



12-1-1993

Body Composition and Percent Body Fat in Long Distance Runners: Comparison of Four Methods

I-Wen Penn

Follow this and additional works at: <https://rps.researchcommons.org/journal>



Part of the [Rehabilitation and Therapy Commons](#)

Recommended Citation

Penn, I-Wen (1993) "Body Composition and Percent Body Fat in Long Distance Runners: Comparison of Four Methods," *Rehabilitation Practice and Science*: Vol. 21: Iss. 1, Article 10.

DOI: <https://doi.org/10.6315/3005-3846.1878>

Available at: <https://rps.researchcommons.org/journal/vol21/iss1/10>

This Original Article is brought to you for free and open access by Rehabilitation Practice and Science. It has been accepted for inclusion in Rehabilitation Practice and Science by an authorized editor of Rehabilitation Practice and Science. For more information, please contact twpmrscore@gmail.com.

長跑運動員之身體組成及體脂肪百分比—四種測量方法之比較

彭蕙雯

運動員之身體特徵及身體組成是決定運動表現之重要因素之一，對體脂肪之連續測量亦可做為評估訓練成效之參考。長跑訓練除會降低體脂肪外，亦會增加骨礦物質、骨骼肌及血漿量，以上任一改變，皆可能影響傳統雙間模式身體組成分析方法(如水中稱重法、同位素稀釋法、及鉀四十計量法)之基本假設，因而影響其信度。本實驗藉新發展之多間模式方法，分析十位長跑運動員及十位非運動員對照組之體脂肪百分比，並和傳統雙間模式方法之結果做比較。發現運動員之體脂肪百分比比較對照組低($P<0.05$)，但四種方法測出之體脂肪百分比無顯著差異。運動員之水、礦物質及鉀含量在體重中所佔比例顯著較高($P<0.05$)，但在瘦組織中之比例則與對照組無差異，顯示運動員之水分、礦物質及鉀含量因平行升高之結果使瘦組織中各成份之比例維持恆定。因此傳統雙間模式方法在測量長跑運動員之體脂肪百分比上仍為方便有效之方法。

關鍵詞：body composition; four-compartment model; endurance training

前言

運動員之身體特徵及身體組成是決定運動表現之重要因素之一[1]。對長跑運動員而言，較少之體脂肪可減輕跑步時不必要之負荷，同時散熱也較容易[2]，對體脂肪之連續測量亦可做為評估訓練成效之參考。傳統體脂肪之測量方法為利用雙間模式，將體重分為脂肪及瘦組織(fat free mass FFM)，並藉不同假設求出體脂肪百分比(% fat)。如水中稱重法，假設瘦組織之密度為一常數(1.100 g/cc) [4,5]；同位素稀釋法(tritium dilution method)，假設瘦組織中水百分比為一常數(0.73 kg H_2O /kg FFM) [16]；鉀四十計量法(whole body ^{40}K counting)，假設瘦組織中含鉀量為一常數[17]，在年輕男性約為65 mmol/kg FFM [8]。以上數值均取於少數屍體之分析[4,7,8]，在運動員身上是否有效，一直是一未解之話題[9]。過去一些研究曾觀察到運動可能會使骨密度及骨礦物質增多[10,11]，因此運動員瘦組織密度應較一般人高[9]；耐力訓練會增加血漿量[12,13]，可能使瘦組織中水百分比增加；而運動員之肌肉組織較多[14]則可能使瘦組織中鉀含量升高。以上因素皆可能在利用雙間模式方法測量體脂肪時產生誤差。由於臨床上及體育界常用來測量體

脂肪百分比之皮下脂肪測量法是以水中稱重法之結果為標準，再帶入公式計算而來[2]，因此水中稱重法之準確度對運動員而言更顯重要。

新發展之四間模式方法(four compartment model, 4-C)，將體重分為脂肪，水分，礦物質及蛋白質[15,16]。由於直接測量較多之身體成分且依賴較少之假設，因此可用來評估傳統雙間模式方法之準確度。本研究之目的即是利用4-C方法來評估三種雙間模式體脂肪測量法用於運動員身上之信度，並與非運動員對照組做比較。

