

## 以生物電阻分析法預估最大耗氧量之可行性探討

黃政一 蔡忠昌 / 國立彰化師範大學運動健康研究所

### 壹、前言

有氧能力或心肺耐力一般認為是一個人運動能力的重要指標，也攸關一個人的健康狀況，有氧能力越好代表心肺功能佳，肌肉利用氧的效率好。在評估有氧或心肺耐力上，最大耗氧量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) 被眾多研究者視為最佳指標，測量  $\dot{V}O_{2max}$  不僅可得知個人有氧運動能力，亦可用為運動訓練時負荷強度之依據 (林正常, 1989)。

$\dot{V}O_{2max}$  實際測量法為利用跑步機、腳踏車等測功儀(ergometer)，以漸增運動測試(graded exercise test)，在個人最大運動強度求得其  $\dot{V}O_{2max}$ 。此法需要昂貴儀器，並且含有危險性，而隨著國人對生活品質要求的提升，越關心自己身體的健康狀況以及有氧能力，許多研究者因此提出許多間接測量的方法替代，以求省時，省事。間接測量法可分為登階、跑走 (林正常, 1989) 等非最大強度運動，或是依據身體質量指數、年齡、安靜心跳率、脂肪率 (林建得等, 2002)、腰圍長 (Larry, Andrew, Greta, & Brian, 2006) 等非運動身體參數。一般而言，間接測量法的預估能力與直接測量法相比尚有段差距。

生物電阻分析法(bioelectrical impedance analysis, BIA)傳統上用於人體身體組成的估測，因其方便快捷，使用甚為普遍，其估測之脂肪率也曾被用於估計  $\dot{V}O_{2max}$  之上 (林建得等, 2002)，其結果顯示與實測之  $\dot{V}O_{2max}$  具相關性( $r = -.58$ )。最近 Alexander, Elmarie, Sven, and Gunther(2006) 的研究發現電阻指數(impedance index)與實測之  $\dot{V}O_{2max}$  有高度相關( $r = 0.914$ ;  $p < 0.001$ )，首次證明了 BIA 法有高度預估  $\dot{V}O_{2max}$  的能力，為  $\dot{V}O_{2max}$  測量增添一項快速簡便的方法。

本文旨在探討以生物電阻預估  $\dot{V}O_{2max}$  的原理，希望使這項新穎的  $\dot{V}O_{2max}$  估測法受到國人重視，並廣泛應用於各年齡層及醫療領域。

### 貳、最大耗氧量的意義

最大耗氧量是指一個人在單位時間內 (每分鐘) 能使用氧氣的最大量，或者能消耗氧氣的最大速率，亦稱為最大攝氧量。從心肺循環來看，最大耗氧量是單位時間內，呼吸器官吸入之氧氣被細胞吸收的最大量，其中包含吸氣量、肺泡吸收量與細胞耗氧量三個參數 (Robert & Steven, 2003)。

賴金鑫 (1983) 指出肌肉收縮需要能量，主要來源是 ATP，可是它在人體的儲存量很有限，

所以必須靠一些製造 ATP 的機制，才能應付肌肉收縮所需的能量。這些機制以需氧性與否，分成無氧代謝及有氧代謝兩個系統。無氧代謝系統的原料為肌酸磷酸與碳水化合物（肝醣與葡萄糖），它提供 ATP 的速率非常快，可是卻不能長時間供應，若盡全力運動，大概不到 1 分鐘就會用光了，並且會產生大量乳酸堆積在肌肉中，會造成呼吸頻率增加、肌肉疲勞等現象，運動強度就無法維持。有氧代謝系統的原料包括碳水化合物與脂肪，此系統可產生的 ATP 總量比無氧代謝系統多很多，例如等量的葡萄糖，有氧系統產生的 ATP 數量是無氧系統的 13 倍之多，脂肪酸就更多了。此外，有氧代謝不會產生乳酸堆積，肌肉可以維持較久的運動時間，可是就供應能量的速率來說，無氧代謝提供能量的速率比較快，越劇烈的運動，無氧代謝產生能量的貢獻越大(Powers & Howley, 2002)，因此兩種代謝系統皆有其優劣點。

