

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

三軸向加速規在森林步道行走能量消耗之研究

A Study on the Energy Expenditure in the Forest Trails by

Using Tri-axial Accelerometer



郭珍汝

Zen-Ru Kuo

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 97 年 7 月

July, 2008

## 誌謝

台大的兩年，終於要劃下句點了...感謝我的恩師 邱祈榮老師，在我作論文的過程中，總是幫我解決實驗的疑難雜症，使得後續研究得以推進，也很謝謝老師對我久久一次報告進度的寬容，提醒我不要埋頭苦幹，要懂得分攤負擔，讓大家可以了解狀況.....總以為研究的路上是孤獨的，不懂的開口，原來開口後，心情可以如此坦然.....能夠分擔是多麼可貴的一件事，真的很謝謝老師！

文稿初成時，承蒙邱老師、台大森林系客座副教授 梁宇暉博士，以及東海大學景觀學系兼任副教授 劉儒淵博士，鳳凰颱風剛過境旋即為學生口試！在老師們的悉心指導下，讓學生的論文臻於完善，在此致上最高敬意，老師們，辛苦了！

另外，特別感謝台大機械所 周元昉教授於研究過程予以解惑，讓原本滯礙難行的研究難題撥雲見日，邁向清晰的思路；藤枝國家森林遊樂區 廖國棟副理、藤枝的大哥大姐們，於研究過程予以照顧，讓原本艱苦的出差變得意外歡欣，感激之情，難以言喻，真的很謝謝各位！

研究的過程雖然辛苦，但回首一看，似也雲淡風輕，因為有你們的陪伴：研究室學長姐——維倫、惇為、kiki、惇淳、孝隆、介中、小紅、阿邱、瑞閔、瑞文；咱們都是苦命人——莉坪、依霖、建融、麻糬、小花、昱光、姚強、美瑤，還有學弟妹們——賴佩、菇女、青蛙、世鐸、政道、錦淑、嫵翔、文韡，我愛你們！

最後，感謝我的家人的支持，體諒這長久不能回家的女兒，讓我可以好好地完成學業，終於、終於告一段落了，日後的旅程我會繼續努力的！

## 中文摘要

近年來，國民生活水準提升，肥胖與慢性病隨之而來，儼然成為國民健康的重要議題，配合日趨發達森林步道活動，可以減輕身體多餘的負擔；如何妥善的規劃步道活動，其相關資訊的提供就顯得相當重要；活動能量消耗在步道路線的選擇規劃中，是一項重要的環節，在能量消耗資訊不充足的情況下，可能直接衝擊使用者對步道的觀感，也造成時間及體力的浪費。步道能量消耗是屬於非實驗室的研究，必須考慮許多因子，如步道起伏不一、行走速度不同等。本研究透過三軸向的身體活動感測器取得行走於步道的活動能量消耗值，以台北市福州山登山，藤枝、太平山森林遊樂區，以及烏來加九寮景觀大橋周邊步道為例，分析不同的坡率、行走速度、儀器佩帶位置、施測個體，以及步道特性對能量消耗的影響，建立出具有可信度的步道能量消耗模式。

研究發現使用的能量評估儀器，RT3 三軸向加速規(RT3 Tri-axial Accelerometer, RT3)在高速度與高坡率下的感測不靈敏，在相同坡率、速度條件下，RT3 在野外斜坡測試之活動能量消耗高於跑步機；試驗最佳佩帶位置為下背部，相較於左、右髖，C.V.值最小，對能量消耗的重複實驗，能有穩定的結果，而不同個體進行施測，在經過步頻統一後，可測得一樣的結果；模式的活動能量消耗最小值發生在坡率 0%，會隨坡率變陡而增加，在同坡率中，下坡活動能量消耗大於上坡活動能量消耗，若加入位能影響因子的評估，則上坡大於下坡的活動能量消耗；隨著各步道設計不同，在硬性鋪面的活動能量消耗會比較軟性鋪面高。從研究的過程可以知道，使用 RT3 測得的活動能量消耗值會隨許多變數而有所不同，本模式即扮演了一項基礎的比較平台，可以提供各因子的檢視。

**【關鍵字】** RT3 三軸向加速規、行走、速度、坡率、步道、活動能量消耗

## Abstract

Recently, the living standard improves, rising the problems of obese and chronic disease. Fortunately, good life conditions gave us more recreation chances as well. Forest experience is a pretty popular one. Through the forest trail walking, it will lose your pounds, if you get enough energy consumption information. Besides, make your travel planning efficient. This study explored on two treadmills and on the fields in the Taipei urban forest, Tengjih and Taipingshan National Forest Recreation Areas.

We found that the RT3 tri-axial accelerometer (RT3) detect weakly at the highest walking speed (7 kph) and steeper slope ( $> 20\%$ ), which might reduce our feasibility and reliability. A treadmill experiment was not applicative for our study because its energy expenditure was less than the field. As a result, we adopted 3-kph walking speed with RT3 low-back worn, and controlled the step frequency well on the field to build the 2nd-order polynomial regression at uphill and downhill slopes each ( $R^2 > 0.99$ ).

The minimum energy expenditure occurred on the level and increased with the steeper slope. Different individuals had different activity energy consumption and a hard pavement of a trail tended to cost higher energy. RT3 estimated that the activity energy at uphill slopes was lower than at downhill ones, but if we take the potential energy into account, it will be reversed. From the experiment process, we might say that our model acted a comparison platform that offered the looking over of every factor.

**Key words:** Energy Expenditure; RT3 Tri-axial Accelerometer; Slope; Speed; Trail; Activity Calories

誌謝 .....	i
中文摘要 .....	ii
Abstract .....	iii
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
方程式目錄 .....	vii

## 目錄

<b>第一章 前言 .....</b>	<b>1</b>
第一節 研究動機 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
第三節 研究假設 .....	2
<b>第二章 文獻回顧 .....</b>	<b>3</b>
第一節 能量消耗之估計方法 .....	3
第二節 RT3 三軸向加速規之相關研究 .....	7
第三節 行走能量消耗之相關研究 .....	11
第四節 文獻總結 .....	16
<b>第三章 研究方法與流程 .....</b>	<b>17</b>
第一節 研究對象 .....	17
第二節 實驗時間地點與器材 .....	17
第三節 研究流程 .....	19
第四節 實驗方法與步驟 .....	21
第五節 資料處理與分析 .....	27
<b>第四章 研究結果 .....</b>	<b>28</b>
第一節 RT3 參數設定與活動能量消耗計算之關聯性 .....	28
第二節 RT3 於不同佩帶位置之試驗結果 .....	31

第三節 RT3 於不同設施之試驗結果.....	42
第四節 RT3 於不同個體之試驗結果.....	44
第五節 模式與各步道實測之比較.....	45
<b>第五章 分析與討論.....</b>	<b>47</b>
第一節 儀器初步設定探討.....	47
第二節 RT3 佩帶在不同位置之比較.....	49
第三節 RT3 於不同步行設施之比較.....	52
第四節 不同個體差異之分析.....	54
第五節 步道能量消耗模式之分析.....	55
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>59</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>62</b>
附錄 1、RT3 原始下載記錄資料表.....	66
附錄 2、VM 與 AC 線性關係圖.....	67
附錄 3、調查紀錄表.....	68
附錄 4、國際標準體重表(肛腸健康網，2004).....	69
附錄 5、RT3 對照國際標準體重設定之 AMR 表.....	71

## 表目錄

表 2-1、評估身體活動與能量消耗之方法(Wolinsky and Driskell, 2008).....	4
表 3-1、同一受測者，不同 RT3 使用者設定值之試驗 .....	21
表 3-2、RT3 佩帶於右腕之預備試驗一 .....	23
表 3-3、RT3 佩帶於左、右腕之預備試驗二 .....	23
表 3-4、RT3 佩帶於下背部之野外預備試驗三 .....	24
表 4-1、兩台使用者設定完成相同之 RT3 儀器之原始紀錄值 .....	28
表 4-2、RT3 於不同體重設定(45 kg, 55 kg, 65 kg)之原始紀錄.....	29
表 4-3、RT3 於不同身高設定(150 cm, 160 cm)之原始紀錄.....	29
表 4-4、RT3 於不同年齡(25 及 35 歲)、不同性別設定之原始紀錄.....	30
表 4-5、RT3 佩帶右腕位置進行各坡率斜坡行走距離 50 m，採 Rees 速度之 AC 平均值 ± 標準差 .....	31
表 4-6、RT3 佩帶左腕位置行走於各坡率斜坡距離 50 m、速度不等之 AC 平均 值 ± 標準差 .....	33
表 4-7、RT3 佩帶右腕位置行走於各坡率斜坡距離 50 m、速度不等之 AC 平均 值 ± 標準差 .....	34
表 4-8、「左右腕」、「各坡率」、「各速度」三因子變異數分析表 .....	36
表 4-9、左腕之各速度下，AC 平均值與坡率之判定係數 $R^2$ .....	37
表 4-10、右腕之各速度下，AC 平均值與坡率之判定係數 $R^2$ .....	37
表 4-11、RT3 佩帶於下背部行走於各坡率所消耗之活動能量消耗 AC 值.....	38
表 4-12、RT3 佩帶於下背部之活動能量消耗(調整為 50 m) .....	38
表 4-13、TC 加上位能與摩擦力後之 RT3 總消耗能量 .....	40
表 4-14、RT3 於跑步機測試 0%、10%，行走速度 4.8 kph 之 AC 平均值 ± 標準 差.....	42
表 4-15、RT3 於跑步機測試 0%、10%，行走速度 4 kph 之 AC 平均值 ± 標準 差.....	42
表 4-16、RT3 野外與跑步機—10%，行走速度 4.8 kph 之 AC 平均值 ± 標準差 .....	43
表 4-17、RT3 野外與跑步機—坡率 10%，行走速度 4 kph 之 AC 平均值 ± 標準 差.....	43
表 4-18、不同施測者步距前後三次調整與預備模式建立者之多重比較 .....	44
表 4-19、藤枝國家森林遊樂區施測值與模式之變異百分比 .....	45
表 4-20、太平山國家森林遊樂區施測值與模式之變異百分比 .....	46

## 圖目錄

圖 2-1、身體活動與能量消耗之定義與評估概念架構圖(Wolinsky and Driskell, 2008) .....	6
圖 2-2、RT3 底座與單體(Stayhealthy, 2004) .....	8
圖 2-3、活動之各軸向振動計數圖 .....	9
圖 2-4、活動能量消耗記錄圖 .....	9
圖 3-1、實驗進行之儀器佩置圖(e.g. 藤枝 10%) .....	18
圖 3-2、RT3 資料收集流程圖 .....	19
圖 3-3、研究流程圖 .....	20
圖 4-1、RT3 置於右腕處，Rees 行走速度下之線性與二項式迴歸式 .....	31
圖 4-2、上下坡個別之坡率與活動能量消耗之線性迴歸式與二項式迴歸式 .....	32
圖 4-3、左腕位置各速度之坡率與活動能量消耗之二項式迴歸 .....	33
圖 4-4、右腕位置各速度之坡率與活動能量消耗之二項式迴歸 .....	35
圖 4-5、下背部 RT3 之上下坡率與活動能量消耗之線性及二項式迴歸式 .....	39
圖 4-6、RT3 與 Minetti 等(2002)總能量消耗圖 .....	41

## 方程式目錄

式 2-1、一日總能量消耗方程式(Cutler <i>et al.</i> , 2003) .....	3
式 2-2、Ree's 行走速度與坡率函數式(Rees, 2004) .....	11
式 2-3、Ree's 行走時間與距離函數式(Rees, 2004) .....	11
式 2-4、75%最大耗氧量與 RT3 總向量值迴歸方程式(Chu <i>et al.</i> , 2007) .....	14
式 2-5、Weir's 耗氧量方程式(Wolinsky and Driskell, 2008) .....	15
式 2-6、Minetti 行走成本與坡率迴歸方程式(Minetti <i>et al.</i> , 2002) .....	15
式 4-1、RT3 總向量計算方程式(Stayhealthy, 2004) .....	30
式 4-2、RT3 總向量值與活動能量消耗值迴歸方程式 .....	30
式 4-3、RT3 男性基礎代謝率(AMR)迴歸方程式 .....	30
式 4-4、RT3 女性基礎代謝率(AMR)迴歸方程式 .....	30
式 4-5、RT3 總能量消耗計算方程式 .....	30
式 4-6、RT3 上坡活動能量消耗二項式迴歸式 .....	39
式 4-7、RT3 下坡活動能量消耗二項式迴歸式 .....	39
式 4-8、加入位能後之上坡總功方程式 .....	40
式 4-9、加入位能後之下坡總功方程式 .....	40

# 第一章 前言

## 第一節 研究動機

衛生署近兩次於民國 93、95 年的死亡統計中，惡性腫瘤腦、血管疾病、心臟性疾病、糖尿病一直是造成國人死亡的重要原因，慢性疾病該如何有效預防，是國民健康一項重要的議題，而肥胖與這些慢性病形成之相關性甚高。近年來，肥胖的造成都是來自過高的熱量攝取以及遞減的身體活動(Crouter and Bassett, 2008; Kumanyika, 2008)，而身體活動(Physical Activity)是預防和治療過重與肥胖的一項重要環節(Grundy *et al.*, 1999)，更是預防與治療心血管疾病相當重要的一項因素(Haskell *et al.*, 2007)。其中，走路是我們日常生活中可行性最高的一種活動方式，容易以一個較低強度的層級履行，可以視為是復健以及疾病預防的一項重要活動(Hakim *et al.*, 1998)。

透過森林步道活動，能吸收與接觸森林「芬多精」、「空氣維他命」，而森林中的綠色環境係由柔和的綠光及藍光組成，能幫助提高身體活動，舒緩心理緊張，反之，都市則充斥著刺激性的黃光與紅光，甚至產生光害，造成心神不寧(林文鎮)；善加利用森林活動，沐浴其間，必能強化心肺功能，並消除身體多餘的卡路里，減輕器官的負擔，有效達到身心健康。

森林步道能量消耗(energy expenditure)模式的建立，除了可以讓步道活動者了解卡路里消耗情形，還可以作為事前的準備，有效節省時間及體力成本(Hugo, 1999)，達到有限旅遊時間內最大的遊憩滿足，再者，此量化資訊能促使步道難易度有效區分，這對步道經營管理者於路線的選擇、規劃，絕對是一項重要的環節。能量消耗系統不僅僅是一項使用者對於正確路徑選擇的便利工具，其中，更基於安全理由維護遊樂品質的控制(Hugo, 1999)；但目前對於行走在不同坡率(slope)之能量消耗僅限於跑步機上的實驗，如能進行野外實地調查，將更幫助我們了解實際狀況。

## 第二節 研究目的

本研究欲透過 RT3 三軸向加速規(RT3 Tri-axial Accelerometer, RT3)的使用，建立步道活動者行走在不同坡率下，身體所消耗之活動能量模式，並藉由此身體活動能量消耗模式之應用，期能裨益相關之步道經營管理者，提供步道活動者有效的健康管理資訊，也促使步道難易度之區分，便利長者與行動障礙者。下文所列為本研究之目的：

1. 探討 RT3 之活動能量消耗的計算方式以及確立儀器之間的計算基準。
2. 在相同坡度、速度條件下，了解 RT3 在野外斜坡測試之活動能量消耗測值是否能與跑步機上所測得之有一致的結果。
3. 找出以 RT3 蒐集步道能量消耗測值之最適佩帶位置，能使每趟蒐集到的樣本之間有最小的變異。
4. 探討 RT3 之能量消耗測值能否分析出上坡的能量消耗應該大於下坡。
5. 對坡率、速度、佩帶位置之改變，RT3 是否能區分出之間的差異。
6. 使用 RT3 所建立之步道能量消耗模式，能否套用到其他個體上。
7. 使用 RT3 所建立之步道能量消耗模式，能否有效應用至各森林步道上。

## 第三節 研究假設

1. RT3 儀器間活動能量消耗測值在使用者參數設定相同下必須相同。
2. RT3 在相同坡度、速度條件下，野外測試與跑步機測試結果沒有顯著差異。
3. RT3 最適佩帶位置為製造公司建議之腕部部位。
4. 步道行走活動的能量消耗，上坡大於下坡。
5. RT3 能區分速度、佩帶位置，但無法明顯區分坡率變化。
6. 不同個體進行試驗，活動能量消耗應該有異。
7. 此步道能量消耗模式能有效應用至各森林步道上。

## 第二章 文獻回顧

本章首先對能量消耗之評估方法做一回顧，尤其是對評估身體活動之能量消耗的移動感測器，第二部分，介紹本研究工具——RT3 三軸向加速規，最後，將國內外有關評估行走活動之能量消耗之相關研究做一整理。

### 第一節 能量消耗之估計方法

人體能量之消耗，係以一日之總能量消耗表示，為靜止(安靜時之新陳代謝，約佔總能量消耗之 50 至 70%)、進食與消化(食物之熱效應，約 7 至 10%)、活動時和活動後所耗能量之加總(Wolinsky and Driskell, 2008)，得出一日消耗之能量，如下式(2- 1)所示(Cutler *et al.*, 2003)：

$$K = \alpha + (\beta + E) \times Weight + 0.1K \dots \dots \dots (2- 1)$$

上式中，K 表示一日所消耗之能量； $\alpha + \beta \times Weight$  則是基礎代謝率，用以維持人體存活之能量(約佔每日能量消耗之 60%)，0.1K 是指食物之熱效應，為處理食物之一種能量需要(約佔每日能量消耗之 10%)，而 E 是表示與身體活動有關方面所耗之能量(約佔每日能量消耗之 30%)。

人體一天幾近 90%之能量消耗就由基礎代謝與身體活動所消耗掉，顯示這兩部份之能量評估特別具有研究的價值。一般來說，新陳代謝(Metabolism)是指食物中的營養物由腸胃道吸收以後，進入細胞而被用於細胞活動的全部變化；身體活動是指身體行為過程，由骨骼肌收縮運動引起，而要產生這些過程都需要能量，這才是能量的消耗(邱承美，1979；Wolinsky and Driskell, 2008)。目前用作估計人體新陳代謝率可以室內量熱計(room calorimetry)、間接量熱計(indirect calorimetry)和雙標記水測量法(doubly labeled water)最為普遍，而由於身體活動是多軸向之複

雜行為；涉及到一些日常生活中隨意發生的動作(Wolinsky and Driskell, 2008；邱承美，1979)；要能精確的估計能量消耗對研究者或是實際從事者來說是一項相當具有挑戰性的工作。為了獲得準確、可靠的能量成本以利運動員的訓練及營養計畫，在實驗室內或是野外的研究都發展出許多直接或間接式的評估技術(Wolinsky and Driskell, 2008)，有關身體活動與能量消耗的評估方法，整理如下表 2-1：

表 2-1、評估身體活動與能量消耗之方法(Wolinsky and Driskell, 2008)

	量測範圍	單位	技術/執行負擔
<b>直接測定法</b>			
觀察	身體活動	頻率、持續期間、型態	適度
室內量熱計	能量消耗	千卡(熱生成)	強烈
雙標記水測量	能量消耗	千卡(CO <sub>2</sub> 產物)	強烈
生化作用力	能量消耗	千卡(耗氧量—施力曲線)	強烈
加速規	身體活動	頻率、持續期間	適度
	能量消耗	千卡、運動強度(依耗氧量迴歸式)	適度
計步器	身體活動		低
	能量消耗		低
身體活動紀錄或日記	身體活動	頻率、持續期間、型態	強烈
	能量消耗	千卡、運動強度(概略的身體活動)	強烈
<b>間接測定法</b>			
間接量熱計	能量消耗	千卡、運動強度(CO <sub>2</sub> 產物)	強烈
生理測量(e.g. 心率)	能量消耗	千卡、運動強度(有關 VO <sub>2</sub> )	適度
身體活動調查、問卷、	身體活動	頻率、持續期間、型態	低
回憶、訪問、日誌	能量消耗	千卡、運動強度(概略的身體活動)	低
代理人記述			
(e.g. 熱量攝取)	能量消耗	千卡(假設體重穩定)	低

身體活動的直接測定法包含直接觀察，機械式或電子式的移動感應器(Motion Sensor)，以及身體活動紀錄和日記，利用這些方法來獲得詳細的資訊(有關頻率、持續期間，或是透過一段有明確觀察期的身體活動表現形式)，另一方面，身體活動的間接測定法則包含問卷、日誌，以及 24 小時的回憶(要求受訪者回憶他們在某一期間經常性的活動習慣)。間接測定法形式上比直接測定法來的不甚詳細，但在實質上卻提供較少的執行負擔及成本(Wolinsky and Driskell, 2008)。

