

# 馬桶座上姿態與區段生物電阻抗推估非脂肪質量之影響

黃基哲\*、劉翰陽

南臺科技大學電機工程系

\*jjhuang@stust.edu.tw

## 摘要

肥胖是一種常被忽略的慢性疾病，然而人體脂肪的分布及多寡，常受個人飲食、運動習慣及疾病的影響，因此若能每日測量並得知，進而改變習慣。在本論文提出自製的電阻抗量測系統包含馬桶座及手握電極把，當受測者在不同姿態及不同迴路區段下所量得的電阻抗值，並與標準儀器測得的FFM進行多變量回歸分析。從不同姿態及不同區段的量測可看出在RPI-RTI（右手與右大腿）的區段下其電阻值小於其他各區段之電阻值。經由得到的推估FFM值與不同姿勢間之影響，當姿態為上肢舉高呈現135度及180度時，具有較高的相關性，可得其平均 $R^2$ 為0.968。在不同量測區段方面，當RPI-RTI（右手與右大腿）之回歸相關性較佳於其他區段。而當姿態方面可看出身體向前傾的時候，所得的推估FFM值有較差的迴歸分析結果，得其平均 $R^2$ 約為0.946。

**關鍵詞：**生物電阻抗、馬桶座、姿態、非體脂肪重量

## Effect of Toilet Seat Sitting Posture on the Estimation of Fat-free Mass through Bioelectrical Impedance Measurement

Ji-Jer Huang, Han-Yang Liu

Department of Electrical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

### Abstract

Obesity is an overlooked chronic disease. The distribution and amount of body fat are often affected by personal diet, exercise habits, and ailments. Hence, making daily measurements that could lead to a change of habit is meaningful work. This research proposes a self-made electrical impedance measurement system that includes a toilet seat and hand grip electrodes. When the participants have different postures and hand grips, the electrical impedance values generated, and the acquired electrical current at different segments was compared with standard FFM measurements and inspected through multivariate regression analysis. Results from measuring different postures and segments showed that the resistance value at the RPI-RTI (right-hand and right-thigh) segment is smaller than that of other segments. From the estimated FFM values obtained and the impact of different postures, it was observed that when the upper limb was elevated at 135 and 180 degrees, there was a high correlation, and the average  $R^2$  was 0.968. Regression correlations between RPI-RTI (right-hand and right-thigh) were better than the measured values for other segments. As for the posture, when the body leans forward, poorer estimated FFM values were obtained through regression analysis, with the average  $R^2$  being 0.946.

**Keywords:** Bioelectrical Impedance, Toilet Seat, Posture, Fat-free Mass

## 壹、前言

肥胖是一種常被忽略的慢性疾病，是造成許多疾病的主要因子。WHO及FDA等組織已將肥胖列為慢性疾病。然而人體脂肪的分布及多寡，常受個人飲食、運動習慣及疾病的影響，因此能有效得知並進而改變生活習慣，便能有效地預防疾病的發生。目前用於量測人體脂肪的方法有：雙能X光吸收測量法（dual energy x-ray absorptiometry, DEXA）、水中稱重法（under water weight）、量測皮下厚度法及生物阻抗測定法（electrical impedance analysis, BIA）[1-2]，前兩者有輻射性或費時的缺點，而量測皮下厚度法也只能獲得概略性的參考值。然而生物阻抗測定法具有不具侵入性、輻射性、且安全的優點，它主要是一種利用脂肪與非脂肪組織具有不同導電度的特性，經導入電流而量得阻抗值，以此阻抗值進行計算，可獲得身體總水含量（total body water, TBW）、非脂肪質量（fat-free mass, FFM）及身體總鉀含量（total body potassium, TBK）[3]。進而估算出脂肪與非脂肪組織百分比之技術。當進行全身BIA量測時，人們的軀幹對生物電阻量測值，因其橫截面較大之故，所以軀幹的貢獻較小，然而身體所有的重量約有一半卻是在軀幹部位[4]，所以將電極放置於腕部、肩部、腰部、臀部、腿及軀幹等位置，可觀察身體各區段的非脂肪重及身體細胞重（body cell mass, BCM）的變化。此技術亦可應用於偵測腹部積水或腎功能異常等應用[5]，也可應於愛滋病患者對藥物治療的觀察研究[6]，當然代謝異常症候群中肥胖及糖尿病與疾病相關性研究[7-8]。全身測量外也可將人體分成數個圓柱體分別是雙上臂、前臂、大腿、小腿及軀幹，並且得到上肢、軀幹及下肢的比例關係[9]或電阻值關係[10]。有學者提出新的模型及量測方法，當電極放置的位置不同時所造成區段阻抗值間的差異[11]。也有一些學者提出電阻抗與身體姿態改變之間的影響關係[12]，發現使用手腳的電極對進行量測不同區段的電阻抗值，並估算肌肉成份之多寡，發現使用電阻抗值的方法較使用人體計測的方法為佳[13-14]。也有將環境溫度大小的變化考量近來，並用以補償區段電阻抗的量測值[10]。也有學者利用多區段電阻抗數值由長時間觀察其姿態與身體不同區段的變化情形[15]。將日常起居裝置與生理監測功能相結合，使得取得生理參數時不影響使用者的生活起居，並且具有全自動的能力且長時間被記錄的特性。故有研究學者將電容式電極應用於汽車的安全帶或衛浴的設備如馬桶座墊及泡澡槽以擷取生理訊號[16]，更有針對長時間健康監測之需求亦將生物電阻抗的電極結合於馬桶座墊[17]。然而如在如廁時也能同時記錄重量及體脂肪時，那何種姿勢最接近體脂肪標準測量法。

在本研究中，量測受測者在如廁時在不同姿態及在不同電極的迴路區段下量測生物電阻抗值，檢測其實驗數據獲得彼此之間的差異，觀察姿態及區段間的關係，並與標準儀器測得的FFM進行多變量回歸分析。由相關性數值的分析可得較佳的姿態與區段。希望能記錄每人每天如廁的習慣，長期且非察覺的方式記錄使用者的體脂肪比及體重，這將對人們的健康保持應有相當的助益與重要性。

