

過重感知與塑身車機制設計研究

黃文增
明新科技大學
wthuang@must.edu.tw

張朝霖
台北科技大學
T8418091@ntut.edu.tw

吳漢斌
台北科技大學
T8418091@ntut.edu.tw

黃育賢
台北科技大學
yshwang@ntut.edu.tw

摘要

肥胖已經被世界衛生組織定義成一種慢性病。本系統藉由生物電阻分析法[1][2]的原理進行體脂肪的計算，加上身體質量指數與腰臀比的參數，建立過重的偵測機制，提醒塑身者。塑身者可以藉由本系統所建置之機制，得知自己罹患心血管、代謝症候群等相關疾病的風險程度，再輔以原地健身腳踏車的訓練，幫助塑身者完成塑身的計畫。本系統亦在塑身過程中，持續監控生理數據所發生的變化，以避免運動不足導致塑身成效不彰，或是過度運動所造成的運動傷害。系統使用年齡、心律、最大心跳率等相關身體資訊，分析欲達到塑身效果時所需之運動時間、強度等。並給予適當之建議，以得到想要之塑身效果。

關鍵詞：生物電阻分析法，最大心跳率，代謝症候群。

1. 前言

根據中華民國行政院衛生署所發布的國民營養健康狀況變遷調查[3]中可以了解到，近年來國人肥胖的問題日益嚴重，而因過重引起的相關疾病的病患也日益增加。一般人在進行塑身計畫時，若無專業的體能教練指導時，容易因不當的運動方法，既達不到所想的塑身效果，也容易造成身體的運動傷害。若能藉由本平台於塑身過程中持續偵測生理訊號，並持續給予適當的建議，則可以更精準的計算出每次運動所消耗的熱量，輔助塑身者制訂出量身訂做的塑身運動計畫表。比較起傳統的塑身計畫多半必須到健身中心聽從健身教練的指示，不僅花費較多金錢，且浪費來往交通時間。因此導入此遠端平台後，則可以大幅的降低浪費的金錢與時間。

2. 研究背景

腳踏車為現時所流行之運動工具，又現代人普遍有過重的問題，如何將兩者互將結合，為本研究之重點。

2.1. 如何定義過重

關於肥胖程度的判別上均參考世界衛生組織(World Health Organization, WHO)所發布的身體質量指數(Body Mass Index, BMI)分級表[4]來評估肥胖的程度，如表 1 所示，藉由下(1)式之 BMI 公式：

$$BMI = \frac{weight}{height^2} \left(\text{kg/m}^2 \right) \quad (1)$$

所計算出的風險分級表，可大略分級出心血管疾病、代謝症候群等相關疾病的風險程度。但若男性腰圍大於 90 公分，女性腰圍大於 80 公分，罹患相關疾病的風險則遠較未超過者高一級。依照此圖表與公式進行計算，可概略的區分出肥胖的等級。此外腰圍臀圍比 (Waist to Hip Ratio, WHR)也是一個評估過重的重要參數。根據 WHO 針對亞洲成人所發佈的研究數據顯示[4]，若男性大於 1.0；女性大於 0.8 則表示其腹部囤積過多的脂肪，罹患相關疾病的風險也更為提升。但如果只單純利用 BMI 與腰圍進行分析則會產生誤差，肥胖程度容易因為每個人的肌肉組織成分多寡而使

表 1 亞洲成人 BMI 與疾病風險表[4]