材料與方法

本研究測試十位白人男性長跑運動員及十位非運動員對照組，二組之年齡、體重、身高及BMI (body mass index)均無顯著差異(表一)。運動組平均每週跑73.3±15.3公里，平均受訓練時間為3.4±2.2年，平均每週重量訓練少於一小時。對照組平均每週運動少四小時。每位受測者皆接受下列五項檢查：

1. 肺餘氣量(residual volume)。利用Wilmore et al發展出來之closed-circuit oxygen-dilution系統測量肺餘氣量[17]。連續做兩次，若二者相差100 ml以內則

台北榮總復健醫學部

抽印本索取地址：彭蕙雯，台北榮民總醫院復健醫學部，台北市石牌路二段201號

電話：(02) 8757360

表一、受測者之基本資料(mean ± SD)

	年齡(year)	體重(kg)	身高(cm)	BMI (kg/m ²)
運動員	27.9 ± 6.8	70.9 ± 4.9	179.3 ± 6.6	22.1 ± 1.8
對照組	27.8 ± 4.3	75.2 ± 5.4	178.1 ± 5.8	23.7 ± 1.0

註：t-test二組皆無顯著差異(p>0.05), BMI: body mass index

取二者之平均值，若相差超過100 ml則需再測，直至有二相近數值出現。

- 水中稱重法(hydrodensitometry)。使用Akers及Buskirk之水中稱重系統測量身體密度[18]。受測者趴在力板上，將全身浸在水中並做最大吐氣後，力板將記錄其在水中之重量。共測量十次取三次最高值之平均。利用阿基米德原理求出體積再減去肺餘氣量，即為受測者之體積，除體重之後，可得其身體密度。體脂肪百分比則由Siri雙間程式求得[19]:

$$\% \text{ fat} = [(4.95 / \text{身體密度}) - 4.50] \times 100 \quad \text{公式(1)}$$

- 鉀四十計量法(whole body ⁴⁰K counting)。利用4 π 全身計量儀測量全身鉀含量(total body potassium, TBK) [20,21]。體脂肪百分比則由公式(2)算出：

$$\% \text{ fat} = [(\text{體重} - (\text{TBK} / C)) / \text{體重}] \times 100 \quad \text{公式(2)}$$

其中C為一常數，乃Pierson et al根據性別及年齡修訂之數值，本實驗年齡層之男性為65 mmol/kgFFM [8]。

- 同位素稀釋法(tritium dilution method)。靜脈注射同位素三小時後。收集血標本，計算同位素被稀釋之空間(tritium dilution space)。經由non-aqueous hydrogen exchange (5%)及體溫時水密度之校正，可求出全身水含量(total body water, TBW) [5]。

$$\text{TBW} = \text{tritium dilution space} \times 0.95 \times 0.994 \quad \text{公式(3)}$$

再利用雙間模式假設求出體脂肪量：

$$\% \text{ fat} = [(\text{體重} - (\text{TBW} / 0.73)) / \text{體重}] \times 100 \quad \text{公式(4)}$$

- 雙能X光吸收儀(dual energy X-ray absorptiometry DXA)。利用Lunar corporation之DPX機型由頭至腳掃描受測者。藉由二種能量之X光減退之程度可將體重分為骨礦物質(total body bone mineral, TBBM)及軟組織[21,22]。將骨礦物質確認並去除後，即可將剩餘之軟組織分為脂肪及瘦組織。DXA將身體分為頭、軀幹及四肢六部分，四肢去除骨骼及脂肪後，剩餘物質可將其視為骨骼肌，皮膚組織由於量少可忽略不計。詳細計算方法可參考文獻[15]。

