

國立臺灣體育大學（臺中）
National Taiwan Sport University
體育研究所碩士學位論文

以心跳數預測人體能量消耗之研究－
大專院校男學生為例

PREDICTION OF HUMAN ENERGY EXPENDITURE BY
DAILY TOTAL HEART BEAT-FOCUS TO MALE
COLLEGE STUDENTS



研 究 生：詹仁德 撰

指導教授：陳裕鏞 博士

協同教授：劉毓毓 博士

中 華 民 國 九 十 八 年 二 月

論文名稱：以心跳數預測人體能量消耗之研究-大專院校男學生
為例

總頁數：76 頁

院校所組別：國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所自然科學組

畢業時間及提要別：九十七學年度第一學期碩士學位論文提要

研究生：詹仁德

指導教授：陳裕鏞博士

中文摘要

本研究主要目的欲探討人體全天性心跳數對能量消耗做預測回歸方程式。本研究實驗參與者為國立臺灣體育大學(臺中)五位於日常生活中皆有規律運動習慣的男性大學生(年齡 22.8 ± 2.17 歲、身高 180.4 ± 2.88 公分、體重 74.6 ± 6.88 公斤、身體質量指數 22.91 ± 1.73 公斤/公尺²、最大耗攝氧量 48.29 ± 3.82 毫升/公斤/分)。透過三天不同運動強度(休息日、實驗參與者最大耗氧量($VO_2\max$)的 30%、50% 視為低強度、中強度運動)數周內分別完成監測。研究結果顯示以心跳數推估能量消耗之回歸方程式為 $Y = 0.0303X - 1327.66$ ， $R^2 = 0.651$ 。然而從運動後過耗氧量(EPOC)分析發現：中強度運動後各階段償還氧債能力差異不大；反觀高強度運動後各階段償還氧債差異較顯著，且睡眠期間中強度比高強度還債的比例多，此現象顯示出。結論：本篇研究的結果能提升透過心跳數做能量消耗推估合理性的應用。

關鍵詞：心跳數、能量消耗、EPOC

Chan, Jen-Te (2008). Prediction of human energy expenditure by daily total heart beat - focus to male college students, National Taiwan Sport University, Taichung.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the correlation between total heart beats and total energy expenditure all day long. Healthy five college students from the National Taiwan Sport University with regular exercise were recruited (age: 22.8 ± 2.17 years old; height: 180.4 ± 2.88 cm; weight: 74.6 ± 6.88 kg; BMI (body mass index): 22.91 ± 1.73 kg/m² ; VO₂max: 48.29 ± 3.82 ml/kg/min) for this study. Three days with various exercise intensities, which are the day with quiet rest, the day with exercise at 30% of VO₂max and the day with exercise at 50% of VO₂max were performed separately in week long inter- val. The result indicated that the high correlation between total heart beats and total energy expenditure all day long was observed by the R value up to 0.81 and linear regression is $y=0.0303x-1327.66$. The excess post exercise oxygen consumption (EPOC) accumulated of three phases, from start of exercise to the 8th hour as first phase, from the 9th ~ 17th hour as the second phase, from the 17th ~ 26th hour as the third phase after exercise were analyzed. The accumulation of the third phase in low intensity day was greater than the moderate one. In conclusion, the results of

our study can provide the possibility for the feasible application to develop the energy expenditure.

Keywords : Heart beats, Energy expenditure, EPOC

謝 誌

回憶起兩年半前剛踏入研究所時，胸襟充滿無限的鬥志與熱情，如今將卸下繁重的研究工作，準備向人生旅途中更遠的目標邁進。

腦海中依稀還記得於大學畢業前夕就慢慢接觸研究所的課程並隨課旁聽，進而認識學生的指導教授－陳裕鏞博士；從教授身上不僅學習到如何做研究？從發現問題開始、尋求解決問題的方法、隨後的結果分析與討論、最後才能夠創造知識的這段心路歷程，於過程中總是秉持者戰戰兢兢、如履薄冰的態度走完這段路程；在這段研究生涯，由衷地感謝陳教授不厭其煩、誨人不倦的教學態度提供許多寶貴的建議與指導；再者要感謝協同教授－劉總經理毓毓博士將所學的實務經驗不吝惜地傳授與教導；於此須特別感謝陳博士志勇大力贊助實驗儀器設備，讓本研究能順利如期完成；此外從所上眾師身上見識到對體育學術研究執著與認真的典範，如此專精敬業的錦囊相授，方能提攜愚昧的我。老師：感謝你們！

能順利完成此篇論文，要感謝的人實在太多：協助論文口試順利的劉總經理毓毓、廖總經理本彰、陳博士志勇、謝教授坤昌、廖教授慧芬；共患難的好友：文進、志綱、尉豪、世宏、伯瑋、佳彥及關心我的朋友們；最後非常地感謝我親愛的家人，默默地全力支持、讓我無後顧之憂的全心衝刺研究工作且順利完成，願將這份榮耀與喜悅與家人、師長及關心我的朋友們共同分享此甜蜜的成果。

詹仁德 謹識

中華民國 98 年 2 月

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝 誌	IV
目 錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1
第一節 研究動機	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究問題	4
第四節 研究假設	4
第五節 研究範圍	5
第六節 研究限制	5
第七節 操作型定義	5
第二章 文獻探討	7
第一節 身體活動量與能量消耗之相互關係	7
第二節 評估能量消耗之方法	11
第三節 心跳率與能量消耗之相關文獻	18
第四節 耗氧量與能量消耗之相關文獻	20
第五節 耗氧量與總心跳數之相關文獻	21
第六節 運動後過耗氧量之探討	22
第三章 研究方法	26
第一節 研究架構	26
第二節 實驗時間與地點	27

第三節 實驗程序與進度管制	27
第四節 實驗參與者	31
第五節 施測工具	31
第六節 資料處理與統計分析	36
第七節 預期效果	36
第四章 研究結果	37
第一節 受試者基本資料之分析	37
第二節 運動強度與能量消耗之分析	37
第三節 運動強度與心跳數之分析	39
第四節 心跳數與能量消耗之分析	42
第五節 低、中強度運動後過耗氧量對能量消耗之分析	45
第五章 研究討論	50
第一節 運動強度對能量消耗的影響	50
第二節 運動強度對心跳數的影響	51
第三節 心跳數對能量消耗的影響	52
第四節 低、中強度運動 EPOC 對能量消耗的影響	54
第六章 結論與建議	56
第一節 結論	56
第二節 建議	57
參考文獻	58
附錄一 受試者同意書	67
附錄二 身體健康調查表	71
附錄三 身體活動量調查表	73
附錄四 人體能量消耗研究意見表	76

表目錄

表 1	不同運動、強度之能量消耗對照表	9
表 2	流程分析表	30
表 3	受試者基本資料	37
表 4	運動強度與能量消耗描述性統計表	38
表 5	運動強度與能量消耗變異數分析摘要表	39
表 6	運動強度與心跳數描述性統計表	40
表 7	運動強度與心跳數變異數分析摘要表	41
表 8	心跳數與能量消耗描述性統計表	43
表 9	心跳數與能量消耗變異數分析摘要表	43
表 10	心跳數與能量消耗模式摘要表	44
表 11	心跳數與能量消耗回歸預測公式係數表	44
表 12	低、中強度運動之 EPOC 描述性統計表	46
表 13	個別運動強度不同時段之 EPOC 差異比較	48
表 14	個別時段不同運動強度之 EPOC 差異比較	49

圖目錄

圖 1	運動強度 & 持續時間對 EPOC 產生影響立體圖	24
圖 2	研究架構圖	26
圖 3	運動科學研究中心	27
圖 4	運動生理學研究室	27
圖 5	實驗流程圖	29
圖 6	氣體分析儀	32
圖 7	電源供應系統	32
圖 8	電池模組改良設計圖	33
圖 9	三用電錶裝置圖	33
圖 10	不同運動強度與能量消耗直方圖	38
圖 11	不同運動強度與心跳數直方圖	41
圖 12	心跳數與能量消耗回歸曲線圖	45
圖 13	個別時段不同運動強度之 EPOC 差異直方圖	49

第一章 緒論

本章共分為七節，分別說明第一節研究動機、第二節研究目的、第三節研究問題、第四節研究假設、第五節研究範圍、第六節研究限制與第七節操作型定義。茲分述如下：

第一節 研究動機

現今的社會從農業型態慢慢轉型為工商業型態。隨著社會科技的進步，國民的生活品質也逐年提升；無論是精神生活、物質生活或社會生活層面，漸漸地明顯觀察出有所差異。基於人民物質生活的提升，國民對於飲食的攝取處處隨手可得，導致國民身體質量指數 (body mass index, BMI) 都明顯偏高。若探討國民飲食平衡的攝取，首當其衝我們應先行了了解人體熱量代謝的評估方式；而人體總熱量消耗細膩可分為三大部分：基礎代謝率 (Basal metabolic Rate, BMR)、身體活動量 (Physical Activity, PA)、與食物熱效應 (Diet-induced thermogenesis ; DIT)等三項(郭家驊、劉昉青、祁業榮、劉珍芳、張振崗、邱麗玲、郭婕, 2001)。一般人的基礎代謝率約佔每日總消耗量的 67%，身體活動量約佔 23%，食物消化吸收約佔 10% (Nieman, 1998)。

許多研究中仔細地發現：關於人體的能量消耗 (Energy Expenditure)評估之參考文獻顯示高比例皆使用間接式熱量測量法 (Spurr, Prentice, Reina, Muragtroyd, Goldberg & Chrisman, 1988)。基於直接熱量測量法 (direct calorimetry)所花費的人力、物力、財力與時間依仍是相當浩大，導致研究工作執行時面臨許多困難窘境。藉由間接測量法 (indirect

calorimetry)來推估人體能量消耗，大都規劃設計短時間運動強度、透過呼吸系統的氣體分析做人體能量消耗的評估；根據上述與本研究欲探討人體二十四小時能量消耗(24hrs Energy Expenditure)評估呈現微小的差距。

綜觀呼吸系統為維持人類生命所必需，而人體呼吸時所產生耗氧量(Oxygen consumption)做為能量的評估(Energy Expenditure)相形成為一門重要的議題(Christensen, Frey, Foenstelien, Aadland, & Refsum, 1983)；根據耗氧量觀察下不難發現人體心跳率與此關係更相形密切、唇亡齒寒(Ward, Bishop, Woakes & Butler, 2002)。如今國內外參考文獻透過兩變項彼此間高相關係數以專研與延伸許多研究課題；基於本研究層面，人體生理變項的心跳率直接牽涉心跳數(Heart Beat)的重要影響。運用心跳率(Heart Rate)的變異來推估人體能量消耗仍展現高相關的準確性(Livingstone, Coward, Livingstone, Prentice, Ceesay, Strain, McKenna, Nevin, Barker, and Hickey, 1990)；反觀每當人體運動結束後生理機制自然而然逐漸產生運動後過耗氧量(Excess post exercise oxygen consumption, EPOC)的機轉，導致無法順利推估這段期間能量消耗，因此更加地影響推估人體24小時能量消耗的準確性(Foureaux, Pinto, & Damaso, 2006)。

再者，以間接耗氧量與心跳率的測量方式去推估能量消耗已有高相關性佐證(Li, Deurenberg, & Hautvast, 1993)。然而心跳率會受到外在因素去影響能量消耗的推估，那些外在因素可分為心理層面與環境層面來探討。心理層面影響最深就是情緒，尚還包括心血管疾病的困擾；環境層面因素包括溫度、海拔高度等；總而言之，透過心跳率來推估能量消

耗仍有部分誤差存在。

從相關文獻研究中，耗氧量消耗 (Oxygen consumption) 的多寡伴隨者人體血液中攜帶含氧量的數目而定，血液中的含氧血紅素 (Oxyhemoglobin) 越多，則耗氧量相對增加；若心臟持續供應穩定的總血流輸出量或增加心臟的總跳動數以提升血流輸出量，導致人體生理內部獲得的氧氣量增加，隨後牽引人體能量消耗之提升 (Treuth, Anne, & Nancy, 1998)。

整體而言，透過耗氧量有效地推估能量消耗之過程，並根據人體能量代謝的觀念，循序漸進的推論出：藉由總心跳數的增加以預估人體能量消耗的觀念，這項課題確實值得研究的一門學問。

第二節 研究目的

本研究目的僅針對國內大專體育院校男學生執行二十四小時能量消耗 (24-hrs Energy Expenditure, 24h-EE) 之評估；根據全天性總心跳數 (Total Daily Heart Beats, TDEE) 取代心跳率 (Heart Rate, HR) 的地位去推估人體耗氧量 (Oxygen Consumption, VO_2) 生成量，並搭配逐口氣體 (breath by breath) 的分析，循序漸進地推算出人體全天性能量消耗 (Total Daily Energy Expenditure, TDEE)，隨後建立心跳數與能量消耗兩者間高相關係數之回歸方程式。根據上述論點其目的有下列三點：

- 一、不同運動強度模式下，全天性心跳數有無差異。
- 二、不同運動強度模式下，全天性能量消耗有無差異。
- 三、以心跳數預估能量消耗是否為高相關係數回歸方程式。

第三節 研究問題

綜觀國內外研究報告指出：評估能量消耗方法大都以基礎代謝率(basal metabolic rate, BMR)的預估公式推算，隨後配合身體運動層級(physical activity level, PAL)因素，整合上述兩者實驗數據的統計分析，建立出回歸方程式。

基於運動強度無法做持續性評估計算，運動過後血液中陸續產生運動後過耗氧量(Excess Post Exercise Oxygen Consumption, EPOC)的機轉，此細微變化讓能量消耗的評估產生不容忽視的落差；關於全天性能量消耗(TDEE)評估於運動科學應用實務層面仍有寬廣的成長空間。整體而言，藉由人體的呼吸心跳數(Heart Beats)視為新穎的概念分析，減少人體內部無法控制的變項，試圖以降低實驗中所造成的誤差，達到符合高相關性的回歸方程式。

第四節 研究假設

多篇文獻探討得知：人體能量消耗的評估應能透過間接熱量測量法方式，依循最大耗氧量($VO_2\max$)的攝取進而詳細推算出，最大耗氧量($VO_2\max$)可依據心臟每分鐘血流輸出量計算分析得知。因此，藉由人體心跳數的總計量來推估國內大專體育院校學生的能量消耗亦成高相關係數的回歸曲線方程式。根據上述所言，本研究假設如下列所示：

- 一、不同運動強度模式下，全天性心跳數無顯著差異。
- 二、不同運動強度模式下，全天性能量消耗無顯著差異。
- 三、以心跳數預估能量消耗為高相關係數回歸方程式。

第五節 研究範圍

一、研究樣本範圍

本研究主要是以國立臺灣體育大學(臺中)體育學系(所)之男學生為實驗對象，年齡在 20-27 歲間、身高介於 165-185 公分範圍內、體重介於 65-85 公斤範圍內，且每位獨立個體無心血管與代謝方面之疾病，亦無骨骼、關節方面相關疾病。

二、研究內容主要變項

本研究主要變項為身體組成、性別、年齡、遺傳及身體活動量...等因素。綜觀上述控制變項大都為先天性不可操控的變因，而這些變因往往會造成推估結果的誤差值。

第六節 研究限制

監測人體能量消耗方法可分為直接熱量測量法(direct calorimetry)與間接熱量測量法(indirect calorimetry)。然而直接熱量測量法準備工作程序繁瑣且複雜、操作上不易掌握與控制，於實驗過程中處處充滿困難性，導致實驗流程將無法順利完成，再因國內環境無此生理實驗室的設備。另一層面，間接熱量測量法在研究工具上擁有多元化的選擇，且實驗操作程序上較為簡易、且執行面也較無阻礙。

