

人體含水量評估應用於運動之探討

黃政一 蔡忠昌/國立彰化師範大學運動健康研究所

壹、前言

水是人體內含量最多的成分，運動時，因為須藉流汗排出過多的熱量以維持體溫，因此時常造成脫水的現象，而脫水或補充水分不當，皆會影響運動表現與生理功能。含水量評估(hydration assessment)能夠顯示身體含水比例的實際數據，可提供測量者或醫師做水分缺乏對應之處理，亦可利用來作飲用不同飲料的復水(re-hydration)情況的比較，實有值得研究的價值。本文旨在探討評估人體含水量對於運動的重要性，以及各種人體含水量測量法應用於運動的優劣比較與適用情況，以期作為運動從事人員之參考。

貳、人體內水分的定義

人體內的水，又稱為體液(body fluid)，並不以純水的方式存在，通常有物質溶於其內，溶質主要為 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等電解質(electrolytes)。水約佔體重的 45-75%，平均在 60%，以一個體重 60 公斤的成年人來說，其體內的水約有 36 公斤。不同個體含水量的差異，主要取決於脂肪含量與年齡，因為脂肪不含水，所以脂肪少的人含水比例相對較高。女性因為皮下脂肪較男性多，因此正常女性平均含水量比男性低。通常女性體內水分約佔體重之 55%，男性約 65%；含水比例又隨年齡的增加而漸減，故嬰兒單位體重的含水比例最高（許世昌，2000）。

體液可依其所在再分為兩部分，約有三分之二的水位於細胞內，稱為細胞內液(intra-cellular fluid, ICW)；其餘的三分之一則位於細胞外，是為細胞外液(extra-cellular fluid, ECW)，細胞外液包含約 5% 的血漿，與 15% 的組織間液(interstitial fluid)(Tortora & Grabowski, 1996)。血漿是血液中液體的成分；組織間液則存於細胞組織間，其化學成分類似淋巴液。細胞內的水份可作為溶劑，能幫助細胞內的化學反應；細胞外液的功能主要是維持體內環境的穩定，以適應細胞生存與物質傳送，可控制水分及電解質的流動，維持體內水分及電解質的平衡（許世昌，2000）。

參、運動時人體水分的變化

整體而言，運動時身體水分是處於流失狀態，流失的速率則決定於水分的得與失。得的方面有兩個來源，包括自飲水吸收以及代謝水(metabolic water)的生成。運動時飲水可以補充流失的水分，飲入後經胃腸吸收進入血液中，吸收速率視胃排空速率及腸吸收速率而定。胃排空速

率每分鐘約 20-40 cc，每小時約 1,200 -2,400 cc，小腸吸收速率則約 1,800-2,260 cc/小時(Gisolfi & Ryan, 1996)，值得注意的是飲料的成分會影響腸吸收速率（蔡忠昌，2005）。

代謝水則指的是細胞進行代謝，如肝醣分解為葡萄糖(glycogenolysis)、葡萄糖脂肪酸等能量分子分解產生能量(ATP)的同時，形成水分子(Robert & Steven, 2003)。能量代謝越多，產生代謝水的量越多，研究顯示，平均年齡 28 歲的馬拉松選手，以 68% $\dot{V}O_{2max}$ 強度於跑步機上跑 42 公里兩個多小時之後，能量代謝產生的水分約 402 克，而肌肉與肝臟中肝醣分解所釋放之水分子約 1,280 克(Pastene, Germain, Allevard, Gharib, & Lacour, 1996)，平均每小時產生約 800 克的代謝水。

失的方面主要為流汗，運動時，身體不斷代謝產生能量，同時也釋放熱能，導致體溫上升。為了維持體溫恆定，人體會自然地流汗，將熱量藉由汗液的蒸發排出體外。汗液中的水分主要來自於細胞外液，細胞外液的量將因流汗而減少。此時細胞內液由於被限制在細胞膜內，變動不大(Guyton & Hall, 2000)。

影響流汗速率的因素，主要為環境溫度與運動強度。研究顯示運動強度與流汗速率及環境溫度成正比。在熱環境下從事慢跑等輕度運動，排汗速率約每小時 0.5~1 公升；劇烈運動，如運動員在運動比賽時，排汗速率約每小時 1~3 公升(Sawka & Montain, 2000)。另外，Sanchez-Gonzalez et al.(2005)針對 24 名年齡 18-35 歲之受試者的研究發現從事相同的有氧運動下，性別顯著地影響血漿減少量，女性血漿的減少量多於男性。

