

國立臺灣體育學院
National Taiwan College of Physical Education
體育研究所碩士學位論文

生物阻抗與類神經網路應用於優秀運動員
的身體組成分析

THE APPLICATION OF BIOELECTRICAL IMPEDANCE
ANALYSIS BY NEURAL NETWORKS APPLIED IN
EVALUATION OF BODY COMPOSITION IN ELITE
ATHLETES



研究生：王家偉 撰
指導教授：陳裕鏞 博 士
協同教授：謝坤昌 博 士

中 華 民 國 99 年 7 月

論文名稱：生物阻抗與類神經網路應用於優秀運動員的身體組成分析

總頁數：57 頁

院校所組別：國立台灣體育學院體育研究所自然科學組

畢業時間及提要別：九十八學年度第二學期碩士論文題要

研究生：王家偉

指導教授：陳裕鏞博士

協同指導：謝坤昌博士

中文摘要

生物阻抗分析法 (BIA) 可簡便、快速、無侵入性地估測身體組成。研究指出估測方程式是造成 BIA 不準確的主要原因，更建議要依受測者條件選擇適合的估測方程式。

本篇研究以 24 名台灣體院男子足球隊員為受測者 (年齡 20.3 ± 1.9 歲，身高 173.6 ± 5.6 cm，體重 66.1 ± 5.3 kg)，以雙能 X 光吸收儀 (DEXA) 測量之身體組成為效標，比較生物阻抗分析儀 (BC-418) 所估算出的去脂肪質量 (FFM)，以 BIA 所測得的阻抗值搭配年齡、身高及體重等參數分別以線性迴歸 (LR) 的迴歸方程式及類神經網路 (ANN) 估測身體組成。結果顯示，LR 的 $r^2 = 0.897$ ， $RMSE = 1.678$ kg；五個神經元 ANN 的 $r^2 = 0.996$ ， $RMSE = 0.328$ kg，ANN 優於 LR。LR 與 ANN 對 DEXA 的 FFM 偏差值 (bias) 均約為 0 kg，BC-418 對 DEXA 的 $bias = -0.628$ kg，LR 與 ANN 優於 BC-418 的內建估測方程；LR、BC-418 及 ANN 對 DEXA 的 FFM 偏差範圍 (2 S.D.) 分別為 3.357、3.958 及 0.656 kg，ANN 優於 LR 及 BC-418。結論：本篇研究以類神經網路估測足球員身體組成優於線性迴歸及生物阻抗分析儀 (BC-418) 內建方程的估測結果。

關鍵詞：生物阻抗分析、類神經網路、雙能 X 光吸收儀、去脂肪質量、足球員

Wang, Chia-Wei (2010). The application of bioelectrical impedance analysis by neural networks applied in evaluation of body composition in elite athletes, Unpublished master, National Taiwan College of Physical Education.

Abstract

Bioelectrical impedance analysis (BIA) can estimate body composition easily, rapidly and non-invasively. Some papers have indicated that the accuracy of predictive equations of BIA mainly depend on the equations itself, even, the specific subjects need specified equation.

The purpose of this study was to estimate body composition of the football players with the BIA measurement compared to Dual-energy X ray absorptiometry (DEXA).

Method: Subjects, 24 football players of National Taiwan College of Physical Education, with mean age at 20.3 ± 1.9 years, mean height at 173.6 ± 5.6 cm and mean weight at 66.1 ± 5.3 kg. To evaluate the accuracy of predictive fat-free mass (FFM) of body composition by bioelectrical impedance analyser (BC-418), DEXA, as criteria method, was compared. By the measured data as factors including the bioelectrical impedance values (Z) of hand-to-foot modulation by BIA in right side, gender, age, height, and weight, the predictive equation by traditional linear regression analysis (LR) for FFM by DEXA was gained, also, the ANN predictive model created.

Result: The lower r^2 and greater RMSE in LR ($r^2=.897$ and $RMSE=1.678$ kg) than in ANN ($r^2=.996$ and $RMSE=0.328$ kg) were gained. ANN is better than LR. The biases that FFM of LR and ANN compare to DEXA are about 0 kg. The bias that FFM of BC-418 compares to DEXA is -0.628 kg. LR and ANN are better than BC-418. The FFM's range of bias (2 SD.) of FFM of LR, BC-418 and ANN compared to DEXA are 3.357, 3.958 and 0.656 kg, respectively. ANN is better than LR and BC-418.

Conclusion: To estimate body composition of football players, ANN is more applicable than LR and estimated equation of BC-418.

Keywords: Bioelectrical impedance analysis (BIA), Artificial neural network (ANN), Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), fat-free mass (FFM), football player

誌 謝

兩年前踏入體育研究領域，發現知識翰海無邊無際，興奮之情非平時教學所能激盪，也感覺自己的渺小，窮極一生也只能略窺一二，唯把握時間盡己所能而無憾。

隨著任課師長的教導，才驚覺原來運動是一大學問，含跨諸多領域，也解決了一般以訛傳訛的說法。感謝指導教授—陳裕鏞博士及協同教授—謝坤昌博士的費心，考慮我的興趣及背景，結合數學及運動規劃了類神經網路應用於身體組成分析，不僅實用也讓我重新感受數學的偉大。研究路途中，總覺得時光飛逝，擔心進度太慢，辜負了老師們的用心及期待，但老師們總是不斷地鼓勵，不分晝夜地為我解決疑惑，本論文終於如期完成。

能順利文成此篇論文，要感謝的人太多：協助論文口試順利的劉總經理鵬、廖教授慧芬及導師高教授明峰，提供了寶貴的意見；不辭辛勞的好友：哲宇、洪毓、雅菁、柏州、燕瑩、志群、世弘、恬如、悟空、永樑及關心我的朋友；最後非常感謝我親愛的家人及女友斯怡，默默地全力支持及體諒，讓我無後顧之憂地全力衝刺且順利完成研究工作，願將這份榮耀及喜悅與家人、師長及關心我的朋友們共同分享。

王家偉 謹識

中華民國 99 年 7 月

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌 謝.....	III
目 錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論	1
第一節 問題背景.....	2
第二節 研究目的.....	4
第三節 研究假設.....	4
第四節 研究範圍與限制.....	4
第五節 操作性定義.....	4
第二章 文獻探討	6
第一節 肥胖、體脂肪與健康	6
第二節 身體組成模式的分類	7
第三節 身體組成的評估方式	9
第四節 身體組成測量對運動員的重要性	16
第五節 生物阻抗分析.....	18
第六節 BIA 在運動方面的應用.....	28
第七節 類神經網路.....	30
第三章 研究方法	35
第一節 研究對象.....	35
第二節 實驗設計與流程.....	35
第三節 資料處理與統計分析	36
第四章 結果與討論	39
第一節 FFM 的估測方程式	39
第二節 估測運動員 FFM 之比較	41
第三節 估測運動員體脂肪百分率之比較	44
第五章 結論	48

參考文獻.....50

表目錄

表 2-1	體脂肪測量方法比較	10
表 2-2	運動員的 BIA 估測方程式	22
表 4-1	受測者資料	39
表 4-2	1~10 個神經元的 r^2 決定係數及標準偏差	40
表 4-3	估測方法與 DEXA 的 FFM 差值	43
表 4-4	DEXA 與 BC-418 %BF 的成對樣本 T 檢定	44
表 4-5	估測方法與 DEXA 的 %BF 差值	47

圖目錄

圖 2-1	身體組成的區分模式	9
圖 2-2	DEXA 對身體的區分	14
圖 2-3	圓柱導體電阻示意圖	19
圖 2-4	人體電阻電抗描述	20
圖 2-5	電極板的黏貼	21
圖 2-6	人體電阻偵測圖	21
圖 2-7	後退傳遞神經網路架構圖	31
圖 2-8	兩層的神經網路架構	33
圖 4-1	1~10 個神經元數量的 r^2 決定係數	40
圖 4-2	線性迴歸估測運動員的 FFM	41
圖 4-3	BC-418 估測運動員的 FFM	42
圖 4-4	ANN 估測運動員的 FFM	42
圖 4-5	線性方程估測運動員的 %BF	45
圖 4-6	BC-418 估測運動員的 %BF	46
圖 4-7	ANN 估測運動員的 %BF	46

第一章 緒論

由於社會型態及飲食習慣的改變，因營養過剩及缺乏身體活動所造成的文明病，包括心血管疾病、高血壓、糖尿病、肥胖症、關節炎及骨質疏鬆症等，帶給國家極大的社會成本。因此，為了促進身體健康、降低醫療成本，積極地認識身體、提升國民體適能成為當務之急。

近來，健康體適能的觀念越來越受到國人的重視，行政院衛生署與教育部體育司將構成健康的基礎要素，包括肌力與肌耐力、柔軟性、心肺適能及體脂肪等，定名為「健康體能」(health-related fitness)，並訂定政策積極推行中。因此，了解身體組成、強化身體素質、提升體適能能力及控制體脂肪，儼然成為國人須重視的課題。

身體組成 (body composition) 以分子 (molecular) 模式來看，可分為體脂肪、蛋白質、礦物質、醣類、水等五大類 (Wang, Pierson, & Heymsfield, 1992)；而以運動機能而言，體重可分為脂肪重量 (fat mass, FM) 及去脂肪重量 (fat-free mass, FFM)。體脂肪雖然是人體活動的熱量來源，但過多的脂肪不僅容易形成肥胖，也會影響各項運動成績 (Wilmore, 1983)，而體重控制的要點，是減少脂肪量，並維持或提升肌肉量。

從醫學保健的觀點來看，測量身體組成可評估個人是否由於過低或過高的身體脂肪而處於健康的風險。肥胖對健康的危害，可能導致冠狀動脈疾病、高血壓、第 2 型糖尿病、慢性阻塞性肺病、骨關節炎和某些類型的癌症 (Grundy, 2004; Hubert, Feinleib, McNamara, & Castelli, 1983; Taylor & Baranowski, 1991)；反之，處於低脂肪階段容易引起營養失

調、厭食症、精神官能症及肌肉流失等 (Kerruish et al., 2002; Misra et al., 2003; Probst, Goris, Vandereycken, & Coppinolle, 2001)。也就是說，健康與脂肪的多寡息息相關。

以運動員選材的角度而言，身體組成也是訓練所重視的問題，因為這對健康及運動表現影響甚巨。Kireilis 與 Cureton (1947) 曾指出身體額外的脂肪足以影響身體活動及體適能成績，因此，體脂肪百分率是運動能力表現的重要影響因素，評估身體組成確實必要。

第一節 問題背景

向來體重計是幫助人們評估胖瘦的方法，再來是以身體質量指數 (Body mass index, BMI) 判斷是否肥胖，但這都無法真正了解脂肪體重及去脂肪體重。因此，如何快速且精確地測出自己的身體組成，對一般人的健康及運動員而言，都是非常重要的。

測量身體組成的方法，以取得資料的方式，可分為直接分析法與間接分析法。直接分析法如 Brozek, Grande, Anderson 與 Keys (1963) 解剖五具大體 (4 名男性、1 名女性) 及 Clarys, Martin 與 Drinkwater (1984) 解剖 25 具大體 (12 名男性、13 名女性) 各分析其脂肪、皮膚、肌肉及骨骼等身體組成；常見的間接分析法之測量方式如水中秤重法、皮脂厚測量法及生物阻抗分析等。水中秤重法 (underwater weighting, UWW) 是測量人體體積及身體密度，並進一步估測脂肪量及去脂肪體重，這種方法準確性高，故有「黃金標準 (gold standard)」之稱 (Pollock et al., 1976)。皮脂測量法之施測工具 - 皮脂夾 (skinfolds, SF)，因其攜帶方便又經

濟，與水中秤重法又有高相關 (Jackson & Pollock, 1978)，在相關研究上，其準確性相當受肯定。生物阻抗分析 (bioelectrical impedance analysis, BIA) 是利用電學原理所發展出來的，因操作方便不需專業技術、不具侵入性、方便攜帶、測量時間短，已漸漸被實驗室、醫院、健康中心廣泛適用 (Powell et al., 2001)。

近來，雙能 X 光吸收儀 (dual-energy X-ray absorptiometry, DEXA) 是一種可用來測量人體組成的新技術，這方法是以不同能量的 X 光通過身體，將全身質量分為全身骨礦物量、脂肪質量及非礦物量的瘦組織三部份。Prior 等 (1997) 指出 DEXA 有極高的信度，以水中秤重及 DEXA 所估測的體脂肪百分率 (percent of body fat mass, %BF) 僅相差約 0.4%BF。許多研究指出 DEXA 對於估測身體組成有很高的準確性 (Kohrt, 1998; Mazess, Barden, Bisek, & Hanson, 1990; Svendsen, Haarbo, Hassager, & Christiansen, 1993)。Kohrt (1995) 更指出 DEXA 較不易像水中秤重一樣受到不同人體的身體組成而失去其準確性。而且 DEXA 快速，全身掃描只需 20 分鐘、安全及不需太多操作人員即可實施的優點也受到肯定 (V. Heyward, 2001)，但估測費用較高是需要考慮的。