第七節 操作型定義

一、能量消耗

能量消耗(Energy Expenditure)本研究定義為人體在基礎代謝功能、身體活動與食物處理過程中所消耗的總卡路里數；一位成年人每天平均耗盡 2200-3000 卡。

二、攝氧量

攝氧量 (Oxygen consumption)本研究定義為無論是工作、運動或休閒時身體活動所消耗的氧氣量，以攜帶式氣體分析儀 (Metamax 3B)測得的實驗數據，單位為 ml/kg/min。

三、身體活動量

身體活動 (Physical activity, PA)之定義為：指人類活動時所有型態(生活、工作、休閒及運動)有關之骨骼肌收縮所產生之移動，並同時產生能量消耗 (Casperson, Powell & Christensen, 1985)。

四、運動後過耗氧量

運動後過耗氧量 (excess post exercise oxygen consumption, EPOC)安靜值的英文縮寫，概念上常被認為是氧債。其定義為在運動後時比安靜時高的耗氧量以用來償還運動開始時所發生的氧不足 (Oxygen debt)。

五、心跳數

心跳數 (Heart beats)本研究定義為於實驗過程中所監測的心跳率對完整一次呼吸所花費的時間作高階數學模式「積分」程式累積的總次數。

第二章 文獻探討

本研究之目的，在於探討心跳數對於人體能量消耗之回歸方程式-以大專男生為例，茲分為：第一節身體活動量與能量消耗之相互關係、第二節評估能量消耗之方法、第三節心跳率與能量消耗之相關文獻、第四節耗氧量與能量消耗之相關文獻、第五節耗氧量與總心跳數之相關文獻、第六節運動後過耗氧量之探討等六小節，並分別進行文獻探討，並歸納探討結果。

第一節 身體活動量與能量消耗之相互關係

概括來說：身體活動量比起競技運動及娛樂休閒活動的涵蓋範圍更為廣闊。它不僅包含工作、閒暇活動和每天不同的活動－即使坐立不安的活動。依據無論是長期坐式生活的人們或者在運動訓練期間頂尖運動員而言，身體活動之能量消耗估算約佔人體總能量消耗的百分之十五至三十左右 (Wilmore & Costill, 1999)。一項活動的能量損失依據其活動的持續期間、型態(無論是走路、跑步、打字...)與其活動強度。

另一觀點，身體尺寸也會影響能量損失，它需花費更多的能量去移動一大質量物體，因此執行同一種活動時，身材高大壯碩的人每分鐘所消耗卡路里要比身材瘦小的人花費更多；身體適能的程度也具其影響力。若有效地持續規律合適的運動，將降低能量的損失。因此他們將會從事更高強度、長時間的運動來燃燒消耗全部的卡路里(陳佳儒。1999)。

心理活動，如考試時的思考模式，使用微小的能量；但當人們在研究時而坐立不安情況下，極有可能消耗掉更多數量的能量。而現代正在創造 NEAT 的時期，此代表是無運動活動的生熱效應，其能量有坐立不安、維持姿勢與相似貢獻者的能量消耗息息相關(陳敏弘、蘇蕙芬。2007)。

茲以 Mcdonough, kusumi, and Bruce (1970) 等人對於無心血管疾病且正常的中年人之最大運動訓練表現所得到的數據可知，最大耗氧量、脈搏數、心跳率及含氧血紅素全都隨著年齡的增加而下降減少。以週期性長跑的運動訓練對於耗氧量有著高度相關的影響。身體活動量被提升的影響效果相當於在十歲時左右被發現其最大有氧能力有影響顯著。在多元分析顯示下最大攝氧量與其他冠狀危險因素，特別是身體活動量、肺活量、抽菸及體重有著密切的關係存在；尤其是耳熟能詳的一些因素，如血清膽固醇、血壓等有其顯著性。從四十歲至七十歲健康男性以年齡層及身體活動種類所得最大攝氧量的數據顯示出，藉由年齡、身體活動狀態與持續在多層級速度跑步機上測試所需要最大攝氧量的推估導向回歸方程式作準備。在最大運動訓練下給予足夠時間測試所得到大量的數據，這些數據資料可有效證明出且做為中年男性對於正常標準有氧能力評價的依據。由上述可知：身體活動量的改變牽動者最大攝氧量的需求，進而影響總能量消耗的提升；因此，其結論再次證明出身體活動量與能量消耗之間的相互關係。

表 1 不同運動、強度之能量消耗對照表

種類	卡/時/公斤	50 公斤 110 磅	57 公斤 125 磅	68 公斤 150 磅	80 公斤 175 磅	91 公斤 200 磅
有 氧 運 動						
低 度	3.0	150	170	205	239	273
中 度	5.0	250	284	341	398	455
重 度	8.0	400	455	545	636	727
自 行 車 運 動						
悠 閒 <10mph	4.0	200	227	273	318	364
輕 度 10~11.9mph	6.0	300	341	409	477	545
中 度 12~13.9mph	8.0	400	455	545	636	727
快 速 14~15.9mph	10.0	500	568	682	795	909
競 速 16~19mph	12.0	600	682	818	955	1091
日 常 活 動						
睡 覺	1.2	60	68	82	95	109
閱 讀, 唸 書, 寫 作	1.8	90	102	123	143	164
烹 飪, 食 材 烹 調	2.5	125	142	170	199	227
家 庭 活 動						
戶 外 房 屋 油 漆	4.0	200	227	273	318	364
一 般 園 藝	5.0	250	284	341	398	455
鏟 雪	6.0	300	341	409	477	545
跑 步						
慢 跑	7.0	350	398	477	557	636
跑 速 5mph	8.0	400	455	545	636	727
跑 速 6mph	10.0	500	568	682	795	909
跑 速 7mph	11.5	575	653	784	915	1045
跑 速 8mph	13.5	675	767	920	1074	1227
跑 速 9mph	15.0	750	852	1023	1193	1364
跑 速 10mph	16.0	800	909	1091	1273	1455

表 2-1-1 (續)

種 類	卡 / 時 / 公 斤	50 公 斤	57 公 斤	68 公 斤	80 公 斤	91 公 斤
		110 磅	125 磅	150 磅	175 磅	200 磅
運 動						
飛 盤	3.5	175	199	239	278	318
睡 覺	4.0	200	227	273	318	364
風 箏	4.2	210	239	286	334	382
高 爾 夫	4.5	225	256	307	358	409
	5.0	250	284	341	398	455
	7.0	350	398	477	557	636
足 球	7.0	350	398	477	557	636
園 藝	8.0	400	455	545	636	727
游 泳	8.0	400	455	545	636	727
滑 雪	6.0	300	341	409	477	545
滑 雪	8.0	400	455	545	636	727
網 球 (雙 打)	6.0	300	341	409	477	545
網 球 (單 打)	8.0	400	455	545	636	727
走 路						
散 步 < 2mph	2.0	100	114	136	159	182
平 緩 ~ 3mph	3.5	175	199	239	278	318
上 坡 ~ 3mph	6.0	300	341	409	477	545
輕 快 ~3.5mph	4.0	200	227	273	318	364
快 速 ~4.5mph	4.5	225	256	307	358	409

(資料來源: Paul Insel, R. Eline Turner & Don Ross, 2004)

第二節 評估能量消耗之方法

在安靜或劇烈身體活動中，個體能量消耗的測量有著多元化實際的應用，一個活生生應用的例子為運動減重計畫；在不同速度下步行、慢跑、騎單車及游泳之能量消耗的觀念下，應用這些運動模式做為減重的一種方案對個人是相當有助益的。然而針對不同運動模式族群的人們，其測量方式也不盡相同；一般而言，評估人體能量消耗的測量方式如下依序做介紹：

一、直接熱量計法

這方法與實驗最早在 1770 年左右由 Lavoisier, Seguin, 與 Laplace 等科學家所提及與設計的。其所提出的理論是人體在代謝過程中無論休息或生理活動均會產生熱且可以測得。方法為受試者需處於一密閉、絕緣良好且氧氣充足供應的空間中，透過受試者所散發出的體熱可經由一定量的水吸收，再由水溫的改變以計算出人體所消耗的熱量。此方法所根據的理論架構趨於完善，但實驗室的設備器材龐大、經費昂貴、儀器操作複雜與耗時，所以從事某些運動項目或特殊活度時並不適宜，實驗的可行性不高，且無法廣泛的使用。

二、間接熱量計法

此類方法所根據的原理為：作任何活動所需熱量大都與氧氣之利用有關，因此根據氧氣的攝入量 (Oxygen uptake) 即可估算出熱量的消耗量。其所使用的儀器稱為呼吸熱量計 (Respirometer) 與直接測量法相做比較更為容易與簡單請經費合理。研究發現：將含有醣類、脂質與蛋白質的混合飲食置於彈卡儀中燃燒時，每消耗一公升氧氣可產生 4.82 千卡的熱量。由於三大營養素其化學結構組成的不同，其燃燒時所

需的氧氣亦不同，主要是根據所含的「碳」與「氫」元素完全氧化產生的二氧化碳(CO_2)與水(H_2O)時所需的氧氣(O_2)量而定，即所謂的呼吸商(Respiratory quotient, RQ)。故一般而言，以每消耗一公升氧氣可產生約 5 千卡熱量作為熱量的消耗基準值(Basic unit)，此單位亦稱為代謝力當量(Metabolic equivalent, MET)，並常用 MET 作為評估身體活動力或運動強度的單位。依據此原理而設計的設備或方法如下所述：

(一)密閉式呼吸測量法 (Closed-circuit spirometry)

這技術起源於 1800 年左右，現於一些醫院或研究室依舊常見，主要用於測定休息狀態下熱量消耗(Resting energy expenditure)。受試者由一個含 100% 氧氣及 Soda Lime(KOH)的密閉容器(Spirometer)來提供受試者所需的氧氣及接受所呼出的二氧化碳，再由其所消耗的氧氣及速度來計算熱量代謝的情形。但這方法不適宜用於運動時熱量消耗之測定，主要因為儀器設備過於龐大笨重，且運動時大量的氧氣消耗及二氧化碳的呼出使得儀器無法承擔。

(二)開放式呼吸測量法 (Open-circuit spirometry)

實驗參與者吸入固定成分的氣體，主要包括 20.93% 氧氣(O_2)、0.03% 二氧化碳(CO_2)、79.04% 氮氣(N_2)，隨後與呼出的氣體變化量分析比較後，則可間接測量出熱量的代謝。目前常見有下列三種形式設備：

1.攜帶型呼吸器(portable spirometry)：這是兩位德國科學家於 1940 年所設計的輕型可攜帶的儀器，此呼吸器如同一個小型背包，由受試者攜帶於背上，隨後可自由活動或從事較為激烈的運動；藉由所攝入的氧氣需求量與呼出的二氧

化碳生成量，間接計算出運動過程中能量消耗。

2.收氣袋(bag technique)：這是一種於實驗室中常使用的設備，受試者所呼出的氣體由大型帆布袋或道格拉斯袋(Dougl's Bags)或橡膠製氣球(Rubber Meteorological Balloons)來收集，再直接連接至氣體分析儀，分析呼出氣體成分中氧氣量及二氧化碳量的比率，間接計算出運動過程中所消耗的熱量消耗。

3.電腦處理系統(computerized instrumentation)：此儀器是運用科技，以微電腦處理器直接收集、紀錄、分析與處理受試者所呼出的混合氣體，除了可獲知受測者所呼出氣體比例外，仍可紀錄運動期間其心跳、血壓與體溫等相關生理數據及代謝情形。此為目前最普遍被採用的方式，除了使用的方便性，最重要是為提高儀器的準確度與可信度。(郭家驊、劉昉青、祁業榮、劉珍芳、張振崗。2001)

三、可攜帶式加速規

主要可分為單軸、雙軸及三軸加速規，身體活動時所產生的加速度理論上是與肌肉用力程度與使用面積涵蓋範圍成正比關係，基於此仍可評估人體能量消耗之相關研究；若人體肌群作等張收縮活動時則無法順利測得加速或減速之層面表現，例如：推牆壁、舉重等項目(Montoye et al, 1996)。

(一)單軸加速規 (Uniaxial accelerometer)

單軸加速規是在單一平面(矢狀面)測量加速度。可配戴於軀幹、四肢上或是軀幹與四肢皆配戴，測量軀幹、四肢或軀幹與四肢的加速度(Freedson & Miller, 2000)。最近加速規的推進，使其成為獨特而有用的測量身體活動之技術，這些體積小而不引人注意的儀器擁有大量的記憶能力，

可以相當小的時間間隔，監測並儲蓄幾天或幾週的活動情形 (Freedson & Miller, 2000)。下列將簡介幾種不同的單軸加速規：

Caltrac 此設備為最早在市面上購買得到且經常被用於研究中的單軸加速規，其規格大小為 7x7x7 公分。Caltrac 含一電壓的彎曲零件 (piezoelectric bender element)，由兩層壓陶 (piezoelectric) 材料和一條黃銅片所組成。每當身體加速，電能變換器彎曲並產生電荷，此電荷與受試者的用力程度成正比，這產生以時間為橫軸的加速—減速度，將波下的區域加總即為最終總速度變化量值 (Montoye et al, 1996)。Caltrac 的主要限制在其輸出是累積整個收集期間的總量，因此無法評估活動於時間上的發生型態 (Freedson & Miller, 2000)。Caltrac 一般配戴於腕部以測量軀幹的加速度，輸入受測者的年齡、身高、體重及性別以估計休息時代謝率 (resting metabolic rate, RMR)，當身體軀幹加速產生時，此活動估計的能量消耗就被加到休息時代謝率而得到總能量消耗。若想排除休息時代謝的計算，也可藉由輸入製造業者所提供之年齡、身高、體重及性別等變項常數，使輸出值單純為加速度測量的結果，只評估活動本身的能量消耗 (Freedson & Miller, 2000)。

CSA actigraph (Computer Science and Applications, Inc., Shalimar FL)，CSA 是測量垂直方向 (Z) 加速度的單軸加速規，其規格大小為 5.1x3.8x1.5 公分，重量 42.6 克，是體積較小、價格較貴的電子測量儀器。測量加速度大小範圍從 0.05-2.0 克 (G 為重力加速度=9.8 公尺/秒²)，頻率範圍為 0.25 - 2.5 赫茲，這個頻率範圍排除了人體活動以外的加

速度。活動時產生的加速度作用在力臂 (cantilevred beam) 上產生彎曲力矩，導致懸力臂的形變 (strain)促使加速規感應器 (sensor)產生的電荷與形變成比例。CSA 含有一組微處理器可將加速訊號數位化，每一訊號累積至使用者設定的時間間隔表後，會將數據儲存並歸零重新計算，這些數據代表活動量，經由公式轉換成能量消耗。CSA 儲存資料亦可傳送至電腦，再透過專業軟體分析 (Freedson & Miller, 2000)。

另外，Biotrner 單軸加速規的設計與 CSA actigraph 類似，但卻使用較高的採樣速度模式，而非在研究人員設定時間間隔內所累積的數據。Biotrner 的特殊功能是因具備和 CSA 及 Tritrac 同樣收集資料的能力，可省略電腦初始化 (initialization)此步驟，迅速從下載資料時間回溯的方式替代，這項優勢在實務操作研究中特別實用與便利。

(二)三軸加速規 (Triaxial accelerometer)