由以上數據可知輕度運動時，飲用水分與代謝產生的水應可彌補因流汗失去的水量。但對劇烈運動來說，代謝產生的水與飲用水的份量不及汗液流失量。

肆、評估人體含水量對於運動的重要性

流汗使得細胞外液流失，將造成血漿量減少與血液滲透壓(osmolality)上升。研究顯示休息時血液滲透壓約為 300 mOsm/L，以 60% $\dot{V}O_{2max}$ 的強度運動 40 分鐘後，因為水分減少使得血液滲透壓升為 311 mOsm/L 左右(Saat, Sirisinghe, Singh, & Tochihara, 2005)。血液滲透壓升高會刺激下視丘的口渴中樞，將引起局部唾液分泌減少與口乾、口渴等症狀。另外，水分減少或脫水時動脈血壓的降低也會刺激下視丘的滲透壓接受器，促使腦下垂體後葉分泌抗利尿激素，增加腎小管對水的再吸收能力，使排尿量減少，尿液滲透壓增加(Oppliger, Magnes, Popowski, & Gisolfi, 2005)。因此，長時間運動後常有口乾、口渴、排尿量減少，尿液顏色變深的情況，以及疲勞或頭暈等症狀。Armstrong(2005)指出輕度脫水達體重 1%或 2%時便會降低運動表現、認知功能與敏捷性，他們也因此強調準確評估人體含水量的重要性。

傅正思(2004)指出當人體內水分流失時，血漿量減少，靜脈回流至心臟之血量相對地降低，導致每一次心跳的心輸出量下降。Hamilton, Gonzalez-Alonso, Montain, and Coyle(1991)的研究結果顯示長時間耐力性運動造成心輸出量下降時，心臟為了彌補心輸出量的不足，會加快心跳速率，但心輸出量仍然是下降的趨勢。心輸出量降低會使得體溫上升，體內的醣解作用跟著

增加，產生能量的方式會逐漸趨向無氧代謝，乳酸的產量增加將導致身體疲勞，降低運動持續的能力。另外，脫水也會提早抽筋發生的時間(Jung, Bishop, Al-Nawwas, & Dale, 2005)。相反地，補充水分使得血漿量增加，可延長運動的持續時間(Berger, Campbell, Wilkerson, & Jones, 2006)，若補充的是葡萄糖電解質飲料，還兼能延緩肌肉力量下降的趨勢(Fritzsche et al., 2000)。評估含水量可估計應當補充水分的量，對於運動持續能力相當有幫助。

在某些依體重分量級的運動，如角力比賽之前，有些運動員會刻意減少身體的水分，以符合選擇的體重量級，此時其血液濃度上升程度，甚至被視為患病狀態(Armstrong, 2005)。含水量評估亦常用於此類比賽，預防運動員因缺乏水分過度而增加上場比賽的危險(Bartok, Schoeller, Sullivan, Clark, & Landry, 2004)。

評估人體含水量不僅可提供脫水狀態的數據，亦可評估補充水分的復水情況。準確地估出含水狀態，可以比較不同飲料的復水速率(黃涵瑳、許美智、王香生，2002)，幫助正確選擇補充水分的飲料。

征、常用於運動之人體含水量評估法比較

含水量評估的方法種類不少，各有各的理論根據，茲略述如下：

一、稀釋法(dilution techniques)－測量水分分部體積

吃入或靜脈注入追蹤物質，此物質會被稀釋，等待追蹤物質在體內分佈均勻後(至少 3-4 小時)，比較實驗前後體液(即細胞外液)追蹤物質的濃度，可以計算出人體分部含水量，此為稀釋法之原理。稀釋法可以估算出分部水分的體積，估計總身體含水量(TBW)時一般使用重氫(^2H)、氧化重氫($^2\text{H}_2\text{O}$, D_2O)和氧-18(^{18}O)；估計細胞外液體積(ECV)時，傳統上使用硫氰化物(thiocyanate)與鈉和氯的同位素等無法透過細胞膜的物質，近年溴化物(bromide)常被研究者使用；細胞內液體積(ICV)計算方法是以 TBW 減去 ECV 來估算(Armstrong, 2005)。

二、中子活化分析法(neutron activation analysis)－測量水分分部體積

中子活化分析法可以鑑定並量化約 70% 已知的元素。一個樣本在測量原子能的反應裝置內，經高能撞擊會產生特殊的物理放射性核種(radionuclide)，不同原子的核種衰變中會放射獨特的 gamma 射線，藉放射線檢測儀，可以呈現樣本元素成分。此一方法可用來測量體液中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl 等電解質濃度。一次全身的掃描可以估計出水分分部的體積，測量過程為非侵體方式(non-invasive)，結果誤差甚小，常當作所有元素鑑定的標準方法。然而，此法需要昂貴的原子能裝置和熟知技術的專業人員，不是每個實驗室都能具有(Armstrong, 2005)。

