

國立台灣師範大學 運動科學研究所

碩士學位論文

不同跑步模式之手腕與腳踝加速度
值分析

研究生：廖立同

指導教授：相子元

中華民國九十八年六月

中華民國臺北市

國立台灣師範大學運動科學研究所碩士論文通過簽名表

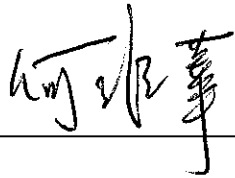
姓名： 廖立同

學號： 696330049

碩士論文題目： 不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析

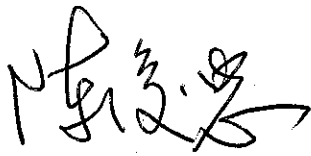
經審查合格，特予證明

論文口試委員



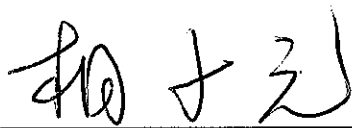
何維華 博士

台北市立體育學院運動器材科技研究所



陳俊忠 博士

國立陽明大學物理治療暨輔助科技學系

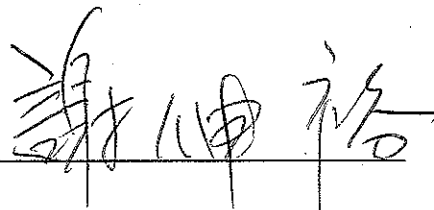


相子元 博士

國立台灣師範大學運動科學研究所

論文指導教授

所長簽章：



中華民國 98 年 5 月 25 日

國立臺灣師範大學學位論文授權書

本授權書所授權之論文為授權人在國立臺灣師範大學 運動科學
研究所 97 學年度第 二 學期取得 碩 士學位之論文。

論文題目：不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析

指導教授：相子元 博士

授權事項：

一、授權人 同意 不同意 非專屬無償授權本校及國家圖書館將上列論文資料以微縮、數位化或其他方式進行重製，並可上載網路收錄於本校博碩士論文系統、國家圖書館全國博碩士論文資訊網及臺灣師範校院聯合博碩士論文系統，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、瀏覽、下載、傳輸、列印或複印等利用。

二、論文全文電子檔上載網路公開時間：【第一項勾選同意者，以下須擇一勾選】

即時公開

自 _____ 年 _____ 月 _____ 日始公開。

授權人姓名：廖立同 (請親筆正楷簽名)

學 號：696330049

註：1. 本授權書須列印並簽署兩份，一份裝訂於紙本論文書名頁，一份繳至圖書館辦理離校手續。2. 授權事項未勾選者，分別視同「同意」與「即時公開」。

中 華 民 國 98 年 07 月 06 日

不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析

98 年 6 月

研 究 生：廖立同

指 導 教 授：相子元

跑步的運動人口逐漸增加，但現有之身體活動量檢測儀器僅適用於低強度之身體活動，無法準確測量跑步之身體活動量，因此提供簡易且準確之身體活動量方式為本研究之方向。**目的：**（一）利用加速規測量跑步時手腕及腳踝之加速度，並探討跑步機跑與平地跑之差異性；（二）利用手腕及腳踝在跑步時之加速度建立加速度推估跑步速度與心跳之迴歸公式。**方法：**使用加速規取得 15 位實驗參與者（年齡： 27.6 ± 7.4 歲，身高 172.8 ± 6.3 公分，體重： 67.3 ± 7.5 公斤）跑步時手腕及腳踝之加速度，以心率錶收取實驗參與者在各速度下穩定的心跳。**結果：**（一）手腕及腳踝之矢狀面加速度積分值皆與心跳達到顯著相關（ $p < .01$ ）；（二）實驗參與者之個別差異，造成手腕及腳踝加速度曲線隨著跑步速度提高而有不同的斜率；（三）跑步機跑步時，手腕矢狀面加速度積分值在較高速跑時（14 及 16 km / hr）顯著高於腳踝矢狀面加速度積分值；平地跑時，腳踝矢狀面加速度積分值在較高速跑時（14 及 16 km / hr）顯著高於手腕矢狀面加速度積分值；（四）手腕矢狀面加速度積分值在兩種跑步模式並無顯著差異，腳踝矢狀面加速度積分值在速度 12、14 及 16 km / hr 時，平地跑顯著高於跑步機跑。**結論：**（一）跑步過程中，手腕及腳踝之加速度可用來推估身體活動量，且針對不同跑步模式選用不同部位之心跳迴歸公式；（二）跑步過程中，手腕及腳踝之加速度可用來推估跑步速度，未來可用身體之加速度做為推估跑步速度之新方式。

關鍵詞： 加速度、心跳、跑步機跑步、平地跑

The analysis of acceleration of wrist and ankle in different running types

Graduate Student: Liao, Li-Tung

Advisor: Shiang, Tzyy-Yuang

The running population is increasing; however, the equipments of estimating energy expenditure in the current market are limited to low-intensity physical activity, and can't measure energy expenditure at high-intensity physical activity such as running. This study tried to determine a convenient and accurate way to measure energy expenditure during running.

Purpose: (1) This study tried to find out the difference between two running types by using acceleration of wrist and ankle during running. (2) This study tried to establish the regression equation of running speed and heart rate by using acceleration of wrist and ankle during running.

Method: Fifteen males (age 27.6 ± 7.4 , height 172.8 ± 6.3 cm, weight 67.3 ± 7.5 kg) wore two accelerometers, one on their left wrists and the other on their left ankles. Each participant ran 30 sec at 4, 6, 8, 10, 12, 14 and 16 $\text{km} \cdot \text{hr}^{-1}$ respectively and the measurements were performed when the participant reached a stable heart rate.

Result: (1) Both acceleration integration of sagittal plane of wrist and ankle are significantly correlated with heart rate. ($p < .01$) (2) The acceleration of wrist and ankle are in different slopes resulting in the individual differences of each participant. (3) The acceleration integration of sagittal plane of wrist is significantly higher than that of ankle at 14 and 16 $\text{km} \cdot \text{hr}^{-1}$ during treadmill running. The acceleration integration of sagittal plane of ankle is significantly higher than that of wrist at 14 and 16 $\text{km} \cdot \text{hr}^{-1}$ during ground running. (4) The acceleration integration of sagittal plane of wrist has no significant difference between two running types. The acceleration integration of sagittal plane of ankle during ground running is significantly higher than that of treadmill at the speeds of 12, 14 and 16 $\text{km} \cdot \text{hr}^{-1}$.

Conclusion: (1) We can measure energy expenditure by using the acceleration of wrist and ankle during running, but different regression equations should be adopted in different running types. (2) It could become a new way to measure running speed by using the acceleration of wrist and ankle.

Key Words: acceleration, heart rate, treadmill running, ground running

致謝詞

兩年的師大碩士生涯，求學過程充滿各種酸甜苦辣的感覺，這段路走得雖然辛苦，卻讓我收穫頗多，感謝師大運科所師長們的指導，以及同學們的鼓勵與支持。

感謝我的指導老師相子元教授，在我的研究路上給予方向與指導，在邏輯推導與寫作方面，讓我體會學術研究的價值與嚴謹性；感謝台北市立體育學院運動器材科技研究所何維華教授，讓我了解自己的論文寫作還有改進的空間，科學性論文必須更嚴謹；感謝國立陽明大學物理治療暨輔助科技學系陳俊忠教授，讓我知道實驗結果的應用方式與改進空間，對我往後的學術研究之路有很大的幫助。

感謝參與實驗的實驗參與者們，以及協助實驗的助手們，北體運器所的同学、師大運科所的同学及師大運動生物力學實驗室的老師、夥伴給予的意見與鼓勵，使得實驗能順利進行。

最後感謝家人讓我無後顧之憂擔任全職學生，全心全意投入學習與研究，以及在背後支持我、鼓勵我的好朋友們，若沒有你們的鼓勵，我無法負笈北上完成碩士學業，謝謝您們！

目次

第壹章	緒論.....	1
第貳章	相關文獻探討.....	17
第參章	材料與方法.....	26
第肆章	結果.....	43
第伍章	討論.....	63
第陸章	結論.....	69
引用文獻.....		71
附錄一	實驗參與者需知.....	79
附錄二	實驗參與者同意書.....	80
附錄三	實驗參與者基本資料表.....	81
附錄四	所有實驗參與者在兩種跑步模式、各種速度下之心跳、不同部位 加速度積分值的原始資料.....	75
附錄五	所有實驗參與者在兩種跑步模式、各種速度下之心跳、不同部 位加速度積分值的平均值.....	97
附錄六	所有實驗參與者在兩種跑步模式，手腕、腳踝之前後軸、縱向 軸、矢狀面加速度積分值與心跳之相關係數.....	98
個人小傳.....		99

表次

表一	身體活動評估方法.....	2
表二	兩種跑步模式手腕之前後軸、縱向軸加速度積分值與心跳之相關性.....	46
表三	兩種跑步模式腳踝之前後軸、縱向軸加速度積分值與心跳之相關性.....	46
表四	兩種跑步模式，手腕、腳踝之矢狀面加速度積分值與心跳之相關性.....	46

圖次

圖 1	走路及跑步時氧需求量與速度的關係.....	6
圖 2	實驗參與者手腕加速規放置位置與座標方位.....	27
圖 3	實驗參與者腳踝加速規放置位置與座標方位.....	28
圖 4	實際跑道跑步之場地配置圖	32
圖 5	跑步機速度與 Polar 心率錶之足部紀錄裝置之相關性.....	33
圖 6	光閘記時器速度與 Polar 心率錶之足部紀錄裝置之相關性.....	34
圖 7	兩種跑步模式之心跳比較.....	35
圖 8	SensorMedics 2000 跑步機	36
圖 9	Biopac MP150 生理訊號擷取器	37
圖 10	CROSSBOW 雙軸加速規	38
圖 11	Polar S625X 心率錶	39
圖 12	Polar S625X 之足部紀錄裝置	39
圖 13	電波發射器 TEL100T(左)與調幅器 TEL 100M-C(右)	40
圖 14	電波接受器 TEL 100R(上)與解調器 TEL 100D-RF(下)	41
圖 15	跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖.....	44
圖 16	跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖.....	44
圖 17	平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖.....	45
圖 18	平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖.....	45

圖 19	跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖.....	48
圖 20	跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖.....	48
圖 21	平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖.....	49
圖 22	平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖.....	49
圖 23	跑步機之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之比較.....	50
圖 24	平地跑之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之比較.....	51
圖 25	兩種跑步模式之手腕矢狀面加速度積分值比較.....	52
圖 26	兩種跑步模式之腳踝矢狀面加速度積分值比較.....	52
圖 27	跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	54
圖 28	跑步機手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	54
圖 29	跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	55
圖 30	跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	55
圖 31	平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	56
圖 32	平地跑手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	56
圖 33	平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	57
圖 34	平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式.....	57
圖 35	跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	59
圖 36	跑步機手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	59
圖 37	跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	60

圖 38	跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	60
圖 39	平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	61
圖 40	平地跑手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	61
圖 41	平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	62
圖 42	平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式.....	62

第壹章 緒論

第一節 問題背景

現代人由於科技的進步，雖然使生活品質與便利性提升，但也因此降低身體的活動量。不論在工作或休閒活動往往是以靜態的坐式生活為主。此類坐式生活型態的普及，使得身體活動缺乏症候群（inactivity syndrome）成為現今社會常見的文明病。

因此運動對健康的影響越來越受到矚目，以運動促進健康通常會參考美國運動醫學會（ACSM）在 1990 年的建議，在心肺運動方面：每週 3-5 天，運動強度 50-85% $\dot{V}O_{2max}$ 或是 60-90% HR_{max} ，持續時間 20-60 分鐘；阻力運動方面：每週兩天，8-10 種運動，一組做 8-12 次。

由以上建議可看出身體活動的四個基本層面，運動的頻率、強度、形式、持續時間。雖然評估身體活動情形可從這四個層面著手，但明確地要做多少運動、如何運動才能達到健康的效果，這對單憑感覺從事運動的一般人來說是個問題。要能精確地設定各種運動要素，及測量對身體所產生的影響，往往只能在控制良好的實驗室才做得到，但身體活動所發生的場所卻大部分在實驗室外（黃耀宗，2003），因此在實驗室外讓社會大眾能夠方便又準確地測量身體活動量成為一個重要的議題。

根據 Caspersen 等（1985）對身體活動（physical activity）的定義是指身體骨骼肌收縮的任何身體活動，並導致能量消耗，可分為「工作相關

的身體活動」及「休閒生活相關的身體活動」。由此定義可以了解到身體活動難以測量，因為這是一個複雜的行為，從種花、爬樓梯，到打球、游泳、跑馬拉松皆可稱為身體活動。

身體活動的測量沒有單一的標準（Montoye 等，1996），可以不同方式量化。LaPorte 等（1985）對測量身體活動的方法加以分類，其分類方式是根據研究的花費、干擾平常活動程度、可被接受性、能提供身體活動的形式、頻率、持續時間和強度等資料；有超過 30 種以上的測量身體活動方法（表一）。

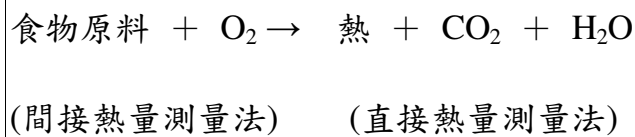
表一 身體活動評估方法

測量工具	對象	大規模研究	低花費	耗費時間	耗費努力	干擾行為	個人可接受性	社會可接受性	活動特殊性
熱量測量法									
直接	W	No	No	VH	VH	H-VH	No	No	Yes
間接	A、E	No	No	H、VH	VH	H-VH	No	No	Yes
調查									
特定工作日記	A、E	Yes	Yes	L-M	L-M	VH	?	Yes	Yes
回憶問卷	A、E	Yes	Yes	L-M	L-M	L	Yes	Yes	Yes
質性經歷	A、E	Yes	Yes	L-M	L-M	L	Yes	Yes	Yes
整體自陳報告	A、E	Yes	Yes	L	L	L	Yes	Yes	No
以工作分類	A	Yes	Yes	L	L	L	Yes	Yes	Yes
行為的觀察	A、E	No	No	H-VH	H-VH	L-VH	?	?	Yes
生理指標									
心肺適能	W	W	No	M-VH	M-H	L	?	?	No
雙重標定水法	W	Yes	No	H-VH	M-VH	L-H	Yes	Yes	No
電子式監測器									
心跳	W	No	No	H-VH	M-VH	L-M	Yes	Yes	No
記步器	A、E	Yes	Yes	L-M	L	L-M	Yes	Yes	No
加速規	W	Yes	Yes	L-H	L-M	L-M	Yes	Yes	No

L= low 低；M= medium 中；H=high 高；VH= very high 很高

W= whole 所有人；A= adult 成人；E= elder 老年人

雖然直接熱量測量法被認為是測量方法上對於代謝速率較精確的方法，但建造一個足以容得下一個人的隔離室相當昂貴，而且在運動時使用直接熱量測量法很複雜，因為被使用的測功計本身也會產生熱，於是發展出**間接熱量測量法**（Indirect Calorimetry）來測量代謝速率，因為這不直接涉及到熱的測量。這個測量原理可由下列關係解釋：



因為在體內氧的消耗和熱的產生量，兩者有直接的相關，預測氧消耗量提供了預估代謝速率的方法（Brooks 等，1996；Fox 等，1998）。將氧消耗量轉換成等量的熱，要先知道營養物被代謝的種類，在能量釋放代謝中只有脂肪時是 4.7 kcal；只有醣類時是 5.05 kcal；只有蛋白質時是 4.7 kcal。運動當中卡路里的推估通常約每公升氧消耗量 5 kcal，因此一位運動者在每分鐘兩公升的氧消耗情況下，每分鐘約消耗 10 kcal。

(二) 調查

回憶調查為評估身體活動的其中一個方法，簡化複雜的身體活動行為，詢問受試者回想平常的活動形式。此方法最常使用在大樣本研究，確定身體活動的盛行程度，評估介入計劃的效果，或身體活動與各種健康結果之間的關係。在自陳報告中通常需要應答者回想一特定時間的身

體活動，可以由自我施測、電話訪談來執行。

但回憶調查不能解釋直接或間接身體活動超過 45% 的變異量 (Durante & Ainsworth, 1996)。且身體活動自陳報告的信度與效度會受到受試者的記憶能力、問卷實施的順序、回應社會期待值、文化、年齡、性別、肥胖和教育程度的影響 (Kriska & Caspersen, 1997; Durante & Ainsworth, 1996)。

(三) 生理指標

生理指標為測量氧消耗量的方法，也被稱為「開放式呼吸測量法」。(open-circuit spirometry)，現今應用電腦科技來測量。在實驗室中，吸進的氣體量被可偵測氣體量的儀器測量，人體呼出氣體從儀器被傳送到一個小的混合式空間，利用電子分析儀分析氧和二氧化碳的成分。這些資訊包含了吸氣和呼氣時氧和二氧化碳部分的體積，且呼氣的二氧化碳被送至一個數位電腦的裝置，將類比訊號轉換為數位訊號。

電腦被設計為必須顯示每分鐘氧消耗量 ($\dot{V}O_2$) 和二氧化碳生成量 ($\dot{V}CO_2$)，總之單位時間內計算氧消耗量的公式如下：

$$\dot{V}O_2 = \text{氧的吸入量} - \text{氧的呼出量}$$

研究人員研究氧消耗(穩定狀態每分鐘氧的消耗量)，已經證實在穩定狀態下，身體活動合理精確的預估能量消耗是可能的，其中走路和跑步是被研究地非常詳細的兩種活動（Coast & Welch, 1985；Daniels, 1985；Hopkins & Powers, 1984）。

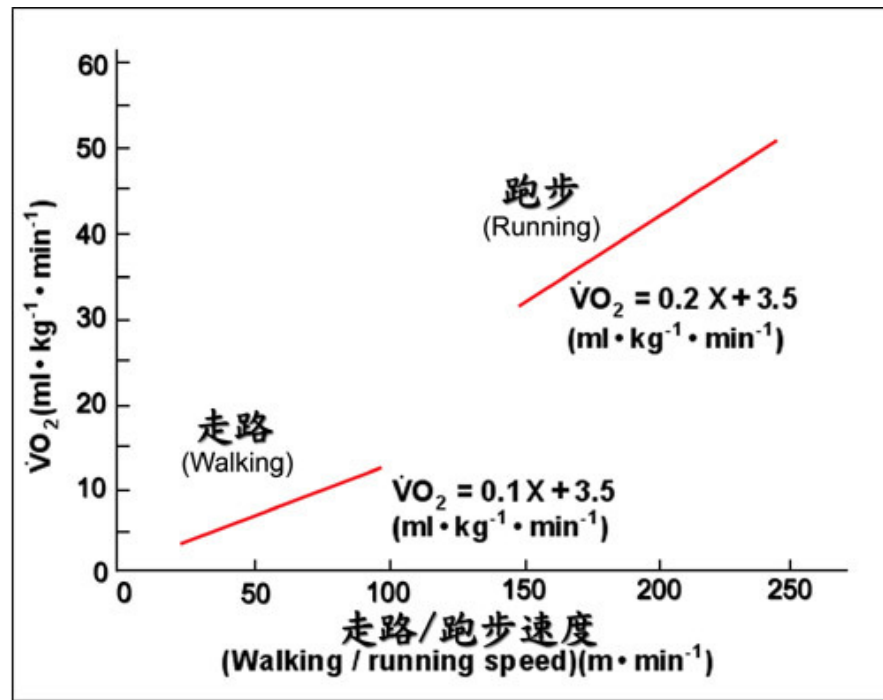


圖 1 走路及跑步時氧需求量與速度的關係

圖 1 顯示了走路及跑步時氧需求量與速度的關係，值得注意的是氧需求量和步行/跑步速度之間的相關是呈一直線。這個線性關係跨越了很廣的速度範圍，使得計算氧消耗量（或能量消耗）變得相當容易。但預估人類其他類型活動的能量較為複雜，例如預估一場網球比賽的能量消耗，端視網球是單打或是雙打比賽，同時也受選手技術層次的影響。

表示運動能量消耗常用「等代謝量」(metabolic equivalent, MET) 為單位，1 MET = 休息時 $\dot{V}O_2$ ，約等於每分鐘每公斤體重 3.5 毫升的耗氧量 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)。身體活動當中 10 METs 的能量需求代表 $35 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，而且氧需求量的絕對值能藉由該運動強度的氧消耗量乘以受試者體重計算出來。因此對一個六十公斤的人而言，10 METs 活動的氧消耗量將是 $35 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 60 \text{ kg} = 2,100 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

根據 ACSM (1995) 運動測驗與運動處方之準則 (Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription) 指出在水平的跑步機上走路，速度在 50-100 公尺之間，可利用合理且準確的公式預估氧的需求量，公式如下：

$$\dot{V}O_2 = 0.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} / (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \times \text{走路速度} (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ (安靜 } \dot{V}O_2 \text{)}$$

若是在有坡度的跑步機上走路，垂直方向的耗氧量為：

$$\dot{V}O_2 = 1.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times \text{走路速度} (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \times \text{百分坡度(以分數表示)}$$

當跑步速度大於每分鐘 134 公尺時，就要使用以下公式

$$\dot{V}O_2 = 0.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} / (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \times \text{跑步速度} (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ (安靜 } \dot{V}O_2 \text{)}$$

若是在有坡度的跑步機上跑步，垂直方向的耗氧量為：

$$\dot{V}O_2 = 0.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times \text{垂直速度} (\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$$

這樣的計算公式雖然準確，但有其限制性：（1）只能計算跑步機上步行或跑步的能量消耗，對於大部分的運動模式都無法推估能量消耗。

（2）僅能從事單一形式的運動，若是混合步行與跑步這兩種運動型態，就無法利用公式去計算能量消耗。（3）公式太過複雜，不易讓一般民眾在運動後估計自己的能量消耗。

生理指標的另一種測量法是「**雙重標定水法**」（Doubly Labeled Water），其應用原理如下：利用氫氣和氧氣的穩定同位素（氫與¹⁸O）合成的重水進行測量。在實驗前先收集受試者的尿液，確定氫氣和氧氣的濃度基線（baseline），給予口服的重水（²H₂¹⁸O），經過 1-3 週後再利用受試者提供的另一個尿液樣本計算出整個區間的能量消耗。Lifson 等人（1949）使用氫的穩定同位素時發現，給動物服用標定¹⁸O 的水卻在動物呼出的二氧化碳中發現，證實呼出的二氧化碳來自身體的水分。進一步實驗發現每天呼出的二氧化碳可以發現被標定的氫氣與氧氣之穩定同位

素。重水 ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) 中的氫氣 ($^2\text{H}_2$) 會被合成水 ($^2\text{H}_2\text{O}$) 然後排出體外，但氧氣的同位素卻會形成二氧化碳 (C^{18}O_2) 及水排出體外。計算被標定的氫氣與氧氣減少的比例差異有多少，就能計算出二氧化碳生成率，這樣就可以透過呼吸商 (respiratory quotient) 得知這段時間內能量消耗有多少。