Tritrac 為使用頻率最高的三軸加速規，其規格大小為 111.0x6.9x3.3 公分，重量 170 克 (Freedson & Miller, 2000)，測量加速度頻率範圍為 0.1-16 HZ (Kochersberger et al, 1996)內部含有三個壓陶的 (piezoceramic)元件相互成直角的裝置。Trtrac 能給予測量並儲存上下 (x)、前後 (y)、左右 (z)三面向的加速度數值，綜合上述資訊得到一組向量大小 (vector magnitude, VM)，向量大小為每個面向加速度平方和之平方根。Trtrac 可由測量者設定，以一到十五分鐘為間隔時間收集資料；若設定以一分鐘的間隔收集，最多可儲存約三十天的資料 (陳優環、蔣立琦。2006)。

身體活動相關的能量消耗 (physical activity-related energy expenditure, PAEE)計算是使用製造業者內建的專利

公式，將向量大小值轉換為能量消耗。基礎代謝率(BMR)考慮到受測者的年齡、身高、體重及性別而有不同的計算公式。每日的總能量耗 (Total Daily Energy Expenditure , TDEE)。即為身體活動相關的能量消耗和基礎代謝率的加總。

RT3 是由美國 Stayhealthy 公司出產，與 Tritrac R3D 仍有相同核心技術的新儀器；日前 Tritrac R3D 原創科技公司已出售此產品技術至 Stayhealthy 公司。RT3 規格大小為 7.1x5.6x2.8 公分(比 Tritrac R3D 小)，重量 2.3 盎司(約 65 克)，其測量加速度與評估能量消耗的方法與 Tritrac R3D 是同樣方式。資料收集的間隔時間為 1 秒到 1 分鐘，若設定 1 分鐘的間隔時間收集，最多可儲存約 21 天的資料。該公司表示：RT3 的加速規經由改良研發後，更具較佳的穩定度。

加速度計讓研究人員不但允許用以推估個別能量消耗多寡並視為一種客觀的測量研究工具 (Croutee et al, 2005)，而且可量化所花費的時間視為輕度(低於 3 METs)、中度(3-5.99 METs)、重度(大於 6 METs)身體活動。然而 Actigraph (Manu-facturing Technology Incorporated Actigraph, and the computer Science Applications accelerometer)最常被用來評估身體活動的測量儀器。許多回歸方程式已被 Actigraph 儀器建立去推估能量消耗(Brage et al, 2003; Freedson et al, 1998; Hendelman et al, 2000; Nichols et al, 2000; Swartz et al, 2000; Yngve et al, 2003)。理論上這部份允許研究人員於特定一段時期內去評估總能量消耗。除此之外，此回歸方程式同意研究人員去建立區分輕度、中度、重度身體活動的臨界點。

綜合上述資料，運動中能量消耗的測量工具可包含；直接熱量測量法、間接熱量測量法、心跳率與熱能消耗回歸方程式、活動日誌、可攜帶式加速規等，其中因加速規體積小、不引人注目，且許多研究顯示加速規具有良好效度，可說是運動中能量消耗的良好評估儀。三軸加速規也可以提供活動在時間上的資訊，但可能比單軸加速規紀錄更多的活動。

四、二重水標誌法 (Doubly Labeled Water, DLW)

此方法被公認評估日常生活中能量消耗的黃金標準法 (gold standard) 或參照的方法。評估能量消耗的技術於三天實驗期間靠同位素的稀釋造成二氧化碳生成量加以推估 (Ainslee & Reilly & Westerterp, 2003)。然而，這方法指出能量消耗為身體活動生理指標的推論，並試圖使用二重水標誌法 (DLW) 執行能量消耗的測量。例如，身體活動經過可觀察的移動中斷一段時間後會影響代謝率的評估。

二重水標誌 (DLW) 方法有著低反覆性的活動且透過間接性能量代謝實驗室監測日常身體活動相對比較數據資料下仍有 5% 的準確性 (Saris, 1992)。這方法針對全天性能量消耗 (total daily energy expenditure, TDEE) 的測量評估提供一項極具影響力的研究工具；不過它仍有幾項限制存在，第一：這同位素價格非常昂貴且難以保存、準確的飲食記錄必須持續紀錄且資料僅呈現於研究期間所評估的能量消耗。許多類似相關研究通常擁有小樣本的實驗規劃且在實驗參與者身體活動量的記錄尚無任何資料提供並加以佐證，因此在界定身體活動為中度或多樣化強度是不可能的 (Armstrong & Welsman, 2006)。

目前為止，此技術(Schoeller & Fjeld, 1991；Ainslee et al, 2003) 用來評估耗氧量之方法被認為是評估日常身體活動能量消耗最精確的方法(Cooper, 2003)。DLW 技術是利用同位素的穩定性來推估攝氧量；實驗參與者必須喝下一杯同位素水，並於一天之後開始採集尿液檢體。經過尿液分析之後，便能計算出身體活動期間所消耗的氧氣量。DLW 的優點為準確性高、不會干涉到日常身體活動，評估期間可長達一至二週，可用於評估國人的身體活動量。但基於 DLW 的價格昂貴、取得不易、尿液採集與分析耗時費力，因此並不適於大樣本採樣之研究中使用。然而此檢測方法僅提供身體活動所產生的能量消耗，亦無法提供明確的身體活動型式、強度與持續時間。

第三節 心跳率與能量消耗之相關文獻

心率監測器視為用來評估青少年及成年人兩者之能量消耗或身體活動的一種工具並且依賴心跳率與耗氧量(VO_2)建立線性關係。但這線性關係在低強度身體活動譜並無如此健全完整。在坐式生活或低強度活動期間，單獨個體之心跳率也遠比身體移動此因素而深受其他影響因素。對於評估身體活動及總能量消耗使用心率監測器允許去評估活動圖案就等同評估人體總能量消耗。

茲以 Brosh, Aharoni, Degen, Wright, and Young (1998) 等學者對動物亦做過類似的研究；針對牛群驗證心跳率是否可用來預估能量消耗之探討。將心跳率發送器植入並且維持留在各別單獨欄杆內分別作下列處理：1.在陰涼或太陽暴露下，2.高度或低度能量飲食，3.早上或下午餵食；動物們的

心跳率每五小時監測一次；早上與下午時動物在處於休息或鍛鍊時，在低度能量飲食時耗氧量與心跳率同時間去評估測量分別為每日平均心跳率 52 ± 4 次/分和平均能量消耗 380 ± 9 千焦耳/公斤^{.75} 要比高度飲食 (94 ± 4 次/分， 653 ± 9 千焦耳/公斤^{.75}) 的動物還來得低。對於每種動物透過各類型的飲食，最佳線性方程式的敘述在於心跳率及動物休息時能量消耗之間的關連；鑒於二次方程式最佳描述在於鍛鍊期間的動物；針對鍛鍊中動物來說其二次方程式也能運用於動物休息時。此外，關於每隻休息中的動物而言，每一持續不斷心跳數的能量消耗被發現其價值並給予準確的評估。這測量方法其便利性在於：1. 無鍛鍊裝備於回歸方程式的產生；2. 能量消耗脈搏受到飲食比起藉由回歸方程式推估的影響來的要少許些。綜觀上述，我們下個結論可知：心跳率這簡易的測量方法再推估能量消耗過程中是有效用且準確性。為了提升心跳率對能量消耗推估的準確性，對於心跳率與能量消耗的關係應被每種動物所建立。另外，關於動物營養性攝取的能量消耗也應當有效地被建立在這關係過程中。

再者，Froget (2001) 等學者研究發現雖然這方法來預估能量消耗以廣泛使用的一項技術，但使用這方法時也有其限制所在，其影響因素有性別、身體組成……等都會影響心跳率與耗氧量相互之間的關係。在這篇研究報告中指出：將依據身體狀況對於心跳率與耗氧量的速度指示器的可能影響程度。在休息及活動時的氧脈搏與身體質量指數之間獲得良好的相互關係，確認此試驗顯示出休息時與活動時氧脈搏結合使用時給予耗氧量的比率最佳之預估能力；而預估及測量的耗氧量之間平均百分比的誤差為 0.81%。根據上述可獲得

一些結論，透過持續短時間的心跳率監測能有效地預測耗氧量；不過先須了解此活動的型態以及身體組成也須準確地控制。然而還有更多研究調查活動性與非活動性關係上被要求需做更進一步的推估。

第四節 耗氧量與能量消耗之相關文獻

耗氧量的多寡與心跳率呈現高度正相關性；也就是說消耗的氧氣越多，其心跳率的量也隨之增加，惟有增加心跳率使心臟內部供應更多的血流量，然而血流量也攜帶足夠的氧氣量釋放出來，供人體能量消耗所需。

根據 Jacqueline, Roland and Otwin (2002) 等人研究在敗血病臨床診斷期間每七天就有一位罹患敗血病症狀的足月新生兒出生用來針對氧消耗量、二氧化碳生成量以及能量消耗做為評估的研究。研究者將實驗參與者分為兩組，一組是罹患敗血病的十位新生嬰兒(對照組)，另一組則是七位健康的新生嬰兒(控制組)；敗血病綜合症被定義其為細菌或其釋放之毒素跑至人體血液中，進而循環至全身所致之疾病。然而測量耗氧量以及二氧化碳生成量在這七天內皆利用間接熱量計的方式持續的監控；在對照組中，耗氧量與能量消耗在第一天至第三天這期間以及第四天與控制組相比較分別增加大約 20% 以及 15%；從第一天至第三天，在對照組中其能量消耗平均為 57 ± 3 千卡/公斤/天，而控制組則為 47 ± 2 千卡/公斤/天；在第四天，能量消耗分別為 55 ± 2 千卡/公斤/天與 47 ± 2 千卡/公斤/天。增加能量消耗與增加心跳率(126 ± 4 與 112 ± 4 次/分，第一天)及呼吸率(56 ± 6 與 40 ± 4 次/分，第二天)是具有相關聯性。綜觀實驗結果可知，其耗

氧氣與能量消耗之間關係是非常密切的研究結果。

第五節 耗氧量與總心跳數之相關文獻

關於耗氧量與總心跳數之間的關係並無任何相關文獻探討；本章節分為兩部分來探討耗氧量與總心跳數之間的相互關係，分別為耗氧量與血液輸出量之關係與血液輸出量與總心跳數之關係兩方面來探討。

一、耗氧量與血液輸出量之關係

運動時隨著肌肉活動量的增加，體內的氧氣需要量 (Oxygen requirement)，相對的氧氣攝取量 (Oxygen intake) 勢必要跟著增加，此結果代表換氣量隨之增加，血液輸出量也增加，心輸出量亦增加；因此必須促進呼吸、循環功能。

根據 Christos, Arthur, Julian, Barbara and Cecil (1978) 等學者所做的一項研究報告指出：針對動物靜脈內垂體後葉荷爾蒙不同劑量在動脈血流量、腸胃上的耗氧量以及心輸出量之影響，其靜脈內的垂體後葉荷爾蒙之最佳劑量比率被發現是 $3.0 \mu\text{g/kg/min}$ ；而這個劑量分別使得動脈血流量降低 57%，腸胃上的耗氧量降低 57%，以及心輸出量也降低 26%；從實驗結果的數據分析可知：動脈血流量與耗氧量以及心輸出量之間有相互關係存在，而且動脈血流量與耗氧量下降的幅度一樣，這結果顯示出動脈血流量與耗氧量兩者之間有著高度密切的相關性。

二、血液輸出量與總心跳數之關係

安靜時的心輸出量為每次 60~70 毫升，心搏數為 65~75 次/分，分時輸出量為 4~5l 毫升左右。可是運動時的一次搏出量、總心搏數會增加，且在與交感神經興奮、回流血液量

增加互相發生作用後，有些分時輸出量會高達 20~30 毫升。換句話說，即使只是輕微的運動，分時輸出量會增加 2 倍左右，往肌肉的血液分配也會增加到 4 倍；而在最大運動時的分時輸出量約為 4 倍，血液分配也達到 20 倍左右。總而言之，血液輸出量若增加時，總心跳數也隨之增加。

第六節 運動後過耗氧量之探討

有氧運動其低強度、長時間的運動型態，可增加氧氣的利用進而增加能量消耗。雖然如此，有氧運動更值得注意的是，它在運動的恢復期攝氧量仍持續高於安靜狀態，而這段時間可以繼續增加能量的消耗。關於這部份，從前是以 Hill 在 1923 年時所提之(氧債 oxygen debt)的說法來解釋，而近來則以運動後超額攝氧量(excess post-exercise oxygen consumption, EPOC) 來作更正確的解釋 (Power & Howley, 2001;Mcardle & Katch, 2000)。

許多造成運動後過耗氧量偏高的原因，其生理因素大致分類如下：

一、直接影響：

運動初期，身體機能由安靜狀態迅速上升至運動水準，會快速利用肌肉中的 ATP、CP 做為能量來源，並產生大量的乳酸。進入穩定狀態後，才轉為有氧能量系統，由粒腺體消耗氧氣提供能量(Wilmore & Costill, 1999; Brooks、Hittelman & Faulkner, 1971a)。Piiper and Spiller(1970)指出，運動後超額攝氧量所繪成的圖形與運動後磷酸肌酸(creatine phosphate, CP) 產生量所繪成的圖形類似，因此推估，運動後體內必須補充這些在運動中被消耗的 ATP、CP 及氧氣，

並移除所產生的乳酸堆積，因而出現運動後過耗氧量的現象 (Brooks, 1985; Harris, 1976; Boutellier et al, 1984; Gaesser & Brooks, 1984)。

高強度運動時呼吸、循環系統的工作量提升至安靜狀態的 6-8 倍，運動後這些系統未能即時回到安靜狀態，導致攝氧量提升 (Brooks、Hittelman & Faulkner, 1971b; Hagberg, Mullin & Nagle, 1978; Powers, Howley & Cox, 1982)。

二、間接影響：

(一) 激素的影響：運動促進兒茶酚胺的釋放，刺激粒腺體的內呼吸作用，間接的刺激細胞對氧氣的利用。正腎上腺素導致細胞膜通透性的改變，使鈉、鉀離子的通透率增加 (Gladden, Stainsby & MacIntosh, 1982)，甲狀腺素及糖皮質醇也增加鈉鉀幫浦的活性 (Horwitz, 1979)，這些作用都需要消耗能量。為了產生足夠的 ATP，細胞必須消耗較多的氧，所以增加了攝氧量 (Caesser & Brooks, 1984)。體溫上升：長時間、激烈的運動後肌肉溫度可能會由安靜時的 36 提高為 40 (Saltin, Gagge & Stolwijk, 1968)，直腸溫甚至會上升至 41°C (Costill, 1970)。這樣的現象可能在運動後仍持續數小時，直接提升代謝率而使攝氧量增加 (Bahr, 1992 ; Mcardie, Katch & Katch, 1996)。Hagberg, Mullin 與 Nagle (1980) 指出，運動後恢復期會因 Q10 效應 (Q10 Effect) 的影響，而使代謝率上升，增加攝氧量。體溫的上升，導致粒腺體內氧化現象的活性增加，使粒腺體的能量產生率升高；而非保留換氣量的增加及磷化物結合能力的降低，則需要消耗更多氧氣來產生能量，以維持足夠的能量消耗 (Brooks & Hittelman, 1971)，以上皆會增加氧氣的消耗。

(二)其他因素:運動使粒線體中鈣離子，如此會影響氧化物和磷化物的結合，因此粒線體必須增加呼吸作用來產生足夠的能量，而導致氧的利用增加 (Carafoli & Lehninger, 1971)。

所謂 EPOC 就是指運動過後耗氧量並不會馬上恢復到安靜時期的攝氧量，身體還是持續做較高的能量消耗。從運動期恢復至安靜期的攝氧量時間的長短，就要視運動的強度或運動持續時間而異。下列陳述的資料來自 Bahr(2003)收集各學者的實驗數據所得到的 EPOC 跟運動持續時間以及運動強度之關係圖 (圖 1) 所示：