## 貳、方法與材料

### 一、身體組成

如圖1所顯示人體的成份組成，其中體重裡包含了脂肪（fat）及非體重脂肪質量，其中脂肪其提供人們保溫，溫暖，能量儲存，並且是幫助多種維生素吸收的必要物質。另一部份為非脂肪的質量亦被稱為人們的瘦體重。在瘦體重中又含瘦脂肪的質量（lean dry mass, LDM）從人們的去脂體重減去所有的水後所得之質量，以及體內總水量指在人們所含的水份。細胞內水份（intracellular water, ICW）表示人們細胞內的水含量。細胞外水份（extracellular water, ECW）表示人們細胞外的水含量。骨質含量（bone mineral content, BMC）只是一個用以估算人們骨骼的質量，且它是無脂肪含量中的一部分。瘦肉組織重量（lean soft-tissue, LST）的獲得與LDM是使用相同的方法，是指去除無脂肪體重中含水的部份及減去骨含量的結果，這部份包括人們的器官，肌肉，結締組織及支持性組織等。骨骼肌質量（skeletal muscle mass, SMM）其肌肉主要負責姿勢和動作。體重（weight, 簡稱Wt）為一般透過體重計得到全身之重量，其包含了FFM及脂肪，可看出其FFM的比例占體重

的比例中的一部份，脂肪主要是體重扣掉FFM後所獲得的結果，FFM中包含了TBW及BCM，在過去有很多的文獻使用迴歸分析法得到BIA公式並推估其人體內FFM之數值，其在公式中包含生理計測參數如身高、體重、電抗、年齡及人體軀幹或四肢長度等等。而FFM則包含人體中骨骼、肌肉器官及結締等組織。在一些研究及討論中指出FFM與疾病之間有著直接關係，它影響個人健康及長壽等因素，如重大疾病如肥胖、糖尿病、惡性腫瘤[1]。

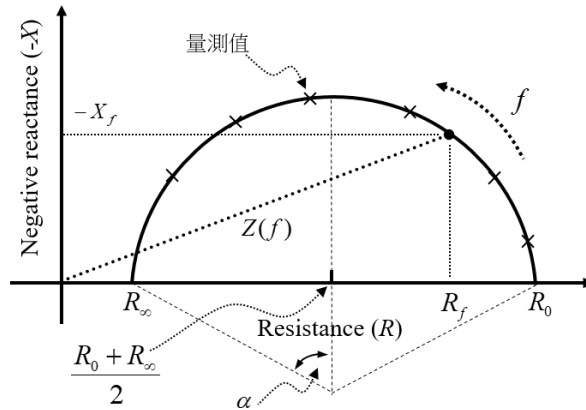
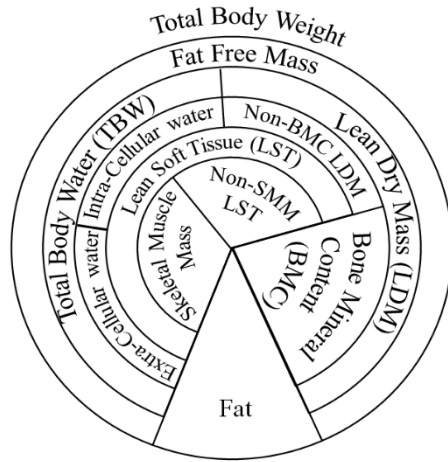


圖 1 身體組成物質關係圖

圖 2 Cole-Cole圖與量測值

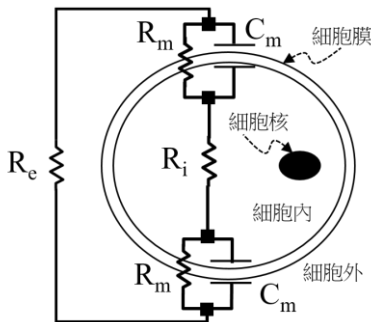
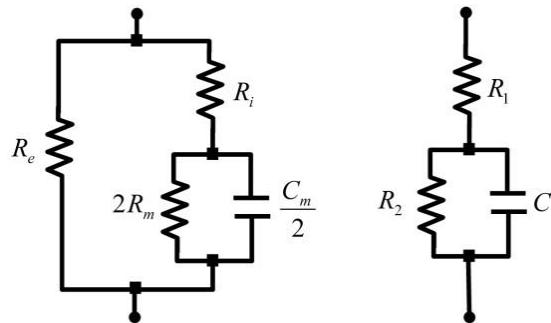


圖3 細胞的等效電路模型



(a)四元件模型

(b)三元件模型

圖4 細胞的等效電路模型

## 二、生物電阻抗分析

至於如何量取生物電阻抗，一般大致可分成單頻率與多頻率來獲取當電流通過細胞之間所表現出來的重要資訊。單頻率生物組抗分析通常使用單一頻率之電流訊號輸入所需量測的部位，通常最方便量測的部位分別為手和腳，當然也可使用於其他位置，有些研究的量測位置為手對手，或是腳對腳量測位置，量測得到之電阻值透過迴歸之方式可獲得受測者的FFM及TBW數值，因使用單一頻率其資訊不足解析得知其ECW及ICW數值，則多頻率電阻抗分析（multi-frequency BIA, MF-BIA）使用不同頻率，常用頻率分別為0、1、5、50、100、200和500kHz，在不同頻率之下得到之電阻值會因為頻率的改變而有所不同，在頻率低於5kHz及200kHz以上在電阻抗其重複性較差，常使用線性迴歸方程式用以估算FFM、TBW、ICW及ECW等數值[2]。