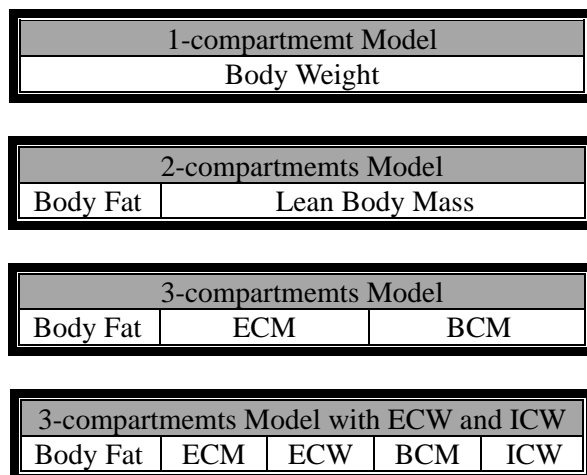
Classification	BMI	Risk of co-morbidities	
		Waist circumference	
		<90cm (men)	≥ 90cm (men)
		<80cm (women)	≥ 80cm (women)
Underweight	<18.5	Low (but Increased risk)	Average
Normal range	18.5 ~ 22.9	Average	Increased
Overweight	At risk	23 ~ 24.9	Moderate
	Obese I	25 ~ 29.9	Severe
	Obese II	>30	Very severe

評估結果失真，且 BMI 分級表並無法精準的分析出身體中各軀幹所含的脂肪比例。

人體中的體脂肪含量會隨年齡上升而增加，因此只依賴 BMI 進行計算則會因年齡的增加而干擾到判斷的結果，因此必須輔以其他參數加以判斷過重程度。藉由將 BMI 與 WHR 加入後，便可以更精準的分析出各軀體肥胖的程度。便可以針對特定的肢體進行塑身的運動，以達到最大的效果。

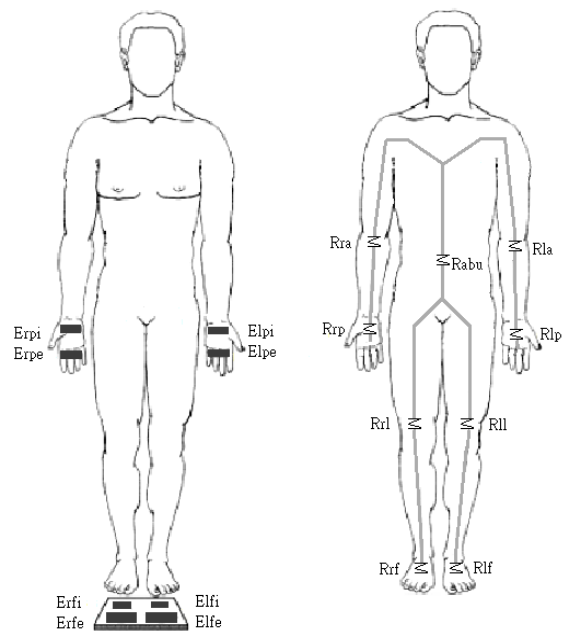
2.2. 體脂肪計算

身體是由骨骼、肌肉、脂肪、體內組織液等不同組織所組成，依照其不同的組織層次進行分類，則可得身體的等效模型，如圖 1 所示。體內組織可以大略區分為瘦肉組織 (Lean Body Mass) 與脂肪組織 (Body Fat)。由於身體中各細胞組織的導電特性不同，因此可以利用其導電特性進一步的分類。瘦肉組織內含有鈉、鉀等具導電性之離子，因此具有導電性。而脂肪組織由於其細胞結構為不導電的脂肪球所構成，不具導電性。藉由兩種組織的導電特性之差異，便可以分別計算出體內兩種組織的比例。藉由體重體脂肪計發出微小電流週期性偵測訊號 (50kHz, 500 μA) 至人體，可以分析出身體中的生物電阻值，以換算出肌肉組織與脂肪組織的比例。此分析方法稱為生物電阻分析法 (Body Impedence Analysis, BIA)，利用



ECM - extra cellular Mass,
 BCM - Body cell mass,
 ECW - Extra cellular water,
 ICW - intra cellular water

圖 1 身體組成層次圖[5]



Exyz ; Rxyz

x : l = left, r = right

y : a = arm, ab = abdomen, f = foot, l = leg, p = plam, t = thigh

z : u = upper

圖 2 BIA 電極分佈圖[6]