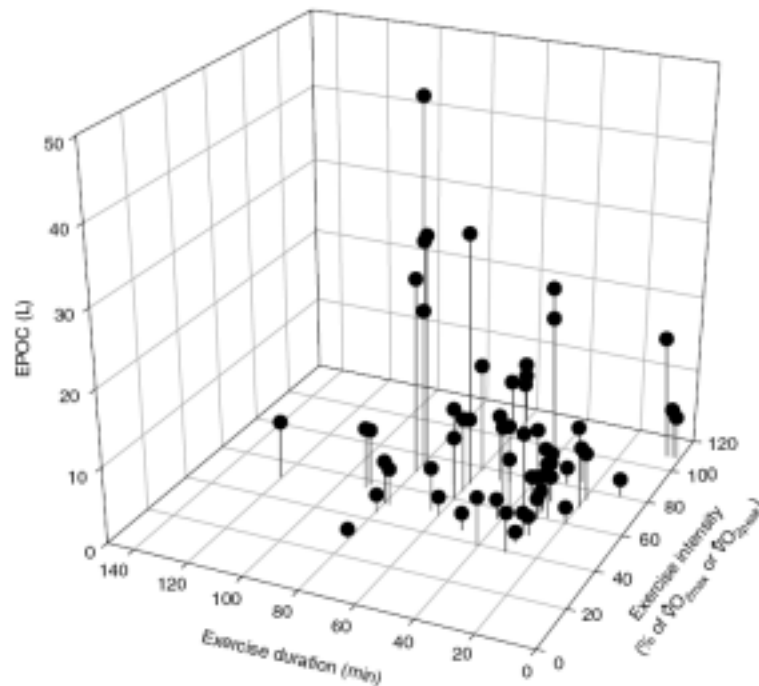


圖 1 運動強度 & 持續時間對 EPOC 產生影響立體圖

運動後過攝氧量包括了快速和慢速的兩個部分，雖然早期的研究表明 EPOC 可能會經過幾個小時之後出現，但也有學者得到結論認為 EPOC 出現的時間非常短暫，這互相矛盾

的結果顯示是運動持續時間和運動強度的差異所導致 EPOC 時間的不同。早期 Hill(1923)等人提出氧債的假說，認為運動後會有較高攝氧量的原因是要償還初期運動的缺氧，而 Margaria (1933) 等人將氧債的概念認為是乳酸性的氧債，反應較慢目的是處理血液中的乳酸以及 ATP 的再生成。Herxheimer (1926) 等人發現沒訓練的人運動過後經過 36~48 小時攝氧量沒有恢復到原本安靜期的水準，devries 與 Gray(1963)等人也發現在經過一個小時有氧運動之後的六個小時，RMR 提升了 10%。在早期的研究中，這些學者們並未詳細交代他們實驗的運動強度或是持續時間，而且也沒交代其實一些控制上的變因會影響 RMR，例如：溫度、食物的攝取、運動的種類、咖啡因的攝取有無…等等因素。直至最近 1984 年 Gasser 與 Brook 等人提出短暫運動後，攝氧量可以在幾分鐘之後恢復至安靜期的狀態，若是在長期且激烈的運動過後，恢復至安靜期的攝氧量將會延長到好幾個小時，這樣的觀念才促使 EPOC 的產生。但是因為實驗的內在變因使得 EPOC 的界定至今仍不明確，需要大量樣本才可以。

第三章 研究方法

本章主要說明本研究方法與架構，共分為七節：第一節研究架構、第二節實驗時間與地點、第三節實驗程序與進度管制、第四節實驗參與者、第五節施測工具、第六節資料處理與統計分析、第七節預期效果，茲分述如下：

第一節 研究架構

本研究主要架構如圖 2 所示：心跳率、耗氧量的增加與能量消耗成正比的關係；耗氧量與攝氧量亦呈正比關係、攝氧量與血流量亦呈正比、血流量與總心跳數亦呈正比；藉由各生理指標環環相扣，故推論總心跳數與能量消耗亦呈正比的關係。



圖 2 研究架構圖

(註：α 表示正比之意思)

第二節 實驗時間與地點

一、實驗時間

中華民國九十六年十一月至九十七年七月，共九個月。

二、實驗地點

- 1.國立臺灣體育大學（臺中）運動科學研究中心。
- 2.國立臺灣體育大學（臺中）運動生理學研究室。



圖 3 運動科學研究中心



圖 4 運動生理學研究室

第三節 實驗程序與進度管制

一、實驗程序

本研究實驗設計規劃個別三天能量消耗的監測，如圖 5 所示。其實驗設計主要依身體運動強度來區分，此三日分別為休息日、低強度運動、中強度運動等實驗規劃。實驗前夕應避免從事劇烈運動及飲用多量刺激性飲料或長期性服用藥物或營養增補劑等因素，以避免監測全天性後實驗數據差異過大。

進入研究室後，先行說明實驗相關事項(意義、目的、條件、過程、配合事項)及可能發生危險的行為舉止；隨後讓受試者皆須詳細閱讀並瞭解「受試參與者須知」事項，並簽署

「受試者同意書」(詳見附錄一)、「身體健康調查表」(詳見附錄二)與「身體活動量調查表」(詳見附錄三)，接著填寫基本資料、測量身高、體重、安靜血壓、皮脂厚度與體溫，然後進行穿戴實驗儀器設備，準備進入實驗狀態；未來二十四小時均須遵守「流程分析表」(表二)實驗規劃。

實驗過程中若有任何疑問，應向研究者告知並尋求協助，不可擅自拆除任何實驗儀器。運動過程中應聽從研究者指示，勿擅自行動；若運動行進間產生口渴現象，研究者應適時給予補充水分，並確實執行。整體實驗過程因實驗儀器記憶容量因素影響，單次時間紀錄長達四小時為主，採用循環式操作模延長至全天性二十四小時為目標。

二、進度管制

實驗日早上七點三十分進入運動生理學研究室，八點整開始監測能量消耗；運動時間分為四個時段，時段依序分別為 AM0800、AM0930、PM1345 及 PM1515。每次運動時間為一小時整，前十五分鐘為熱身階段、隨後三十分鐘為運動狀態、最後十五分鐘為緩和運動，總計為兩小時。休息用餐亦分為四個時段，時段依序分別為 PM1200、PM 1615、PM2115 及 AM0130，用餐時間皆為十五分鐘；睡眠時刻為凌晨一點三十分至早上十點整，隨後立即解除實驗狀態。

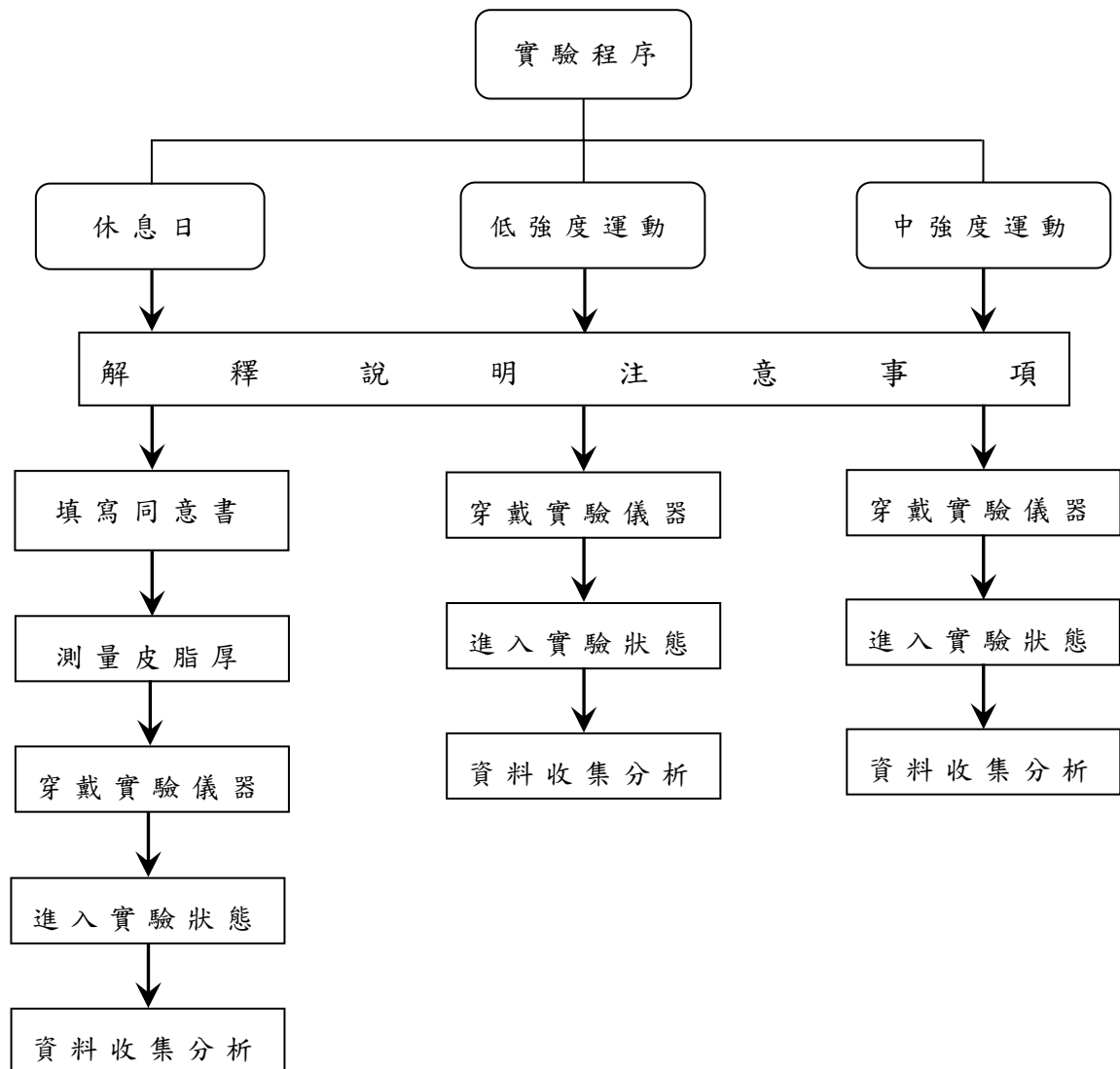


圖 5 實驗流程圖

表 2 流程分析表

全 天 性 時 間 流 程 分 析 表						
開 始 時 間			結 束 時 間		間 隔 (分)	狀 態
AM	07:30	~	AM	08:00	30	進 入 研 究 室
AM	08:00	~	AM	09:00	60	運 動 時 間
AM	09:00	~	AM	09:30	30	看 電 影 , 聽 音 樂
AM	09:30	~	AM	10:30	60	運 動 時 間
AM	10:30	~	AM	12:00	90	聽 音 樂 , 看 電 影
PM	12:00	~	PM	12:15	15	午 餐 (儀 器 解 除)
PM	12:15	~	PM	13:45	90	看 電 影 , 聽 音 樂
PM	13:45	~	PM	14:45	60	運 動 時 間
PM	14:45	~	PM	15:15	30	看 電 影 , 聽 音 樂
PM	15:15	~	PM	16:15	60	運 動 時 間
PM	16:15	~	PM	17:15	60	洗 澡 & 點 心
PM	17:15	~	PM	19:15	120	看 電 影 , 聽 音 樂
PM	19:15	~	PM	21:15	120	閱 讀
PM	21:15	~	PM	21:30	15	晚 餐 時 間
PM	21:30	~	PM	23:30	120	電 影 時 間
PM	23:30	~	AM	01:30	120	休 息 時 間
AM	01:30	~	AM	01:45	15	準 備 休 息 睡 覺
AM	01:45	~	AM	05:45	240	睡 眠 休 息 I
AM	05:45	~	AM	06:00	15	儀 器 解 除 時 間
AM	06:00	~	AM	08:00	120	睡 眠 休 息 II
AM	08:00	~	AM	10:00	120	平 躺 休 息
AM	10:00	~				實 驗 結 束

第四節 實驗參與者

本研究以就讀於國立台灣體育大學(台中校區)20~27歲平日有規律運動、無膝關節疼痛且無吸煙、喝酒及肥胖症之健康男生共五位。研究者向實驗參與者詳盡說明實驗目的、流程與方法，實驗前受試者皆須詳細閱讀並瞭解「受試參與者須知」事項，均須簽署「受試者同意書」(詳見附錄一)，填寫基本資料及測量身高、體重、安靜血壓、皮脂厚度與體溫，方可進行實驗。

第五節 施測工具

一、身高與體重

身高是指脫鞋後站立時，由地面到頭部頂點間垂直的最大距離。受測者背對尺柱以自然姿勢站立，背部、臀部、踵等三點與柱或壁面接觸(頭後部不可接觸)，頭不可向側傾斜，保持耳眼水平位(Eye Ear Horizontal)。體重平衡桿是體重計(Beam Balance Weight Scale, Detecto, MO, USA)測量，量測時需脫鞋並無附帶任何物件，身上僅穿著輕便貼身的泳褲。身高計與體重計已分別由標準尺與標準重量校正，校正範圍分別為140-190公分與40-100公斤。

二、MetaMax 3B 氣體分析儀

Metamax 3B 攜帶式氣體分析儀(Cortex Biophysik GmbH, Germany)測試方法：逐口氣分析法(Breath-by-Breath)，體積(長、寬、高)：120×110×45 公厘，重量：650 克，數據內存：8MB，測試溫度：-20~+40°C，氣壓：500-1050 帕，濕度：0-99%，電池：鋰電池(兩小時，重80克)。

任何個體於實際狀況下做精確體能的評估，完全整體化

三通道心電圖和 Polar 心率監測，提供多次呼吸量與呼吸頻率條件等可靠性測量，並有效地監測訓練過程、協助運動員分析最佳的運動能力；儀器使用前依操作手冊所列程序進行環境壓力校正，氣體流量校正及標準氣體兩點 (O_2 , CO_2) 校正，確認準確性後，即進入實驗程序(陳厚諭、王鶴森、鄭旭煒, 2008)。



圖 6 氣體分析儀



圖 7 電源供應系統

三、研發儀器電源供應系統

(一)研發流程架構

實驗需求→儀器構思→儀器構圖與設計→材料購買→儀器製作→儀器製作測試→儀器問題修改→儀器再次測試→儀器製作完成→儀器實驗測試→儀器完成實驗。

(二)研發流程陳述

1. 儘管電源輸出（鉛酸電池）與輸入（儀器電池）單位伏特數差異甚大，導致儀器無法負荷而造成毀損；基於維護高科技、精密儀器功能的完整性，透過工業、化學、電機工程等專家學者深入探討鉛酸電池模組改良設計；經多次雙向溝通討論，最終完成電池改良後模組設計圖，如圖 8 所示。