此技術幾乎被視為能量消耗評估的黃金標準 (Montoye 等, 1996)，擁有很高的效度 (誤差率小於 3%)，且可以被用在實驗室或田野情境，對於小孩子和成人同樣有效。由於測量需要 1-3 週的期間，所以可以評估習慣性的身體活動，此方法的安全性高、對實驗參與者的負擔小，不會影響其身體活動程度，因此被當作確認身體活動測量有效的準則。主要的缺點是花費昂貴，測量結果無法提供身體活動形式、頻率、強度與持續時間。

(四) 電子式監測器

心跳率和氧的消耗有高度相關，尤其是在運動的時候，這表示心跳率可以用來評估身體活動的負荷或強度。優點是活動強度對心跳率的感應靈敏，有高的效度，特別是高強度活動會產生高心跳率，以這種方法評估激烈的身體活動最適當；而且使用心跳率遙測裝置僅有 2% 的誤差率，在以成人為對象的研究中，和雙重標定水法的相關係數 $r = .73$

(Montoye 等，1996)。

但心跳率的缺點是無法區分輕度和中度身體活動，因為心理的壓力或是身體溫度的改變就會顯著影響心跳率；而且每個人在相同心跳率時所承受的工作量並不相同，所以在估計能量消耗前必須先知道個人心跳率-氧消耗曲線。而且心跳率遙測裝置在胸部的心率傳輸帶在流汗時容易下滑而停止紀錄，周遭各種電器或其他遙測傳遞裝置都會干擾接收器。

從 1920 年代就開始使用**記步器** (pedometer) 來紀錄走路或跑步的步伐與步數，其原理是將內部的彈簧受到振動後的次數紀錄下來，利用單位時間內偵測到的振動次數推估身體活動量。

記步器的方便性是易取得、價格便宜、容易操作，但只能紀錄彈簧受震動的次數，無法區分不同強度的震動，有低估實際身體活動量的可能性；且快跑等頻率較高的身體活動容易使彈簧來不及回復至起始位置，是造成記步器低估身體活動量的原因。記步器分為機械式與電子式，電子式的記步器除了可以計算步伐，還可以估計所走的距離，在 Bassett 等 (1996) 的研究中比較五種記步器，證實 Yamax Digi-Walker 的誤差與實際值小於 1%，其他裝置則達到 14%。

最常使用來監測身體活動的是**加速規** (accelerator)，可以記錄身體或任一肢體在垂直面或垂直面和水平面動作的力量，轉換這些資料為消耗的熱量或動作的量。

利用單軸加速規原理製成的長時間攜帶式身體活動量檢測儀（如：Caltrac、ActiGraph）因為其體積小、價格便宜、對身體活動干擾少，所以在很多步行或跑步的研究中常用到。但因為它只可以偵測軀幹垂直方向的加速度，所以在自行車、游泳、重量訓練等運動，無法有良好的感應，而且對於地面坡度的改變、負重所增加的能量消耗其感應度不高。另一個限制是只能顯示總能量（卡路里），對於坐式日常活動的能量預估值很低。後來有利用三軸加速規原理製成的長時間攜帶式身體活動量檢測儀（如：Tritrac R3D、RT3）結合了垂直面、水平面、橫向面的動作資料，能夠更準確地提供身體活動的能量消耗值。

目前市面上已有許多長時間攜帶式身體活動量檢測儀是利用加速規的原理所製成，例如：RT3（Stayhealthy, Inc., Monrovia, CA）、ActiGraph（GT1M, Fort Walton Beach, FL）、CSA 7164（Manufacturing Technology Inc., Fort Walton Beach, FL）、3dNX（BioTel Ltd, Bristol, UK）、ActiHeart（Cambridge Neurotechnology Ltd., Papworth, UK）、Tracmor（Philips Research, Eindhoven, The Netherlands）。已有相當多文獻探討加速規用於人體活動量檢測的信度與效度，從日常生活、步行、跑步等運動型態，探討不同年紀、不同性別的受試者佩戴不同的長時間攜帶式身體活動量檢測儀，所測得的數據與各種運動生理學指標做比較，發現加速規能提供良好的身體活動量預估。

跑步的優點

走路與跑步是人類生來最直接、最本能且技巧性較少的運動，跑步也是近年來熱門的運動項目之一，現今不論在健身房或一般家庭中，有許多人在跑步機上進行訓練與運動（Swanson, 2000）。在美國有三千萬人口為了娛樂或競賽而跑步，根據中華民國路跑協會提出的「跑步的十個好理由」跑步是一項適合各種年紀、方便、又低消費的運動，而且跑步運動人口眾多，是保健心血管的有氧運動，且任何良好的體重控制辦法中都有跑步的計畫。

以跑步為例，使用攝氧量、ACSM 的公式或是雙重標定水法都可以測量跑步時的能量消耗，受限於僅能在實驗室進行，測量結果精準卻不易推廣；使用心跳率、記步器等器材較容易取得，但各自有其限制，且無法即時得知運動時的身體活動量。

跑步機跑步與平地跑的差異

在跑道或地面跑步（ground running）時，腿部的循環動作，特別是後蹬的動作，會不斷把人體重心（center of mass, COM）往前；在跑步機上跑步（treadmill running）時，腿部的循環動作只是不斷把人體重心固定於某一個位置（Anderson, 2006）。

無論在力學或神經肌肉的動作模式上，跑步機跑步與真正在地面上跑步有很大的出入。有些專家認為在跑步機上練習違反了運動訓練原則中的專項性原則，甚至會對跑步的效能作負面的影響；另一方面，跑步機的擁護者認為跑步機有兩大優點，第一就是透過設定跑步機的傾斜度，可以模仿上坡跑或下坡跑；第二就是可以準確地設定跑步機速度，方便進行步速練習。

有研究指出跑步機跑步與平地跑在步頻 (step frequency)、步幅 (step stride)、地面反作用力 (ground reaction force) 上並無顯著差異 (Nigg 等, 1995)。但是平地跑的過程中遇有轉彎處，內側腳的力量峰值 (peak force) 會小於外側腳 (Chang & Kram, 2007)。

第二節 研究問題

跑步的運動人口逐漸增加，除了較普遍的跑道或地面跑步，近年來也越來越多人選擇在跑步機上跑步，未來針對跑步這個項目可能開發檢測身體活動量的裝置，因此本研究想透過生理訊號（如：心跳）、數位訊號（如：加速度）了解兩種跑步模式之差異性，且利用手腕、腳踝在跑步過程中產生之加速度建立心跳與跑步速度之迴歸公式。

第三節 研究目的

本研究分為以下幾個部份：

(一) 利用加速規測量跑步時手腕、腳踝產生的加速度，探討不同跑步模式的差異性。

(二) 利用手腕、腳踝在跑步過程中產生之加速度建立心跳與跑步速度之迴歸公式。

第四節 研究假設

(一) 文獻指出跑步機跑步與實際地面跑步在動作模式上有很大的出入，且使用加速規測量身體活動量通常置於手腕、腰部（下背）、腳踝，因此本研究將加速規置於手腕及腳踝，假設手腕及腳踝在跑步過程中產生之加速度可證實兩種跑步模式之差異。

(二) 本研究使用加速規取得實驗參與者跑步時手腕、腳踝產生的加速度，以心率錶收取實驗參與者在各速度下穩定的心跳，且實驗參與者於兩種跑步模式中皆在指定速度下進行跑步，假設手腕及腳踝之加速度可建立準確推估心跳與跑步速度之迴歸公式。

第五節 研究範圍

文獻中使用的儀器是利用加速規的原理製成的長時間攜帶式身體活動量檢測儀，利用內建的迴歸公式將加速度轉換為一數值（單位為 counts per minute），再利用此數值推估出能量消耗（單位：卡路里）；但本研究使用的是一般雙軸加速規（單位為 G 值），利用單位時間內之加速度積分值來分析兩種跑步模式之差異，且推估心跳及跑步速度。

第六節 研究限制

（一）相同年齡的人，其最大心跳率是相近的，但使用心跳估計能量消耗時必須先知道個人心跳率-氧消耗曲線。本研究以心跳為效標，利用跑步時手腕、腳踝產生之加速度來推估心跳。

（二）在跑步機上跑步，可以利用馬達準確地控制跑者的跑步速度，但要求跑者在跑道上跑步維持指定速度，會有一點誤差，本研究使用光閘來控制每位實驗參與者在各區段中之速度，因此可忽略維持均速時產生的誤差。

第七節 名詞操作性定義

(一) 身體活動量：身體活動是指身體骨骼肌收縮並消耗能量的各種活動，身體活動量是身體活動時能量消耗的總稱。

(二) 跑步：每分鐘前進距離大於 100 公尺的運動型態定義為跑步，且雙腳不會同時接觸地面。

第八節 研究的重要性

(一) 透過生理訊號、數位訊號了解跑步機跑步與平地跑步的差異性，對跑步之身體活動量檢測裝置提供理論基礎。

(二) 透過跑步過程中手腕、腳踝之加速度建立推估心跳與跑步速度的迴歸公式，為日後開發檢測身體活動量裝置時提供理論基礎。

第貳章 相關文獻探討

近十年來全球成年人過重及肥胖的比例增加了 271%，孩童過重及肥胖的比例也增加了 180%，在未來的 25 年當中，肥胖將會影響全球四分之一的人口，若按照現在都市化的速度持續下去，影響的層面將會更廣（Popkin 等，2006）。肥胖已成為一個公共衛生的議題，其中缺乏身體活動與坐式生活（sedentary life）是絕大因素。因此測量身體活動量成為從事運動的指標。

身體活動的定義是指身體骨骼肌收縮的任何身體活動，並導致能量消耗，可分為「工作相關的身體活動」及「休閒生活相關的身體活動」（Caspersen 等，1985）。

測量身體活動量的方式很多，可分為以下幾類：運動行為觀察、問卷（包含日記、回憶式問卷、訪談）、生理學指標（如：心跳）、熱量測法與動作感應器（LaPorte 等，1985；Westerterp，1999）。其中的雙重標定水法（Doubly Labeled Water）被視為測量身體活動量的黃金法則，其優點在於可以長時間、又準確地測量出日常身體活動的能量消耗。而近年來動作感應器（記步器、加速規）的發展被運用於測量身體活動量，其中加速規應用較廣的原因為加速規可以記錄日常身體活動的頻率、強度、持續時間（Plasqui & Westerterp，2007）。

以心跳判斷身體活動量

在日常身體活動 (daily physical activity) 及各種運動中使用心跳去評估運動時的身體活動量是可行的 (Ceesay 等, 1989; Strath 等, 2000; Brage 等, 2004; Crouter 等, 2004; Plasqui 等, 2005), 且高強度運動中, $\dot{V}O_2$ 與心跳有高相關性 (Bot & Hollander, 2000)。

Strath 等學者証實使用心跳去評估日常身體活動是可行的, 合併使用心跳與 $\dot{V}O_2$ 去評估輕度運動 (如: 拖地、割草、慢走、快走等) 時的身體活動量, 其相關性更高 ($r = .87$)。Crouter 等學者証實合併使用 HR_{max} 與 $\dot{V}O_{2max}$ 預估跑步機、健身車、划船測功計的身體活動量會使誤差降低。Plasqui 等學者以心跳除以加速規的值 ($HR \cdot ACM^{-1}$) 為一體適能指標, 證實心跳可用於自行車運動的身體活動量檢測。

以加速規判斷身體活動量

最先利用運動時產生的力量或加速度作為檢測身體活動量的研究在 1960 年開始 (Brouha, 1960), 利用垂直方向的力量作為能量消耗的檢測, 證實藉由測力板上取得身體活動的垂直分力, 可以畫出一條能量消耗與時間-力量有高度相關 ($r = .83 - .96$) 的曲線。其它研究也發現將測力板置於跑步機下方, 偵測步行時各軸向的時間-力量曲線, 發現步行時產生的力量與能量消耗有相關性 ($r = .73 - .92$) (Ismail, 1971)。Reswick 等於

1978 年指出將加速規置於受試者身上，偵測步行時產生的加速度，發現步行的加速度積分值與能量消耗有線性相關。這些結果開始讓研究者探討利用身體活動時的加速度（特別是垂直方向的加速度）預估運動時身體活動量的可行性。

於是學者利用加速規製作可以偵測身體活動量的儀器（Wong 等，1981），利用壓電加速規發明一個可攜式的動作感應器來預估身體活動時的能量消耗（取名為 Caltrac），放置於腰部偵測日常活動時垂直軸方向的加速度，將加速度值積分後與總運動時間加總，得到動作感應器的數值。陸續有幾個研究使用 Caltrac 偵測不同運動強度的身體活動量，發現動作感應器的數值與能量消耗有相關性（Montoye 等，1983），在不同步行速度的數值與能量消耗有相關性（Balogum 等，1989），雖然 Caltrac 在跑步機上步行與跑步時，會有高估身體活動量的情形，但預估身體活動量的準確性仍然很高（ $r = .68 - .94$ ）（Haymes 等，1993）。

更進一步將加速規所推估的身體活動量與氣體分析所得到的 $\dot{V}O_2$ 做比較，證實加速規可用於日常活動的身體活動量檢測（Bouten 等，1997；Chen 等，1997）。Bouten 等學者將三軸加速規置於受試者的下背，紀錄 24 小時當中受試者在一密閉空間從事日常活動（free-living activity）所消耗的能量，以氣體分析所得到的 $\dot{V}O_2$ 為效標證實加速規對不同身體活動可提供良好的預測值（ $r = .89$ ）。Chen 等學者使用 Tritrac-R3D 長時間攜

帶式身體活動量檢測儀紀錄兩次受試者 24 小時當中在一密閉空間從事日常活動，證實其測得的總身體活動量與間接量熱計的數值有很高的相關性 ($r = .92$, $r = .85$)。

長時間攜帶式身體活動量檢測儀

目前市面上已有很多利用加速規的原理所製成長時間攜帶式身體活動量檢測儀（單軸加速規或三軸加速規），研究發現結合加速度與心跳所量測的身體活動量與耗氧量所測得的 $\dot{V}O_2$ 有高相關性，證明身體活動時產生加速度可以用來預測身體活動量（Hendelman 等，2000；Levine 等，2001；Strath 等，2002；Brage 等，2003；Treuth 等，2004；Welk 等，2004）。

單軸加速規製成的 Actigraph 攜帶式身體活動量檢測儀用於檢測 13-14 歲的青少女在十種日常活動中的能量消耗，證實可以被用在日常活動的身體活動量檢測，且能區分不同運動強度的加速度閾值（Treuth 等，2004）。也有學者證實檢測步行（速度 3 mph 內）的能量消耗，以 Actigraph 的信度最高（Welk 等，2004），以及不同強度的跑步都能有良好的預估能力（Hendelman 等，2000；Strath 等，2002）。但 Brage 等（2003）證實 CSA 攜帶式身體活動量檢測儀在時速 $9 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的跑步會失去預估身體活動量的準確性。

目前大部分的研究支持使用三軸加速規製成的攜帶式身體活動量檢測儀，因為三軸加速規可以在運動過程中獲得全方向的加速度值，對於判斷運動時的身體活動量能夠提供更準確的推估（Eston 等，1998；Goris 等，2001；Powell 等，2004；Rowlands 等，2004；Chu 等，2007；Fudge 等，2007；Rowlands 等 2007）。

研究指出三軸加速規身體活動量檢測儀（Tritrac-R3D）檢測孩童身體活動量的效度較單軸加速規高（Eston 等，1998），因為三軸加速規使用加速度總和（vector magnitude = $\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ），單軸加速規僅以垂直軸的加速度預估身體活動量（Powell 等，2004），而且三軸加速規身體活動量檢測儀（Tritrac-R3D 與 RT3）可以分辨不同強度（中等強度：3 – 6 METs，高強度 > 6METs）步行與跑步的身體活動量差異，也能區分成年人與青少年在不同強度跑步的加速度閾值（Rowlands 等，2004）。也有學者使用 RT3 長時間攜帶式身體活動量檢測儀，証實其可以準確地分辨出坐式生活與低強度運動的閾值（Chu 等，2007）。

Fudge 等學者（2007）與 Rowlands 等學者（2007）共同使用單軸加速規身體活動量檢測儀、三軸加速規身體活動量檢測儀、計步器的研究証實，跑步時三軸加速規身體活動量檢測儀 RT3 與速度有相關性，且與身體活動量有良好的相關，而單軸加速規身體活動量檢測儀 ActiGraph 在高強度的身體活動時會低估速度與步頻；共同使用加速規身體活動量檢

測儀與心跳預測 $\dot{V}O_2$ 的能力較單一指標更好，因此使用動作感應器來偵測步行與跑步的身體活動量，建議使用三軸加速規身體活動量檢測儀。

使用上的限制

雖然三軸加速規身體活動量檢測儀能提供運動時良好的身體活動量預估值，但其在使用上仍有一些限制。RT3 可以有效感應步行速度改變的能量消耗，但對坡度改變之步行與跑步的身體活動量會失準（傅麗蘭&陳毓君，2005），另外 Leenders 等人（2006）的研究認為加速規只能判斷運動強度，準確推估能量消耗仍必須使用雙重標定水法。

不同的運動型態，身體各部位產生的加速度就不同，所以在測量身體活動量時要按照運動型態去決定加速規的放置位置（Westerterp, 1999；Trost 等，2005；Plasqui & Westerterp, 2007）。

研究證實步行時可將計步器置於腳踝，但僅能準確地測量步數，無法藉由步數預估步行時的能量消耗（Foster 等，2005）；單軸加速規可置於受試者腰部來偵測身體活動量（Bussmann 等，2000）。研究證實跑步時可將單軸加速規置於足部，行成足部-地面接觸偵測器（foot-ground contact monitor）（Weyand 等，2001），符合 Nike+ 運動鞋在鞋底使用運動感測晶片的原理。

針對跑步為研究議題，Swartz 等學者（2000）証實跑步時手腕的加速度可以提高身體活動量的準確性。Strath 等學者（2001）研究結果發現手臂與小腿在跑步過程中產生的加速度結合心跳，與 $\dot{V}O_2$ 有高相關性；後續研究證實手臂的加速度適合在低強度的跑步中推估身體活動量，小腿的加速度適合在高強度的跑步中推估身體活動量；但結合加速度與心跳更能提高身體活動量準確性，且建議依照受試者的體能狀況進行個別校正（individual calibration）（Strath 等，2005）。

跑步機跑步與平地跑的差異

針對地面上和跑步機上跑步對氧氣需求不同這個議題，Puge 學者（1970）証實在跑步機上跑步時，跑速與攝氧量成直線關係；在地面上跑步時，跑速與攝氧量成曲線關係。而且當跑速作相同單位的增加時，地面上跑步的攝氧量高於在跑步機上的攝氧量。

Puge 把這個差異歸因於風阻（air resistance）上，因為風阻與速度的平方成反比，當跑步速度增加，能量的消耗就越大。一個明顯的例子是當跑步速度為 $21.5 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時，能量消耗約為 8 %，當速度增加至 $36 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時，能量消耗便倍升至 16 %。

Daniels（1953）証實地面上跑步會有較高的能量消耗，相同速度下，在瀝青地面跑步比在跑步機上要消耗多 10 % 的能量；且以同一速度（16

km·hr⁻¹) 作跑步練習，在跑步機上進行時的心跳率及攝氧量都比在地面跑步時還低。Frishberg (1983) 指出，跑步機的跑帶在支撐期 (support phase) 幫忙將小腿帶到身體後方，使跑者在跑步時較省力。

White 等學者 (1998) 針對跑步機步行與平地步行進行研究，證實兩種步行模式之地面垂直反作用力 (vertical reaction force) 是相似的。此外，跑步機步行與平地步行在肌肉活化型態、關節力矩、關節力量有些許差異，但整體的趨勢很相近 (Lee & Hidler, 2007)。Nigg 等學者 (1995) 證實跑步機跑步與平地跑步的運動模式是相似的。

相關文獻探討總結

身體活動 (physical activity) 是指身體骨骼肌收縮並消耗能量的各種活動，身體活動量越大就消耗越多能量，其中最容易增加身體活動量、且最多人從事的運動就是跑步。從文獻中知道 $\dot{V}O_2$ 、心跳、加速度等指標可以推估跑步過程中的能量消耗，且高強度運動中， $\dot{V}O_2$ 與心跳有高相關性。

利用身體活動時產生的加速度來測量身體活動量，三軸加速規的準確性優於單軸加速規，而且身體的擺放位置通常是手腕、腰部 (下背)、腳踝，這需要按照運動型態去決定加速規的放置位置。要準確地評估跑步時的身體活動量，可結合身體各部位產生的加速度與心跳進行評估。

因此本研究收取兩種跑步模式之手腕、腳踝之加速度值及各種速度下之穩定心跳率。研究目標：（一）利用加速規測量跑步時手腕、腳踝產生的加速度，探討不同跑步模式的差異性，（二）利用手腕、腳踝在跑步過程中產生之加速度建立心跳與跑步速度之迴歸公式。

第參章 材料與方法

本研究方法共分成五個部份來加以說明：一、實驗參與者；二、實驗設計；三、實驗步驟；四、材料方法；五、資料處理；六、統計分析。

第一節 實驗參與者

15位自願參與者(年齡: 27.6 ± 7.4 歲,身高 172.8 ± 6.3 公分,體重: 67.3 ± 7.5 公斤),為一般有從事規律運動之男性年輕人,年齡介於20~30歲之間,經研究說明後同意參與本研究。並且詢問受試者是否有會影響一般心肺運動的病史,或者是從事一般心肺運動應該注意的特別事項,以減少實驗過程中傷害的產生。所有參與者在參與實驗的近六個月內,皆無下肢神經、肌肉、骨骼、肌腱、韌帶和心血管方面的疾病,並且擁有從事一般有氧活動的心肺能力,也可以適應在跑步機上跑步。

第二節 實驗設計

實驗參與者佩帶心率錶 (Polar S625X),在身上的兩個部位(手腕、腳踝)各放置一個雙軸加速規,分別於跑步機、實際跑道兩種情境下跑步。

實驗參與者在4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下進行跑步,在每個速度下跑步60秒後,待實驗進行者確認實驗參與者的心跳達到穩

定後（連續 10 秒，誤差 ± 3 下），收取實驗參與者的穩定心跳及各部位產生的加速度。

取 30 秒中間 20 秒的穩定心跳得出一平均值，並計算此 20 秒中各部位前後軸、縱向軸、矢狀面（sagittal plane）加速度總和，將各部位前後軸、縱向軸加速度、矢狀面加速度與穩定心跳進行相關分析（correlation），找出哪個部位與方向的加速度最能代表跑步時身體活動量。

置於實驗參與者身上之加速規位置、座標如下，圖 2 為手腕，圖 3 為腳踝。採用解剖學定義手腕前後軸為肢段末段（distal axis），手腕縱向軸定義為肢段中間（medial axis）；腳踝前後軸為肢段向前的方向（anterior axis），腳踝縱向軸為肢段末段（distal axis）。