綜合上述方法，雖然水中秤重及 DEXA 準確度極高，因此，本研究擬以 DEXA 做為評估身體組成的效標測量工具，又 BIA 具有快速性、便利性、可攜帶、經濟、無侵入性等種種優點，期望藉由 DEXA 的準確性，將 BIA 對運動員的估測做得更精確。

第二節 研究目的

本研究以 DEXA 為效標，使用 BIA 所測出的生物阻抗值搭配年齡、身高及體重，採用類神經網路的數學模式，藉由估測優秀運動員的身體組成，比較現有 BIA 儀器、線性迴歸及類神經網路後退傳遞演算法（Backpropagation, BP），的差異，發展出適合評估專項運動員身體組成之數學方程式。

第三節 研究假設

- 一、以 DEXA 所測得優秀運動員的體脂肪百分率與 BIA 測量的阻抗值，與其實際體脂肪百分率呈顯著相關。
- 二、性別、年齡、身高、體重等身體特徵變項與其在 DEXA 中所測得的體脂肪百分率具顯著相關。
- 三、使用類神經網路的數學模式，以優秀運動員的年齡、身高、體重為參數，能建立估測該專項優秀運動員的估測方程式。

第四節 研究範圍與限制

- 一、本研究以台灣體育學院男子足球代表隊隊員為受測對象，未能廣納全國各大專院校的優秀男子足球代表隊隊員，是一大限制。
- 二、本研究僅針對台灣體育學院男子足球代表隊隊員，故不能推估至其他專業運動項目，是另一限制。

第五節 操作性定義

- 一、身體組成（body composition）

構成身體肌肉、脂肪、骨骼與其他系統組織的相對百分比之統稱，在應用上通常分為體脂肪與去脂肪兩部份來描述。

二、生物阻抗分析 (bioelectrical impedance analysis , BIA)

生物阻抗分析係根據電學原理，即電流通過任何導體都會產生電阻(resistance, R)的原理。人體為一不均質的導體，電流通過各器官後會產生不同程度的 R，利用 $V = \rho L^2/R$ (V = 體積， ρ = 物體電阻係數，L = 電導體之長度，R = 電阻大小) 公式，求得身體組成各部分所佔的體積。

三、去脂肪質量 (fat-free mass, FFM)

將人體分為脂肪及非脂肪，所有沒有油脂的化學分子及組織的質量。

四、體脂肪百分率 (percentage of body fat, %BF)

係指一個人身體脂肪的重量對全身體重所佔的百分比，將脂肪質量除以全身質量，並乘以 100%。

第二章 文獻探討

本章共分成七節加以討論：第一節為肥胖、體脂肪與健康；第二節為身體組成模式的分類；第三節為身體組成的評估方式；第四節為身體組成測量對運動員的重要性；第五節為生物阻抗分析；第六節為 BIA 在運動方面的應用；第七節為類神經網路。

第一節 肥胖、體脂肪與健康

一般人之體重約有 1/5 是脂肪，脂肪除了是細胞的重要成份外，最主要功能是儲存能量；但若脂肪太多，就會對身體健康有負面影響，例如，所謂的肥胖（obesity）即是指身體內儲存過多的脂肪而言。而肥胖是影響身體健康的重要因素之一，它被證明與心血管疾病有直接關係（Grundy, 2004; Hubert et al., 1983; Taylor & Baranowski, 1991），因此體脂肪量對健康而言，則是一種重要的參考指標。

體內缺乏脂肪，會影響身體各項生理機能的運作及熱量的供應。因脂肪對人體具有以下的功用：一、供給能量，1 公克的脂肪能供應約 9 大卡的熱量；二、脂肪具有防震的功能，它可以緩衝外力，減少組織的震盪傷害；三、具有區隔與固定臟器的功用，當身體翻滾時，不致使臟器移位；四、保持體溫，是有效的隔絕體，處於低溫時可以減少體熱的流失；五、促進脂溶性維生素的吸收與利用；六、構成身體組織。因此，過多或過少的體脂肪都將對身體健康構成嚴重威脅，如何控制，便成為現代最熱門的話題。

Kireillis 與 Cureton (1947) 的研究也指出體內多餘的脂肪足以影響身體活動和體適能測驗的成績，過多的體脂肪常

導致超重，是引起運動傷害或導致低運動能力的主要因素。

綜合以上分析，身體組成中的體脂肪含量對健康或身體適能影響甚巨，更關係著運動表現、體能及肢體活動等 (Rico-Sanz, 1998)，許多研究用以評估優秀運動員的身體組成 (Ostojic, 2003; Tsunawake et al., 2003)，因此對一般人及運動員來說，若能建立確實有效的相關資料與合理的解釋評估，對健康及運動競技都具有重要的意義。

第二節 身體組成模式的分類

身體組成成份的區分模式，依檢測所使用的儀器，有不同的區分模式：

一、 2-C 分子模式 (two-component molecular model)

(一) 脂肪質量 (fat mass, FM)：身體中所有脂肪組織或其他組織可以取出的油脂。

(二) 去脂肪質量 (fat-free mass, FFM)：所有剩餘的，沒有油脂的化學分子及組織，包含水、肌肉、骨、結締組織、內臟器官等。

二、 3-C 組織模式 (three-component tissue model)

(一) 脂肪 (fat mass, FM)

(二) 骨礦物質量 (bone mineral mass, BMM)

(三) 非礦物質的瘦組織 (bone-free lean tissue mass, LTM)

三、 3-C 細胞模式 (three-component cellular model)

(一) 細胞間質 (extracellular solids, ECS)

(二) 細胞間液 (extracellular fluid, ECF)

(三) 細胞質量 (body cell mass)

四、流體變化模式 (fluid metabolic model)

(一) 脂肪 (fat)

(二) 細胞間質 (extracellular solids, ECS)

(三) 細胞間液 (extracellular fluid, ECF)

(四) 細胞內質 (intracellular solids, ICS)

(五) 細胞內液 (intracellular fluid, ICF)

綜上所陳，身體組成區分模式很多，依需求的差異區分模式不僅於此（如圖 2-1），若為檢測體脂肪所發展的模式均以 2-C 模式為基礎，以其為基本假定的身體組成估測方式有身體密度法 (densitometry)、液體比重測定法 (hydrometry)、皮脂夾 (SF)、生物阻抗分析 (BIA) 等；3-C 組織模式是雙能 X 光吸收儀 (DEXA) 的分類依據。

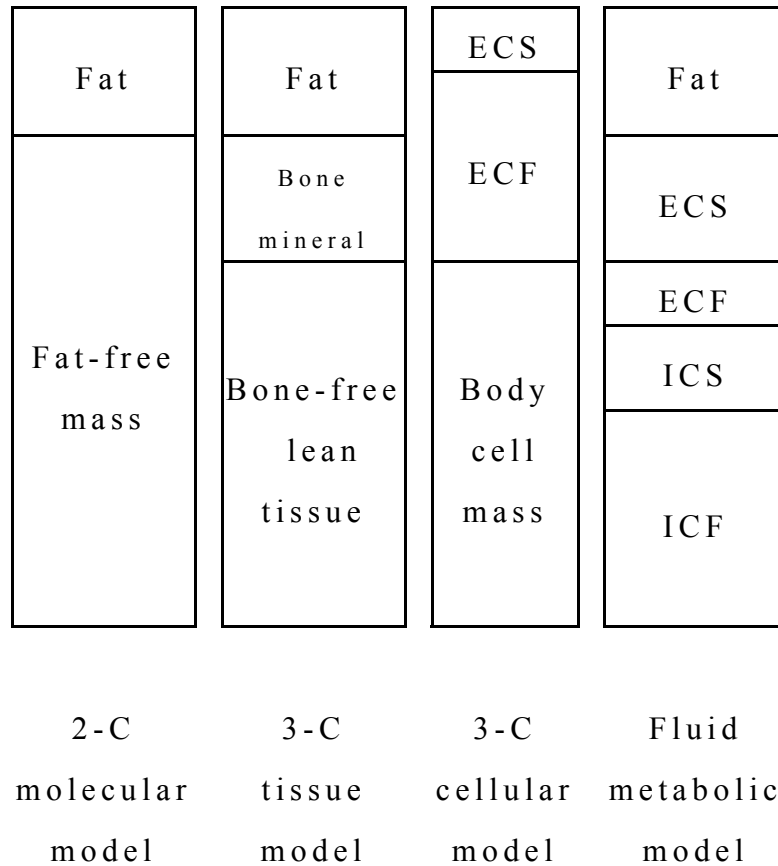


圖 2-1 身體組成的區分模式

第三節 身體組成的評估方式

身體組成的評估方式也有很多，有人體測量學法 (anthropometry)、身體密度法 (densitometry)、皮脂夾 (skinfolds)、液體比重測定法 (hydrometry)、鉀 -40 (potassium-40)、全身導電法、生物阻抗分析 (BIA)、雙能 X 光吸收儀 (DEXA)、近紅外線測定法 (near-infrared

interactance, NIR)、中子活性分析(neutron activation analysis, NAA)、超音波法、電腦斷層掃描(computerized tomography, CT)核磁共振造影(magnetic resonance imaging, MRI)等,其主要測得的身體組成成份因使用的方法而不同。

一般而言,花費較低且操作簡單的精確性總是有限,而較精確的總是較為複雜,測試成本也較昂貴,Nieman針對各種體脂肪測量法之檢測費用、精確性與難易度探討(如表2-1)。

表 2-1 體脂肪測量方法比較

方法	費用	精確性	難易程度
BMI	2	2	1
SKF	2	3	3
HD	3	4	4
BIA	3	3	2
TBW	4	3	3
TBP	4	3	4
DEXA	4	4	2
CT	5	3	4
NIR	3	3	2
MRI	5	3	4

(Nieman, 1995)

BMI = body mass index; SKF = skinfolds; HD = hydrodensitometry; BIA = bioelectrical impedance analysis; TBW = total body water; TBP = total body potassium; DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry; CT = computerized tomography; MRI = magnetic resonance imaging; 1 = 非常低; 2 = 低; 3 = 中; 4 = 高; 5 = 非常高

以經濟性、精確性的需求及實施的難易度考量,我們可

以選擇適合的評估方法，雖然沒有任何一項是堪稱「黃金標準」的，而估測需要效標，以下則將身體組成的評估方法分為精確性較高可視為標準的參照測量方法（reference methods）及一般較簡易可實地測量方法（field methods）兩類：

一、參照測量方法（reference methods）

有許多較複雜、昂貴的方法足以當為身體組成的參照測量方法，如 CT、MRI、NAA 等，但較常被用於研究中的是身體密度法、液體比重測量法及 DEXA，然而這些方法容易產生誤差，且其基本假定也不易維持，所以沒有任一種方法可視為活體的身體組成的標準（V. Heyward, 2001）。

（一）身體密度法（densitometry）：這原理是源自於眾所皆知的阿基米得原理，先測量身體質量及體積，算出全身密度，再將身體視為 2-C 模式，分為 FM 及 FFM 兩大類，FM 包含全身可取出的油脂，FFM 則包含水、蛋白質、礦物質等其他成分，估計這兩部份各佔多少質量。身體體積有以下兩種測量方式：

1. Hydrodensitometry（hydrostatic weighing, HD）：
水中秤重法，需請受試者儘可能排出肺臟裡的空氣，或以氮氣稀釋的方法測量殘氣量（residual volume, RV），計算出全身的密度（density of body, D_b ）（Goldman and Buskirk equation），
身體密度（ D_b ）=

最後可再經由身體密度轉換為體脂肪百分率
(%BF) ,

(Brozek et al., 1963) ;

(Siri, 1956)

進而推算出身體的 FM 及 FFM。

2. Air displacement plethymography (ADP) : 若是長者、小孩及身體有困難或疾病無法標準地使用水中秤重者 , 可使用這種方法計算出身體所佔據的空間排開的空氣體積 , 進而計算出身體密度。

身體密度法所採用的 2-C 模式需有以下假定 (Brozek et al., 1963; Siri, 1956) :