根據無氧與有氧代謝的理論，可以看出無氧代謝系統適用於短時間而強度高的爆發型運動，而有氧代謝系統適合長時間且強度低的耐力型運動，因此耐力運動員非常重視氧氣攝取的能力。林正常（1997）認為最大耗氧量與心肺功能、肌肉收縮及神經傳遞等身體作業能力(physical work capacity)有關，它不僅代表心肺耐力與有氧代謝能力，也是心肺功能的最佳指標。對於一個運動員來說，亦可以鑑定他訓練前的能力及當成他個人運動訓練的負荷指標。每個人最大耗氧量的差異，除了運動訓練造成的影響之外，影響因素還有外在環境的氧氣分壓、呼吸道暢通度、肺臟換氣功能及擴散能力、心臟大小與心肌收縮能力、參與運動的肌肉量（賴金鑫，1983）、性別、年齡、身體大小、遺傳因子（林正常，1986）等，如表一所示。

表一 造成 $\dot{V}O_{2max}$ 個別差異的原因

影響因素	$\dot{V}O_{2max}$ 的差異
外在環境的氧氣分壓	環境的氧氣分壓越低，則 $\dot{V}O_{2max}$ 越低
呼吸道暢通度	患有呼吸道疾病的病人，或者抽煙後一小時內立即做劇烈運動， $\dot{V}O_{2max}$ 會較低
肺臟換氣功能及擴散能力	肺活量越大或者擴散能力越大，則 $\dot{V}O_{2max}$ 越大
心臟大小與心肌收縮能力	心臟越大與收縮能力越強， $\dot{V}O_{2max}$ 越大
參與運動的肌肉量	參與運動的肌肉量越多， $\dot{V}O_{2max}$ 越大
性別	18-20歲之前，年齡越高， $\dot{V}O_{2max}$ 越大；20歲之後，年齡越高， $\dot{V}O_{2max}$ 越少
年齡	發育期後，男子 $\dot{V}O_{2max}$ 絕對值較女子多出13-16%
身體大小	$\dot{V}O_{2max}$ 與身高或體表面積成正比。若以ml/kg/min為單位，此偏差值較低
遺傳因子	遺傳對 $\dot{V}O_{2max}$ 的限制程度約93.4%

資料來源：林正常（1986）、賴金鑫（1983）

## 參、測量最大耗氧量的方法

### 一、呼吸氣體分析法

測量  $\dot{V}O_{2max}$  最直接的方法，是讓受試者使用運動設備，接受接近最大負荷的運動程序，在

運動過程中收集呼出之氣體，分析呼氣之含氧量，計算出每分鐘氧氣的消耗量（林正常，1989）。各專家提出的程序並不盡相同，設備也有些許差異，茲介紹如下：

### (一)運動裝置

最常用來測定  $\dot{V}O_{2max}$  的運動裝置有跑步機、腳踏車測功計與踏台三種。根據研究顯示，此三種裝置的優劣依序為跑步機，其次是踏台，最後為腳踏車測功計。雖然測定  $\dot{V}O_{2max}$  時，踏台與腳踏車測功計測出的值低於原地跑步機，但由於差異不大，仍然有許多研究者使用踏台與腳踏車測功計。

### (二)運動負荷施加方法

測量  $\dot{V}O_{2max}$  時，運動的目標是使受試者達到所能承受的最大負荷強度，因此需要一連串的運動程序，找出可以判定受試者已盡全力的時間點。不論何種運動裝置，其運動負荷施加的方法皆可分為固定式與漸增式兩種。固定式負荷法是指運動負荷從測定開始至結束維持固定，直至達到最大耗氧量的判定標準為止，此法又可分為持續法與間接法，前者不讓受試者有休息時間，後者則是運動與休息交替進行。漸增式負荷法即運動強度隨著時間增加，此法也分為持續法與間接法，間接法中間安插休息時間，不休息則為持續法。

### (三)最大耗氧量的判定標準

判定受試者達到最大耗氧量需要一判定標準，可從耗氧量曲線來判斷。當受試者運動的負荷漸增時，耗氧量也會逐漸增加，可以觀察到耗氧曲線上升，倘若運動負荷增加，耗氧曲線卻不再上升時，則判斷受試者的耗氧量已達到最大值，這是最準確的指標，因為一般人往往達不到這點，因此有些學者提出其他指標作為判斷最大耗氧量的標準，McConnell(1988)整理大部分研究人員的意見，提出以下判定準則：1.當受試者自覺精疲力盡時；2.呼吸商(respiratory exchange ratio)超過 1.1；3.血乳酸濃度超過 10 mmol/L；4.運動強度自覺量表達到 19 或 20。