BIA 法進行分析比起過去所使用之 BMI 計算方式更能精準的計算出身體中各軀幹所含的脂肪比例。

而 BIA 量測方法[7]的電極分佈與原理如圖 2 所示。身體可分成五個肢體柱體，分別為左上肢、右上肢、左腿、右腿、胸腹腔。體重體脂計分別測量五個肢體柱體的阻抗值，則可以求得各肢體柱體的皮下脂肪量。四個測試電極板分別位於左上肢(Elpe)、右上肢(Erpe)、左腿(Elfe)、右腿(Erfe)，藉由四個測試電極板發出 50kHz 500 μA 對人體相當安全的微小電流週期性偵測訊號至四個接收電極板，分別位於左上肢(Elpi)、右上肢(Erpi)、左腿(Elfi)、右腿(Erfi)，藉由類比數位轉換器(ADC)進行分析，並藉由分段掃描的方式，以重疊定理進行各軀幹電阻的計算，求得各軀幹之脂肪比例。

2.3. 塑身機制設計

目前估算運動時消耗的熱量均以體重、年齡作為計算標準。要精準的估計所需消耗的熱量則必須考慮以下兩個變數：1. 每天攝取的熱量，2. 每個人不同的靜止時能量消耗 (Resting Energy Expenditure, REE)。關於 REE 可以用

Harris-Benedict equation (HBE)[8]做為基礎進行分析計算。HBE 依據性別、體重(*body weight*)、身高(*height*)、年齡(*age*)之差異計算出每位塑身者的REE。男性的REE公式如下列(2)式所示，而女性的REE公式如下列(3)式所示：

$$\text{REE(men)} = 66.45 + (13.75 * \text{body weight}) + (5 * \text{height}) - (6.76 * \text{age}) \quad (2)$$

$$\text{REE(women)} = 665.1 + (6 * \text{body weight}) + (1.8 * \text{height}) - (4.7 * \text{age}) \quad (3)$$

在加入每位塑身者的 REE 後。以減重 1 公斤 (kg) 需消耗 7700 千卡 (kcal) 的熱量下進行計算。因此若計畫於 M 天內減去 N kg 的脂肪，且將其所需消耗的總熱量平均分散至 M 天中，即每天所需藉由踩踏腳踏車消耗的熱量 H(kcal) 如下 (4) 式所示：

$$H = \left(\text{REE} + \left(\frac{N * 7700}{M} \right) - \text{每天攝取的熱量} \right) \quad (4)$$

以上述 (4) 式便可以設計塑身者每天進行塑身運動時所需消耗的熱量。

騎乘腳踏車為一種中度運動強度的一種運動，且為目前市面上所流行的一種運動器材，但為求在可控制的環境下進行，系統必須藉由原地腳踏車的方式進行訓練，以確保環境變數一致。

2.4. 運動熱量消耗計算[9][10]

目前計算運動過程中的熱量消耗量估計法有以下幾種：1、最大攝氧量 (maximal oxygen uptake, $V \cdot O_2\text{max}$) 百分比法。2、速度法。3、功能代謝能力法 (Metabolic equivalent, METs)。4、心跳法。最常見的就是 $V \cdot O_2\text{max}$ 百分比法，然而 $V \cdot O_2\text{max}$ 百分比法有著經費昂貴的問題， $V \cdot O_2\text{max}$ 測驗較多只能在運動生理學實驗室中進行，且經由實驗數據[9]可得知利用 $V \cdot O_2\text{max}$ 測驗與心跳法的結果相當接近。速度法，是一般體能教練使用最頻繁的強度設定法，在固定距離以特定速度完成，如三百公尺以一百秒跑完、跑六趟等，強度的訂定完全是教練主觀判定，因此速度法的使用上，教練的經驗就成為一個很重要的因素。經驗豐