四間模式(4-C)中之水份由同位素稀釋法求得，礦物質由DXA測出之TBBM換算為全身礦物質含量(total body mineral, TBM)，剩下之蛋白質及脂肪重量即為體重減去水分和礦物質之重量。由於蛋白質之密度已知為1.34 g/cc，而脂肪之密度為0.9007 g/cc，其混合密度可由混合重量除以混合體積算出，則二者在混合體中所佔之比例亦可分別求出。詳細計算方法可參考Heymsfield et al之研究報告[16]。

結 果

身體組成分析之初步結果見表二，運動員之身體

表二、身體組成分析之初步結果(mean ± SD)

	³ H ₂ O (L)	TBBM (kg)	body density (g/cc)	TBK (mmol)
運動員	48.1 ± 4.5	3.145 ± 0.451	1.068 ± 0.009	3931 ± 370
對照組	45.7 ± 5.1	2.981 ± 0.323	1.052 ± 0.009*	3841 ± 312

註：³H₂O: tritium dilution space; TBBM: total body bone mineral; TBK: total body potassium;

*: t-test二組有顯著差異，p=0.001

密度較對照組顯著較高($p=0.001$), tritium dilution space, TBK及TBBM較對照組稍高, 但無統計學上差異。

TBW, TBK及TBM在體重及瘦組織中之百分比見表三。運動員之TBW, TBK及TBM佔體重之百分比比較對照組顯著較高($P<0.05$), 但在瘦組織中之百分比則無差異。瘦組織之密度因此在二組間亦無差異, 並且四捨五入後之值皆為 $1.100/\text{cm}^3$ 。

表三、各化學成份在體重及瘦組織中之百分比(mean \pm SD)

	運動員	對照組	P*
TBW (kg)	45.4 \pm 4.3	43.1 \pm 4.8	0.467
TBM (kg)	4.0 \pm 0.6	3.8 \pm 0.4	0.392
TBW/BW (%)	64.1 \pm 3.2	57.4 \pm 4.7	0.002*
TBM/BW (%)	5.7 \pm 0.6	5.1 \pm 4.7	0.016*
TBK/BW (%)	55.5 \pm 3.7	51.3 \pm 4.9	0.045*
TBW/FFM (%)	73.2 \pm 0.8	72.7 \pm 1.6	0.074
TBM/FFM (%)	6.5 \pm 0.6	6.5 \pm 0.5	1.000
TBK/FFM (%)	63.7 \pm 2.2	63.7 \pm 5.4	1.000

註：TBW: total body water; TBM: total body mineral; BW: body weight; TBK: total body potassium; FFM: fat free mass; *: t-test二組有顯著差異, $p<0.05$

討 論

長跑運動員被認為是體脂肪百分比最低的運動員之一[2], 對奧運馬拉松選手之研究曾有體脂肪為4.3%之報告[3], 減去大約3%之必需脂肪(essential fat)後, 其儲存脂肪(storage fat)則低至1.3%, 此數值常被批評為是傳統體脂肪測量方法用在運動員身上之誤差所致[2,9]。本研究之運動員體脂肪百分比以4-C方法求得之數值為 $12.9 \pm 4.0\%$, 較對照組之 $21.1 \pm 5.1\%$ 顯著為低, 但較奧運選手高了約8%, 可能因本研究之受測者均為大學級運動員, 所受訓練之時間及強度皆少於奧運選手之故, 亦可能因其%fat太高而使競賽成績無法達到奧運選手之水準所致。體脂肪百分比對競賽成績之影響則不在本篇討論範圍之內。

重力及肌肉收縮可刺激骨密度及骨礦物質的增加[10,11], 本研究顯示運動員之TBM/體重較對照組為高, 但TBM/FFM二組無差異。表示雖然運動員之骨礦物質佔體重之比例較大(5.7% vs 5.1% , $P<0.05$), 但其瘦組織內骨礦物質之比例與一般人相同。故骨礦物質之增加並不會改變瘦組織之密度, 因此在利用水

