

生物阻抗分析於內科學之應用

鍾承穎¹ 洪啓智¹ 黃尚志^{1,2} 陳鴻鈞^{1,2}

¹高雄醫學大學附設中和紀念醫院 腎臟內科

²高雄醫學大學醫學院 腎臟照護學系

摘要

掌握病患體液和營養狀態的變化對於許多疾病的治療及預後評估是很重要的。在各種人體組成分析方法中，生物阻抗分析具有簡便、快速、非侵入性及準確的優點。生物阻抗分析依功能可分為單頻及多頻率分析法，依檢查部位可分為全身性及區段性，並依校正公式而間接估算出身體組成比例。另外也可以生物阻抗向量分析法來追蹤身體組成的變化。隨著生物阻抗分析方法的精進，生物阻抗分析已廣泛地應用在營養學、運動醫學與內科學。本文回顧近年文獻關於生物阻抗分析之原理及應用於內科學的現況。

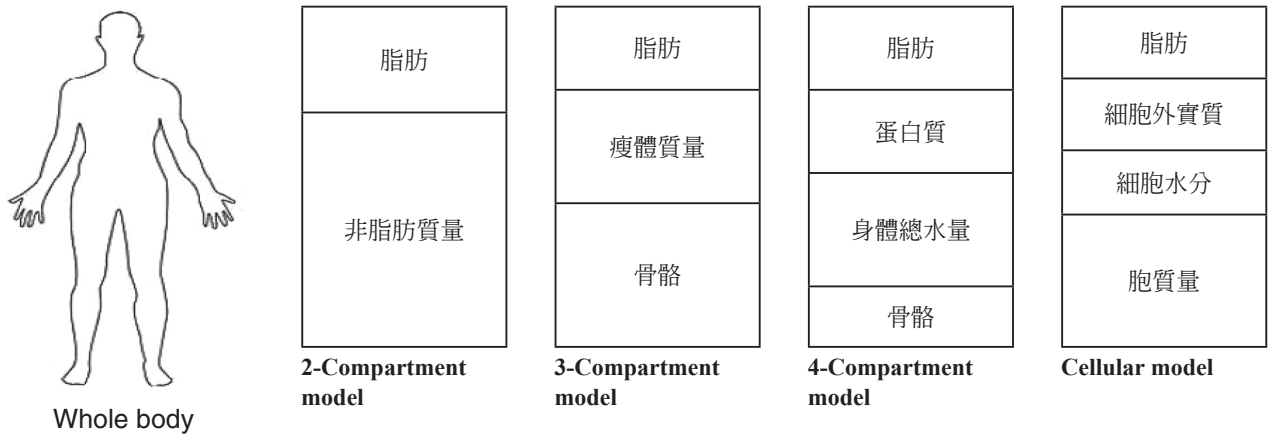
關鍵詞：人體組成 (Body composition)
 生物阻抗分析 (Bioimpedance analysis)
 體液狀態 (Fluid status)
 透析 (Dialysis)
 慢性腎臟病 (Chronic kidney disease)
 充血性心衰竭 (Congestive heart failure)

前言

了解人體組成 (body composition) 對臨床上疾病治療及預後評估是很重要的。舉例來說，一般對於肥胖的評估會以身體質量指數 (body mass index, 以下簡稱BMI) 為基準。身體質量指數為體重 (Kg) 除以身高的平方 (m^2)，根據衛生署定義，BMI 小於 18.5 為過瘦，BMI 介於 24 至 26.9 為過重，若 BMI ≥ 35 則為過度肥胖。但針對某些特殊族群如運動員，其肌肉組織所占比例較大，若以 BMI 來判定運動員是否肥胖則較失真。同理，一位全身水腫的病患，因身體

體液量過多而造成體重增加，若以 BMI 來評斷病患的營養狀況則會有高估的情形。臨床上，病患體內脂肪及蛋白質比例的變化和營養狀態息息相關。體重或 BMI 較難反應出人體組成的變化也因此較難評估營養狀態的變化。因此本文提出以簡便快速的方法—生物阻抗分析，來檢測人體組成，並回顧近年文獻關於生物阻抗分析之原理及應用於內科學的現況。

人體組成依據組合元素的不同可分為五種層級 (圖一)。最簡單的是以脂肪做為區分，可分為脂肪質量 (fat mass, 以下簡稱FM) 及非脂肪質量 (fat free mass, 以下簡稱FFM)，是為