富或了解選手的教練可以訂出適合不同選手強度的課表，但若教練的經驗不足則可能制定出訓練效果不彰或因過度訓練的訓練課程，因此無法進行數據分析。METs 法，代表人體安靜休息狀態下攝氧量 (亦稱為休息代謝率) 的倍數，1MET 等於 3.5ml/kg/min。隨著運動強度的增加，運動時的攝氧量也會跟著提高，如果某人慢跑時的攝氧量剛好是 14ml/kg/min 時，此人慢跑的強度即為 4MET。METs 法不需要昂貴測驗儀器與簡單方便的優點，但是它無法顯現運動參與者的個別化別差異。最後，心跳法是將耐力訓練的最佳強度維持心跳率在一個適當的範圍為中。設定心跳率範圍時須先計算出每個人運動時的最大心跳率進行評估，計算方式如下列 (5) 式所示：

$$\text{每分鐘最大心跳數} = 220 - \text{age} \quad (5)$$

依照 (2)、(3) 式可以計算出不同的男性與女性塑身者的 REE，再加入 (4) 式進行計算可規劃出每天應該做的運動量。而為了避免運動量不足致使效果不彰，或是運動過度造成的運動傷害，必須再以 SpO2 脈動測氧器監控其運動時的心跳率。系統設定塑身者在運動時，其每分鐘心跳率必須落在最大心跳率的 60%~80% 之間[9]，因此運動時心跳率範圍則符合下列 (6) 式的心跳率區間：

$$\text{Min Heart Rate} = (220 - \text{age}) * 60\% \quad (6)$$

$$\text{Max Heart Rate} = (220 - \text{age}) * 80\%$$

若運動時的心跳率低於最小值 (Min Heart Rate)，則無法達到最大脂肪代謝的效果，但若運動時心跳率大於最大數 (Max Heart Rate)，則表示此時已經屬於強度運動強度，對於脂肪代謝的效果已經無法增加，並會增加身體的負擔。因此一旦出現以上兩種情形都必須在原地腳踏車的面板上提醒塑身者，並將運動強度做適度調整，避免塑身者效率不佳或身體傷害。

2.5. 最大脂肪代謝率 (Maximal Fat Oxidation) [9][10][11]

過去進行訓練時多半以固定速度訓練的方式進行踩踏自行車，但因為各人的體能狀況與每天的體能狀態皆不同的情況下，可能會安

排出負荷過重或過輕的訓練。因此改以(6)式做為運動強度控制的限制條件，心跳會因每次訓練的狀態而有些為不同改變，也能一直依照人體隨時不同的狀況改變踩踏力道，這種訓練方式比較接近各人不同的狀態做調整，安全性較高也易於適應。以固定速度做為強度設定比較適合體能較好的塑身者，基於安全性的考量，以控制心跳率的方式最為強度設定的訓練，比較適合體能較差或年紀較大的塑身者，運動強度可以依據塑身者的年齡、體能狀態做調整，根據塑身者能力而調整運動強度，較符合安全的原則。

透過心跳率控制(heart rate control, HRC)的訓練方式，比起固定速度的訓練方式，安全性較高。且以HRC的方式在長時間有氧的訓練下，為維持相同的目標心跳率，隨著時間經過運動能力提升，相對的踩踏的強度也會加重，因此HRC訓練方式有增進心肺適能的效果。脂肪的代謝與運動強度的強弱並無明顯的相關性，而是與運動時間的長短成正比。為了能達到最大脂肪代謝[12]的效果，必須將運動時間拉長，而非選擇更強烈的運動方式。

3. 系統架構

本系統架構如圖3所示，系統在每次進行塑身運動前，先藉由體重體脂偵測儀器得知每次運動前之生理狀態，依據(2)、(3)、(4)式計算出每次運動所需要的強度、時間等資料。並透過原地腳踏車面板顯示，讓塑身者可以得知每次運動的目標卡路里數、運動時間長度、踩踏強度。在運動過程中，系統透過SpO2脈動血氧偵測器持續監測塑身者之心跳率。藉