## 二、其他非呼吸氣體分析法

目前雖然使用跑步機做最大運動強度的  $\dot{V}O_{2max}$  實測法，最為直接準確，但因此法需要昂貴的儀器（跑步機、氣體分析儀等），實驗流程需富有專業知識的人員操作，最大強度的運動對於受試者亦有潛在的危機，使人意願不高，因此許多研究者相繼研究一些替代方法，有些是運動負荷不需達到極限，有些不須受試者做運動，有些不需特殊儀器測量，目的不外乎省時，省事，或省錢。

林正常（1989）指出對於下列之情況，更有採用此類測量法之必要：

(一)受試者從未從事過最大強度運動。

(二)無醫護人員在旁監控時。

(三)受試者受測時健康狀況未明時。

(四)實施最大運動強度測驗前，運動負荷以有氧能量百分比( $\dot{V}O_{2max}$  %)做基準時。

(五)爲了心肺發達者或耐力訓練設計運動訓練內容。

$\dot{V}O_{2max}$  替代測量法以受試者運動與否，可分爲非最大強度運動測量法，以及利用身體參數估算兩類。非最大強度運動測量的方法種類繁多，現今多使用的 1.5 英哩跑走，Cooper 800/1,600 公尺跑走，Cooper 3 分鐘登階測驗，以及 Cooper 12 分鐘跑走；利用身體參數估算方法，受試者不需運動，分別可利用年齡、安靜心跳率、身體質量指數(BMI)、皮脂夾法體脂肪百分比、腰圍長等身體參數估算。

表二顯示  $\dot{V}O_{2max}$  替代測量法相關研究結果。孫美蓮 (2006) 的研究指出 30 名平均年齡  $20.37 \pm 1.79$  歲男性大學生的 1,600 公尺跑走、12 分鐘跑走及 3 分鐘登階測驗三種  $\dot{V}O_{2max}$  估測，分別與跑步機  $\dot{V}O_{2max}$  實測之相關係數爲 -0.776、0.748 與 0.363。McNaughton, Hall, and Cooley(1998) 對 32 名年輕男性 (平均年齡  $20.14 \pm 0.34$  歲) 測驗 1.5 英哩跑走與 Cooper 12 分鐘跑走估計之  $\dot{V}O_{2max}$ ，與  $\dot{V}O_{2max}$  實測之相關係數分別爲 0.87 與 0.87。林建得等 (2002) 對於 111 名男性做許多身體特徵測量與腳踏車  $\dot{V}O_{2max}$  直接測量，發現各特徵與  $\dot{V}O_{2max}$  的相關係數分別爲年齡 -.65，安靜心跳率-.29，身體質量指數(BMI)-.52，皮脂夾法體脂肪百分比-.71，皆達顯著相關。Larry et al.(2006)發現 2,417 名男性與 384 名女性的腰圍長、皮脂夾法體脂肪百分比以及 BMI，與實測  $\dot{V}O_{2max}$  之相關係數分別爲 -0.392、-0.654 與 -0.392，亦達顯著。就預測能力來說，非最大強度運動之  $\dot{V}O_{2max}$  間接測量法較爲準確；但是就測量簡便性來說，則以不需運動之身體參數測量法爲優，測驗者可依其身體狀況及設備環境做取捨。

表二 兩類間接測量 $\dot{V}O_{2max}$ 方法之比較

	文獻作者	實驗對象	與實測 $\dot{V}O_{2max}$ 之 相關係數
非最大強度運動測量			
1.5英哩跑走	McNaughton et al.(1998)	32名年輕男性	-0.871
Cooper 3分鐘登階測驗	孫美蓮 (2006)	30名男性大學生	-0.363
Cooper 800/1,600公尺跑走	孫美蓮 (2006)	30名男性大學生	-0.776
Cooper 12分鐘跑走	孫美蓮 (2006)	30名男性大學生	-0.748
	McNaughton et al.(1998)	32名年輕男性	-0.871
非運動身體參數測量			
BMI	林建得等 (2002)	111名健康男性	-0.521
	Larry et al.(2006)	2,417名男性與384名女性	-0.392
皮脂夾法體脂肪百分比	林建得等 (2002)	111名健康男性	-0.711
	Larry et al.(2006)	2,417名男性與384名女性	-0.654
安靜心跳率	林建得等 (2002)	111名健康男性	-0.291
年齡	林建得等 (2002)	111名健康男性	-0.651
腰圍長	Larry et al.(2006)	2,417名男性與384名女性	-0.392