另外多頻量測方法中又可獲得生物阻抗頻譜（bioelectrical spectroscopy, BIS），在1941年時，Cole等人發表其Cole-Cole圖如圖2所示，其使用數學的模型混合函式，針對生物組織以不同頻率掃描，可獲得實部為電阻值（R）及虛部為電容抗（X），實部加上虛部為其電阻抗（Z），將兩個參數配合Cole-Cole圖形經過擬合運算，可得其特徵參數，經過研判可獲得細胞好壞之資訊。可將細胞使用等效電路來加以表示如圖3，其經過化簡可獲得圖4(a)的四元件模型，再將四元件模型中的電阻加以合併可獲得其三元件模型如圖4(b)，將使用三元件模型來解釋其生物電阻抗特性，當以不同頻率導入模型兩端點時，電阻值（R）及電抗值（X）可組成電阻抗值（Z），電容抗及頻率有其關係，所以當頻率變化時，可得不同之電阻值。假設將頻率輸入趨近於0時，電阻抗則為 $Z=R_1+R_2$ ，電容為開路狀態。如將其輸入頻率趨近於無限大時，電阻值為 $Z=R_1$ ，電容近似短路。我們從圖中可以知道其頻率逆時針增加時，可以量測其X軸電阻抗（R）之變化，Y軸電容抗（-X）之變化。將量測其不同頻率之電阻值（Z）做趨勢運算可得其一個半圓圖形。Cole-Cole圖中可知其四個重要特徵參數，頻率為無窮大時的Z（ $R_\infty$ ）、頻率為零時的Z（ $R_0$ ）、幅角（ $\alpha$ ）與特性頻率（ $f_c$ ）。 $R_0=R_1+R_2$ ， $R_\infty=R_1$ ， $f_c$ 為導入的頻率，其 $R=(R_0+R_\infty)/2$ ， $R_0$ 連線與半圓圓心到 $\alpha$ 為半圓圓心到 $(R_0+R_\infty)/2$ 連線的夾角。四個重要參數分析了解其生物組織之特性。其生成的R與體液之間的關係，用 $R_0$ 及 $R_n$ 來預測方程式。在BIS模型中，可透過不同頻率下電阻抗值的常數與利用迴歸分析方法預估其患者之健康狀況。然而在疾病中須更精確的建立模型，體細胞群BCM中，尤其是肌肉質量構成了主要電流通路。這些細胞是圓柱型而非球形，沿著電流路徑分佈。此外在電阻精準度的要求與rICW及rECW的擷取亦較困難。

區段性生物阻抗分析在身體的不同部位加上電極，如手腕、腳、肩前臂、軀幹等地方進行量測，詳細了解各區段電阻及FFM之變化，亦可詳細了解全身電阻量測無法精準量測之肌肉質量或軀幹的BCM，區段生物阻抗分析全身各區段BIA的測量有幾個影響：如脂肪部分、水的部分等。因此有效的回歸人群的特異性，可明確定義主體段減少其他的影響。有研究指出可以評估神經肌肉相關疾病的與其電阻率降低等相關的疾病。而推估原理則使用歐姆原理 $R=\rho L/A$ ，其中L為長度（L）、A為橫截面面積與 $\rho$ 表示電阻率，同時分子分母同乘以長度（L），則分母可獲得一個圓桶型體積（V），得 $R=\rho L^2/V$ 的關係式，常以人體的身高（h）來等比於長度（L），假設獲得非體重脂肪重量（FFM）或者是身體總水量（TBW）等目標參數值，並同時量取其電阻值R（ $\Omega$ ）、輸入身高（h）和體重（Wt）、或經計算得的BMI（Body Mass Index）= $Wt/h^2$ 等參數值進行迴歸分析以期推估出所希望的目標參數值[4]。

## 三、電極設計

如圖5(a)顯示為電極相關位置圖，分別包含左右手握把電極顯示於圖5(b)，手握把為壓克力實心棒所製作，其40mm直徑，長度為120mm，電極則為不鏽鋼100mm\*20mm不鏽鋼片所組成，其中電極則分別定義為右手掌內外側（right palm internal, RPI; right palm external, RPE）及左手掌內外側（left palm internal, LPI; left palm external, LPE）。另外馬桶坐墊上則分別有右大腿內外側（right thigh internal, RTI; right thigh external, RTE）

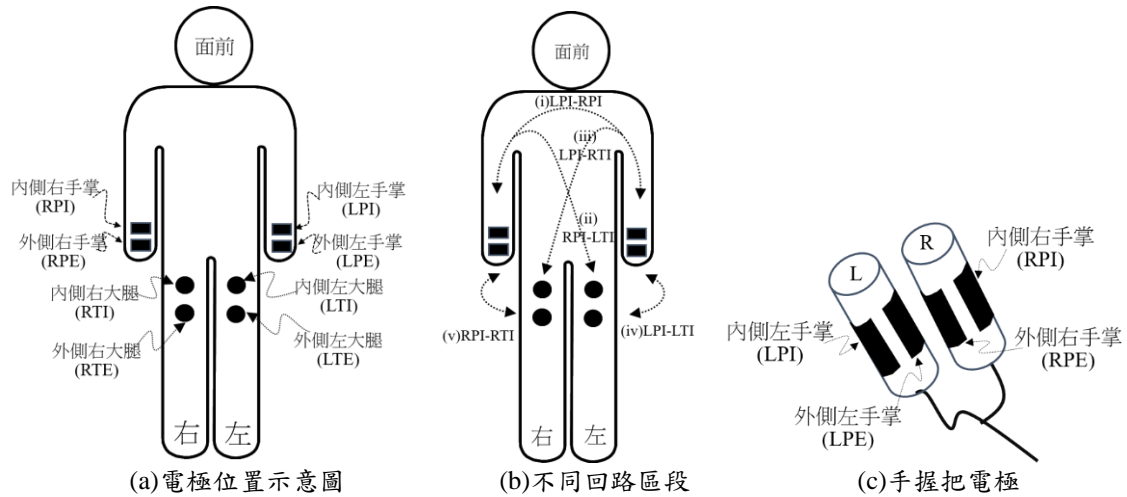


圖5 手部電極位置、結構與量測關係之示意圖

及左大腿內外側 (left thigh internal, LTI; left thigh external, LTE) 等電極，如圖顯示於圖6(a)。在圖6(b)則顯示用以測量受測者體重所需的四個形變感測器。由以上八個電極我們可分別在外側導入電流，而由內側量得各不同回路區段的電阻值，如回路 (i) 則定義為左手掌與右手掌區段 (LPI-RPI)，(ii) 為右手掌與左大腿區段 (RPI-LTI)，(iii) 為左手掌與右大腿區段 (LPI-RTI)，(iv) 為左手掌與左大腿區段 (LPI-LTI) 及 (v) 為右手掌與右大腿區段 (RPI-RTI)。圖7顯示手握把與馬桶座電極實體圖。