圖一：人體組成示意圖。

2-compartment model。若以組織做區分，可分為脂肪、水分、骨骼及蛋白質，是為4-compartment model。若以細胞層級做為區分，更可再細分為脂肪、細胞外實質(extracellular solid)、細胞外水分(extracellular water，以下簡稱ECW)及細胞質量(cell mass)。細胞質量和營養代謝狀態有密切關係，ECW則和體液分布有關。臨床人體組成

的測定方法眾多，各種方法的優劣比較整理如表一。以脂肪的測定為例，最簡單的方法是量測皮層厚度(skinfold thickness)，但缺點是精確度差，目前標準的方法是利用雙能量X光吸收測量儀(dual-energy x-ray absorptiometry，以下簡稱DEXA)來檢測身體脂肪的比率，但DEXA的檢測費用高且執行操作者需特定技術，對病患的便

表一：比較測量人體組成之方法

測量方法	可偵測的人體組成	價錢	操作簡便度	準確性	放射線	侷限性
皮層厚度 (Skin fold Thickness)	脂肪	便宜	簡單	低	-	+
水中秤重法 (Underwater Weighting)	脂肪， 非脂肪質量	昂貴	適中	高	-	-
雙能量X光吸收測量儀 (Dual-Energy X-ray Absorptiometry)	脂肪， 瘦體質量及骨骼	昂貴	適中	高	+	++
空氣容積計量儀 (Air-Displacement Plethysmography)	脂肪，非脂肪質量	非常昂貴	適中	高	-	-
同位素法 (Isotope Dilution)	身體總水量	昂貴	適中	高	-	-
放射性鉀追蹤 Radioactive Potassium Tracer (⁴² K)	細胞內水分	非常昂貴	適中	高	-	-
生物阻抗分析 (Bioimpedance Analysis)	脂肪，瘦體質量， 身體總水量及骨骼	便宜	簡單	高	-	+/-
核磁共振攝影 (Magnetic Resonance Imaging)	皮下脂肪組織， 內臟脂肪組織	非常昂貴	困難	高	-	++
電腦斷層掃描 (Computed Tomography)	脂肪組織，肌肉組織， 內臟及骨骼	非常昂貴	困難	高	+++	++
中子活化分析法 (Neutron Activation Analysis)	身體總含鈣量 身體總含氮量	非常昂貴	困難	高	++++	-

利性即降低很多。相對上最近發展的生物阻抗分析技術於脂肪的測定，準確度高且操作簡便，對於人體組成分析不但速度快且方便。

根據歷史文獻，早於西元 1871 年已有學者利用人體組織來研究在不同頻率下電阻的差異性¹。生物阻抗分析的基礎原理直到 1970 年才開始成熟，接著發展各種商業化單一頻率生物阻抗分析儀 (single frequency bioimpedance analysis) 來測量人體組成，並於 1992 年發展出多頻率生物阻抗分析儀 (multi-frequency bioimpedance analysis)，對於 ECW 及細胞內水分 (intracellular water，以下簡稱 ICW) 更能進一步區分。

生物阻抗分析優於其他檢測方法的原因在於便宜、安全，非侵入性及操作簡單。早期利用生物阻抗分析來測量人體組成是應用在運動員體適能評估、減重及營養學。近期生物阻抗分析則著重於體液狀態監測，利用生物阻抗分析來測量體內水分的多寡及變化可作為疾病治療的指標，如心衰竭治療、透析患者理想乾體重、營養狀態及預後評估。

生物阻抗分析的原理

對於均勻的圓柱型導體，其阻抗 (Impedance, Z) 與導體的長度 (L) 成正比，但與導體的截面積 (A) 成反比 (圖二)。導體的體積 (V) 可由測得的阻抗算出 (公式 1)。

$$\begin{aligned}
 Z &= \rho \times L/A \\
 Z &= \rho \times (L \times L)/(A \times L) \\
 Z &= \rho \times L^2/V \\
 V &= \rho \times L^2/Z \tag{1}
 \end{aligned}$$

(ρ ：導體的電阻率)

想像人體是一等向圓柱形導體 (isotropic cylindrical conductor)，身高 (H) 就同等於導體的長度 (參考公式 1)。因此人體的體積 (Volume) 會正比於電阻指數 (resistance index= H^2/Z)。

