

Communication brève

# Comparaison de plusieurs formules de calcul de la masse maigre par bio-impédancemétrie avec l'absorptiométrie biphotonique (Dexa)<sup>☆</sup>

## *Different calculations of fat-free mass by bioelectrical impedance analysis: Comparison with Dual-Energy X-Ray Absorptiometry*

E. Varlet-Marie, E. Grubka, M. Karafiat, C. Fédou, E. Raynaud de Mauverger, J.-F. Brun\*

Service central de physiologie clinique (Ceramm), CHU de Lapeyronie, 34295 Montpellier cedex 5, France

Reçu le 10 juillet 2008 ; accepté le 20 janvier 2009

Disponible sur Internet le 1 juillet 2009

---

### Résumé

**Introduction.** – Récemment, deux formules élaborées sur de vastes populations américaines et européennes (cohorte NHANES III et de Kyle et al.) ont été présentées comme supérieures aux précédentes et valables sur une large population de sujets sains. Nous avons voulu les tester ainsi que 17 autres prédisant la masse maigre (MM) en comparaison avec la Dexa.

**Synthèse des faits.** – Cette étude retient pour l'ensemble de la population (68 sujets) la formule de Houtkooper et al. ( $r^2 = 0,9454$ , écart moyen  $-0,69$ ; extrêmes :  $-1,51$  à  $-0,13$ ). La formule de Houtkooper et al. est également supérieure aux précédentes dans l'échantillon des femmes, pour les sujets d'indice de masse corporelle (IMC)  $< 25$ ,  $25 < \text{IMC} < 30$  et  $\text{IMC} > 30$ . Pour les femmes de moins de 30 ans, on retient la formule de Lohmann. Pour tous les hommes : la formule de Lukaski et al.

**Conclusion.** – En comparaison avec la Dexa, les formules de la cohorte NHANES III et de Kyle et al. ne sont pas supérieures aux précédentes dont la plus juste est celle de Houtkooper et al.

© 2009 Publié par Elsevier Masson SAS.

**Mots clés :** Masse maigre ; Impédancemétrie ; Absorptiométrie biphotonique ; Sujets sains

### Abstract

**Introduction.** – The purpose of this study was to compare fat-free mass (FFT) determined by 19 bio-electrical impedance analysis (BIA) prediction models against criterion estimates determined by dual-energy x-ray absorptiometry (DEXA) in a heterogeneous sample of healthy adults in order to determine the best one.

**Results.** – This study selects in 68 subjects the Houtkooper et al. equation for total sample ( $r^2 = 0.9454$ , average difference within  $-0.69$  kg; limits of agreement  $-1.51$  kg to  $-0.13$  kg), women sample, body mass index (BMI)  $< 25$ ;  $25 < \text{BMI} < 30$  and  $\text{BMI} > 30$ . Comparison selects Lohman equation for women aged 18–29 years. Lukaski et al. equation for men was selected at the best.

**Conclusion.** – Comparison with dual-energy X-ray absorptiometry selects Houtkooper et al. equation at the most accurate, and the more recent formulae proposed by Kyle et al. or Sun et al. are not superior.

© 2009 Published by Elsevier Masson SAS.

**Keywords:** Fat-free mass; Bioelectrical impedance analysis; Dual-energy x-ray absorptiometry

---

## 1. Introduction

Depuis les travaux princeps de Thomasset [18], de nombreuses formules empiriques basées sur le modèle de la conductivité d'un corps cylindrique ont été proposées pour évaluer la composition corporelle par impédancemétrie bioélectrique. Toutes sont validées dans un échantillon précis mais

---

<sup>☆</sup> Communication présentée lors du xxix<sup>e</sup> Congrès de la SFMS, Paris Roland-Garros, 25–27 septembre 2008.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : drjfbun@dixinet.com (J.-F. Brun).

leur généralisation fait l'objet de discussions. Récemment, deux formules élaborées sur de vastes populations de sujets ont été présentées comme supérieures aux précédentes et valables sur une large population américaine (cohorte NHANES III : [17]) ou européenne (étude genevoise [10]). Nous avons voulu les tester ainsi que 17 autres prédisant la masse maigre (MM) en comparaison avec la Dexa.