1. FM 密度為 0.901g/cc.。

2. FFM 的密度為 1.10g/cc.。

3. 對於不同個體 , Fat 及 FFM (水、蛋白質、礦物質) 的密度是一致的。

4. 在同一個體中 , 組成 FM 及 FFM 的組織密度是不變的 , 而組成瘦肉成份的比例也是不變的。

5. 受測者與參照樣本的身體組成只有 FM 量的差異 , 參照樣本身體的 FFM 中水佔 73.8% , 蛋白質佔 19.4% , 礦物質 6.8%。

以上這些假定也正是讓人質疑其精確性的原因之一。

(二) 液體比重測定法 (hydrometry) : 是一種測量全身水份 (total body water; TBW) 的方法 , 以身體液體 (唾液、血液及尿液) 中氫的同位素 (氕、氘) 的濃度 , 估計全身水份 TBW , 使用這種方法須與 2-C 模式結合 , 進而估算出 FFM。

(三) 雙能 X 光吸收儀 (dual-energy X-ray absorptiometry,

DEXA) : DEXA 是一項較新的技術，這種方法是基於 3-C 組織模式，將身體分為全身的礦物質 (bone mineral mass, BMM)、非礦物質的瘦肉組織 (bone-free lean tissue mass, LTM)、脂肪 (fat mass, FM) 三種質量。DEXA 是使兩種不同能量的 X 光通過身體，X 光的能量被身體中的骨質及軟組織所吸收而使輻射線衰減，而不同的組織因不同的密度及化學成份而吸收的輻射量不同，所以輻射的衰減量也因穿透脂肪、瘦肉組織及骨頭而不同，這些輻射的衰減資料被轉換為數位影像，影像中的每一映像點 (pixel) 對應著通過受測者的每一個點。包含骨質的映像點可依不同的輻射衰減量區分為骨礦物質質量 (bone mineral mass) 及軟組織質量 (soft-tissue mass) ; 不包含骨質的映像點也依不同的衰減量區分為瘦肉軟組織 (lean soft-tissue) 及 FM 兩部份。當這兩種不同能量的 X 光同時掃描過身體後，即可依映像點的分類有不同的對應值，計算出 BMM、LTM 及 FM 的對應質量 (Bell, Cobner, & Evans, 2000) (如圖 2-2)。

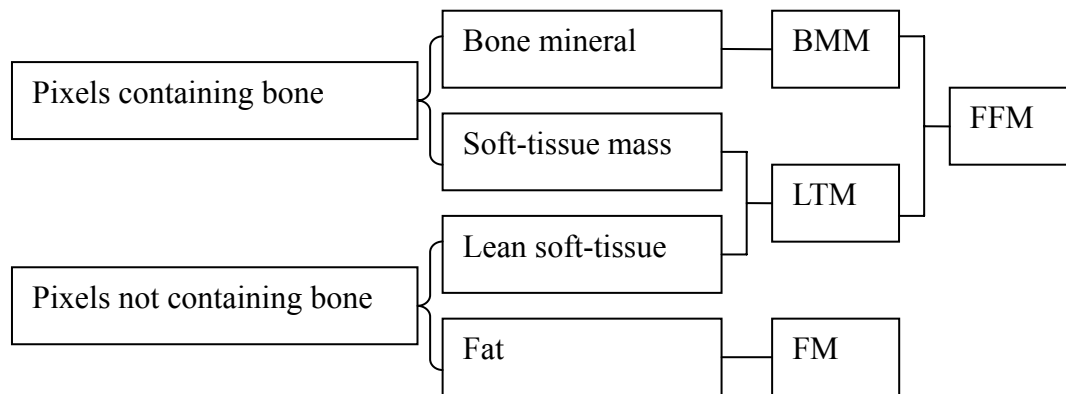


圖 2-2 DEXA 對身體的區分

Prior 等 (1997) 研究指出 DEXA 有極高的信度，以水中秤重及 DEXA 所估測的 %BF 僅相差約 0.4%BF。DEXA 的快速 (全身掃描只需 20 分鐘)、安全、不需太多操作人員及可將個體間的骨礦物含量的差異列入考量，也不會像水中秤重或液體比重密度法因 TBW 的不穩定而受影響。Kohrt (1995) 指出 DEXA 較不易像水中秤重一樣受到不同人體的身體組成而失去其準確性。還有許多研究也指出 DEXA 對於估測身體組成有很高的準確性 (Kohrt, 1998; Mazess et al., 1990; Svendsen et al., 1993)，DEXA 的精準度足以取代水中秤重的地位。

二、簡易實地測量方法 (field methods)

運動生理學家常用以評估身體組成的方法有三種，如 BIA、SKF 和人體測量學法，無論哪種方式都得搭配估測方程式，人體測量學及 SKF 的估測方程式記載於文獻上，可依估測的對象挑選適合的方程式，而 BIA 的估測方程式已內建

於儀器內，以方便使用。

(一) 人體測量學法 (anthropometry) :

這種方法已實施超過一百年，測量身體的圍度及肢段的長度以評估身體的大小。

例如：白人女性的身體密度

ab C = 腹部圍度 ; hip C = 臀圍 (Tran & Weltman, 1989)

(二) 皮脂夾 (skinfolds) :

早在 1915 年，就已使用皮脂夾測量方式測量皮下脂肪組織的厚度。皮脂夾測量法需取得數個位置的皮脂厚度，如胸部 (chest)、三頭肌 (triceps)、肩胛下 (subscapular)、腋下 (midaxillary)、腸骨頂 (suprailiac)、腹部 (abdominal)、大腿 (thigh)，每部位測量兩次的平均值需相差 10% 內才可採用，再將這些值代入依不同種族、性別及活動程度的公式算出身體密度。

例如：非肥胖男性身體密度

$\Sigma 3SKF$: 三頭肌、腸骨頂及大腿的皮脂厚度總和 (Jackson & Pollock, 1978)

若要計算身體 Fat 及 FFM 可再以身體密度及身體質量代入 Siri (1956) 或 Brozek 等 (1963) 的公式。

(三) 生物阻抗分析 (BIA) :

BIA 創始於 1960 年代早期，利用電流通過身體的不同組織，產生不同的阻抗及電位，再搭配估測方程式以

評估身體組成，當時發展出的預測方程式(如表 2-2)，已經可依年齡、性別、種族、體脂肪及身體活動量的程度預測不同族群的 FFM 及 FM。

(四) 人體測量方程式 (anthropometric equations)：

1960~1970 年代，以人體測量學法及皮脂夾所發展出估測全身密度 (Db) 及身體脂肪的方程式。

身體組成的評估方式也不僅此而已，如第一章所述尚有全身鉀分析 (total body potassium, TBP)、中子活性分析 (NAA)、電腦斷層掃描 (CT)、核磁共振造影 (MRI) 等，因本研究欲尋求的是方便、快速、低花費、高準確性的方法，所以，針對簡單、快速、可攜帶、無侵入性的 BIA 加以探討於後。

第四節 身體組成測量對運動員的重要性

一、運動員與體脂肪

運動員對體重必然相當敏感，過多的脂肪組織在運動中是不必要的負擔，這些身體質量必須一再地對抗地心引力、反覆地被提升。以力學的概念，體重增加，運動時作功就必須增加，需增加能量的耗損。研究指出 %BF 與運動能力成顯著負相關的結果：脂肪越多，運動能力越差 (Riendeau, Welch, Crisp, Crowley, & Brockett, 1958)。Cureton, Hensley 與 Tiburzi (1979) 研究大學男女生，發現 %BF 與 12 分鐘跑的相關為 -0.58，與 50 碼衝刺成績的相關為 -0.73，與垂直跳高的成績相關為 -0.67。Ostojic (2003) 以優秀職業足球運動員在聯賽前、中、後時期，針對當時體脂肪百分率與五十米短跑衝刺

關係研究，發現足球員的體脂肪百分率與五十米衝刺時間有高度正相關，證明足球運動員的體脂肪與運動能力的關係，較低的體脂肪率可以讓球員在球場上擁有更大的競技優勢。

雖說肥胖會導致運動能力下降、散熱能力差、心臟負擔重、反應遲鈍等現象，可說是運動表現的絆腳石，但也不可一味地減重。Houston (1981) 研究指出急速減重對體重、肌肉肝醣與肌力的影響，結果由於肌肉肝糖量的降低，腿伸展力顯著地下降。

二、運動員的最佳身體組成比例

每種運動因其特殊性，對身體組成的比例也有不同的需求，如田徑和游泳運動員身體組成的比例就有很大的差異，而且依體重分級的運動員，更須長期監控自己的身體組成，可讓自己的體重在比賽期間落在對自己較有利的級數內，如角力、健力、舉重等。

甚至在同一種球類運動中，司職不同角色的球員也有不同的身體組成比例。英國的一級及二級的足球員在季前估測身體組成及生理特徵，發現守門員與其他球員的%BF與血紅素有顯著的差異 (Davis, Brewer, & Atkin, 1992)。也有部分研究針對頂尖運動員的身體組成的分析，以了解該運動項目的最佳身體組成比例，如徵召日本全國高中排球及籃球聯賽冠軍的球員，以水中秤重法測量身體組成，及測量最大攝氧量 (VO_{2max}) 與氧債，可提供高中籃球及排球教練尋求最佳身體組成及心肺耐力的參考指標，因為這些球員傑出的體能是他們獲得全國高中聯賽的重要因素之一 (Tsunawake et al., 2003)。日本的長崎國見高中在 2003 年完成連續六年全國高中足球賽冠軍，則有研究者研究該校球員的%BF及FFM以

提供其他教練及球員們的參考指標 (Tahara et al., 2006)。

第五節 生物阻抗分析

一、生物阻抗分析 (BIA) 的原理

生物阻抗的基本原理可視為導體與電阻的關係延伸。對於一均勻材質的導體通以電流，電阻 (resistance, R) 與其長度 (length, L) 成正比、與截面積 (cross sectional area, A) 成反比關係；導體的 R 、 A 、 L 的關係為

$$R = \rho (L / A), \rho \text{ 為電阻率 (resistivity)}$$

而且若此導體視為一圓柱體，其體積為 ()，則可將上式轉換為

$$R = \rho (L^2 / V)$$

$$V = \rho (L^2 / R)$$

可估算出導體的體積 (如圖 2-3)。

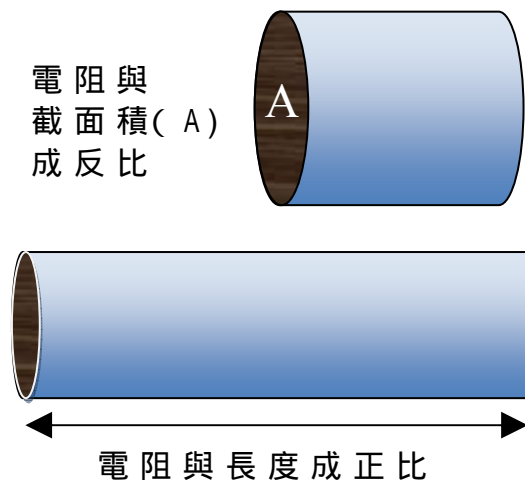


圖 2-3 圓柱導體電阻示意圖

人體的組成不同於均勻材質的金屬，將人體通以電流，除了脂肪可視為不導電的絕緣體外，其他的部分還會產生電抗（reactance, X_c ）及電阻（ R ），而阻抗（impedance, Z ）則是 X_c 和 R 合併結果， X_c 的產生是源自電流通過於細胞膜，而電流通過 ICW 及 ECW 亦會產生 R 。有一種適合人體的比喻，即是將兩個或更多象徵細胞膜的電容及 ICW 的電阻串聯，再與另一代表 ECW 的電阻並聯。頻率較小的電流僅能經由 ECW 的路徑通過，而較高頻率的電流，即可通過細胞膜及 ICW（如圖 2-4）。