阻抗 (Z) 可以分成兩個部分：

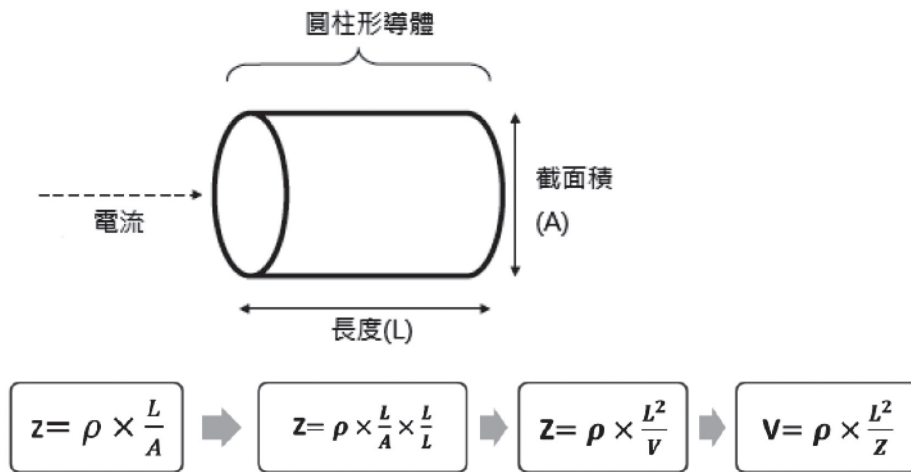
電阻 (Resistance, R) (單位為歐姆 Ohm)

電抗 (Reactance, X) (單位為歐姆 Ohm)

電阻和電抗不能直接相加變成阻抗，他們必須以「電抗」與「電阻」垂直的向量相加，所以 $Z^2 = X^2 + R^2$ 。

單一生物細胞的電流迴路可以 Fricke's circuit 來表示 (圖三)²。ICW 的電阻 (R_{ICW}) 與 ECW 的電阻 (R_{ECW}) 彼此是以平行的方式相連接，並以細胞膜為電容抗作為分隔。

各種身體組成在電流通過時，導電性有很大的差異。人體的肌肉和體液富含電解質溶液，因而具有良好的導電性。但脂肪組織和骨骼卻是電流的不良導體。利用各種組織生物電阻的差異性，可用於身體組成的測定，原理如圖四所示。當通過細胞的電流頻率為 0 時，此電流並不能穿透細胞膜，僅能穿透 ECW，此時測



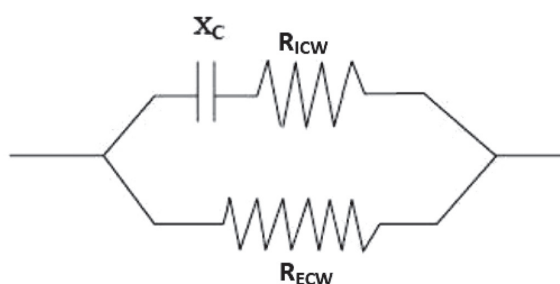
圖二：生物阻抗測定人體組成之原理。當電流通過圓柱形導體時，其產生的阻抗和導體的長度成正比，和導體的截面積成反比。因此可利用測得的阻抗值來反推圓柱形導體的體積。(Z：阻抗， ρ ：導體的電阻率，L：長度，A：截面積，V：體積)。

得的電阻 R_0 可代表 ECW 的電阻。當通過細胞的電流頻率為無限大時，電流可穿透細胞膜、ECW 及 ICW，此時測得的電阻 R_∞ 可代表 ECW 和 ICW 的電阻^{3,4}。因此體液量和電阻的關係可表示為：

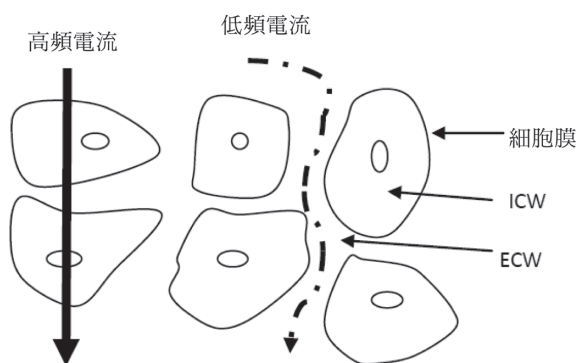
身體總水量 (total body water)，以下簡稱 TBW) $\propto 1/R_\infty$

$$ECW \propto 1/R_0$$

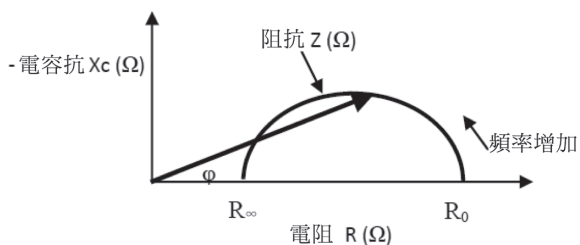
當電流頻率改變時導體的阻抗也會隨之改變，它們之間的關係可以 Cole-Cole plot 來表示 (圖五)⁵。電抗與電阻之間的關係是很有趣的，