## 2. Méthodes

### 2.1. Sujets

Soixante-huit sujets (50 femmes et 20 hommes) ont été étudiés. Leurs caractéristiques sont les suivantes : âge :  $31,9 \pm 1,7$  (de neuf à 66 ans), poids :  $69,8 \pm 2,4$  kg, taille :  $166,3 \pm 1,1$  cm,

IMC :  $25,2 \pm 0,8$  kg/m<sup>2</sup> (de 15,1 à 39,5). Tous étaient en bonne santé et ne prenaient pas de médicaments. Toutes les mesures ont été réalisées le matin à jeun et après une période de 36 heures sans exercice.

### 2.2. Impédancemétrie

Les impédances des sujets ont été mesurées à l'aide de l'impédancemètre *plethismograph dietosystem human IM-Scan* qui détermine l'impédance Z que l'organisme oppose au passage d'un courant de 100 à 800  $\mu$ A et à différentes fréquences (1, 5, 10, 50 et 100 kHz) entre deux paires d'électrodes. Ces électrodes sont collées sur la peau (deux sur une main, deux sur un pied en homolatéral au niveau des articulations). Les mesures sont effectuées sur des sujets à jeun, allongés bien à

Tableau 1  
Formules utilisées pour l'évaluation de la masse maigre (MM) par impédancemétrie.

Source	Population	Équation
Boulier et al. [1]	Sujet sains, 12–71 ans	$6,37 + 0,64 \text{ poids} + 0,4 \cdot T^2/R_1 - 0,16 \cdot \text{âge} - 2,71 \cdot \text{sexe}$ (un homme ; deux femmes)
Deurenberg et al. [3]	Sujets sains, > 16 ans	$-12,44 + 0,34 \cdot T^2/R_{50} + 0,1534 \cdot T + 0,273 \cdot \text{poids} - 0,127 \cdot \text{âge} + 4,56 \cdot \text{sexe}$
Heitmann [6]	Sujets sains, 35–65 ans	$-14,94 + 0,279 \cdot T^2/R_{50} + 0,181 \cdot \text{poids} + 0,231 \cdot T + 0,064 \cdot (\text{sexe} \cdot \text{poids}) - 0,077 \cdot \text{âge}$
Houtkooper et al. [7]	Sujets sains	$0,61 \cdot T^2/R_{50} + 0,25 \cdot \text{poids} + 1,31$
Kotler et al. [9]	Femmes saines, diversité ethnique Hommes sains, diversité ethnique	$0,07 + 0,88 \cdot (T^{1,97}/R_{50}^{0,49}) \cdot (1/22,22) + 0,081 \cdot \text{poids}$ $0,49 + 0,5 \cdot (T^{1,48}/R_{50}^{0,55}) \cdot (1/1,21) + 0,42 \cdot \text{poids}$
Kyle et al. [10]	Sujets sains, 18–94 ans	$-4,104 + 0,518 \cdot T^2/R_{50} + 0,231 \cdot \text{poids} + 0,130 \cdot Xc + 4,229 \cdot \text{sexe}$