另外，很重要的一點是身體活動與能量消耗並非同義，就運動而言，雖然上述之評估方式很多，但容易產生評估對象定義不清之情形——是評估活動還是評估能量，下圖 2-1 即是在釐清這個概念。

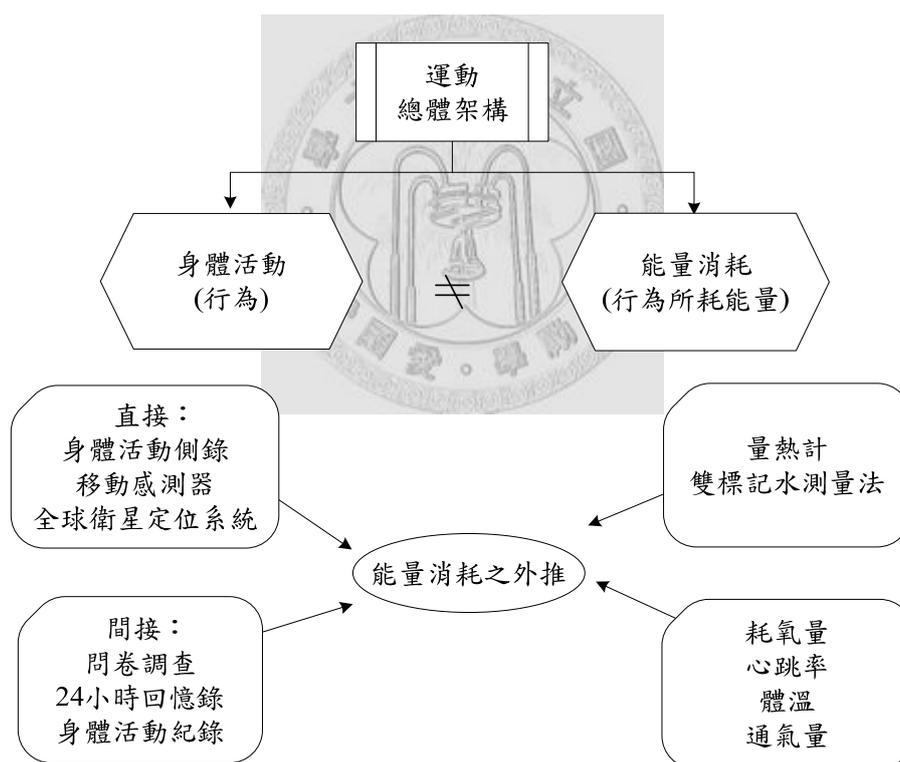


圖 2-1、身體活動與能量消耗之定義與評估概念架構圖(Wolinsky and Driskell, 2008)

從圖中可以知道，身體活動是指活動的形式，而活動的進行會發生能量的消耗，直接測定法與間接測定法又可以同時用以評估身體活動與能量消耗，再加上研究者往往最後有興趣的是能量消耗之數據資訊，所以將身體活動外推至能量消

耗的單位，但往往忽視了估計身體活動在能量平衡之潛在作用(Wolinsky and Driskell, 2008)。

整體而言，在沒有昂貴的實驗室設施下，諸如新陳代謝室(Metabolic Chambers)或是放射同位素追蹤器(Radioactive Isotope Tracers)，能量消耗之估計是很難有高精確度的；而有關身體活動之能量消耗還是可以間接地從運動場觀測生理變數或是身體活動，只是這些估計的能量消耗可能會因個人層級應用上所要求之精確度而有所限制(Wolinsky and Driskell, 2008)。

從以上可以了解，評估身體活動與能量消耗之方法雖然很多，但由於身體活動與能量消耗並非劃上等號，在進行身體活動之能量消耗評估時必須注意所使用之研究方法是直接反映能量消耗抑或是以身體活動外推至能量消耗的單位，兩者潛在的差異性必須加以探討。



## 第二節 RT3 三軸向加速規之相關研究

測量較多樣本時，比起一些操作複雜、受空間限制且價格昂貴的耗氧量測量設施，以加速規進行非實驗室性質之身體活動評估似乎顯得更具便捷性且成本負擔低；不少研究指出加速規是作為身體活動的理想測量工具，以下即就加速規之發展與能量消耗評估之適用性做一回顧。

### (一) 加速規之發展

由於身體活動常處在無拘束之生活中，隨身攜帶之機械式及電子式的感測器因而變的普遍，而各種移動感測器會隨成本、技術以及資料輸出形式而有所差異(Wolinsky and Driskell, 2008)；其中以計步器最廣為普遍，直接以步數量化行走活動，電子式的計步器也具備合理之精確度(Eston *et al.*, 1998)；然而，計步器最大之限制在於，倘若將之使用在與活動相關之能量消耗估計上，其缺乏對活動型態、強度、持續時間此等資訊之提供(Wolinsky and Driskell, 2008)。因應計步器只能初步地提供活動之總能量消耗，對於低強度、高強度，以及具有速度變化之身體活動感測細部資訊提供不足，於是發展出單軸加速規(Eston *et al.*, 1998)。加速規可供研究者了解個體在身體活動之強度、頻率、持續之時間，以及提供個體獲得身體活動數據化的資訊(Crouter *et al.*, 2006)。單軸加速規係測量垂直軸之加速度變化，容易隨著運動速度的增加，提高對跑步或階梯活動的低估以及誤差，因此，可以感測三軸變化量的儀器改善了單軸感測儀器的缺失(Jakicic *et al.*, 1999)。三軸加速規在高速度之跑步活動仍能呈現高度相關( $r = 0.96$ )，顯現了三軸加速規在水平軸向感測高速加速度之優勢(Rowlands *et al.*, 2007)。

## (二) RT3 三軸向加速規之介紹

Stayhealthy公司發展一可感測人體活動三軸變化的儀器，即RT3三軸向加速規(RT3 Tri-axial Accelerometer, 以下簡稱RT3)，其前一型為Tritrac-R3D，原創公司將此產品技術售予Stayhealthy公司後，發展出更小之三軸向加速規(Rowlands *et al.*, 2004)；RT3既小又輕便(71 × 56 × 28 mm, 65.2 g)，製造商建議佩帶位置為腕部，完整儀器包裝包括電腦的傳輸線、電腦的安裝程式，以及RT3單體與底座(Stayhealthy, 2004)，其外觀如下圖2-2。



圖 2-2、RT3 底座與單體(Stayhealthy, 2004)

RT3 係採用壓電加速器技術(piezoelectric accelerometer technology)來感測身體三軸向之變動，其輸出值包含三軸向的加速度計數值(counts)：X 軸表示上下、Y 軸表示前後、Z 軸則是左右，以及總向量計數值(vector magnitude, VM)，活動能量消耗值(Activity Calories, AC)，總能量消耗值(Total Calories, TC)，基礎代謝率(Activity metabolic rate, AMR)，並能以圖表呈現(原始輸出表詳見附錄 1)。RT3 能量消耗之單位有新陳代謝當量(MET)及千卡值(kcal)；RT3 有四種使用者參數設定：體重、身高、年齡、性別，以及四種加速度感測記錄模式，模式 1 為每秒鐘記錄一次三軸及總向量計數值，約可記錄 3 個小時；模式 2 為每秒鐘記錄一次總向量

計數值，約可記錄 9 個小時；模式 3 為每分鐘記錄一次三軸及總向量計數累計值，約可記錄 7 天；模式 4 為每分鐘記錄一次三軸及總向量計數累計值，約可記錄 21 天(Stayhealthy, 2004)，原始輸出圖如下圖 2-3 及圖 2-4。

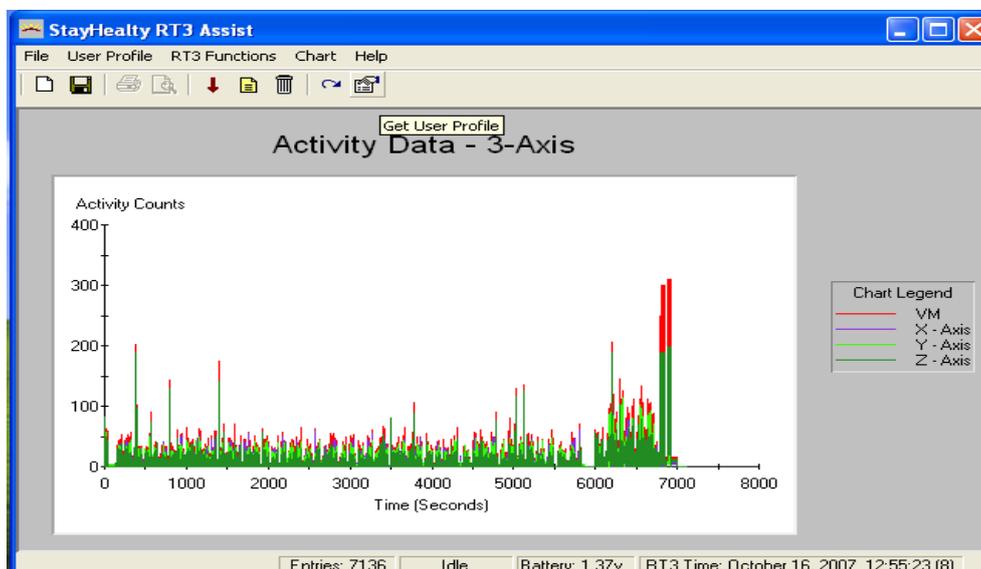


圖 2-3、活動之各軸向振動計數圖

圖2-3為活動向量記錄之形式，橫軸為時間，縱軸則為活動計數值，包含X軸、Y軸、Z軸及VM計數值。圖2-4為總能量消耗記錄之形式，同樣橫軸為時間，縱軸則為千卡值，而VM為三軸計數平方和的二次方根，即 $(X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$  (Stayhealthy, 2004)。

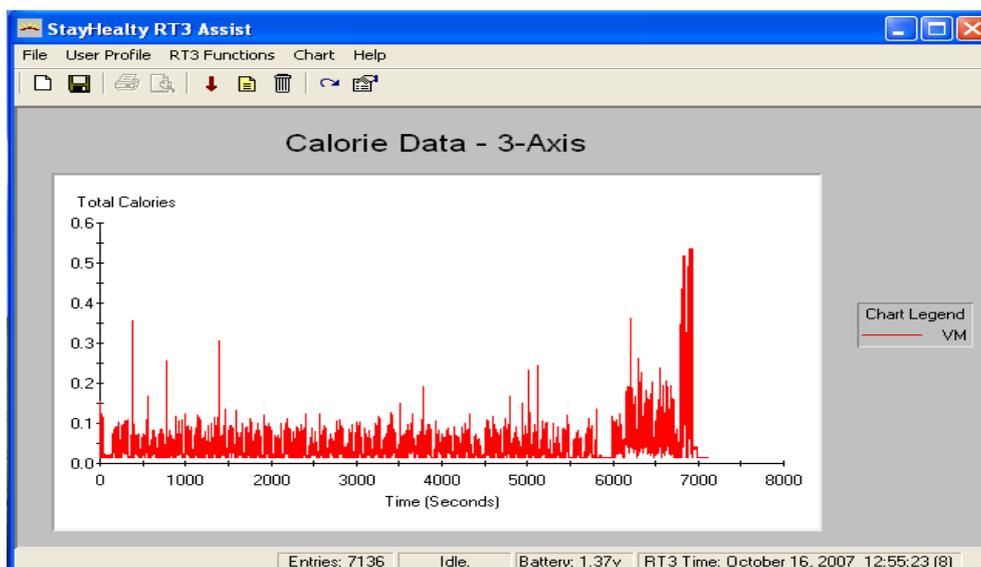


圖 2-4、活動能量消耗記錄圖

### (三) RT3 之信效度研究

早期許多研究集中於討論 Tritrac-R3D 與 RT3 之差異, DeVoe 等(2003)指出 RT3 是相對較新而且未經測試的, 其與現存設備量測身體活動的效力還需要評估, 比較兩者, RT3 紀錄值具較高之測值, 較小之標準差, 整體來說, RT3 對於活動變化的感測較為靈敏。Rowlands 等(2004)透過對 RT3 與耗氧量相關性檢測, 成功地被證實在小孩與成人身上, 以一定範圍內所進行之規律活動與不規律活動中, RT3 之能量消耗估計值與耗氧量皆為高度正相關( $r \sim 0.87$ ), 並指出 RT3 似乎能夠提供與耗氧量檢測同等具信服力的評估方式; 另外, Powell 和 Rowlands(2004)再透過六種不同活動評估八台 RT3 儀器間之變異性, 其結果亦指出 RT3 具有可靠度, 尤其是在垂直軸之變異最小, 最具可靠度。綜合上述, 對於本研究所欲進行之步道能量消耗模式的建立, RT3 係具備感測靈敏、高信效度, 並且與耗氧量有良好之正相關, 且其輕便與易操作之特質, 更適用在田野之調查當中。

### (四) RT3 之使用限制

RT3 在動態環境中適用範圍為 0.05 g 到 2 g, 對活動頻率範圍在 2 到 10 Hz 之感測力較為敏銳, RT3 之加速度資料並非直接提供給使用者, 唯一可獲得之資料是活動計數(activity count)(Powell *et al.*, 2003)。一般來說, 加速規測定值會受地心引力、外力、儀器鬆脫、上升動作, 以及無法適當地察覺靜態運動而有不同之影響, 這些影響會使 RT3 加速度計數與耗氧量呈現非線性之關係(Chu *et al.*, 2007)。Terrier 等(2001)指出, 過去三軸加速規於行走平地之能量消耗與耗氧量測試都展現了高度正相關, 然而在斜坡上所產生之位能消耗, 過去此種標準研究方法並沒有做評估。RT3 之前版 Tritrac-R3D 也沒有正確計算在垂直位移之改變量, 這還需要佐以地心引力負荷的因子來加以計算, 且此類移動感測器易於高估垂直做功較小之運動項目, 低估需要爬及彎曲膝蓋之能量消耗(Campbell *et al.*, 2002)。RT3 對於頻率較低的活動, 如長期坐著, 其變異較大(Powell and Rowlands, 2004)。

### 第三節 行走能量消耗之相關研究

關於行走能量消耗之評估，已有許多國內外學者做過這方面的實驗，所控制的變數主要從行走速度之改變、坡面斜率之不同，一直到能量消耗施測之儀器、對象的選擇，甚至步行之姿勢，都是學者在行走能量消耗評估中最常探討之變數，下文針對國內外於行走方面之相關議題做一介紹。

#### (一) 斜坡行走速度

在行走速度方面，Rees(2004)以威爾斯山區路徑總長 100 km 之數值高程資料，應用代克思托演算法(Dijkstra's algorithm)建立山區最小能量消耗之路徑模式，如下二式(2-2)、(2-3)所示 f。

$$\frac{1}{v} = a + bm + cm^2 \dots\dots\dots(2-2)$$

$$k = ad + c \frac{h^2}{d} \dots\dots\dots(2-3)$$

式(2-2)中，v 為速度(m)，m 為坡率( $\frac{dh}{dx}$ ，h 為上升之高度；x 為水平距離)，三個係數是由 Rees 對 100 公里之路徑進行適用性評估後，選定 a、b、c 各為 0.75、0.09、14.6 (sec/m)，他提出 b 值並不要求，其值為 0 亦可，坡率適用範圍在  $|m| < 0.35$ ；式(2-3)中，k 表示在兩間點之行走時間，d 表水平距離(m)、h 表上升之高度(m)，a、c 值並非一定與式(2-2)之 a、c 相同(兩式對行走成本定義不同)。

式(2-2)適用在維持同一坡率上的行走，以坡率換算出行走速度之一元二次方程式；而式(2-3)適用在兩點間具有水平分段與高程分段，以水平距離與垂直距離換算出行走時間之一元二次方程式。

式(2-2)係以最小化行走成本為目的建立出來，其計算結果與其他研究建立之 16 個係數構成的複雜方程式相似，唯有坡率範圍之限制。式(2-3)是為了改善式(2-2)坡率上的限制而生，此式計算結果，上坡與下坡之行走所需時間相同，方便後端

計算處理，並且，以分段式的距離計算，可反映出在山區陡坡路徑的行走行為是 Z 字型爬升或下降。

式(2- 2)是以坡率面來看，若走在具有相同坡率的斜坡上，則行走速度可採用此式，而式(2- 3)是以距離面來看，若有兩點間的水平、垂直距離，則可換算出行走時間，最後得到行走速度。而式(2-3)比較偏向後端處理，若有水平、垂直距離資料，則可直接進行換算，本研究基於進行不同坡率之行走運動，比較適合式(2- 2)，後續實驗以將應用此式做速度換算。

## (二) 三軸加速規於行走應用之相關研究

Terrier 等(2001)以 mIAN 三軸加速規測試三軸加速規是否可有效預測上、下坡之能量消耗，對 12 位年齡在 21 到 26 歲之受測對象於跑步機上，進行三種不同速度(偏好行走速度、 $\pm 1$  kph)、七段斜坡(-15%、-10%、-5%、0%、5%、10%、15%)，蒐集相關之 mIAN 總向量值與間接量熱計之耗氧量，結果顯示，各速度下所測得之三軸加速規總向量最小值均發生在坡率 15%處，且同一坡率中，下坡耗能均大於上坡。他們表示三軸加速規在沒有外部測量下，身體加速度之分析無法正確地預測上下坡行走之能量消耗。

DeVoe 等(2003)欲比較 RT3 和 Tritrac-R3D 之差異，以 12 位年齡在 20 到 25 歲的男性，進行跑步機上坡率 0%、5%、10%、15%、速度 4.8 kph 以及坡率 0%、速度 6.4 與 9.7 kph 之六種行走實驗。野外方面，則為坡率 0%、速度 4.8、6.4 與 9.7 kph 之三種行走實驗，蒐集心率、間接量熱計之耗氧量，以及 RT3 與 Tritrac-R3D 之總向量 VM 值。結果顯示同一速度 4.8 kph 下，RT3 之總向量 VM 值隨坡率增加而其值愈大；而坡率 0%下三種速度之結果，也呈現總向量 VM 值隨速度愈快而其值愈大之情形。野外與跑步機上之測值則為野外測值均大於跑步機測值。他們分析 5%、10%、15%的調查資料，指出耗氧量與 VM 值、心率值與 VM 值都是低度相關，也表示此兩種加速器在平地具敏感性，但對坡度改變不敏感。

Powell 與 Rowlands(2004)為評估多台 RT3 儀器間的可靠度與信效度，以一位女性施測者(年齡:24 歲)，重複進行二次的六種活動測試，其中在跑步機上的測試，係以走速 4、6 kph，跑速 8、10 kph，蒐集八台 RT3 之三軸及總向量 VM 值，分析三軸變化，結果顯示儀器間的變異係數在運動活動中(走路、跑步)小於 6%，隨著運動強度增加(2.1Hz、5.1Hz、10.2Hz)，變異會減少(C.V.=22-27%、6-9%、4-7%)，且垂直軸變異表現最小，最具可靠度，雖然變異會隨運動強度而減少，但指出在 RT3 儀器使用前還是需要加以評估。

Rowlands 等(2004)為檢測 RT3 對身體活動評估是否具信效度，以 RT3 前身版本 Tritrac-R3D 為比較基礎，對 19 位男孩(年齡:9.5 ± 0.8 歲)以及 15 位成年男子(年齡:20.7 ± 1.4 歲)進行跑步機上走或跑以及踢球、跳房子、靜坐之活動，以 Tritrac-R3D 佩帶左腕、RT3 佩帶右腕位置，蒐集心率、耗氧量以及 RT3、Tritrac-R3D 總向量 VM 值；其中，跑步機測試速度為 4、6、8、10 kph(坡率 0%)，結果顯示在男孩與成年男子身上，RT3 與耗氧量各有顯著相關( $r = 0.87, P < 0.01$ 、 $r = 0.85, P < 0.01$ )；男孩和成年男子之 RT3 總向量 VM 值均隨速度增加而其值愈大，並且男孩之 RT3 總向量 VM 值顯著地高於成年男子，成年男子有接近 400 counts/min 是較男孩低的。