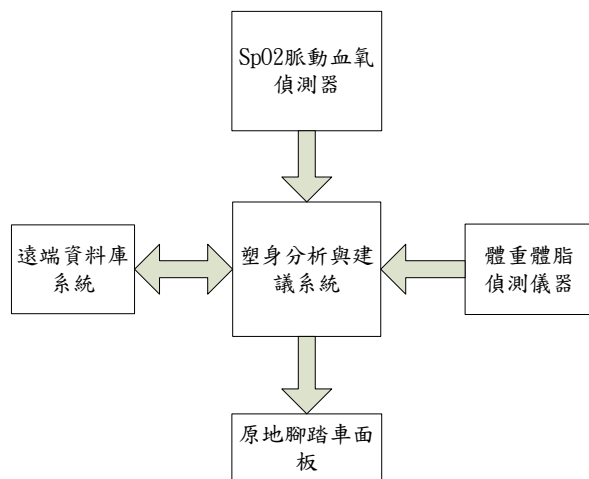


圖3 系統架構圖

由(6)式的結果，動態的調整塑身者的踩踏力道、時間，避免塑身者因過度運動造成運動傷害，且又可以達到最大的塑身效果。在資料儲存方面，藉由資料庫系統的儲存，可以針對個別塑身者進行長期的分析，藉以使塑身者得知塑身期間所消耗的卡路里趨勢、與運動過程的心跳率。

3.1. 偵測儀器架構

偵測儀器可區分為兩種，分別為 1. OMRON HBF-362 體重體脂偵測器[13]，如圖4所示。2. NONIN iPod 3212 SpO2 脈動測氧器[14]，如圖5所示。體重體脂偵測器可提供每位塑身者關於體重、總體脂率、身體年齡、BMI、REE、內臟體脂率、雙手，雙腳，胸腹腔的皮下脂肪率等生理資訊。而 SpO2 脈動測氧器可在塑身的過程中，持續的提供心跳、血氧的生理資訊，以進行監視運動時的心跳率。



圖4 OMRON HBF-362 體重體脂偵測器[13]



圖5 NONIN iPod 3212 SpO2 脈動測氧器[14]

3.2. 運動儀器架構

本系統以 Monark Cardio Comfort 837E[15][16][17]斜躺式原地腳踏車，做為塑身者所使用的運動儀器，如圖 6.所示。為了在後續計算上更為容易。目前在原地腳踏車上改裝一個可偵測煞車帶壓力的線性彈簧，如圖 7 所示，系統可由線性彈簧的壓縮或伸張的長度換算出塑身者目前所踩踏的力道大小。塑身者可以藉由此原地腳踏車量測騎乘的所做的功，換算出每個踩踏循環所消耗的熱量，亦可以在運動過程中，藉由塑身者配戴 SpO2 偵測器，在運動時持續監測生理資訊，以避免運動不足或是運動傷害的形成。



圖 6 Monark Cardio Comfort 837E 原地鍛鍊腳踏車[15][16][17]