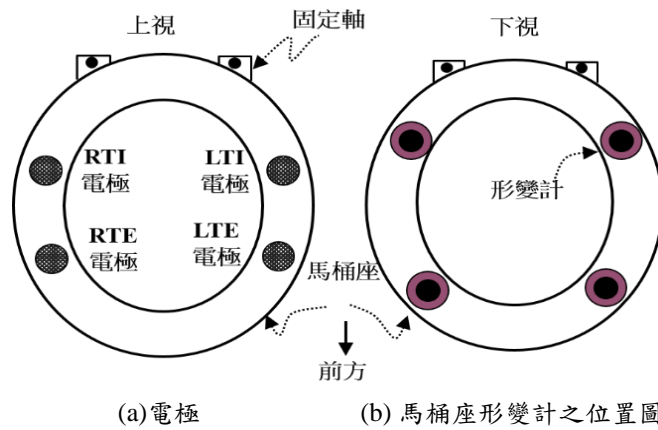


圖6 馬桶座電極與形變計之位置圖

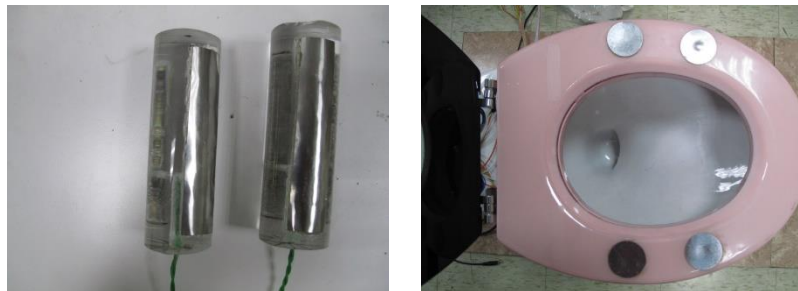


圖7 手握把與馬桶座電極實體圖

#### 四、硬體系統設計

本電阻抗測量系統方塊圖顯示於圖8，使用TI公司所生產的MSP430F5438A晶片為系統核心，由此晶片中脈衝寬度調變產生器（PWM）產生所需的50kHz的時脈訊號波，再導入100kHz低通濾波器輸出正弦波訊號，再送入電壓控制電流源（VCCS）用以產生0.8mA（rms）大小的交流正弦波電流訊號，再經兩個電極（I+，I-）導入受測者，此處所使用四電極阻抗量測技術，同時再利用另外兩電極以擷取受測體之電壓訊號（V+，V-），送至儀表放大器以將訊號加以放大，接著透過全波整流電路將交流訊號轉換成全波訊號，再經30Hz的低通濾波器，以獲得直流值的電壓訊號，最後經增益與位準調整，再導入晶片中的類比數位轉換器，以獲數位電阻抗訊號值。同時在測量系統電路中也將擷取放置於馬桶座下的形變計感測器以擷取電訊號，並將它放大及經增益與位準調整後導入晶片中用以獲得受測者體重的數位值。這些數位資料最後將經藍芽介面傳至遠端的個人電腦端。

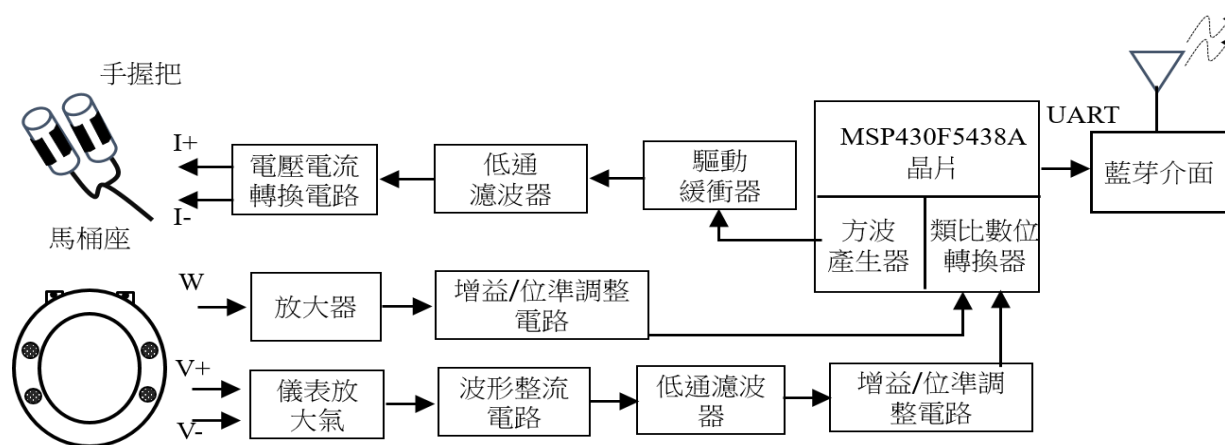


圖 8 測量系統方塊圖

#### 五、韌體設計

系統之的韌體程式是由C語言所撰寫，其程式的流程圖如圖9所顯示，系統首先會進行初始化設定，其數位類比轉換速率為100Hz，另外設定UART的傳輸設定，鮑率為9600Hz，資料量為8Bits及無檢查碼。另外也可載入受測者的年齡、身高及性別等資料，接著系統進行受測者體重之量測，此時產生50kHz電流訊號導入標準電阻及受測者，其標準電阻所量得的數值以做為校正之用。接著，依其電極放置的位置，可分別量測不同迴路之區段的電阻抗數值分別為（i）LPI-RPI迴路表示左手掌至右手掌之間電阻之大小，（ii）RPI-LTI迴路表示右手掌至左大腿之間的電阻值，（iii）LPI-RTI迴路表示左手掌至右大腿之間的電阻值，（iv）LPI-LTI迴路表示右大腿至左大腿之間的電阻值，（v）RPI-RTI迴路表示右手掌至右大腿之間的電阻值，此五種迴路值表示電極與電極之間的電阻值，當量得一筆資料便會即時將資料傳輸出來，最後程式將詢問使用者是否繼續進行量測。