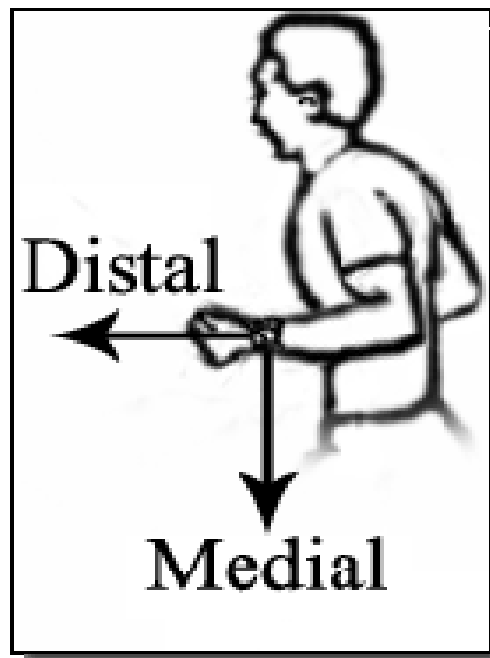


圖 2 實驗參與者手腕加速規放置位置與座標方位

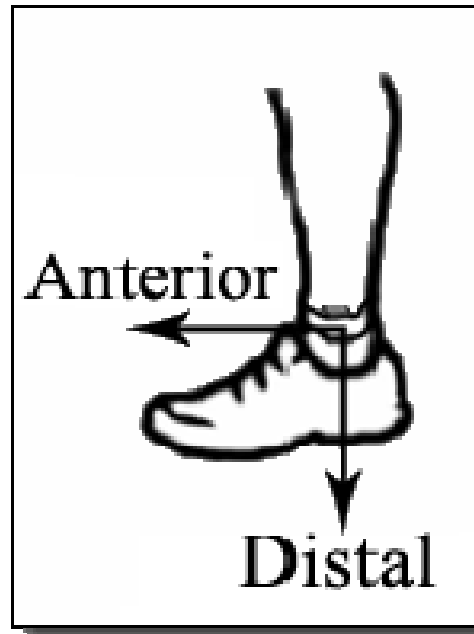


圖 3 實驗參與者腳踝加速規放置位置與座標方位

第三節 實驗步驟

先告知實驗參與者實驗分為兩個部份，並為參與者解釋實驗所有流程，在徵得參與者同意後，讓參與者填寫基本資料。

(一) 校對各項儀器：

跑步機速度：量出電動跑步機之跑帶長度後，在跑帶上用粉筆畫一條直線，透過單位時間內跑帶繞的圈數來推算螢幕顯示之速度是否有誤差，並進行調整。

Polar S625X 心率錶：使用心率錶收集一位實驗參與者安靜時一分鐘的心跳率，並請該實驗參與者自行測量同一時間之脈搏來進行比對。

Polar S625X 心率錶之足部紀錄裝置：一位實驗參與者在 400 公尺 PU 跑道進行一圈的跑步校正其步頻與步幅後，在跑步機上依序以 4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下進行跑步，將心率錶螢幕出現之跑步速度與跑步機螢幕出現之跑步速度進行比對。

光閘計時器：一位實驗參與者在 400 公尺 PU 跑道進行一圈的跑步校正其步頻與步幅後，在 150 公尺的室內 PU 平地上依序以 4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下進行跑步，將心率錶螢幕出現之跑步速度與光閘計時器螢幕出現之跑步速度進行比對。

(二) 心率錶：先將心率傳輸帶電極的部份充分濕潤，之後將心率傳輸帶連結器扣在彈性帶上，並將連結器上大寫字母 L 的部份放置在彈性帶上的單詞 LEFT (左側) 上，然後用力扣上帶扣。調節彈性帶的長度，使其貼身舒適，將彈性帶圍於胸部 (恰好在胸肌下方)，然後扣上第二道帶扣。檢查濕潤的部分緊貼於皮膚，Polar 的標誌於正中的位置。使用 Polar S625X 與軟體 Polar ProTrainer 5 進行實驗，每五秒收取一筆心跳資料，取樣頻率 12 次/分鐘。

(三) 加速規：在實驗參與者的身上放置兩個雙軸加速規，第一個部位為左手手腕，第二個部位為左腳腳踝。先以雙面膠將加速規固定在指定部位，在使用透氣膠布將加速規的線貼牢，以免在實驗中影響實驗參與

者的跑步動作。使用 Biopac MP150 生理訊號擷取器與軟體

AcqKnowledge 3.9.1 進行實驗，取樣頻率 200 Hz。

(四) 跑步機跑步：將心率錶固定在跑步機螢幕旁，心率錶與心率傳輸帶的距離保持在一公尺以內，確認四周圍無同樣配戴心率錶的人士，以及高壓電線、電視等其他電磁干擾源。

按下心率錶上的紅色按鈕，靜待心率錶取得實驗參與者的心跳資料，確定螢幕上心跳符號開始閃爍，並有數字穩定出現，再按一次紅色按鈕，開始紀錄實驗參與者的心跳。

實驗參與者依序在 4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下進行跑步，由電動跑步機控制跑帶速度，在每個速度下跑步 60 秒，待實驗進行者確認實驗參與者的心跳達到穩定後（連續 10 秒，誤差 ± 3 下），按下錶面的紅色按鈕，開始紀錄當時的穩定心跳，同時 AcqKnowledge 開始收取實驗參與者各部位產生的加速度。

當 30 秒結束後，AcqKnowledge 自動停止收取加速度資料，實驗進行者再次按下錶面的紅色按鈕，完成第一階段的心跳資料收取，之後重覆六次相同動作。

(五) 平地跑：將心率錶的足部記錄裝置置於實驗參與者左腳運動鞋的鞋舌，將心率錶戴在實驗參與者右手手腕，以 4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下在 400 公尺 PU 跑道進行一圈的跑步，校正不同速度的步幅與步頻。心率錶與心率傳輸帶的距離保持在一公尺以內，確認四周圍無同樣配戴心率錶的人士，以及高壓電線、電視等其他電磁干擾源。

按下心率錶上的紅色按鈕，靜待心率錶取得實驗參與者的心跳資料，確定螢幕上心跳符號開始閃爍，並有數字穩定出現，再按一次紅色按鈕，開始紀錄實驗參與者的心跳。

實驗參與者沿著總長 150 公尺的室內 PU 平地進行逆時針方向跑步（場地配置如圖 4），藉由心率錶的足部記錄裝置計算實驗參與者的跑步速度，依序在 4、6、8、10、12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 的速度下進行跑步，實驗進行者確定實驗參與者抵達指定速度，立即要求維持均速（以每 25 公尺為區段，設置會閃爍的燈號，確認受試者在指定時間內通過標誌筒）。

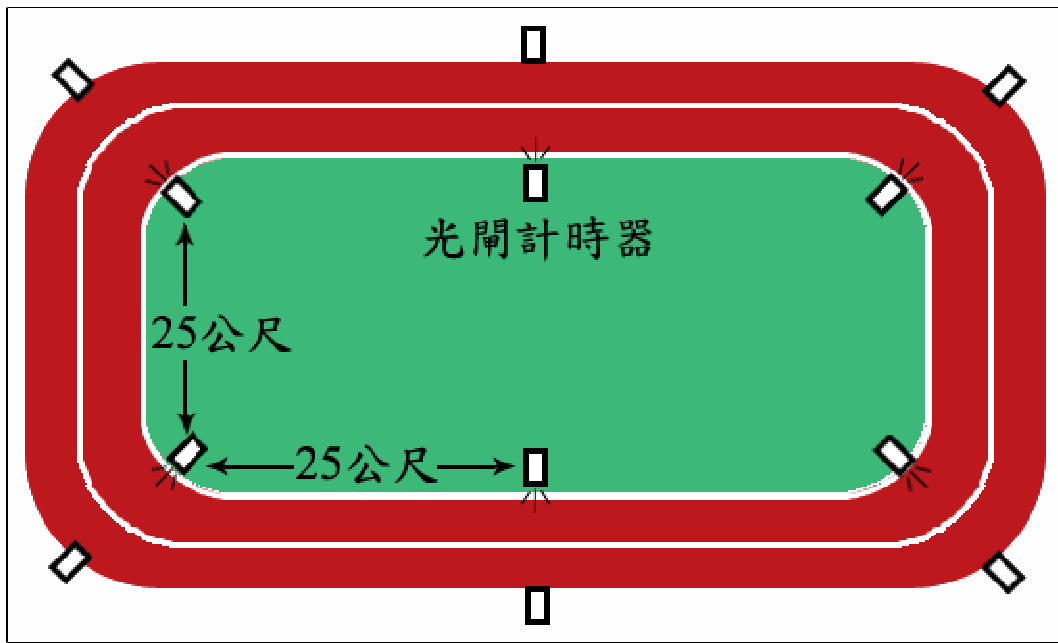


圖 4 實際跑道跑步之場地配置圖

在每個速度下進行兩圈的跑步後，待實驗進行者確認實驗參與者的心跳達到穩定（連續 10 秒，誤差 ± 3 下）後，實驗參與者按下錶面的紅色按鈕，開始紀錄當時的穩定心跳，同時 AcqKnowledge 開始收取實驗參與者各部位產生的加速度。

當 30 秒結束後，AcqKnowledge 自動停止收取加速度資料，實驗參與者再次按下錶面的紅色按鈕，完成第一階段的心跳資料收取，之後重覆六次相同動作。

(六) 各項儀器校正結果：

進行實驗前以 Polar S625X 心率錶之足部紀錄裝置對跑步機速度進行校對，校對結果如圖 5。顯示足部紀錄裝置與跑步機速度的相關性極高 ($r=.99$)，證實 Polar S625X 心率錶之足部紀錄裝置可準確顯示實驗參與者在跑步機上之跑步速度。

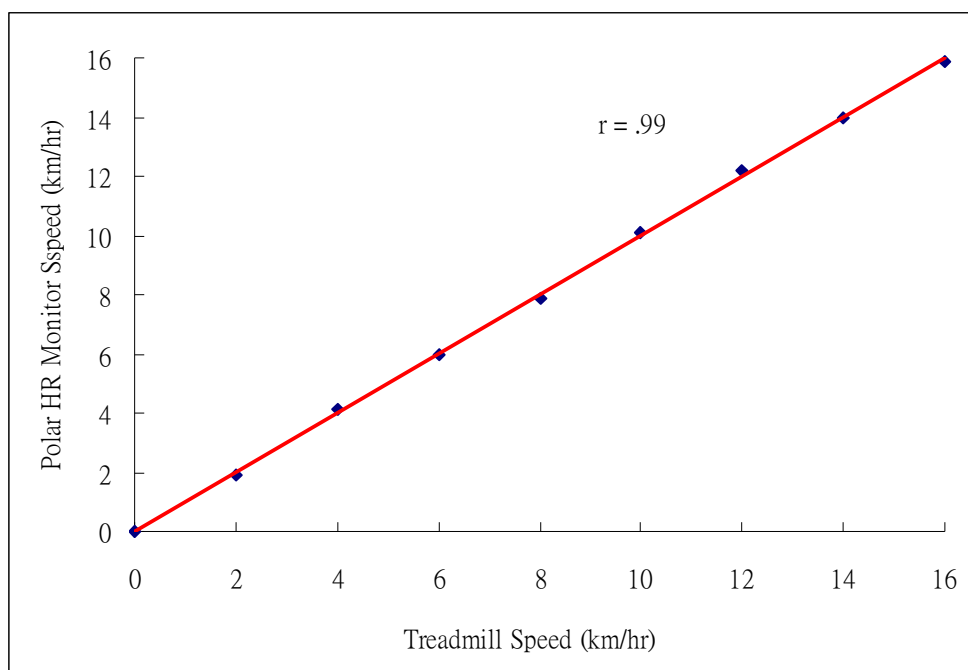


圖 5 跑步機速度與 Polar 心率錶之足部紀錄裝置之相關性

進行實驗前以 Polar S625X 心率錶之足部紀錄裝置對光閘記時器進行校對，校對結果如圖 6。顯示足部紀錄裝置與光閘記時器所顯示的速度有極高相關性 ($r=.99$)，證實 Polar S625X 心率錶之足部紀錄裝置可準確顯示實驗參與者在平地跑之跑步速度。

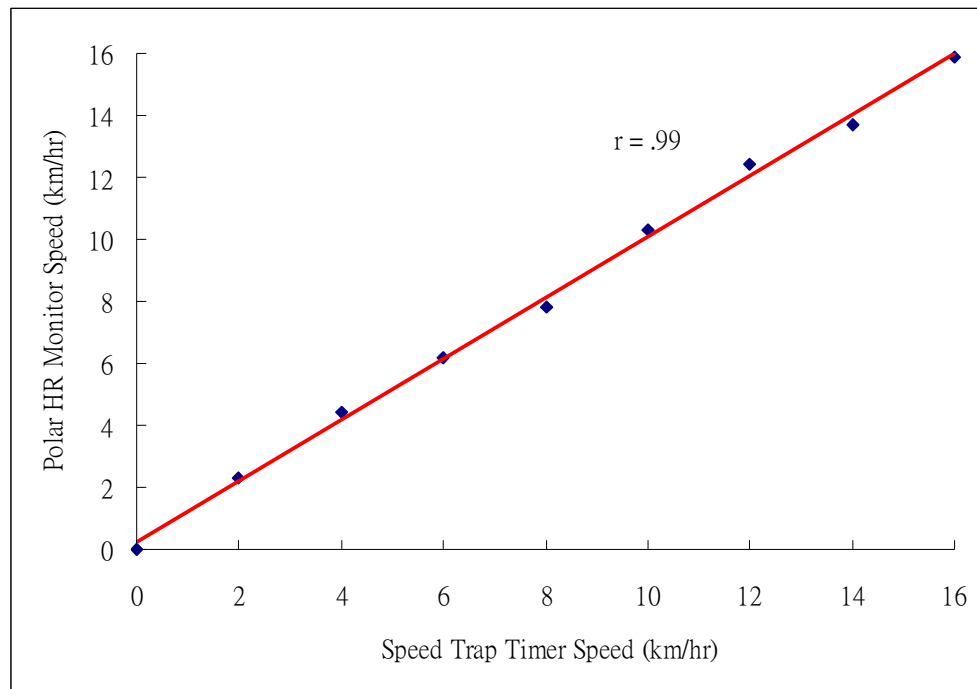


圖 6 光閘記時器速度與 Polar 心率錶之足部紀錄裝置之相關性

將兩種跑步模式之心跳進行比較，結果如圖 7。可看出兩種跑步模式在不同速度之平均心跳未達到顯著差異，表示兩種跑步模式在穩定心跳率部分控制地很準確。

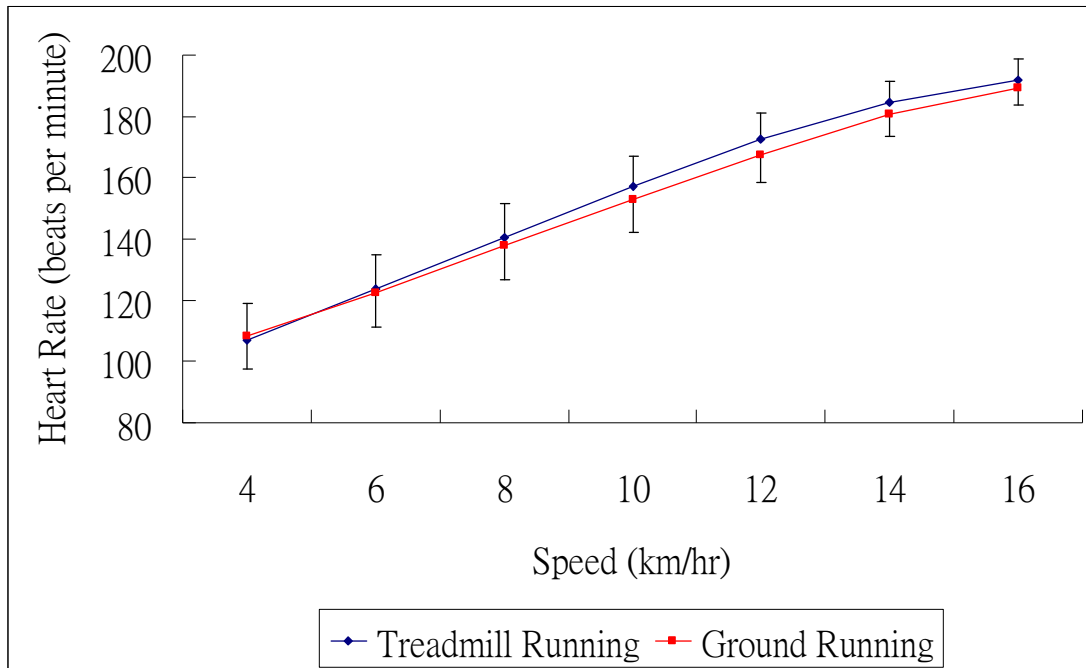


圖 7 兩種跑步模式之心跳比較

第四節 材料方法

(一) SensorMedics 2000 跑步機：本實驗使用的跑步機（圖 8），為 marquette 出產的 2000 系列第三代跑步機，可作為復健用，為了使用上安全，跑道長達 60 英吋，並且設有緊急按鈕。跑步機的速度為每小時 0 到 13.6 英哩，可承受 450 磅體重，坡度可從百分之 0 到 25。跑步機 181.4 公斤重，馬達 3.0 匹馬力，可自行對速度和坡度作校正。



圖 8 SensorMedics 2000 跑步機

(二) Biopac MP150 生理訊號擷取器：此為電腦化多功能生理訊號擷取記錄器（圖 9），提供高解析度（16 位元），類比及計算不同之取樣率，16 個類比輸入以及 2 個類比輸出，數位輸入/輸出（自動控制其他 TTL 電平設備）及 16 個即時計算頻道。本研究使用軟體 AcqKnowledge 3.9.1 進行實驗所得類比訊號分析及運算。



圖 9 Biopac MP150 生理訊號擷取器

(三) 加速規：本研究使用兩個由 CROSSBOW 公司所生產的雙軸加速規（圖 10），型號為 CXL25LP3，加速度為 $\pm 25g$ 。



圖 10 CROSSBOW 雙軸加速規

(四) 心率錶：本研究使用 POLAR 公司所生產的心率錶，型號為 S625X（圖 11、圖 12），這是以跑步為主的心率錶，可透過 IrDA 紅外線傳輸的方式將跑步的相關資料（跑步時間、跑步距離、心跳變化、總消耗卡路里）傳輸至電腦。並可以預先透過 Polar 個人優化訓練功能規劃多組訓練內容，達到目標強度與適合的間歇時間，讓使用者的訓練與競賽更有效率。本研究使用軟體 Polar ProTrainer 5 進行實驗所得心跳與時間之運算。



圖 11 Polar S625X 心率錶



圖 12 Polar S625X 之足部紀錄裝置

(五) 遙測系統：本研究使用 Biopac 公司生產之遙測系統，包含以下四樣設備（圖 13、圖 14），含四個頻道之放大器 TEL 100M-C（取樣頻率 50~50000Hz，濾波 0.5Hz 或 0.05Hz）；與放大器相連接之電波發射器 TEL100T；含四個頻道之解調器 TEL 100D-RF（濾波 35Hz 或 500Hz，需與 Biopac MP150 生理訊號擷取器連接）；以及電波接受器 TEL 100R。

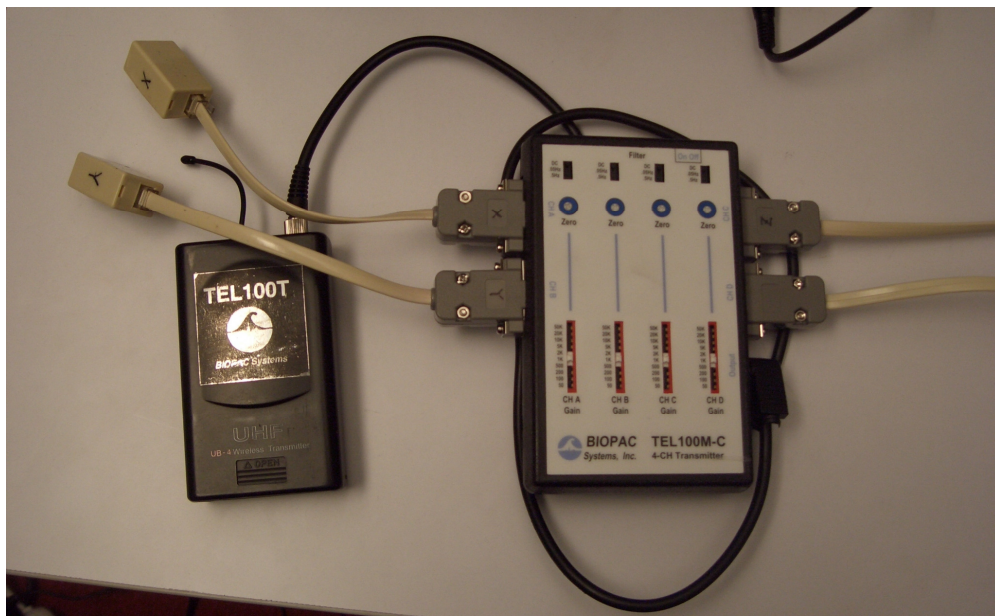


圖 13 電波發射器 TEL100T(左)與放大器 TEL 100M-C(右)



圖 14 電波接受器 TEL 100R(上)與解調器 TEL 100D-RF(下)

第五節 資料處理

(一) 加速度：取 30 秒中間 20 秒之手腕、腳踝的前後軸、縱向軸加速度值，計算其矢狀面加速度總和，與時間積分；加速度積分值單位為 $\text{sec} \cdot \text{G}$ 。

其中平地跑之加速度訊號值以低通濾波 (low pass) 5 Hz 進行濾波，去除遙測系統收取平地跑加速度訊號值之雜訊。

(二) 心跳：取 30 秒中間 20 秒的穩定心跳得出一平均值，單位為 bpm (beats per minute)。

第六節 統計分析

使用皮爾森積差相關 (Pearson product-moment correlation) 比較加速規所計算的手腕、腳踝之前後軸、縱向軸、矢狀面加速度總和與心跳率之間的相關性。

使用重覆量測單因子變異數分析 (repeated measured one-way ANOVA)，由加速規所計算的手腕、腳踝之矢狀面加速度積分值在不同跑步模式之差異性， $\alpha = .01$ 。實驗結果以 SPSS 13.0 軟體分析。

第肆章 結果

本研究所有實驗參與者在兩種跑步模式、各種速度下之心跳、不同部位加速度積分值的原始資料及平均值於附錄四呈現。

(一) 不同部位加速度積分值與心跳之相關性

將所有實驗參與者於兩種跑步模式之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳進行相關，結果如下。圖 15 為跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖，圖 16 為跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖，圖 17 為平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖，圖 18 為平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖。可看出兩種跑步模式下，手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之相關性很高。