圖 7 線性彈簧力道感應器

4. 實驗設計

依照下列 (7) 式可得知塑身於運動時所做的功率消耗為[18][19]：

$$kpm = kp * RPM * distance \text{ (per revolution)} \quad (7)$$

其中 kp 為正常重力加速度下作用於 $1kg$ 質量的力， RPM 為塑身者完整踩踏一圈的圈數， $distance$ 為運動時，飛輪轉動所產生的行走距離。

經 (7) 式計算後計算，則可得到踩踏原地腳踏車時所做的功，再利用 $1 \text{ kcal} = 426.85 \text{ kpm}$ 即可計算出運動期間所消耗的卡路里數。若以每天以 1200 kpm/min 的強度 90 分鐘的時間長度進行訓練時，其卡路里消耗的效果如圖 8 所示。以減去 1 kg 體重需消耗 7700 kcal 來說，以此設定強度與時間恰好可以在 30 天內減去約 $1kg$ 的重量。而系統能須搭配運動心跳率的區間限制條件，避免塑身者不足或不當的運動。若系統偵測到塑身者的心跳率低於最小運動心跳率，系統將加重原地腳踏車之 kp 值，使塑身者在一定的 RPM 下，增加踩踏力道，使心跳率上升。反之，若塑身者的心跳已經超過最大運動心跳率，則降低原地腳踏車之 kp 值，使塑身者在一定的 RPM 下，減少踩踏力道，使心跳率下降。

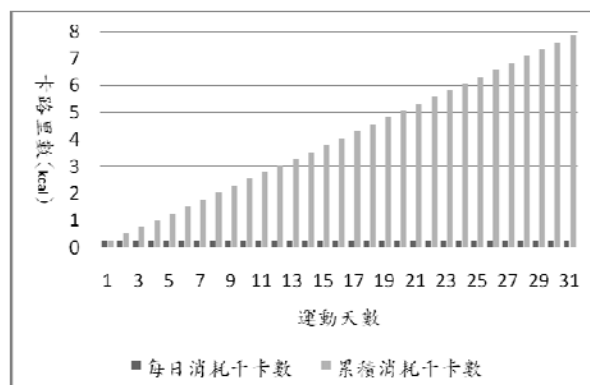


圖 8 運動卡路里消耗趨勢圖

系統為了避免造成塑身者的運動傷害，每次運動程序的前 3 分鐘將屬於熱身階段，此時將踩踏強度上限設定為 $600kpm/min$ ，並且在熱身階段監視塑身者的心跳率，若塑身者於熱身階段的心跳已經超過最大運動心跳率，則將 kp 值下降，使塑身者的心跳保持在最大運動心跳率以下。經過前 3 分鐘的熱身階段之後，系統便將踩踏強度慢慢上升，直到塑身者之運動心跳率能穩定保持在最大值附近，並持續 30 分鐘。經過 30 分鐘後，系統將運動心跳率調整至最小值，以達到最大脂肪代謝的效果，系統將運動時間設定在 90 分鐘，待 90 分鐘運動循環結束後，系統進行分析計算本次運動所消耗的熱量，並為塑身者計算出尚需要消耗的熱量值，以供塑身者了解自己的塑身計畫。

5. 結論

建制本系統能為塑身者安排一套合適的塑身計畫，藉由本系統所提出的公式，可以幫塑身者計算出合適的運動強度與運動時間，並且可以在運動後分析塑身者距離設定目標的進度，並且確保塑身者在運動過程中，不會因為過於激烈的計畫，導致身體傷害。或是過於鬆懈的計畫，導致成效不佳。但是塑身的成功與否取決於塑身者的毅力與恆心。唯有恆心與毅力才是塑身的不二法門。

本系統未來將加入更多運動儀器，使塑身者不至於因為過於單調而失去塑身的動力，未來也將結合多種無線生理感測裝置，將塑身者日常生活中所運動消耗的熱量一併加入計算，以求得更加精準的熱量消耗值。

