話：0929-627399 指導教授：謝伸裕 博士
--

## 附錄二 受試者參與同意書

受試者編號：\_\_\_\_\_

研究單位：國立臺灣師範大學體育系		
研究計劃名稱：遞減強度的長時間持續跑步對脂肪代謝的影響		
研究生：陳奐杰	聯絡電話：0929-627399	指導教授：謝仲裕
受試者姓名：	性別： <input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	年齡： 歲
出生年月日： 年 月 日	聯絡電話：	
通訊地址：		
緊急聯絡人：	緊急聯絡人電話：	
<p><b>一、研究目的</b></p> <p>探討遞減強度的長時間跑步對於脂肪代謝變化的影響。進行兩種不同模式，分別是遞減強度與固定強度的60分鐘跑步，藉以觀察脂肪代謝、能量消耗與其他生理指標之變化。</p>		
<p><b>二、研究流程</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;"><u>先前測驗部份</u></p> <p>(1) 測量受試者身高、體重、身體質量指數、安靜心跳率、安靜攝氧量、身體組成。</p> <p>(2) 最大攝氧量測驗(<math>VO_2max</math>)、無氧閾值(AT)與最大心率(HRmax)。</p> </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;"><u>正式實驗部分</u></p> <p>(1) 受試者以跑步機進行兩次60分鐘跑步運動。</p> <p>(2) 固定強度與遞減強度兩種模式的運動，中間至少間隔7天。</p> </div>		

### 三、檢測項目

#### (一) 採氣分析：

攝氧量、呼吸交換率與運動後超額耗氧量(excess post exercise oxygen consumption, EPOC)

#### (二) 自覺努力程度(rating of perceived exertion, RPE)

#### (三) 心率

#### (四) 能量消耗

#### (五) 脂肪代謝：

以呼吸交換率與攝氧量變化情形推算能量消耗與脂肪利用率

### 四、可能產生之副作用及危險

在最大攝氧量與運動測試的過程中可能會出現一些暫時性的不適感，包括暈眩、下肢無力、肌肉酸痛等情形。

### 五、受試者權益

(一) 損害賠償：受試者若因為實驗而需要治療，費用由研究者負擔。

(二) 保護隱私：研究結果僅供論文需要發表，並以匿名方式呈現。受試者個人資料將予絕對保密。

(三) 受試者有權在無任何理由下要求停止或退出實驗而不受任何限制。

(四) 受試者本人願意承擔實驗過程中的任何風險。

### 六、緊急狀況之處理

若受試者於實驗期間受傷，或覺得身處危險之中，請立刻與研究者(陳奐杰，聯絡電話：0929-627399) 聯絡。

本研究需要您的參與及配合，若您願意遵守上述各項相關規定，且已詳細閱讀過受試者須知與同意書之內容，請在以下各欄簽名，非常感謝您的合作!

受試者簽名： 日期： 年 月 日

見證人簽名： 日期： 年 月 日

研究者簽名： 日期： 年 月 日



### 附錄三 受試者健康調查表

本調查旨在幫助您瞭解自身的健康情況，並協助研究人員評估是否在測驗前需要進行更詳細的健康檢查。敬請據實作答，過去一年中，醫生是否告訴您或是自覺有下列狀況：(請您在有、無、不確定欄中選擇適合的答案打✓)

有      無      不確定

1. 高血壓
2. 心臟病或心血管疾病
3. 心律不整
4. 糖尿病
5. 支氣管炎
6. 肺部發炎
7. 藥物過敏
8. 貧血
9. 氣喘
10. 經常性胃痛
11. 緊張、焦慮、情緒或心理異常
12. 快速站起來是會感到頭昏
13. 體重快速下降
14. 暈倒或失去知覺
14. 運動或跑步完後，極度疲憊很久才能恢復
15. 過去半年間，是否有其他病症發生  
請說明：\_\_\_\_\_
16. 目前身上有剛受傷或未痊癒的舊傷  
請說明狀況：\_\_\_\_\_
17. 其他任何不適合運動的原因  
請說明狀況：\_\_\_\_\_

姓            名：\_\_\_\_\_

填表日期：97年    月    日

附錄四 運動強度自覺努力程度量表

6	
7	<b>very, very light (非常非常輕鬆)</b>
8	
9	<b>very light (非常輕鬆)</b>
10	
11	<b>fairly light (輕鬆)</b>
12	
13	<b>somewhat hard (有些吃力)</b>
14	
15	<b>hard (吃力)</b>
16	
17	<b>very hard (非常吃力)</b>
18	
19	<b>very, very hard (非常非常吃力)</b>
20	

(Borg, 1982)

## 個人小傳

姓 名：陳奐杰

出生日期：69年9月17日

出生地：台灣省台南市

學 歷：國立台灣師範大學 體育學系碩士班  
國立東華大學 運動與休閒學系畢業

經 歷：台南市籃球委員會 裁判  
花蓮縣籃球委員會 裁判  
花蓮縣籃球協會 裁判  
臺北市啟新診所 運動保健師  
亞歷山大健康休閒俱樂部 中和分部 運動指導員

學術團體：華人運動生理暨體適能學者學會會員

證照：中華民國 B 級籃球裁判  
中華民國 C 級籃球教練  
中華民國 C 級拔河裁判、教練  
中華民國 C 級棒球裁判、教練  
中華民國紅十字會急救証

術科專長：籃球