水中稱重法, 鉀四十計量法、同位素稀釋法4-C及DXA方法算出之體脂肪百分比見表四, 運動員之體脂肪百分比比較對照組顯著較低($P<0.05$)。運動員中由同位素稀釋法求出之%fat最低, 鉀四十計量法最高。對照組中由水中稱重法求出之%fat最低, 同位素稀釋法最高。

表四、四種方法算出之體脂肪百分比(mean \pm SD)

	運動員	對照組
雙間模式		
水中稱重法(%)	13.4 \pm 4.0	20.8 \pm 3.9
鉀四十計量法(%)	14.6 \pm 5.6	21.1 \pm 7.5
同位素稀釋法(%)	12.3 \pm 4.4	21.3 \pm 6.8
四間模式	12.9 \pm 4.0	21.1 \pm 5.1

中稱重法計算運動員之%fat時, 其結果並不受骨礦物質之增加而影響其信度。

耐力訓練會增加紅血球及血漿量[12,13], 本研究亦顯示運動員有較高之全身水百分比(64.1% vs 57.4% , $P<0.05$), 但其水分在瘦組織中之比例則與對照組無差異, 故同位素稀釋法之結果並不受總水量改變而影響。

骨骼肌含有大量細胞內液, 故較其他組織含有較多之鉀[5, 6, 7]。由於運動員瘦組織較多, 其骨骼肌應佔體重之較大比例, 全身鉀含量也應較高, 本研究結果支持此項推論(55.5% vs 51.3% , $p<0.05$)。但二組瘦組織中之鉀百分比則無差異(63.7% vs 63.7% , $p=1.000$), 因此鉀四十計量法亦應適用於運動員。本實驗中, 鉀四十計量法所得之%fat與4-C方法之結果相較有偏高之現象(14.6% vs 12.9%), 由於本實驗之取樣數目較小, 對耐力訓練運動員之TBK/FFM常數是否需要修正需更進一步之研究。另外雖然耐力訓練對骨骼肌之生化組織及代謝方面之影響已有完整之發現, 但對於耐力訓練對骨骼肌纖維直徑與肌肉重量之影響仍然不足, 不同的受測對象及訓練方式可能造成不同之結果, 此方面亦需進一步研究。

以上推論進一步由4-C與DXA之%fat與三種雙間模式方法求出之%fat之間無顯著差異而得到證實。顯示運動員雖然有較高之礦物質, 水份及鉀含量, 但平行增加之結果使各化學成份在瘦組織中之百分比維持在與一般人相同之比率, 而形成一種奇妙的平衡。因