2.製作材料如下：鉛酸電池、電壓轉換器、銀線圈、熱鐸槍、鱷魚夾、工具箱、剪刀、膠帶、紙黏土；經過數週的製作修改後，最後完成電池模組改良製作。

3.製作過程原理：電壓轉換器適當拆解並連接於鉛酸電池與模型電池上，隨後在模型電池上加裝金屬感應區，使得鉛酸電池內部電流量順利傳送至實驗儀器系統運轉。

4.電力系統改良製作完成後需進一步做整體系統檢測，觀察電源供應系統線路的穩定性(如圖9所示)；若有任何問題發生，須立即做修改與再測試，測試整體系統執行穩定為止。

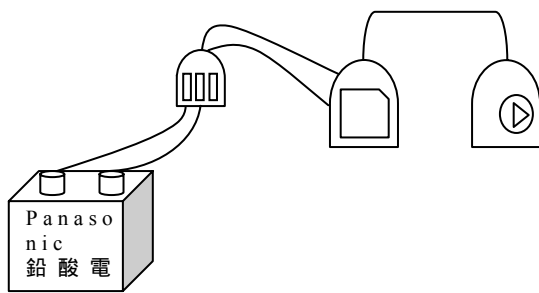


圖 8 電池模組改良設計圖

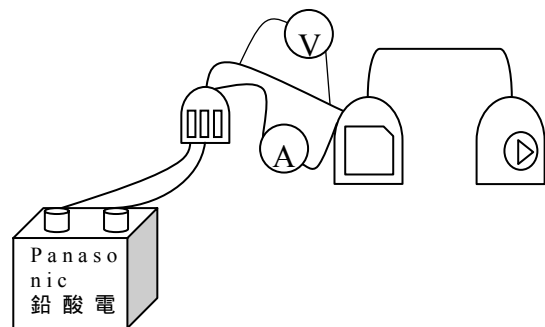


圖 9 三用電錶裝置圖

四、Polar 無線心跳監測器

此儀器為隨身攜帶型、可連續監測心跳率的手錶型心跳監測器，內部能設定最大值與最小值、超出此範圍時會發出警告聲響，且提供精確的運動強度量度。使用前檢查心跳率發報器是否將心跳率資料傳至手錶顯示器，並與橈動脈實測值進行比對校正。

五、跑步機

展開規格：165×75×129 公分；精密五個液晶螢幕 (LCD) 中文面板操控視窗，可顯示心跳、揚升角度、卡路里數、跑步時間、跑步速度、體脂肪、距離。速度可由每小時 0.8~16 公里，電動升降坡度，角度由 0~10%自由調整，跑步範圍 40×130 公分，最大承載量：105KG。

(一)儀器功能

1.以原地跑步機為運動型態，藉由調整速度、坡度，作為運動強度之設計。

2.配合 Vmax29 氣體分析儀、Q-5000 型運動心電圖與自動血壓計使用可完整收集到受試者心肺功能情形。

(二)操作程序

- 1.跑步機校正完畢(校正方法參考“跑步機操作驟”)，在 Q645 可程式控制器面板上選擇 Bruce Method。
- 2.能量測量系統校正完畢，選擇 Test Protocol。
- 3.受試者除去身上不必要之金屬物，脫上衣，貼電極片。
- 4.開啟遙測心電圖主機。
- 5.對受試者施予測驗前說明，包括：
 - (1)跑至衰竭時以手向實驗者示意。
 - (2)測試中若有任何需要以手向實驗者示意。
 - (3)身體有任何不適，立即反應。
- 6.連接吹嘴至能量系統之三連管上，受試者夾上鼻夾，咬住吹嘴，以口換氣。
- 7.啟動跑步機，熱身三分鐘，系統會詢問要不要存檔，選 N。
- 8.跑步機按 Enter 進入 Bruce Protocol 能量測試系統

按 B，同時啟動。

9.帶受試者衰竭後，按清除鍵，跑步機停止轉動。能量

測試系統按功能鍵（F5），再按輸入鍵停止測試。

10.跑步機以較慢速度，讓受試者進行緩和運動。

(三)操作步驟

1.確定跑道無站人，預備時受試者兩腳跨利於跑道外。

2.開動跑步機。

3.調節速度與坡度。

4.告訴受試者下列事項：

(1)站在跑步機左側前方(此時跑步機屢帶向後轉送)。

(2)右手抓住手把，右腳前踩屢帶中央，進行慢跑。

(3)獲得姿勢平衡時，放開手把；身體維持在屢帶前方。

(4)結束跑步時，手抓手把，左腳先行踏出(不可將全部體重支撐在左右兩邊的手把上，因為重量太重時手把可能會掉下)。

(四)Bruce 運動強度

階段	持續時間(min)	速度(mph)	坡度(%)
一	3	1.7	10
二	3	2.5	12
三	3	3.4	14
四	3	4.2	16
五	3	5.0	18
六	3	5.5	20
七	3	6.0	22

根據本研究受試者最大攝氧量之分析，依受試者最大攝氧量 50% 定為中強度運動，此為【階段六】運動強度；30% 定為低強度運動，此為【階段四】運動強度。

第六節 資料處理與統計分析

本研究所有資料均採用 SPSS 12.0 for Windows 統計套裝軟體進行統計處理與分析，顯著水準訂為 $\alpha = .05$ ，採用之統計方式如下：

- 一、以描述性統計表示大專院校男生之各項生理基本資料，最大心跳率、最大耗氧量……等。
- 二、以單因子變異數分析，分別考驗不同運動模式下其人體全天性心跳數的表現。
- 三、以單因子變異數分析，分別考驗不同運動模式下其人體全天性能量消耗的表現。
- 四、透過簡單回歸分析來瞭解預測變項（心跳數）與效標變項（能量消耗）間的預測效果。
- 五、本研究考驗之顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

第七節 預期效果

本研究透過人體總心跳數(Heart Beats)有效地推估人體全天性總能量消耗(Total Daily Energy Expenditure)之高相關連性；無論從事何種工作性質或運動形態，都能隨時監控身體能量消耗、注重營養健康，達到能量攝取與消耗供需平衡。

第四章 研究結果

本章主要是呈現實驗所得的數據資料經過統計處理後之結果分析，共分為七節：第一節受試者基本資料之分析、第二節運動強度與能量消耗之分析、第三節運動強度與心跳數之分析、第四節心跳數與能量消耗之分析、第五節低、中強度運動後過耗氧量對能量消耗之分析，茲分述如下：

第一節 受試者基本資料之分析

就讀國立臺灣體育大學(臺中)五位男學生基本生理特徵值以平均數 $\pm$ 標準差呈現；平均年齡為 22.8 ± 2.17 歲、平均身高為 180.4 ± 2.88 公分、平均體重為 74.6 ± 6.88 公斤、平均身體質量指數 22.91 ± 1.73 公斤/公尺²、平均最大攝氧量為 48.29 ± 3.82 毫升/公斤/分，如表 3 所示。

表 3 受試者基本資料

受試者	年齡 (歲)	身高 (公分)	體重 (公斤)	BMI 值 (kg/m ²)	VO ₂ max (ml/kg/min)
平均數	22.80	180.40	74.60	22.91	48.29
標準差	2.17	2.70	6.88	1.73	3.82

第二節 運動強度與能量消耗之分析

研究者透過受試者們以平均最大攝氧量之 30%、50% 分別視為低強度、中強度運動；另外安排一整天無任何運動狀態，視為休息日。此小節欲探討運動強度參數對於全天性(二十四小時)能量消耗之分析，研究者以運動強度作為預測變項，而全天性能量消耗作為效標變項，其預測變項與效標變

項間之描述性統計如表 4 所示：休息日全天性能量消耗為 15466.25 ± 75.69 千卡/天、低強度運動狀態全天性能量消耗為 2337.68 ± 137.67 千卡/天、中強度運動狀態全天性能量消耗為 2865.84 ± 179.55 千卡/天。透過成對樣本 t 檢定 (表 4) 的研究結果顯示：低強度與休息日 ($t=-2.82, p<.05$)，達統計顯著性差異、中強度與休息日 ($t=-3.64, p<.05$) 能量消耗達統計考驗顯著性差異 (圖 10 所示)。

表 4 運動強度與能量消耗描述性統計表

運動強度	個數	平均數	標準差	t
休息日	5	1546.29	75.69	
低強度	5	2337.68	137.67	-9.37 [*]
中強度	5	2865.84	179.55	-15.45 ^{*#}

* $P<.05$ ，與休息日比較；# $P<.05$ ，與低強度比較

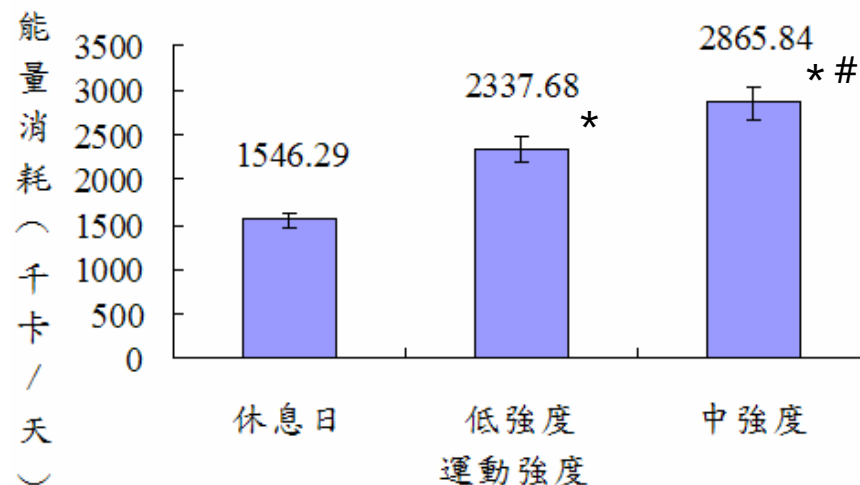


圖 10 不同運動強度與能量消耗直方圖。*符號是與休息日相互比對；#符號與低強度相互比對。

針對受試者重複監測全天性能量消耗變異數分析摘要表如表 5 所示：個別三天全天性能量消耗的平均數差異皆達顯著水準，組間效果 $F_{.05}(2,8)=40.06$ ， $p=.000<.05$ ， $\eta^2=0.9$ ；表示在不同運動強度下，其全天性能量消耗的確有所不同。而從事後比較(LSD 法)可知：休息日之全天性能量消耗為 15466.25 ± 75.69 千卡/天、低強度運動狀態之全天性能量消耗為 2212.11 ± 404.77 千卡/天、中強度運動狀態之全天性能量消耗為 2865.84 ± 179.55 千卡/天；效標變項(能量消耗)隨著預測變項(運動強度)增加而逐漸提升，由此結果顯示運動強度越強其能量消耗值亦越高。

表 5 運動強度與能量消耗變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	η^2
受試者間	372564.78	4	93141.20	40.06*	0.90
受試者內	4787777.88	10			
組間	4353125.92	2	2176562.96		
殘差	434651.96	8	54331.50		
全體	5160342.66	14			

* $p < .05$

第三節 運動強度與心跳數之分析

研究者透過受試者們以平均最大攝氧量之 30%、50% 分別視為低強度、中強度運動；另外安排一整天無任何運動模式，視為休息日。此小節欲探討運動強度參數對於全天性(二十四小時)心跳數之分析。心跳數(Heart Beats)的計算試以呼吸間心跳率(Heart Rate)的數據對呼吸時所花費時間作積

分運算並累積至全天性(二十四小時)。研究者以運動強度作為預測變項，而全天性心跳數作為效標變項，其預測變項與效標變項間之描述性統計如表 6 所示：休息日全天性心跳數為 103405.19 ± 5355.98 次/天、低強度運動全天性心跳數為 115016.75 ± 4428.27 次/天、中強度運動全天性心跳數為 135280.64 ± 12361.64 次/天。透過成對樣本 t 檢定(表 6)結果中顯示：低強度運動與休息日 ($t=-3.42$, $p<.05$)心跳數達顯著性差異、中強度運動與休息日 ($t=-15.45$, $p<.05$)心跳數亦達統計顯著差異(圖 11 所示)。

表 6 運動強度與心跳數描述性統計表

運動強度	個數	平均數	標準差	t
休息日	5	103405.19	5355.98	
中強度	5	115016.75	4428.27	-3.42 [*]
高強度	5	135280.64	12361.64	-15.45 ^{*#}

* $P<.05$ ，與休息日比較；# $P<.05$ ，與中強度比較。

針對受試者重複監測全天性能量消耗變異數分析摘要表如表 7 所示：個別三天全天性心跳數的平均數差異皆達顯著水準，組間效果 $F_{.05}(2,8)=20.34$, $p=.000<.05$, $\eta^2=0.90$ ；表示不同運動強度下，全天性心跳數監測的確有所不同。

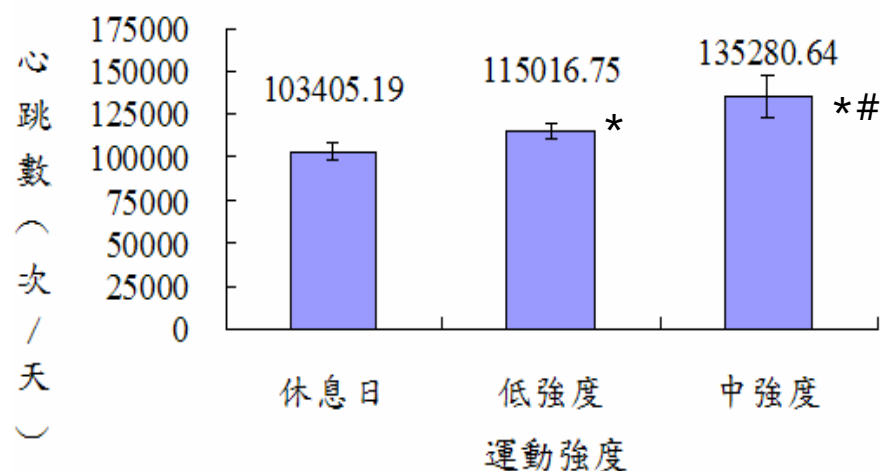


圖 11 不同運動強度與心跳數直方圖。*符號是與休息日相互比對；#符號是與低強度相互比對。

從事後比較 (LSD 法) 可知：休息日心跳數為 103405.19 ± 5355.98 次/天、低強度運動心跳數為 115016.75 ± 4428.27 次/天、中強度運動心跳數為 135280.64 ± 12361.64 次/天。效標變項 (心跳數) 隨著預測變項 (運動強度) 增加而逐漸提升，由此結果顯示運動強度越強其心跳數值亦越高。

表 7 運動強度與心跳數變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	η^2
受試者間	292654498.52	4	73163624.63	20.34	0.90
受試者內	3114266740.69	10			
組間	2602495938.30	2	1301247969.15		
殘差	511770802.39	8	63971350.30		
全體	3406921239.21	14			

第四節 心跳數與能量消耗之分析

研究者透過受試者們以平均最大攝氧量之 30%、50% 分別視為低強度、中強度運動；另外安排一整天無任何運動模式，視為休息日。此小節欲探討心跳數對於全天性(二十四小時)能量消耗之分析，研究者以心跳數作為預測變項，而全天性能量消耗作為效標變項，其預測變項與效標變項間之描述性統計如表 8 所示：在休息日期間，實驗測得的心跳數最小值為 95963.41 次/天、最大值為 108610.52 次/天、平均數±標準差為 103405.24 ± 5535.98 次/天；相對應實驗測得的能量消耗最小值為 1466.99 千卡/天、最大值為 1647.81 千卡/天、平均數±標準差為 1546.29 ± 75.69 千卡/天。在低強度運動期間，實驗測得的心跳數最小值為 108205.91 次/天、最大值為 118581.22 次/天、平均數±標準差為 115016.73 ± 10628.3 次/天；相對應實驗測得的能量消耗最小值為 1719.37 千卡/天、最大值為 2605.35 千卡/天、平均數±標準差為 2337.66 ± 137.67 千卡/天。在中強度運動期間，實驗測得的心跳數最小值為 120247.13 次/天、最大值為 152935.72 次/天、平均數±標準差為 135280.64 ± 12361.64 次/天；相對應實驗測得的能量消耗最小值為 2606.16 千卡/天、最大值為 3048.21 千卡/天、平均數±標準差為 2865.84 ± 179.54 千卡/天。經由前兩小節統計分析結果得知：三天不同運動強度之全天性心跳數與能量消耗兩者間皆達顯著差異存在。