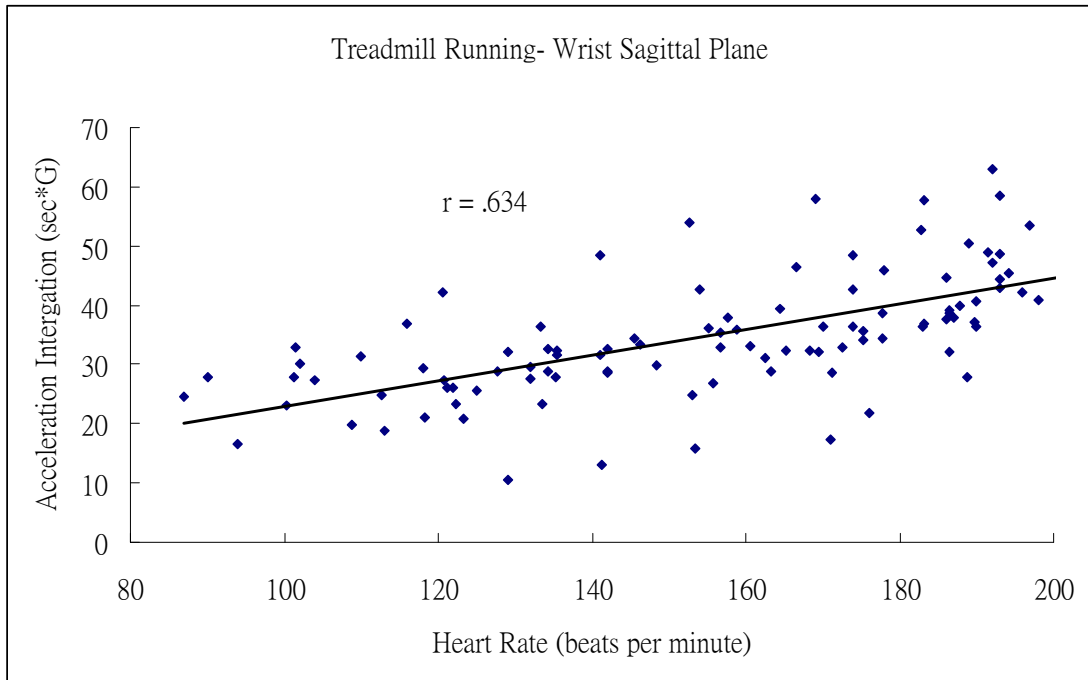


圖 15 跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖

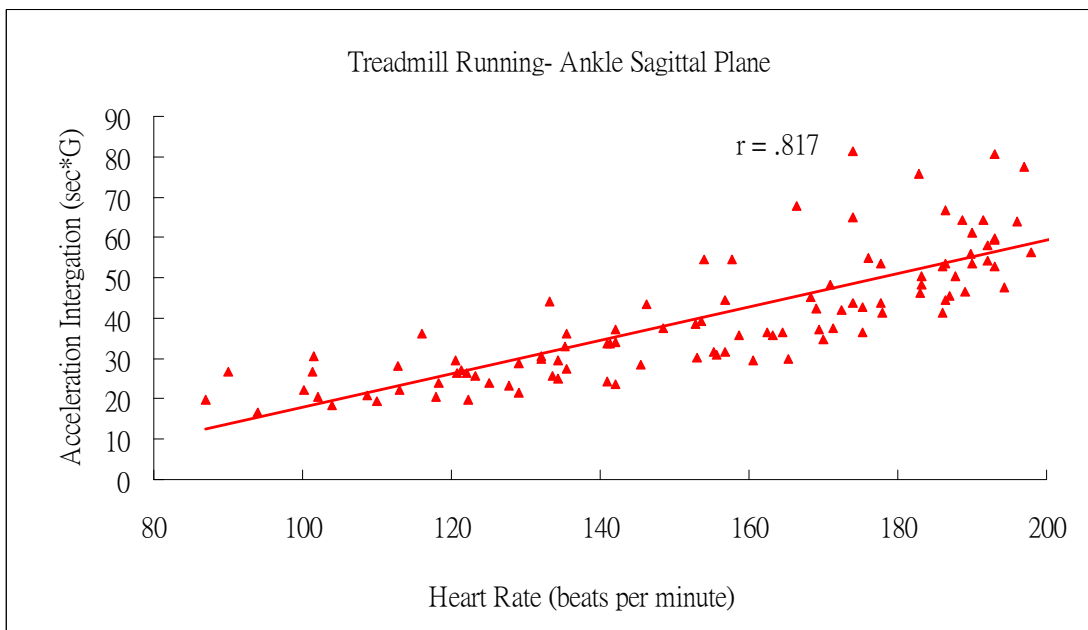


圖 16 跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖

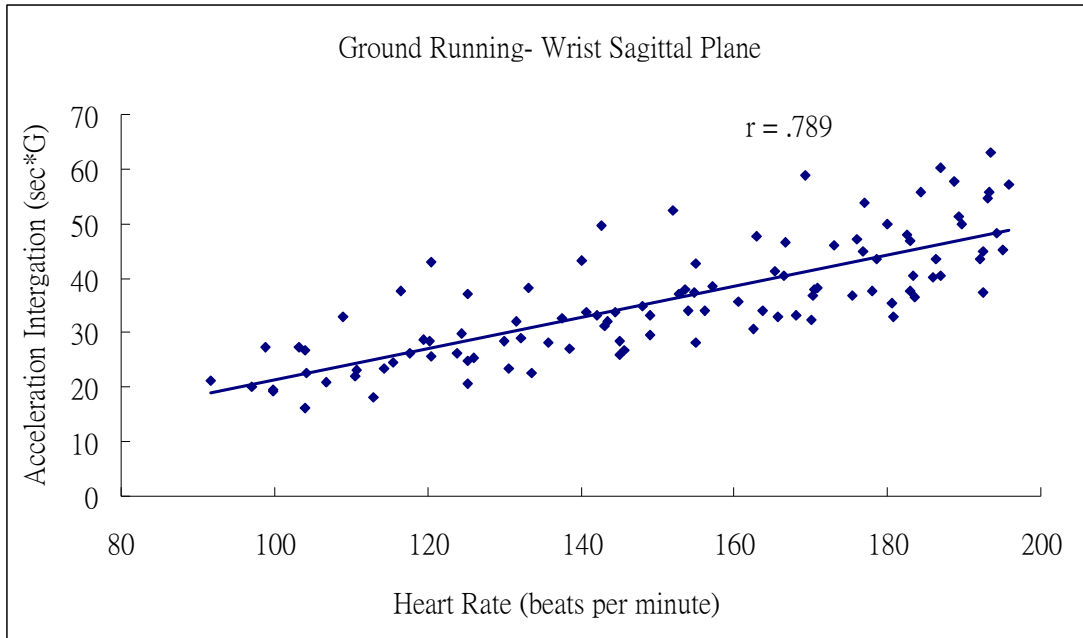


圖 17 平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖

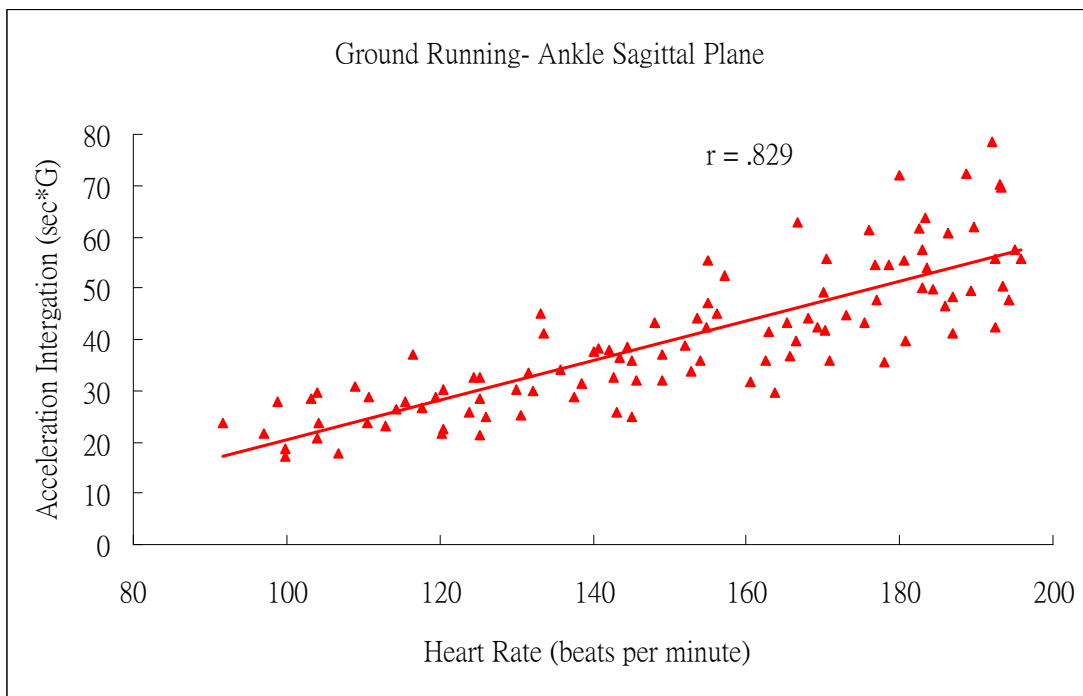


圖 18 平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之分佈圖

表二為兩種跑步模式手腕之前後軸(distal axis)、縱向軸(medial axis) 加速度積分值與心跳進行相關之結果。表三為兩種跑步模式腳踝之前後軸(anterior axis)、縱向軸(distal axis) 加速度積分值與心跳進行相關之結果。表四為兩種跑步模式之手腕、腳踝之矢狀面(sagittal plane) 加速度積分值與心跳進行相關之結果。

表二 兩種跑步模式手腕之前後軸、縱向軸加速度積分值與心跳之相關性

		Wrist
Treadmill Running	Distal Axis	.773*
	Medial Axis	.252
Ground Running	Distal Axis	.717*
	Medial Axis	.584

*P < .01

表三 兩種跑步模式腳踝之前後軸、縱向軸加速度積分值與心跳之相關性

		Ankle
Treadmill Running	Anterior Axis	.842*
	Distal Axis	.585
Ground Running	Anterior Axis	.814*
	Distal Axis	.667

*P < .01

表四 兩種跑步模式，手腕、腳踝之矢狀面加速度積分值與心跳之相關性

		Sagittal Plane
Treadmill Running	Wrist	.634
	Ankle	.817*
Ground Running	Wrist	.789*
	Ankle	.829*

*P < .01

如表所示，前後軸加速度積分值與心跳皆達到顯著相關，縱向軸加速度積分值與心跳皆未達到顯著相關，矢狀面加速度積分值僅<跑步機—手腕>未達到顯著相關 ($P > .01$)。

本研究所有實驗參與者個別在兩種跑步模式，手腕、腳踝之前後軸、縱向軸、矢狀面加速度積分值與心跳之相關係數於附錄五呈現。

(二) 不同部位加速度積分值與心跳之趨勢分佈

將實驗參與者於兩種跑步模式之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖個別呈現出來，結果如下。圖 19 為跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖，圖 20 為跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖，圖 21 為平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖，圖 22 為平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖。可看出手腕矢狀面加速度積分值隨著速度呈現線性關係，而腳踝矢狀面加速度積分值隨著速度呈現乘冪關係。

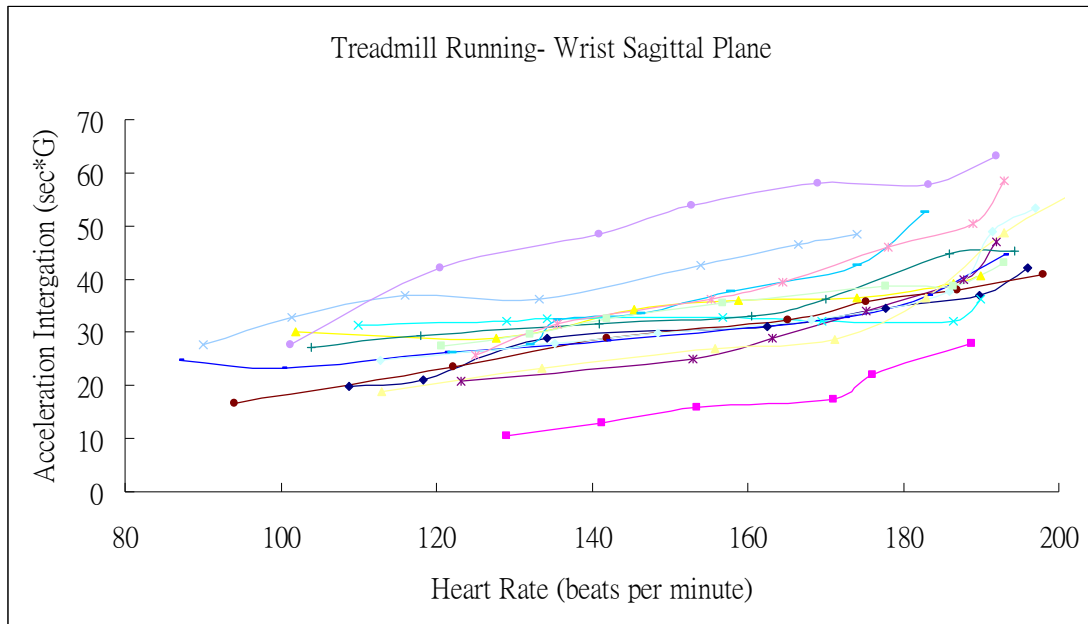


圖 19 跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖

(不同曲線代表不同實驗參與者)

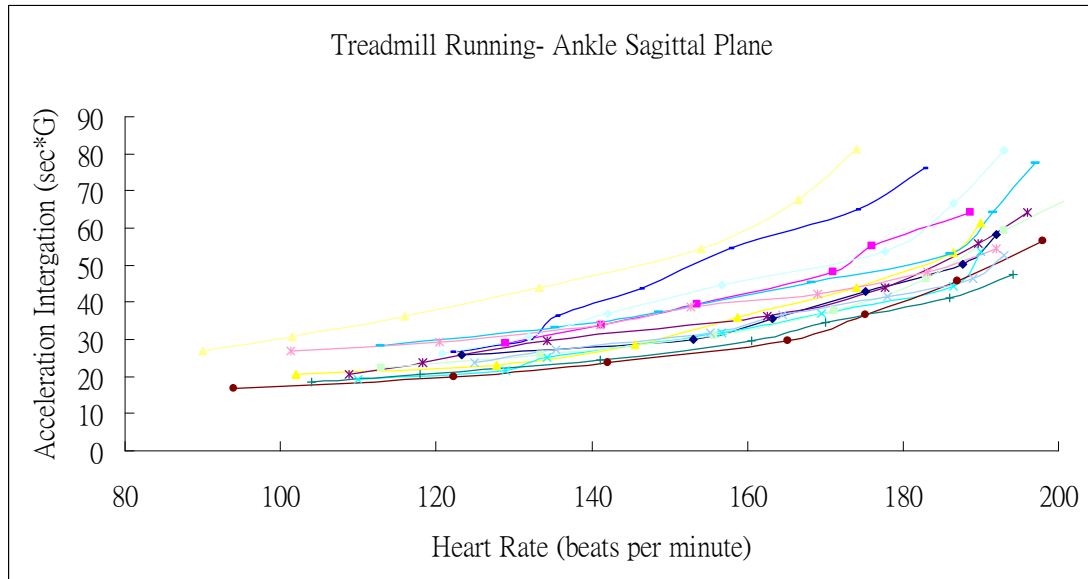


圖 20 跑步機—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖

(不同曲線代表不同實驗參與者)

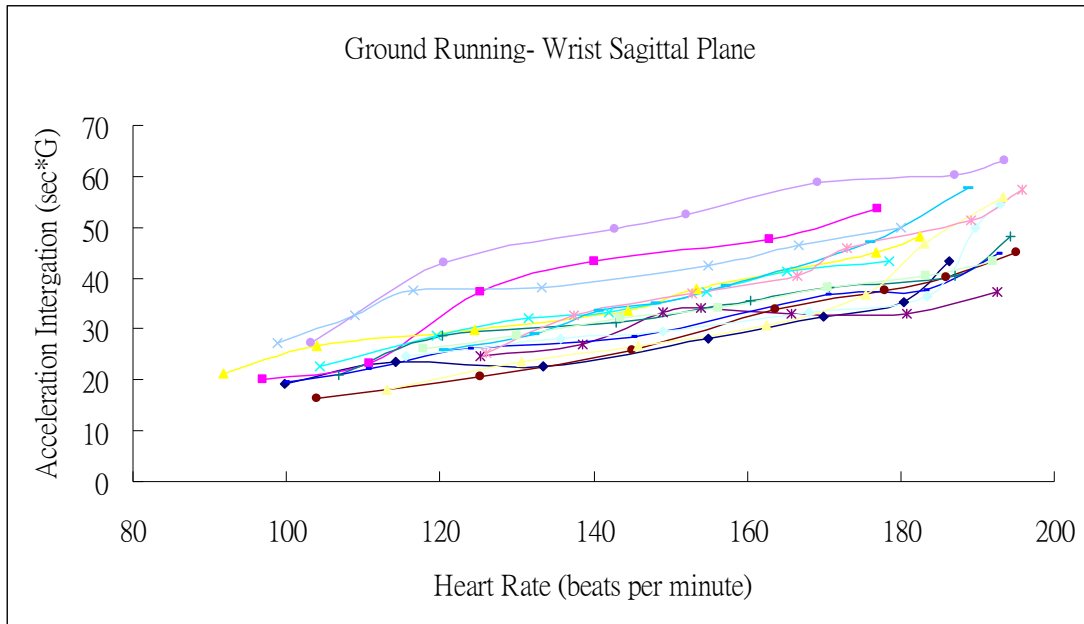


圖 21 平地跑—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖

(不同曲線代表不同實驗參與者)

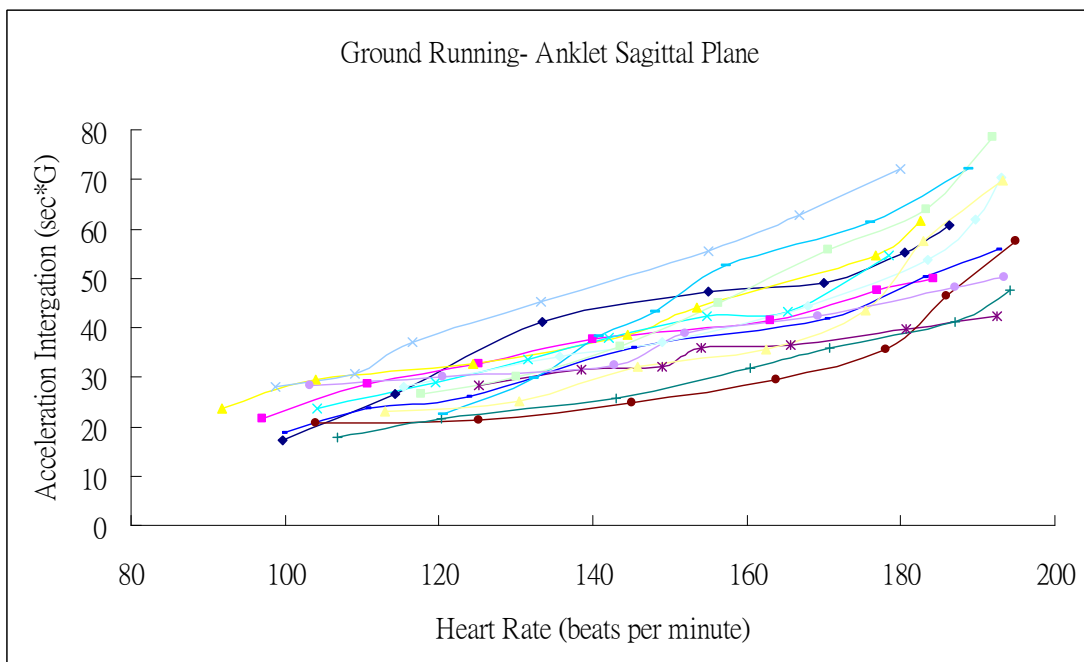


圖 22 平地跑—腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之曲線圖

(不同曲線代表不同實驗參與者)

(三) 跑步機跑步與平地跑之差異

不同跑步模式

將兩種跑步模式之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳進行比較，結果如下。圖 23 為跑步機，圖 24 為平地跑。

可發現跑步機跑步時，手腕矢狀面加速度積分值隨著速度高於腳踝矢狀面加速度積分值，且在速度 14、16 km·hr⁻¹ 達到顯著差異 (P < .01)；平地跑時，腳踝矢狀面加速度積分值隨著速度高於手腕矢狀面加速度積分值，且在速度 14、16 km·hr⁻¹ 達到顯著差異 (P < .01)。

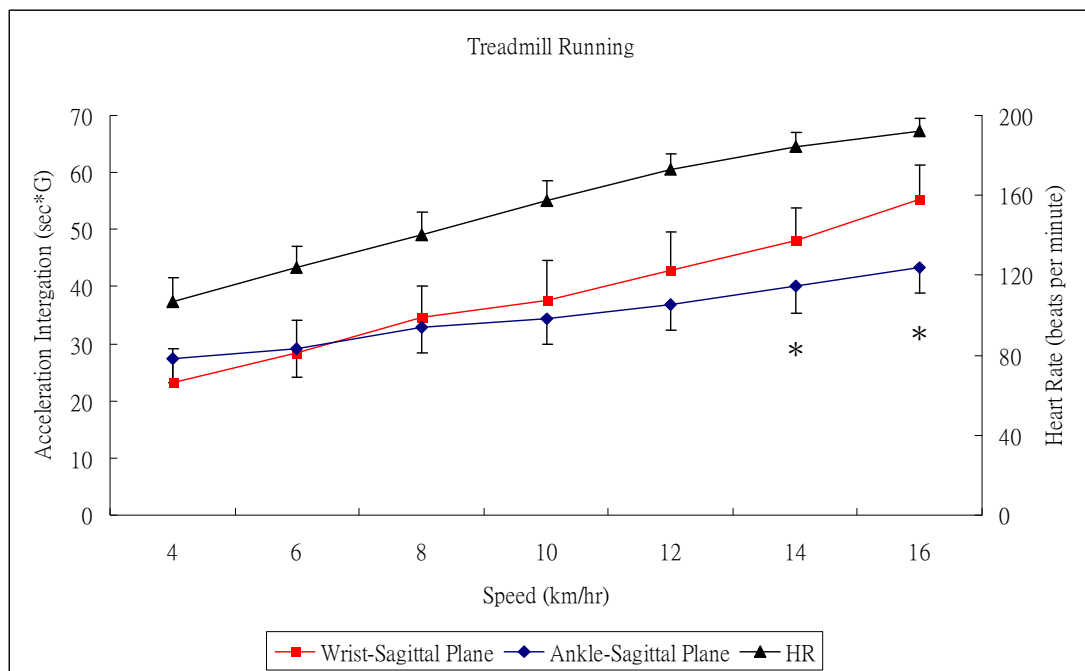


圖 23 跑步機之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之比較

(*表示達顯著差異。最上方折線為心跳，對照右方縱軸之刻度，)