Lohman [11]	Femmes saines, 18–29 ans Femmes saines, 30–49 ans Femmes saines, 50–70 ans Hommes sains, 18–29 ans Hommes sains, 30–49 ans Hommes sains, 50–70 ans	$5,49 + 0,476 \cdot T^2/R_{50} + 0,295 \cdot \text{poids}$ $11,59 + 0,493 \cdot T^2/R_{50} + 0,141 \cdot \text{poids}$ $6,34 + 0,474 \cdot T^2/R_{50} + 0,18 \cdot \text{poids}$ $5,32 + 0,485 \cdot T^2/R_{50} + 0,338 \cdot \text{poids}$ $4,51 + 0,549 \cdot T^2/R_{50} + 0,163 \cdot \text{poids} + 0,092 \cdot Xc$ $-11,41 + 0,6 \cdot T^2/R_{50} + 0,186 \cdot \text{poids} + 0,226 \cdot Xc$
Lukaski et al. [12]	Sujets sains	$4,033 + 0,734 \cdot T^2/R + 0,096 \cdot Xc + 0,116 \cdot \text{poids}] + 0,878 \cdot \text{sexe}$
Mc Dougall et al. [13]	Sujets sains	$16,4 + 0,61 \cdot T^2/R$
Segal et al. [16]	Hommes sains Femmes saines	$6,493 + 0,4936 \cdot T^2/R + 0,3736 \cdot \text{poids} - 0,0238 \cdot R$ $5,091 + 0,6483 \cdot T^2/R + 0,1699 \cdot \text{poids}$
Stolarczyk et al. [15]	Femmes saines 18–60 ans	$20,05 - 0,04904 \cdot R_{50} + 0,001254 \cdot T^2 + 0,1555 \cdot \text{poids} + 0,1417 \cdot Xc - 0,0833 \cdot \text{âge}$
Sun et al. [17]	Femmes saines, 12–94 ans Hommes sains, 12–94 ans	$-9,529 + 0,168 \cdot \text{poids} + 0,696 \cdot T^2/R_{50} + 0,016 \cdot R_{50}$ $-10,678 + 0,262 \cdot \text{poids} + 0,652 \cdot T^2/R_{50} + 0,015 \cdot R$
Thomasset [18]	Sujets sains	$3,04 + 0,85 \cdot T^2/R$
Van Loan et al. [19]	Sujets sains	$17,7868 + 0,000988 \cdot T^2 + 0,3736 \cdot \text{poids} - 0,0238 \cdot R - 4,2921 \cdot (1 - 0,1513 \cdot \text{âge})$
Deurenberg et al. [2]	Sujets âgés	$3,9 + 0,672 \cdot T^2/R_{50} + 3,1 \cdot \text{sexe}$
Dey et al. [4]	Sujets âgés	$11,78 + 0,499 \cdot T^2/R_{50} + 0,134 \cdot \text{poids} + 3,449 \cdot \text{sexe}$
Haapala et al. [5]	Femmes âgées 62–72 ans	$-128,06 + 1,85 \cdot \text{IMC} - 0,63 \cdot \text{poids} + 1,07 \cdot T - 0,03 \cdot R_{50} + 10 \cdot \text{Rapport taille/hanches}$
Roubenoff et al. [14]	Femmes âgées Hommes âgés Hommes âgés	$7,7435 + 0,4542 \cdot T^2/R_{50} + 0,119 \cdot \text{poids} + 0,0455 \cdot Xc$ $9,1536 + 0,4273 \cdot T^2/R_{50} + 0,1926 \cdot \text{poids} + 0,0667 \cdot Xc$ $5,741 + 0,4551 \cdot T^2/R_{50} + 0,1405 \cdot \text{poids} + 0,0573 \cdot Xc + 6,2467 \cdot \text{sexe}$
Jakicic et al. [8]	Femmes en surpoids, 25–45 ans	$2,68 + 0,2 \cdot T^2/R_{50} + 0,19 \cdot \text{poids} + 2,55 \cdot \text{ethnie} + 0,1157 \cdot T$
Jakicic et al. [8]	Femmes en surpoids, 25–45 ans	$2,04 - 0,02 \cdot R_{50} + 0,19 \cdot \text{poids} + 2,63 \cdot \text{ethnie} + 0,2583 \cdot T$