此，傳統雙間模方式法在測量運動員之體脂肪百分比上仍有相當高之信度。

誌 謝

感謝美國哥倫比亞大學附屬聖路克—羅斯福醫院體重控制實驗室Dr. Steven B. Heymsfield在結果分析之幫助。

參考文獻

1. Toriola AL, S. A. Adeniran and P. T. Ogunremi: Body composition and anthropometric characteristics of elite male basketball and volleyball players. *J. Sports Med.*
2. McArdle WD, F. I. Katch and V. L. Katch: *Exercise Physiology-Energy, Nutrition, and Human Performance.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1991.
3. Pollock ML, et al: Body composition in elite class distance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 301:361, 1977.
4. Brozek J, F. Grande, J. T. Anderson and A. Keys: Densitometric analysis of body composition: revision of some assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110: 113-140, 1963.
5. Forbes GB: *Human Body Composition.* New York: Springer-Verlag, 1987.
6. Forbes GB and A. Lewis: Total sodium, potassium, and chloride in adult man. *J. Clin. Invest.* 35: 596-600, 1956.
7. Snyder WS, M. J. Cook, E.S. Nasset, L. R. Karhausen, G. Parry Howells, and I. H. Tipton. In: *Report of the Task Group on Reference Man.* New York: Pergamon Press, 1984.
8. Pierson RN Jr, D.H.Y. Lin and R. A. Phillips: Total body potassium in health: effects of age, sex, height, and fat. *Am. J. Physiol.* 226: 206-212, 1974.
9. Adams J, M. Mottola, K. M. Bagnall and K. D. McFadden: Total body fat content in a group of professional football players. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 7: 36-40, 1982.
10. Nilsson BE and N. E. Westlin: Bone density in athletes. *Clin. Orthop.* 77: 179-182, 1971.
11. Risser WL, E. J. Lee, A. Leblanc, B. W. Poindexter Hally, M.H. Risser Jan and V. Schneider: Bone density in eumenorrhagic female college athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 570-574, 1989.
12. Convertino VA, P. J. Brock, L. C. Keil, E. M. Bernauer and J. E. Greenleaf: Exercise training-induced hypervolemia: role of plasma albumin, renin, and vasopression. *J. Appl. Physiol.* 48: 665-669, 1980.
13. Meredith CN, W. R. Frontera, E. C. Fisher, et al: Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *J. Appl. Physiol.* 66: 2844-2849, 1989.
14. Holloszy JO and E. F. Coyle: Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J. Appl. Physiol.* 56:831-838, 1984.
15. Heymsfield SB, S. Lichtman, R. N. Baumgartner, et al: Body composition of humans: comparison of two improved fourcompartment models that differ in expense, technical complexity and radiation exposure. *Am. J. Clin. Nutr.* 52: 52-58, 1990.
16. Heymsfield SB, S. Lichtman, R.N. Baumgartner, et al: Body composition of humans: comparison of two improved fourcompartment models that differ in expense, technical complexity and radiation exposure. *Am. J. Clin. Nutr.* 52:52-58, 1990.
17. Wilmore JH: A simplified method for determination of residual lung volume. *J. Appl. Physiol.* 27: 96-100, 1969.
18. Ankers R and E. R. Buskirk: An underwater weighing system utilizing "force tube" transducer. *J. Appl. Physiol.* 26: 649-652, 1969.
19. Siri WE: The gross composition of the body. *Adv. Biol. Med. Phys.* 4: 239-280, 1956.
20. Pierson RN Jr, J. Wang, J.C. Thornton, T. B. Van Itallie and E.W.D. Colt: Body potassium by 4-pi counting: an anthropometric correction. *Am. J. Physiol.* 245: E234-239, 1984.
21. Heymsfield SB, J. Wang, M. Aulet, et al: Dual photon absorptiometry: validation of mineral and fat measurements. In: *In Vivo body Composition Studies*, Yasumura, S(ed). New York, Plenum Press, 1990, P.327.
22. Heymsfield SB, J. Wang, J. Funfar, J. Kehayias and R. N. Pierson Jr: Dual-photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass measurement in vivo with established methods. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 1283-1289, 1989.

Body Composition and Percent Body Fat in Long Distance Runners: Comparison of Four Methods

I-Wen Penn

Body composition characteristics are among the fundamental factors to successful sport performance. Serial assessments of body fat in athletes provide us information about training effect. Long distance running increases bone mineral mass, skeletal muscle weight, and plasma volume. Each of these changes may have an impact on the basic assumed constants of the classic two-compartment body composition methods. The aims of the present study was to use the newly developed four-compartment method to evaluate the validity of three two-compartment methods (hydrodensitometry, tritium dilution, and whole body ^{40}K counting) in white male long distance runners ($n=10$), and to compare the body composition

of these runners to sedentary controls ($n=10$) of similar age, weight, and body mass index. Runners had a significantly lower percentage of fat and a higher body density. Although water, mineral and potassium constituted larger proportions of body weight in runners, the fractional contributions of these chemicals in fat free mass were similar to those in the control group. There were no significant differences between percentages of body fat derived from the four body composition methods within groups and in the pooled group. The results suggested that two-compartment methods are valid in white male long distance runners.