圖三：Fricke's circuit. 細胞內水分的電阻 (R_{ICW}) 與細胞外水分的電阻 (R_{ECW}) 彼此是以平行的方式相連接，並以細胞膜為電容抗 (X_c) 作為分隔。



圖四：高頻與低頻電流通過細胞路徑示意圖。當低頻電流通過細胞時，僅能通過 ECW，但若電流頻率提高時，則可穿透細胞膜、ECW 與 ICW。



圖五：Cole-Cole plot. 阻抗與頻率的關係圖。 R_0 ：頻率為 0 時的電阻， R_∞ ：頻率為 ∞ 時的電阻，相角 $\phi = \text{arc-tangent reactance/resistance} \times 180^\circ/\pi$ 。

因為當人體因某些疾病 (如心衰竭、腎衰竭或是肝硬化) 而影響營養狀態或是水分含量時，它們之間的關係會改變。相角 (phase angle) 是其中一種用來描述電抗與電阻之間關係的參數 (圖五)，在目前已有學者利用相角來做為疾病預後的指標。Piccoli 更進一步的將電阻及電抗以身高做校正後，繪製成 R-Xc graph，為生物阻抗向量分析法 (Bioelectric impedance vector analysis)⁶。

生物阻抗分析的方法

生物阻抗分析可依測定部位的不同分為全身性 (whole-body) 或區段性 (segmental)。全身性生物阻抗分析是利用兩組電極，一組貼在手腕與手背上，另一組貼在腳踝與腳背上，通電流來測量電阻值 (圖六)。區段性生物阻抗分析則是在各軀幹多加電極片，如胸部、腹部、手臂近側或者大腿上部等，再測量各節段的電阻。

一、單一頻率生物阻抗分析法

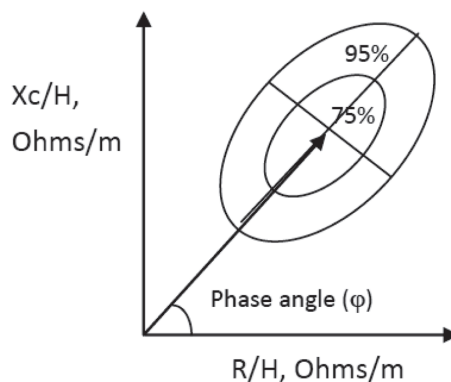
單一頻率生物阻抗分析法通常以 50kHz 的頻率，來測定阻抗 (Z_{50}) 或電阻 (R_{50})。所測得的 TBW 和電阻指數 (H^2/R_{50} 或 H^2/Z_{50}) 呈線性關係，以下列出幾位學者所提出線性關係的公式：

Kushner 等人提出公式 2，針對男性及女性⁷

$$V_{TBW} = 0.5561 \frac{H^2}{R_{50}} + 0.0955W + 1.726 \quad (2)$$

Hannan 等人提出公式 3，針對男性及女性⁸

$$V_{TBW} = 0.446 \frac{H^2}{R_{50}} + 0.126W + 5.82 \quad (3)$$



圖六：R-Xc point graph。利用 X_c/H 及 R/H 可繪製出 75% 和 95% tolerance ellipse。R：電阻， X_c ：電抗，H：身高。

其中相關的參數則是與重水同位素法 (deuterium dilution measurements) 相比較而得。因為50kHz的頻率並不能完全穿透細胞膜與ICW，因此單一頻率生物阻抗分析法並不能測量ICW。至於在FFM測量方面，在健康受試者其FFM約含有72.9%的水分，因此FFM也和TBW一樣與電阻指數呈線性關係。

Kyle等人提出公式⁴

$$FFM = -4.104 + 0.518 \frac{H^2}{R} + 0.13X + 0.231W + 4.23sex \quad (4)$$

with sex = 1 in men and 0 in women

接著再以體重減去FFM即可得到FM。

二、多頻率生物阻抗分析法

多頻率生物阻抗分析法是使用不同的頻率 (0, 1, 5, 50, 100, 200~500 kHz) 來測量阻抗並估算FFM、TBW、ICW及ECW。根據Patel等人研究，多頻率生物阻抗分析法對於ECW的預測比單一頻率生物阻抗分析法更準確¹⁰。

三、生物阻抗光譜分析法 (Bioimpedance spectroscopy)

生物阻抗光譜分析法也是屬於多頻率生物阻抗分析，兩者的差別在於生物阻抗光譜分析法的頻率更廣，可由5kHz至1000kHz，在數據分析方面是以Cole-Cole plot和Hanai formula作為基礎原理，同樣可估算FFM、TBW、ICW及ECW。