表 8 心跳數與能量消耗描述性統計表

	心跳數(次/天)			能量消耗(千卡/天)		
	休息日	低強度	中強度	休息日	低強度	中強度
平均數	103405.24	115016.73	135280.64	1546.29	2337.68	2865.84
標準差	5535.98	10628.31	12361.64	75.69	137.67	179.54
最大值	108610.52	118581.22	152935.72	1647.81	2605.35	3048.21
最小值	95963.41	108205.91	120247.13	1466.99	1719.37	2606.16

透過受試者重複監測全天性心跳數對能量消耗變異數分析摘要表如表 9 所示：個別三天全天性心跳數對能量消耗的平均數差異皆達顯著水準，組間效果 $F_{.05}(1,13)=24.37$ ， $p=.000 < .05$ ，說明不同運動強度模式下，全天性心跳數與能量消耗有所不同。從事後比較(LSD法)可知：在休息期間：平均心跳數為 103405.24 ± 5535.98 次/天、平均能量消耗為 1546.29 ± 75.69 千卡/天；在低強度運動期間：平均心跳數為 115016.73 ± 10628.31 次/天、而且平均能量消耗數值為 2337.68 ± 136.67 千卡/天；在中強度運動期間：平均心跳數為 135280.64 ± 12361.64 次/天、平均能量消耗為 2865.84 ± 179.54 千卡/天；效標變項(能量消耗)隨著預測變項(心跳數)增加而逐漸提升，此結果顯示心跳數提升伴隨著能量消耗的生成量。

表 9 心跳數與能量消耗變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	η^2
回歸	3364940.55	1	3364940.55	24.37	.000
殘差	1795402.12	13	138107.85		
全體	5160342.66	14			

經過統計考驗，研究發現全天性心跳數能夠預測其能量消耗，回歸可解釋變異量比 (R square, R^2) = 0.651、估計標準誤為 339.84，顯示以全天性心跳數可解釋其全天性之能量消耗 65.1% 的變異量，組間效果 $F_{.05}(1,13) = 24.37$ ， $p = .000 < .05$ ，顯示迴歸模型解釋力高、具有統計意義。

表 10 心跳數與能量消耗模式摘要表

模式	R	R 平方	調整過後的 R 平方	估計標準誤
1	0.822	0.676	0.651	339.84

藉由心跳數與能量消耗回歸分析預測公式係數表 (如表 11)，係數估計的結果指出：全天性心跳數對於能量消耗的 Beta 係數 (β 值) 達 .822 ($t = 5.212$ ， $p = .000$)，表示心跳數越多，能量消耗亦越多。預測變項的 b、a 即為迴歸方程式的截距 (-1327.66) 與斜率 (0.0303)， β 值為 .822，以 t 考驗檢驗之達顯著水準，其迴歸方程式公式如下所示：

$$\text{人體能量消耗}(Y) = 0.0303 \times \text{心跳數}(X) - 1327.66$$

表 11 心跳數與能量消耗回歸預測公式係數表

模式	未標準化係數		標準化係數		t	顯著性
	β 之估計值	標準誤	β 分配			
常數	-1327.66	692.052			-1.918	0.077
心跳數	0.0303	0.006	0.822		5.212	0.000

* $P < .05$ 。

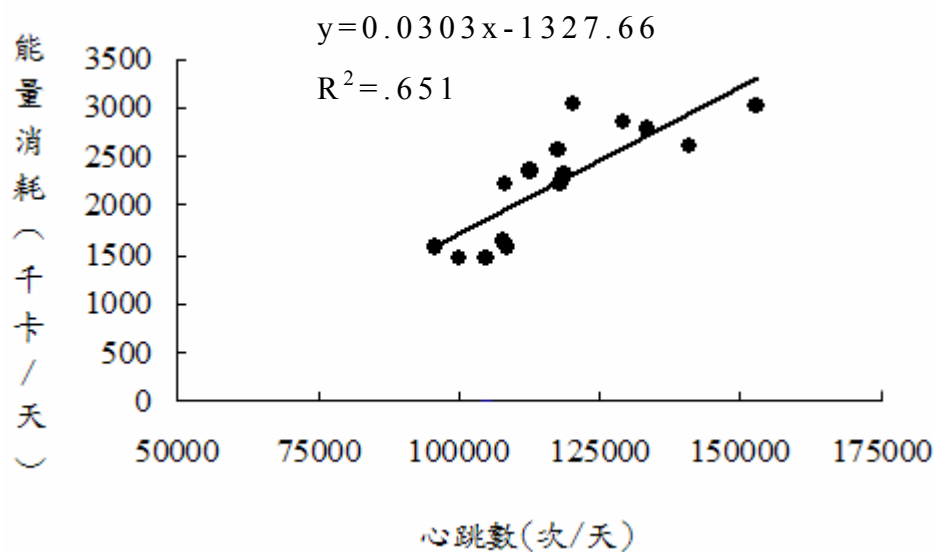


圖 12 心跳數與能量消耗回歸曲線圖

第五節 低、中強度運動後過耗氧量對能量消耗之分析

研究者透過受試者們以平均最大攝氧量之 30%、50% 分別視為低強度、中強度運動；另外安排一整天無任何運動模式，視為休息日；此小節欲探討低、中強度各階段性運動過後耗氧量 (excess post-exercise oxygen consumption, EPOC) 高於安靜休息時耗氧量用以償還運動剛開始所發生氧氣不足的部份，隨後將分為全天性(早上八點至隔日早上十點)、運動後過期間(早上八點至下午十六點十五分)、休息期間(下午十七點十五分至隔日凌晨一點三十分)、睡眠期間(隔日凌晨一點四十五分至早上十點)及等四小節加以探討，經描述性統計分析如表 12 所示：

低強度運動所產生全天性總運動後過耗氧量為 72.70 ± 9.57 升、運動期間運動後過耗氧量為 35.30 ± 9.63 升、占整體 $48.19 \pm 8.67\%$ ，休息期間耗氧量為 14.70 ± 6.59 升、占

整體 $20.56 \pm 6.59\%$ ，睡眠期間耗氧量為 22.66 ± 4.13 升，占整體 $31.24 \pm 6.01\%$ ，經上述結果得知：運動期間運動後過耗氧量、休息期間與睡眠期間個別佔整體百分比差異不大，但觀察出運動期間所產生運動後過耗氧量仍佔全體大部分比例。

綜觀中強度運動所產生全天性總運動後過耗氧量為 139.76 ± 14.95 升、運動期間運動後過耗氧量為 98.81 ± 13.40 升、占整體 $70.59 \pm 3.79\%$ ，運動期間運動後過耗氧量為 16.51 ± 6.31 升，占整體 $12.15 \pm 5.34\%$ ，休息期間耗氧量為 24.44 ± 8.04 升、占整體 $17.27 \pm 4.24\%$ ；睡眠期間耗氧量為 16.51 ± 6.31 升，占整體 $12.15 \pm 5.34\%$ 。經上述結果得知：運動期間運動後過耗氧量、休息期間與睡眠期間個別佔整理的百分比差異甚大，且運動期間運動後過耗氧量佔整體絕大部分的比例。

表 12 低、中強度運動之 EPOC 描述性統計表

變 項	全 天 性 運 動 過 後		%	休 息 期 間		%	睡 眠 期 間		%
低 強 度									
平 均 數	72.70	35.30	48.19	14.70	20.56	22.66	31.25		
標 準 差	9.57	9.63	8.67	6.59	6.59	4.13	6.01		
中 強 度									
平 均 數	139.76	98.81	70.59	24.44	17.27	16.51	12.14		
標 準 差	14.95	13.40	3.79	8.04	4.24	6.31	5.34		

單位：升(L)

針對個別運動強度在不同時段 EPOC 分析透過平均數 t 考驗統計檢定分析如表 13 所示：低強度運動模式下，全天性

EPOC 與運動期間運動後過 EPOC ($t_{(4)}=13.13$, $p < .05$)、全天性 EPOC 與休息期間 EPOC ($t_{(4)}=12.40$, $p < .05$)、全天性 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=12.89$, $p < .05$)、運動期間運動後過 EPOC 與休息期間 EPOC ($t_{(4)}=3.84$, $p < .05$)這四組考驗結果皆達統計分析顯著差異；另外，運動期間運動後過 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=2.53$, $p > .05$)、休息期間 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=2.71$, $p > .05$)未達統計分析顯著差異，從樣本平均數數值可看出休息期間與睡眠期間及運動期間與睡眠期間的 EPOC 無太大差異，顯示在低強度運動時這兩個情況之間所產生的 EPOC 是相似的。然而，在中強度運動模式下，全天性 EPOC 與運動期間運動過後 EPOC ($t_{(4)}=17.16$, $p < .05$)、全天性 EPOC 與休息期間 EPOC ($t_{(4)}=27.38$, $p < .05$)、全天性 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=13.94$, $p < .05$)、運動期間運動過後 EPOC 與休息期間 EPOC ($t_{(4)}=16.77$, $p < .05$)、運動期間運動過後 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=9.83$, $p < .05$)這五組考驗結果皆達統計分析顯著差異。另外，休息期間 EPOC 與睡眠期間 EPOC ($t_{(4)}=1.32$, $p > .05$)未達統計分析顯著差異，從樣本平均數數值可看出休息期間與睡眠期間的 EPOC 無太大差異，顯示在中強度運動時這兩時段間所產生的 EPOC 相差無幾。

換個角度，針對個別時段在不同運動強度 EPOC 分析透過平均數 t 考驗統計檢定分析如表 14 所示：在四個不同時段下，全天性 EPOC 之中強度與低強度 ($t_{(4)}=16.17$, $p < .05$)、運動期間運動過後 EPOC 之中強度與低強度 ($t_{(4)}=17.68$, $p < .05$)、休息期間 EPOC 之中強度與低強度 ($t_{(4)}=3.24$, $p < .05$)皆達統計分析顯著差異；從樣本平均數數值可知在

全天性、運動期間運動過後及休息期間這三時段中強度運動皆高於低強度運動；但睡眠期間之中強度與低強度($t_{(4)}=1.37$, $p < .05$) 未達統計分析顯著差異，且於睡眠期間反而是低強度運動高於中強度運動。

表 13 個別運動強度不同時段之 EPOC 差異比較

運動類型	時段	平均數	標準差	t 值
低強度	全天性	72.70	9.57	13.13*
	運動後過	35.30	9.63	
低強度	全天性	72.70	9.57	12.40*
	休息期間	14.71	4.14	
低強度	全天性	72.70	9.57	12.89*
	睡眠期間	22.66	4.99	
低強度	運動後過	35.30	9.63	3.84*
	休息期間	14.71	4.14	
低強度	運動後過	35.30	9.63	2.53
	睡眠期間	22.66	4.99	
低強度	休息期間	14.71	4.14	2.71
	睡眠期間	22.66	4.99	
中強度	全天性	139.76	14.95	17.16*
	運動後過	98.81	13.40	
中強度	全天性	139.76	14.95	27.38*
	休息期間	24.44	8.05	
中強度	全天性	139.76	14.95	13.94*
	睡眠期間	16.51	6.31	
中強度	運動後過	98.81	13.40	16.77*
	休息期間	24.44	8.05	
中強度	運動後過	98.81	13.40	9.83*
	睡眠期間	16.51	6.31	
中強度	休息期間	24.44	8.05	1.32
	睡眠期間	16.51	6.31	

單位：升(L)， * $P < .05$ 。

表 14 個別時段不同運動強度之 EPOC 差異比較

時段	運動類型	平均數	標準差	t 值
全天性	低強度	72.70	9.57	16.17 [*]
	中強度	139.76	14.95	
運動後過	低強度	35.30	9.63	17.68 [*]
	中強度	98.81	13.41	
休息期間	低強度	14.71	4.13	3.24 [*]
	中強度	24.44	8.05	
睡眠期間	低強度	22.66	4.99	1.37
	中強度	16.51	6.31	

單位：升 (L)，^{*} P < .05。

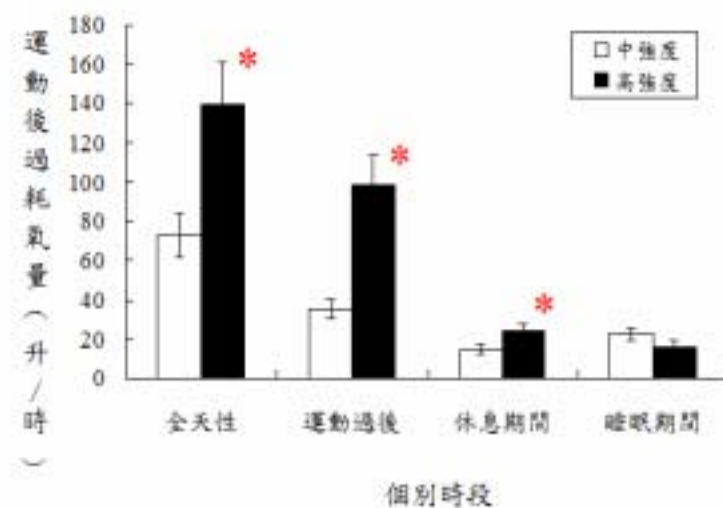


圖 13 個別時段不同運動強度之 EPOC 差異直方圖

第五章 研究討論

本章根據第四章的研究結果，作進一步的討論，內容共分為四節，第一節運動強度對能量消耗的影響、第二節運動強度對心跳數的影響、第三節心跳數對能量消耗的影響、第四節低、中強度運動 EPOC 對能量消耗的影響，茲分述如下：

第一節 運動強度對能量消耗的影響

Melanson、Sharp、Seagle、Horton、Donahoo、Grunwald、Hamilton 與 James (2002) 等學者研究運動強度針對二十四小時能量消耗及營養物氧化作用的影響做深入探討，十六位實驗受試者於間接式測量實驗室參與三種不同運動情況[坐式生活 (Con 組)、低強度運動日 (LI 組：400kcal 於 40% VO_2max)、高強度運動日 (HI 組：400kcal 於 70% VO_2max)]，結果發現：Con 組在絕對二十四小時能量消耗比 LI 與 HI 兩組有顯著差異性，但 LI 組與 HI 組兩者間並無顯著差異；但能量消耗平均增加量在 LI 與 HL 兩組個別為 506 ± 34 千卡/天、 546 ± 34 千卡/天，從增加量平均數得知：HI 組再能量消耗上亦高於 LI 組，本篇研究結果與此論點有雷同之處。

根據 Irwin、Ainsworth 與 Conway (2001) 等人透過二重水標製法 (doubly labeled water, DLW)、身體活動紀錄法 (Physical activity record, PA records) 與七日身體活動回憶紀錄法 (Seven - day physical activity recall, 7DR) 作為評估能量消耗的方法，實驗參與者高達二十四位 (年齡： 41.2 ± 9.6 歲、身高： 1.78 ± 0.07 公尺、體重： 79.5 ± 9.0 公斤、BMI 指數： 25.1 ± 2.7 公斤/公尺²)，研究結果發現從七日身

體活動回憶紀錄法(7DR)所測定平均能量消耗(4157 千卡/天)高於由二重水標製法(DLW)測得能量消耗(3169 千卡/天)且達顯著差異存在，但從身體活動紀錄法(3385 千卡/天)與二重水標製法(3169 千卡/天)兩者間並無顯著差異存在。此研究結果均高於本研究者的實驗數據，探究其原因是本研究受試者族群的 BMI 指數明顯低於 Irwin(2001)等學者之研究。

再者，Kazunori、Shigeho、Kazuko 與 Izumi (2008) 等學者研究身體活動過後評估二十四小時能量消耗之分析，安排十一位日本男性分別三天進入新陳代謝實驗室測量：一天為控制日(C-day)、另一天為高頻率適度身體活動日(M-day)與最後一天為高頻率高強度身體活動日(V-day)。研究結果發現此三日二十四小時能量消耗分別為 2228 ± 143 千卡、 2816 ± 197 千卡、 2813 ± 163 千卡；雖身體活動過後能量消耗在 M-day 與 V-day 兩者間無顯著差異存在，兩者平均數皆顯著高於 C-day。此研究發現與本研究結果有相類似之處。