King 等(2004)評估五種研究型活動感測器之效度 (CSA, TriTrac-R3D, RT3, SenseWear Armband, and the BioTrainer-Pro)，以 10 位男性(年齡:25.2 ± 4.5)以及 11 女性(年齡:25.2 ± 4.5)在跑步機上進行走速 54、80、107 m/min，以及跑速 134、161、214 m/min 的能量消耗測試，同時測量身體動作以及蒐集耗氧量，結果顯示各活動感測器在左、右腕的活動能量消耗沒有顯著差異，SenseWear Armband、TriTrac-R3D、RT3 之平均能量消耗隨著所有速度的增快均有顯著的增加( $P < 0.05$ )，整體而言，比較間接量熱計測得之總能量消耗，除了 CSA 會在速度上、下限有低估外，所有活動感測器在大部分的速度均有高估。分析總向量 VM 值的表現，男性在活動能量消耗均小於女性，總能量消耗則為男性大於女性。

傅麗蘭、陳毓君(2005)探討加速規對身體活動能量消耗評估之可行性，以 20 位 18 到 30 歲之受測對象於跑步機上進行速度 2、3、4 mph，坡率分別為 0%、3.5%、7%之九項行走測試，蒐集 RT3 每分鐘之總向量 VM 值、總能量消耗 TC 值以及間接量熱計之耗氧量，結果顯示，不同速度部分，與間接量熱計各具有顯著相關( $r \sim 0.94$ ； $r \sim 0.76$ )；不同坡率部分，TC 值與 VM 值亦分別與間接量熱計雖具有顯著差異，但其相關性均較低( $r = 0.26、0.39、0.41$ ； $r = -0.42、-0.27、-0.27$ )。兩位研究者指出由 RT3 所評估之 TC 值與 VM 值與間接量熱計之關係中，RT3 能有效分辨不同之速度，而對坡率變化則不敏感，且易高估能量消耗。

Chu 等(2007)對年齡 8 到 12 歲之中國籍小孩進行平地，速度 2、4、6、8 kph 之行走測試，蒐集了心率、耗氧量，以及每秒鐘 RT3 總向量值之資料，指出 RT3 可以分辨步行與非步行之活動，也可以分辨步行強度在低度、適度、劇烈之不同，並且，RT3 總向量 VM 值與耗氧量之測試都是隨著速度變快而增加，因此，Chu 等(2007)並依此相關性建立出下列關係式：

$$\begin{aligned} \text{Scaled VO}_2 &= 21.37 + 0.0142x \dots\dots\dots(2-4) \\ x &= \text{RT3 counts /minute} \\ r^2 &= 0.83, \text{SEE} = 11.1; P < 0.001 \end{aligned}$$

上式中的 x 為 RT3 為每分鐘總向量計數值，Scaled VO<sub>2</sub> 是調整之 75% 最大耗氧量，單位為 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。而耗氧量可與能量消耗做換算，以間接量熱計而言，使用間接量熱計進行與活動相關的能量消耗測量是假定耗氧量與物質氧化的熱量成本有其相關性，所以耗氧量本身可以用來評估能量，藉由集中人體呼出之氣體，可以得到氧氣及二氧化碳的容量，進而求出呼吸商(respiratory quotient, RQ)，RQ 是以呼吸交換率(respiratory exchange ratio, RER)求算之，係 VCO<sub>2</sub> / VO<sub>2</sub>，也就是二氧化碳生成的容量和氧氣利用之比例，根據 Weir 的方程式(2-5)，耗氧量估計能量消耗如下(彭英毅、彭清次，1982; Wolinsky and Driskell, 2008)。

$$EE \text{ (kcal/min)} = VO_2 (3.9 + 1.1 RQ) \dots \dots \dots (2- 5)$$

這產生一種比較簡單的數值，可以視為燃燒脂肪與碳水化合物之混合物一升氧，約釋放4.90 kcal之能量(Campbell *et al.*, 2002)。

從以上可以了解，縱使各種儀器使用之估算單位各自不同，窮究本源，人體在運動時，身體必須由食物供給能量，氧化體內之糖類、蛋白質和脂肪，生成二氧化碳和水，而運動強度越大，所耗的氧也越大，儀器間之能量估計值都是有相關性的，仍然可以最普遍之熱量單位一大卡(kcal)來表示能量之消耗。

### (三) 大範圍斜坡之能量消耗測試

Minetti 等(2002)以標準開路方法(the standard open-circuit method)測量休息狀態及穩定運動狀態下的行走與跑步之  $VO_2$  和  $CO_2$  輸出值； $VO_2$  在跑步機上測試，並以增加運動量之方式測量。跑步機上之坡率測量範圍係 0%、±10%、±20%、±30%、±35%、±40%、±45%，坡率 0% 在行走速度  $1.0 \pm 0.3 \text{ m/s}$  下，行走成本為  $1.64 \pm 0.50 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ，隨著正坡率增加，行走成本亦持續增加，而在下坡部分，-10% 有最小行走成本  $0.87 \pm 0.37 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ，隨著坡率變陡，所消耗之能量又將上升，而對步伐來說，山區行走路徑之最適坡率在 20% 至 30%，他們並將不同坡率與行走成本關係建立成以下之五項迴歸式，如式(2- 6)：

$$Cw_i = 280.5i^5 - 58.7i^4 - 76.8i^3 + 51.9i^2 + 19.6i + 2.5, R^2 = 0.999 \dots \dots (2- 7)$$

上式中， $Cw_i$  為行走成本，表示每公斤每公尺行走時所消耗之能量(Joule)； $i$  是坡率，代表當水平距離增加一單位，上升之高度增加  $i$  單位。

## 第四節 文獻總結

人體一天所進行之能量消耗主要分為安靜時之新陳代謝、進食與消化、活動時和活動後所耗能量之加總，其中又以基礎代謝率以及身體活動能量消耗高居 90% 之消耗量，因而大部分研究都是針對此二部分進行評估，以利飲食計畫與激發良好的運動表現；以耗氧量進行能量消耗估計的研究行之有年，這是由於人體消耗一公升的氧所需能量約為 5 大卡，所以依此關聯性，對身體活動能量消耗之測量皆依據耗氧量實驗。

從 Wolinsky and Driskell(2008)整理之圖表中，可以清楚的知道要進行身體活動的能量消耗評估常因為評估法方法可以同時量測身體活動與能量消耗，但二者定義不同，硬是要將評估到的身體活動量與能量消耗劃上等號，潛在變異量的影響是很大的，就加速規而言，也是能同時測量能量消耗以及身體活動，但從各研究欲進行評估身體活動之能量消耗時，我們可以看出，均是以間接量熱計蒐集到的耗氧量為比較基礎，加速規所測得的能量消耗少被獨立當作真實能量消耗值。

單純就加速規在身體活動的估計分析，從前人文獻中，我們還是可以認可它在評估身體活動能量消耗之信效度，但須注意加速規的變異性，如地心引力、外力、儀器鬆脫、儀器內部誤差，以及限制性，如適用範圍，以及靜態、頻率較低、垂直做功較小的運動。

關於 RT3 在行走能量消耗之評估，多數學者以各速度測得的結果皆顯示速度愈高，RT3 能量消耗值愈高，而坡率係為一不穩定變數，因此，三軸加速規在野外大坡率範圍的研究則沒有，目前僅限於 Minetti 等(2002)於跑步機上對耗氧量的蒐集。筆者發現各研究以三軸加速規進行坡率的調查數據中，RT3 並非不適用於有坡率變化之研究，只因學者都以耗氧量作為基礎比較，而身體活動與能量消耗仍須評估一些潛在變異，如地心引力之影響，因此，以三軸加速規在坡率起伏的步道上，行走能量消耗的研究仍有可行性。

## 第三章 研究方法與流程

### 第一節 研究對象

研究對象為一健康之年輕人(年齡 25 歲、身高 154 cm、體重 60 kg)完成所有實驗；而在個體差異試驗以及步道實測由三位健康年輕女性進行測試(另兩位：年齡 23 歲，身高 152 cm、160 cm，體重 45、50 kg)。受測者並無任何運動上之限制(如心血管疾病、控制成效差之高血壓、神經系統之疾病)，並有規律之運動習慣。

### 第二節 實驗時間地點與器材

一、實驗時間：2007 年八月至 2008 年五月，為期十個月。

二、實驗地點

預備實驗地點乃經研究者調查台北市、郊區，選擇具備長斜坡之硬性鋪面，如柏油路面或是水泥路面，斜率範圍於 $\pm 10\%$ 以上，每 5%或 10%為一層級，最後基於研究方便，於大安區附近進行多數試驗；野外部分則選擇南、北具代表性之國家森林遊樂區進行實驗，南區代表以藤枝國家森林遊樂區為例，位在高雄縣桃源鄉寶山村，海拔高度介於 1550 公尺至 1804 公尺之間；北區代表以太平山國家森林遊樂區為例，位在宜蘭縣大同鄉，海拔高度介於 500 公尺至 2000 公尺之間。

1. 坡率 0%實驗地點：國立台灣大學森林環境暨資源學系系館三樓走廊。
2. 坡率 10%實驗地點：台北公館河岸附近之瀝青鋪面長斜坡。
3. 坡率 20%實驗地點：台北市第二殯儀館對向之福州山登山步道。
4. 坡率 25%、40%實驗地點：台北辛亥隧道旁之福州山登山步道。
5. 坡率 2%、10%實驗地點：藤枝國家森林遊樂區樹海循環碎石步道上。
6. 坡率 20%實驗地點：藤枝國家森林遊樂區雲杉步道上(木屑泥土階)。

7. 坡率 35%實驗地點：藤枝國家森林遊樂區西施花步道上(枕木階)。
8. 跑步機實驗地點：國立台灣大學綜合體育館重量訓練室。
9. 坡率 10%：太平山國家森林遊樂區鳩之澤自然步道上(石版階)。
10. 坡率 20%：太平山國家森林遊樂區翠峰湖環山步道上(木板階)。
11. 坡率 40%：太平山國家森林遊樂區原始森林步道上(木板階)。
12. 坡率 50%：太平山莊後方長階梯上(木板階)。
13. 烏來加九寮景觀大橋周圍瀝青鋪面步道。

三、佩帶儀器：研究人員無任何重量背載，穿著運動服飾、運動鞋；僅佩帶皮帶、RT3、手錶、計時碼表，以及記錄板，如下圖所示。



圖 3-1、實驗進行之儀器佩置圖(e.g.藤枝 10%)

四、使用器材：皮帶、RT3、手錶、計時碼表、50 m 皮尺、坡度計，以及記錄板。

### 第三節 研究流程

本研究之主要實驗變數為坡率、速度、步行設施，而實驗設計主要分為三種，第一種是攜帶 RT3 行走於固定之斜坡距離 50 m，收集不同坡率之各種速度下的活動能量消耗值，另一種是驗證在跑步機上的可操作性，最後一種則是再回歸到野外實測，但前提是水平距離與行走速度固定，相關資料收集流程如圖 3-2。

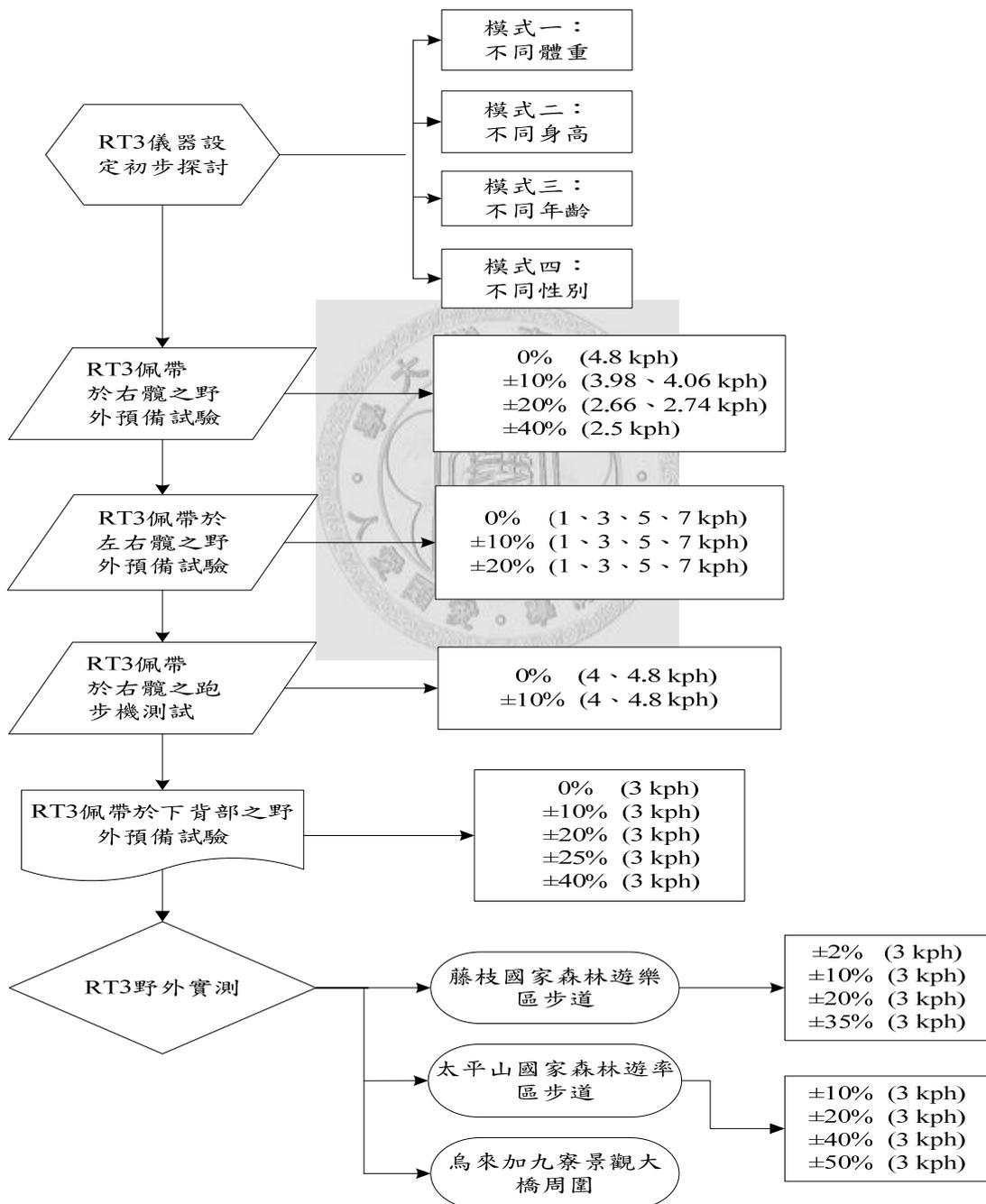


圖 3-2、RT3 資料收集流程圖

而實驗步驟主要分為五個，首先，檢視 RT3 儀器參數之初步設定與能量消耗間之關聯性；接下來是 RT3 不同佩帶位置之差異；第三是比較在跑步機上與在野外預備試驗之不同，找出適合研究之步行設施；第四是檢查個體之差異並提出解決方式。最後透過最適步道活動之 RT3 佩帶位置所建立之模式套用在不同個體及實驗場地上，並檢視模式之可行性，研究流程如下圖 3-3

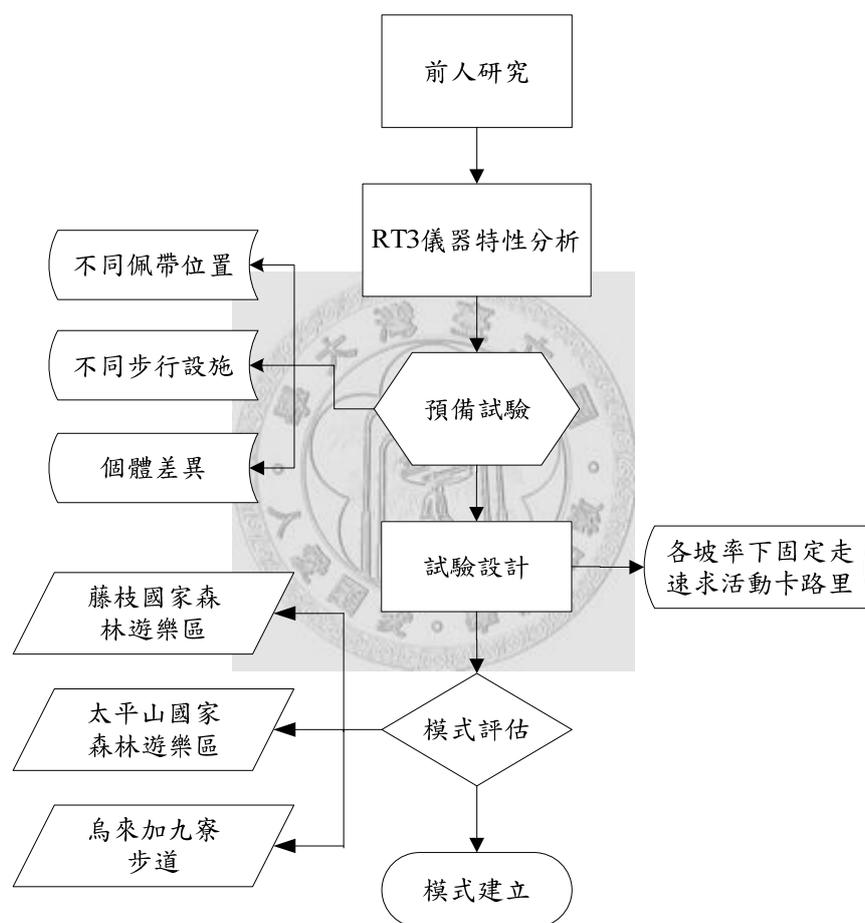


圖 3-3、研究流程圖

## 第四節 實驗方法與步驟

本研究依步行設施與佩帶位置的不同做主要區分，進而進行人體行走於各種坡率的能量消耗評估。受測者均穿著肢體易於伸展之運動服裝，並佩帶皮帶，實驗方法及步驟如下：

### (一) RT3 儀器之使用者設定初步探討

試驗方法：

以同一位受測者對自行編號為 2、3、4 號之 RT3 儀器進行測試。首先，三台之四種參數值設定各自相同，以確認儀器間在相同 XYZ 軸振動計數下有相同活動能量消耗值。

接下來，各自比對四種不同參數(體重、身高、年齡，以及性別)的不同設定；RT3 初設皆採模式一(Mode 1)，即以秒為單位，記錄每一筆之 XYZ 軸振動計數，並將儀器中的預設參數：體重、身高、年齡，以及性別做調整。待儀器設定完成後，同一受測者將之佩帶於右髖處，然後隨意行走，再擷取其中的資料做分析；相關設定如下表 3-1。

表 3-1、同一受測者，不同 RT3 使用者設定值之試驗

	RT3 編號	體重(kg)	身高(cm)	年齡(yr)	性別
設定一	2	45、55、65	—	—	—
	3	65	—	—	—
	4	65	—	—	—
設定二	2	—	150	—	—
	4	—	160	—	—
設定三	2	—	—	25	—
	4	—	—	35	—
設定四	2	—	—	—	男
	4	—	—	—	女

註：—表示兩機設定相同

設定一：不同體重(45 kg、55 kg、65 kg)。首先，對編號 2 號 RT3 之設定做三次不同體重層級的測試。固定身高、年齡，以及性別，體重則分別設為 45 kg、55 kg、65 kg。另外再以編號 4 號 RT3，單做 65 kg 之測試。

設定二：不同身高(150 cm, 160 cm)。固定編號 2 號及 4 號 RT3 之體重、年齡，以及性別設定，2 號機之身高設為 150 cm；4 號機之身高設為 160 cm。

設定三：不同年齡(25 歲及 35 歲)。固定編號 2 號及 4 號 RT3 之體重、身高，以及性別設定，2 號機之年齡設為 25 歲；4 號機之年齡設為 35 歲

設定四：不同性別(男與女)。固定編號 2 號及 4 號 RT3 之體重、身高，以及年齡設定，2 號機之性別設為男；4 號機之性別設為女。



## (二) 行走活動預備試驗(佩帶位置、步行設施、個體差異)

### 1. RT3 佩帶不同位置

#### (1) RT3 置於右腕之野外預備試驗速度設計一

試驗方法：

行走速度係根據 Rees(2004)所建立坡率換算速度之一元二次方程式，唯在公式限制範圍(坡率 35%)外，採用 Minetti 等(2002)實驗中所走的平均速度；斜坡行走距離皆為 50 m 之長斜坡，見下表 3-2。