R : résistance ; T<sup>2</sup>/R : taille<sup>2</sup>/résistance ; Xc : réactance, sexe, un pour hommes, zéro pour les femmes, taille en cm, poids en kg, BMI en kg/m<sup>2</sup>. Formules adaptées à une population « Caucasienne » à l'exception de celle de Kotler et al. [9] (ethnies diverses), Sun et al. [17] (Caucasiens et Afro-américains), Stolarczyk et al. [15] (Américains) and Jakicic [8] (0 Caucasiens, un Afro-américains).

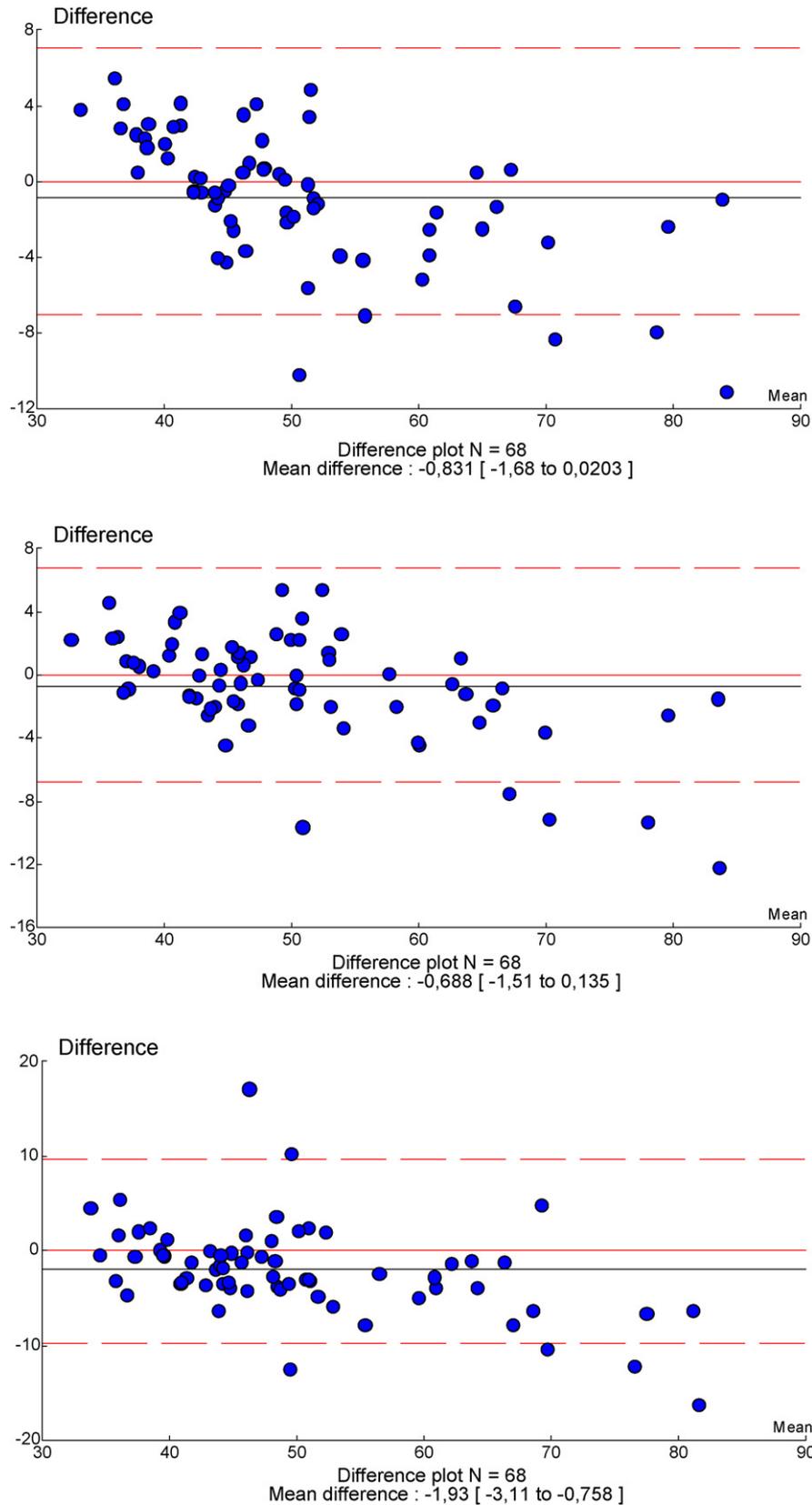


Fig. 1. Diagrammes de Bland et Altman montrant la concordance entre les valeurs de masse grasse (MM) prédites sur l'échantillon total par l'absorptiométrie biphotonique (Dexa) (méthode de référence) et les équations empiriques. Panneau du haut: équation de Sun et al. [17]: Femmes:  $-9,529 + 0,168 \times T^2(\text{cm})/R_{50}(\Omega) + 0,016 \times R_{50}(\Omega)$ ; Hommes:  $-10,678 + 0,262 \times \text{poids}(\text{kg}) + 0,652 \times T2(\text{cm})/R_{50}(\Omega) + 0,015 \times R(\Omega)$ ; Panneau du milieu: équation Houtkooper et al.:  $0,61 \times T^2(\text{cm})/R_{50}(\Omega) + 0,25 \times \text{poids}(\text{kg}) + 1,31$ ; Panneau du bas: équation de Kyle et al. [10]:  $4,104 + 0,518 \times T^2(\text{cm})/R_{50}(\Omega) + 0,231 \times \text{poids}(\text{kg}) + 0,130 \times Xc(\Omega) + 4,229 \times \text{sexe}$  (un pour les hommes et zéro pour les femmes).

plat depuis 15 minutes, n'ayant pas bu et n'ayant effectué aucun effort depuis 12 heures au moins. Résistances et réactances sont calculées comme d'usage par ajustement à un modèle Cole-Cole, sur une feuille Excel. La MM est estimée à l'aide des 19 équations publiées dans la littérature [17] (Tableau 1).