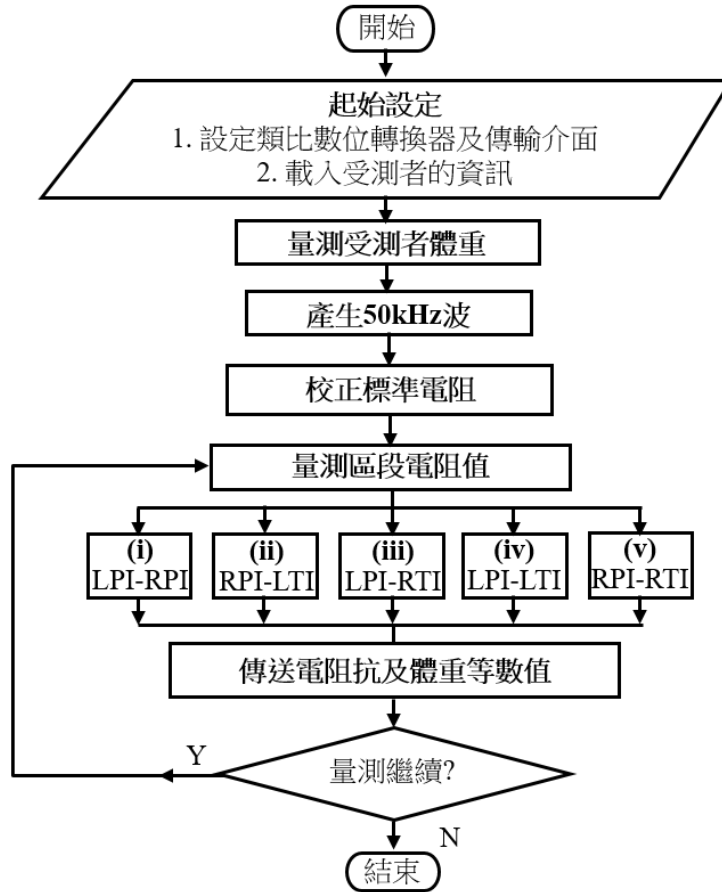
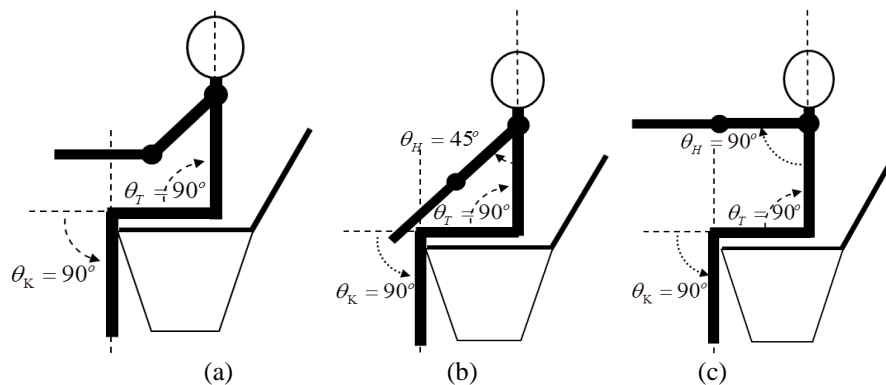


圖 9 韌體程式流程圖

### 六、姿態

當人們坐於馬桶坐墊時，將會自然的擺動四肢，在本研究中我們大致分成七個姿勢來進行探討，如圖10所示，圖10(a)顯示正常姿態，其軀幹與大腿呈90度，小腿與地板亦呈90度，上肢自然下垂。而圖10(b)(c)(d)(e)其軀幹與大腿也皆呈90度，小腿與地板亦呈90度，但其圖10(b)則上肢向下垂與身體呈45度，圖10(c)所示將上肢與身體呈現90度狀態，圖10(d)將上肢舉高呈現135度，圖10(e)將上肢舉高過頭頂與身體呈現180度狀態。而圖10(f)將身體向前傾與身體夾角45度，上肢自然下垂。圖10(g)與身體夾角為135度，上肢也自然下垂。將圖10(a)在此將它定義為姿態(a)，依此類推圖10(g)則定義為姿態(g)。