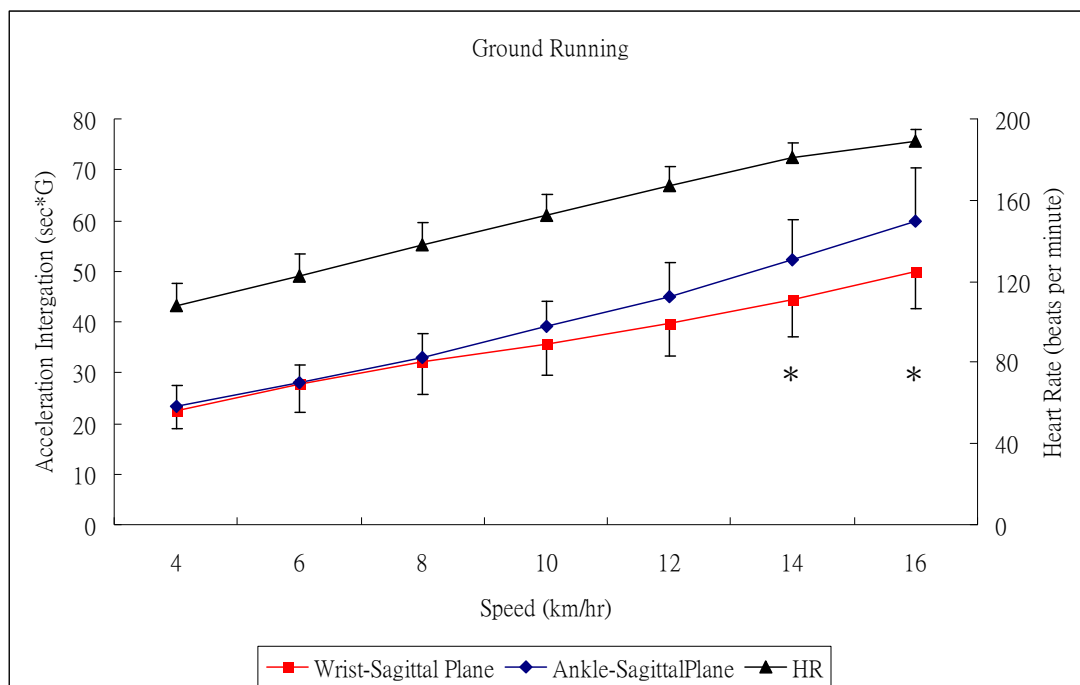


圖 24 平地跑之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳之比較

(*表示達顯著差異。最上方折線為心跳，對照右方縱軸之刻度)

身體不同部位

個別將兩種跑步模式之手腕矢狀面加速度積分值、腳踝矢狀面加速度積分值進行比較，結果如下。圖 25 為手腕矢狀面加速度積分值，圖 26 為腳踝矢狀面加速度積分值。

可發現兩種跑步模式之矢狀面加速度積分值無顯著差異；但腳踝矢狀面加速度積分值部分，平地跑的值稍高，而且在速度 12、14、16 km·hr⁻¹ 達到顯著差異 (P < .01)。

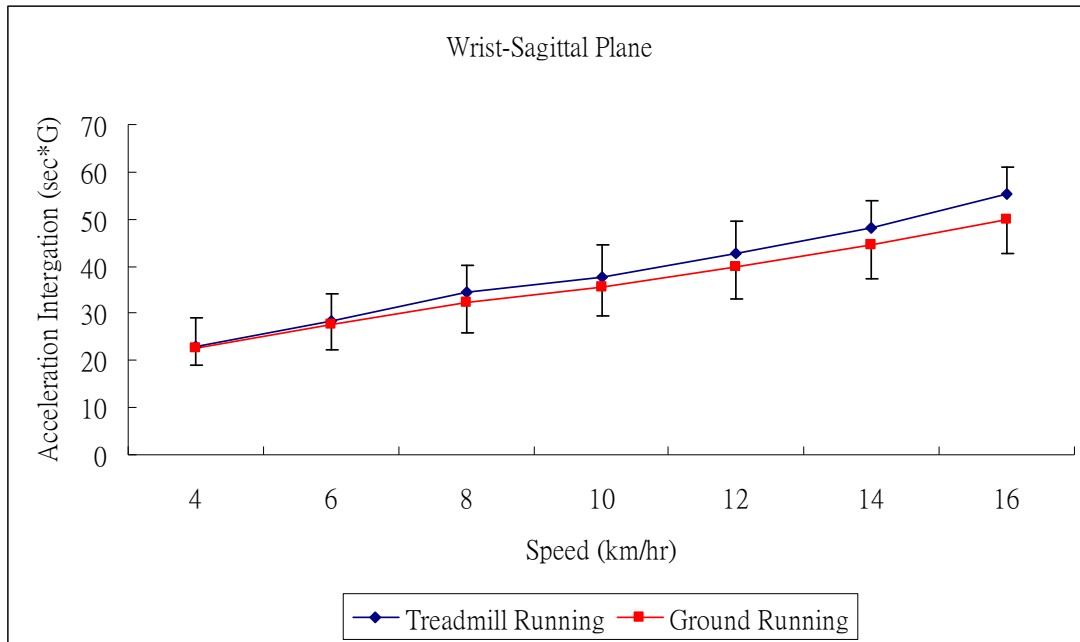


圖 25 兩種跑步模式之手腕矢狀面加速度積分值比較

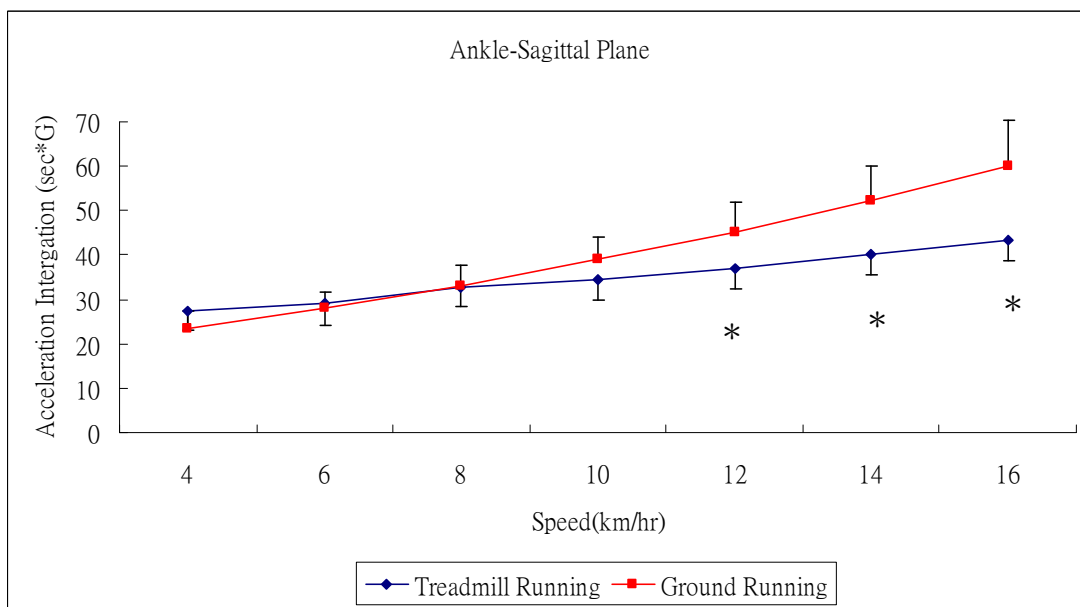


圖 26 兩種跑步模式之腳踝矢狀面加速度積分值比較

(*表示達顯著差異)

(四) 利用加速度積分值建立心跳迴歸公式

從表二、表三、表四可看出，前後軸加速度積分值與心跳皆達到顯著相關，縱向軸加速度積分值與心跳皆未達到顯著相關，矢狀面加速度積分值僅<跑步機—手腕>未達到顯著相關 ($P > .01$)。因此本研究以兩種跑步模式之不同部位前後軸、矢狀面加速度積分值建立心跳迴歸公式。

圖 27 為跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 28 為跑步機手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 29 為跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 30 為跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 31 為平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 32 為平地跑手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 33 為平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式，圖 34 為平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式。

由於二項式趨勢線之相關係數高於線性趨勢線，因此本研究心跳迴歸公式皆採用二項式之趨勢線。

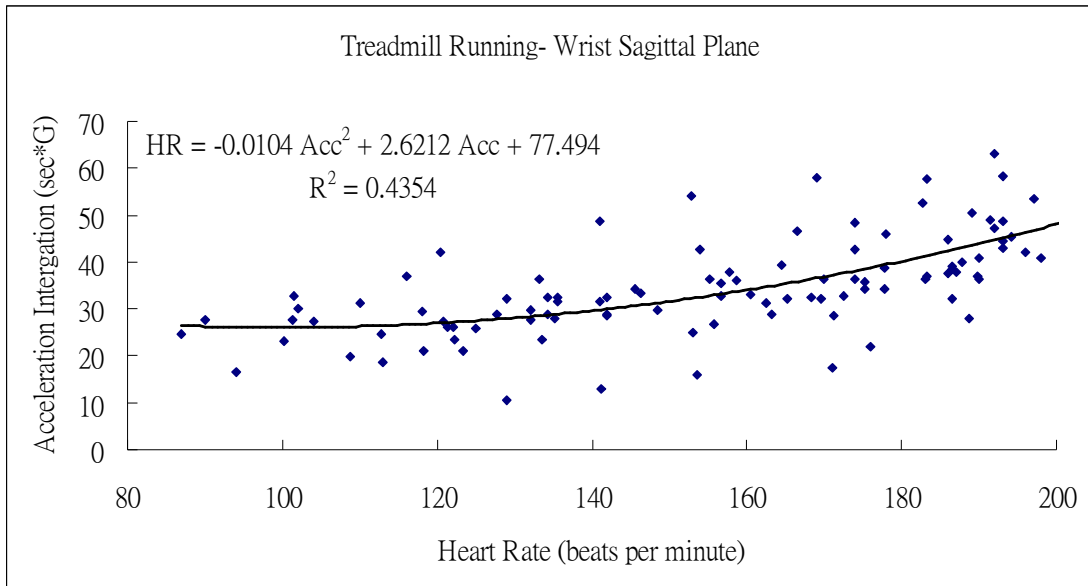


圖 27 跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式

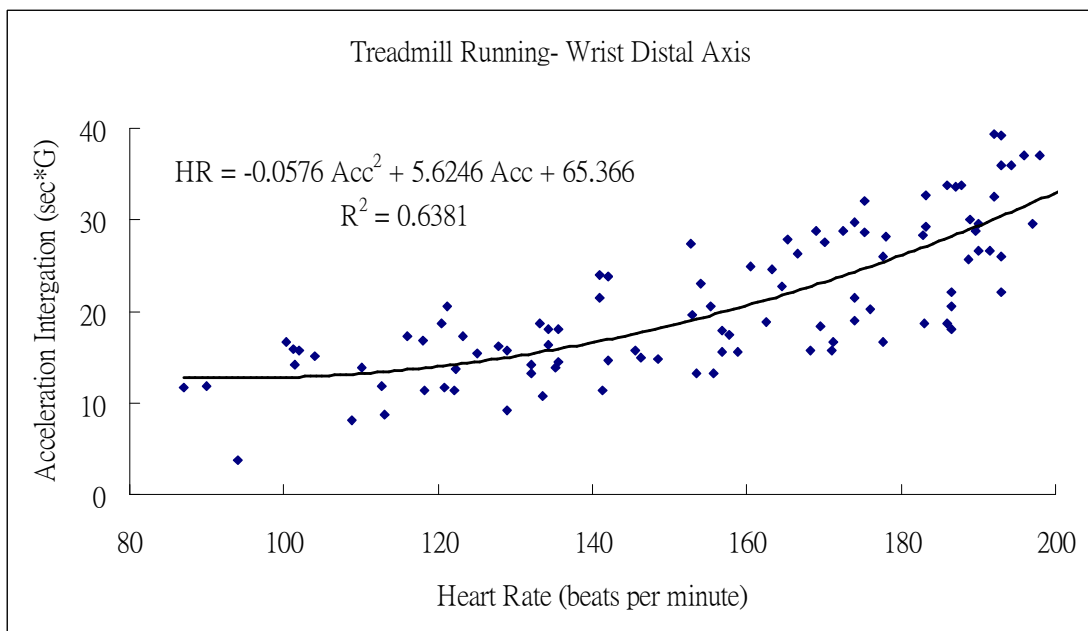


圖 28 跑步機手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式

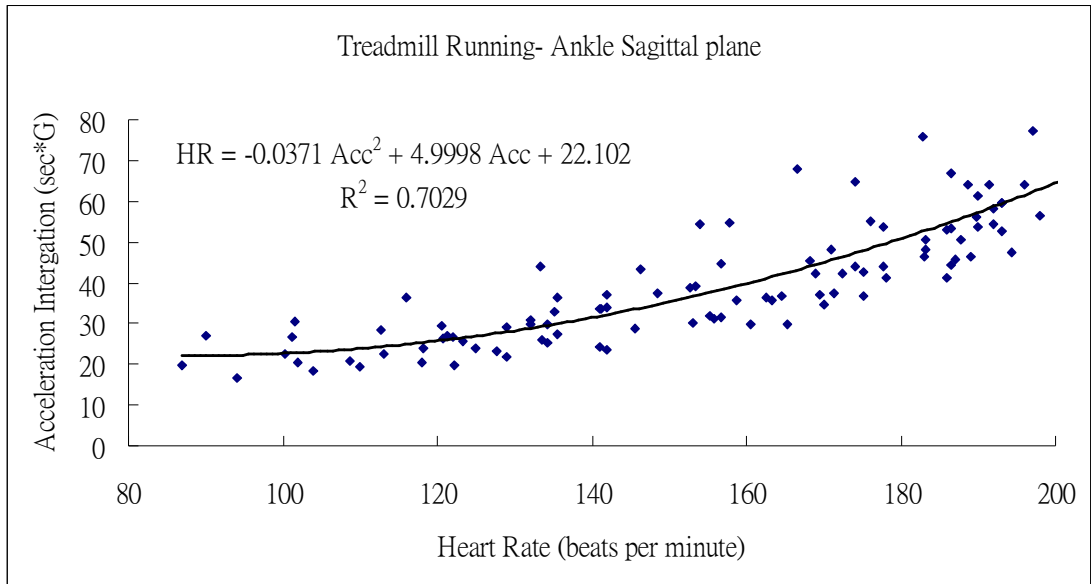


圖 29 跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式

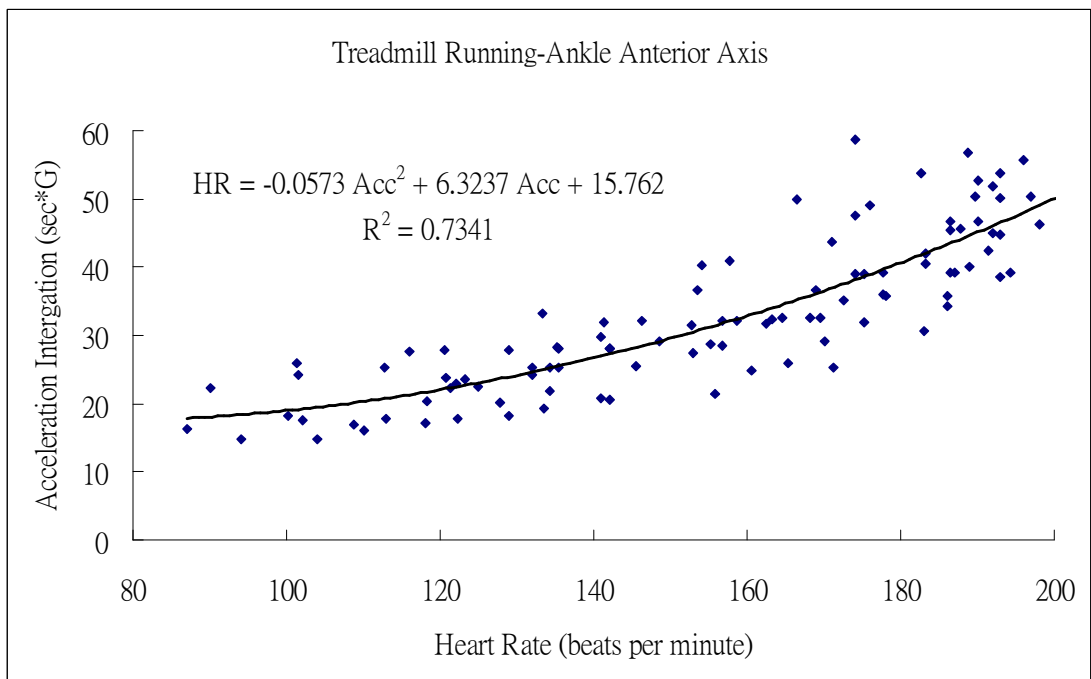


圖 30 跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式

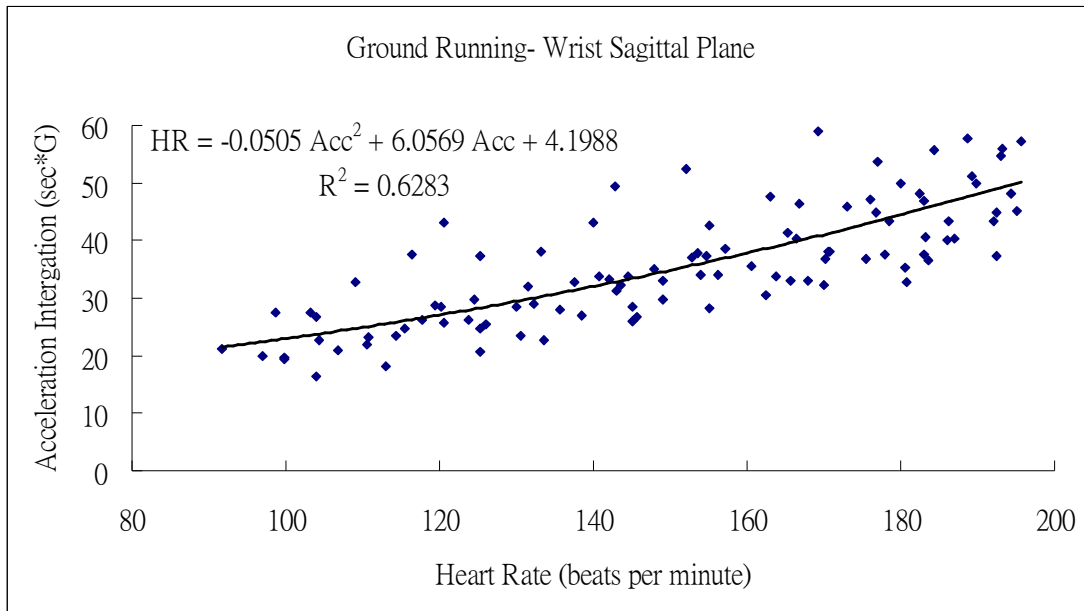


圖 31 平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式

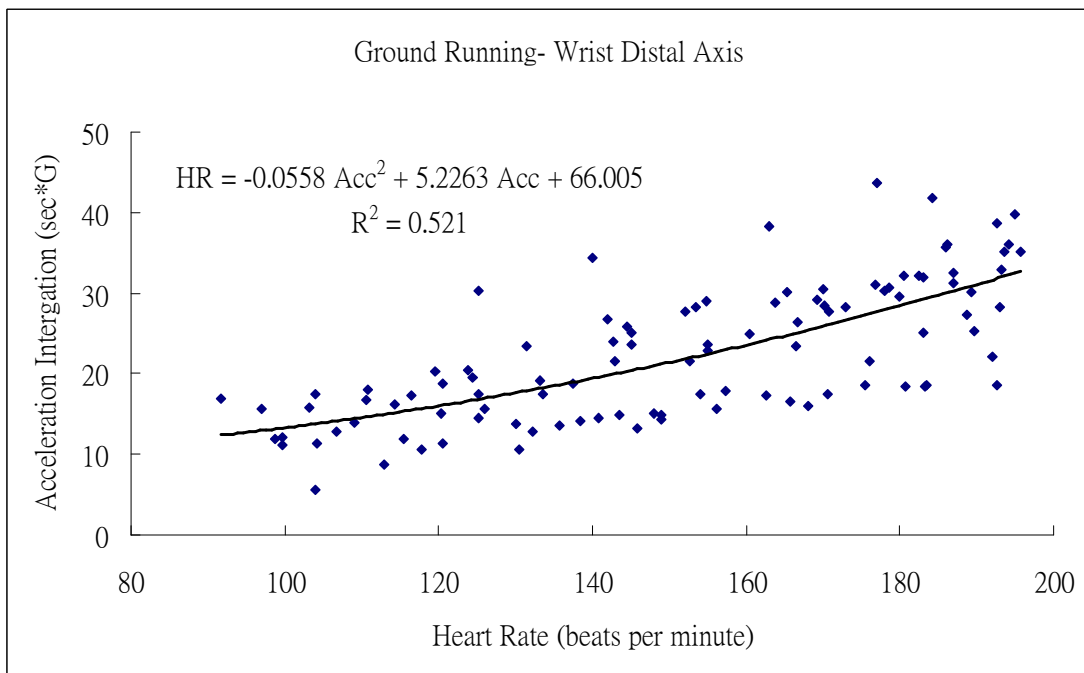


圖 32 平地跑手腕前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式

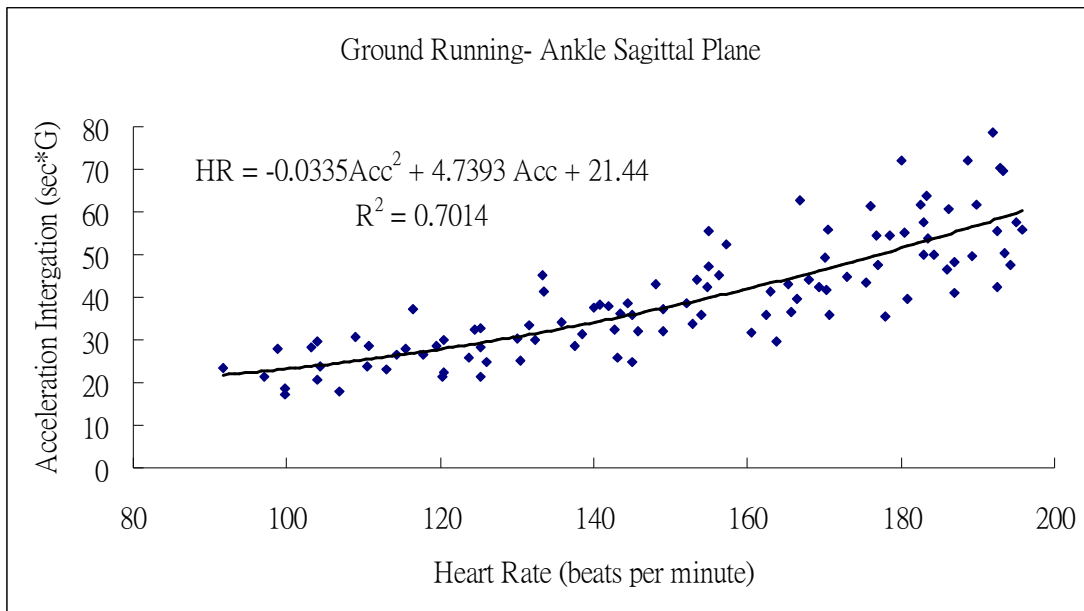


圖 33 平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估心跳之迴歸公式

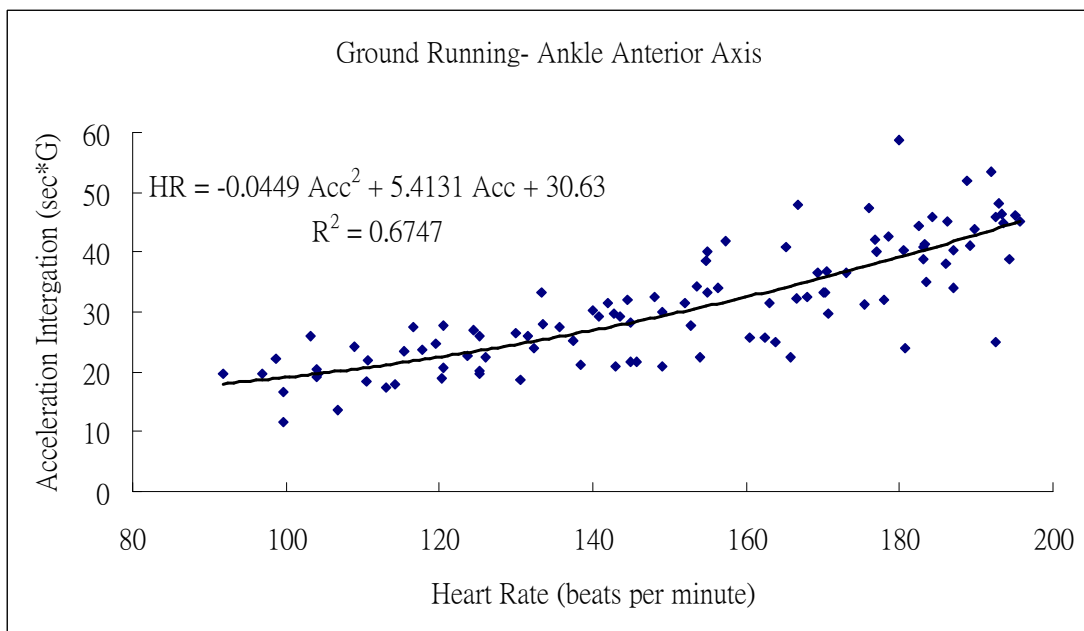


圖 34 平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估心跳之迴歸公式

(五) 利用加速度積分值建立跑步速度迴歸公式

從表二、表三、表四可看出，前後軸加速度積分值與心跳皆達到顯著相關，縱向軸加速度積分值與心跳皆未達到顯著相關，矢狀面加速度積分值僅<跑步機—手腕>未達到顯著相關 ($P > .01$)。因此本研究以兩種跑步模式之不同部位前後軸、矢狀面加速度積分值建立跑步速度迴歸公式。