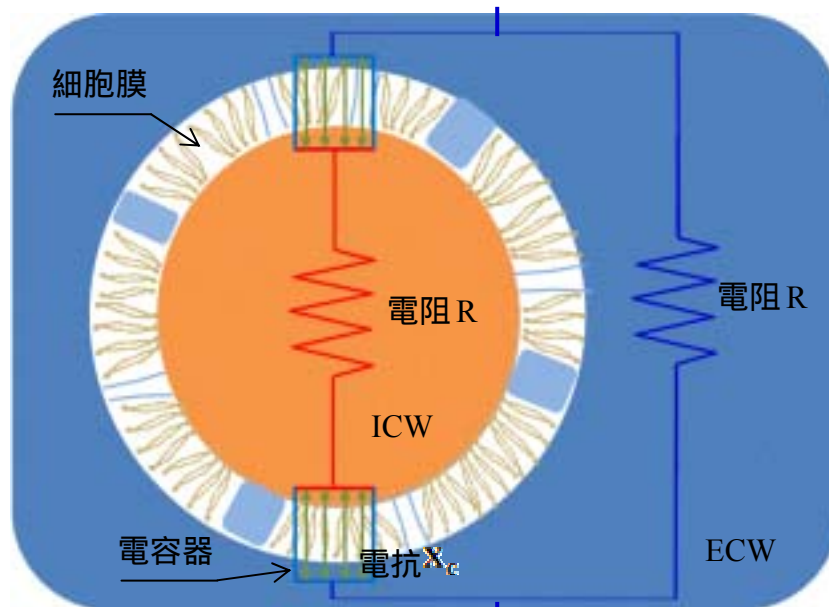


圖 2-4 人體電阻電抗描述

傳統單頻的 BIA 電極板是附著於手腕、手背、腳踝及腳背(如圖 2-5), 一般是從受試者的身體末端的極板通以 50KHz 的電流, 並在近端的極板偵測身體所產生的 X_c 、 R 和 Z (如圖 2-6), 計算 ECW 及部分 ICW 的 R , 再經由經驗或實驗所得的方程式估算 TBW 及 FFM。因為身體水份中的電解質是電流的較佳導體, 當水分越多, 身體的 R 越少, 電流越容易通過; 反之, 受試者的脂肪越多, R 就越大, 因為脂肪組織含有較少的水分及較多的三酸甘油脂, 是不良的導體, 所以, 依兩者不同的導電性可計算 TBW 及脂肪各自佔有的比例。

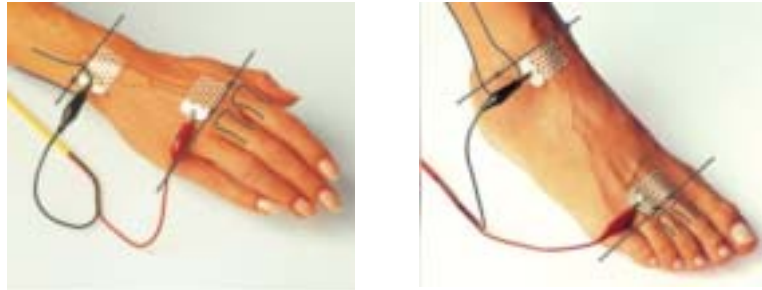


圖 2-5 電極板的黏貼

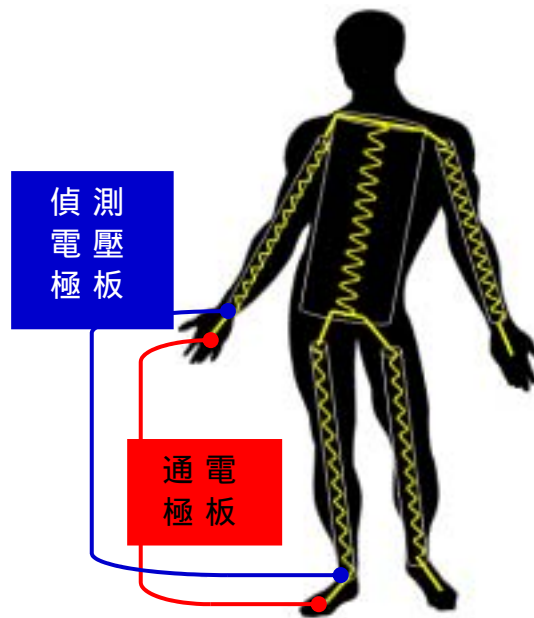


圖 2-6 人體電阻偵測圖

要以所測得的阻抗值估測出 FFM 或 %BF 需要搭配估測方程式（如表 2-2），但目前的 BIA 儀器已將這些估測方程式內建於 BIA 測量儀中，所以受測者就可立即地獲得自己身體組成的資料。

表 2- 2 運動員的 BIA 估測方程式

方程式名稱	參照方法	估測方程式	R ²	SEE	樣本
Fornetti et al.	DEXA; 2-C	FFM=0.282 (HT) +0.415 (BW) - 0.037 (R) +0.096 (Xc) -9.734	0.96	1.1kg	132 位女性運動員， 18-27 歲，不同運動
Hortobagyi, Israel, Houmard,	HD; 2-C	AA:%BF=- 46.6 + 1.576 (BMI) + 0.071 (R) - 1.753 (ψ)	0.80	2.6%BF	大學足球員
O'Brien et al.	HD; 2-C	CA:%BF=- 12.6 + 1.601 (BMI) - 2.389 (ψ)	0.92	2.1%BF	40 位黑人 44 位白人
Oppliger,Nielson, Hoegh et al.	HD; 2-C	FFM=1.949+0.701 (BW) + 0.186 (HT ² /R)	0.96	1.9kg	110 高中角力運動員
Yannakoulia et al.	DEXA; 2-C	FFM=0.247 (BW) +0.214 (HT ² /R) -0.191 (HT) -14.96	0.83	1.5kg	42 位女性舞者學生

DEXA= Dual-energy X-ray absorptiometry; HD=Hydrodensitometry; 2-C= Two-component molecular model; HT=height(cm);
 BW=body weight (kg) ; R=resistance (Ω) ; Xc= reactance (Ω) ; ψ=phase angle; AA= African American ; CA= Caucasian
 American (V. H. Heyward & Wagner, 2004)

二、BIA 的優點及缺點

(一) 優點：

BIA 相較於其他方式簡單、快速、攜帶方便、隨時隨地可使用、非侵入性、可分段估測身體肢段的組成，無論受試者或施測者都較不需具備專業技巧，且對於最實際的經濟費用也是一大優勢 (V. Heyward, 2001)。

(二) 缺點：

需考慮不同受試者的條件，選擇適當的預測公式，其條件包含，年齡、性別、種族、體脂肪百分比等，依不同活動程度的受測者有不同的估測方程，部分 BIA 分析儀已內建一般或運動員類型的估測方程，可提供不同活動量的受測者使用。然而，若考慮運動型態的特殊性及差異性，依不同運動類型應該也必須擁有不同的預測公式，若該受試者的條件均不符合已提供公式的基本條件，或基本假定，勉強代入運算估計，信效度不足 (V. H. Heyward & Wagner, 2004)。且女性受測者若正處於月經週期的保留水分階段，所測得的阻抗值已受影響，估算出的 TBW、FFM 及 FM 也有所誤差 (Bunt, Lohman, & Boileau, 1989)。

(三) 與其他方法比較：

1. 與身體密度法相較，攜帶方便，隨時隨地可使用、可依上肢或下肢的生物阻抗分段預測身體肢段的組成。且水中秤重法，需請受試者儘可能排出肺臟裡的空氣，或以氮氣稀釋的方法測量殘氣量 (RV)，才可計算出全身的密度 (Db)，所以 BIA 對受試者較便利。
2. 與皮脂夾相較，因有些皮脂夾估算方程式需取得七個

位置的皮脂厚度，且測量兩次的平均值需相差 10% 內才可採用，再將這些值代入公式算出身體密度，若要計算身體 FM 及 FFM 需再以身體密度及身體質量帶入公式。皮脂夾的測量需有高度技巧，詳細規定流程可參照人體測量標準流程參考手冊，BIA 較適合一般場所，不必具有專業人員的技能，且較舒適也不具侵入性。

但也有研究以 DEXA 為參照方法做對照，比較男性運動員以 SKF 及 BIA 估測 FM 的標準誤為 1.7 kg 和 2.8 kg，估測 FFM 的標準誤為 1.7 kg 和 2.6 kg，由此可見，SKF 估測身體組成優於 BIA (Stewart & Hannan, 2000)。

3. 與 CT 及 MRI 相較，可大大降低花費。

三、多肢段 BIA

傳統式的四極板 BIA，電流是經由腳尖的極板進入下肢，通過下腹部，再進入另一隻腳，且測量兩腳跟之間的電壓，所以實際測量的 Z 是介於兩腳之間。隨著研究的進步，已發展出八極板的方法，分別是兩腳尖、兩腳跟、兩手指尖、兩手掌，而電流是由兩腳尖或兩手指尖的極板進入，測量電壓的位置則是在兩腳跟及兩手掌的極板，藉由轉換電流路徑及改變測量電壓的位置，可以估測全身、右下肢、左下肢、右上肢及左下肢的阻抗值，對了解身體組成有更大的貢獻 (Malavolti et al., 2003)。

身體組成分析儀為了導出 %BF、FM 及 FFM 的估測方程式，使用受測者在 DEXA 所測得的資訊與其年齡、身高、體

重及阻抗值重複實施回歸分析，依採用不同部位的阻抗值，可以導出全身及其他肢段的估測方程式，而以這些估測方程式所計算出的%BF、FM及FFM與DEXA的圖片存在著極高的相關及穩定性。

四、BIA的不穩定

BIA所測量阻抗值及計算身體組成均建立在身體阻抗的基礎上，然而我們知道水分將近佔體重的60%，且身體的阻抗會因為身體的水分多寡及分布狀態而改變，也會因溫度而不同，因此，標準化測量的條件是必要的（Kushner, Gudivaka, & Schoeller, 1996）。

阻抗值的改變可分為兩類，一為每日的波動（單一日內的循環變化），另一為每天的差異。

（一）一日的波動

四肢的阻抗值在睡覺時會降低，因為在睡眠期間細胞外液會往軀幹流動，而減少四肢的阻抗值，但是在活動期間細胞外液就會流回四肢，而增加四肢的阻抗值。在一天的活動裡，飲食及運動都會影響身體水分的多寡及分布。在早餐及午餐後的兩小時消化吸收的時間內，上肢及下肢的阻抗值會下降，尤其以下肢的下降程度又大於上肢；而在晚餐之後，隨著活動的減少，上下肢段的細胞外液的減少阻抗值也隨之提升；倒是在洗澡時阻抗值會急遽下降，洗澡後又回復。所以阻抗值確實會因每一天中例行性的活動有極大的變化（Deurenberg, Weststrate, Paymans, & van der Kooy, 1988; Oshima & Shiga, 2006）。因此，為了取得一致的測量值，建議遵守以下條件：

- 1.在起床後二到三小時後測量，在這期間也要繼續每天的正常活動，因為若只是坐著，會使阻抗值提升。
- 2.在用餐後三個小時後再測量，因為在用餐後二到三小時內阻抗值有下降的趨勢。
- 3.在激烈運動後十二小時後再測量，因為運動的型態及強度會影響阻抗值的改變。
- 4.在測量前請先排尿。
- 5.盡可能在每天的同一時間測量。

如果可以符合以上狀況，測量的結果即可較穩定。而在發展建立在分析儀中的回歸方程時，也遵從以下六種條件 (V. H. Heyward & Wagner, 2004)：

- 1.測量前的 48 小時內不准飲酒。
- 2.測量前的 12 小時內禁止從事激烈運動。
- 3.測量的前一天沒有暴飲暴食。
- 4.測量的前 4 小時內禁止飲食。
- 5.測量前 30 分鐘內請排尿。
- 6.在測量期間要排除生理期間的受測者。

(二) 每天的差異

在一般情況下，每天之間所測得的體重及阻抗值的規律沒有顯著的差異，然而，在脫水的情況下，體重會明顯的下降，阻抗值會在兩天內明顯的上昇，%BF 也會提升 (Jackson, Pollock, Graves, & Mahar, 1988)。綜觀前述，身體的阻抗值與體重的增加（如：暴飲暴食）或減少（如：脫水）恰有相反的關係改變，

- 1.因暴飲暴食導致體重 (TBW) 暫時增加。
- 2.喝酒或使用利尿劑導致脫水現象。

3. 在激烈運動時大量流汗導致脫水現象。
4. 在蒸汽浴中大量流汗導致的脫水現象。

所以，為了精確的估測身體組成排除上述狀況是必要條件。

五、BIA 的局限

BIA 的效度至今還是爭論不休，有一部分人認為沒有效度的原因是來自於預測的公式限制於特殊族群 (Webster & Barr, 1993)；另一部分人主張，因為身體活動及生理狀況影響了體內水分的多寡及分布 (Jackson et al., 1988)。

(一) 身體含水量的不穩定

BIA 的測量需要在控制好的狀況下進行，但運動員的生理狀況常處於不穩定的狀況下，在攝取碳水化合物會增加體內水的含量，運動會會影響皮膚溫度、電解質的分布及水和狀態，而這些情形都會影響身體的阻抗值。

(二) 不同族群的差異性

雖然有許多針對特殊族群或概括性的 BIA 方程式已被應用於運動員樣本，但大致上，交叉確認的結果指出，無法準確地估計男性及女性運動員的 FFM。因此依年齡、性別、種族、及運動型態選擇適當的估測方程式也是提高效度的原因之一 (Pichard, Kyle, Gremion, Gerbase, & Slosman, 1997; Webster & Barr, 1993)。