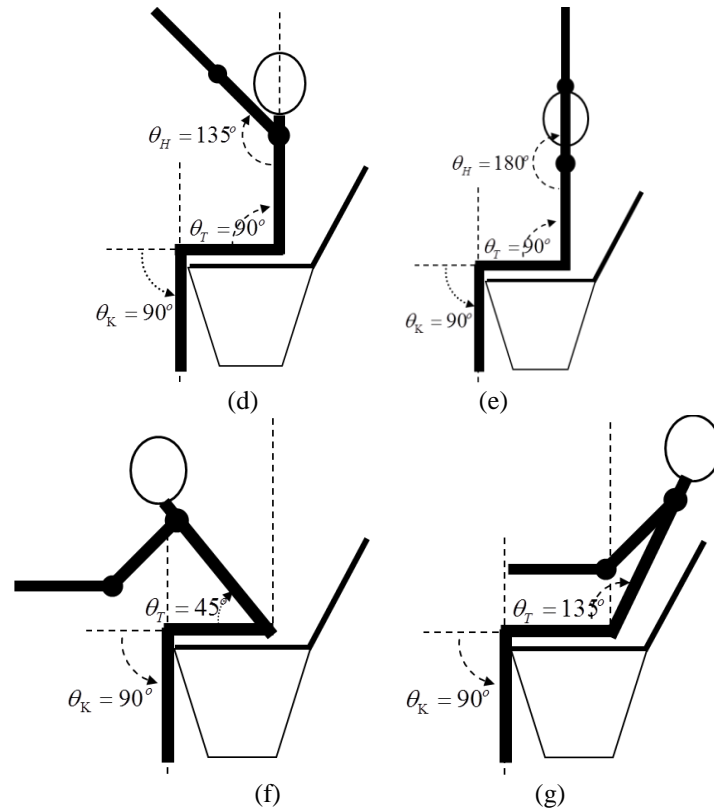


圖 10 七個姿勢示意圖

## 七、非脂肪質量估算系統

在獲得標準的非脂肪重量數值上，本研究使用RJL公司所生產的Quantum IV系統，我們採用此系統建議的仰躺標準姿勢，使受測者仰躺著進行量測，並將電極貼片分別黏貼於右手手背及手腳腳背上，在進行測量由儀器我們可獲得其標準的非脂肪估算數值，以做為我們自製的量測系統回歸運算分析之依據。並使用IBM公司發展的SPSS 20分析軟體，由Quantum IV儀器所得之標準非脂肪重量數值（Fat-free mass, FFM）為依變數，針對多變數進行線性回歸分析，其法則是逐步回歸分析法， $p$ 參數則 $<0.05$ ，此線性回歸函式顯示於式(1)，其中多變數部分則包含身高(H)、身高體重指數BMI (Body Mass Index)、各區段電阻值(R)及體重(Wt)，在式(1)  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 及 $a_4$ 為回歸分析各變數的權值大小，其中身高體重指數計算顯示於式(2)。

$$FFM = a_0 + a_1\left(\frac{H^2}{R}\right) + a_2BMI + a_3R + a_4Wt \quad (1)$$

$$BMI = Wt/H^2 \quad (2)$$

## 參、實驗設計

### 一、標準電阻抗量測

本計畫所採用RJL公司所生產型號為Quantum IV的分析儀，它具全身量測與區段量測兩種功能，其量測法分別將電極置於右手與右足，而在右手端電極則置於尺骨小頭平行處，此電極為量測電壓電極(V+)，而在右手的另一個電極則置於中指的根部，此為電流電極(I+)。另一右足的部份，在右足的電極則置於內足踝平行處，此電極為量測電壓電極(V-)，而右足的另一個電極則置於足盤的正前方處，此為電流電極(I-)。其電極的連接法如圖11所示。同時搭配其附的軟體經輸入參數與量測資料的分析我們可經儀器端及電腦BIA



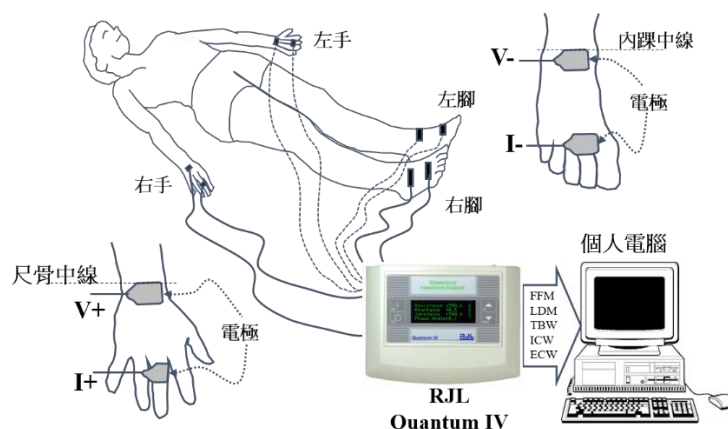


圖 11 全身BIA量測架設圖

軟體分別獲得受測者的關於身體組成比例關係的輸出參數值，其中包含脂肪組織、非脂肪組織、淨瘦組織、全身含水重、細胞內含水組織及細胞外含水組織之重量等等數值，經由Quantum IV的分析儀所需輸入與輸出的參數如表1所顯示。而關於身體各區段組成的量測，可將BIA電極分別置於於左右手、左右腳及軀幹進行個別量測如圖12所顯示，以獲得我們所需的身體各區段組成的資訊，當人們在脂肪含量高時，其電阻抗的數值也會相形下變大。可經由分析儀所獲得各區段間之電阻抗及電容抗的資料參數，其參數包含全身、右半身、右手至左腳、右手臂、上半身、左軀幹、左手臂、右軀幹、左手至右腳、右腿、下半身、左腿及左半身等各區段部份的電阻抗及電容抗數值。以上不論全身或各區段之參數值將來可提供給我們自製的電阻抗系統所量得的資料進行比對分析。量測輸出數值規格如表2所顯示，其中電阻及電抗量測的範圍為0歐姆至1k歐姆，其解析度為 $\pm 0.1$ 歐姆。而量測相位角的範圍為0度至90度，其解析度為 $\pm 0.1$ 度。然而針對電阻抗其範圍及解析度分別為0歐姆至1.5k歐姆及 $\pm 0.1$ 歐姆。此使用分析儀前必須輸入受測者的基本人體計測資料。

表 1 Quantum IV 分析儀輸入及輸出參數

輸入參數	單位	輸出參數	單位
身高, 體重, 年齡, 性別	cm, kg, year, large, medium, small	Fat	kg, %
圍長			
腰部	cm	無脂肪質量 (FFM)	kg, %
腕部	cm	瘦肉淨質量 (LDM)	kg, %
頸部	cm	人體總體水重量 (TBW)	kg, %
收縮壓	mmHg	細胞內水重量(ICW)	kg, %
舒張壓	mmHg	細胞外水重量(ECW)	kg, %
維生素 D	ng/ml	阻抗	$\Omega$
糖化血紅蛋白	%	容抗	$\Omega$
膽固醇	mg/dl	相角	degrees
甘油三酸酯	mg/dl	電阻抗	$\Omega$
高密度脂蛋白	mg/dl		
低密度脂蛋白	mg/dl		