表 3-2、RT3 佩帶於右腕之預備試驗一

坡率(%)	行走斜距(m)	Rees(kph)	坡率(%)	行走斜距(m)	Rees(kph)
0	50	4.80	-10	50	4.06
10	50	3.98	-20	50	2.74
20	50	2.66	-25	50	2.2
25	50	2.14	-40	50	2.61
40	50	2.50			

#### (2) RT3 置於左、右腕之野外預備試驗速度設計二

試驗方法：

坡率 0%、±10%、±20%之斜坡行走距離皆為 50 m，行走速度分別為 1、3、5、7 kph 之速度，如表 3-3 所示。

表 3-3、RT3 佩帶於左、右腕之預備試驗二

坡率(%)	行走斜距(m)	行走速度(kph)
0	50	1、3、5、7
±10	50	1、3、5、7
±20	50	1、3、5、7

(3) RT3 佩帶於下背部(接近第三節腰椎處)之野外預備試驗三

試驗方法：

各坡率間，其行走速度皆採為 3 kph；各坡率之斜坡行走距離以水平距離為換算基準，坡率 0%、±10%、±20%、±25%、±40%之斜坡行走距離分別為 50 m、50.25 m、25.50 m、25.77 m、26.93 m，如下表 3-4 所示。

表 3-4、RT3 佩帶於下背部之野外預備試驗三

坡率(%)	行走斜距(m)	行走速度(kph)
0	50	3
±10	50.25	3
±20	25.50	3
±25	25.77	3
±40	26.93	3

(4) 上述不同佩帶位置之試驗步驟：

- a. 實驗前，受測者了解整個實驗過程以及注意事項。
- b. 實驗器材的準備與設定。
- c. 於實驗地點以皮尺佈置直線之行走距離。
- d. 受測者繫上皮帶並將 RT3 佩帶於所欲施測處，以皮帶作固定之用。
- e. 施測開始，受測者站於起端，手持碼表、手錶，記錄板，先是紀錄此趟試驗所欲按下 RT3 之起始時間，然後站穩並按下 RT3 的開始按鈕，此時需小心地保持身體不動，僅允許手部移動，接著再按下碼表並開始行走。行走時，須注意穩定性，避免左右太大的搖晃，並盡量維持同樣的速度行進。行至終端，同時停止碼表，然後按下 RT3 之停止按鈕，並且記錄 RT3 停止時間以及碼表跑動時間。
- f. 每趟試驗時間係根據距離除以速度而得，有效資料之初步判斷，以是否走在規定時間內為辨識基準。趟與趟間之休息時間為待受測者回復平穩呼吸及心跳率。

## 2. 不同步行設施(跑步機)

試驗方法：

在跑步機上 0%、10% 的試驗，RT3 佩帶於右髖。施測的方式為設定坡率 0%，行走速度為 4、4.8 kph，行走距離 50 m，行走時間 45 secs、37.5 secs；另一種則設定坡率 10%，行走速度為 4、4.8 kph，行走距離 50.25 m，行走時間 45 secs、37.5 secs；資料筆數皆蒐集 30 筆。

試驗步驟：

- (1) 實驗前，受測者了解整個實驗過程以及注意事項。
- (2) 實驗器材的準備與設定。
- (3) 受測者繫上皮帶並將 RT3 佩帶於右髖骨處，作固定之用。
- (4) 跑步機之施測坡率、速度設定完成後，受測者依據碼表於規定之行走時間內開始及停止 RT3 的紀錄。

## 3. 個體差異試驗(RT3 佩帶於下背部)

試驗方法：

隨機挑選一坡率，對不同個體依次進行三回合之野外預備試驗，採取步距自由與限制兩方式進行。RT3 佩帶位置為下背部，受測者行走速度皆採 3 kph，水平行走距離 25 m。

試驗步驟：

- (1) 測試回合一：步驟同 RT3 佩帶於下背部之野外預備試驗三。
- (2) 測試回合二、三：實驗前，請受測者試走直到步頻與模式建立者相似，後續步驟與 RT3 佩帶於下背部之野外預備試驗三相同。

### (三) 野外步道實測

#### 1. 藤枝與太平山國家森林遊樂區

試驗方法：

藤枝國家森林遊樂區：隨機選取兩組不同坡率、相同鋪面之步道施測。

太平山國家森林遊樂區：選擇兩種於藤枝國家森林遊樂區施測過之坡率，限制其中任一坡率須為水泥鋪面，再隨機挑選兩種坡率 40% 以上之步道施測。控制行走速度在 3 kph，水平行走距離 25 m 或 50 m，RT3 佩帶位置為下背處。

試驗步驟：

- (1) 實驗前，先進行場地勘查，分析試驗地步道坡率與步道鋪面分布情形。
- (2) 藤枝係隨機選取兩組不同坡率、相同鋪面之步道施測，太平山根據藤枝施測過的兩種坡率再加上兩種坡率 40% 以上之步道施測。
- (3) 後續步驟同 RT3 佩帶於下背部(接近第三節腰椎處)之野外預備試驗三。

#### 2. 烏來加九寮景觀大橋周邊步道

試驗方法：

選取一段長約 500 m 柏油鋪面步道，且步道上下起伏變化密集，控制行走速度為 3 kph。

試驗步驟：

- (1) 實驗前，先進行場地勘查，找尋坡率起伏密集，距離 500 m 以上之柏油鋪面步道。
- (2) 分段測量坡率相似之坡率、距離。
- (3) 後續步驟同 RT3 佩帶於下背部(接近第三節腰椎處)之野外預備試驗三。

## 第五節 資料處理與分析

本研究使用 Microsoft Office Excel 整理資料，並以 SAS 9.1 版進行統計分析，採用顯著水準  $\alpha$  值 = 0.05。

### (一) 資料呈現

資料呈現方式為各坡率篩選後有效資料之平均數與標準差，包括活動能量消耗 AC 值、總向量 VM 值，以及 X、Y、Z 軸之加速度計數值。

### (二) 資料處理

以 Microsoft Office Excel 處理資料，將蒐集到之各坡率的 RT3 值，依據碼表時間有無在規定時間內作為初步的篩選(對於野外資料之蒐集，允許各坡率之斜坡行走距離等同水平距離 50 m 者，行走時間誤差在 $\pm 2$  secs 以內視為有效資料；斜坡行走距離等同水平距離 25 m 者，行走時間誤差在 $\pm 1$  sec 以內)；再淘汰剩餘之極端值，最後，以平均總向量值(VM)之 $\pm 1\sim 1.5$  個標準差為再次篩選之基準(VM 標準差小於 100 者，以 $\pm 1.5$  個標準差計)。

### (三) 資料分析

1. RT3 儀器使用者設定分析基準：擷取 RT3 原始紀錄值，四種不同設定各取二至三筆 X、Y、Z 軸計數相同者檢視差值。
2. 三因子不重複變異數分析：
  - a. 檢驗 RT3 於左、右腕之不同佩帶位置對活動能量消耗 AC 值是否有影響。
  - b. 檢驗 RT3 能否感測不同坡率下之差異。
  - c. 檢驗 RT3 對速度之變化能否有效判別。
3. 以 Scheffé 的聯合信賴區間分析，檢驗不同個體在不同試驗設計下之反應，不同試驗設計能否使個體變異縮小。
4. 以描述性統計值分析不同步行設施之間的差異。
5. 加九察係將斜率分為平地，上、下坡，以實測距離換算水平距離代入模式。

## 第四章 研究結果

### 第一節 RT3 參數設定與活動能量消耗計算之關聯性

下表 4- 1 乃擷取自編號 2 號、3 號與 4 號 RT3 之同一位研究對象之原始紀錄測試值，資料顯示當儀器之間發生 X、Y、Z 軸計數(12, 10, 5)、(12, 10, 11)、(12, 10, 16)兩兩相同時，活動能量消耗皆相同，分別為 0.0387、0.046、0.0532。

表 4- 1、兩台使用者設定完成相同之 RT3 儀器之原始紀錄值

RT3 編號	X	Y	Z	AC	AC 差值
No.2	12	10	5	0.0387	-
No.3	12	10	5	0.0387	0
No.4	12	10	5	0.0387	0
No.2	12	10	11	0.046	-
No.3	12	10	11	0.046	0
No.4	12	10	11	0.046	0
No.2	12	10	16	0.0532	-
No.3	12	10	16	0.0532	0
No.4	12	10	16	0.0532	0

在比較體重參數部分，各儀器取樣三筆 X、Y、Z 軸計數各自相同者做檢視(7, 0, 0、0, 3, 0、12, 8,0)，其所對應之活動能量消耗 AC 值各有不同，而層級間差值相同，如表 4- 2 所示。

表 4-2、RT3 於不同體重設定(45 kg, 55 kg, 65 kg)之原始紀錄

體重(kg)	X	Y	Z	VM	AC	AC 差值
45	7	0	0	7	0.0117	-
55	7	0	0	7	0.0143	0.0026
65	7	0	0	7	0.0169	0.0026
45	0	3	0	3	0.005	-
55	0	3	0	3	0.0061	0.0011
65	0	3	0	3	0.0072	0.0011
45	12	8	0	14.42	0.0234	-
55	12	8	0	14.42	0.0286	0.0052
65	12	8	0	14.42	0.0339	0.0053

X、Y、Z 軸計數(7, 0, 0)中，體重 45、55 kg 與 55、65 kg 各自的 AC 差值均為 0.0026；X、Y、Z 軸計數(0, 3, 0)中，體重 45、55 kg 與 55、65 kg 各自的 AC 差值也都是 0.0011；而(12, 8,0)中，兩層之 AC 差值為 0.0052、0.0053，顯示各體重層級在相同組距(10 kg)下，當 X、Y、Z 軸計數相同，其 AC 差值會相同。

另外，對於不同身高的設定，擷取兩台 RT3 之 X、Y、Z 軸計數(6, 0, 7)、(4, 3, 0)、(3, 5,5)共同者，其活動能量消耗 AC 值亦幾近相同，差值亦近乎 0，如表 4-3。

表 4-3、RT3 於不同身高設定(150 cm, 160 cm)之原始紀錄

身高(cm)	X	Y	Z	AC	差值
150	6	0	7	0.0015	-
160	6	0	7	0.00151	~0
150	4	3	0	0.0083	-
160	4	3	0	0.0084	~0
150	3	3	5	0.0117	-
160	3	3	5	0.0117	0

不同身高設定之結果同樣發生在不同年齡、性別的設定上，下表 4-4 中，年齡無論是設 25 歲或是 35 歲，在有相同之 X、Y、Z 軸計數(17, 7, 0)或(21, 5, 0)下，也都呈現其活動能量消耗 AC 值相同。

表 4-4、RT3 於不同年齡(25 及 35 歲)、不同性別設定之原始紀錄

參數	設定值	X	Y	Z	AC	差值
年齡(歲)	25 或 35	17	7	0	0.0301	0
	25 或 35	21	5	0	0.0368	0
性別	男或女	4	5	3	0.0117	0
	男或女	3	7	0	0.0134	0

因此，從以上四個參數的不同設定檢測中，除了體重設定的不同會影響活動能量消耗值外，其餘參數設定不同，對 AC 值沒有影響；另一方面，設定這四項使用者參數係用作計算基礎代謝率(AMR)之用，體重、身高、年齡、性別不同，AMR 各有不同(見附錄 5)。

而以 SAS 多元迴歸分析附錄 5 之男、女各 260 筆 AMR 資料，能求得 RT3 之安靜時的代謝能量算式，再透過分析大量 RT3 原始記錄資料後，亦發現 VM 值與 X、Y、Z 值，VM 值與 AC 值，AC 值與 TC 值，能以下列關係式表示。

$$VM = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \dots\dots\dots(4- 1)$$

$$VM = 447.75AC + 0.0039, R^2 = 0.9999 \dots\dots\dots(4- 2)$$

VM：總向量值，單位：counts·sec<sup>-1</sup>

AMR：

$$\text{男性：AMR} = 0.00065035 + (0.00016687 \times wt) - (0.00008487 \times ht) + (0.00006681 \times age), R^2 = 0.9990 \dots\dots\dots(4- 3)$$

$$\text{女性：AMR} = 0.00831 + (0.00012144 \times wt) - (0.00005898 \times ht) + (0.00002319 \times age), R^2 = 0.9982 \dots\dots\dots(4- 4)$$

$$TC = AC + AMR \times t \dots\dots\dots(4- 5)$$

TC: Total Calories 總能量消耗，單位：kcal·kg<sup>-1</sup>

AC：Activity Calories 活動能量消耗，單位：kcal·kg<sup>-1</sup>

AMR： Active Metabolic Rate 基礎代謝率，單位：kcal·kg<sup>-1</sup>·sec<sup>-1</sup>

t：time 歷經時間，單位：second

## 第二節 RT3 於不同佩帶位置之試驗結果

### (一)左、右腕不同速度下之野外預備試驗結果

#### 1. RT3 置於右腕之野外預備試驗速度設計一 (套用 Rees 坡率換算之速度)

RT3 置於右腕處，以不同行走速度之活動能量消耗分布，如下表 4- 5 所示，同一坡率層級中(±10%、±20%、±40%)，上坡所消耗之能量是低於下坡所消耗的，最小 AC 平均值發生在坡率 20%處。

表 4- 5、RT3 佩帶右腕位置進行各坡率斜坡行走距離 50 m，採 Rees 速度之 AC 平均值 ± 標準差

坡率(%)	AC	速度(kph)	坡率(%)	AC	速度(kph)
0	2.12 ± 0.12	4.80	0	2.12 ± 0.12	4.80
10	1.92 ± 0.08	3.98	- 10	2.37 ± 0.11	4.06
20	1.65 ± 0.06	2.66	- 20	2.16 ± 0.12	2.74
40	2.80 ± 0.36	2.50	- 40	2.63 ± 0.15	2.61

註：AC 單位：kcal/45 kg/50 m 斜坡距離，n 皆為 10

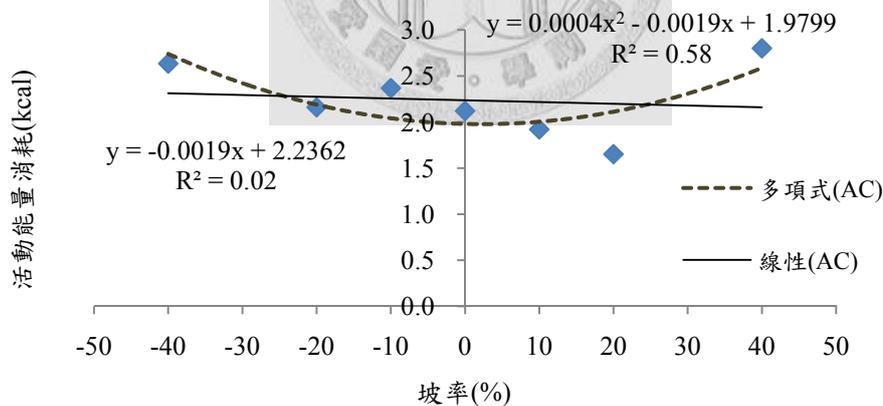


圖 4- 1、RT3 置於右腕處，Rees 行走速度下之線性與二項式迴歸式

圖 4- 1 係全部坡率之 AC 平均值之線性迴歸式以及二項式迴歸式，判定係數  $R^2$  分別為 0.02 及 0.58，顯示線性迴歸之解釋能力較差，而隨著多項式迴歸冪次之增加， $R^2$  會隨著提高；因此，需要較複雜之模式來呈現，否則以線性迴歸式推估並不適用。

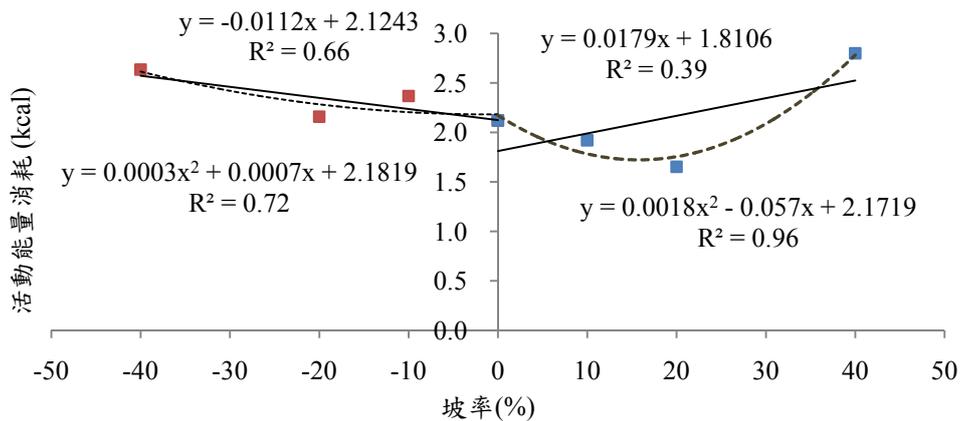


圖 4-2、上下坡個別之坡率與活動能量消耗之線性迴歸式與二項式迴歸式

圖 4-2 中，若以上坡 0%至 40%、下坡 0%至-40%來看，線性迴歸式之判定係數  $R^2$  均較坡率-40%至 40%高，此情形同樣發生在冪次較高之多項式中；顯示上坡與下坡之模式分開來建立會有較佳之解釋力。根據 Rees(2004)所建立之坡率換算速度方程式下之 RT3 斜坡行走，在上坡  $R^2$  可達 0.96，下坡  $R^2$  則為 0.72。

## 2. RT3 置於左、右腕之野外預備試驗速度設計二

### (1) 左腕野外預備試驗—設計速度(1、3、5、7 kph)

上坡坡率 0、10、20%部分，行走速度在 1、5、7 kph 時，AC 平均值隨著坡率漸陡而增加其卡路里值；在 7 kph 時，最小值則發生在坡率 20%。另一方面，在坡率 0%、-10%與-20%部分，行走速度 1、3、5、7 kph 下，AC 平均值皆隨坡率愈陡而增加，如下表 4-6 所示。

表 4-6、RT3 佩帶左腕位置行走於各坡率斜坡距離 50 m、速度不等之 AC 平均值 ± 標準差

AC 時速 \ 坡率	-20%	-10%	0%	10%	20%	R <sup>2</sup>
1	n = 10 4.63 ± 1.64	n = 12 2.05 ± 0.24	n = 11 1.00 ± 0.11	n = 12 1.96 ± 0.25	n = 9 1.99 ± 0.50	0.90
3	n = 11 3.49 ± 0.25	n = 10 2.76 ± 0.22	n = 6 1.92 ± 0.05	n = 8 2.20 ± 0.22	n = 12 2.84 ± 0.85	0.95
5	n = 9 5.97 ± 0.45	n = 12 2.54 ± 0.16	n = 9 2.46 ± 0.17	n = 11 2.49 ± 0.15	n = 12 3.08 ± 0.23	0.89
7	n = 12 3.22 ± 0.23	n = 11 3.13 ± 0.17	n = 8 2.77 ± 0.27	n = 14 2.72 ± 0.21	n = 8 2.25 ± 0.20	0.95

註：AC 單位：kcal/45 kg/50 m 斜坡距離

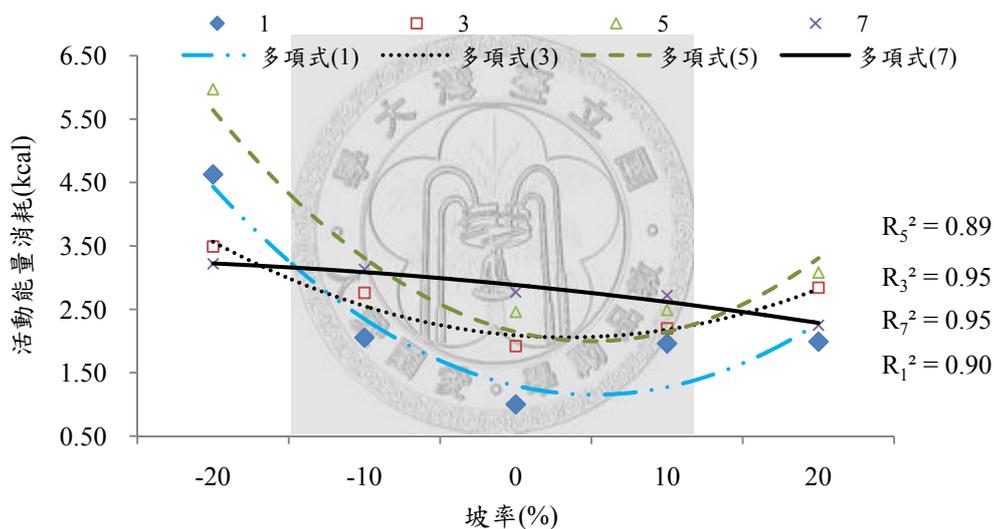


圖 4-3、左腕位置各速度之坡率與活動能量消耗之二項式迴歸

上圖 4-3 表示左腕位置、不同速度 1、3、5、7 kph 下，坡率與活動能量消耗 AC 值消耗之二項式迴歸，結果顯示最佳 R<sup>2</sup> 為速度 3、7 kph 下之分布情形，R<sup>2</sup> 達 0.95，不同的是，速度 3 kph，坡率 0%、10%與 20%下之 AC 平均值係隨坡率愈陡，其值增加，而於 7 kph 時，則是隨坡率愈陡，其值減少。