四、生物阻抗向量分析法

Piccoli於1994年提出以R-Xc graph作為偵測體液變化的新方法⁶。生物阻抗向量分析法是在800μA和50kHz的交流電下測定電阻及電抗，再分別除以受試者的身高可得到R/H(Ohm/m)和Xc/H(Ohm/m)。假設R/H和Xc/H二變數是以二變量常態分配 (bivariate normal distribution)，我們可計算各種不同族群平均阻抗向量 (impedance vector) 的95%信賴區間，在R-Xc平面圖上所繪出的95%信賴區間則呈橢圓形，此為R-Xc point graph (圖六)。R-Xc graph

的呈現還可分為R-Xc mean graph及R-Xc path graph。R-Xc mean graph是在同一個R-Xc graph上同時繪製不同族群的阻抗向量，優點是可同時比較不同族群的向量大小及相角。R-Xc path graph則是在同一個R-Xc graph上繪出同一位受試者在不同治療期間所測得的阻抗向量，由向量位置的變化可看出治療對病患的影響。

生物阻抗分析於內科學的應用

一、體液狀態之評估

在臨床醫療常會遇到體液狀態失衡的情形，不論是體液量過多或過少都有可能造成生命的威脅，尤其是在老年病患表現更為明顯。體液狀態的評估方法很多，由最簡單的理學檢查至血液及尿液的檢驗都有，但是這些方法可能準確性不夠或是需要較久的檢驗時間或是較為侵入性。生物阻抗分析提供了快速、非侵入性及簡便的檢查，對臨床治療效果的評估更為方便。

(一) 生物阻抗分析於血液透析患者的應用

在血液透析患者，週期性的體液變化 (cyclic body fluid change) 常由透析間期體重增加 (interdialytic weight gain) 來決定。但在評估透析患者乾體重時常會發生低血壓導致頭暈、抽筋及疲倦等不適的症狀。生物阻抗分析因其便捷的特性在透析患者體液評估方面應用很廣。全身性及區段性的生物阻抗分析可用來評估ECW、ICW及TBW。最近的研究藉由量測ECW/ICW、ECW/TBW或ECW/BW的比值來預測乾體重¹¹⁻¹⁵。但很不幸的，藉由目前生物阻抗分析在健康受試者所測得ECW的標準誤差為1L，ICW為1.5L，因此限制了臨床上對於乾體重評估的應用性¹⁵。隨著新模式的校正公式出現，生物阻抗分析的準確性也隨之提升¹⁶。Levin等人提出利用下肢區段性生物阻抗分析來連續監測血液透析病患的體液狀態¹⁷。當乾體重快到達時，ECW減少的速度變慢，電阻值也會慢慢上升而趨於正常。2007年Zhu等人提出關於下肢區段性生物阻抗分析的縱貫性研究，發現由此方法所測出的乾體重比臨床上的乾體重低，且到達乾體重時的血壓也相對偏低，此篇

研究提出使用下肢區段性生物阻抗分析來監測透析患者體液狀態時要小心避免發生ECW過度減少的情形¹⁸。

(二) 生物阻抗分析於腹膜透析患者的應用

腹膜透析患者比血液透析患者更容易有體內水分過多的情形。腹膜透析患者水分移除速度慢，因此不適合使用下肢區段性生物阻抗分析來監測體內水分。替代的方法是利用腹部區段性生物阻抗分析來監測腹腔內水分¹⁹。Outflow failure常見於腹膜透析之患者。導管位置移位、導管扭曲、便秘或是網膜包覆為outflow failure常見的主因，但必須要仔細排除是否有dialysate leakage的可能。利用腹部區段式生物阻抗分析來量測腹腔內水分可用以鑑別分析outflow failure及dialysate leakage，並能減少不必要的影像學檢查。另外，連續性腹部區段式生物阻抗分析也可同時和腹膜功能試驗一起進行，有助於診斷因快速吸收而導致的ultrafiltration failure²⁰。