第六節 BIA 在運動方面的應用

因為 BIA 的快速性（測量只需數十秒）、便利性（沒有複雜的步驟也不需專業的操作人員）、便宜及可攜帶性（可運用於運動場上），所以常被使用於運動方面。

一、BIA 用於體脂肪監控、尋求最佳競賽體重

在過重女性參加社區體重控制課程及飲食能量控制之下，以 BIA 監控其身體組成的變化 (Powell et al., 2001)。也有研究為了確定規律的身體活動對身體組成的影響效果，以 BIA 對 3853 位白人隨著年齡比較其身體總成的改變 (Kyle et al., 2001)。因為 BIA 的快速、便利才有辦法測量這麼多人的身體組成，不僅是一般民眾，專業的運動員，也可藉由 BIA 的估測監控體脂肪以保持最佳競賽體重。

二、BIA 用於估測 FFM

促使運動員有良好的運動表現是 FFM 的責任，而 FFM 是由全身質量減去 FM 所得，Davis 等人研究英國足球員的 %BF 及最大攝氧量之間的關係，發現有較高 %BF 的守門員的最大攝氧量比其他球員低，反之亦然；而在六十米衝刺跑的時間前鋒也顯著低於守門員，因此，FFM 與有氧及無氧能力有正相關 (Davis et al., 1992)。

三、BIA 應用於運動員方面的不足

（一）SKF 優於 BIA：

在前一節 BIA 的侷限已經提過，攝取碳水化合物及皮膚溫度、電解質的分布將會影響 BIA 的測量結果，除此之外，脫水也會導致以 BIA 估測 FFM 及 %BF 的顯著誤差 (Saunders, Blevins, & Broeder, 1998)。在實施 BIA

估測時，若能將控制狀況控制好，將可減少誤差，可是在運動員訓練期間要遵守這些規定是很困難的，所以，BIA 若要當為實地測量方法是有難度的。此外，多研究指出對於估測運動員的 %BF 而言 SKF 是比 BIA 好的方法 (Houtkooper, Mullins, Going, Brown, & Lohman, 2001; Stewart & Hannan, 2000)。

(二) 不同族群無法互通：

許多以特定族群或一般族群所發展出的估算方程式，無法精確地估測運動員的 FFM。有研究指出幾個如此的方程式應用於大學足球隊員，標準誤的範圍 2.9 kg - 6.3 kg，而 BIA 內建的方程式明顯的高估了他們的 FFM (Oppliger, Nielsen, Shetler, Crowley, & Albright, 1992)。相反地，Lukasku, Bolonchuk, Siders 與 Hall (1990) 研究指出以 18 - 74 歲的男生所發展出的方程式可以準確地預測大學男女生的運動員 (SEE=2.0 kg)，然而 Houtkooper 等 (2001) 卻發現這個方程式對頂尖的女性運動員的 %BF 卻高估了 4.4%BF。

(三) 男性運動員的方程式稀少

由表 2-2 可看到，較少為男性運動員所發展的 BIA 方程式，Eckerson, Housh 與 Johnson (1992) 指出專為高中角力運動員開發的方程式可以被使用來估測 19 - 40 歲瘦的男性 (SEE=1.70 kg)，此外，另一個研究發現這個方程式高估了 DEXA 的 FFM，平均高出了 2.3 kg，而且變異數也很大 (De Lorenzo et al., 2000)。

第七節 類神經網路

類神經網路是模擬生物神經系統運作方式所發展而成，早在1940年代，Warren McCulloch和Walter Pitts學者已共同建立了第一個人工神經元，可以計算數學算式及邏輯函數。1950年代末期，Frank Rosenblatt發明了具有學習功能的感知器網路（perceptron network），雖然引起廣大的研究興趣，但是基本的感知器網路僅能解決的問題有限。Bernard Widrow和Ted Hoff (1960) 提出了具有訓練調整線性神經元的「學習」算則，Widrow-Hoff learning rule即所謂的最小均方差演算法（Least Mean Square algorithm, LMS）至今仍被使用。但因為無法調整學習算則以訓練更複雜的網路，因此類神經網路步入黑暗期。雖然類神經網路在1960年代後因缺乏有力的計算器及改良的方法而步履蹣跚，但James Anderson (1972) 仍發展出具有「記憶」功能的神經網路。直到1980年代有了戲劇性的變化，個人電腦及工作站性能快速地成長，也有新的概念被提出，許多數學家提出後退傳遞演算法（Backpropagation algorithm）可以訓練多層的神經元網路，其中又以David Rumelhart和James McClelland的最具影響力，這些新的發展復甦了類神經網路的領域，近十年來，類神經網路的研究數以千計，且應用於各領域中，因為多層的類神經網路可經由訓練、記憶、學習、調整出近似非線性的函數，以解決更複雜的問題。

一、後退傳遞神經網路的架構

類神經網路發展至今，許多學者為了解決不同的問題提

出了不同的類神經網路模型，其中的演算法也有所差異。後退傳遞神經網路現今被廣泛的使用，將樣本要探討的參數資料作為輸出的比較值，樣本的其他參數資料作為輸入值，經過順向傳遞（Feed-Forward）及後退傳遞（Back-Propagation）兩階段，使類神經網路經由反覆學習調整適當的權值值（weights）及偏差值（biases），將輸出值與比較值的誤差降至容許範圍內。後退傳遞神經網路的數學式及架構如下：

$$f\left(\sum_{i=1}^n w_i p_i + b\right) = f(n) = a$$

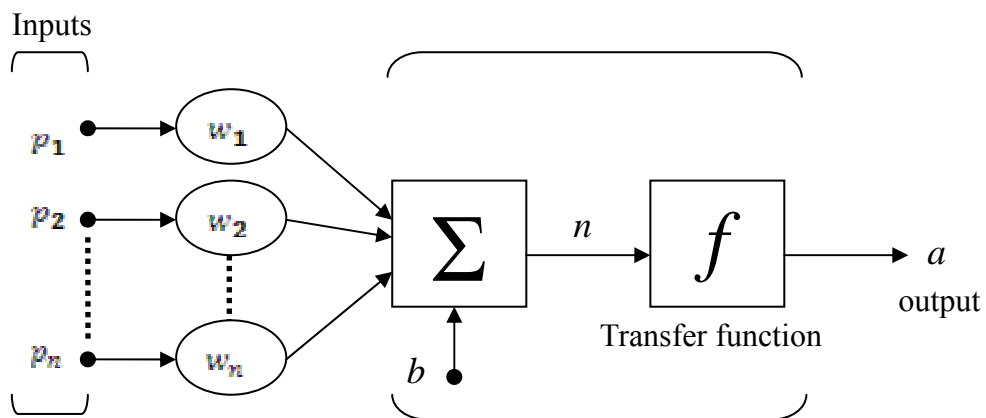


圖 2-7 後退傳遞神經網路架構圖

其中

- (一) 輸入值 (inputs): 資料樣本中可能影響目標值的其他參數。
- (二) 輸出值 (output): 輸入值經由網路計算所求得之值。
- (三) 目標值 (target): 資料樣本中欲研究及網路欲擬合的參數值。
- (四) 權值值 (weights): 相異輸入值間的強度連結。
- (五) 偏差值 (bias): 神經元發出訊號的臨界值。
- (六) 神經元 (neuron): 類神經網路中最小的運算單元稱之為神經元，最早由 McCulloch & Pitts (1943) 所介紹，是一個生物神經行為模式的簡單數學模型，可整合所有參數、權值值及偏差值。
- (七) 轉移函數 (transfer function) : 可依神經元的輸出值 (n) 做分類或邏輯運算。

例如：Hard Limit (hardlim) 可做分類，
使得 $n < 0$ 時， $f(n) = a = 0$ ； $n \geq 0$ 時， $f(n) = a = 1$ 。

Log-Sigmoid (logsig) 可做邏輯運算，

$$a = j$$

。

一個神經網路可以是數層神經元所構成，而一層神經元中亦可包含數個神經元（如圖 2-7），除了第一層直接接收輸入值外，每一層的輸出值即為下一層的輸入值，依此將數值傳遞下去，最後一層的輸出值即為整個神經網路的輸出值。

神經網路的輸出值與目標值的誤差是調整權值及偏差值的依據，而計算下一次疊代的權值及偏差值是由最後一層神經元依序往前計算，待計算完各層的權值及偏差值後即可進行第二次的疊代，依此不斷的循環，使得神經網路學習適當的權值及偏差值，輸出值越來越接近目標值，直到誤差縮小至可接受範圍為止。

$$a_2 = f^2(w^2 f^1(w^1 p + b^1) + b^2)$$

圖 2-8 兩層的神經網路架構

二、類神經網路的應用

隨著科技的進步，類神經網路的計算能力也隨之變強，新的概念及演算法則也使得類神經網路可以解決複雜的非線性問題，其應用可擴展至工業、商業、經濟、航太、醫學。

在生物醫學方面，類神經網路已使用在估測癌症病患的生存時間或手術預後，其中包含結腸癌 (Ahmed, 2005)、乳

癌 (Ripley, 1998) 等。為了準確地評估患者的存活率及手術預後狀況，需要具備大量的資料庫，其中包括人種、年齡、性別、腫瘤位置、腫瘤大小、手術、化療、放射線治療...等，這些條件極為複雜且為非線性關係，傳統的線性迴歸分析無法有效地偵測此類的生物資料模組。

在 Bottaci 等 (1997) 的研究中，以 334 位結腸癌患者的 5 年追蹤資料，分為六組 9, 12, 15, 18, 21 和 24 個月存活時間為訓練樣本，訓練六組神經網路，結果發現這六組神經網路的準確率均大於 80%，且以 12 個月為訓量樣本估測二期的患者，準確率更高達 90%，而與之比較的兩組臨床病理學診斷卻只有 79% 及 75%。

類神經網路用於估測身體組成組成的研究尚不多，Tafeit, Möller, Sudi 與 Reibnegger (1999) 研究女性糖尿病患者與正常女性的皮下脂肪分佈的情形，得到的結果為糖尿病患者皮下脂肪集中分佈在軀幹上部，軀幹下部及腿部分佈則往下遞減，而正常的女性皮下脂肪則分佈較為平均並由上往下遞增。Linder, Mohamed, Lorenzo 與 Pöppel (2003) 提出類神經網路可以應用在研究人體組成的複雜且非線性關係。

第三章 研究方法

第一節 研究對象

研究對象為 24 位臺灣體育學院男子足球代表隊隊員，臺灣體院男子足球隊為大專聯賽冠軍隊伍，隊員為臺灣中部地區優秀足球員，年紀介於 18 至 26 歲。

第二節 實驗設計與流程

一、實驗說明

於受試者接受測量之前告知其測量流程、研究風險、研究的益處以及其權利，請受試者簽寫同意書、填寫性別、年齡及運動類型等基本資料，確定填寫資料，操作人員講解方法、流程、步驟，且經大里仁愛醫院人體試驗倫理委員會核可後進行。

二、受測者注意事項

測量全程均在大里仁愛醫院實施，環境控制於溫度 26.7、溼度 50%，受測者需卸除身上所有的金屬物件，換上輕棉布袍，同時確認下列事項：

- (一) 測量前 4 小時未從事運動。
- (二) 測量的前 2 小時未飲食。
- (三) 保持正常水和狀態。
- (四) 測量前已排尿。

三、雙能 X 光吸收儀 (DEXA)

受測者去除身上所有金屬物件後身著輕棉布袍，放鬆仰臥於受測床上，雙手平放於身體兩側，兩腳微併，腳尖朝上，使用美國 GE 公司 Lunar Prodigy 之 DEXA，搭配 en Core2003 Version 7.0 分析軟體，採用全身掃描模式，每名測量時間約

為 20 分鐘，測量並計算受測者全身的骨礦物含量 (BMM)、全身脂肪含量 (FM)、非脂肪組織含量 (FFM)。

四、生物阻抗分析

受測者赤腳測量身高，誤差為 0.5 公分。將受測者年齡、性別、身高輸入於具測量體重功能的八極板 BIA (Tanita, BC-418)，選擇運動員模式後，受測者雙腳微張站立於內嵌四個電極板的平台上，每隻腳踩住兩個極板，雙手平舉，每隻手握住內嵌有兩塊極板的把手，使受測者的每一手掌及腳掌都接觸到一塊電流供應電極 (Current source electrode) 和一塊測量電極 (Detect electrode)，採用頻率為 50kHz、800 μ A 的電流，蒐集各肢段 (左右手臂、左右腿及全身) 阻抗值，且透過儀器內建方程式估算出各肢段 FM、FFM 及 %BF，並記錄其測量結果。