(2) 右腕野外預備試驗—設計速度(1、3、5、7 kph)

在右腕之測試結果中(下表 4- 7)，以坡率 0、10、20%之 AC 平均值來看，當速度為 1 kph，最小值 0.72 kcal 發生在坡率 0%；在 3 kph 時，最小值 1.70 kcal 出現在坡率 10%；在 5 kph 時，最小值 2.12 kcal 出現在坡率 10%；速度 7 kph 時，最小值 2.12 kcal 出現在坡率 20%。

坡率 0、10、20%部分，速度 1 kph 之 AC 平均值係隨坡率愈陡，其值持續增加；而速度在 3、5 kph，最小值都在坡率 10%，與坡率無穩定的線性關係。而在速度 7 kph 時，AC 平均值係隨坡率上升而減少。在速度相等的前提之下，整體而言，AC 在各坡率的測值並無表現出絕對的線性方向。

在下坡坡率 0、-10、-20%部分，除了速度 1 kph，AC 最小值 1.51 kcal 發生在坡率 0%上，速度 5、7 kph AC 最小值 2.50、2.66 kcal 皆在坡率-10%上。速度 3 kph 之 AC 平均值並無明顯地隨坡率之增陡而變動之趨勢，其坡率-10%之 AC 平均值為 3.00 kcal，坡率-20%時則是 2.87 kcal。若以負坡率-10、-20%來看，整體而言，則有 AC 隨坡率之增陡而向上攀升之趨勢。

表 4- 7、RT3 佩帶右腕位置行走於各坡率斜坡距離 50 m、速度不等之 AC 平均值 ± 標準差

AC 平均值 時速	坡率	-20%	-10%	0%	10%	20%	R <sup>2</sup>
1		n = 6 4.02 ± 1.09	n = 10 2.06 ± 0.17	n = 9 0.72 ± 0.07	n = 12 1.51 ± 0.15	n = 7 1.66 ± 0.16	0.93
3		n = 8 2.94 ± 0.16	n = 10 3.00 ± 0.22	n = 10 2.02 ± 0.14	n = 10 1.70 ± 0.08	n = 11 2.24 ± 0.34	0.70
5		n = 10 6.28 ± 0.75	n = 10 2.50 ± 0.20	n = 8 2.60 ± 0.28	n = 15 2.12 ± 0.12	n = 10 3.66 ± 0.22	0.91
7		n = 11 2.99 ± 0.16	n = 13 2.66 ± 0.12	n = 9 2.82 ± 0.19	n = 10 2.43 ± 0.17	n = 10 2.12 ± 0.16	0.88

註：AC 單位：kcal/45 kg/50 m 斜坡距離

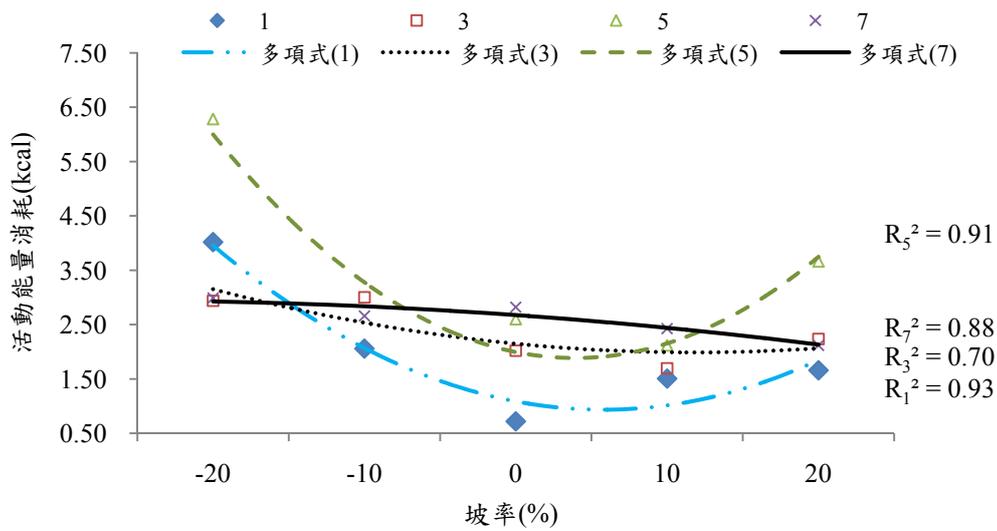


圖 4-4、右腕位置各速度之坡率與活動能量消耗之二項式迴歸

由圖 4-4 可知，右腕位置各速度之坡率與活動能量消耗 AC 值消耗二項式迴歸中，最佳  $R^2$  出現在速度 1 kph 之 AC 平均值， $R^2$  達 0.93，其次為速度 5 kph，皆隨坡率愈陡，其值增加之情形，而速度 3 kph 對 AC 值預測與坡率大小沒有穩定之上升或下降關係， $R^2$  值為 0.70。速度 7 kph 之  $R^2$  值為 0.88，隨坡率 0%、10%、20% 之增加，其 AC 值減少。

### (3) 左、右腕合適度比較

以三因子不重複變異數分析，檢定 RT3 於不同佩帶位置、不同速度與不同坡率設計，對活動能量消耗 AC 值有無影響。其中，不同佩帶位置有左、右腕兩個水準；各速度採 1、3、5、7 kph 四個水準；坡率則為 0%、10%、20%、-10%、-20% 五個水準，資料來源均依照表 4-6、表 4-7 之各樣本，樣本總數 402 筆。

表 4-8、「左右腕」、「各坡率」、「各速度」三因子變異數分析表

因變數：AC					
變異來源	自由度	平方和	均方和	F 值	Pr > F
腕部	1	2.796061	2.796061	17.31	<.0001
坡率	4	225.2641	56.31603	348.55	<.0001
速度	3	76.2346	25.41153	157.28	<.0001
腕部×坡率	4	2.188432	0.547108	3.39	0.0098
腕部×速度	3	3.09817	1.032723	6.39	0.0003
坡率×速度	12	126.4158	10.53465	65.2	<.0001
腕部×坡率×速度	12	5.620166	0.468347	2.9	0.0008

上表 4-8 之三因子變異數分析結果顯示，主效用腕部之 F 值 = 17.31，P 值 <0.0001，這表示左、右腕部對 AC 值存在顯著性的差異；RT3 佩帶位置不同，活動能量消耗則不同。主效用坡率之 F 值 = 348.55，P 值 <0.0001，這表示不同坡率對 AC 值存在顯著性的差異；行走於不同坡率，活動能量消耗有顯著之差異。主效用速度之 F 值 = 157.28，P 值 <0.0001，這表示不同速度會顯著影響 AC 消耗值；根據行走速度之不同，活動能量消耗明顯有所差異。而各因子間皆存在著交互作用，顯示因子與因子間會互相影響。

表 4-9、左艙之各速度下，AC 平均值與坡率之判定係數  $R^2$

時速	R <sup>2</sup> / 坡率	坡率		
		-20~20%	0~20%	-20~0%
1		0.90	0.77	0.94
3 <sup>+</sup>		0.95	0.95	1.00
5		0.89	0.79	0.77
7		0.95	0.82	0.89

註：<sup>+</sup> 最佳模式

由於將坡率分成三部分來分析各速度層級之迴歸模式，會有較詳細之解釋力，因此，以全部坡率-20~20%二項式迴歸式，上坡坡率 0 ~ 20%、下坡坡率-20 ~ 0% 線性迴歸式分析在相同速度下，自變數(坡率)範圍落在此三類坡率時，對因變數 AC 平均值(表 4- 6 中)建立之判定係數  $R^2$  值。表 4- 9 中，當速度為 3 kph 時， $R^2$  以全坡率或上、下坡來看，模式與資料之佩適程度則相當良好；另外，各速度在下坡線性迴歸模式之  $R^2$  值大致高於上坡者。

表 4-10、右艙之各速度下，AC 平均值與坡率之判定係數  $R^2$

時速	R <sup>2</sup> / 坡率	坡率		
		-20~20%	0~20%	-20~0%
1 <sup>+</sup>		0.93	0.87	0.99
3		0.70	0.16	0.70
5		0.91	0.45	0.73
7		0.88	1.00	0.26

註：<sup>+</sup> 最佳模式

上表 4- 10 係以全部坡率-20~20%二項式迴歸式，上坡坡率 0 至 20%、下坡坡率-20~0%線性迴歸式分析在相同速度下，自變數(坡率)範圍落在坡率-20~20%、0~20%，或是-20~0%此三層當中，對因變數 AC 平均值(表 4- 7) 建立之判定係數  $R^2$  值。在速度 1 kph，坡率範圍-20~0%中， $R^2$  值高達 0.99，而全坡率之  $R^2$  值也有 0.93；速度 7 kph、坡率 0~20%之  $R^2$  值為高達 1 之完全負相關；其餘則較不穩定。

## (二)RT3 佩帶於下背部實測結果

### 1. 下背部活動能量消耗模式

分析 RT3 佩帶於下背部之資料，在坡率 0%，可以得到 AC 平均值 ± 標準差為  $1.75 \pm 0.10$  kcal。上坡部分，坡率 10%、20%、25%、40%之活動能量消耗平均值±標準差分別為  $1.98 \pm 0.12$ 、 $1.12 \pm 0.08$ 、 $2.50 \pm 0.28$ 、 $1.57 \pm 0.16$  kcal。下坡部分，坡率- 10%、- 20%、- 25%、- 40%之活動能量消耗平均數 ± 標準差為  $2.28 \pm 0.13$ 、 $2.96 \pm 0.13$ 、 $3.36 \pm 0.08$ 、 $2.66 \pm 0.21$  kcal，如表 4- 11 所示。

表 4- 11、RT3 佩帶於下背部行走於各坡率所消耗之活動能量消耗 AC 值

坡率(%)	距離(m)	AC	樣本數	坡率(%)	距離(m)	AC	樣本數
0	50	$1.75 \pm 0.10$	10	0	50	$1.75 \pm 0.10$	10
10	50.25	$1.98 \pm 0.12$	10	- 10	50.25	$2.28 \pm 0.13$	13
20	25.50	$1.12 \pm 0.08$	10	- 20	51.00	$2.96 \pm 0.13$	10
25	51.54	$2.50 \pm 0.28$	10	- 25	51.54	$3.36 \pm 0.08$	10
40	26.93	$1.57 \pm 0.09$	11	- 40	26.93	$2.66 \pm 0.21$	10

註：速度均為 3 kph

根據熱量消耗會隨距離增加而成等比例放大，將水平距離 25 m 者，調整成 50 m 做對照。表 4- 12 可以看出各 AC 值會隨坡率變大而增加，而且每種坡率在上下坡之能量消耗表現，均呈現穩定上升；坡率愈陡，步距有變小之趨勢，但仍維持在  $0.52 \pm 0.03$  m，而步頻亦然，但也控制在  $1.62 \pm 0.09$  Hz 之中。

表 4- 12、RT3 佩帶於下背部之活動能量消耗(調整為 50 m)

坡率(%)	距離(m)	AC	步距(m)	步頻(Hz)	坡率(%)	距離(m)	AC	步距(m)	步頻(Hz)
0	50	1.75	0.56	1.50					
10	50.25	1.98	0.56	1.49	- 10	50.25	2.28	0.52	1.61
20	50.99	2.24	0.51	1.63	- 20	50.99	2.96	0.49	1.70
25	51.54	2.50	0.54	1.55	- 25	51.54	3.36	0.51	1.65
40	53.85	3.14	0.50	1.67	- 40	53.85	5.32	0.47	1.76

註：AC 單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離、速度均為 3 kph

以調整後水平距離 50 m 之活動能量消耗，建立坡率與活動能量消耗之線性迴歸關係式，得出上坡  $y = 0.0349x + 1.6589$ ,  $R^2 = 0.9731$ 、下坡  $y = -0.0881x + 1.4597$ ,  $R^2 = 0.9519$ ，已有相當良好之相關性，再以二項式迴歸做調整，能更明確預估 AC 值，故以此作為步道活動能量消耗 AC 值消耗之代表方程式，下列二式(4-4)即為上坡活動能量消耗二項式迴歸式，式(4-5)為下坡活動能量消耗二項式迴歸式：

上坡： $y = 0.0004x^2 + 0.0181x + 1.7495$ ,  $R^2 = 0.9975$ .....(4- 6)

下坡： $y = 0.0015x^2 - 0.0287x + 1.7803$ ,  $R^2 = 0.9987$ .....(4- 7)

y 值係指活動能量消耗，單位為 kcal/60 kg/50 m 水平距離

x 值係指坡率，單位為百分比。

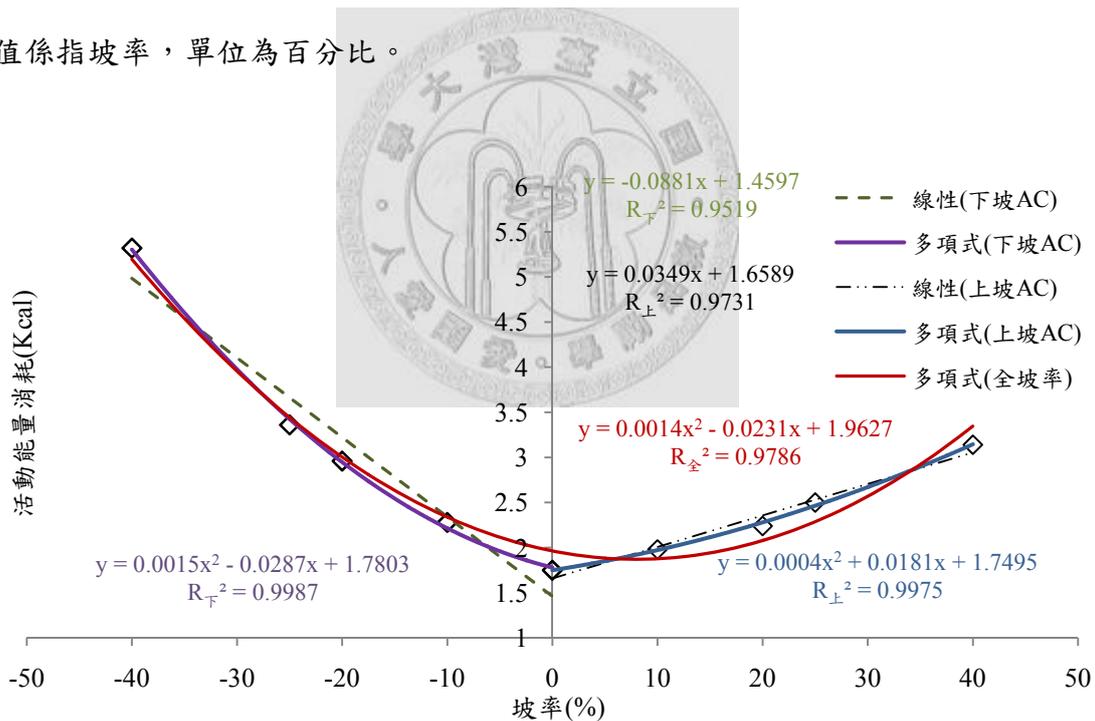


圖 4-5、下背部 RT3 之上下坡率與活動能量消耗之線性及二項式迴歸式

上圖 4-5 中，全坡率-40 至 40%之二項式模式解釋力  $R^2$  達 0.98，上坡、下坡坡率與活動能量消耗之線性迴歸式之 R-square 值各為 0.97 與 0.95；上、下坡二項式迴歸式之 R-square 值皆高達 0.99，皆呈現高度相關，顯示此兩種模式具有高度解釋能力。

## 2. 步道能量消耗模式(引入位能)

以力學為基礎，將 RT3 之總能量消耗 TC 值引入位能，可求得上下坡總功(總消耗能量)，以下式(4-6)、(4-7)做說明：

$$\text{上坡所做的總功(kcal}\cdot\text{m)} = \text{TC} + 0.00418\cdot\text{mgh}\dots\dots\dots(4-8)$$

$$\text{下坡所做的總功(kcal}\cdot\text{m)} = \text{TC} - 0.00418\cdot\text{mgh}\dots\dots\dots(4-9)$$

m：質量(kg)

g：重力加速度 9.8 m/s<sup>2</sup>

h：上升高度(m)

下坡由於受地球引力水平方向分力為 0 之故，所以在下坡有正功  $W = mgh$  給予物體自然向下之力量(林清涼，戴念祖，2004)。因此，本研究中，步道下坡能量消耗應以「RT3 所測得之總能量消耗值」減去下坡所給予之「正功」；而在上坡耗能部份，則因位能成為人體所需承受之負功，因此能量消耗是加上「負功」。以此二式作為修正 RT3 下背部活動能量消耗，可得總能量消耗結果，如下表 4-13：

表 4-13、TC 加上位能與摩擦力後之 RT3 總消耗能量

坡率	AC	AMR*秒數	TC	位能	RT3 總功	Minetti <i>et al.</i> (2002)
0	1.75	1.06	2.81	0	2.81	1.79
10	1.98	1.07	3.62	0.7	3.75	3.53
20	2.24	1.08	4.22	1.41	4.73	5.77
25	2.5	1.09	4.39	1.76	5.35	7.02
40	3.14	1.14	5.28	2.82	7.10	11.67
-10	2.28	1.07	3.35	-0.7	2.65	0.81
-20	2.96	1.08	3.98	-1.41	2.63	0.80
-25	3.36	1.09	4.31	-1.76	2.69	1.14
-40	5.32	1.14	5.00	-2.82	3.64	2.71

註：能量單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離，總功：TC+位能

演算過程：

$$TC = AMR \times t + AC = 0.0177 \times \text{秒數} + AC$$

$$mgh = (\text{體重 } 60 \text{ kg}) \times 9.8 \times h$$

$$\text{總功(kcal}\cdot\text{m)} = TC \pm 0.00418 \cdot mgh$$

RT3 在野外預備試驗所測得之能量消耗模式是以人體單純的身體活動量來看，若要與耗氧量的測試做比較，則需要加入位能計算。以下圖 4-6 與 Minetti 等(2002) 在上下坡行走斜坡能量消耗做一對照，兩者最小值均發生在-10%處，在坡率 10% 以下 RT3 總能量高於 Minetti 的，而在坡率 10% 以上，RT3 上升較為平緩；兩模式之皮爾森相關係數趨近 1，顯示 RT3 總活動能量消耗 TC 值在加入位能，能更有效的表示真實能量之消耗量。