第二節 運動強度對心跳數的影響

依據 Li、Paul 與 Joseph (1993) 等學者探討每分鐘以每分鐘心跳率記錄方式來預估四十位女性工作者之能量消耗，並藉由此方法強調個體內部及外部的變化性；研究結果發現：騎腳踏車輸出功率為 30 瓦特時，心跳率為 104.3 ± 10.5 次/分、輸出功率為 60 瓦特時，心跳率為 132.7 ± 14.8 次/分、輸出功率為 80 瓦特時，心跳率為 146.9 ± 15.1 次/分，隨著運動強度的增加，心跳率亦隨之增加；與本研究結果在休息日全天性平均心跳率為 71.81 ± 3.72 次/分、中強度全天

性平均心跳數為 79.87 ± 3.08 次/分、高強度全天性平均心跳率為 93.94 ± 8.58 次/分相互比較為低。基於兩者實驗設計與監測時間的不同導致數據上有所落差，實驗上所造成的誤差仍在接受範圍內。

第三節 心跳數對能量消耗的影響

Li、Paul 與 Joseph (1993) 等學者探討每分鐘以每分鐘心跳率記錄方式來預估四十位女性工作者之能量消耗，並藉由此方法強調個體內部及外部的變化性；研究結果發現：騎腳踏車輸出功率為 30 瓦特時，心跳率為 104.3 ± 10.5 次/分、能量消耗為 12.43 ± 1.06 千焦耳/分；輸出功率為 60 瓦特時，心跳率為 132.7 ± 14.8 次/分、能量消耗為 19.99 ± 1.56 千焦耳/分；輸出功率為 80 瓦特時，心跳率為 146.9 ± 15.1 次/分、能量消耗為 23.73 ± 2.04 千焦耳/分；隨著運動強度的增加，心跳率有增加的趨勢外，並觀察到能量消耗亦隨強度的增加而有所提升；與本研究結果在休息日全天性平均心跳率為 71.81 ± 3.72 次/分、能量消耗為 1.07 ± 0.05 千焦耳/分；低強度全天性平均心跳率為 79.87 ± 3.08 次/分、能量消耗為 1.54 ± 0.28 千焦耳/分；中強度全天性平均心跳率為 93.94 ± 8.58 次/分、能量消耗為 1.99 ± 0.13 千焦耳/分相互比較為低。基於兩者實驗設計與監測時間的不同導致數據上有所落差，但實驗上所造成的誤差仍在接受範圍內。

Spurr、Prentice、Murgatroyd、Goldberg、Reina、Christman (1988) 等學者探討全天性能量消耗 (total daily energy expenditure, TDEE) 與動能耗盡 (energy expends in activity, EAC) 分別從二十二位實驗參與者透過每分鐘每分鐘心跳率

監測的方法來推估其能量消耗並與間接性熱量計監測的數值相互加以對照。身處於熱量計實驗室二十二小時期間，受試者均遵守四種不同活動的規劃，以多樣化不同強度腳踏車測功儀踩踏，每回運動持續三十分鐘、每次運動以二、四、六回次數不等，另一次為無運動狀態。研究結果發現：無論在全天性能量消耗 (TDEE) 或動能耗盡 (EAC) 上兩種監測方法在統計上皆無顯著差異性的不同；透過心跳率監測從熱量計所得到的數據資料對全天性能量消耗 (TDEE) 所做的迴歸曲線方程式為 $Y=0.92X+1.0 \text{ MJ}$ ，其結果呈現相當一致性，相關係數達 0.87、估計標準誤為 0.91 莫耳-焦耳 (218 千卡) ($r=0.87, SEE=0.91 \text{ MJ}$)。儘管以熱量計視為度衡量標準，受試者們經過心跳率監測方式推估全天性能量消耗其最大誤差值於正 20% 與負 15% 之間變化著。再者，同樣方式對動能耗盡 (EAC) 所做的迴歸曲線方程式為 $Y=0.87 X+0.52 \text{ MJ}$ ，其結果呈現相當一致性，相關係數達 0.82、估計標準誤為 0.91 莫耳-焦耳 (218 千卡) ($r=0.80, SEE=0.91 \text{ MJ}$)。

透過此研究方法隨著個別不同活動規劃監測其能量消耗，讓小團體受試者族群中亦能使用以推估全天性能量消耗 (TDEE) 與動能耗盡 (EAC)。針對目前測量方式中，心跳率對個體全天性的能量消耗仍有正 20% 與負 15% 之間很大的誤差值存在。根據上篇所述，本研究非用心跳率 (Heart Rate) 視為實驗變項，而以心跳數 (Heart Beats) 作為實驗變項，主要目的避免因心跳率所造成不容忽視的誤差值；反觀，本研究結果的迴歸方程式為 $Y(\text{能量消耗, kcal}) = 0.0303X(\text{心跳數, heart beats}) - 1327.66$ ($R^2=0.652, SEE=0.006$)，試圖利用心跳數量測以降低能量消耗推估所產生的誤差值。

第四節 低、中強度運動 EPOC 對能量消耗的影響

根據 Gore 與 Withers (1990) 等人研究發現：三種不同運動強度 (30%、50%、70% VO_2max) 與三段不同持續時間 (20、50、80 分鐘) 重複量測實驗設計，研究結果得知，於 30% VO_2max (6.8 公里/小時) 分別得到 1.01、1.43、1.04 升；於 50% VO_2max (9.5 公里/小時) 分別得到 3.14、5.19、6.10 升；於 70% VO_2max (13.4 公里/小時) 分別得到 5.68、10.04、14.59 升；隨著運動強度與持續時間的增加，其 EPOC 的生成量亦隨之增加，與本研究亦有相同的結果。

Short 與 Sedlock (1997) 研究發現：實驗組 ($\text{VO}_2\text{peak}=53.3 \pm 6.4\text{ml/kg/min}$) 與控制組 ($\text{VO}_2\text{peak}=37.4 \pm 3.2\text{ml/kg/min}$) 兩組在相同運動情況下，實驗組擁有較短期間的 EPOC ($\text{W70\%}=40 \pm 15$ 分； $\text{W1.5}=21 \pm 9$ 分) 比起控制組 ($\text{W70\%}=50 \pm 14$ 分； $\text{W1.5}=39 \pm 14$ 分) 而言；此外，在大量 EPOC 層面兩組間 (實驗組： $\text{W70\%}=3.2 \pm 1.0$ 升氧氣， $\text{W1.5}=1.5 \pm 0.6$ 升氧氣。控制組： $\text{W70\%}=3.5 \pm 0.9$ 升氧氣， $\text{W1.5}=2.4 \pm 0.6$ 升氧氣) 就有所不同，與本研究結果有相似的發現。

Brehm 與 Gutin (1986) 研究發現無論走路或慢跑的強度與運動後過攝氧量 (EPOC) 有著相關聯性；針對受過訓練的個體以每小時 11.3 公里的速度進行，如此的運動強度對他們而言視為低強度運動，以這樣的強度持續慢跑 3.2 公里後，EPOC 總計僅耗盡 3.5 公升的氧氣。

關於 EPOC 仍有不少相關的研究 (Hermansen, Grand-montagne, Mæhlum, 1984; Mæhlum et al, 1986) 原出自於 Hermansen 的實驗室。然而 Hermansen (1984) 開始規劃一系

列的研究工作，讓受試者參與 75% VO_2max 腳踏車測功儀持續八十分鐘；經過十二小時之後，EPOC 的生成量為 48 公升。另一方面，Mæhlum (1986) 等學者找尋八位受試者參與此研究，運動強度為 70% VO_2max 每回運動持續時間為 10 到 30 分鐘，中間有五分鐘的休息，依序持續八十分鐘測功儀的監測，研究發現 EPOC 平均值為 26 公升。上述研究監測的時間未達兩小時以上，但運動過程中所產生 EPOC 的生成量與本研究有類似的研究結果。

Gore 與 Wither (1990) 分析跑步機運動強度與持續時間對於運動後過攝氧量 (EPOC) 彼此間的相互影響，運動強度範圍從 30% 的最大攝氧量 (VO_2max) 持續 20 分鐘至 70% 的最大攝氧量 (VO_2max) 持續 80 分鐘；他們發現運動強度與運動持續時間兩者評估 EPOC 的差異僅佔極小部份 (7%)，單獨探討高強度運動則佔 45.5% 部分。這篇研究於文獻探討 (圖 1) 提出說明解釋且支持運動強度在 EPOC 層面佔有相當顯著性的程度。此外，他們仍顯示出 EPOC 最高的數據指標牽涉到運動強度與持續時間是真實存在。

第六章 結論與建議

本章主要目的是將本研究作整體概述，依研究結果提出結論與建議，共分為兩節：第一節結論、第二節建議，茲分如下：

第一節 結論

本篇研究以心跳數預測人體能量消耗的預測回歸方程式，由研究結果分析討論後，獲得下列結論：

- 一、不同運動強度（休息日、低強度、中強度）彼此間測得的心跳數（Heart Beats）具有顯著性差異；隨著運動強度的增加，其心跳數亦隨之提升。
- 二、不同運動強度（休息日、低強度、中強度）彼此間測得的能量消耗（Energy Expenditure）具有顯著性差異；隨著運動強度的增加，其能量消耗亦隨之提升。
- 三、根據不同運動模式下，心跳數與能量消耗兩者皆隨著運動強度的增加而顯著提升；再者將心跳數預測能量消耗作線性迴歸分析，全天性心跳數對於能量消耗的 Beta 係數（ β 值）達 .808，其回歸方程式為：人體能量消耗（Y）= $0.031 \times \text{心跳數}(X) - 1327.66$ ，回歸可解釋變異量比（R square, R^2 ）= 0.689、估計標準誤為 338.83，顯示以全天性心跳數可解釋其全天性之能量消耗 68.9%。
- 四、低、中強度運動後過攝氧量（EPOC）的結果分析：於低強度運動模式下，運動期間運動後過占全體 EPOC 的 48.19%、休息期間占全體 EPOC 的 20.56%、睡眠期間占全體 EPOC 的 31.24%；此外，於中強度運動模式下，運動期間運動後過占全體 EPOC 的 70.59%、休息期間

占全體 EPOC 的 17.27%、睡眠期間占全體 EPOC 的 12.15%；由此可知：在高強度運動模式下，償還 EPOC 在快速的部份占相當大的比例，其他時段則平均分配百分比；反觀中強度下，償還 EPOC 無論在任何時段都平均分配其百分比，這部份對日後預探討 EPOC 將會是一項微小的研究發現。

第二節 建議

根據本研究的實施與結論，本研究提出下列幾點建議，以供未來對能量消耗相關研究與執行：

- 一、實驗儀器電力系統的改良應能精簡化，減輕鉛酸電池本身的重量，以節省實驗過程中所花費的精力。
- 二、本研究因受試者人數明顯不足，進而影響統計解釋力，建議未來研究應酌增受試者樣本數；基於研究資源、人力嚴重缺乏且現實條件難以克服，應勇於在大學期間營造研究小團體，鼓勵大專生接受進入研究所前置訓練，並共同發表研究主題或專案計畫。
- 三、礙於實驗儀器設備不完整性，導致本實驗進行過程中需兩地往返，往返過程中將影響日後實驗數據所產生的誤差範圍；期盼未來研究資源上能有公平、公正且平均分配，讓全校師生善盡其用研究工具，創造出更具話題性的研究論文，以刺激國內外更具深度、廣度的研究議題。
- 四、執行本研究實驗部份的時間過於冗長，試圖找尋出關鍵代表性的實驗時段，以縮短整體實驗流程，進而節省長時間性所花費人力、物力……等開銷，將有限的研究資源發揮到淋漓盡致的境界。

參考文獻

中文部份

- 王光濤 (2001)。運動生理學。台北市：合記。
- 吳蕙米 (2000)。不同強度有氧運動與熱量攝取控制對身體組成及生理相關因素影響之研究。大專體育學刊，51期，46-53 頁。
- 吳鑒鑫、黃超文 (2001)。運動生理學。台北市：亞太。
- 林正常、徐台閣、林貴福、吳慧君 (譯) (2005)。運動生理學。台北市：麥格羅希爾。(Power, S. K. & Edward, T. H., 2002)
- 林曼蕙 (譯) (2001)。運動生理學讀本。台北市：合記。(增原光彥，1997)
- 郭家驊、劉昉青、祁業榮、劉珍芳、張振崗 (2001)。運動營養學。台中市：華格那企業有限公司。
- 陳佳儒 (1999)。兒童身體活動之探討與評估。大專體育學刊，45 期，110-117 頁。
- 陳坤樺 (2002)。應用運動生理學。台北市：五南。
- 陳厚諭、王鶴森、鄭旭煒 (2008)。不同網球運動經驗對 Wii Sports 互動式遊戲強度之影響。大專體育學刊，10 卷 2 期，127-136 頁。
- 陳敏弘、蘇蕙芬 (2007)。評估兒童身體活動方法之探討。大專體育學刊，88 期，193-198 頁。
- 陳優環、蔣立琦 (2006)。評價兒童身體活動量評估工具。學校衛生，48，117-128。
- 黃政一、蔡忠昌 (2007)。以生物電阻分析法預估最大耗氧

量之可行性探討。大專體育學刊，91期，174-181頁。

趙德彰（譯）（2003）。*圖解生理學*。高雄市：長年。（中野昭一、吉岡利忠、田中越郎，2000）

劉妍秀（2004）。*技擊反應動作時間訓練器之研發與應用*。大專體育學刊，6卷2期，213-225頁。

蕭寧馨（2004）。*食品營養概論*。台北市：時新出版有限公司。

西文部份

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sport Medicine*, 33, 7, 517-538. (review article)
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (2006). The physical activity patterns of European youth with reference to methods of assessment. *Sport Medicine*, 36, 12, 1067- 1086. (review article)
- Athanasoulis, C. A., Waltman, A. C., Simmons, J. T., Sheehan, B., & Coggins, C. H., (1978). Effects of intravenous vaso-pressin on canine mesenteric arterial blood flow, bowel oxygen consumption, and cardiac output. *American Journal of Roentgenology*, 130, 6, 1033-1039.
- Bauer, J., Hentschel, R., & Linderkamp, O., (2002). Effect of sepsis syndrome on neonatal oxygen consumption and energy expenditure. *Pediatrics*, 110, e69.
- Brage, S., N. Brage., P. W. Frank., U. Ekelund., M. Y. Wong., L. B. Andersen., K. Froberg., & N. J. Wareham. (2004). Branched equation modeling of simultaneous accelero

- metry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *Journal of applied physiology*. **96**, 343-351.
- Brage, S., Wedderkopp, N., Franks, P. W., Andersen, L. B., & Froberg, K. (2003). Reexamination of validity and reliability of the CSA monitor in walking and running. *Medicine science sport exercise*. **35**, 1447-1454.
- Brehm, B. A., & Gutin, B. (1986). Recovery energy expenditure for steady state exercise in runners and nonexercisers. *Medicine and science in sport and exercise*. **18**, 205-210.
- Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A. A., Wright, D., & Young, B. (1998). Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in Cattle maintained under different conditions. *Journal of animal science*, **76**, 3054-3064.
- Ceesay, S. M., Prentice, A. M., Day, K. C., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., & Scott, W., (1989). The use heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *British Journal of Nutrition*, **61**, 175-186.
- Chen, K. Y., & Sun, M. (1997). Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer. *Journal of applied physiology*, **83**, 2112-2122.
- Christensen, C. C., Frey, H. M., Foenselien, E., Aadland, E., & Refsum, H. E. (1983). A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O^2 consum