圖 35 為跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 36 為跑步機手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 37 為跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 38 為跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 39 為平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 40 為平地跑手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 41 為平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式，圖 42 為平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式。

由於二項式趨勢線之相關係數高於線性趨勢線，因此本研究跑步速度迴歸公式皆採用二項式之趨勢線。

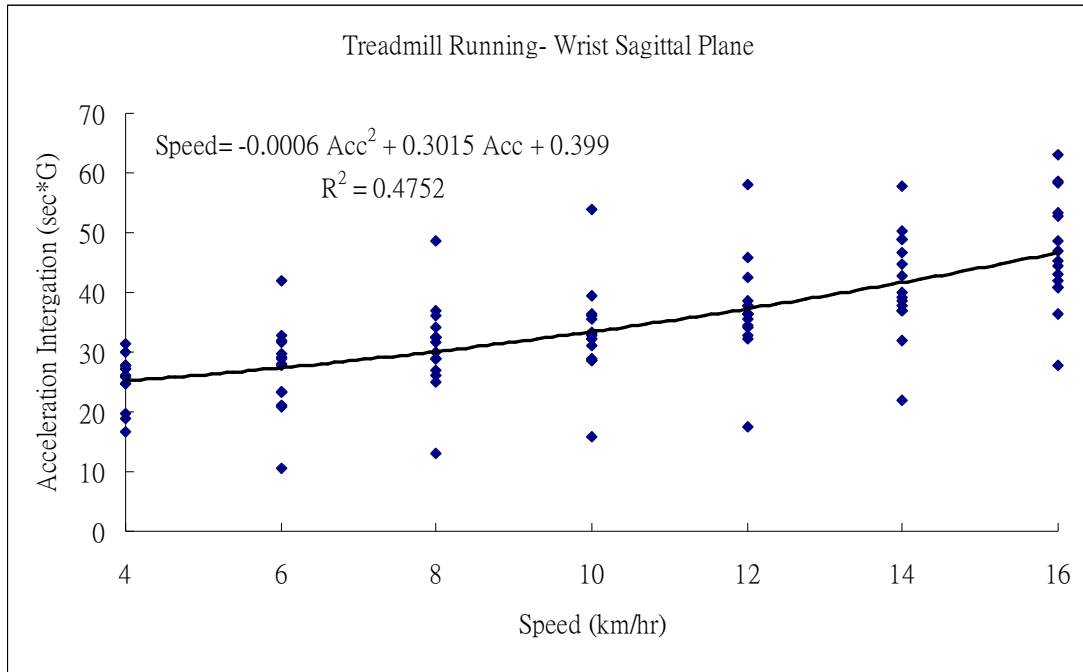


圖 35 跑步機手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

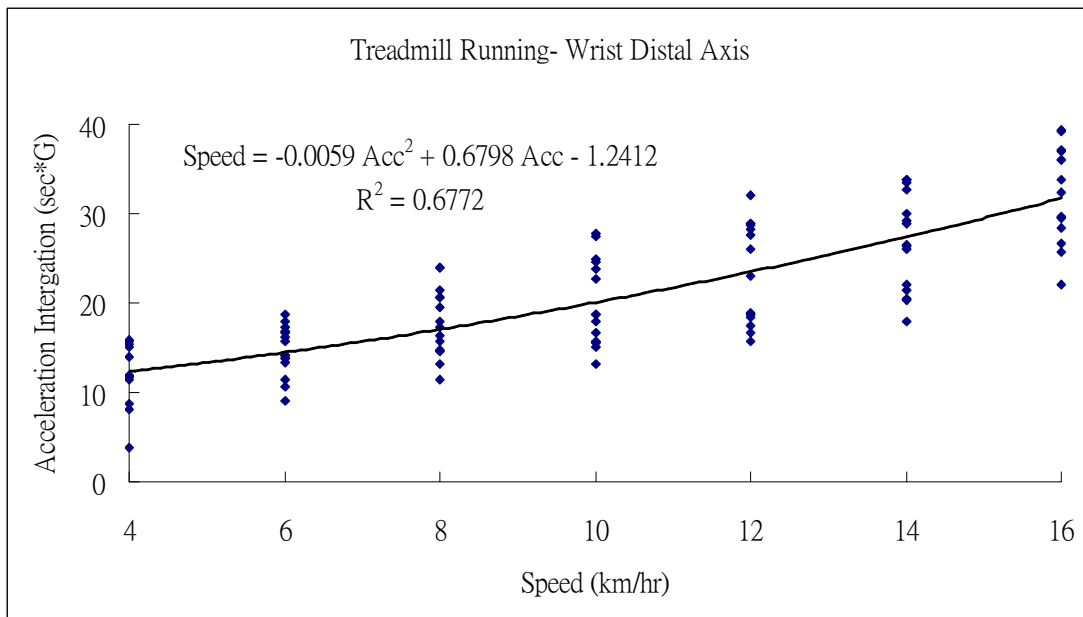


圖 36 跑步機手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

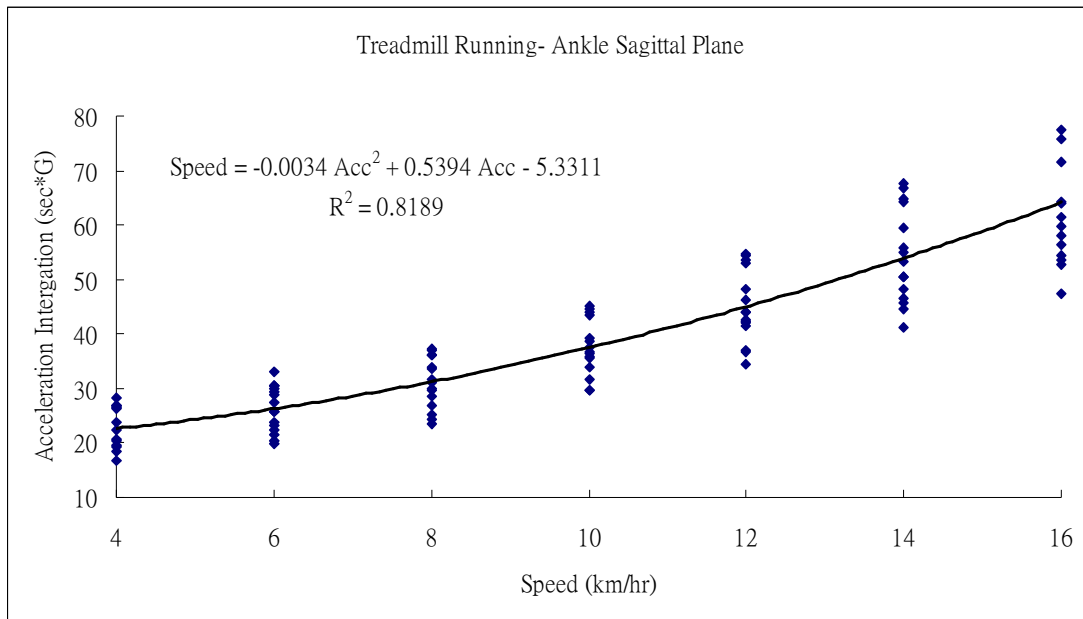


圖 37 跑步機腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

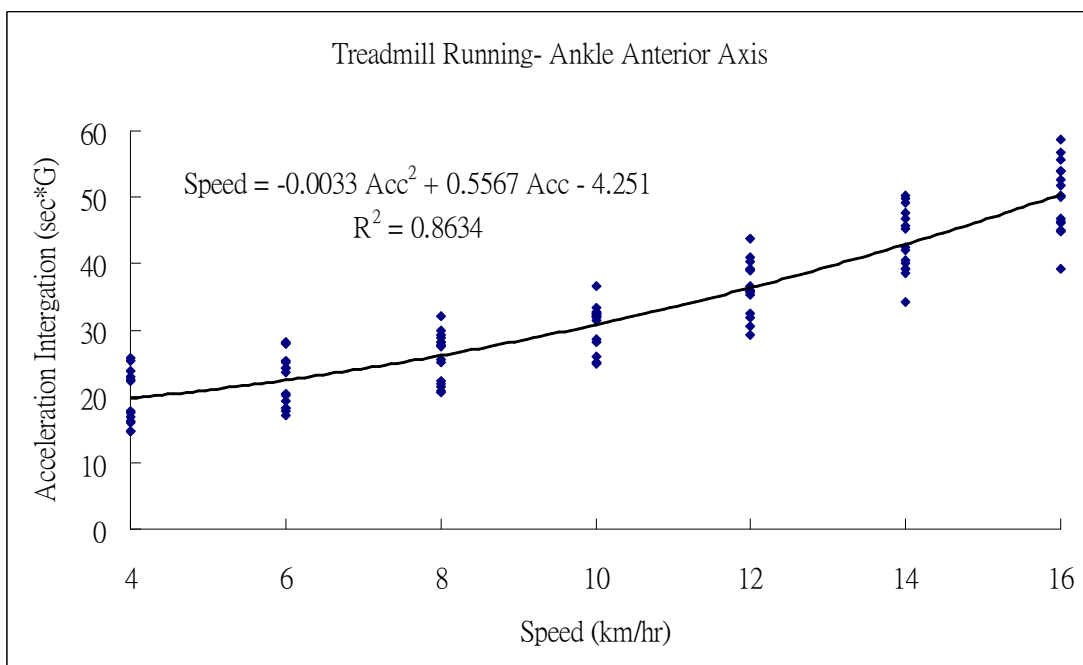


圖 38 跑步機腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

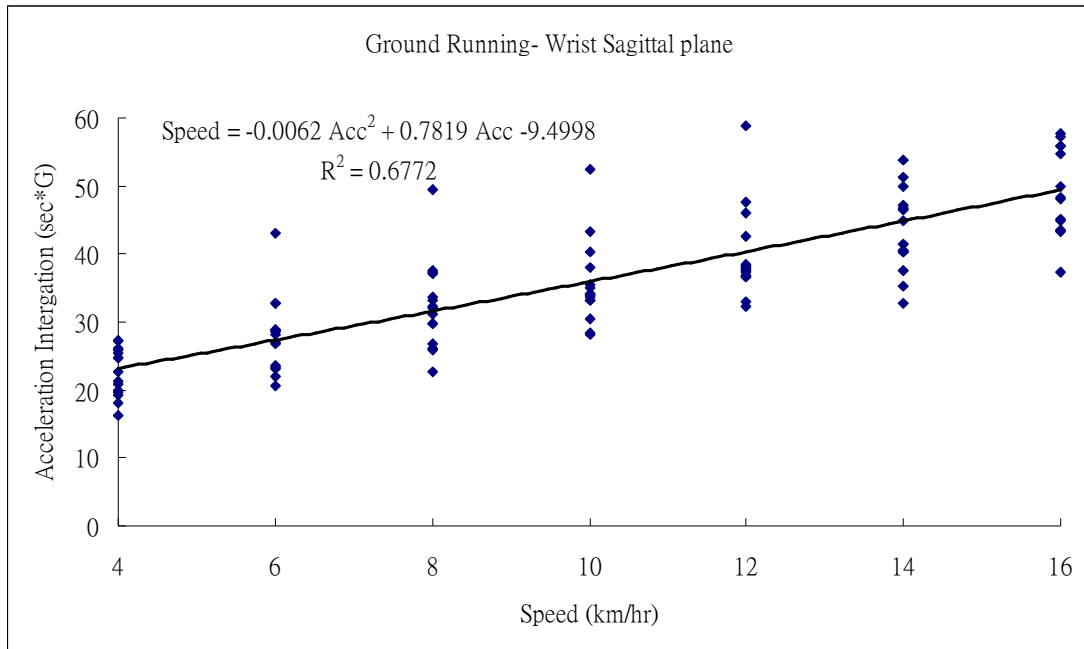


圖 39 平地跑手腕矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

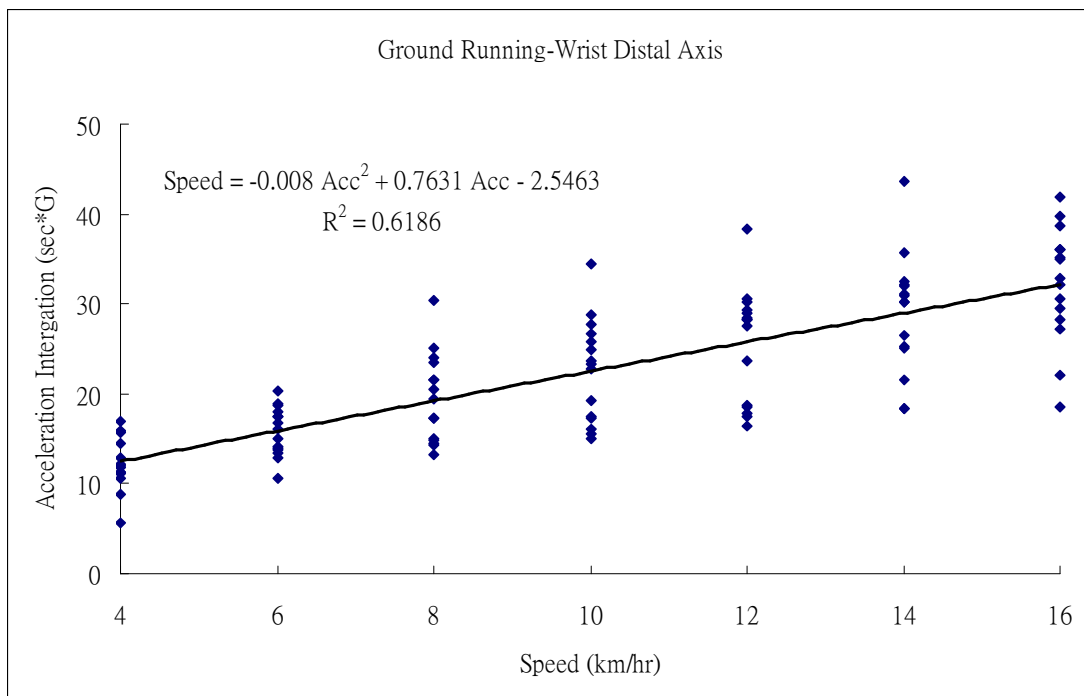


圖 40 平地跑手腕前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

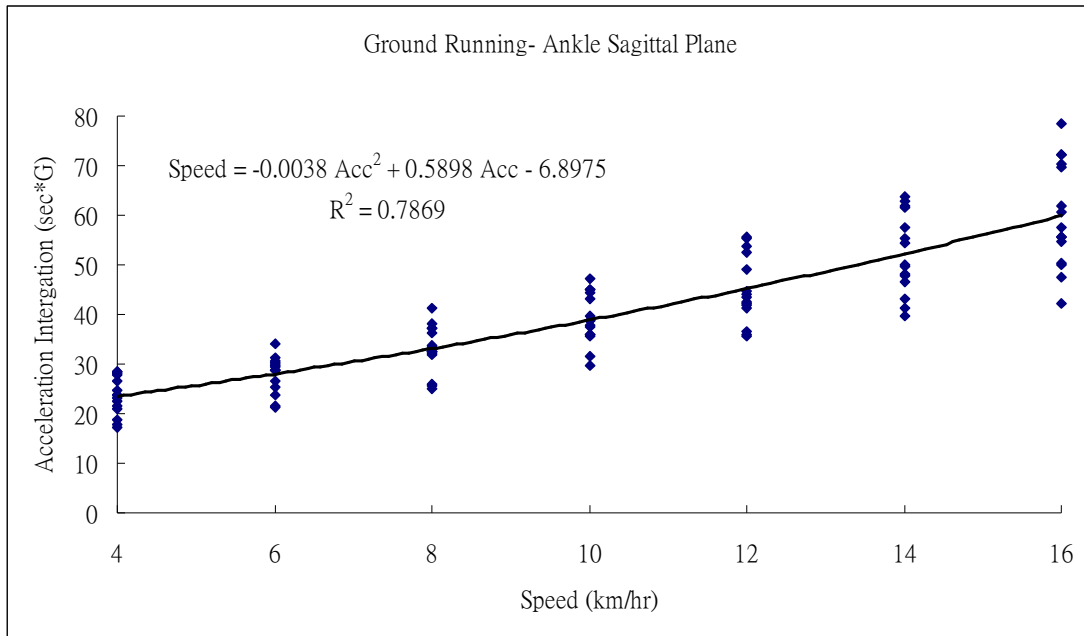


圖 41 平地跑腳踝矢狀面加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

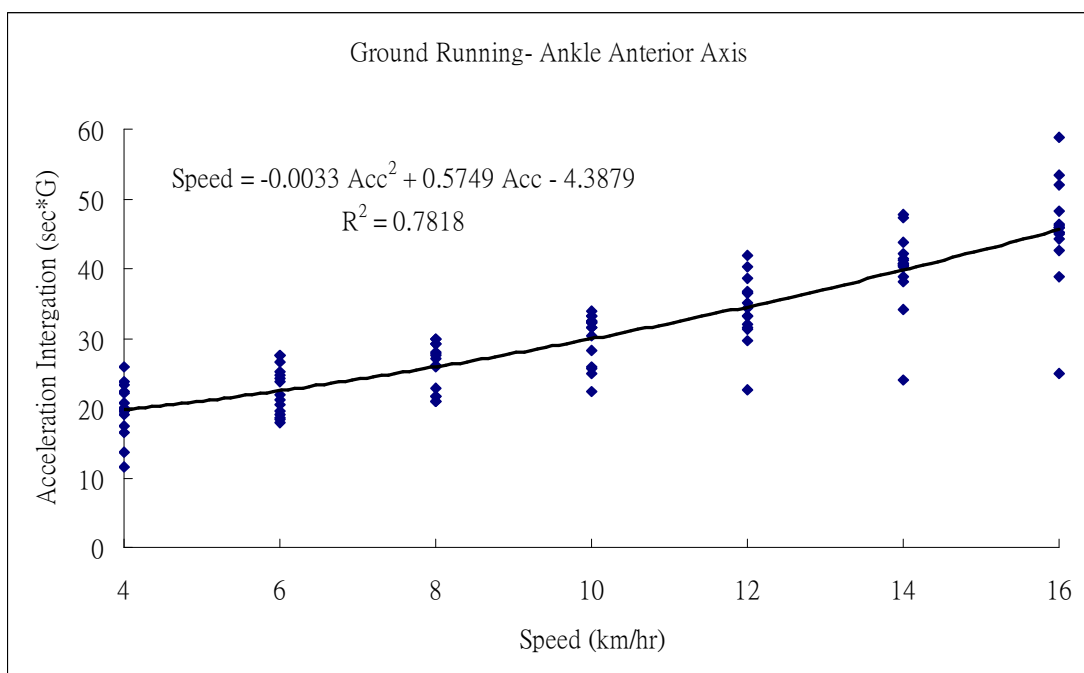


圖 42 平地跑腳踝前後軸加速度積分值推估跑步速度之迴歸公式

第五章 討論

(一) 不同部位加速度積分值與心跳之相關性

透過圖15、圖16、圖17、圖18可看出兩種跑步模式下，手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳都達到高度相關，但跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之相關係數在統計上未達顯著相關 ($P > .01$)。

透過表二、表三可看出，前後軸加速度積分值與心跳皆達到顯著相關，縱向軸加速度積分值與心跳皆未達到顯著相關。由於矢狀面加速度積分值是透過前後軸加速度積分值、縱向軸加速度積分值計算而得的(矢狀面= $\sqrt{Y^2 + Z^2}$)，因此推論本研究中跑步機—手腕矢狀面加速度積分值與心跳之相關係數受到縱向軸加速度積分值較低的影響，所以在統計上未達顯著相關 ($P > .01$)。

跑步時，腳踝感應到著地時身體給與的重力以及推蹬時地面反作用力 (Frishberg, 1983)，相較於足球運動會停止動作後，再重新啟動的開放式運動，跑步的運動形態屬於一種持續、反覆性且方向朝前的非開放式運動，所以本研究中腳踝矢狀面加速度積分值與心跳的高相關性是合理的。

(二) 不同部位加速度積分值與心跳之趨勢分佈

在圖 19、圖 20、圖 21、圖 22 中，每條曲線就代表一位實驗參與者在各種速度下身體不同部位、不同方向的加速度變化，可看出手腕矢狀面加速度積分值隨著速度呈現線性關係，而腳踝矢狀面加速度積分值隨著速度呈現乘冪關係。

透過圖 19、圖 20、圖 21、圖 22 看到每條曲線隨著速度提升而有不同的斜率，推測為本研究中實驗參與者的身高、體重、體型等個別差異造成這樣的現象。

(三) 跑步機跑步與平地跑之差異

不同跑步模式

根據圖 23、圖 24 將兩種跑步模式之手腕、腳踝矢狀面加速度積分值與心跳進行比較，發現跑步機跑步時，手腕矢狀面加速度積分值隨著速度遞增，有高於腳踝矢狀面加速度積分值的趨勢，在速度 14 、 $16 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時達到顯著差異；相反地，平地跑時，腳踝矢狀面加速度積分值隨著速度遞增，有高於手腕矢狀面加速度積分值的趨勢，也在速度 14 、 $16 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時達到顯著差異。