(三) 生物阻抗分析於急性心衰竭患者的應用

B型排鈉利尿肽(B-type natriuretic peptide, 以下簡稱BNP)常用於鑑別診斷是否為急性心衰竭而引起的喘，也常當作心衰竭治療的指標。在短暫的治療後，BNP濃度會快速地降低且BNP降低的程度和體液減少的程度呈正比²¹。但由於準確評估體液狀態的困難度高，臨床上訂定理想體液減少量仍有一定的難度²²。在治療過程中可能因過度使用利尿劑而造成急性腎衰竭。根據Metra分析318位因急性心衰竭而入院的病人，34%的病患在住院過程中發生急性腎衰竭，而心衰竭的嚴重度和每日利尿劑的劑量是急性腎衰竭的重要預測因子²³。Logeart也提出住院中發生急性腎衰竭為急性心衰竭病患死亡及再入院的危險因子²⁴。為了更能有效地減少併發症，Roberto等人於2011年提出同時以BNP及生物阻抗向量分析法作為急性心衰竭治療的指標可提供更客觀的治療目標且減少急性腎衰竭的發生率²⁵。因此以生物阻抗向量值及BNP的變化來評估患者理想的體液狀態是未來治療心衰竭患者可考慮的新方法。

(四) 生物阻抗分析於慢性腎臟病患者的應用

在最近10年中，生物阻抗分析已廣泛地被應用在接受透析的病患來評估體內水分的含量，但在慢性腎衰竭尚未接受透析的病患並未普遍使用。Jiang等人利用下肢區段性生物阻抗分析法來評估腎病症候群患者的體液狀態，並以同位素法(isotope dilution method)作為測量ECW的標準方法，結果發現測得的阻抗值和由同位素法所測出的ECW呈負相關，也就是說當ECW經治療而減少時，阻抗值會慢慢回升²⁶。因此針對腎病症候群的病人可利用生物阻抗分析法評估治療期間體液量的變化。Caravaca等人以生物阻抗光譜分析法分析175位重度慢性腎臟病病患體內水分含量及死亡率，發現相角和ECW成負相關且相角越低者死亡率越高²⁷。由此可知，相角和體液量的變化是有相關性的。

(五) 生物阻抗分析於肝硬化患者的應用

肝硬化病患也常面臨體液及營養失衡的問題。Guglielmi等人以生物阻抗向量分析305位肝硬化病患，臨床上水腫的病患其向量皆落在R-Xc graph 50%橢圓信賴區間外，且病患向量的變化和肝衰竭及體液失衡的程度有相關性²⁸。Selberg等人提出相角越低(<5.4°)的肝硬化患者其存活率也越低²⁹。

二、營養狀態之評估

營養不良(malnutrition)常發生在老年人、慢性病患者及癌症病患。老年族群的肥胖盛行率於近年來有逐漸升高之趨勢，隨著年紀的增加會造成身體瘦體質量(lean body mass)的減少及FM的增加，肌力也會隨之下降，此現象稱為老年人的肌萎性肥胖(sarcopenic obesity)³⁰。Baumgartner等人提出肌萎性肥胖會造成老年人身體失能及增加死亡率³¹。針對癌症病患的研究發現，FFM的減少會增加病人的死亡率、住院日數、感染率及化療毒性³²。Schols等人也提出FFM和慢性阻塞性肺病患者的死亡率有關³³。

營養狀態和透析患者、慢性腎臟病患者及心衰竭患者的預後有強烈相關。在重度腎衰竭須接受透析治療的患者中，約20%-75%的患者

有營養不良的情形，稱為蛋白質熱量營養耗損症候群 (protein-energy wasting syndrome)^{34,35}。蛋白質熱量營養耗損症候群的特色如下：(1) 低血清蛋白、低血清前白蛋白及低膽固醇濃度 (2) 因減少蛋白質及能量的攝取而造成身體質量或脂肪的減少 (3) 減少肌肉組織 (4) 不正常的營養評估分數 (如 Subjective Global Assessment 或 malnutrition-inflammation score)，若符合三項以上即可診斷為蛋白質熱量營養耗損症候群³⁶。在長期透析的病人中，以身體脂肪的變化對病患的存活率影響最大³⁷；而在心衰竭的病人，具有較多肌肉質量及較少脂肪的病患其預後反而較好³⁸。

由以上文獻回顧可以發現 FM 和 FFM 的比例是決定病患營養狀態的重要因素。營養不良會增加住院天數及死亡率，同時也會增加社會醫療成本³⁹。臨床上快速地篩選出營養不良的病患並適時給予治療及追蹤是迫切需要的。DEXA 是測量脂肪含量的標準方法，但此儀器的普及性不高，同時也需要特別的操作技術，對於評估大量患者的營養狀態並不適用。Bross 等人以 DEXA 作為參考試驗，針對血液透析病患比較各種身體組成評估方法，以 Kushner 提出的生物阻抗分析法對於身體脂肪比例的測定和參考值最相近⁴⁰。生物阻抗分析具有操作簡便的優點，相對於 BMI 或體重更能顯示出 FM 與 FFM 的變化，對於臨床營養狀態之評估是快速且可信任的新方法。