三、生物電阻分析法(bioelectrical impedance analysis, BIA)－測量水分分部體積

生物電阻分析法根據人體的電氣特性，在人體體表通入一微小電流，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，包括含水量。生物電阻分析的測量方法有單頻 BIA 法、多頻 BIA 法、生物電阻光譜分析法(BIS)、分部 BIA 法、局部 BIA 法與向量

BIA 法 (李佳怡、何維華、李超群, 2004)。

許多因素會影響 BIA 法的準確度, 如電極放置位置、皮膚溫度、皮膚血流、人體姿勢、立即水分飲用或流失、飲入水分的成分、運動等。據 Armstrong(2005)收集的資料分析, BIS 法估計人體含水量與稀釋法所測得的數據, 相關係數範圍從 0.87-0.98, 是評估能力較高的 BIA 法。

四、血比容與血紅素法—測量細胞外液轉移

血比容(hematocrit)的定義為血球量與總血液量比值, 而血紅素(hemoglobin)為紅血球內的主要分子。運動或環境溫度升高等情況下, 血液血比容與血紅素濃度改變, 常被用來估計血漿的體積(Jurimae, Jurimae, & Pihl, 2000)。此法操作簡便, 廣泛地被使用。

五、追蹤物顯像法—測量液體吸收與平衡

於飲料加入微量追蹤物質, 攝入後測量其在血液的濃度, 可推估水分吸收速率。追蹤物顯像法利用同位素比例質量光譜儀和 H_2O/CO_2 平衡法, 測量不同時間點之唾液、血液與尿液的同位素比例及 H_2O/CO_2 , 以估計體內含水量。此法常使用重水($H_2^{18}O$)為追蹤物質, 攝入後測量相對時間的 $^{18}O/^{16}O$ (Armstrong, 2005)。

六、血漿或血清滲透壓法—測量含水狀態指標

有些研究者認為細胞外液的滲透壓是含水狀態唯一有效的指標(Moran, Heled, & Margaliot, 2004), 血漿或血清的滲透壓使用最普遍。血漿滲透壓的測量, 使用冰點或蒸氣壓降低的滲透壓計, 過程簡便快速。有一點很重要, 必須在採血和離心後立即測量, 放置時間越久, 血漿滲透壓將越低(Armstrong, 2005)。

七、體重差異法—含水狀態

測量體重變化是評估含水狀態常用的方法, 安全、快速且無侵入性。短時間內體重的改變, 扣除攝入食物及排泄物的重量, 幾乎與人體水分的變化相等。若體重測量間隔時間超過 4 小時, 將因代謝以及呼吸流失水分, 使得誤差變大(Armstrong, 2005)。

八、含水狀態的尿液參數

腎功能正常的狀態下, 人體水含量改變時, 會改變排尿量及尿液濃度。據此原理, 含水量可藉由尿液滲透壓、尿液比重、尿液密度、一天排尿量及尿液顏色估計之(Armstrong, 2005)。

九、含水狀態的唾液參數

血液滲透壓變化透過下視丘口渴中樞引起唾液分泌量與濃度的改變, 根據此原理, 唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓及唾液流量可用於評估人體含水狀態(Walsh, Montague, Callow, & Rowlands, 2004)。

陸、含水量評估在運動上的應用

含水量評估法應用在運動上, 一般來說有兩個目的, 一為估計水分流失, 另一是作為復水指標。以下整理近年相關之研究, 比較各法之優劣, 詳見表一。

黃涵瑳等(2002)研究 13 名健康男性大學生，在進行長時間耐力運動後，比較飲用純水與含抗氧化劑運動飲料對於復水的效果，含水量評估採用體重差異法與血比容法。結果顯示體重差異法能確認水分飲入與排出的量；血比容法估計血漿的體積，其血漿量增加的幅度可評估水分進入血液的量。

BIA 法方面，Jurimae et al.(2000)利用多頻 BIA 法、血紅素與血比容法檢驗 12 名划船槳手運動後水分分佈的平衡狀態，結果顯示運動後水分分佈的情況有改變。Pialoux et al.(2004)以 $^2\text{H}_2\text{O}$ 稀釋法為比較標準，使用多頻 BIA 法評估 4 天耐力運動造成 TBW 含量上升的比例，結論出當增加的含水量在體內分佈平衡後，且離子濃度不變的情況，多頻 BIA 法可有效評估 TBW 的增加。Koulmann et al.(2000)指出運動流失水分約 2.8% 體重時，立即以 BIA 法評估含水狀態，只有約 1 半的準確度。