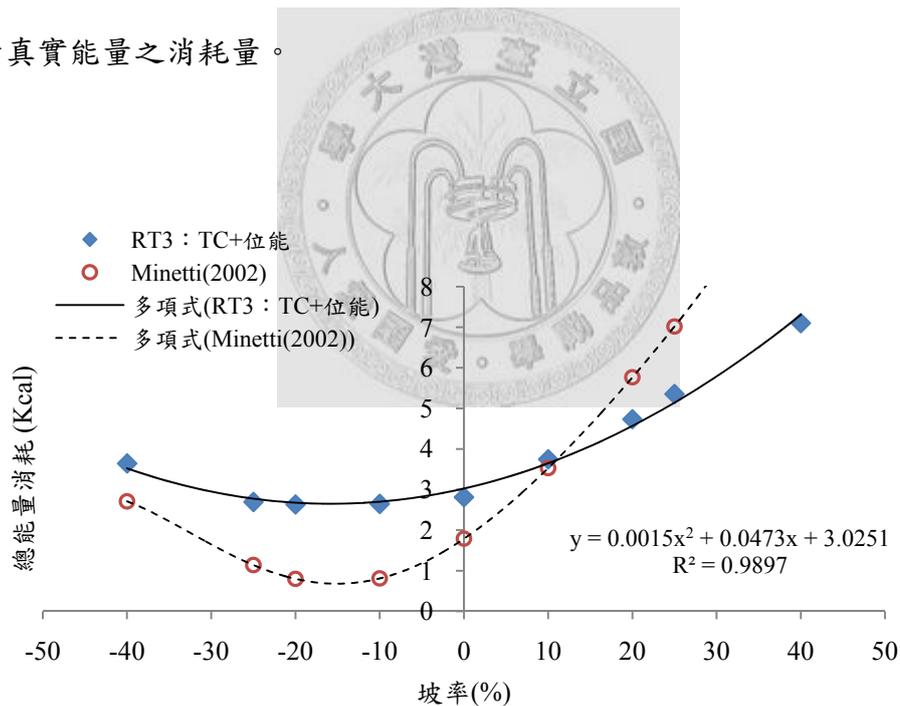


圖 4-6、RT3 與 Minetti 等(2002)總能量消耗圖

### 第三節 RT3 於不同設施之試驗結果

#### (一) 跑步機之不同坡率比較結果

在跑步機上之測試，RT3 佩帶位置為右腕，以水平距離 50 m、速度 4 或是 4.8 kph 行走於坡率 0 及 10% 之試驗。下表 4-14 為兩坡率 0% 及 10%，行走速度皆為速度 4.8 kph 之設計。三軸(XYZ 軸)、VM，或是 AC，隨坡率上升皆呈減少。

表 4-14、RT3 於跑步機測試 0%、10%，行走速度 4.8 kph 之 AC 平均值 ± 標準差

坡率	X	Y	Z	VM	AC	n
0%	527 ± 70	692 ± 44	493 ± 49	1165 ± 67	2.60 ± 0.15	30
10%	504 ± 48	495 ± 53	434 ± 36	986 ± 59	2.20 ± 0.13	30

註：AC 單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離

下表 4-15 之結果顯示在速度 4 kph 之下，隨著坡率的上升，僅於 Z 軸有增加，其餘之 X、Y 軸，VM，或是 AC 皆呈減少。

表 4-15、RT3 於跑步機測試 0%、10%，行走速度 4 kph 之 AC 平均值 ± 標準差

坡率	X	Y	Z	VM	AC	n
0%	581 ± 67	654 ± 65	398 ± 48	1131 ± 46	2.52 ± 0.10	32
10%	500 ± 53	479 ± 50	465 ± 52	997 ± 67	2.23 ± 0.15	30

註：AC 單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離

速度 4.8 kph 下，在坡率 10% 所消耗之 AC 平均值 2.20 kcal 小於坡率 0% 之 2.60 kcal；速度 4 kph 下，在坡率 10% 所消耗之 AC 平均值 2.23 kcal 亦小於坡率 0% 之 2.52 kcal。於跑步機之測試中，無論是以哪種速度測試坡率 0、10% 之能量消耗，都顯示 RT3 上坡 10% 所消耗之 AC 值皆較坡率 0% 的低，推測 RT3 於跑步機上之試驗所估測之能量消耗會隨坡率上升而減少。

## (二)不同步行設施比較之結果（跑步機、野外）

下表 4- 16 中，為坡率 10%、速度 4.8 kph 之不同步行設施測試結果。結果顯示，野外預備試驗值大於跑步機試驗值；AC 平均值±標準差於野外與跑步機上分別是  $2.94 \pm 0.51$  kcal 與  $2.20 \pm 0.13$  kcal；檢視三軸振動計數，野外 XYZ 軸的情形皆較跑步機劇烈。

表 4- 16、RT3 野外與跑步機—10%，行走速度 4.8 kph 之 AC 平均值 ± 標準差

步行設施	X	Y	Z	VM	AC	n
野外	$653 \pm 118$	$630 \pm 176$	$622 \pm 126$	$1315 \pm 228$	$2.94 \pm 0.51$	10
跑步機	$504 \pm 48$	$495 \pm 53$	$434 \pm 36$	$986 \pm 59$	$2.20 \pm 0.13$	30

註：AC 單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離，\*以 60 kg 初設值之再測量

下表 4- 17 為加入另一台跑步機之測試，坡率 10%、速度 4 kph，試驗距離為水平距離 50 m。野外 AC 平均值為校正後之 2.57 kcal(以 Rees 速度之試驗值 1.92 kcal 加乘)，2 台跑步機上之 AC 平均值±標準差分別是  $2.23 \pm 0.15$  kcal 與  $2.30 \pm 0.26$  kcal，皆是野外預備試驗值大於跑步機試驗值。

表 4- 17、RT3 野外與跑步機—坡率 10%，行走速度 4 kph 之 AC 平均值 ± 標準差

步行設施	X	Y	Z	VM	AC	n
野外	$512 \pm 51$	$653 \pm 85$	$490 \pm 72$	$1147 \pm 47$	2.57	10
跑步機	$500 \pm 53$	$479 \pm 50$	$465 \pm 52$	$997 \pm 67$	$2.23 \pm 0.15$	30
跑步機*	$518 \pm 63$	$419 \pm 75$	$512 \pm 103$	$1029 \pm 117$	$2.30 \pm 0.26$	15

註：AC 單位：kcal/60 kg/50 m 水平距離，\*為另外加入當做比較之跑步機

綜合以上，同速度下，跑步機 AC 值皆是坡率 0%大於坡率 10%，愈陡耗能愈小。另外，同坡率同速度下，跑步機上施測的 AC 值均較野外預備試驗的小。

## 第四節 RT3 於不同個體之試驗結果

經由各種預備試驗之結果，得到 RT3 在野外以及佩帶於下背部之施測結果最適合作為步道能量消耗預測之用，因此，對於其他個體如何能重複相似之結果，以驗證本研究為真，還有加快本研究其他資料之蒐集，著實需要找出個方法。下表 4- 18 即為不同個體在坡率 25%經三次步距調整，與模式建立者(視為基準)之 Scheffé 多重比較。

表 4- 18、不同施測者步距前後三次調整與預備模式建立者之多重比較

	施測者		95%信賴區間範圍			
	基準	其他	中間值	下限	上限	
Scheffé	A	M1	-0.69098	-0.95961	-0.42234	***
		P1	0.33068	0.05469	0.60667	***
	A	M2	-0.22943	-0.55843	0.09958	
		P2	0.10589	-0.16275	0.37452	
	A	M3	-0.10738	-0.36984	0.15507	
		P3	-0.21997	-0.4652	0.02526	

註：\*\*\* < 顯著水準 0.05

上表 4- 18 之其他施測者一欄中，數字表示測試回合，而測試回合 1 為其他個體在沒有受到任何實驗限制之表現，測試回合 2 及 3 為限制施測者之步距；其他兩位施測者在經過三次測試後，從 Scheffé 多重比較結果可以看出，不同個體在第一次測試中，所消耗之活動能量消耗 AC 值與基準者均有顯著差異。

不同受測者在第一次測試結果皆與 A 有顯著差異，而隨著第二次與第三次的步距調整後，施測者 M、P 與 A 均無顯著差異。

## 第五節 模式與各步道實測之比較

### (一) 藤枝國家森林遊樂區步道

模式檢視實測地點一：以藤枝國家森林遊樂區內之步道進行調查。下表 4-19 為藤枝森林遊樂區步道之 RT3 施測結果，坡率 2% 施測距離採 50 m，其餘三種坡率則採水平距離為 25 m 者。各坡率之 AC 平均值  $\pm$  標準差分別為  $\pm 2\%$  是  $2.40 \pm 0.07$ 、 $2.16 \pm 0.16$  kcal； $\pm 10\%$  是  $1.36 \pm 0.10$ 、 $1.16 \pm 0.08$  kcal； $\pm 20\%$  是  $1.11 \pm 0.10$ 、 $1.44 \pm 0.10$  kcal； $\pm 35\%$  是  $1.56 \pm 0.12$ 、 $2.09 \pm 0.18$  kcal。

表 4-19、藤枝國家森林遊樂區施測值與模式之變異百分比

坡率(%)	鋪面	AC	變異百分比	坡率(%)	AC	變異百分比	距離(m)
2	碎石坡	n = 11 $2.40 \pm 0.07$	0.34	-2	n = 16 $2.16 \pm 0.16$	0.17	50
10	碎石坡	n = 12 $1.36 \pm 0.10$	0.38	-10	n = 18 $1.16 \pm 0.08$	0.05	25.50
20	木屑階	n = 18 $1.11 \pm 0.10$	-0.02	-20	n = 16 $1.44 \pm 0.10$	-0.03	25.77
35	枕木階	n = 21 $1.56 \pm 0.12$	0.09	-35	n = 15 $2.09 \pm 0.18$	-0.1	26.93

在藤枝國家森林遊樂區步道中所測之 AC 值，與式(4-4)及式(4-5)比較其差異大小。坡率 2% 之變異百分比為 0.34，坡率 -2% 則為 0.17；坡率 10% 之變異百分比為 0.38，坡率 -10% 為 0.05，變異百分比相較於其他坡率皆明顯較大。在坡率  $\pm 20\%$  能量消耗均小於模式預測值，坡率  $\pm 35\%$  在上坡消耗較多能量，下坡則較少。

## (二) 太平山國家森林遊樂區步道

模式檢視實測地點二：以太平山國家森林遊樂區內之步道進行調查。下表 4-20 為太平山森林遊樂區內步道實際施測之結果，施測水平距離取 25 m，其坡率±10% 之 AC 平均值 ± 標準差分別為  $1.11 \pm 0.05$ 、 $1.20 \pm 0.09$  kcal；坡率±20%則為  $1.50 \pm 0.10$ 、 $1.59 \pm 0.14$  kcal；坡率±40%為  $1.65 \pm 0.09$ 、 $1.95 \pm 0.12$  kcal；坡率±50%為  $2.10 \pm 0.22$ 、 $2.80 \pm 0.28$  kcal。

表 4-20、太平山國家森林遊樂區施測值與模式之變異百分比

坡率(%)	鋪面	AC	變異百分比	坡率(%)	AC	變異百分比	距離(m)
10	石版坡	n = 13 $1.11 \pm 0.05$	0.13	- 10	n = 21 $1.20 \pm 0.09$	0.08	25.12
20	木板階	n = 11 $1.50 \pm 0.10$	0.32	- 20	n = 19 $1.59 \pm 0.14$	0.08	25.50
40	木板階	n = 17 $1.65 \pm 0.09$	0.06	- 40	n = 15 $1.95 \pm 0.12$	-0.27	25.77
50	木板階	n = 17 $2.10 \pm 0.22$	0.15	- 50	n = 10 $2.80 \pm 0.28$	-0.2	26.93

太平山森林遊樂區步道取樣之四種坡率施測結果，與式(4-4)、(4-5)比較其變異百分比，從表中可以看出，在坡率 20%相較模式有較大的能量消耗，而 40%、50%也都較模式值為高。而在坡率-40%、-50%則有較省力之情形出現。

## (三) 烏來加九寮周圍步道

模式檢視實測地點三：以烏來加九寮周圍步道進行調查。調查結果，平地距離 129 m；上坡平均坡率為 6%、行走水平距離 191.61 m；下坡平均坡率為 13%，行走水平距離 177.27 m，樣本數 = 8，AC 平均值 ± 標準差為  $21.58 \pm 2.04$  kcal，模式 AC 值為 20.23 kcal，變異百分比為 0.07，顯示模式可以套用在步道資料上。

## 第五章 分析與討論

### 第一節 儀器初步設定探討

#### (一)儀器校正之必要性

Powell 和 Rowlands (2004)以八台 RT3 比較儀器間之變異，指出在儀器之間的變異係數(C.V.)在運動活動中小於 6%，並且隨著運動強度(2.1Hz、5.1Hz、10.2Hz)之增加，變異會減少(C.V.=22-27%、6-9%、4-7%)，可是變異仍然存在，其指出在使用 RT3 前必須評估儀器之間的差異及可靠度。Chu(2008)在實驗剛開始進行時，也先對儀器做檢測，限制每台儀器之各軸向變異須介於 5 counts 之間，以確保有最小之儀器變異，測試結果顯示 21 台 RT3 中亦有 2 台不符合要求。本研究在這部分係針對儀器之間至少需具備最基本之計算標準，從表 4- 1 中，當三軸的計數各自相同時，各 RT3 之 AC 值均相同，內部計算表現一致。至少確立此三台儀器正常，能夠用於後續試驗。

#### (二)RT3 活動能量消耗計算方式之意義

不同參數試驗中，身高、年齡、性別對 RT3 活動能量的計算結果沒有影響，差別僅只體重，從表 4- 2 中，又可以看出組距為 10 kg 之 AC 差值表現卻又相同，顯示組距同為 10 kg 的體重設定，與 AC 值有比例關係，而將 AC 值一個單位化後，即可知道無論哪種體重設定，在發生相同 X、Y、Z 軸計數時，除了 VM 值本就相同外，其單位 AC 值也會一樣。計算過程如下：

$AC \propto \text{Weight}$ ；AC：Activity Calories 活動能量消耗值，單位：kcal

e.g. X、Y、Z 軸之總向量 VM 相同，則  $AC(65\text{kg}) \div 65 = AC(45\text{kg}) \div 45$

這種設計方式透露著身體體型越大者，每多活動一單位，所消耗之活動能量會隨體重大小作加乘。因此，若受測者體型大小有所差異，而期望在活動能量有相同之消耗，則表示以相同運動而言，體型小者之動作必須較體型大者頻繁。這樣的發現有助於本研究以不同受測者測量活動能量消耗時，應以相同體重進行實測，否則比較 AC 資料時會有基準不同之問題。

另一方面，從比較各不同參數設定可以找出三軸、VM、AC、TC 間的關係式，從式子中可以了看出，VM 與 AC 呈現線性關係，表示 RT3 活動能量消耗之計算係根據身體活動量大小所得出；RT3 總能量消耗大小則為隨活動時間長短發生的基礎代謝量加上活動能量消耗如式(4-2)、式(4-3)。以 Tritrac-R3D 來說，總能量消耗是包含活動本身所消耗之能量以及安靜時的代謝能量(Nichols *et al.*, 1999)；這裡所指的安靜時代謝能量也是 RT3 之 AMR。Tritrac-R3D 之安靜時的代謝能量算式——男性： $(0.00473 \times wt \text{ kg}) + (0.00971 \times ht \text{ cm}) - (0.00513 \times age \text{ yr}) + 0.04687$ ；女性： $(0.00331 \times wt \text{ kg}) + (0.00352 \times ht \text{ cm}) - (0.00513 \times age \text{ yr}) + 0.49854$ 。筆者在此部分，則以國際標準體重代入 RT3 儀器之使用者設定(模式設定為 1)，供作總消耗能量計算之用(見附錄 4、附錄 5)，再利用男、女各 260 筆資料，以 SAS 多元迴歸分析求得 RT3 之安靜時的代謝能量算式——男性： $AMR = 0.00065035 + (0.00016687 \times wt) - (0.00008487 \times ht) + (0.00006681 \times age)$ ， $R^2 = 0.9990$ ；女性： $AMR = 0.00831 + (0.00012144 \times wt) - (0.00005898 \times ht) + (0.00002319 \times age)$ ， $R^2 = 0.9982$ 。整體而言，RT3 模式設定 1 的內部計算方式已全部找出關係式，更加便利日後對模式之使用。

## 第二節 RT3 佩帶在不同位置之比較

### (一)左、右腕野外預備試驗之分析(速度 1、3、5、7 kph)

#### 1. 左、右腕主效用顯著：

本研究中，RT3 置於左、右腕部對 AC 值存在顯著差異，對照表 4-6、表 4-7 亦可以看出，整體而言，左腕部位之 AC 值有高於右腕部位之情形。RT3 標準佩帶位置，從計步器、單軸加速規，一直到三軸加速規，大多建議佩帶位置為腕部。理論上，步之登記是反映自腕部之垂直作用力(Wolinsky and Driskell, 2008)。一般而言，人類左腳主要負有支撐全身重量，而人類跨步是由左腳開始，一般人的右腳肌肉較左腳發達，右腳跨步因此大於左腳(何權峰，1999)。前述這些訊息皆透露出 RT3 佩帶於右腕之計數值應大於左腕部位，Rowlands 等(2004)各以走速、跑速 4、6、8、10 kph 進行 RT3 佩帶在右腕，Tritrac-R3D 佩帶在左腕之實驗，其結果顯示 RT3 之計數值均較 Tritrac-R3D 來的高，而本研究中，則是以左腕來的高，筆者認為 Rowlands 等人欲依左、右腕收集之加速規計數值來判別兩加速規之差異，應再加入受測對象慣用腳的檢測，以本研究而言，左、右腕受測對象之走路行為係以右腳跨步在先，結果也以左腕部位之計數值來的大，這隱含著受測者慣用腳為何，對 RT3 計數值有其影響力。

#### 2. 速度主效用顯著：

本研究中，不同速度顯著影響 AC 消耗值，結果與許多研究相符(傅麗蘭、陳毓君，2005、DeVoe *et al.*, 2003、Rowlands, 2004、Chu *et al.*, 2007)，學者均表明 RT3 能有效感測速度之變化，對速度變化之測值能與耗氧量呈現高度相關。而此部分研究多討論平地之施測結果，本研究五種坡率中，以左右腕之坡率 0%、10%，隨速度 1、3、5、7 kph 之增加，均為持續上升，與 Terrier 等(2001)以 mIAN 三軸向加速規測試結果相似，而左、右腕之坡率 20%則持續上升至 7 kph 結束。Powell

和 Rowlands(2004)指出儀器間之變異係數(C.V.)會隨著運動強度之增加,變異減少,這形同意味著RT3在高速下感測力是降低的,檢視7kph下五種坡率之AC變化值,圖4-3、圖4-4更明顯表達出左、右腕皆有此現象,RT3在高速下對能量之消耗是低估的。

### 3. 坡率主效用顯著：

本研究中,行走於不同坡率,對AC值有顯著影響力,傅麗蘭、陳毓君(2005)進行坡率分別為0%、3.5%、7%之研究中,指出RT3對坡率感測力不佳,係隨坡率愈陡,其值減少(5.31、5.09、5.03 kcal/min)。RT3在平地具敏感性,但對坡率的變化不敏感(DeVoe *et al.*, 2003)。對照表4-6、表4-7,整體而言,AC值有隨坡率愈陡,其值增加之趨勢,並且坡率主效用是存在顯著性差異,RT3可以辨識坡率之變化。而學者們紛紛提出RT3不適用於有變化之坡率上,是以人體耗氧量與坡率上的RT3測值做比較,並非RT3不適用在斜坡上,而Terrier等(2001)也提出,若能繼續加入位能之評估,三軸向加速規並非與斜坡應用絕緣。

### 4. 三因子間交互作用顯著：

三個因子間均存在交互作用,這隱含著坡率可以影響行走速度,Rees(2004)所建立之關係式中,坡率愈陡,行走速度會遞減,而坡率影響行走速度也符合普遍知識,雖然這三個因子間彼此有交互作用存在,但其間應有主從關係。步道上的坡率是固定的,改變的是人們的步行行為,因而決定行走速度,並非行走速度來影響步道坡率之不同。而佩帶位置之不同是直接反映自走路行為,亦非隨佩帶位置改變,影響行走之速度、甚至是步道坡率。

## (二)不同位置佩帶之模式適用性分析

Minetti 等(2002)在其研究中，施測者是採經驗速度施測，因此本試驗以 Rees 等(2004)之經驗速度行走不同坡率，配合三軸加速規普遍佩帶位置右髖(Chen and Sun, 1997; Eston *et al.*, 1998; Powell and Rowlands, 2004; de Vries *et al.*, 2006; Chu *et al.*, 2007)之試驗設計因應而生，然而，由圖 4- 2 可知 RT3 在斜坡上之測值無法有效歸納出特定之趨勢。此試驗中，可以看出的是，RT3 在上、下坡之 AC 值模式適合分開討論，這能使模式有較好之解釋能力，更符合實際之 AC 值趨勢，而迴歸式種類之選擇也並非以線性最優，但線性迴歸式仍然可作為輔佐探討之用。同樣是採經驗速度行走各坡率，卻無法得出 Minetti 等(2002)類似之結果，而是隨坡率增加，AC 值愈來愈小，探究原因，RT3 最為人所認同的是能辨別速度不同，因此，隨坡率上升而減少之經驗速度，無法有效建立加入不同坡率因子後之模式。