五、分析比較

以四個簡易快速取得的參數，分別實施線性迴歸分析及類神經網路計算出四個參數對 DEXA 所測得的 FFM 的最佳擬合函數，比較 BC-418 與類神經網路所估測之 %BF，比較線性迴歸及類神經網路估測 FFM 之準確度。

第三節 資料處理與統計分析

使用 Excel 統計分析軟體，實施多元迴歸分析，分析年齡、身高、體重及電阻四個參數對應 DEXA 所測量之 FFM 的線性迴歸方程，計算估測值之 Pearson 相關係數 r 、決定係數 (coefficient of determination, r^2)、標準偏差 (root mean square error, RMSE)。

同時也使用單層單一個神經元之類神經網路，轉移函數

為 linear, 訓練出最佳擬合函數, 求得函數的權值值(weights) 及偏差值 (biases), 並以此擬合函數計算估計值、 r 、 r^2 及 RMSE。

以類神經網路的倒傳遞模式求得最佳的擬合函數, 使用軟體是 Matlab 2009a 程式, 建立兩層的反傳遞網路, 隱藏層轉移函數為 log-sigmoid, 輸出層轉移函數為 linear, 利用 neural network toolbox 中的 Bayesian Regularization (BR) 訓練法, 經過 1000 次隨機初始變數 (multi-start methods) 重複訓練, 訓練過程不斷運算修正函數的權值值 (weights) 及偏差值 (biases), 使得整個訓練樣本的參數經函數輸出估算值 (output) 與 DEXA 的 FFM (target) 的標準偏差 (RMSE) 收斂至符合的範圍, 並計算出此最佳的 r^2 及 RMSE。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

log-sigmoid :

linear : $f(x) = x$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2}$$

t_i : target , a_i : output , i : 第 i 個樣本

以 r^2 及 RMSE 為依據, 比較線性迴歸及類神經網路兩種估測 FFM 的準確度, 應用 Bland-Altman plot 來評估這兩種方法之

BIA 估算 FFM 與 DEXA 測量結果的分布狀況與差異性。

第四章 結果與討論

第一節 FFM 的估測方程式

24 位台灣體育學院男子足球代表隊隊員，年紀介於 18 至 26 歲，身高介於 160 至 181 公分，體重介於 55 至 74 公斤，其描述性統計如表 4-1。

表 4- 1 受測者資料

	最小值	最大值	平均數	標準差
年 齡	18	26	20.3	1.9
身 高	160	181	173.6	5.6
體 重	55	74	66.1	5.3

一、線性迴歸

以年齡、身高、體重、全身阻抗值四個參數對應 DEXA 所測量之 FFM 的估測，使用 Excel 及單層單一個神經元的 linear 神經網路實施多元迴歸分析的結果均相同，如下：

線性估測方程式為：

$$\text{FFM} = 10.2982 \times \text{age} + 0.6863 \times \text{Ht} + 0.1922 \times \text{Wt} + 0.0581 \times \text{Z} - 131.9976$$

age = 年齡，Ht = 身高，Wt = 體重，Z = 阻抗。

Pearson 相關係數 $r = 0.947$ ，決定係數 $r^2 = 0.897$ ，標準偏差 RMSE = 1.679。

二、類神經網路

以兩層的倒傳遞網路，分別採用一至十個隱藏層神經元 (hidden neuron, HN) 架構來訓練，每種架構嘗試 1000 個隨機初始變數，每個初始變數執行 800 次學習訓練，並紀錄最小均方根誤差，結果如表 4-2，類神經網路的決定係數 (r^2)

= .918 .999) 均大於線性迴歸的相關係數 ($r^2 = .897$), 而標準偏差 (RMSE = 0.066 1.492kg) 均比線性迴歸的標準偏差 (RMSE = 1.678kg) 小。隨著隱藏層神經元的個數增加, r^2 呈增加的趨勢, 且均接近於 1, 雖然 r^2 越接近 1 估測越準確, 但增加神經元的數量也會增加計算的複雜度及時間, 因大於五個神經元的相關係數增加幅度不大 (如圖 4-1), 以下採用五個神經元為隱藏層的神經元數量加以探討。

表 4-2 1~10 個神經元的 r^2 決定係數及標準偏差

神經元數量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r^2	0.918	0.966	0.986	0.998	0.996	0.998	0.996	0.998	0.999	0.999
RMSE	1.492	0.961	0.625	0.234	0.328	0.183	0.301	0.210	0.066	0.095

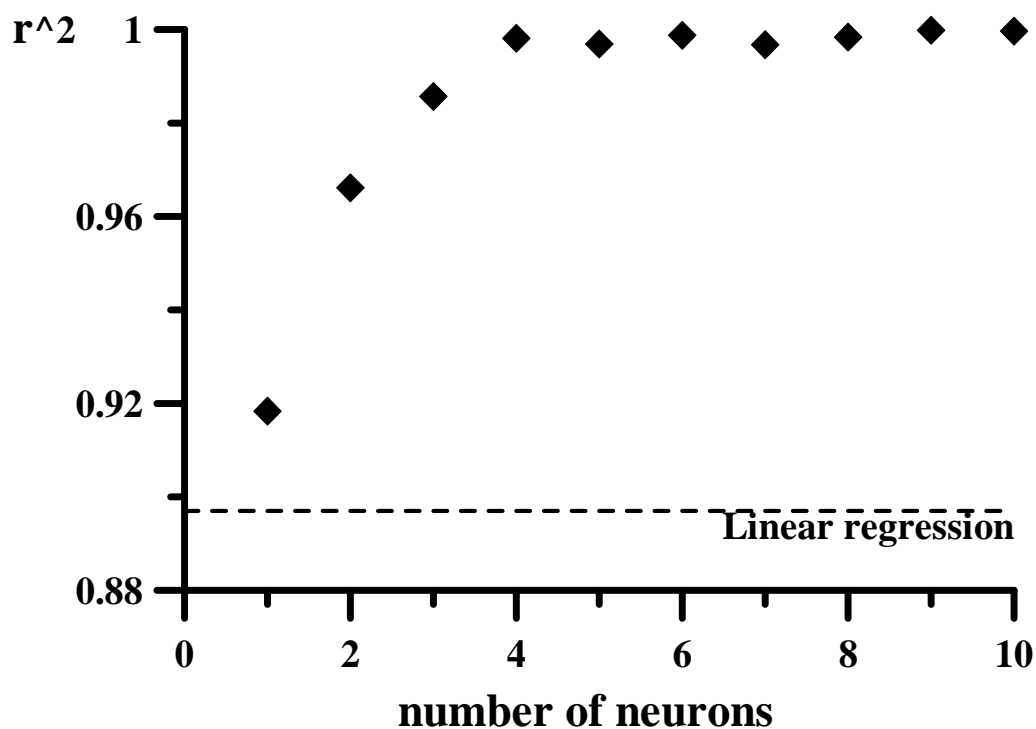


圖 4-1 1~10 個神經元數量的 r^2 決定係數
 每種神經元數量的 r^2 值, ---線性迴歸的 r^2 值

第二節 估測運動員 FFM 之比較

進一步探討本研究推導出的線性迴歸方程式、類神經網路及 BC-418 之測量結果，利用 Bland-Altman plot 圖形來進行觀察，將 DEXA 測得的 FFM 為 X 軸，估算出的 FFM 與 DEXA 的 FFM 差值 (difference) 為 Y 軸，以符號 ○ 表式線性方程估測出的 FFM 對 DEXA-FFM 的差值，符號 表式五個神經元的類神經網路估測出的 FFM 對 DEXA-FFM 的差值，符號 表示 BC-418 測量出的 %BF 轉換為 FFM 對 DEXA-FFM 的差值，並標示出差值的偏差值 (bias) 線、bias+2 SD. (標準偏差) 線與 bias - 2 SD. 線 (如圖 4-2、圖 4-3、圖 4-4)。

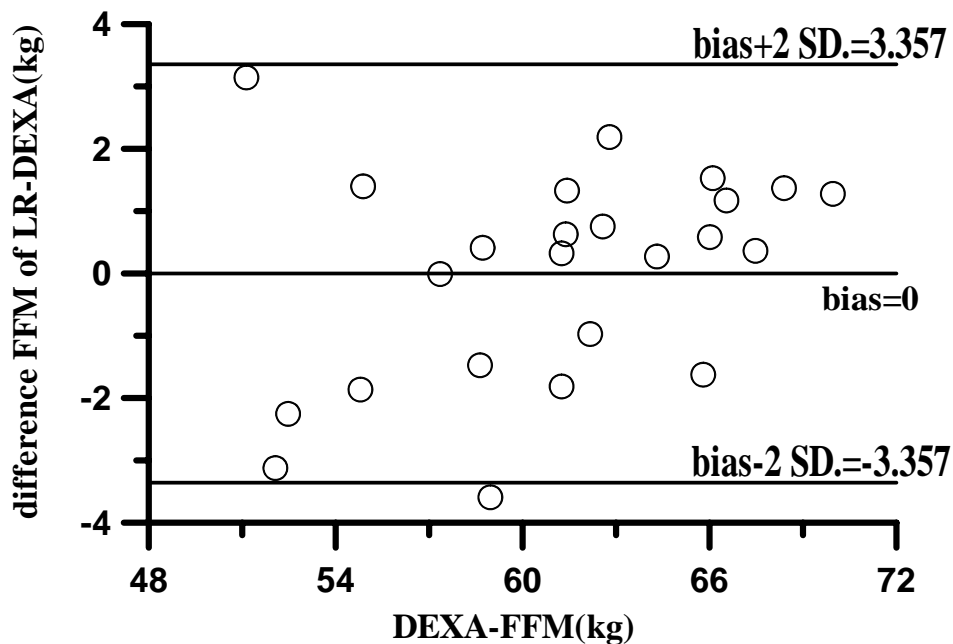


圖 4-2 線性迴歸估測運動員的 FFM

LR = linear regression, DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry, difference = LR-DEXA 的 FFM 差值, bias = LR-DEXA 的 FFM 平均值, 2 SD. (偏差範圍) = 標準偏差的兩倍。

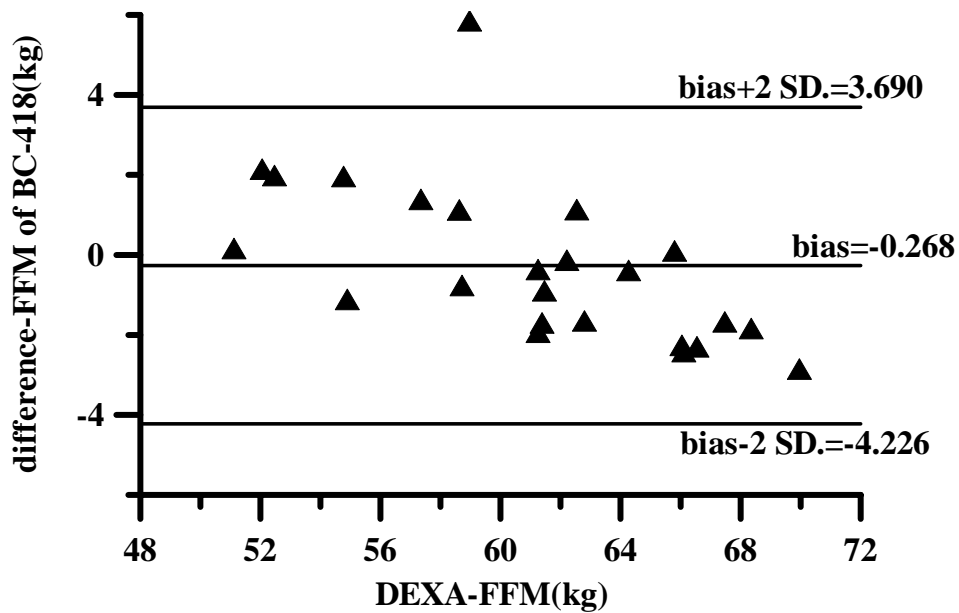


圖 4-3 BC-418 估測運動員的 FFM

BC-418 = 生物阻抗分析儀，DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry，
 = BC418-DEXA 的 FFM 差值，bias = BC418-DEXA 的 FFM 平均值，
 2 SD. (偏差範圍) = 標準偏差的兩倍。