滲透壓法方面，Oppliger et al.(2005)在 51 名角力選手因訓練水分流失達體重 5% 後，於不同時間點測量尿液密度(U_{sg})、尿液滲透壓(U_{osm})與血漿滲透壓，發現血漿滲透壓能立即反應出身體有脫水情況，而 U_{sg} 和 U_{osm} 的脫水相關變化延遲一段時間才顯現出來。對於需要降低體重以符合比賽選擇量級的運動員，Bartok et al.(2004)建議尿液滲透壓的臨界指標為 586 mOsm/L，血漿滲透壓的臨界指標為 293 mOsm/L，超過此等臨界值，運動員上場比賽可能發生危險。此二臨界值可作為評估脫水的參考臨界指標。另外，Walsh et al.(2004)的研究發現運動中唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓及唾液流量，與流汗喪失之體重皆有高度相關($= 0.97, 0.94$ and -0.88)。

Wingo et al.(2004)使用體重差異法、流汗速率、排尿量、尿液比重與口渴自覺分數，檢測 20 名越野腳踏車運動員騎車中飲用不同飲料的含水狀態，發現尿液比重可以顯示出含水狀態，流汗速率、排尿量及口渴自覺分數則不能。

根據上述研究，稀釋法與血液參數法的準確度最高，常作為實驗的標準參考指標。體重差異法、BIA 法、尿液滲透壓、尿液比重、尿液密度、唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓及唾液流量也有一定的評估能力，因為不需侵入人體，實用性較佳。流汗速率、排尿量、尿液顏色及口渴自覺分數則尚無法看出其評估能力。

表一 近年應用於運動之含水量評估法比較

作者	評估方法	評估法使用目的	受試者	優劣比較
黃涵瑳等 (2002)	體重差異法與血比容法	長時間耐力運動後復水狀態檢驗	13名男性大學生	血比容法較適用於檢驗復水狀態
Jurimae et al.(2000)	多頻BIA法、血紅素與血比容法	檢驗運動後之TBW、ECW及ICW水分平衡狀態	12名划船槳手	此三種方法之準確度皆有準確的評估能力
Oppliger et al.(2005)	尿液密度、尿液滲透壓與血漿滲透壓法	檢驗何種方法能立即地反映出身體含水狀態	51名角力運動員	U_{sg} 和 U_{osm} 的脫水相關變化延遲一段時間才顯現出來
Walsh et al.(2004)	唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓、唾液流量與體重差異法	評估運動中脫水狀態	20名年輕男性	唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓、唾液流量與體重差異均能反映出脫水狀態
Pialoux et al.(2004)	2H_2O 稀釋法、多頻BIA法	評估4天耐力運動造成TBW含量上升的比例	20名年輕男性	以稀釋法為標準，判定BIA法可評估TBW的增加
Wingo et al.(2004)	體重差異法、流汗速率、排尿量、尿液比重、口渴自覺分數	長程越野腳踏車運動中補充水分、葡萄糖電解質與不補充之身體含水狀態	20名越野腳踏車運動員	尿液比重與體重差異法可以顯示出含水狀態，其餘方法不能
Koulmann et al.(2000)	BIA法、體重差異法	運動流失水分2.8%體重後，立即以BIA法評估含水狀態	8名健康男性	BIA評估運動後立即的含水狀態，只有約1半的準確性

柒、結語

綜合上述，評估人體含水量可提供脫水狀態以及水分分佈的狀態，也可以評估復水的狀況。根據本文的比較，就準確度來說，血液參數法與稀釋法最佳；就實用性來說，體重差異法、BIA法、尿液滲透壓、尿液比重、尿液密度唾液總蛋白質濃度、唾液滲透壓及唾液流量較好。流汗速率、排尿量、尿液顏色及口渴自覺分數的評估能力則尚待研究。以上所述，希望能夠提供運動相關人員參考，並應用於運動時適量水分補充的研究。

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。
- 許世昌 (2000)。《解剖生理學》。台北市：永大書局。
- 傅正思 (2004)。長時間耐力性運動之水分及電解質平衡。《大專體育》，74期，210-215頁。
- 黃涵瑳、許美智、王香生 (2002)。長時間運動後補充含抗氧化劑運動飲料對復水與血液生化值的效應。《大專體育學刊》，4卷2期，131-140頁。
- 蔡忠昌 (2005)。由腸胃道生理機制探討運動時水分吸收與運動飲料功能。《彰化師大體育學報》，5輯，38-51頁。