在速度 1、3、5、7 kph 之試驗中，RT3 在左髖位置有最佳模式——速度 3 kph，此時全坡率-20 至 20%之二項式模式解釋力  $R^2$  達 0.95；而右髖則為速度 1 kph 時，全坡率-20 至 20%之二項式模式解釋力  $R^2$  達 0.93。左、右髖在這兩種速度下，其實已經可以代表步道能量消耗之模式，然而在下背部之試驗中，全坡率-40 至 40%之二項式模式解釋力  $R^2$  達 0.98，在坡率 0 至 40%及-40 至 0%兩部分之二項式迴歸  $R^2$  更高達 0.99 以上，相較於左、右髖，RT3 佩帶於下背部更具備了較小之標準差，以及較高之  $R^2$ 。佩帶下背部位置，RT3 之變異量較為穩定，且活動能量消耗 AC 值與坡率關係更為明確，模式有最高解釋力，因此最適合作為本研究之步道能量消耗模式之佩帶位置。

### 第三節 RT3 於不同步行設施之比較

#### (一) 野外預備試驗場地與跑步機

本研究中，於跑步機上的測試 4 kph 與 4.8 kph 之總向量 VM 值均較野外預備試驗值來的小，顯示跑步機上之能量消耗是少於野外的，而跑步機各試驗之標準差亦較野外預備試驗值小，顯現了實驗室研究具有較穩定結果之優勢。本研究欲將能量消耗模式實際運用在野外上，面對國內外對於跑步機多以減振架構設計，可使跑步機能減少或緩衝使用時的衝擊力（黎文龍等，2007），跑步機上之測試無法真實反映野外行走之能量消耗，也因此，野外預備試驗會比跑步機值大。DeVoe 等(2003)於野外與跑步機之研究中，亦有此現象，RT3 於三種行走速度(4.8 kph、6.4 kph、9.6 kph)之總向量 VM 值，均以野外測值為高。

比較坡率 0%、行走速度 4.8 kph 下之 VM 值，DeVoe 等(2003)於跑步機之測值為  $1739 \pm 186$  counts/min、野外測值為  $2136 \pm 342$  counts/min，傅麗蘭、陳毓君(2005)於跑步機之測值為  $1713.2 \pm 237.6$  counts/min，以及本研究之跑步機測值  $1165 \pm 67$  counts/37.5 secs、野外預備試驗 VM 值(Rees 設計) $1267 \pm 74$  counts/37.5 secs，本研究經換算之後，分別為 1864、2027 counts/min，均能與前述學者們之結果相似。

再比較坡率 0%、速度 4 kph 之跑步機 VM 值，本研究結果為  $1131 \pm 46$  counts/45 secs，換算後係 1508 counts/min，與 Rowlands 等(2004)之  $2000.3 \pm 338.7$  counts/min、Powell 和 Rowlands(2004)之  $1158.2 \pm 36.8$  counts/min，以及 Chu 等(2007)之  $2172 \pm 510$  counts/min，雖然與其他研究結果差別較大，但仍可謂落入合理範圍當中。

另外，加入分析坡率 10%之趨勢，DeVoe 等(2003)於行走速度 4.8 kph 下之跑步機 VM 值( $1884 \pm 444$  counts/min)，則與本研究結果之趨勢有異( $986 \pm 59$  counts/37.5 secs  $\rightarrow$   $1577$  counts/min)；DeVoe 等(2003)在跑步機上的測試當中，VM 測值有隨坡率上升而增加之趨勢，本研究則是隨坡率上升而減少，傅麗蘭、陳毓君(2005)之研究也是指出，RT3 之 VM 值會隨坡率上升而減少。

究竟 RT3 測值對坡率上升是呈正相關抑或負相關呢？筆者認為這需要從儀器本身的技術原理來探討，後續將對此做更進一步的探討。遑論這一點，本研究在跑步機與野外之預備試驗結果與國內外學者之研究結果均類似，能對本研究所蒐集之資料更添加信服力。



## 第四節 不同個體差異之分析

不同個體間之施測結果，從表 4-18 之 Scheff 多重比較可以看出，其他施測者於自由行走之測試回合一中，個體間之施測結果存在顯著差異，顯示模式建立者之結果不適用在其他個體上。本研究活動能量消耗之建立係由一位女性施測者獨自完成，如何將結果一般化到其他個體上是值得質疑的。筆者觀察其他施測者發現步距影響甚鉅，由於三軸加速規是以感應三軸加速度變化而有所記錄，因此，步距小的人由於必須在時間內走完固定距離，因此走路的加速度變相的提升了，這也呈現在活動能量消耗有較大值的表現，反觀步距大者，步與步之間距離較大，相較之下，能夠輕鬆抵達終點。為證明本研究具可重複性以及加快其他資料之蒐集，進行不同個體差異最小化之設計，其他施測者在測試回合二、三中，經過步距調整之再測試，結果顯示其他施測者能與模式建立者無顯著差異。

在跑步機活動中，男孩之 RT3 總向量 VM 值顯著地高於成年男子，反映出男孩有比男人更大的跨步頻率(Rowlands *et al.*, 2004)。在跑步機上不同速度之 RT3 測試也發現女人之 RT3 總向量 VM 值是顯著高於男人的(King *et al.*, 2004)。平均而言，女人較男人矮小，因此，比男人擁有較高的跨步頻率(Rowlands *et al.*, 2007)。前人研究均指出個體間之步頻差異對 RT3 活動能量消耗測值有直接影響，而本實驗也展現了有效控制步距的結果，可使不同個體差異性縮小，甚至沒有顯著差異；從表 4-18 中的 95%信賴區間，也可以發現隨著步距調整回合之增加，其他受測者之信賴區間範圍有縮小之趨勢。

本實驗中，不同施測個體之走路行為經步距一致化後，所蒐集到的 RT3 活動能量消耗值雖然可以表現出差異不顯著，但本質上來說，不同個體間之活動能量消耗會有所不同，然而，本研究之步道活動能量消耗模式可以視為一項基礎的比較平台。個體體型較大者，行走速度較快者、步頻較高者，活動能量消耗較多，只要依循此種原則，配合本研究之模式，步道使用者仍可得到具體能耗資訊。

## 第五節 步道能量消耗模式之分析

### (一)總能量消耗模式之可行性分析

RT3 不同佩帶位置所蒐集到的活動能量消耗值，不論是左髖、右髖，還是下背部，下坡耗能均比上坡消耗的大，這與常理不符，學者們也紛紛提出在有坡率變化之行走研究中，RT3 對能量消耗的預估與間接量熱計蒐集到的耗氧量資料相關性甚低，RT3 無法顯示出坡率變化造成身體活動能量消耗應有的差異(傅麗蘭、陳毓君，2005；DeVoe *et al.*, 2003)。而 RT3 所測得之能量消耗模式是單純紀錄人體的活動量，若要據以表示實際之活動能量消耗，則需以總能量消耗值，引入位能計算。本研究以上、下坡活動能量消耗值再加入位能後，結果能較符合常理對於上坡能量消耗會大於下坡能量消耗的概念。比較 Minetti 等(2002)於跑步機上進行大範圍坡率行走研究之能量消耗趨勢，從圖 4- 6 中可以看出，本研究在總能量消耗與 Minetti 模式有相似趨勢，兩者均隨坡率愈陡，耗能愈大，且斜坡能量消耗最小值均發生在坡率-10%處。另外，不同的是本研究模式在坡率 10%以上之耗能是緩緩揚起的表現，不若 Minetti 模式是以急遽上升之姿展現，而在坡率 10%以下的部分，本研究能量消耗總值比 Minetti 的高。雖然兩者不是在速度設計一致之前提下討論，但兩模式之皮爾森相關係數趨近 1，顯示從趨勢面來說，RT3 測得之身體總能量消耗值能夠作為實際能量消耗值預測之依據。

## (二)總能量消耗模式之效度分析

### 1. RT3 技術面分析

本研究中，從左、右髖位置在坡率 20%測得之活動能量消耗值，隨行走速度 1、3、5 kph 的增快持續上升至 7 kph 結束，以及行走速度 7kph 之活動能量消耗 AC 值無法隨坡率 0%、10%、20%的增加而上升，一直到與 Minetti 等(2002)之總能量消耗於坡率 10%後急遽上升之比較，還有其他研究對坡率上升之 RT3 測值有的呈現正相關，有的則是負相關，在在都指向 RT3 在高速度與高坡率之結果是否具備效力。筆者從設計 RT3 之技術面做分析，RT3 在動態環境中適用範圍為 0.05 g 到 2 g，活動頻率範圍則在 2 到 10 Hz 較為敏感，這表示要達到 0.05 g 需要振幅達 47.5 mm、頻率 0.5 Hz(Powell *et al.*, 2003)，這是依據物理學  $A = D \times (2\pi f)^2$ ，A：加速度 ( $m/s^2$ )、D：振幅(m)、f：頻率(1/s)所換算的，從這樣的概念中，可以想見若活動型態超出 0.05 g 到 2 g 的範圍，RT3 是無法感測的；步距過大或過小、步頻過高或過低、均會影響 g 值。

據此概念，解釋了左、右髖試驗在高速度 7 kph 下之活動能量消耗 AC 值隨坡率上升，而測值卻降低之情形(因步頻較高)以及與 Minetti 等(2002)之總能量消耗之比較，RT3 於高坡率下之測值低(因步距較小)。因此，步頻與步距對研究結果有直接之影響，所以會造成 RT3 測值與坡率變化之關係有的呈現正相關，有的則是負相關，而良好控制步頻傾向則會有正相關，DeVoe 等(2003)就輔以節拍器做行走實驗，本研究總能量消耗模式也是在步頻  $1.62 \pm 0.09$  Hz 下進行。

雖然 RT3 有這種使用上之障礙，但相較其他加速規如 Actical、Actigraph 加速規，RT3 擁有的頻率範圍寬多了(Esliger and Tremblay, 2006)，仍不失為一項好的能量測量工具，本研究之總能量消耗模式具有良好控制步頻以及與 Minetti 等(2002)研究結果相似之優點，可視為有效之能量消耗預測模式。

## 2. 步道實測差異分析

分析藤枝、太平山國家森林遊樂區及烏來加九寮各步道活動能量消耗值與預備試驗建立之步道活動能量消耗迴歸式(4-4)、(4-5)預測值，以藤枝國家森林遊樂區而言，其坡率 $\pm 2\%$ 與 $\pm 10\%$ 之活動能量消耗值均高出模式預測值，坡率 $2\%$ 與 $10\%$ 變異百分比甚至高達 $0.34$ 與 $0.38$ ，推測係因鋪面不同所影響，本研究施測地點中，僅於藤枝國家森林遊樂區之坡率 $2\%$ 、 $10\%$ 之步道為碎石鋪面，不若先前野外預備試驗中，步行設施是水泥鋪面，受測者行走於碎石鋪面之步道，易受地面不平整之因素造成身體較多的振動，所以變異量高出許多；而下坡坡率 $-2\%$ 與 $-10\%$ 之變異量，相對上坡碎石鋪面之測值來說，是變小的。下坡受到腳接觸地面時所產生的衝擊力，會造成加速度記錄值增加(Sun *et al.*, 1996)。而行走在下坡碎石鋪面的步道，不若硬地板所帶來之較高衝擊力，故而藤枝國家森林遊樂區之坡率 $2\%$ 、 $10\%$ 之碎石鋪面活動能量消耗相對於上坡，有降低下坡活動能量消耗值之情形，且坡率愈陡，這種影響愈是明顯。反觀太平山國家森林遊樂區之坡率 $10\%$ 步道，其步道鋪面為石板，與預備試驗水泥鋪面的步行設施同屬硬鋪面，上坡變異百分比 $0.13$ 也遠遠小於碎石鋪面的 $0.34$ 。

坡率 $\pm 20\%$ 部分，藤枝國家森林遊樂區能量消耗測值均小於模式，顯示此段步道較為省力；太平山國家森林遊樂區則都是大於模式預測值。藤枝國家森林遊樂區坡率 $20\%$ 是以木屑覆蓋泥土上的階梯步道，太平山則是木板階梯設計，此等表現出泥土軟鋪面之設計優於水泥、木梯硬鋪面之設計，具備軟鋪面較省力之優勢。在其他坡率測值部分，藤枝國家森林遊樂區坡率 $35\%$ 、太平山國家森林遊樂區坡率 $40\%$ 、 $50\%$ 則都是上坡耗能，下坡節能之型態。上階梯部分的活動能量消耗多顯示較模式預測值高，下階梯則較模式預測值低；階梯會限制步距，以及抬腳的高度，而肢體動作會隨樓梯設計而改變，若使用者以耗能最小為目的，使用者在上坡時會選擇斜坡行走，下坡則傾向走階梯。由前述部分可知步道活動能量消耗會因步行設施不同而造成變異，這需要再依不同步行設施做調整；軟性鋪面下的活

動能量消耗，會比模式來的小。

烏來加九寮景觀大橋周邊步道調查結果顯示，即使測試對象是一連續起伏且距離達 500 m 的步道，RT3 測試結果仍證實了本模式高效度的信服力。實測 AC 平均值  $\pm$  標準差為  $21.58 \pm 2.04$  kcal，而以模式計算之結果是 20.23 kcal，這對於將模式應用在同鋪面質性之步道上，可以排除複合坡率與長距離步道套用上的疑問。



## 第六章 結論與建議

對使用者而言，此研究提供RT3每秒模式之推導算式，包括活動能量消耗、總能量消耗、每秒基礎代謝量，再加上廠商原先提供之三軸與總向量方程式，則可得到所有RT3熱量消耗模式之算式。而活動能量消耗對於不同體重之計算方式又是根據同一單位活動量消耗做加乘，以同一總向量值而言，無論體重為何，都可以做換算，因此，步道熱量消耗模式(時速3 kph)所提供之60 kg、水平距離50 m之活動能量消耗值只要依據體重大小、行走距離長短即可做換算；再加上式4- 3、4- 4每秒基礎代謝率的算式，加乘時間長短，即可得出總能量消耗值。

以體重70公斤、身高1.75公尺、年齡20歲之男性於平地步行一小時為例，套入式4- 3，可得出基礎代謝率為0.0135 Kcal/sec，即48.6 Kcal/hr；平地活動能量消耗為 $1.75 \text{ (Kcal/60 kg/min)} \div 60 \text{ (kg)} \times 70 \text{ (kg)} = 2.04 \text{ (Kcal/70 kg/min)}$ ，即122.4 Kcal/hr，兩者加總即得出平地總能量消耗為171 Kcal。若步行坡率為20%，則總能量消耗須再考慮位能，即以式(4- 8)做計算： $mgh = 0.00418 \times 70 \times 9.8 \times 10 = 1.64 \text{ Kcal/61.19 secs}$ ，即98.49 Kcal/hr，所以坡率20%之總能量消耗為266.49 Kcal。

RT3儀器測試結果也發現，於藤枝國家森林遊樂區之坡率20%木屑鋪面階梯能量消耗最小，純粹以木質鋪面填滿並不會比較好，建議相關遊樂區管理者可以朝此軟性步道鋪面設計形式邁進，能有效降低遊客之上、下坡能量消耗，降低斜坡行走對膝蓋的衝擊性。

而RT3特性總結如下：

- 一、RT3乃依據身體之三軸活動變化進行感測，所測能量消耗值在身體動作無變化下，測得活動能量消耗值為0 Kcal。
- 二、RT3在有斜度的坡率上，左右軸、前後軸的感測較垂直軸靈敏，因此容易造成不同個體測試上的差異，進行不同個體的測試，RT3佩帶下背部、統一步頻與

注意回振有助於實驗之可重複性。

- 三、RT3之活動能量消耗值隨體重設定不同，呈等比差異。RT3內部計算主要根據體重大小而有不同的活動能量消耗值，而總能量消耗值會受四種使用者設定變數(體重、身高、年齡、性別)影響。

本研究之步道熱量消耗模式之特性如下：

- 一、RT3步道能量消耗模式可應用在有不同變化之坡率的步道上，且可外推應用於更長的步道上。
- 二、在相同坡度、速度條件下，RT3在野外斜坡測試之活動能量消耗值傾向高於跑步機上的結果。以本研究來說，跑步機上的能量消耗測試結果會有低估步道之實際能量消耗的情形。
- 三、RT3於下背部所測得之能量消耗在考慮位能後也能表現上坡能量消耗大於下坡能量消耗。單純分析活動能量消耗，會有三軸加速規在下坡耗能大於上坡耗能的疑惑，但若引入位能的概念，除了上坡耗能會大於下坡耗能外，更可以提高與耗氧量測試的相關性。
- 四、不同步道鋪面會影響活動能量消耗。活動能量消耗上，水泥鋪面較泥土鋪面高，而與柏油鋪面相似。階梯上坡活動能量消耗比斜坡大，下坡則比較省力。

本研究之步道熱量消耗模式之限制性如下：

- 一、本研究之步道熱量消耗模式於各坡率之RT3活動能量消耗顯示，僅考慮身體活動時，坡率0%是所有上、下坡率中能量消耗最小的，與其他以耗氧量為能量消耗測量依據之實驗有所不同，本研究偏重於探討身體活動之能量消耗。
- 二、RT3對坡率、速度、佩帶位置之不同有顯著差異。有效控制步頻，RT3能有效感測坡率的變化，唯在高坡率下，RT3有低估能量之情事。RT3能有效感測速

度的變化，唯在過高速度下，感測力降低。左髖活動能量消耗值顯著高於右髖者，施測者起步腳有直接影響，以左腳起步者，右髖測值傾向高於左髖。

三、RT3步道能量消耗模式為同一位受測者於時速3 kph與水泥鋪面下完成所有試驗，應用於其他個體仍有不同性別、體型大小、行走速度、步道環境之誤差存在。

RT3對於能量消耗測試具備設備費用低(台灣代理3萬元)、儀器體型小、操作容易，對於攜帶至步道活動，較其他加速規更能減輕使用者的負擔，比起動輒數百萬的耗氧量測量儀器更具實用性，但RT3儀器在使用上要考慮技術面之加速規原理，否則會造成研究結果高估或低估之情事；若以其他受測者進行RT3斜坡行走實驗，須先考慮個體步頻不一問題，再視研究目的決定限制步距與否。

而本研究旨在進行身體活動量之能耗測試，並未同步進行耗氧量之實驗，目前仍無研究進行野外高坡率之耗氧量實驗，未來若有易於攜便至野外之耗氧量收集儀器，將對野外高坡率能量消耗之資訊更有所突破。



## 參考文獻

- 行政院衛生署 (2007) 民國 95 年死因統計上冊統計表。台北市：行政院衛生署。
- 何權峰 (1999) 腳底掌握健康情報。科學知識 49:71-76。
- 沈淑鳳 (2007) RT3 Triaxial+對身體活動量測量儀器之應用。大專體育 92:36-40。
- 林文鎮 (1988) 森林遊樂與國民健康。農委會林業特刊第十八號。行政院農業委員會。
- 邱承美 譯 (1979) 營養學。徐氏基金會科學圖書。49-156 頁。台北。
- 傅麗蘭、陳毓君 (2007) 三度空間加速規於跑步機行走之向量大小及能量消耗與耗氧量相關性研究。物理治療 30(2):73-79。
- 彭英毅、彭清次 譯 (1982) 運動生理學。合記圖書出版社。台北。599 頁。
- 黎文龍、林偉達、吳韋德 (2007) 跑步機上之步態對樓板振動之影響分析研究。2007 國際運動生物力學研討會暨臺灣運動生物力學年會論文集，第 96~97 頁。師大體育系。臺北市。
- Campbell, K.L., Crocker, P.R.E. and McKenzie, D.C., 2002. Field evaluation of energy expenditure in women using Tritrac accelerometers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34:1667-1674.
- Chen, K.Y. and Sun, M., 1997. Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer. *Journal of Applied Physiology*, 83:2112-2122.
- Chu, E.Y.W., McManus, A.M. and Yu, C.C.W., 2007. Calibration of the RT3 accelerometer for ambulation and nonambulation in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39:2085-2091.
- Crouter, S., Churilla, J. and Bassett, D., 2006. Estimating energy expenditure using accelerometers. *European Journal of Applied Physiology*, 98:601-612.