表2 Quantum IV分析儀量測規格

	範圍	解析度
阻抗	0~1000Ω	±0.1Ω
容抗	0~1000Ω	±0.1Ω
相角	0~90°	±0.1 degrees
電阻抗	0~1500Ω	±0.1Ω

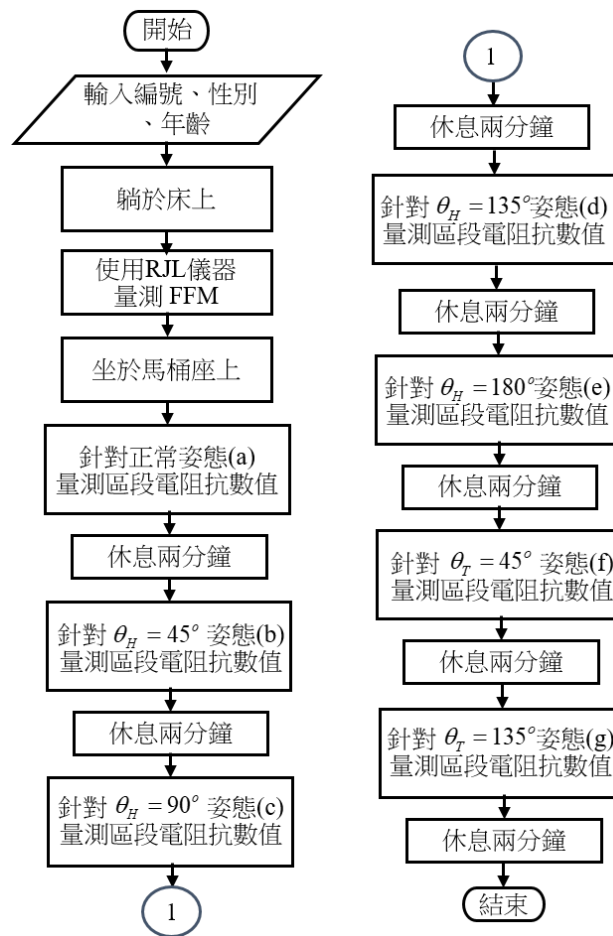


圖12 實驗流程圖

## 二、實驗流程

圖12顯示實驗依流程為受測者先填寫基本資料包含性別、年齡及身高，使受測者仰躺於床上，黏貼電極分別位於右手背及右腳背上，再使用Quantum IV儀器測量其標準非脂肪重量值。爾後再使用自製電阻抗量測系統，使受測者坐於馬桶坐上且手緊握電極握把，分別進行七個不同姿態如圖10所示進行量測，由姿態(a)至(g)進行變換，每個變換過程中間受測者約有2分鐘的放鬆休息時間，而每個姿態測量時同時也將量得(i)至(v)五種不同迴路區段的電阻值。再將Quantum IV儀器所量得的數據及本系統所獲得的量測值彙整至個人電腦再進行儲存及分析。而每個區段皆測量10個電阻值，經分析可得其平均值與標準差等量測數據。

## 肆、結果與討論

受測者手握電極把即坐於馬桶坐上量測的情形如圖13所顯示，本實驗自願受測者有35位皆是男性，平均年齡約在23.1歲，表3顯示受測的基本量測資料，表4最右方顯示受測者經RJL儀器所量得的平均非脂肪重量值約為50.65kg。表4顯示量測各區段電阻值之平均值及標準差，表上方由左到右顯示不同回路區段，分別由(i)至(v)五個區段。而左側由上而下則為不同量測姿勢，分別由(a)到(g)，表格內顯示在其不同區段及不同姿態下的所量測的平均值及標準差。由表可觀察出RPI-RTI (v) 其電阻平均值小於其他各區段之電阻值，可能與人們較常使用右側肢體有關，但其數值差異不大待更多數據來驗證。其中在於姿態(d)上肢舉高呈現135度及(e)上肢舉高過頭頂與身體呈現180度狀態，其電阻值較其他電阻值來的大，這可能與肩關節拉伸時使得電阻抗變大所造成。



圖13 手握電極把及馬桶座之量測照片

表3 各姿勢及區段其FFM之相關性

Year	Height(cm)	Weight(kg)	BMI	RJL_FFM
23.1±1.10	171.19±6.15	68.23±12.88	23.26±4.17	50.65±6.77

表4 不同姿態及區段之電阻測量值之平均值±標準差

	(i)LPI-RPI	(ii)RPI-LTI	(iii)LPI-RTI	(iv)LPI-LTI	(v)RPI-RTI
(a)	615.47±65.76	361.92±37.96	340.06±36.79	340.61±36.59	328.83±35.22
(b)	679.39±75.37	397.69±42.27	373.93±41.94	374.31±42.04	364.09±40.48
(c)	698.95±74.22	410.25±41.73	380.05±41.90	386.22±42.15	375.74±40.58
(d)	711.34±74.36	418.53±41.69	394.50±42.16	394.61±42.43	383.62±40.96
(e)	711.51±74.91	419.70±42.23	397.14±42.36	397.12±42.64	386.33±41.74
(f)	627.35±76.95	368.16±43.93	348.91±42.12	349.27±42.39	339.24±42.29
(g)	619.89±67.45	369.47±38.48	345.27±37.86	345.44±37.87	334.00±36.56

將量得之標準FFM與在不同姿態及不同區段所擷取的電阻抗值進行多變數回歸分析，其回歸相關性顯示於表5，橫向為不同區段(i)到(v)的關係，縱向則為不同姿態(a)到(g)，多變數逐步帶入的參數依序有 $H^2/R$ 、BMI、量測電阻(R)及體重(Wt)，經回歸分析得到FFM估算值。其中\*、\*\*的註記處所使用的參數有些許不

同，如量測RPI-LTI的(f)量測中，其回歸參數有 $H^2/R$ 、BMI及體重(Wt)，而(g)中其參數有BMI、量測電阻(R)及體重(Wt)。

由表5中可看出量測位置為RPI-RTI時，估算FFM的數值之 $R^2$ 高於其他區段。至於不同姿態的影響，姿態為(d)(e)上肢舉高呈現135度及180度，其FFM估算之 $R^2$ 相較於其他姿勢為佳，其姿勢為向前傾(f)時，所推估之FFM的相關性較其他各姿勢低。