參考文獻

- [1] Bosaeus, Ingvar, De Lorenzo, Antonin D., Deurenberg, Paul, Elia, Marinis, Gomez, Jose Manuel, Heitmann, Berit Lilienthal, Kent-Smith, Luisa, Kyle, Ursula G., Melchior Jean-Claude, Pirlich, Matthias, Pirlich, Matthias, Scharfetter, Hermann and Schols, Annemie M. W. J., "Bioelectrical impedance analysis part I: review of principles and methods," *Clinical Nutrition*, 2004.
- [2] Bosaeus, Ingvar, De Lorenzo, Antonin D., Deurenberg, Paul, Elia, Marinis, Gomez, Jose Manuel, Heitmann, Berit Lilienthal, Kent-Smith, Luisa, Kyle, Ursula G., Melchior Jean-Claude, Pirlich, Matthias, Pirlich, Matthias, Scharfetter, Hermann and Schols, Annemie M. W. J., "Bioelectrical impedance analysis part II: utilization in clinical practice," *Clinical Nutrition*, 2004.
- [3] 高美丁、曾明淑、葉文婷、張瑛紹、潘文涵，"台灣地區居民體位及肥胖狀況"，*行政院衛生署國民營養現況*，pp.145-171, 1996。
- [4] Bassett, J., Caterson, I., Chunming, Chan, Ikeda, Y., Inoue, S., Khalid, Dato Ak., Kim, YS. and Zimmet, P., "The asia pacific perspective : redefining obesity and its treatment," *World Health Organization*, 2000.
- [5] Curseu, Daniela, Ionutas, Alina, Popa, Monica and Sirbu, Dana, "The measurement of body composition by bioelectrical impedance," *IEEE international conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, May 2006.
- [6] Chau-Jane, Peng, Ji-Jer, Huang and Kuo-Sheng, Cheng, "Temperature compensated bioimpedance system for estimating body composition the influence of temperature variation on segmental fat free mass estimation," *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, Vol. 19, No. 6, pp. 66-73, Dec. 2000.
- [7] Neil, Segal, Ryohei, Ogawa, Tadanobu, Morimoto, Tamami, Toda, Yoshitaka Toda, "Lean body mass and body fat distribution in participants with chronic low back pain," *American Medical Association*, Vol. 160, Nov. 2000.
- [8] Diehl, Jean-Luc, Fagon, Jean-Yves, Faisy, Christophe, Guerot, Emmanuel and Labrousse, Jacques, "Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients," *American Society for Clinical Nutrition*, p241-249, 2003.
- [9] 吳泰昌，"不同強度心跳率控制跑步訓練對心肺適能影響之研究"，*國立中正大學*，2007。
- [10] 王順正、程文欣、王予仕、黃彥鈞、江泰儒，"心跳率控制跑步速度與固定速度訓練的比較研究"，*體育學報*，Vol. 41, No. 2, pp.1-14，2008。
- [11] Douglas, J. Maxwell, John P. Hasler, Malcolm, H. Granat and Victoria, L. Hood, "A new method of using heart rate to represent energy expenditure: the total heart beat index," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol. 83, pp.1266-1273, Sept. 2003.
- [12] 楊群正，"60分鐘最大脂肪代謝率強度跑步運動對脂肪代謝影響之研究"，*第四屆華人運動生理與體適能學者學會年會暨學術發表會*，2005。
- [13] HBF-362身體掃描器使用說明，*OMRON Health Care Co.,Ltd*，<http://www.omronhealthcare.com.tw/upload/docs/2.pdf>
- [14] NONIN iPod 3212 integrated pulse oximetry device specifications，*NONIN Medical Inc.*，<http://www.nonin.com/documents/ipod%20Specifications.pdf>
- [15] Monark Cardio comfort 837E instruction manual，*Monark Exercise AB*，http://www.monarkexercise.se/wk_custom/documents/%7B16e887e5-2308-49bb-a6fd-5e0640f4a9cf%7D_manual837.pdf

- [16] Monark Cardio comfort 837E manual ,
Monark Exercise AB ,
http://www.monarkexercise.se/wk_custom/documents/%7B596fcbbe-e91a-4ea8-8d01-f4bd89f9c840%7D_837_e_manual_0909.pdf
- [17] Monark Cardio comfort 837E Quick guide , **Monark Exercise AB** ,
http://www.monarkexercise.se/wk_custom/documents/%7B36a686ff-6e9e-4e46-b0f4-44819e3cf5cc%7D_837_e_quick_guide_0909.pdf
- [18] 林正常，**運動生理學實驗指引**，師大書院，1989。
- [19] 林正常，”**運動生理學**” ，師大書院，1989。