### 2.3. Absorptiométrie biphotonique (Dexa)

Les estimations de MM et la masse grasse ont été obtenues par Dexa (Hologic Inc. Waltham, MA, États-Unis). L'appareil est calibré chaque jour avec le kit de calibration standard. Les mesures sont effectuées conformément aux instructions du fabricant. Les données sont analysées en mode manuel selon la procédure standard du fabricant. La précision de la méthode pour la masse grasse corporelle totale et le pourcentage de masse grasse est de 1 % [11].

### 2.4. Analyse statistique

Les valeurs sont exprimées en moyenne  $\pm$  SE sur la moyenne. Une analyse par régression linéaire a été utilisée afin de comparer les valeurs de MM obtenues à l'aide des différentes équations validées d'impédancemétrie et la mesure par Dexa. La bonne concordance entre les valeurs de MM prédites par les équations et les valeurs mesurées par Dexa a été visualisée à l'aide des diagrammes de Bland et Altman correspondants. Sur les diagrammes de Bland et Altman, la moyenne des résultats obtenue par les deux méthodes (considérée comme valeur exacte) est portée en abscisse, tandis que la différence, en valeur absolue, obtenue entre les deux méthodes est portée en ordonnées (estimation de l'erreur de mesure). Le diagramme indique la différence moyenne et les différences expérimentales observées entre les deux méthodes qui pour être acceptables doivent se situer dans l'enveloppe correspondant à  $2\sigma$  (limite d'acceptation de 95 %). La différence moyenne indique une surestimation ou une sous-estimation systématique de la valeur estimée. L'enveloppe de 95 % d'acceptation doit être interprétée en accord avec une différence acceptable concernant les données cliniques correspondantes. Le cas échéant, les deux méthodes comparées peuvent être utilisées indifféremment.

Les effets du sexe, de l'âge et de l'indice de masse corporelle ont été étudiés à l'aide d'une régression linéaire pour voir l'influence de chacune de ces variables sur les différences de valeur de MM obtenues par les deux méthodes. Les seuils de significativité ont été fixés à  $p < 0,05$ .

## 3. Résultats

La comparaison ne sélectionne pas ces formules récentes comme les plus performantes. Elle retient pour l'ensemble de la population la formule de Houtkooper et al. [7] (écart moyen  $-0,96$ ; extrêmes:  $-1,79$  à  $-0,129$ ). Dans l'échantillon des femmes sont retenues: Houtkooper et al. [7]; Kotler et al. [9]; Segal et al. [16]. Pour les femmes de moins de 30 ans: Lohmann [11]. Pour tous les hommes: Lukaski et al. [12]. Pour les sujets d'IMC  $< 25$ : Houtkooper et al.; pour les IMC moyens

(25 à 30): Houtkooper et al. [7]. Pour les IMC  $> 30$  toutes les formules sous-estiment la MM, la moins fautive étant là encore celle de Houtkooper et al. [7]. La Fig. 1 montre les graphes de Bland et Altman pour les trois principales équations.

Pour plusieurs formules, l'erreur est une dérive systématique qu'une correction linéaire de l'équation peut supprimer.

## 4. Conclusion

La Dexa, qui donne des évaluations de masse grasse au gramme près, et est de plus en plus considérée comme une méthode de référence, ne peut pas être utilisée de façon routinière du fait de sa lourdeur et de son coût. L'impédancemétrie, technique de plus en plus répandue, est davantage adaptée à une utilisation large et journalière. Cependant, si les mesures des caractéristiques électriques du corps sont en elles-mêmes très précises, le calcul de la composition corporelle repose sur des équations empiriques dont la validité sur une population donnée n'est pas toujours évidente.

Le développement d'appareils dont les techniques de calcul ne sont pas communiquées par le fabricant rend cette question encore plus difficile. En toute logique, il faudrait savoir quelle équation, validée sur quelle population, est utilisée pour le calcul, ce qui est rarement le cas.

Le développement récent de deux formules validées sur des populations très larges, et en principe très précises au dire des auteurs qui les ont décrites [10,17], suggère que leur utilisation est la solution à ce problème. Nous avons donc voulu les comparer et les tester dans un échantillon de sujets correspondant à notre pratique habituelle, en prenant la Dexa pour référence.

En fait les résultats sont décevants et c'est de façon assez inattendue l'ancienne équation de Houtkooper et al. qui s'avère la plus satisfaisante.