表5 對於標準FFM不同姿態及區段之多變數回歸分析的相關性

$R^2$	(i)LPI-RPI	(ii)RPI-LTI	(iii)LPI-RTI	(iv)LPI-LTI	(v)RPI-RTI	Avg
(a)	0.962	0.948	0.963	0.963	0.973	0.962
(b)	0.962	0.948	0.956	0.957	0.971	0.959
(c)	0.962	0.949	0.958	0.956	0.97	0.959
(d)	0.967	0.951	0.963	0.963	0.973	0.963
(e)	0.967	0.948	0.966	0.964	0.973	0.964
(f)	0.944	0.935*	0.951	0.950	0.951	0.946
(g)	0.961	0.945*	0.962	0.945**	0.967	0.956
Avg	0.961	0.946	0.960	0.957	0.968	

\*:  $a_3 = 0$ , \*\*:  $a_1 = 0$

由表5可看出RPI-RTI之相關係在不同姿態下大部份皆大於在0.95以上。故也可從表5中看出不同的姿勢其數值的分佈關係大部分皆接近於直線上，但仍有少數參數較遠離於估算線，如姿態(f)部份則有較低相關性數值，所以在人體坐於馬桶上向前傾較不利於量測到標準的FFM值。

## 伍、結論

自製系統已建構完成，能測量到在不同姿態及不同迴路區段下的電阻值，並與標準儀器測得的FFM進行多變量回歸分析。從不同姿態及不同區段的量測結果的平均值與標準差觀察，可看出在RPI-RTI（右手與右大腿）的區段下其電阻值小於其他各區段之電阻值，可能與人們較常使用右側肢體，使其含脂肪較少之故。而由得到的推估FFM值，與不同姿勢之間的影響性方面，當姿態(d)上肢舉高呈現135度及(e)180度時，有較佳的相關性，可得平均 $R^2$ 為0.968。而在區段方面在RPI-RTI（右手與右大腿）之回歸相關性較佳於其他區段位置。當姿態方面可看出身體向前傾(f)的時候，所得的推估FFM值有較差的迴歸分析結果，其平均 $R^2$ 約在0.946，故較不建議使用此種姿態來估算FFM。

## 參考文獻

- [1] H.C. Lukaski, P.E. Johnson, W.W. Bolonchuk, and G.I. Lykken (1985). Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, 41, 810–817.
- [2] R.F. Kushner and D.A. Schoeller (1986). Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 44, 417–424.
- [3] M. Marra, R. Sammarco, A.D. Lorenzo, F. Iellamo, M. Siervo, A. Pietrobelli, L.M. Donini, L. Santarpia, M. Cataldi, F. Pasanisi, and F. Contaldo (2019). Assessment of body composition in health and disease using bioelectrical impedance analysis (BIA) and dual energy x-ray absorptiometry (DXA): A critical overview. *Contrast Media Mol Imaging*, 2019, article ID 3548284, 9 pages, <https://doi.org/10.1155/2019/3548284>

- [4] K.R. Foster, H.C. Lukaski (1996). Whole-body impedance what does it measure? *Am J Clin Nutr*, 64, 388S–96S.
- [5] R.V. Patel, E.L. Peterson, N. Silverman, B.J. Zarowitz (1996). Estimation of total body and extracellular water in post-coronary artery bypass surgical patients using single and multiple frequency bioimpedance. *Crit Care Med*, 24, 1824–1832.
- [6] C.P. Earthman, J.R. Matthie, P.M. Reid, I.T. Harper, E. Ravussin, W.H. Howell (2000). A comparison of bioimpedance methods for detection of body cell mass change in HIV infection. *J Appl Physiol*, 88, 944–956.
- [7] B. Kuch, H.W. Hense, and B. Gneiting (2000). Body composition and prevalence of left ventricular hypertrophy. *Circulation*, 102, 405–410.
- [8] de Blasio, M.G. Santaniello, F de Blasio, G. Mazzarella, A. Bianco, L. Lionetti, F.M. Franssen, and L. Scalfi (2017). Raw BIA variables are predictors of muscle strength in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* 71, 1336–1340.
- [9] E.C. Hoffer, C.K. Meador, and D.C. Simpson (1969). Correlation of whole body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol*, 27, 531–534.
- [10] J.J. Huang, K.S. Cheng and C.J. Peng (2000). Segmental fat-free mass estimation using a temperature compensated bioimpedance measurement system. *IEEE Eng Med Biol Soc*, 19, 66–73.
- [11] H. Scharfetter, M. Monif, Z. László, T. Lambauer, H. Hutten, and H. Hinghofer-Szalkay (1997). Effect of postural changes on the reliability of volume estimations from bioimpedance spectroscopy data. *Kidney Int*, 51(4), 1078–1087.
- [12] W.C. Chumlea, S.S. Guo, D.B. Cockram and R.M. Siervogel (1996). Mechanical and physiologic modifiers and bioelectrical impedance spectrum determinants of body composition. *Am J Clin Nutr*, 64(3), 413S–422S.
- [13] F. Villa, A. Magnani, G. Merati, and P. Castiglioni (2014). Feasibility of long-term monitoring of multifrequency and multisegment body impedance by portable devices. *IEEE Trans Biomed Eng*, 61(6), 1877–1886.
- [14] R. Reiter, B. Iglseider, W. Treschnitzer, R. Alzner, B. Mayr-Pirker, M. Kreutzer, C. Pirich, H. Kässmann, P. Dovjak and J. Reiss (2019). Quantifying appendicular muscle mass in geriatric inpatients: performance of different single frequency BIA equations in comparison to dual X-ray absorptiometry. *Arch Gerontol Geriatr*, 80, 98–103.
- [15] K.K. Kim, Y.K. Lim, and K.S. Park (2004). *The electrically non-contacting ECG measurement on the toilet seat using the capacitively-coupled insulated electrodes*. Proceedings of the 26<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco, CA, United States.
- [16] Y.K. Lim, K.K. Kim, and K.S. Park (2004). *The ECG measurement in the bathtub using the insulated electrodes*. Proceedings of the 26<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco, CA, United States.
- [17] J.J. Huang, S.I. Yu, and H.Y. Syu (2012). Development of the smart toilet equipment with measurements of physiological parameters. In Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC) (9–16). <https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2012.143>