### 肆、生物電阻分析儀的原理

生物電阻分析法根據人體的電氣特性，在人體體表通入一電流，再以 BIA 分析儀測得的人體電阻，經由一些預測公式求得人體各組成的比例。BIA 首見於 1959 年 Nyboer 的研究，當時他預估的是血流量。到了 1990 年代，生物電阻分析儀已經可在市場上買到，因為設備輕便且安全，步驟簡單且可採用非侵入方式(non-invasive) 測量，以及結果獲得快速且有重複性，使得生物電阻分析法在臨床上的使用有越來越增加的趨勢(Ursula et al., 2004)。

生物電阻分析的測量方法主要有單頻 BIA 法(SF-BIA)、多頻 BIA 法(MF-BIA)、生物電阻光譜分析法(BIS)、分部 BIA 法(segmental-BIA)、局部 BIA 法(localized-BIA)與向量 BIA 法(vector-BIA) (李佳怡、何維華、李超群，2004)。以單頻 BIA 法為例，它通常以 50kHz 的頻率，使用兩組電極，一組貼在手腕與手背上，另一組貼在腳踝與腳背上，通電流測量電阻值，另外有些儀器採用不同的位置，例如腳—腳或手—手。測得的電阻值，經由儀器商設計的公式計算，可得出各身體組成的數值。MF-BIA 法與 BIS 法與 SF-BIA 相似，但 MF-BIA 的頻率由 0 至 500kHz(0, 1, 5, 50, 100, 200 to 500 kHz)，而 BIS 的頻率由 0 至 $\infty$ ，範圍更大。Segmental-BIA 法在幾個部位多加電極片，如尖峰、髌骨棘、手臂近側或者大腿上部等，再測量各節段的電阻。Localized-BIA 法只在局部的人體部位貼電極，只測量電極間的局部電阻。Vector-BIA 法根據測出的電阻，做出向量，與參考值做比較，以判定受試者的組織電阻是否正常(Ursula et al., 2004)。

目前的 BIA 法通常將人體劃分成四份，根據 Ursula et al.(2004)之整理，略述於下：

#### 一、去脂重(FFM)

FFM 係指人體一切非脂肪組織的物質，亦稱為瘦體重(lean body mass)，可再分成四份，即內臟的蛋白質、細胞內液(ICW)、細胞外液(ECW)與骨頭的礦物質。內臟的蛋白質與細胞內液合起來稱為身體細胞質量(BCM)，而細胞內液與細胞外液合起來稱為身體總水量(TBW)。

#### 二、脂肪重(FM)

理論上脂肪組織含水甚少，電阻很大，對於 BIA 使用的電流（約 800 $\mu$ A）來說，它算是絕緣體，電流幾乎不會通過脂肪組織，所以測得的電阻值並不含脂肪組織的電阻。因此，脂肪組織理論上無法以電阻值預估，但去脂體重卻可以。根據人體四劃分法，總體重減掉去脂重，即為脂肪重。但因為 BIA 估測脂肪並不完全準確（李佳怡等，2004），許多研究者仍然對 FM 提出不同的預測公式。

#### 三、身體總水量

TBW 是細胞外液)與細胞內液的總合，ECW 主要為淋巴液、細胞間液與血漿，ICW 是所有細胞內的液體。一般成人 TBW 佔體重的比率如表三：

表三 一般成人TBW佔體重之比率

個別差異性		TBW比率
一般健康者	男性	50-60%
	女性	55-65%
非一般健康者	肌肉發達者	70-80%
	肥胖患者	45-50%

資料來源：Dorhofer & Pirlich (2003)

TBW 佔 FFM 的平均比率依年齡不同而有差異，初生兒約 80%，10 歲孩童約 75%(Heltmann, 1994)，健康成人約 73%。TBW 的分布，一般來說 ECW 佔 43%，ICW 佔 57%。爲了檢測受試者有無水腫症狀，有必要將 ECW/ICW 列入考慮參數，若 ECW/ICW 的值上升，代表受試者可能有積水症狀。