- ption / heart rate curves and average daily heart rate^{1,2}.
***American Journal of Clinical Nutrition*, 52, 55-59.**
- Crouter, S. E., Kurt, G. C., & David, R. B. (2006). A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. ***Journal of applied physiology*. 100, 1324-1331.**
- Daniels, J. W., et al. (1998). Effect of caffeine on blood press, heart rate, and forearm blood flow during dynamic leg exercise. ***Journal of applied physiology*, 85, 154-159.**
- Eric, Ravussis. et al. (1986). Determinants of 24-hour Energy Expenditure in Man. Methods and Results Using a Respiratory Chamber. ***The Journal of Clinical Investigation, Inc. 78, 1568-1578.***
- Eston, R. G., Rowlands, A.N., & Ingledew, D. K. (1998). Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. ***Journal of applied physiology*, 84, 362-371.**
- Froget, G., Butler, P. J., Handrich, Y., & Woakes, A. J., (2001). Heart rate as an indicator of oxygen consumption: influence of body condition in the king penguin. ***Journal of Experimental Biology*, 204, 2133-2144.**
- Freedson, P. S., Melanson, E., & Sirard, J. (1998). Calibration of the computer science and applications , Inc. accelerometer. ***Medicine and sport science. 30, 777-781.***
- Gore, C. J., & Withers, R. T. (1997). Effect of intensity and

- duration on post-exercise metabolism. *Journal of applied physiology*. **68**, 2362-2368.
- Gore, C. J., & Withers, R. T. (1997). The effect of exercise intensity and duration on the oxygen deficit and excess post-exercise oxygen consumption. *European journal of applied physiology*, **60**, 169-174.
- Hermansen, L., Grandmontagne, M., & Mæhlum, S. (1984). Post-exercise elevation of resting oxygen uptake: possible mechanisms and physiological significance. *Medicine and sport science*. **17**, 119-129.
- Hendelman, D., Miller, K., Baggett, C., Debold, E., & Freedson, P. S. (2000). Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine and sport science*. **32**, S442-S449.
- Insel, P., Turner, R. E., & Ross, D. (2004). *Nutrition* (2nd ed.). Sudbury, MA: Jones and Bartlett Publishers.
- Irwin, M. L., Ainsworth, B. E., & Conway, J. M. (2001). Estimation of energy expenditure from physical activity measures: determinants of accuracy. *Obesity research*. **9**, 517-525.
- Jacqueline, B., Roland, H., & Otwin, L. (2002). Effect of sepsis syndrome on neonatal oxygen consumption and energy expenditure. *Pediatrics*. **110**, e69-e72.
- Kazunori, O., Shigeo, T., Kazuko, I. T., & Izumi, T. (2008). Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber:

- models of daily total energy expenditure.^{1,2,3} ***American Journal of Clinical Nutrition***. **87**, 5, 1268-1276.
- Li, R., Deurenberg, P., & Hautvast, J. G. (1993). A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. ***American Journal of clinical nutrition***. **58**, 602-607.
- Livingstone, M. B., Prentice, A. M., Coward, W. A., Ceesay, S. M., Strain, J. J., Mckenna, P. G., Nevin, G. B., Barker, M. E., & Hickey, R. (1990). Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the double labeled water method and heart-rate method and heart-rate monitoring¹⁻³. ***American Journal of Clinical Nutrition***, **52**, 59-65.
- Livingstone, M.B., Coward , W. A., Prentice , A. M., Davies , P. S., Strain J. J., McKenna, P. G., Mahoney , C. A., White , J. A., Stewart , C. M., & Kerr , M. J. (1992). Daily energy expenditure in free-living children : comparison of heart-rate monitoring with the doubly labeled water($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) methods¹⁻³. ***American Journal Clinical Nutrition***, **56**, 343-352.
- Mcdonugh, J. R., Kusumi, F., & Bruce, R. A., (1970). Variation in maximal oxygen intake with physical activity in middleaged men. ***Circulation***, **41**, 743-752.
- Melanson, E. L., Sharp, T. A., Seagle, H. M., Horton, T. J., Donahoo, W. T., Grunwald, G. K., Hamilton, J. T., & Hill, J. O. (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy

- expenditure and nutrient oxidation. *Journal of applied physiology*. **92**, 1045-1052.
- Mæhlum, S., Grandmontagne, M., & Newsholme, E. A. (1986). Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism*, **35**, 5, 425-429.
- Nichols, J. F., Morgan, C. G., Chabot, L. E., Sallis, J. F., & Calfas, K. J. (2000). Assessment of physical activity with the computer science and applications, Inc., accelerometer: laboratory versus field validation. *Res Q exercise sport*. **71**, 36-43.
- Nieman, D. C. (1998). Exercise testing and prescription: A health-related approach. *California: Mayfield*, 473-475.
- Scott, L., Mark, R., [Phillip, B., Joe, S., Hank, H., & Judy, G. (2006). Excess post exercise oxygen consumption in untrained males: effects of intermittent durations of arm ergometry. *Applied physiology and Nutrition Metabolomics*. **31**, 196 - 201.
- Short, K. R., & Sedlock, D. A. (1997). Excess post-exercise oxygen consumption and untrained subjects. *Journal of applied physiology*. **83(1)**, 153-159.
- Sirard, J. R., & Pate, R. T., (2001). Physical activity assessment in children and adolescents. *Sport Medicine*, **31**, 6, 439-454. (review article)
- Spurr, G. B., Prentice, A. M., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., Reina, J. C., & Christman, N. T. (1988). Energy

- Expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry¹⁻³. ***American Journal of Clinical Nutrition***. **48**, 552-559.
- Spurr, G. B., Prentice, A. M., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., Reina, J. C., & Christman, N. T., .(1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. ***American Society for Clinical Nutrition***. **48**, 552-559.
- Swartz, A. M., Strath, S. J., Bassett, D. J., O'Brien, W. L., King, G. A., & Ainsworth, B. E. (2000). ***Medicine and sport science***. **32**, S450-S456.
- Treuth, M. S., Anne, L. A., & Nancy, F. B. (1998). Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. ***American Journal of physiology***. **275**, E12-E18.
- Weinsier, R. L., G. R. Hunter., P. A. Zuckerman., D. T. Redden., B. E. Darnell., D. E. Larson., B. R. Newcomer., & M. I. Goran. (2000). Energy expenditure and free-living physical activity in black and white woman: comparison before and after weight loss. ***American journal of clinical nutrition***. **71**, 1138-1146.
- Ward, S., Bishop, C. M., Woakes, A. J., & Butler, P. J. (2002). Heart rate and the rate of oxygen consumption of flying and walking barnacle geese (*Branta leucopsis*) and barheaded geese (*Anser indicus*). ***Journal of Experimental Biology***, **205**, 3347-3356.

Yngve, A., Nilsson, A., Sjostrom, M., & Ekelund, U. (2003).
Effect of monitor placement and activity setting on the
MTI accelerometer output. *Medicine and sport science*.
35, 320-326.

附錄一 受試者同意書

國立臺灣體育大學 (臺中)



受試者同意書

試驗主題：以心跳數預測人體整天能量消耗之研究-大專院校男學生為例	
執行單位：國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所	
試驗主持人：陳裕鏞 博士	職稱：助理教授
協同主持人：詹仁德	職稱：研究生
緊急聯絡人：	緊急聯絡電話：
自願受試者姓名： 編號：	
[研究員填寫]	
性別：	年齡：
通訊地址：	
電話：()	手機號碼：
一、試驗目的： 我們敬邀您參加一項能與國外實驗設備(直接測量法)相媲美關於人體能量消耗之研究計畫。本計畫想要瞭解以間接式測量儀器-攜帶型氣體分析儀(Metamax 3B)之使用成效。依本實驗之理論依據，期能以心跳數紀錄來推估能量消耗；經由實驗儀器輔助以紀錄人體一整天之能量消耗，事後再配合飲食能量控制，讓國人瞭解能量平衡的概念，進而抑制肥胖率，降低慢性疾病發生率，最終達成全民健康之理想目標並提升國家競爭力。	

二、試驗方法：包括(一)受試者條件與數目；(二)實驗設計與流程步驟，(三)實驗期間；(四)評估與統計方法。

(一)受試者條件與數目

1.受試者須符合以下所有條件方能參加本試驗

(1)國內大專院校之男學生。

(2)BMI 值介於 18.5~24.9 之間。

(3)無心血管、高血壓、糖尿病、肺疾病、肝與腎疾病與骨骼疾病等。

所有受試者或其監護人必須在進入試驗前簽署受試者同意書。

2.預估國內大專院校將有 15 位受試者參與實驗。

(二)實驗設計與流程步驟

受試者基本體能之測量，藉由各種不同能量消耗時之心跳偵測；若您同意參加本研究，試驗主持人會先為您做評估，以確認您是否合乎試驗條件，並告知您各實驗設計與流程。

在第一次試驗期之後三週同一時段將由主持人安排您回實驗室進行第二次、第三次與第四次不同活動強度的試驗。在這三次試驗中主持人將會對您的能量消耗進行分析說明，請您務必參加這三次試驗。

整個試驗期間，我們會針對您配合實驗儀器的輔助操作，在配戴期間的不舒適反應進行紀錄並改進，以確保受試者身心靈的安定並提升研究的準確性。

(三)實驗期間

本試驗將於 96 年 11 月至 97 年 7 月間進行。

(四)評估與統計方法

基本人體資料、生活強度模式、體脂肪率及整體臨床表現將以描述性統計的方式呈現；統計分析將採回歸分析來檢定不同活動強度下預估能量消耗之回歸方程式。

三、參與試驗費用說明：

參與本試驗將不需額外支付任何費用。

四、參與試驗可能獲得之效益：

研究團隊希望透過本試驗結果，讓您瞭解能量消耗之推估，進而控制體重變化，研究人員在試驗期間會提供您最完善的醫療照顧。

五、可能產生之副作用及危險：

佩帶儀器後可能發生的副作用包括嗜睡(25%)、頭暈(15%)、肩(頸)酸痛(20%)、面罩不舒服(15%)、呼吸困難(20%)、活動不便(5%)。

處理方法：當您有任何不適情況發生時，請告訴試驗主持人，研究人員將給予您最妥善的照顧。

六、權利和責任：參加本臨床試驗，依醫療法您的權益至少涵蓋下列兩項：

若執行係依照所訂試驗計劃書引起之傷害時，試驗委託者將依法負損害賠償責任。

(一)本臨床試驗計畫之執行機構將維護您在試驗過

程當中應得之權益。

(二)您的隱私保護

- 1.試驗主持人及協同主持人對您的試驗紀錄、所收集到的數據、結果分析將會保密，且會利用編碼以保護您的姓名不被公開。除了有關機構依法調查外，我們會維護您的隱私。
- 2.試驗所得資料可因學術性需要而發表，但對您之隱私(如姓名、試驗號碼...等)將不會公佈，予以絕對保密。
- 3.若在試驗期間受到任何傷害或對自身權益產生疑問，請與 陳裕鏞 博士 聯絡，其聯絡電話為 0919-132295。

七、若身體生理上產生嚴重不適，有拒絕參加試驗之權利，即可隨時撤回同意書並退出實驗，而此決定並不會引起任何不愉快或影響日後對您的照顧。

試驗主持人簽名：

日期：

八、本人已詳閱上列各項資料，有關本臨床試驗計畫之疑問也經試驗主持人詳細解釋，瞭解整個實驗狀況，並經充份考慮後，本人同意擔任此次臨床試驗之自願受試驗者。

受試者簽名：

(或法定代理人)

身分證號碼：

電話：

見證人：

與受試者關係：

身分證號碼：

電話：

附錄二 身體健康調查表

國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所

身體健康調查表

試驗主持人：陳裕鏞 博士

協同主持人：詹仁德

姓名（以正楷書寫）：

運動專長項目：

聯絡電話：

您有任何生理條件（包括暫時或永久性）的限制嗎？

☐ 有 ☐ 沒有

若有，請說明：_____

您目前有以下的病史或症狀嗎：

- ☐ 心臟疾病或心臟病
- ☐ 血壓過高或有高血壓
- ☐ 心絞痛、心悸音、心臟雜音或心律不整
- ☐ 中風
- ☐ 有心臟疾病、高血壓、中風的家族病史
- ☐ 肺臟相關疾病
- ☐ 氣喘
- ☐ 癲癇
- ☐ 藥物反應
- ☐ 背部、頸部、膝蓋毛病
- ☐ 糖尿病

若您有勾選以上任一項目，請您說明：_____

您最近曾受過傷嗎？ ☐ 有 ☐ 沒有（若有，請說明）：

請您列出其它我們須要注意的事項：_____

※請問經過評估後您認為自己是否可以參加人體體驗？

☐ 否 ☐ 是

本人同意、授權 國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所 使用或複製所有關於本人參與試驗期間被拍攝之照片、攝影、錄音資料，作為教學及研究之用途。（不同意，請勾選）

☐ 不同意

參加者簽章：_____ 契約保證人：_____

日期：_____年_____月_____日

附錄三 身體活動量調查表

國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所

試驗主持人：陳裕鏞 博士

協同主持人：詹仁德

身體活動評估問卷 (您的活動量夠了嗎?)

這份問卷能幫助您了解自己的身體活動量，請您在每一個問題圈選一個合適的答案。

一、請問您如何描述您的日常生活活動？

- (1) ☐ 大多時間都是坐著
- (2) ☐ 微量的活動
- (3) ☐ 每天站著、走路約 6~8 小時
- (4) ☐ 每天中度勞動 6~8 小時

二、您通常一週參加多少次有氧運動？

- (1) ☐ 不曾
- (2) ☐ 一週 1~2 次
- (3) ☐ 一週 3~4 次
- (4) ☐ 一週 5 次或更多

三、您平均一次有氧運動的時間都多長，不包括暖身及緩和？

- (1) ☐ 20 分鐘或更少
- (2) ☐ 20~40 分鐘
- (3) ☐ 40~60 分鐘
- (4) ☐ 60 分鐘或更多

四、您運動的強度約為多強？

- (1) ☐ 很輕度的
- (2) ☐ 低強度的
- (3) ☐ 中強度的
- (4) ☐ 高強度的

五、您一週內有幾天參與肌力訓練？

- (1) ☐ 不曾
- (2) ☐ 一週 1~2 次
- (3) ☐ 一週 3~4 次
- (4) ☐ 5 次或更多

六、請你選擇以下描述您現在情況最貼切的選項？

- (1) ☐ 我沒有在運動而且現在也還沒有計畫要開始。

- (2) ☐ 我沒有在運動，但是我開始有需要多吃一些運動的想法。
- (3) ☐ 想要運動，但我做的還沒有想的那麼多，不過我正試著去挪出一些時間來運動。
- (4) ☐ 我已經開始運動計畫，但是仍會有一些外在的因素影響我。
- (5) ☐ 我已經有規律的運動，而且我知道運動。



感謝您細心的填寫

這些資料將帶給我們寶貴的資訊

謝謝您再次的合作

附錄四 人體能量消耗研究意見表

國立臺灣體育大學(臺中)體育研究所

人體能量消耗之研究

研究生：詹仁德

班 級		姓 名		生 日	年 月 日
身 高	cm	體 重	kg	手 機	
測驗日期： 年 月 日，星期 ；天氣：					
實驗時間： 時 分 至 時 分					
實驗心得與建議					

1. 首先感謝您的參與，您的【心得與建議】將成為本研究進步的原動力，請實驗參與者不吝惜給予指導，以促進本研究順利完成。
2. 最後再次感謝您的參與和幫忙，期待下次的見面！