On peut bien sûr discuter de la validité de la Dexa elle-même dans les obésités importantes, puisque le faisceau de photons peut subir dans ce cas des atténuations dans le tissu adipeux qui peuvent biaiser un peu les résultats.

En fait, le principal problème de ces équations usuelles d'impédancemétrie provient de la simplicité du modèle utilisé, comparant l'organisme à un circuit électrique comprenant un élément conducteur (la MM) et un élément isolant (la masse grasse) et calculant le volume du compartiment conducteur à partir des lois classiques de l'électricité en assimilant celui-ci à un cylindre, ce qui est une approximation très grossière qui impose l'usage de facteurs correcteurs qui sont la véritable source d'empirisme et d'erreurs. Le développement actuel de modèles mathématiques plus sophistiqués, comme ceux qui utilisent la théorie de la « mixture » de Hanai, devrait permettre de contourner ces limites des modèles traditionnels en évitant d'avoir recours à une représentation cylindrique du corps humain, forcément inexacte.

Dans l'état actuel de la technique, l'impédance est une méthode qui nous semble satisfaisante, mais nous pensons donc qu'il ne faut jamais faire l'économie d'une réflexion méthodologique sur la validité des équations utilisées sur une population donnée, cette étape semi-empirique constituant à l'évidence le talon d'Achille de cette méthodologie dans son état actuel.

## Références

- [1] Boulier A, Fricker J, Thomasset A-L, Apfelbaum M. Fat-free mass estimation by the two-electrode impedance method. *Am J Clin Nutr* 1990;52:581–5.
- [2] Deurenberg P, Van der Kooij K, Evers P, Hulshof T. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged greater than 60y. *Am J Clin Nutr* 1990;51:3–6.
- [3] Deurenberg P, Van der Kooij K, Leenen R, Westrate JA, Seidell JC. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: a cross-validation study. *Int J Obesity* 1991;15:17–25.
- [4] Dey DK, Bosaeus I, Lissner L, Steen B. Body composition estimated by bioelectrical impedance in the Swedish elderly. Development of population-based prediction equation and reference values of fat-free mass and body fat for 70- and 75-y olds *Eur J Clin Nutr* 2003;57:909–16.
- [5] Haapala I, Hirvonen A, Niskanen L. Anthropometry, bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry in the assessment of body composition in elderly Finnish women. *Clin Phys Physiol Meas* 2002;22:383–91.
- [6] Heitmann BL. Prediction of body water and fat in adult Danes from measurement of electrical impedance. A validation study. *Int J Obesity* 1990;14:417–24.
- [7] Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996;64:436S–48S.
- [8] Jakicic JM, Wing RR, Lang W. Bioelectrical impedance analysis to assess body composition in obese adult women: the effect of ethnicity. *Int J Obesity* 1998;22:243–9.
- [9] Kotler DP, Burastero S, Wang J, Pierson Jr RN. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effect of race, sex, and disease. *Am J Clin Nutr* 1996;64:489S–97S.
- [10] Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 29–94 years. *Nutrition* 2001;17:248–53.
- [11] Lohman TG. Dual-energy X-ray absorptiometry; in Roche A, Hemsfield S, Lohman TG (eds): *Human Body Composition*. Champaign. Human Kinetics 1996:63–78.
- [12] Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GL. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985;41:810–7.
- [13] Mc Dougall D, Shizgal HM. Body composition measurements from whole body resistance and reactance. *Surg Forum* 1986;37:42–4.
- [14] Roubenoff R, Baumgartner RN, Harris TB. Application of bioelectrical impedance analysis to elderly population. *J Gerontol* 1997;52A:M129–36.
- [15] Stolarczyk LM, Heyward VH, Hicks VL, Baumgartner RN. Predictive accuracy of bioelectrical impedance in estimating body composition of Native American Women. *Am J Clin Nutr* 1994;59:964–70.
- [16] Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J, Van Itallie TB. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J Appl Physiol* 1985;58:1565–71.
- [17] Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, Lukaski HC, Schoeller DA, Friedl K, et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr* 2003;77:331–40.
- [18] Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurement. *Lyon Med* 1962;207:107–18.
- [19] Van Loan MD, Mayclin PL. Use of multi-frequency bioelectrical impedance analysis for the estimation of extracellular fluid. *Eur J Clin Nutr* 1992;46:117–24.