結論

生物阻抗分析對於體液平衡與營養狀態的評估是簡單且有效率的方法，可依照病患的需求選擇全身性或區段性的生物阻抗分析法。生物阻抗分析的侷限性在於所使用的校正公式大多來自於健康成人的參考值，而內科病患的身體組成並不完全和正常人一樣，若使用一般的校正公式可能會產生誤差，因此在評論生物阻抗分析的結果前，應先確定使用的校正公式是來自於相同的族群。此外，若想避免因校正而產生的誤差，可考慮直接測量電阻及電抗值並以生物阻抗向量分析法或相角的表現方式來評

估和追蹤病患身體組成的變化。未來期待在生物阻抗分析的技術層面能夠更精進，也期待能發展屬於國人的生物阻抗分析標準值，對於國人身體組成之評估能夠更準確。

參考文獻

- Hermann L. Ueber eine. Wirking galvanischer Strome auf Muskeln and Nerven. Pflugers Arch gesamte Physiol 1871; 5: 209-16.
- Kyle UG, Bosaeus I, Antonio D, et al. Bioelectrical impedance analysis-Part I: review of principles and methods. Clin Nutr 2004; 23: 1226-43.
- A. De Lorenzo, A. Andreoli, J. Matthie, et al. J Appl Physiol 1997; 82: 1542-58.
- Kenneth J. Ellis. Human Body Composition: In Vivo Methods. Physiol Rev 2000; 80: 649-80.
- Cole KS. Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics. J Chem Phys 1941; 9: 341-51.
- Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciantie G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. Kidney Int 1994; 46: 534-39.
- Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. Am J Clin Nutr 1986; 44: 417-24.
- Hannan WJ, Cowen SJ, Fearon KC, et al. Evaluation of multifrequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. Clin Sci 1994; 86: 479-85.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, et al. Bioelectrical impedance analysis-Part II: utilization in clinical practice. Clin Nutr 2004; 23: 1430-53.
- Patel RV, Peterson EL, Silverman N, Zarowitz BJ. Estimation of total body and extracellular water in post-coronary artery bypass surgical patients using single and multiple frequency bioimpedance. Crit Care Med 1996; 24: 1824-8.
- Lopot F, Nejedly B, Novotna H, et al. Age-related extracellular to total body water volume ratio (ECV/TBW)-can it be used for "dry weight" determination in dialysis patients? Application of multifrequency bioimpedance measurement. Int J Artif Organs 2002; 25: 762-9.
- Chamney PW, Kramer M, Rode C, et al. A new technique for establishing dry weight in hemodialysis patients via whole body bioimpedance. Kidney Int 2002; 61: 2250-8.
- Katzarski K, Charra B, Laurent G, et al. Multifrequency bioimpedance in assessment of dry weight in hemodialysis. Nephrol Dial Transplant 1996; 11(Suppl 2):20-3.
- Dietel T, Filler G, Grenda R, et al. Bioimpedance and inferior vena cava diameter for assessment of dialysis dry weight. Pediatr Nephrol 2000; 14: 903-7.
- Chertow GM, Lowrie EG, Wilmore DW, et al. Nutritional assessment with bioelectrical impedance analysis in maintenance hemodialysis patients. J Am Soc Nephrol 1995; 6: 75-81.