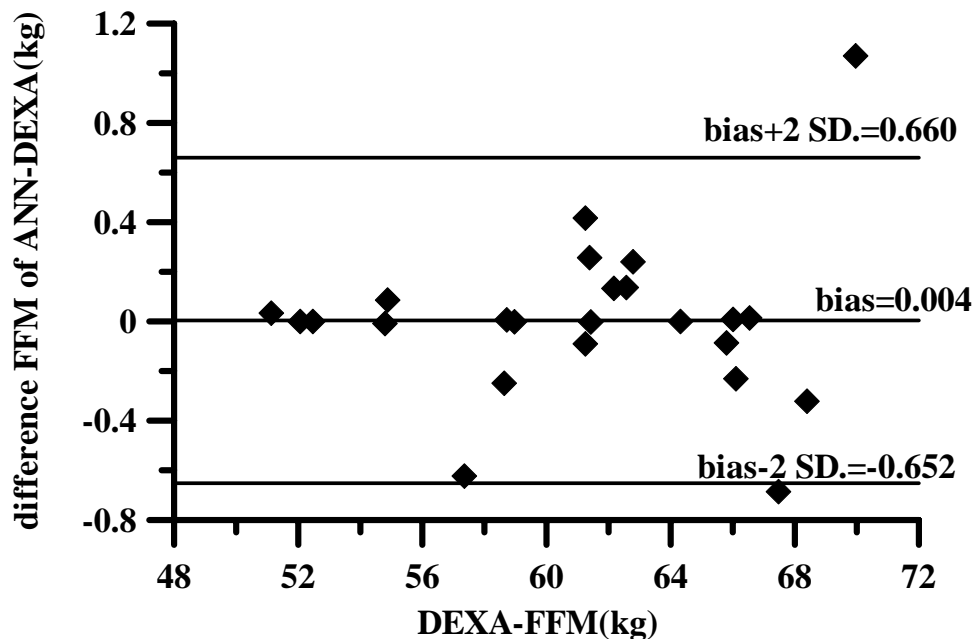


圖 4-4 ANN 估測運動員的 FFM

ANN = 類神經網路，DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry，
 = ANN-DEXA 的 FFM 差值，bias = LR-DEXA 的 FFM 平均值，2 SD. (偏
 差範圍) = 標準偏差的兩倍。

表 4-3 估測方法與 DEXA 的 FFM 差值

FFM	LR	BC-418	ANN
bias	0.000	-0.268	0.004
2 SD.	3.357	3.958	0.656
bias + 2 SD.	3.357	3.690	0.660
bias - 2 SD.	-3.357	-4.226	-0.652

ANN = 類神經網路，BC-418 = 生物阻抗分析儀，DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry，bias = 三種估測方法與 DEXA 的 FFM 差值的平均值，2 SD. = 偏差範圍為標準偏差的兩倍。

圖 4-2、圖 4-3、圖 4-4 及表 4-3 中顯示線性迴歸方程式及類神經網路所估算的 FFM 與 DEXA 測量的結果相差偏差值 (bias) 均接近於 0。BC-418 所估測的 FFM 偏差值為 -0.268kg，些微低估了足球員的 FFM，這結果與 Oppliger 等人 (1992) 發現三種 BIA 內建估測方程系統低估了一級足球員的 FFM 相同；也與 Pichard 等 (1997) 的研究相同，所有的預測方程式都低估了優秀女性跑者的 FFM，推測因為優秀足球員與優秀跑者均屬於高度有氧運動員，使用不適合有氧運動族群的估測方程式去估測有氧性運動員會低估其 FFM。

線性迴歸與 BC-418 的偏差範圍 (2SD.) 分別為 3.357 及 3.958kg 比類神經網路的偏差範圍 (2 SD.=0.656) 大，說明了類神經網路對各足球員估測的 FFM 比線性迴歸及 BC-418 的估測結果接近 DEXA 所測得的 FFM，也較準確。

第三節 估測運動員體脂肪百分率之比較

生物阻抗分析儀 (BC-418) 具有內建估測方程式，可選擇運動員模式直接估算出足球員之體脂肪百分率 (%BF)。若將人體組成以 2-C 分子模式分為 FM 及 FFM，亦可將全身體重減去線性迴歸方程式或類神經網路估算出的 FFM 獲得 FM，進而獲得 %BF。

以 BC-418 估算出 24 位足球員的 %BF 與 DEXA 測量的 %BF，雖然 BC-418 的平均數 (10.1583) 高於 DEXA 的平均數 (9.8001)，但以成對樣本 T 檢定，顯著水準訂為 $\alpha=.05$ ， $t=-0.620$ 大於臨界值，且 $p=.541 > .05$ ，未達顯著水準 (如表 4-2)。

表 4-4 DEXA 與 BC-418 %BF 的成對樣本 T 檢定

	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	97.5% Confidence Interval of the Difference				
		Lower	Upper			
DEXA - BC418	-.35826	-1.74333	1.02681	-.62023		.541

DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry, BC-418 = 生物阻抗分析儀， $\alpha=.05$ 的雙尾 T 檢定，DEXA 與 BC-418 估測的 %BF 未達顯著差異。

進一步探討線性迴歸、類神經網路及 BC-418 所估測的 %BF，利用 Bland-Altman plot 圖形來進行觀察，將 DEXA 測量結果計算出的 %BF 為 X 軸，估算出的 %BF 與 DEXA 的 FFM 差值 (difference) 為 Y 軸，以符號 表式線性迴歸方

程式估算出的 %BF 對 DEXA-%BF 的差值，符號 表式 BC-418 估測出的 %BF 對 DEXA-%BF 的差值，符號 表式五個神經元的類神經網路估測出的 %BF 對 DEXA-%BF 的差值，並標示出差值的偏差值 (bias) 線、 bias+2 SD. (標準偏差) 線與 bias-2SD. 線 (如圖 4-5、圖 4-6、圖 4-7)。

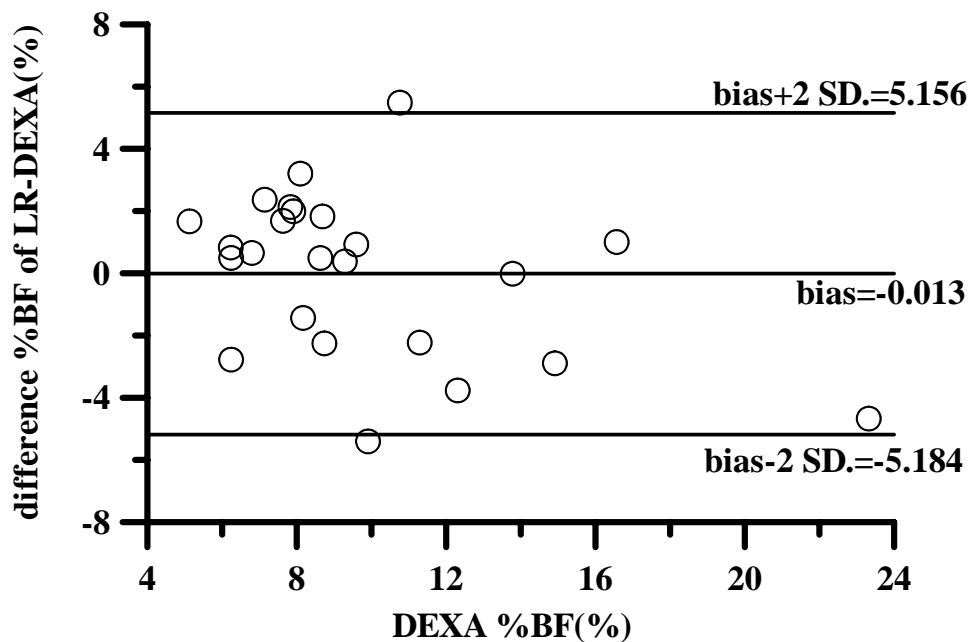


圖 4-5 線性方程估測運動員的 %BF

LR = linear regression, DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry, difference %BF of LR-DEXA = LR-DEXA 的 %BF 差值, bias = LR-DEXA 的 %BF 平均值, 2 SD. (偏差範圍) = 標準偏差的兩倍。

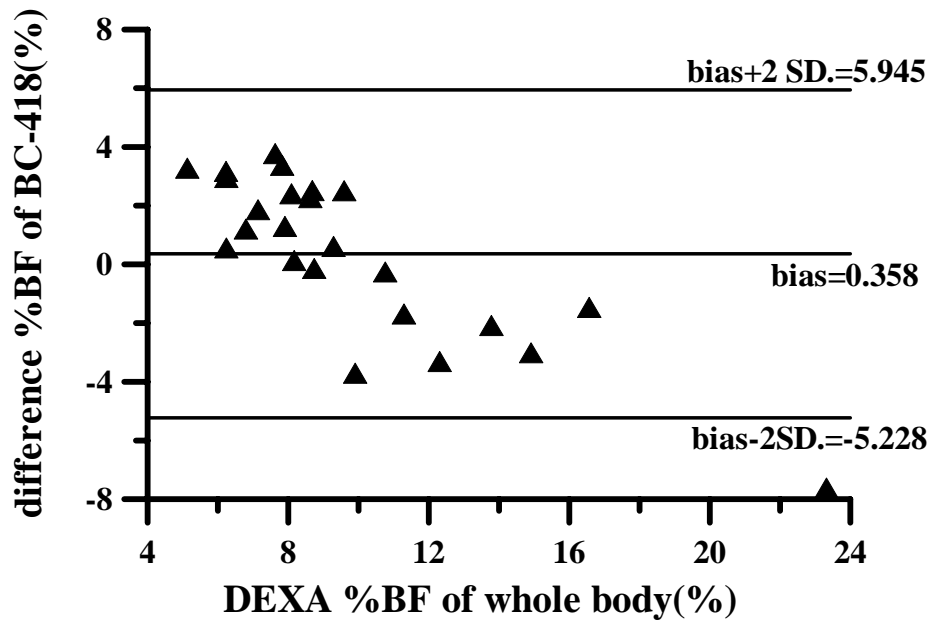


圖 4-6 BC-418 估測運動員的 %BF

BC-418 = 生物阻抗分析儀, DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry, = BC418-DEXA 的 %BF 差值, bias = BC418-DEXA 的 %BF 平均值, 2 SD. (偏差範圍) = 標準偏差的兩倍。

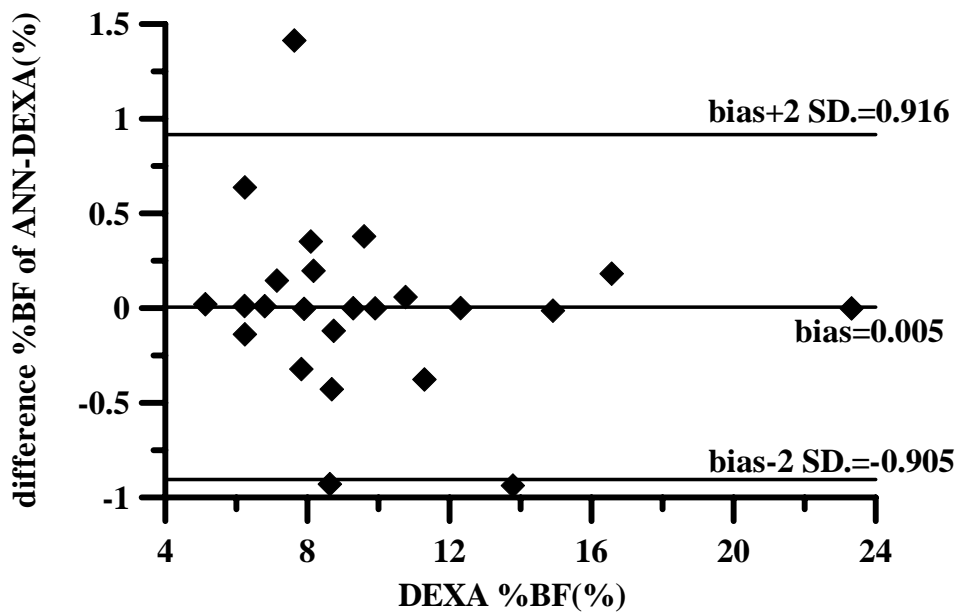


圖 4-7 ANN 估測運動員的 %BF

ANN = 類神經網路, DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry, = ANN-DEXA 的 %BF 差值, bias = LR-DEXA 的 %BF 平均值, 2 SD. (偏差範圍): 標準偏差的兩倍。

表 4- 5 估測方法與 DEXA 的 %BF 差值

%BF	LR	BC-418	ANN
bias	-0.013	0.358	0.005
2 SD.	5.170	5.587	0.910
bias + 2 SD.	5.157	5.945	0.916
bias - 2 SD.	-5.183	-5.228	-0.905

ANN = 類神經網路，BC-418 = 生物阻抗分析儀，DEXA = dual-energy X-ray absorptiometry，bias = 三種估測方法與 DEXA 的 %BF 差值的平均值，2 SD. = 偏差範圍為標準偏差的兩倍。