- Crouter, S.E. and Bassett, D.R., 2008. A new 2-regression model for the Actical accelerometer. *British Journal of Sports Medicine*, 42:217-224.
- Cutler, D.M., Glaeser, E.L. and Shapiro, J.M., 2003. Why have Americans become more obese? *Journal of Economic Perspectives*, 17:93-118.
- de Vries, S.I., Bakker, I., Hopman-Rock, M., Hirasing, R.A. and van Mechelen, W., 2006. Clinimetric review of motion sensors in children and adolescents. *Journal of Clinical Epidemiology*, 59:670-680.
- DeVoe, D., Gotshall, R. and McArthur, T., 2003. Comparison of the RT3 Research Tracker and Tritrac R3D accelerometers. *Perceptual and Motor Skills*, 97:510-518.
- Esliger, D.W. and Tremblay, M.S., 2006. Technical reliability assessment of three accelerometer models in a mechanical setup. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38:2173-2181.
- Eston, R.G., Rowlands, A.V. and Ingledeew, 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.
- Grundy, S.M., Blackburn, G., Higgins, M., Lauer, R., Perri, M.G. and Ryan, D., 1999. Physical activity in the prevention and treatment of obesity and its comorbidities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:S502-S508.
- Hakim, A.A., Petrovitch, H., Burchfiel, C.M., Ross, G.W., Rodriguez, B.L., White, L.R., Yano, K., Curb, J.D. and Abbott, R.D., 1998. Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. *New England Journal of Medicine*, 338:94-99.
- Haskell, W.L., Lee, I.M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D. and Bauman, A., 2007. Physical activity and public health - Updated recommendation for adults from the American college of sports medicine and the American heart association. *Circulation*, 116:1081-1093.

- Hugo, M.L., 1999. Energy equivalent as a measure of the difficulty rating of hiking trails. *Tourism Geographies*, 1:358 - 373.
- Jakicic, J.M., Winters, C., Lagally, K., Ho, J., Robertson, R.J. and Wing, R.R., 1999. The accuracy of the TriTrac-R3D accelerometer to estimate energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:747-754.
- King, G.A., Torres, N., Potter, C., Brooks, T.J. and Coleman, K.J., 2004. Comparison of activity monitors to estimate energy cost of treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36:1244-1251.
- Kumanyika, S.K., 2008. Global calorie counting: A fitting exercise for obese societies. *Annual Review of Public Health*, 29:297-302.
- Minetti, A.E., Moia, C., Roi, G.S., Susta, D. and Ferretti, G., 2002. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol*, 93:1039-1046.
- Nichols, J.F., Morgan, C.G., Sarkin, J.A., Sallis, J.F. and Calfas, K.J., 1999. Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:908-912.
- Powell, S.M., Jones, D.I. and Rowlands, A.V., 2003. Technical variability of the RT3 accelerometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35:1773-1778.
- Powell, S.M. and Rowlands, A.V., 2004. Intermonitor variability of the RT3 accelerometer during typical physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36:324-330.
- Rowlands, A.V., Stone, M.R. and Eston, R.G., 2007. Influence of speed and step frequency during walking and running on motion sensor output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39:716-727.
- Rowlands, A.V., Thomas, P.W.M., Eston, R.G. and Topping, R., 2004. Validation of the

RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36:518-524.

Stayhealthy, 2004. RT3™ User Manual Version 1.1.

Sun, J., Walters, M., Svensson, N. and Lloyd, D., 1996. The influence of surface slope on human gait characteristics: A study of urban pedestrians walking on an inclined surface. *Ergonomics*, 39:677-692.

Terrier, P., Aminian, K. and Schutz, Y., 2001. Can accelerometry accurately predict the energy cost of uphill/downhill walking? *Ergonomics*, 44:48-62.

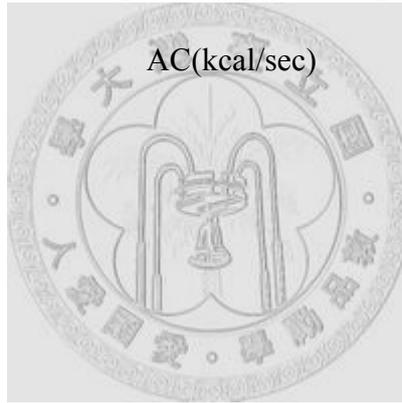
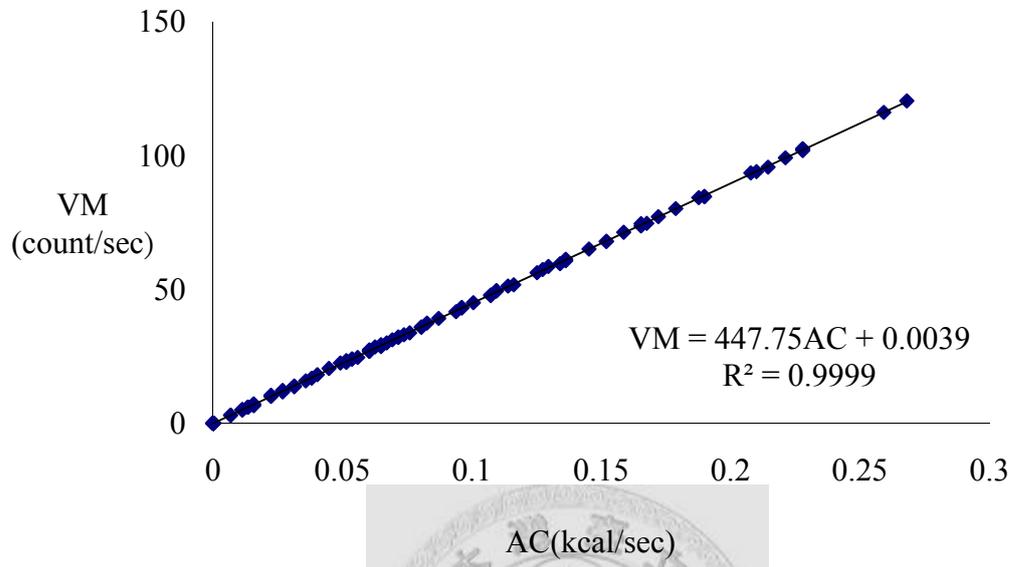
Wolinsky, I. and Driskell, J.A., 2008. *Sports nutrition : energy metabolism and exercise*. Boca Raton : CRC Press, 272 p.



附錄 1、RT3 原始下載記錄資料表

Device Info:		RT3								
ATR Serial#		C0003192								
ATR Hardware Rev		0.1								
ATR Firmware Rev		0.6								
ATR CoBrand		0								
User Info:										
User ID		A								
User Height		155 cm								
User Weight		59.9 kg								
User Age		25								
User Gender		1 Female								
User AMR		.0177 Calories per Second								
Test Info:										
Notes										
Activity Data:										
Download Time		03/11/2008 04:51:23 PM								
Start Time		03/11/2008 02:59:39 PM								
Format		1 XYZ 1 Second								
Number Readings		40								
Entry	Date	Time	Total Calories	Activity Calorie	VM	Start Flag	Stop Flag	ActCntsX	ActCntsY	ActCntsZ
1	03/11/2008	14:59:39	0.1897	0.1720	77.058	0	0	40	33	57
2	03/11/2008	14:59:40	0.0691	0.0514	23.345	0	0	23	4	0
3	03/11/2008	14:59:41	0.1115	0.0938	41.617	0	0	0	24	34
4	03/11/2008	14:59:42	0.1696	0.1519	67.801	0	0	12	33	58
5	03/11/2008	14:59:43	0.0333	0.0156	6.708	0	0	0	3	6
6	03/11/2008	14:59:44	0.1271	0.1094	49.487	1	0	28	24	33
7	03/11/2008	14:59:45	0.0333	0.0156	7.211	0	0	0	4	6
8	03/11/2008	14:59:46	0.0534	0.0357	15.811	0	0	4	3	15
9	03/11/2008	14:59:47	0.0624	0.0447	20.445	0	0	7	12	15
10	03/11/2008	14:59:48	0.1852	0.1675	74.579	0	0	3	48	57
11	03/11/2008	14:59:49	0.0780	0.0603	27.368	0	0	8	26	3
12	03/11/2008	14:59:50	0.2075	0.1898	84.629	0	0	24	31	75
13	03/11/2008	14:59:51	0.2455	0.2278	102.25	0	0	43	62	69
14	03/11/2008	14:59:52	0.1763	0.1586	71.246	0	0	34	28	56
15	03/11/2008	14:59:53	0.1539	0.1362	61.164	0	0	20	35	46
16	03/11/2008	14:59:54	0.1517	0.1340	59.532	0	0	12	50	30
17	03/11/2008	14:59:55	0.0445	0.0268	12.247	0	0	10	5	5
18	03/11/2008	14:59:56	0.2455	0.2278	102.42	0	0	21	48	88
19	03/11/2008	14:59:57	0.1428	0.1251	56.16	0	0	15	15	52
20	03/11/2008	14:59:58	0.2075	0.1898	84.534	0	0	32	49	61
21	03/11/2008	14:59:59	0.2276	0.2099	93.867	0	0	13	49	79
22	03/11/2008	15:00:00	0.0847	0.0670	29.967	0	0	15	12	23
23	03/11/2008	15:00:01	0.1450	0.1273	57.367	0	0	19	23	49
24	03/11/2008	15:00:02	0.2768	0.2591	115.98	0	0	34	86	70
25	03/11/2008	15:00:03	0.1830	0.1653	74.458	0	0	32	34	58
26	03/11/2008	15:00:04	0.1696	0.1519	67.882	0	0	0	48	48
27	03/11/2008	15:00:05	0.0780	0.0603	26.833	0	0	0	12	24
28	03/11/2008	15:00:06	0.1137	0.0960	42.942	0	0	12	16	38
29	03/11/2008	15:00:07	0.2321	0.2144	95.525	0	0	0	70	65
30	03/11/2008	15:00:08	0.2053	0.1876	84.161	0	0	31	49	61
31	03/11/2008	15:00:09	0.0914	0.0737	33.03	0	0	5	21	25
32	03/11/2008	15:00:10	0.0981	0.0804	35.917	0	0	7	20	29
33	03/11/2008	15:00:11	0.1316	0.1139	51.196	0	0	12	19	46
34	03/11/2008	15:00:12	0.2857	0.2680	120.27	0	0	34	85	78
35	03/11/2008	15:00:13	0.1830	0.1653	73.6	0	0	17	42	58
36	03/11/2008	15:00:14	0.1964	0.1787	80.087	0	0	29	47	58
37	03/11/2008	15:00:15	0.1271	0.1094	49.295	0	0	10	11	47
38	03/11/2008	15:00:16	0.0557	0.0380	16.793	0	0	13	8	7
39	03/11/2008	15:00:17	0.2455	0.2278	101.74	0	0	10	55	85
40	03/11/2008	15:00:18	0.1539	0.1362	60.614	0	0	19	8	57

附錄 2、VM 與 AC 線性關係圖





附錄 4、國際標準體重表(肛腸健康網，2004)

女子標準體重對照表

身高(cm) 年齡(yr)	152	156	160	162	164	166	168	170	172	176
19	46	47	49	50	51	52	54	56	57	60
21	46	47	49	50	51	52	54	56	57	60
23	46	47	49	50	51	52	54	56	57	60
25	46	48	49	50	51	53	55	56	57	61
27	47	48	50	51	52	53	55	56	58	61
29	47	49	51	52	53	54	56	58	59	62
31	48	49	51	52	53	54	56	58	59	62
33	48	50	51	52	53	55	57	58	59	63
35	49	50	52	52	53	55	57	59	60	63
37	49	51	53	53	54	56	59	60	61	64
39	50	52	53	53	55	57	59	60	61	65
41	51	52	54	54	55	57	59	61	62	65
43	51	53	55	55	56	58	60	62	63	66
45	52	53	55	55	57	58	60	62	63	66
47	52	53	57	57	57	58	60	62	63	67
49	52	53	56	56	57	59	60	62	63	67
51	52	54	56	56	57	59	61	62	63	67
53	53	54	56	56	58	59	61	62	64	67
55	53	54	56	57	58	60	61	63	64	67
57	53	55	56	57	58	60	61	63	64	68
59	53	55	56	57	58	60	61	63	64	68
61	53	54	56	56	57	59	61	63	64	67
63	52	54	55	56	57	59	61	62	63	67
65	52	54	55	56	57	59	61	62	63	66
67	52	54	55	56	57	59	61	62	63	66
69	52	54	55	56	57	59	61	62	63	66

男子標準體重對照表

身高(cm) 年齡(yr)	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188
19	50	52	52	54	56	58	61	64	67	70
21	51	53	54	55	57	60	62	65	69	72
23	52	53	55	56	58	60	63	66	70	73
25	52	54	55	57	59	61	63	67	71	74
27	52	54	55	57	59	61	64	67	71	74
29	53	55	56	57	59	61	64	67	71	74
31	53	55	56	58	60	62	65	68	72	75
33	54	56	57	58	60	63	65	68	72	75
35	54	56	57	59	61	63	66	69	73	76
37	55	56	58	59	61	63	66	69	73	76
39	55	57	58	60	61	64	66	70	74	77
41	55	57	58	60	62	64	67	70	74	77
43	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
45	56	57	59	60	62	64	67	70	74	77
47	56	58	59	61	63	65	67	71	75	78
49	56	58	59	61	63	65	68	71	75	78
51	57	58	59	61	63	65	68	71	75	78
53	57	58	59	61	63	65	68	71	75	78
55	56	58	59	61	63	65	68	71	75	78
57	56	57	59	60	62	65	67	70	74	77
59	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
61	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
63	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
65	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
67	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77
69	56	57	58	60	62	64	67	70	74	77

附錄 5、RT3 對照國際標準體重設定之 AMR 表

對照女子標準體重設定之 AMR 表

身高(cm) 年齡(yr)	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188
19	0.0163	0.0165	0.0168	0.017	0.0172	0.0173	0.0176	0.0179	0.0181	0.0185
21	0.0162	0.0164	0.0167	0.0169	0.0171	0.0172	0.0175	0.0178	0.018	0.0184
23	0.016	0.0163	0.0166	0.0168	0.0169	0.0171	0.0174	0.0177	0.0179	0.0183
25	0.0159	0.0163	0.0165	0.0167	0.0168	0.0171	0.0174	0.0176	0.0178	0.0183
27	0.016	0.0161	0.0165	0.0167	0.0169	0.017	0.0173	0.0174	0.0178	0.0182
29	0.0159	0.0161	0.0165	0.0167	0.0169	0.017	0.0173	0.0176	0.0178	0.0182
31	0.0159	0.016	0.0164	0.0166	0.0168	0.0169	0.0171	0.0175	0.0176	0.0181
33	0.0157	0.016	0.0162	0.0165	0.0166	0.0169	0.0172	0.0174	0.0175	0.0181
35	0.0157	0.0159	0.0163	0.0163	0.0165	0.0167	0.0171	0.0174	0.0175	0.018
37	0.0156	0.0159	0.0163	0.0163	0.0165	0.0167	0.0172	0.0173	0.0175	0.018
39	0.0156	0.0159	0.0162	0.0162	0.0165	0.0168	0.0171	0.0172	0.0174	0.018
41	0.0156	0.0158	0.0162	0.0162	0.0164	0.0168	0.0169	0.0172	0.0174	0.0178
43	0.0155	0.0158	0.0162	0.0162	0.0164	0.0167	0.0169	0.0173	0.0174	0.0178
45	0.0155	0.0157	0.016	0.0161	0.0164	0.0165	0.0168	0.0172	0.0173	0.0177
47	0.0154	0.0156	0.0162	0.0162	0.0163	0.0164	0.0167	0.017	0.0172	0.0178
49	0.0153	0.0155	0.0159	0.016	0.0162	0.0164	0.0166	0.0169	0.0171	0.0176
51	0.0152	0.0155	0.0158	0.0158	0.0161	0.0163	0.0166	0.0168	0.017	0.0175
53	0.0151	0.0153	0.0157	0.0157	0.0161	0.0162	0.0165	0.0167	0.017	0.0174
55	0.015	0.0152	0.0156	0.0158	0.0159	0.0161	0.0163	0.0167	0.0168	0.0173
57	0.0149	0.0152	0.0154	0.0157	0.0158	0.0161	0.0162	0.0166	0.0167	0.0173
59	0.0148	0.0151	0.0153	0.0155	0.0157	0.0159	0.0161	0.0164	0.0166	0.0172
61	0.0147	0.0149	0.0152	0.0153	0.0155	0.0157	0.016	0.0163	0.0165	0.0169
63	0.0145	0.0147	0.015	0.0151	0.0154	0.0156	0.0159	0.0161	0.0163	0.0168
65	0.0143	0.0146	0.0149	0.015	0.0152	0.0155	0.0157	0.016	0.0161	0.0165
67	0.0142	0.0145	0.0147	0.0149	0.0151	0.0154	0.0156	0.0159	0.016	0.0164
69	0.0141	0.0144	0.0146	0.0148	0.015	0.0152	0.0155	0.0157	0.0159	0.0163

對照男子標準體重設定之 AMR 表

身高(cm) 年齡(yr)	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188
19	0.0175	0.0181	0.0184	0.0191	0.0195	0.0203	0.0209	0.0218	0.0225	0.0233
21	0.0175	0.0181	0.0187	0.019	0.0196	0.0204	0.021	0.0217	0.0226	0.0235
23	0.0176	0.0179	0.0185	0.019	0.0196	0.0202	0.0209	0.0217	0.0226	0.0235
25	0.0174	0.0179	0.0184	0.0191	0.0196	0.0202	0.0208	0.0218	0.0226	0.0233
27	0.0172	0.0177	0.0182	0.019	0.0194	0.02	0.0208	0.0216	0.0224	0.0233
29	0.0172	0.0177	0.0182	0.0188	0.0192	0.0199	0.0206	0.0215	0.0223	0.0231
31	0.0171	0.0175	0.018	0.0187	0.0192	0.0199	0.0206	0.0214	0.0223	0.0231
33	0.0171	0.0175	0.0181	0.0186	0.019	0.0199	0.0204	0.0213	0.0221	0.0229
35	0.0169	0.0174	0.0179	0.0186	0.019	0.0198	0.0204	0.0213	0.0221	0.0229
37	0.0169	0.0172	0.0179	0.0184	0.0189	0.0196	0.0202	0.0211	0.022	0.0228
39	0.0167	0.0173	0.0177	0.0184	0.0187	0.0196	0.02	0.0211	0.0219	0.0228
41	0.0165	0.0171	0.0176	0.0182	0.0188	0.0194	0.0201	0.0209	0.0218	0.0227
43	0.0165	0.0169	0.0174	0.018	0.0186	0.0192	0.0199	0.0207	0.0216	0.0225
45	0.0163	0.0167	0.0174	0.0179	0.0184	0.0191	0.0198	0.0206	0.0214	0.0223
47	0.0162	0.0167	0.0172	0.0178	0.0184	0.0187	0.0196	0.0206	0.0214	0.0223
49	0.016	0.0166	0.017	0.0177	0.0182	0.0186	0.0196	0.0204	0.0213	0.0221
51	0.0161	0.0164	0.0169	0.0175	0.0181	0.0184	0.0194	0.0202	0.0211	0.022
53	0.0159	0.0162	0.0167	0.0173	0.0179	0.0182	0.0192	0.02	0.0209	0.0218
55	0.0155	0.016	0.0165	0.0172	0.0177	0.018	0.0191	0.0199	0.0207	0.0216
57	0.0153	0.0157	0.0164	0.0168	0.0174	0.0179	0.0187	0.0195	0.0204	0.0213
59	0.0151	0.0155	0.016	0.0167	0.0172	0.0179	0.0186	0.0194	0.0202	0.0211
61	0.015	0.0154	0.0159	0.0165	0.017	0.0177	0.0184	0.0192	0.0201	0.0209
63	0.0148	0.0152	0.0157	0.0163	0.0169	0.0175	0.0182	0.019	0.0199	0.0208
65	0.0146	0.015	0.0155	0.0161	0.0167	0.0173	0.0181	0.0189	0.0197	0.0206
67	0.0145	0.0149	0.0153	0.016	0.0165	0.0172	0.0179	0.0187	0.0196	0.0204
69	0.0143	0.0147	0.0152	0.0158	0.0164	0.017	0.0177	0.0185	0.0194	0.0203