#### 四、身體細胞質量

BCM 意指人體內富含蛋白質且能量代謝活性強的細胞，主要爲內臟及肌肉組織。由於脂肪代謝活動低，脂肪組織不屬於 BCM。BCM 包含以下類型的組織：骨骼肌、心肌、平滑肌、內臟、腸胃道、血液、腺體及神經系統。因爲代謝活動由 BCM 的細胞運作，BCM 常用於評估病人的營養狀態，也是評估人體能量消耗與熱量需求的重要參數。BCM 細胞的代謝有合成與分解作用，合成作用可維持細胞結構與合成新的細胞，因此 BCM 常用於評估病患細胞壞死的狀況 (Kotler, Tierney, Wang, & Pierson, 1989)。遺傳、年齡與生理狀況皆會影響個人 BCM 的比例。研究發現運動會增加 BCM 在 FFM 中的比率，運動競賽選手的比率可達 60%FFM。尚未發育的兒童 BCM 較低，略低於 50%FFM，成年人的 BCM 高於 50%FFM，老年人若不運動，BCM 將會低於 50%FFM。

#### 伍、生物電阻儀預測最大耗氧量

爲了降低測驗危險性與器材簡便考量，許多研究者提出從次最大運動強度中估測  $\dot{V}O_{2max}$ ，而最近有些研究建議採用建立在非運動參數上的  $\dot{V}O_{2max}$  間接測量法，會更爲經濟。

靜態的身體參數，很容易使人聯想到身體組成，因此方便的 BIA 法自然會派得上用場。林建得等 (2002) 指出以 BIA 法測出的人體脂肪百分率與最大耗氧量已達顯著相關( $r = -.58$ )，但其預測能力似乎並不足夠。

倘若再以 BIA 可預估的身體參數，與影響  $\dot{V}O_{2max}$  的因素連結探討，從傳送氧氣方面來看，血液量與血紅素濃度扮演非常重要的角色。Warburton, Gledhill, and Quinney(2000)整理的文獻指出，血液量的差異顯著影響非耐力運動員的  $\dot{V}O_{2max}$ ，對於耐力運動員則沒有影響的跡象，但仍然有兩篇研究顯示血液量增加會增進  $\dot{V}O_{2max}$ 。

或許以血液量去估計  $\dot{V}O_{2max}$  不是非常準確，那麼再考慮肌肉量看看，理論上，一個人肌肉較多，運動時可參與的肌肉也多，而肌肉正是運動消耗氧氣產生能量的地方，那麼有可能肌肉含量較多，則耗氧量較大。

2006 年 Alexander 等參考前人以身高<sup>2</sup>/電阻值(電阻指數, impedance index)估測人體總肌肉質量的高準確性(Janssen, Heymsfield, Baumgartner, & Ross, 2000), 加上自己實驗室發現電阻指數與血液量有高度相關( $r = 0.89$ ), 大膽地假設電阻指數可能可以預測  $\dot{V}O_{2max}$ 。他們對平均年齡 23-25 歲的 33 名男性與 33 名女性, 分別以 BIA 分析儀測量電阻值, 填寫身體活動自我量表 (PAR-Q), 以及跑步機最大運動強度測量  $\dot{V}O_{2max}$  做分析比較, 結果顯示  $\dot{V}O_{2max}$  與電阻指數的相關係數為 0.914, 並與 PAR-Q 及性別(gender)總結出  $\dot{V}O_{2max}$  的預測公式:  $\dot{V}O_{2max}(ml\ min^{-1}) = 14.29 \times H^2/Z + 104.14 \times PAR-Q - 440.79 \times gender + 489.47$ , 其中 H 是身高, 單位為公分; Z 為電阻值, 單位是歐姆( $\Omega$ ); gender 是性別, 男性為 1, 女性為 0, 此研究首次證明了以 BIA 測得之電阻指數與  $\dot{V}O_{2max}$  有高度相關( $r = 0.914$ ;  $p < 0.001$ )。

生物電阻不僅可預測一般人的有氧運動能力, 對於患有疾病的人也有相當的預估能力。Kobayashi et al.(2000)將 50 名慢性肺病患者分別做 BIA 去脂重測量及一些肺部功能檢定, 與腳踏車最大  $\dot{V}O_{2max}$  測驗做分析, 結果發現 FFM 預估  $\dot{V}O_{2max}$  能力相當高, MaMoto et al.(2003)以 BIA 人體水份分部預測慢性肺病患者的最高耗氧量也有相似的預估能力。