本研究會有這樣的現象產生，推論可能是電動跑步機透過馬達準確地控制跑帶轉動速度，即使實驗參與者在跑步機上隨著指定速度跑步，但事實上並未前進，僅在原地跑步 (Anderson, 2006)，腳踝加速度僅感

應到著地時身體給與的重力，未有推蹬地面之反作用力，所以腳踝加速度變小，相對地造成手腕矢狀面加速度積分值高於腳踝矢狀面加速度積分值。

相反地，實驗參與者進行平地跑時需要自行發力帶動身體前進，因此身體的重心（center of mass, COM）就會隨之前進，造成腳踝矢狀面加速度積分值高於手腕矢狀面加速度積分值。

本研究發現兩種跑步模式的矢狀面加速度積分值在速度 14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時達到顯著差異，表示手腕與腳踝矢狀面加速度積分值的差異會隨著跑步速度提高而達到顯著。

身體不同部位

個別將兩種跑步模式之手腕矢狀面加速度積分值、腳踝矢狀面加速度積分值進行比較。圖 25 可發現手腕矢狀面加速度積分值在兩種跑步模式並無顯著差異，圖 26 則發現腳踝矢狀面加速度積分值在速度 12、14、16 $\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 時，平地跑顯著高於跑步機跑。

造成這個現象是因為平地跑時，身體的重心不斷在前進，腳踝加速度感應到著地時身體給與的重力，加上推蹬地面之反作用力，因此腳踝矢狀面值加速度積分值明顯高於跑步機跑步。

手腕矢狀面加速度積分值在兩種跑步模式並無顯著差異，表示在兩

種跑步模式中實驗參與者手腕擺動的情型是類似的，並未因為在不同跑步模式下而對手腕的擺動造成影響。

(四) 利用加速度積分值建立心跳迴歸公式

圖 27~34 利用身體不同部位，不同方向之加速度積分值建立推估心跳之迴歸公式，且發現二項式趨勢線之相關係數高於線性趨勢線，因此本研究心跳迴歸公式皆採用二項式之趨勢線。

在日常身體活動 (daily physical activity) 及各種運動中使用心跳去評估運動時的身體活動量是可行的 (Ceesay 等, 1989; Strath 等, 2000; Brage 等, 2004; Crouter 等, 2004; Plasqui 等, 2005)，且高強度運動中， $\dot{V}O_2$ 與心跳有高相關性 (Bot & Hollander, 2000)。不同的運動型態，身體各部位產生的加速度就不同，所以在量測身體活動量時要按照運動型態去決定加速規的放置位置 (Westerterp, 1999; Trost 等, 2005; Plasqui & Westerterp, 2007)。

以步行、跑步為主的運動模式，通常將加速規置於手腕、腳踝等部位，先前很多研究證實，跑步時手臂擺動產生的加速度對於身體活動量有其代表性，以跑步機跑步作為檢測項目的研究相較，Swartz et al (2000) 証實跑步時手腕的加速度可以提高身體活動量的準確性；Strath, Bassett, Swartz, & Thompson (2001) 研究結果發現手臂與小腿在跑步過程中產生

的加速度結合心跳，與 $\dot{V}O_2$ 有高相關性。

後續研究證實手臂的加速度適合在低強度的跑步中推估身體活動量，小腿的加速度適合在高強度的跑步中推估身體活動量；但結合加速度與心跳更能提高身體活動量準確性，且建議依照受試者的體能狀況進行個別校正（individual calibration）（Strath 等，2005）。

因此本研究利用身體不同部位，不同方向之加速度積分值所建立之心跳迴歸公式可供未來研究者做為身體活動量方面的測量工具，雖然每位實驗參與者在年齡、身高、體重、體型上仍有個別差異，但結合加速度與心跳等參數更能提高推估身體活動量之準確性。

(五) 利用加速度積分值建立跑步速度迴歸公式

圖 35~42 利用身體不同部位，不同方向之加速度積分值建立推估跑步速度之迴歸公式，且發現二項式趨勢線之相關係數高於線性趨勢線，因此本研究跑步速度迴歸公式皆採用二項式之趨勢線。

Herren 等學者（1999）證實在跑步機上跑步，可利用下背及腳後跟放置加速規，透過身體產生之加速度可準確預估跑步速度，目前實務上有利利用其他方式得知跑步速度的產品，例如 Garmin Forerunner 405 是支 GPS 手錶，可透過衛星偵測使用者的跑步距離除以運動時間，推估出即時的跑步速度；NIKE+ 系列的慢跑鞋將晶片置於鞋底，跑步時晶片透過藍芽（bluetooth）將跑步資料傳輸至跑步者身上的 i-Pod，讓跑步者即時知道自己的跑步情況，這也是另一個應用的例子。

因此本研究利用身體不同部位，不同方向之加速度積分值所建立之跑步速度迴歸公式除了符合 Herren 等學者（1999）的研究結果，亦可提供未來研究者做為日後推估跑步速度的一項工具。

第六章 結論

本研究收取兩種跑步模式之手腕、腳踝之加速度值及各種速度下之穩定心跳率。證實（一）手腕、腳踝之矢狀面加速度積分值皆與心跳達到高度相關；（二）因為實驗參與者的個別差異，造成手腕、腳踝加速度隨著跑步速度提高而有不同的斜率；（三）利用跑步時手腕、腳踝產生的加速度可說明兩種跑步模式之差異；（四）可利用手腕、腳踝在跑步過程中產生之加速度建立心跳與跑步速度之迴歸公式，做為未來評估身體活動量及跑步速度的使用工具。

未來方向

雖然近年來已經有很多利用加速規原理所製成的長時間攜帶式身體活動量檢測儀，不同廠牌的身體活動量檢測儀雖然可以長時間攜帶，且置於身體不同部位，但只能檢測身體活動量較低的日常活動，對於中、高強度的運動，身體活動量的誤差較大。

本研究將手腕、腳踝在跑步過程中產生之加速度建立心跳之迴歸公式，做為未來評估身體活動量的使用工具。若選用手腕之加速度評估身體活動量，可以將加速規與一般手錶結合，讓跑者戴著手錶就能即時得知自己的身體活動量；若選用腳踝之加速度評估身體活動量，可以將加速規與運動鞋結合，透過藍芽等資料傳輸之方式讓跑者即時得知自己的身體活動量。

應用方向

有研究指出兩種跑步模式在步頻、步幅、地面反作用力上並無顯著的差異，但有研究認為平地跑所消耗的能量較跑步機跑步還大，因此本研究利用手腕、腳踝的加速度建立兩種跑步模式之心跳迴歸公式，就能在未來針對跑步這個項目開發檢測身體活動量的裝置時，針對不同跑步模式選擇不同之迴歸公式。

有研究指出平地跑的過程中遇有轉彎處，內側腳的力量峰值會小於外側腳，表示在選擇手腕或腳踝佩戴檢測身體活動量的裝置時，必須考量轉彎時離心力造成的加速度值改變。本研究之手腕加速度在兩種跑步模式中未有顯著差異，表示使用手腕為部位開發檢測身體活動量的裝置是個良好的選擇。

研究方向

本研究收取兩種跑步模式之手腕、腳踝之加速度值及各種速度下之穩定心跳率。建議往後進行此類實驗，可以增加收取橫向軸之加速度值，因為三個軸向的加速度資料可將跑步產生之所有方向的加速度進行更完整的分析。

引用文獻

中文部份

黃耀宗(2003)。從運動對健康促進的觀點探討身體活動的測量與運動強度的訂定。 *大專體育*。65, 155-161。

傅麗蘭、陳毓君(2005)。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。

英文部份

Anderson, O. (2006) Is treadmill training useful for the serious athlete? *Peak Performance*. Retrieved October 10, 2008, from <http://www.pponline.co.uk/encyc/treadmill.html>.

American College of Sports Medicine. (1995) *Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Balogum, J. A., Martin, D. A., & Clendenin, M. A. (1989) Calorimetric validation of the Caltrac accelerometer during level walking. *Physiology Therapy*. 69: 501-509.

Bassett, D. R., Ainsworth, Jr, B. R., & Leggett, S. R. (1996) Accuracy of five pedometers for measuring distance walked. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28: 1071-1077.

Bot, S. D. M. & Hollander, A. P. (2000) The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. *Ergonomics*. 43: 1578-1592.

- Bouten, C. V. C., Koekkoek, K. T. M., Verduin, M., Kodde, R., & Janssen, J. D. (1997) A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 44: 136-147.
- 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 and Science in Sports and Exercise*. 35: 1447-1454.
- Brage, S., Brage, N., Franks, P. W., Ekelund, U., Wong, M. Y., Andersen, L. B., Froberg, K. & Wareham, N. J. (2004) Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *Journal of Applied Physiology*. 96: 343-351.
- Brooks, G., Fachey, T., & White, T. (1986) *Textbook of Work Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*. Mountain View, CA: Maryfield.
- Brouha, L. (1960) Evaluation of requirements of jobs. *Physiology in Industry*. Oxford, U.K.: Pergamon, 94-108.
- Bussmann, J. B. J, Hartgerink, I., Van Der Woude, L. H., & Stam, H. J. (2000) Measuring physical strain during ambulation with accelerometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32: 1462-1471.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985) Physical activity, exercise, and physical fitness: Definition and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*. 100: 126-131.
- Ceesay, S. M., Prentice, A. M., Day, K. C., Murgatroyd, P. R., Goldberg, K., & Scott, W. (1989) The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *British Journal of Nutrition*. 61:175-186.

- Chang, Y. H. & Kram, R. (2007) Limitations to maximum running speed on flat curves. *The Journal of Experimental Biology*. 210: 971-982.
- Chen, K. Y. & Ming, S. (1997) Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer. *Journal of Applied Physiology*. 83: 2112-2122.
- Chu, E. Y. W., McManus, A. M., & 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.
- Coast, J. & Welch, H. G. (1985) Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology*. 53: 339-342.
- Consolazio, C., Johnson, R., & Pecora, L. (1963) *Physiological Measurements of Metabolic Function in Man*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Crouter, S.E., Albright, C., & Bassett D. R. Jr. (2004) Accuracy of Polar S410 heart rate monitor to estimate energy cost of exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36: 1433-1439.
- Daniels, Jr. F., Vanderbie, J. H., & Winsmann, F. R. (1953) Energy cost of treadmill walking compared to road walking. *Quartermaster Research and Engineering Command*. Natick QM Research and Development Laboratory, US office of the Quatermaster General.
- Daniels, J. (1985) *A physiologist's view of running economy*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17: 332-338.
- Daniels, J., & Daniels, N. (1992) Running economy of elite male and elite female distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24: 483-489.
- Durante, R. & Ainsworth, B. E. (1996) The recall of physical activity: Using a cognitive model off the question-answering process. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28: 1282-1291.

- Eston, R. G., Rowlands, A. V., & Ingledeu, 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.
- Foster, R. C., Lanningham-Foster, L.M., Manohar, C., McCrady, S.K., Nysse, L. J., Kaufman, K. R., Padgett, D.J., & Levine, J.A. (2005) Precision and accuracy of an ankle-worn accelerometer-based pedometer in step counting and energy expenditure. *Preventive Medicine*. 41: 778-783.
- Fox, E., Foss, M., & Keteyian, S. (1998) *Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Frishberg, B. A. (1983) An analysis of overground and treadmill sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 15(6): 478-485.
- Fudge, B. W., Wilson, J., Easton, C., Irwin, L., Clark, J., Haddow, O., Kayser, B., & Pitsiladis, Y. P. (2007) Estimation of oxygen uptake during fast running using accelerometry and heart rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39: 192-198.
- Goris, A. HC., Meijer, E. P., Kester, A., & Westerterp, K. R. (2001) Use of a triaxial acelerometer to validate reported food intake. *American Journal of Clinical Nutrition*. 73: 549-553.
- Haymes, E. M. & Byrnes, W. C. (1993) Comparison of walking and running energy cost using the Caltrac and indirect calorimetry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 25: 1365-1369.
- Hendelman, D., Miller, K., Baggett, C., Debold, E., & Freedson, P. (2000) Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32: S442-S449.
- Herren, R., Sparti, A., Aminian, K., & Schutz., Y. (1999) The prediction of speed and incline in outdoor running in human using accelerometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31(7): 1053-1059.

- Hopkins, P. & Powers, S. (1982) Oxygen uptake during submaximal running in highly trained men and women. *American Corrective Therapy Journal*. 36: 130-132.
- Ismail, A. H., Baraby, J. W., & Smith, C. B. (1971) Relationships between mechanical force and physiological cost during gait in adult men. *Proceeding of the C.I.C. Symposium Biomechanics*. 99-106.
- Kriska, A. M. & Caspersen, C. (1997) Introduction to a collection of physical activity questionnaires. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29: S5-S9.
- LaPorte, R. E., Montoye, H. J., & Caspersen, C. J. (1985) Assessment of physical activity in epidemiologic research: Problems and prospects. *Public Health Reports*. 100: 131-146.
- Lee, S. J. & Hidler, J. (2007) Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of Applied Physiology*. 104: 747-755.
- Leenders, N. Y., Sherman, W. M., & Nagaraja, H. N. (2006) Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water: do they agree? *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38: 2165-2172.
- Levine, J. A., Baukol, P. A., & Westerterp, K. R. (2001) Validation of the Tracmor triaxial accelerometer system for walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33: 1593-1597.
- Montoye, H., Washburn, R., Servais, S., Ertl, A., Webster, J. G., & Nagle, F.J. (1983) Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 15: 403-407.
- Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H., & Washburn, R. A. (1996) *Measuring Physical Activity and Energy Expenditure*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Nigg, B. M., Deboer, R. W., & Fisher, V. (1995) A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 27(1): 98-105.
- Plasqui, G. & Westerterp, K. R. (2005) Accelerometry and heart rate as a measure of physical fitness: proof of concept. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37: 872-876.
- Plasqui, G. & Westerterp, K. R. (2007) Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *Obesity*. 15: 2371-2379.
- Popkin, B., Kim, S., Rusev, E., Du, S., & Zizza, C. (2006) Measuring the full economic costs of diet, physical activity and obesity-related chronic diseases. *Obesity Research*. 7: 271-293.
- Powell, S. M. & Rowlands, A. V. (2004) Intermonitor variability of the RT3 accelerometer during typical physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36 : 324-330.
- Power, S., Beadle, R., & Mangum, M. (1984) Exercise efficiency during arm ergometry: effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology*. 56: 495-499.
- Puge, L. G. (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal of Physiology*. 207: 823-835.
- Reswick, J., Perry, J., Antonelli, D., Su, N., & Freeborn, C. (1978) Preliminary evaluation of the vertical acceleration gait analyzer (VAGA). *Proceedings 6th Annual Symposium of External Control Extremities* (305-314). Dubrovnik.
- Rowlands, A. V., Thomas, P. W. M., Eston, R. G., & 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.

- Rowlands, A. V., Stone, M. R., & 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.
- Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R., O'brien, W. L., King, G. A., & Ainsworth, B. E. (2000) Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32, Supplement, S465-470.
- Strath, S. J., Bassett, D. R. Jr., Swartz, A. M., & Thompson, D. L.(2001) Simultaneous heart rate-motion sensor technique to estimate energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33: 2218-2123.
- Strath, S. J., Bassett, D. R. Jr, Thompson, D. L., & Swartz, A. M. (2002) Validity of the simultaneous heart rate-motion sensor technique for measuring energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34: 888-894.
- Strath, S. J., Brage, S., & Ekelund, U. (2005) Integration of physiological and accelerometer data to improve physical activity assessment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37: S563-S571.
- Swanson, S. C. & Caldwell, G. E. (2000) An integrated biomechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32(6): 1146–1155.
- Swartz, A. M., Strath, S. J., Bassett, D. B. Jr, O'brien, W. L., King, G. A., & Ainsworth, B. E. (2000) Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32: S450–S456.
- Treuth, M. S., Schmitz, K., Catellier, D. J., McMurray, R. G., Murray, D. M., Almeida, M. J., Going, S., Norman, J. E., & Pate, R. (2004) Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36: 1259-1266.

- Trost, S. G., Mciver, K. L., & Pate, R. R. (2005) Conducting Accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37: S531-S543.
- Welk, G.J., Schaben, J. A., & Morrow Jr., J.R. (2004) Reliability of accelerometry-based activity monitor: a generalizability study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36: 1637-1645.
- Westerterp, K. R. (1999) Physical activity assessment with accelerometers. *International Journal of Obesity*. 23, Supplement 3, S45-S49.
- Weyand, P. G., Maureen, K., Thomas, B., Jesse, C. D., Steven, R. O., Norbert, E. O., Sam, W. J., & Reed W. H. (2001) Ambulatory estimates of maximal aerobic power from foot-ground contact times and heart rates in running humans. *Journal of Applied Physiology*. 91: 451-458.
- White, S. C., Yack, H. J., Tucker, C. A., & Lin, H. Y. (1998) Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking.
- Wong, T. C., Webster, H. J., Montoye, H., & Washburn, R. (1981) Portable accelerometer devices for measuring human energy expenditure. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 28: 467-471.

附錄一：實驗參與者須知

感謝您參加本項研究，題目為：「不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析」，目的主要在探討不同跑步模式下，手腕與腳踝加速度值之差異。

為避免其他因素的影響，使實驗得以順利進行，敬請遵守下列事項：

- 一、 請據實填寫基本資料。
- 二、 事先瞭解實驗流程。
- 三、 在實驗進行前，做好暖身活動，避免受傷。
- 四、 請穿著輕便的衣物，以方便跑步為主。
- 五、 實驗時，實驗參與者會在跑步機與平地上進行速度 4、6、8、10、12、14、16 km·hr⁻¹ 的跑步，速度皆由慢至快。

再次感謝您的熱情參與合作！

附錄二、實驗參與者同意書

本人已詳細閱讀實驗參與者須知內容，且經過研究者解說後，已完全瞭解實驗內容、步驟，以及實驗期間可能發生的狀況。本人同意參加此實驗「不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析」，且在實驗期間會全力配合，並盡自己最大努力來完成此實驗。

實驗名稱：不同跑步模式之手腕與腳踝加速度值分析

參與者保護說明

- 一、 您將具有隱私權和匿名的權力。
- 二、 實驗者在實驗內容和實驗目的有告知您的責任。
- 三、 您可以隨時要求解答有關實驗的各種問題。
- 四、 您有隨時退出實驗的權力。

參與者：_____（簽名）

日期：_____

因為您的熱情協助，使本研究得以順利完成，且對運動生物力學領域有所貢獻，誠摯感謝您的支持與配合！

國立台灣師範大學運動科學研究所 研究生 廖立同敬上

附錄三、實驗參與者基本資料表

在您瞭解本實驗並且願意參與本實驗後，請填寫下列各項基本資料，讓實驗者瞭解您的生理狀況以及運動背景，讓實驗可以順利進行。而您所填寫的各項資料將會受到嚴格保密，不會有公開的危險。

參與者姓名：_____

出生日期：_____年_____月_____日

身高：_____公分

體重：_____公斤

近六個月內，是否有下肢肌肉、骨骼、肌腱、韌帶的運動傷害：

是 否

如受過傷，受傷部位：_____

是否痊癒：是 否

謝謝您如實的填寫！

附錄四、所有實驗參與者在兩種跑步模式、各種速度下之心跳、不同部位加速度積分值的原始資料

ID: 01	speed		4	6	8	10	12	14	16			
23 yrs	Treadmill	HR		123.25	153.00	163.25	175.25	187.75	192.00			
166cm	Running	Wrist		17.35	19.55	24.58	28.66	33.84	39.35			
58kg			Medial Axis		9.69	12.81	12.11	14.54	16.31	19.89		
			Sagittal Plane		20.92	24.93	28.79	34.10	39.95	47.07		
			Ankle	Anterior Axis		23.56	27.50	32.38	38.94	45.67	51.87	
				Distal Axis		8.21	9.45	11.26	13.02	15.25	17.77	
				Sagittal Plane		25.74	30.08	35.62	42.74	50.39	58.13	
		Ground	HR	99.75	114.25	133.50	155.00	170.00	180.50	186.25		
	Running	Wrist		12.13	16.08	17.38	22.78	30.51	32.18	36.08		
			Medial Axis		14.50	16.14	19.05	22.53	27.42	28.70	30.46	
			Sagittal Plane		19.34	23.45	22.64	28.19	32.31	35.34	43.45	
			Ankle	Anterior Axis		11.52	17.79	28.09	33.25	33.26	40.45	45.21
				Distal Axis		11.40	18.04	27.50	35.61	32.60	37.85	42.47
				Sagittal Plane		17.09	26.48	41.30	47.18	49.17	55.31	60.74

ID: 02	speed		4	6	8	10	12	14	16		
24yrs	Treadmill	HR		129.00	141.25	153.50	171.00	176.00	188.75		
177cm	Running	Wrist		9.10	11.43	13.20	15.70	20.24	25.65		
77kg				3.72	4.25	6.05	5.41	6.35	8.14		
			Sagittal Plane		10.51	13.04	15.82	17.36	21.94	27.86	
			Ankle		27.95	32.00	36.55	43.69	49.10	56.74	
					5.05	8.03	10.49	14.49	17.89	21.26	
			Sagittal Plane		28.93	33.70	39.30	48.15	54.98	64.18	
	Ground	HR	97.00	110.75	125.25	140.00	163.00	177.00	184.25		
	Running	Wrist		15.64	18.07	30.37	34.38	38.35	43.60	41.80	
				9.15	10.93	15.85	19.60	20.41	22.46	25.90	
			Sagittal Plane		19.95	23.21	37.23	43.23	47.63	53.78	55.78
			Ankle		19.56	21.85	26.09	30.25	31.44	40.13	45.88
					12.55	15.11	20.86	26.12	27.40	30.73	33.25
			Sagittal Plane		21.49	28.64	32.61	37.54	41.38	47.72	49.88

ID: 03	speed		4	6	8	10	12	14	16	
29yrs	Treadmill	HR	102.00	127.75	145.5	158.75	174	186.5	190	
158cm	Running	Wrist	15.65	16.18	15.74	15.55	18.96	22.03	29.59	
58kg			Medial Axis	23.74	22.08	26.62	27.35	25.60	25.97	22.01
			Sagittal Plane	30.08	28.80	34.27	36.00	36.37	39.11	40.74
			Ankle	17.47	20.09	25.47	32.09	38.89	46.72	52.62
			Distal Axis	9.03	9.47	10.47	12.21	15.05	18.49	22.64
			Sagittal Plane	20.43	23.14	28.63	35.78	43.94	53.37	61.33
		Ground	HR	91.75	104.00	124.50	144.50	153.50	176.75	182.50
	Running	Wrist	16.97	17.52	19.45	25.78	28.21	30.97	32.21	
			Medial Axis	19.09	20.74	22.57	24.13	28.09	30.43	37.22
			Sagittal Plane	21.30	26.71	29.78	33.66	37.80	44.99	48.08
			Ankle	19.72	20.47	26.96	32.14	34.41	42.05	44.35
			Distal Axis	14.07	17.55	21.80	28.18	32.60	38.08	42.66
			Sagittal Plane	23.61	29.52	32.56	38.65	44.11	54.50	61.72