圖 4-5、圖 4-6、圖 4-7 中顯示使用線性迴歸方程式及類神經網路估算出的 %BF 與 DEXA 所計算的 %BF 偏差值(bias) 亦接近於 0。而生物阻抗分析儀 BC-418 內建運動員模式所估測出的 %BF 平均值 (bias) 高於 DEXA 所計算出的 %BF 偏差值(0.358%)，雖從表 4-4 可知未達顯著差異，但這與 Oppliger 等人 (1992) 研究中三種 BIA 系統會高估一級足球員的 %BF 結果相同，其餘研究精瘦型的運動員也有相同的結果 (Hodgdon & Fitzgerald, 1987)，Pichard 等人 (1997) 的研究一樣高估了優秀女性跑者的 %BF。

BC-418 的偏差範圍 (2 SD.=5.587%)、線性迴歸的偏差範圍 (2 SD.=5.170%) 比類神經網路的偏差範圍 (2S.D.=0.910%) 大，說明了類神經網路對各足球員估測的 %BF 比線性迴歸及 BC-418 內建運動員模式所估測的結果接近 DEXA 所計算出的 %BF，也較準確。

第五章 結論

BIA 的使用需依不同種族、年紀、性別而調整，必須以這些條件發展不同的估測方程式及參照值 (V. H. Heyward & Wagner, 2004; Kyle et al., 2004)。不同族群應使用不同的估測方程式。Oppliger (1992) 以 BIA 內建方程式估測足球員的身體組成，有低估 FFM 及高估 %BF 的結果。本研究比較的結果歸納如下：

- 一、以生物阻抗儀 BC-418 內建方程式估測足球員的 %BF 高於 DEXA 估測的 %BF，偏差值 (bias) 為 0.358%，與前者研究相同。
- 二、以生物阻抗儀 BC-418 內建方程式估測足球員的 %BF 轉換為 FFM，低於 DEXA 的 FFM，偏差值 (bias) 為 -0.268kg。
- 三、以本研將樣本推導出的線性估測方程式及類神經網路所估測的 FFM 及 %BF 與 DEXA 的偏差值均接近於 0。
- 四、雖然線性迴歸和類神經網路與 DEXA 的 FFM 平均偏差值 (bias) 均約等於 0，但線性迴歸的偏差範圍 (2 SD.) 為 3.357kg，比類神經網路的偏差範圍 (2 SD.) 0.656kg 大，說明了類神經網路估測每位足球員的 FFM 比線性迴歸準確。
- 五、線性迴歸和類神經網路與 DEXA 的 %BF 平均偏差值 (bias) 也約等於 0，但線性迴歸的偏差範圍 (2 SD.) 為 5.170%，比類神經網路的偏差範圍 (2 SD.) 0.910% 大，說明了類神經網路估測每位足球員的 %BF 也比線性迴歸準確。

本研究說明，以線性估測方程式估測足球員的身體組成，應以適合身體條件的族群所發展出的估測方程式，才能準確估測。而以類神經網路估測非線性的身體組成又優於線性估測方程式的估測結果。

參考文獻

- Ahmed, F. E. (2005). Artificial neural networks for diagnosis and survival prediction in colon cancer. *Molecular Cancer* 4(29), 1-12.
- Bell, W., Cobner, D. M., & Evans, W. D. (2000). Prediction and validation of fat-free mass in the lower limbs of young adult male Rugby Union players using dual-energy X-ray absorptiometry as the criterion measure. *Ergonomics*, 43(10), 1708-1717.
- Bottaci, L., Drew, P. J., Hartley, J. E., Hadfield, M. B., Farouk, R., Lee, P. W., et al. (1997). Artificial neural networks applied to outcome prediction for colorectal cancer patients in separate institutions. *The Lancet*, 350(9076), 469-472.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumption. *Annals of New York Academy of Science*, 110, 113-140.
- Bunt, J. C., Lohman, T. G., & Boileau, R. A. (1989). Impact of total body water fluctuation on estimation of body fat from body density. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(1), 96-100.
- Clarys, J. P., Martin, A. D., & Drinkwater, D. T. (1984). Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Human Biology*, 56(3), 459-473.
- Cureton, K. J., Hensley, L. D., & Tiburzi, A. (1979). Body

- fatness and performance differences between men and women. *Research Quarterly*, 50(3), 333-340.
- Davis, J. A., Brewer, J., & Atkin, D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 10(6), 541-547.
- De Lorenzo, A., Bertini, I., Iacopino, L., Pagliato, E., Testolin, C., & Testolin, G. (2000). Body composition measurement in highly trained male athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 178-183.
- Deurenberg, P., Weststrate, J. A., Paymans, I., & van der Kooy, K. (1988). Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 42(12), 1017-1022.
- Eckerson, J. M., Housh, T. J., & Johnson, G. O. (1992). Validity of bioelectrical impedance equations for estimating fat-free weight in lean males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(11), 1298-1302.
- Grundy, S. M. (2004). Obesity, Metabolic Syndrome, and Cardiovascular Disease. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 89(6), 2595-2600.
- Heyward, V. (2001). Asep methods recommendation: Body composition assessment. *Journal of Exercise Physiology online*, 4(4), 1-12.
- Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment*. (2nd ed.). Champaign, IL:

Human Kinetics.

- Hodgdon, J. A., & Fitzgerald, P. I. (1987). Validity of Impedance Predictions at Various Levels of Fatness. *Human Biology*, 59(2), 281-289.
- Houston, M. E. (1981). The effect of rapid weight loss on Physiological functions in wrestlers. *Phys. Sports Med.*, 9, 73-78.
- Houtkooper, L. B., Mullins, V. A., Going, S. B., Brown, C. H., & Lohman, T. G. (2001). Body composition profiles of elite American heptathletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11, 162-173.
- Hubert, H. B., Feinleib, M., McNamara, P. M., & Castelli, W. P. (1983). Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: a 26-year follow-up of participants in the Framingham Heart Study. *Circulation*, 67(5), 968-977.
- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for prediction body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40(3), 497-504.
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E., & Mahar, M. T. (1988). Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *Journal of Applied Physiology*, 64(2), 529-534.
- Kerruish, K. P., O'Connor, J., Humphries, I. R., Kohn, M. R., Clarke, S. D., Briody, J. N., et al. (2002). Body composition in adolescents with anorexia nervosa.

- American Journal of Clinical Nutrition*, 75(1), 31-37.
- Kireilis, R. W., & Cureton, T. K. (1947). The relationships of external fat to physical education activities and fitness tests. *Research Quarterly*, 18, 123-134.
- Kohrt, W. M. (1995). Body composition by DXA : tried and true ? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(10), 1349-1353.
- Kohrt, W. M. (1998). Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition *Journal of Applied Physiology*, 84(1), 372-377.
- Kushner, R. F., Gudivaka, R., & Schoeller, D. A. (1996). Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 423S-427S.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., Lorenzo, A. D. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., et al. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*, 23(6), 1430-1453.
- Kyle, U. G., Gremion, G., Genton, L., Slosman, D. O., Golay, A., & Pichard, C. (2001). Physical activity and fat-free and fat mass by bioelectrical impedance in 3853 adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 576-584.
- Linder, R., Mohamed, E. I., Lorenzo, A. D., & Pöppel, S. J. (2003). The capabilities of artificial neural networks in body composition research *Acta Diabetologica*, 40,

s9-s14.

- Lukasku, H. C., Bolonchuk, W. W., Siders, W. A., & Hall, C. B. (1990). Body composition assessment of athletes using bioelectrical impedance measurements. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 30(4), 434-440.
- Malavolti, M., Mussi, C., Poli, M., Fantuzzi, A. L., Salvioli, G., Battistini, N., et al. (2003). Cross-calibration of eight-polar bioelectrical impedance analysis versus dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of total and appendicular body composition in healthy subjects aged 21-82 years. *Annals of Human Biology*, 30(4), 380-391.
- Mazess, R., Barden, H., Bisek, J., & Hanson, J. (1990). Dual-energy X-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 1106-1112.
- Misra, M., Soyka, L. A., Miller, K. K., Grinspoon, S., Levitsky, L. L., & Klibanski, A. (2003). Regional body composition in adolescents with anorexia nervosa and changes with weight recovery. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77(6), 1361-1367.
- Nieman, D. C. (1995). *Fitness and Sports Medicine* (Vol. 3rd. ed.). Palo Alto, CA: Bull Publishing Company.
- Oppliger, R. A., Nielsen, D. H., Shetler, A. C., Crowley, E. T., & Albright, J. P. (1992). Body composition of collegiate football players: Bioelectrical impedance and skinfolds

- compared to hydrostatic weighing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15, 187-192.
- Oshima, Y., & Shiga, T. (2006). Within-day variability of whole-body and segmental bioelectrical impedance in a standing position. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(8), 938-941.
- Ostojic, S. M. (2003). Seasonal alterations in body composition and sprint performance of elite soccer players. *Journal of Exercise Physiology online*, 6(3), 11-14.
- Pichard, C., Kyle, U. G., Gremion, G., Gerbase, M., & Slosman, D. O. (1997). Body composition by x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance in female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(11), 1527-1534.
- Pollock, M. L., Hickman, T., Kendrick, Z., Jackson, A., Linnerud, A. C., & Dawson, G. (1976). Prediction of body density in young and middleage men. *Journal of Applied Physiology*, 40, 300-304.
- Powell, L. A., Nieman, D. C., Melby, C., Cureton, K., Schmit, D., Howley, E. T., et al. (2001). Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, 20(1), 26-31.
- Prior, B. M., Cureton, K. J., Modlesky, C. M., Evans, E. M., Sloniger, M. A., Saunders, M., et al. (1997). In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry *Journal of Applied*

- Physiology*, 83(2), 623-630.
- Probst, M., Goris, M., Vandereycken, W., & Coppenolle, H. V. (2001). Body composition of anorexia nervosa patients assessed by underwater weighing and skinfold-thickness measurements before and after weight gain. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2), 190-197.
- Rico-Sanz, J. (1998). Body composition and nutritional assessments in soccer. *International Journal of Sport Nutrition*, 8(2), 113-123.
- Riendeau, R. P., Welch, B. E., Crisp, C. E., Crowley, L. V., & Brockett, J. E. (1958). Relationships of body fat to motor fitness test scores. *Research Quarterly*, 29, 200-203.
- Ripley, R. M. (1998). *Neural Networks for Breast Cancer Prognosis*. Unpublished doctoral dissertation, University of Oxford, Wellington Square, Oxford, United Kingdom.
- Saunders, M. J., Blevins, J. E., & Broeder, C. E. (1998). Effects of hydration changes on bioelectrical impedance in endurance trained individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30, 885-892.
- Siri, W. E. (1956). Body composition from fluid spaces and density. *Techniques for measuring body composition* 223-244.
- Stewart, A. D., & Hannan, W. J. (2000). Prediction of fat and fat-free mass in male athletes using dual X-ray absorptiometry as the reference method. *Journal of Sports Sciences*, 18, 263-274.

- Svendsen, O., Haarbo, J., Hassager, C., & Christiansen, C. (1993). Accuracy of measurements of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry in vivo. *American Journal of Clinical Nutrition*, 57, 605-608.
- Tafeit, E., Möller, R., Sudi, K., & Reibnegger, G. (1999). The determination of three subcutaneous adipose tissue compartments in non-insulin-dependent diabetes mellitus women with artificial neural networks and factor analysis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 17(2), 181-193.
- Tahara, Y., Moji, K., Tsunawake, N., Fukuda, R., Nakayama, M., Nakagaichi, M., et al. (2006). Physique, Body Composition and Maximum Oxygen Consumption of Selected Soccer Players of Kunimi High School, Nagasaki, Japan. *Journal of Physiological Anthropology*, 25(4), 291-297.
- Taylor, W., & Baranowski, T. (1991). Physical activity, cardiovascular fitness, and adiposity in children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(2), 157-163.
- Tran, Z. V., & Weltman, A. (1989). Generalized equation for predicting body density of women from girth measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(1), 101-104.
- Tsunawake, N., Tahara, Y., Moji, K., Muraki, S., Minowa, K., & Yukawa, K. (2003). Body Composition and Physical Fitness of Female Volleyball and Basketball Players of

- the Japan Inter-high School Championship Teams. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 22(4), 195-201.
- Wang, Z. M., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 56, 19-28.
- Webster, B. L., & Barr, S. I. (1993). Body composition analysis of female adolescent athletes: comparing six regression equations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(5), 648-653.
- Wilmore, J. H. (1983). Appetite and body composition consequent to physical activity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, 415-425.