雖然生物電阻預測  $\dot{V}O_{2max}$  有效的族群範圍尚未確定, 但其測量方便, 設備符合經濟, 測驗流程簡便, 對於估測  $\dot{V}O_{2max}$  實為一項符合現代需求的發現。

## 陸、結語

綜合上述研究可以發現利用生物電阻分析法估算最大耗氧量, 很接近利用呼吸氣體分析法所測的  $\dot{V}O_{2max}$ 。其他非氣體分析估算  $\dot{V}O_{2max}$  方法, 也具有快速簡便的優點, 但是預估能力與呼吸氣體分析法尚有段差距。因此, 利用生物電阻分析法估算最大耗氧量兼有省時省事與預測能力較高的優點, 實為一值得重視的發現。未來若能更進一步增加生物電阻分析測量的準確度, 則可提供預估最大耗氧量一個簡便並更適用於大規模族群的測量方法。

## 參考文獻

- 李佳怡、何維華、李超群 (2004)。磁振造影法探討生物電阻儀測量體脂肪的準確性研究。大專體育學刊, 6卷3期, 189-197頁。
- 林正常 (1986)。運動科學與訓練。台北縣: 銀禾文化事業有限公司。
- 林正常 (1989)。運動生理學實驗指引。台北市: 師大書苑。
- 林正常 (1997)。運動生理學。台北市: 師大書苑。
- 林建得、陳坤檸、劉勇君、林瑞興、陳德宗、丁春枝 (2002)。評估最大攝氧量模式研究。大專體育學刊, 4卷2期, 197-206頁。
- 孫美蓮 (2006)。不同評估心肺適能方法的強度關係。大專體育學刊, 8卷1期, 229-238頁。
- 賴金鑫 (1983)。運動醫學講座。台北市: 健康世界雜誌社。
- Alexander, S., Elmarie, T., Sven, G., & Gunther, S. (2006). Estimation of maximal oxygen uptake by bioelectrical

- impedance analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 265-273.
- Dorhofer, R., & Pirlich, M. (2003). *The BIA compendium* (2nd ed.). Data Input GmbH. Retrieved December, 2003, from <http://www.data-input.com.au/files/bia.pdf>
- Heltmann, B. (1994). Impedance: A valid method in assessment of body composition? *European Journal of Clinical Nutrition*, 48, 228-240.
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (2000). Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *Journal of Applied Physiology*, 89, 465-474.
- Kobayashi, A., Yoneda, T., Yoshikawa, M., Ikuno, M., Takenaka, H., Fukuoka, A., Narita, N., & Nezu, K. (2000). The relation of fat-free mass to maximum exercise performance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Lung*, 178(2), 119-127.
- Kotler, D., Tierney, A., Wang, J., & Pierson, R. J. (1989). Magnitude of body-cell-mass depletion and the timing of death from wasting in AIDS. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 50, 444-447.
- Larry, T. W., Andrew, S. J., Greta, W. A., & Brian, A. (2006). Nonexercise models for estimating  $VO_{2max}$  with waist girth, percent fat, or BMI. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 555-561.
- MaMoto, T., Fujiwara, H., Toyoma, Y., Hirata, K., Yoshikawa, J., & Fujimoto, S. (2003). Relationship between exercise performance and water distribution measured by new bioelectrical impedance analysis in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 23(4), 230-235.
- McConnell, T. R. (1988). Practical considerations in the testing of  $VO_{2max}$  in runners. *Sports Medicine*, 5, 57-68.
- McNaughton, L., Hall, P., & Cooley, D. (1998). Validation of several methods of estimating maximal oxygen uptake in young men. *Perceptual and Motor Skills*, 87(2), 575-584.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2002). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Robert, A. R., & Steven, J. K. (2003). *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Ursula, G. K., Ingvar, B., Antonio, D. D., Paul, D., Marinos, E., & Jose, M. G. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part 1: Review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23, 1226-1243.
- Warburton, D. E., Gledhill, N., & Quinney, H. A. (2000). Blood volume, aerobic power, and endurance performance: Potential ergogenic effect of volume loading. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10, 59-66.