ID: 04	speed		4	6	8	10	12	14	16		
28yrs	Treadmill	HR	110.00	129.00	134.25	156.75	169.50	186.50	190.00		
173cm	Running	Wrist	Distal Axis	13.92	15.70	16.33	17.90	18.40	20.54	26.60	
72kg			Medial Axis	26.13	24.57	23.70	22.87	21.00	19.05	17.96	
				Sagittal Plane	31.37	32.04	32.57	32.75	32.15	32.06	36.30
			Ankle	Anterior Axis	16.02	18.12	21.86	28.60	32.51	39.29	46.80
				Distal Axis	9.52	10.00	10.00	10.62	13.70	15.13	18.76
				Sagittal Plane	19.35	21.65	25.16	31.66	37.10	44.45	53.66
	Ground	HR	104.25	119.50	131.50	142.00	154.75	165.25	178.50		
	Running	Wrist	Distal Axis	11.28	20.25	23.45	26.70	28.96	30.17	30.65	
			Medial Axis	18.94	24.32	25.33	26.82	27.08	30.25	32.28	
				Sagittal Plane	22.64	28.75	31.99	33.16	37.30	41.35	43.37
			Ankle	Anterior Axis	19.54	24.73	25.99	31.44	38.58	40.72	42.56
				Distal Axis	10.23	13.64	14.75	19.12	23.22	26.52	28.46
				Sagittal Plane	23.64	28.77	33.47	37.84	42.36	43.19	54.62

ID: 05	speed		4	6	8	10	12	14	16		
32yrs	Treadmill	HR	108.75	118.25	134.25	162.50	177.75	189.75	196.00		
166cm	Running	Wrist	Distal Axis	8.14	11.42	18.01	18.80	25.98	28.86	36.98	
58kg			Medial Axis	17.25	16.90	20.85	22.89	20.27	20.54	17.00	
				Sagittal Plane	19.75	21.03	28.92	31.17	34.39	37.03	42.03
			Ankle	Anterior Axis	16.94	20.29	25.19	31.78	39.19	50.32	55.69
				Distal Axis	9.91	10.28	12.40	13.89	14.68	16.34	20.92
				Sagittal Plane	20.74	23.87	29.64	36.43	43.89	55.95	64.03
	Ground	HR	125.25	138.50	149.00	154.00	165.75	180.75	192.50		
	Running	Wrist	Distal Axis	14.55	14.14	14.93	17.54	16.51	18.42	18.62	
			Medial Axis	16.53	18.81	24.89	24.17	23.59	21.98	26.71	
				Sagittal Plane	24.78	26.96	33.14	34.09	32.94	32.85	37.42
			Ankle	Anterior Axis	20.09	21.11	20.86	22.46	22.50	24.05	25.04
				Distal Axis	15.77	18.05	19.21	22.11	22.93	25.69	27.83
				Sagittal Plane	28.35	31.39	32.14	35.88	36.60	39.79	42.31

ID: 06	speed		4	6	8	10	12	14	16		
24yrs	Treadmill	HR	94.00	122.25	142.00	165.25	175.25	187.00	198.00		
176cm	Running	Wrist	Distal Axis	3.74	13.74	23.89	27.84	32.02	33.55	37.09	
72kg			Medial Axis	7.63	17.53	12.64	12.54	11.67	12.73	12.54	
			Sagittal Plane	16.65	23.40	28.92	32.28	35.67	37.83	40.88	
		Ankle	Anterior Axis	14.80	17.69	20.57	25.95	31.92	39.18	46.20	
			Distal Axis	5.68	6.13	7.35	10.06	12.17	16.30	22.45	
			Sagittal Plane	16.71	19.80	23.59	29.81	36.57	45.63	56.39	
		Ground	HR	104.00	125.25	145.00	163.75	178.00	186.00	195.00	
		Running	Wrist	Distal Axis	5.62	17.46	25.09	28.75	30.28	35.62	39.71
				Medial Axis	7.64	11.67	12.54	13.64	15.88	17.90	19.53
	Sagittal Plane			16.31	20.68	25.89	33.89	37.67	40.21	45.12	
Ankle	Anterior Axis		19.08	19.58	21.75	24.95	32.09	38.19	46.12		
	Distal Axis		6.81	6.96	7.15	11.67	12.15	17.03	21.85		
	Sagittal Plane		20.83	21.25	24.93	29.54	35.67	46.53	57.46		

ID: 07	speed		4	6	8	10	12	14	16	
23yrs	Treadmill	HR	104.00	118.00	141.00	160.50	170.00	186.00	194.25	
176cm	Running	Wrist	Distal Axis	15.09	16.80	21.48	24.90	27.55	33.77	35.96
78kg		Medial Axis	21.17	22.23	20.89	18.84	20.27	24.73	21.95	
		Sagittal Plane	27.24	29.29	31.55	33.06	36.31	44.78	45.36	
		Ankle	Anterior Axis	14.72	17.20	20.71	24.85	29.16	34.31	39.28
		Distal Axis	8.66	8.48	9.67	11.61	13.49	16.59	19.49	
		Sagittal Plane	18.47	20.45	24.37	29.66	34.59	41.19	47.44	
	Ground	HR	106.75	120.25	143.00	160.50	170.75	187.00	194.25	
Running	Wrist	Distal Axis	12.89	15.05	21.64	24.95	27.62	31.17	36.09	
		Medial Axis	18.48	20.23	20.18	21.95	22.78	24.73	25.02	
		Sagittal Plane	20.83	28.56	31.21	35.60	38.13	40.35	48.25	
	Ankle	Anterior Axis	13.63	19.02	20.97	25.84	29.66	34.09	38.92	
		Distal Axis	8.41	10.13	11.67	12.11	13.56	16.65	19.88	
		Sagittal Plane	17.84	21.51	25.73	31.69	35.94	41.11	47.64	

ID: 08	speed		4	6	8	10	12	14	16	
23yrs	Treadmill	HR	87.00	100.25	121.25	142.00	172.50	183.25	193.00	
170cm	Running	Wrist	Distal Axis	11.69	16.68	20.61	23.83	28.85	32.69	39.16
63kg		Medial Axis	20.21	13.79	13.64	12.47	11.49	12.34	15.28	
		Sagittal Plane	24.62	23.20	26.21	28.49	32.76	36.98	44.46	
		Ankle	Anterior Axis	16.23	18.16	22.37	28.09	35.23	42.07	50.03
		Distal Axis	9.21	10.96	11.88	14.87	17.91	21.78	26.06	
		Sagittal Plane	19.69	22.37	26.98	34.02	42.18	50.41	59.66	
	Ground	HR	99.75	110.50	123.75	145.00	170.25	183.00	192.50	
Running	Wrist	Distal Axis	11.06	16.78	20.53	23.68	28.41	32.06	38.61	
		Medial Axis	11.09	12.34	12.97	13.49	13.86	15.83	20.21	
		Sagittal Plane	19.62	22.01	26.13	28.38	36.79	37.63	44.81	
	Ankle	Anterior Axis	16.55	18.36	22.73	28.15	33.26	40.73	45.83	
		Distal Axis	9.13	10.76	11.83	14.68	17.43	21.51	26.16	
		Sagittal Plane	18.69	23.78	25.89	35.79	41.88	50.14	55.66	

ID: 09	speed		4	6	8	10	12	14	16	
52yrs	Treadmill	HR	122.00	132.00	135.50	146.25	157.75	174.00	182.75	
174cm	Running	Wrist	Distal Axis	11.36	13.28	14.53	15.01	17.48	21.50	28.39
68kg		Medial Axis	20.65	20.90	24.27	25.26	28.60	31.29	37.22	
		Sagittal Plane	26.20	27.66	32.41	33.42	37.80	42.69	52.67	
		Ankle	Anterior Axis	23.00	24.30	28.15	32.09	40.83	47.64	53.89
		Distal Axis	10.02	12.42	15.85	21.32	26.93	33.70	41.13	
		Sagittal Plane	26.55	29.92	36.28	43.43	54.57	64.82	75.88	
	Ground	HR	120.50	132.25	140.75	148.00	157.25	176.00	188.75	
Running	Wrist	Distal Axis	11.36	12.87	14.57	15.09	17.84	21.64	27.26	
		Medial Axis	20.23	22.98	24.67	25.94	29.34	32.64	38.19	
		Sagittal Plane	25.78	28.96	33.69	34.94	38.57	47.16	57.61	
	Ankle	Anterior Axis	20.78	23.83	29.15	32.53	41.84	47.35	52.03	
		Distal Axis	11.43	13.25	15.68	21.31	27.42	35.41	42.64	
		Sagittal Plane	22.58	29.83	38.26	43.18	52.53	61.43	72.18	

ID: 10	speed		4	6	8	10	12	14	16	
26yrs	Treadmill	HR	112.75	135.25	148.50	168.25	186.00	191.50	197.00	
172cm	Running	Wrist	11.86	13.88	14.83	15.70	18.65	26.53	29.52	
67kg			Medial Axis	18.00	19.78	21.39	23.39	27.07	33.51	36.23
			Sagittal Plane	24.75	27.92	29.87	32.34	37.65	48.88	53.44
			Ankle	25.31	28.25	29.14	32.46	35.74	42.50	50.34
			Distal Axis	9.47	12.44	16.62	22.93	29.19	37.25	45.91
			Sagittal Plane	28.25	33.04	37.38	45.22	52.88	64.16	77.35
		Ground	HR	115.50	135.75	149.00	168.00	183.50	189.75	193.00
	Running	Wrist	11.98	13.48	14.34	16.07	18.68	25.19	28.25	
			Medial Axis	18.86	20.37	22.88	23.53	26.37	33.12	36.25
			Sagittal Plane	24.63	28.09	29.67	33.15	36.57	49.83	54.62
			Ankle	23.37	27.52	29.98	32.49	35.05	43.78	48.15
			Distal Axis	9.41	12.64	16.56	22.83	29.69	35.39	41.19
			Sagittal Plane	27.98	34.04	37.09	44.25	53.84	61.81	70.37

ID: 11	speed		4	6	8	10	12	14	16	
21yrs	Treadmill	HR	120.75	132.00	142.00	156.75	177.75	186.50	193.00	
174cm	Running	Wrist	Distal Axis	11.72	14.08766	14.60873	15.53632	16.63045	18.00335	22.11939
70kg		Medial Axis	21.01	22.5105	25.84952	28.13149	30.84549	29.77407	31.46099	
		Sagittal Plane	27.35	29.59659	32.5813	35.50146	38.67705	38.5947	43.01241	
		Ankle	Anterior Axis	23.83	25.25957	28.09165	32.23966	36.01775	45.35143	53.83405
		Distal Axis	8.32	11.52895	16.70495	22.17279	30.61293	38.63576	48.54585	
		Sagittal Plane	26.31	30.66019	37.12333	44.56808	53.57055	66.69318	80.78259	
	Ground	HR	117.75	130.00	143.50	156.25	170.50	183.25	192.00	
Running	Wrist	Distal Axis	10.57	13.76	14.87	15.63	17.43	18.39	22.17	
		Medial Axis	21.13	22.05	25.54	27.98	29.49	29.77	31.60	
		Sagittal Plane	26.21	28.56	32.18	34.15	38.06	40.47	43.41	
	Ankle	Anterior Axis	23.67	26.52	29.16	33.96	36.75	41.43	53.52	
		Distal Axis	8.77	12.95	15.59	23.79	33.93	38.76	45.85	
		Sagittal Plane	26.56	30.19	36.33	45.08	55.73	63.81	78.52	

ID: 12	speed		4	6	8	10	12	14	16	
21yrs	Treadmill	HR	113.00	133.50	155.75	171.25	183.00	193.00	205.25	
186cm	Running	Wrist	Distal Axis	8.72	10.67	13.18	16.64	18.67	26.06	33.88
81kg			Medial Axis	14.09	17.48	19.13	19.92	24.88	33.59	38.88
			Sagittal Plane	18.77	23.36	26.81	28.63	36.38	48.76	58.69
		Ankle	Anterior Axis	17.80	19.30	21.44	25.22	30.60	38.62	46.35
			Distal Axis	10.43	13.67	17.51	22.34	29.03	37.96	44.44
			Sagittal Plane	22.34	25.88	31.05	37.54	46.38	59.46	71.70
	Ground	HR	113.00	130.50	145.75	162.50	175.50	183.00	193.25	
	Running	Wrist	Distal Axis	8.76	10.53	13.17	17.25	18.53	25.07	32.83
			Medial Axis	14.25	16.83	19.43	20.57	24.38	33.67	39.45
			Sagittal Plane	18.06	23.51	26.73	30.56	36.72	46.78	55.89
		Ankle	Anterior Axis	17.31	18.60	21.63	25.74	31.26	38.71	46.33
			Distal Axis	10.44	13.68	18.55	22.36	29.17	37.66	44.51
			Sagittal Plane	23.21	25.18	32.01	35.74	43.40	57.46	69.73

ID: 13	speed		4	6	8	10	12	14	16	
29yrs	Treadmill	HR	90.00	101.50	116.00	133.25	154.00	166.50	174.00	
175cm	Running	Wrist	Distal Axis	11.76	14.18	17.29	18.71	22.96	26.36	29.75
60kg		Medial Axis	20.75	24.66	28.52	26.65	31.83	33.46	33.18	
		Sagittal Plane	27.74	32.80	37.00	36.32	42.57	46.54	48.49	
		Ankle	Anterior Axis	22.29	24.23	27.75	33.25	40.31	49.91	58.63
		Distal Axis	11.12	13.97	17.67	22.59	29.33	37.22	46.57	
		Sagittal Plane	26.91	30.60	36.21	44.11	54.50	67.72	81.21	
	Ground	HR	98.75	109.00	116.50	133.25	155.00	166.75	180.00	
Running	Wrist	Distal Axis	11.87	13.88	17.25	19.17	23.67	26.45	29.47	
		Medial Axis	20.56	23.46	28.71	29.65	31.47	33.54	34.18	
		Sagittal Plane	27.36	32.81	37.52	38.11	42.57	46.46	49.83	
	Ankle	Anterior Axis	22.17	24.32	27.56	33.25	40.19	47.83	58.77	
		Distal Axis	14.21	15.97	19.66	23.95	29.36	35.26	46.57	
		Sagittal Plane	27.93	30.71	37.12	45.11	55.46	62.77	72.12	

ID: 14	speed		4	6	8	10	12	14	16	
23yrs	Treadmill	HR	125.00	135.50	155.25	164.50	178.00	189.00	193.00	
178cm	Running	Wrist	Distal Axis	15.43	18.00	20.60	22.73	28.24	29.97	35.96
63kg		Medial Axis	16.92	21.78	24.65	26.36	29.42	33.95	37.95	
		Sagittal Plane	25.70	31.69	36.21	39.32	45.92	50.36	58.42	
		Ankle	Anterior Axis	22.60	25.21	28.71	32.62	35.79	40.01	44.78
		Distal Axis	5.77	7.58	9.86	12.14	15.46	18.08	21.84	
		Sagittal Plane	23.87	27.37	31.78	36.66	41.38	46.54	52.73	
	Ground	HR	126.00	137.50	152.75	166.50	173.00	189.25	195.75	
Running	Wrist	Distal Axis	15.66	18.73	21.61	23.37	28.26	30.16	35.06	
		Medial Axis	16.18	21.56	24.73	28.36	29.41	33.55	37.15	
		Sagittal Plane	25.38	32.71	37.12	40.31	45.99	51.27	57.26	
	Ankle	Anterior Axis	22.37	25.16	27.83	32.17	36.56	41.21	45.09	
		Distal Axis	6.83	9.55	10.86	12.44	15.79	18.91	22.83	
		Sagittal Plane	24.76	28.73	33.71	39.56	44.81	49.54	55.73	

ID: 15	speed		4	6	8	10	12	14	16	
23yrs	Treadmill	HR	101.25	120.50	141.00	152.75	169.00	183.25	192.00	
172cm	Running	Wrist	Distal Axis	15.81	18.69	23.98	27.47	28.81	29.27	32.46
65kg		Medial Axis	19.00	33.08	36.24	39.60	44.43	44.29	48.19	
		Sagittal Plane	27.73	42.06	48.53	53.96	58.00	57.76	63.03	
		Ankle	Anterior Axis	25.87	27.90	29.82	31.50	36.56	40.48	44.98
		Distal Axis	4.35	6.84	11.65	16.64	16.54	20.33	23.63	
		Sagittal Plane	26.73	29.38	33.76	38.69	42.32	48.28	54.38	
	Ground	HR	103.25	120.50	142.75	152.00	169.25	187.00	193.50	
Running	Wrist	Distal Axis	15.86	18.83	23.99	27.76	29.27	32.46	35.21	
		Medial Axis	19.06	33.17	37.16	40.61	44.53	46.92	48.91	
		Sagittal Plane	27.36	43.06	49.53	52.43	58.87	60.25	63.06	
	Ankle	Anterior Axis	25.87	27.61	29.83	31.53	36.51	40.41	44.83	
		Distal Axis	4.51	7.83	12.54	14.36	16.27	21.33	22.57	
		Sagittal Plane	28.35	30.12	32.54	38.76	42.31	48.27	50.36	

附錄五、所有實驗參與者在兩種跑步模式、各種速度下之心跳、不同部位加速度積分值的平均值

Average	speed	4	6	8	10	12	14	16	
Treadmill	HR	106.9±12.0	123.8±11.0	140.4±11.2	157.0±10.2	172.7±8.3	184.4±7.1	191.9±7.0	
Running	Wrist	Distal Axis	11.9±3.5	14.6±2.7	17.7±3.8	19.8±4.8	23.1±5.5	26.8±5.4	32.1±5.2
		Medial Axis	21.3±3.4	22.2±4.1	25.3±3.6	28.9±3.6	34.2±3.8	39.9±4.8	43.4±5.8
		Sagittal Plane	17.1±3.4	20.5±4.9	24.8±4.0	26.6±4.5	29.9±4.6	33.1±3.5	37.4±4.0
	Ankle	Anterior Axis	21.3±3.4	22.2±4.1	25.3±3.6	28.9±3.6	34.2±3.8	39.9±4.8	43.4±5.8
		Distal Axis	17.1±3.4	20.5±4.9	24.8±4.0	26.6±4.5	29.9±4.6	33.1±3.5	37.4±4.0
		Sagittal Plane	11.9±4.3	16.1±5.7	20.1±5.9	25.3±6.4	31.1±7.8	37.9±9.1	44.7±10.1
Ground	HR	108.2±10.7	122.5±11.2	137.7±11.1	152.7±10.4	167.3±9.0	180.7±7.3	189.4±5.7	
Running	Wrist	Distal Axis	12.4±3.0	15.8±2.7	19.5±4.9	22.5±5.6	25.5±6.3	28.9±6.6	32.2±6.3
		Medial Axis	19.6±3.7	22.4±3.4	25.9±3.3	30.0±3.6	34.2±4.7	40.0±5.5	45.5±7.3
		Sagittal Plane	16.3±4.2	19.7±5.7	22.4±6.2	24.1±6.5	26.2±7.1	29.0±7.6	32.2±7.8
	Ankle	Anterior Axis	19.6±3.7	22.4±3.4	25.9±3.3	30.0±3.6	34.2±4.7	40.0±5.5	45.5±7.3
		Distal Axis	16.3±4.2	19.7±5.7	22.4±6.2	24.1±6.5	26.2±7.1	29.0±7.6	32.2±7.8
		Sagittal Plane	10.2±3.0	13.0±3.5	16.2±5.1	20.7±6.7	24.2±7.4	29.1±8.3	33.9±10.0

附錄六 所有實驗參與者在兩種跑步模式，手腕、腳踝之前後軸、縱向軸、矢狀面加速度積分值與心跳之相關係數

ID	Wrist						Ankle					
	Treadmill Running			Ground Running			Treadmill Running			Ground Running		
	Distal Axis	Medial Axis	Sagittal Plane	Distal Axis	Medial Axis	Sagittal Plane	Anterior Axis	Distal Axis	Sagittal Plane	Anterior Axis	Distal Axis	Sagittal Plane
1	.932*	.912*	.935*	.977*	.991*	.929*	.942*	.934*	.937*	.978*	.967*	.980*
2	.953*	.912*	.953*	.962*	.973*	.977*	.987*	.991*	.986*	.963*	.980*	.992*
3	.732	.184	.938*	.983*	.937*	.989*	.957*	.888*	.945*	.995*	.993*	.976*
4	.882*	.983*	.600	.939*	.969*	.992*	.972*	.895*	.963*	.984*	.990*	.984*
5	.956*	.300	.974*	.897*	.775	.862	.970*	.922*	.962*	.971*	.990*	.987*
6	.989*	.191	.997*	.981*	.975*	.993*	.937*	.881*	.925*	.897*	.878*	.889*
7	.985*	.220	.939*	.992*	.972*	.968*	.975*	.929*	.968*	.981*	.938*	.983*
8	.980*	.554	.922*	.980*	.865	.983*	.973*	.959*	.973*	.987*	.966*	.992*
9	.953*	.973*	.968*	.980*	.992*	.985*	.992*	.995*	.995*	.987*	.989*	.996*
10	.864	.915*	.895*	.897*	.890*	.880*	.888*	.940*	.926*	.917*	.961*	.950*
11	.921*	.964*	.982*	.965*	.979*	.998*	.939*	.975*	.965*	.947*	.988*	.979*
12	.915*	.902*	.910*	.928*	.908*	.943*	.911*	.948*	.932*	.934*	.959*	.924*
13	.987*	.948*	.978*	.995*	.935*	.974*	.965*	.968*	.968*	.982*	.974*	.997*
14	.961*	.974*	.973*	.978*	.992*	.988*	.978*	.972*	.978*	.986*	.969*	.992*
15	.980*	.954*	.963*	.992*	.955*	.959*	.958*	.985*	.978*	.964*	.996*	.977*

*P < .01

個人小傳

作者姓名：廖立同

出生年月日：72年12月7日

出生地：臺灣省雲林縣

主要學歷：嘉義縣私立協同高級中學國中部/高中部

國立高雄師範大學體育學系 96 級

國立臺灣師範大學運動科學研究所 96 級

重要工作經歷：2004 FIFA 世界盃五人制足球錦標賽--日本隊隨隊連絡員

參訪 2005 年第七屆德國杜伊斯堡世界運動會

國科會研究計劃 兼任研究助理

「衝擊震動刺激對人體骨骼肌肉及運動表現之影響」

「快走與慢跑在相同臨界速度之下肢動力學差異」

重要學術著作：

Liao, L. T., Shiang, T. Y., & Chang, J. H. (2008) Acceleration on different body positions during running on a treadmill. *Proceeding 26th International Conference on Biomechanics in Sports (P. 94-97)*. Korea: Seoul.

廖立同、相子元 (印刷中) 身體不同位置加速度分析跑步機跑步身體活動量之研究。 *華人運動生物力學期刊*。

專業證照: C 級足球教練、C 級田徑教練、B 級排球裁判

術科專長: 足球、田徑、排球