- Armstrong, L. E. (2005). Hydration assessment techniques. *Nutrition Reviews*, 63(6), S40-54.
- Bartok, C., Schoeller, D. A., Sullivan, J. C., Clark, R. R., & Landry, G. L. (2004). Hydration testing in collegiate wrestlers undergoing hypertonic dehydration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(3), 510-517.
- Berger, N. J., Campbell, I. T., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2006). Influence of acute plasma volume expansion on VO_2 kinetics, VO_2 peak, and performance during high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 101(3), 707-714.
- Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, B. J., Lee, S. H., Martin, J. C., & Coyle, E. F. (2000). Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *Journal of Applied Physiology*, 88(2), 730-737.
- Gisolfi, C. V., & Ryan, A. J. (1996). Gastrointestinal physiology during exercise. In E. R. Buskirk & S. M. Paul (Eds.), *Body fluid balance: Exercise and sport* (pp. 19-52). U.S.A.: CRC Press LLC.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). The body fluid compartments: Extracellular and intracellular fluids; interstitial fluid and edema. In *Textbook of medical physiology* (10th ed., pp. 264-278). Philadelphia, Pennsylvania: W.B. Saunders Company.
- Hamilton, M. T., Gonzalez-Alonso, J., Montain, S. J., & Coyle, E. F. (1991). Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 871-877.
- Jung, A. P., Bishop, P. A., Al-Nawwas, A., & Dale, R. B. (2005). Influence of hydration and electrolyte supplementation on incidence and time to onset of exercise-associated muscle cramps. *Journal of Athletic Training*, 40(2), 71-75.
- Jurimae, J., Jurimae, T., & Pihl, E. (2000). Changes in body fluids during endurance rowing training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904, 353-358.
- Koulmann, N., Jimenez, C., Regal, D., Bolliet, P., Launay, J. C., Savourey, G., et al. (2000). Use of bioelectrical impedance analysis to estimate body fluid compartments after acute variations of the body hydration level. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(4), 857-864.
- Moran, D., Heled, Y., & Margaliot, M. (2004). Hydration status measurement by radio frequency absorptiometry in young athletes: A new method and preliminary results. *Physiological Measurement*, 25(1), 51-59.
- Oppliger, R. A., Magnes, S. A., Popowski, L. A., & Gisolfi, C. V. (2005). Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 15(3), 236-251.
- Pastene, J., Germain, M., Allevard, A. M., Gharib, C., & Lacour, J. R. (1996). Water balance during and after marathon running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(1-2), 49-55.
- Pialoux, V., Mischler, I., Mounier, R., Gachon, P., Ritz, P., Coudert, J., et al. (2004). Effect of equilibrated hydration changes on total body water estimates by bioelectrical impedance analysis. *British Journal of Nutrition*, 91(1), 153-159.
- Robert, A. R., & Steven, J. K. (2003). *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Saat, M., Sirisinghe, R. G., Singh, R., & Tochiyara, Y. (2005). Effects of short-term exercise in the heat on

- thermoregulation, blood parameters, sweat secretion and sweat composition of tropic-dwelling subjects. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24(5), 541-549.
- Sanchez-Gonzalez, J. M., Rivera-Cisneros, A. E., Ramirez, M. J., Tovar-Garcia, J. L., Portillo-Gallo, J., & Franco-Santillan, R. (2005). Hydration status and aerobic capacity: Effects on plasmatic volume during strenuous physical exercise. *Cirugia y Cirujanos*, 73(4), 287-295.
- Sawka, M. N., & Montain, S. J. (2000). Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72(Suppl.), 564S-72S.
- Tortora, G., & Grabowski, S. (1996). *Principles of anatomy and physiology* (8th ed.). New York: Harper Collins College Publishers.
- Walsh, N. P., Montague, J. C., Callow, N., & Rowlands, A. V. (2004). Saliva flow rate, total protein concentration and osmolality as potential markers of whole body hydration status during progressive acute dehydration in humans. *Archives of Oral Biology*, 49(2), 149-154.
- Wingo, J. E., Casa, D. J., Berger, E. M., Dellis, W. O., Knight, J. C., & McClung, J. M. (2004). Influence of a pre-exercise glycerol hydration beverage on performance and physiologic function during mountain-bike races in the heat. *Journal of Athletic Training*, 39(2), 169-175.