16. Moissl UM, Wabel P, Chamney PW, et al. Body fluid volume determination via body composition spectroscopy in health and disease. *Physiol Meas* 2006; 27: 921-33.
17. Levin NW, Zhu F, Seibert E, et al. Use of segmental multifrequency bioimpedance spectroscopy in hemodialysis. *Contrib Nephrol* 2005; 149: 162-7.
18. Kotanko P, Levin NW, Zhu F. Current state of bioimpedance technologies in dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2008; 23: 808-12.
19. Zhu F, Wystrychowski G, Kitzler T, et al. Application of bioimpedance techniques to peritoneal dialysis. *Contrib Nephrol* 2006; 150: 119-28.
20. Zhu F, Hoenich NA, Kaysen G, et al. Measurement of intraperitoneal volume by segmental bioimpedance analysis during peritoneal dialysis. *Am J Kidney Dis* 2003; 42: 167-72.
21. Kazanegra R, Cheng V, Garcia A, et al. A rapid test for B-type natriuretic peptide correlates with falling wedge pressures in patients treated for decompensated heart failure: a pilot study. *J Card Fail* 2001; 7: 21-9.
22. Peacock WF, Soto KM. Current techniques of fluid status assessment. *Contrib Nephrol* 2010; 164: 128-42.
23. Metra M, Nodari S, Parrinello G, et al. Worsening renal function in patients hospitalized for acute heart failure: clinical implications and prognostic significance. *Eur J Heart Fail* 2008; 10: 188-95.
24. Logeart D, Tabet JY, Hittinger L, et al. Transient worsening of renal function during hospitalization for acute heart failure alters outcome. *Int J Cardiol* 2008; 127: 228-32.
25. Valle R, Aspromonte N, Milani L, et al. Optimizing fluid management in patients with acute decompensated heart failure (ADHF): the emerging role of combined measurement of body hydration status and brain natriuretic peptide (BNP) levels. *Heart Fail Rev* 2011; 16: 519-29.
26. Jiang F, Bo Y, Cui T, et al. Estimating the hydration status in nephrotic patients by leg electrical resistivity measuring method. *Nephrology* 2010; 15: 476-9.
27. F. Caravaca, C. Martinez del Viejo, J. Villa, et al. Hydration status assessment by multi-frequency bioimpedance in patients with advanced chronic kidney disease. *Nefrologia* 2011; 31: 537-44.
28. Guglielmi FW, Mastronuzzi T, Pietrini L, et al. The RXc graph in evaluating and monitoring fluid balance in patients with liver cirrhosis. *An NY Acad Sci* 1999; 873: 105-11.
29. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *Eur J Appl Physiol* 2002; 86: 509-16.
30. Stenholm S, Harris TB, Rantanen T, et al. Sarcopenic obesity: definition, cause and consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008; 11: 693-700.
31. Baumgartner R, Koehler K, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 1998; 147: 755-63.
32. Prado CM, Antoun S, Sawyer MB, et al. Two faces of drug therapy in cancer: drug-related lean tissue loss and its adverse consequences to survival and toxicity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2011; 14: 250-4.
33. Kyle UG, Janssens JP, Rochat T, et al. Body composition in patients with chronic hypercapnic respiratory failure. *Respir Med* 2006; 100: 244-52.
34. Fouque D, Kalantar-Zadeh K, Kopple J, et al. A proposed nomenclature and diagnostic criteria for protein-energy wasting in acute and chronic kidney disease. *Kidney Int* 2008; 73: 391-8.
35. Kovesdy CP, Kalantar-Zadeh K. Why is protein-energy wasting associated with mortality in chronic kidney disease? *Semin Nephrol* 2009; 29: 3-14.
36. Rambod M, Bross R, Zitterkoph J, et al. Association of malnutrition-inflammation score with quality of life and mortality in hemodialysis patients: a 5-year prospective cohort study. *Am J Kidney Dis* 2009; 53: 298-309.
37. Kalantar-Zadeh K, Kuwae N, Wu DY, et al. Associations of body fat and its changes over time with quality of life and prospective mortality in hemodialysis patients. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 202-10.
38. Oreopoulos A, Ezekowitz JA, McAlister FA, et al. Association between direct measures of body composition and prognostic factors in chronic heart failure. *Mayo Clin Proc* 2010; 85: 609-17.
39. Kyle UG, Pirlich M, Lochs H, et al. Increased length of hospital stay in underweight and overweight patients at hospital admission: a controlled population study. *Clin Nutr* 2005; 24: 133-42.
40. Bross R, Chandramohan G, Kovesdy CP, et al. Comparing body composition assessment tests in long-term hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis* 2010; 55: 885-96.

The Application of Bioimpedance Analysis in Internal Medicine

Cheng-Yin Chung¹, Chi-Chih Hung¹, Shang-Jyh Hwang^{1,2}, and Hung-Chun Chen^{1,2}

*¹Division of Nephrology, Department of Internal Medicine,
Kaohsiung Medical University Hospital;
²Faculty of Renal Care, College of Medicine,
Kaohsiung Medical University*

Understanding the dynamic change of fluid and nutrition status is very important for patient's therapeutic plan and outcome assessment. Bioimpedance analysis has advantages of inexpensive, easy, noninvasive and accuracy compared with other methods for body composition analysis. Bioimpedance analysis can be classified into single frequency and multi-frequency according to its function. It also can be classified into whole-body and segmental bioimpedance analysis according to its exam area. Bioimpedance analysis indirect estimates body composition from correlation equation. In addition, we also can utilize bioimpedance vector analysis to monitor the change of body composition. As progressive improves in bioimpedance analysis, it is widespread used in clinical nutrition, sports medicine and internal medicine. We introduce the basic principle of bioimpedance analysis and review studies about current applications in internal medicine. (J Intern Med Taiwan 2012; 23: 245-253)