

Utilização da Bioimpedância para Avaliação da Massa Corpórea

*Autoria: Associação Brasileira de Nutrologia
Sociedade Brasileira de Nutrição Parenteral e Enteral*

Elaboração Final: 26 de janeiro de 2009

Participantes: Cômodo ARO, Dias ACF, Tomaz BA,
Silva-Filho AA, Werustsky CA, Ribas DF,
Spolidoro J, Marchini JS

O Projeto Diretrizes, iniciativa conjunta da Associação Médica Brasileira e Conselho Federal de Medicina, tem por objetivo conciliar informações da área médica a fim de padronizar condutas que auxiliem o raciocínio e a tomada de decisão do médico. As informações contidas neste projeto devem ser submetidas à avaliação e à crítica do médico, responsável pela conduta a ser seguida, frente à realidade e ao estado clínico de cada paciente.

DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE COLETA DE EVIDÊNCIA:

Foi realizada uma pesquisa sobre o tema bioimpedância na base de dados MEDLINE, seguida de avaliação crítica do conteúdo dos artigos. Além desses artigos, foram consultadas diretrizes internacionais (*guidelines*), com o intuito de padronizar as orientações com os preceitos seguidos atualmente no mundo.

GRAU DE RECOMENDAÇÃO E FORÇA DE EVIDÊNCIA:

- A:** Estudos experimentais ou observacionais de melhor consistência.
- B:** Estudos experimentais ou observacionais de menor consistência.
- C:** Relatos de casos (estudos não controlados).
- D:** Opinião desprovida de avaliação crítica, baseada em consensos, estudos fisiológicos ou modelos animais.

OBJETIVOS:

- Verificar a eficácia da bioimpedância como método de análise corporal e fornecer orientação sobre seu uso em pacientes;
- Estabelecer condições específicas e limitações para o emprego da bioimpedância.

CONFLITO DE INTERESSE:

Nenhum conflito de interesse declarado.

INTRODUÇÃO

A avaliação nutrológica é feita por meio da utilização de indicadores clínicos, antropométricos, instrumentais e laboratoriais. A mesma visa estimar e/ou medir os segmentos distintos do organismo, não só para diagnosticar a deficiência ou excesso de compartimentos orgânicos de determinados nutrientes, como também ser um indicador de risco e da evolução terapêutica em diferentes situações clínicas.

Entre os métodos instrumentais utilizados para tal fim podem ser destacados os radiológicos, os relacionados com a utilização do ultrassom e aqueles que estimam os compartimentos orgânicos por meio da medida da passagem de uma corrente elétrica pelo corpo. Nesta situação, mede-se o efeito da passagem da corrente elétrica e o respectivo efeito causado sobre as células do corpo, conhecido como bioimpedância (*Bioelectrical Impedance Analysis*).

A presente diretriz avalia a aplicabilidade da bioimpedância como instrumento útil na avaliação dos diferentes compartimentos de nutrientes, do organismo, em pacientes específicos.

A bioimpedância é um método não-invasivo, indolor, livre de radiação, rápido, seguro e simples, capaz de estimar clinicamente a composição do organismo. O aparelho necessário para tal medida é relativamente barato, portátil e, por ser de pequeno porte, pode ser transportado para uso em diferentes locais, tanto ambulatorialmente como intra-hospitalar. É, portanto, também muito mais acessível do que outros métodos sofisticados, como DXA (*Dualenergy X-ray Analysis* - absorciometria por dupla emissão de raios X) ou TOBEC (*Total Body Electrical Conductivity* - condutividade elétrica corpórea total).

A bioimpedância é um método relativamente preciso, que consiste na passagem pelo corpo de uma corrente elétrica de baixa amplitude e alta frequência. Isso permite mensurar a resistência (R) e a reatância (Xc). A partir dos valores de R e Xc são calculados a impedância (Z) e o ângulo de fase (PhA), estimada a água corporal total (TBW), além da quantidade de água extracelular (ECW) e intracelular (ICW). A seguir, a massa livre de gordura (FFM) pode ser calculada, assumindo que a TBW é uma parte constante da FFM. Então, a massa de gordura corporal (BF) e a massa de células corporal (BCM) podem também ser mensuradas. Também se deve considerar que a

bioimpedância trata-se de um método de composição corporal considerado descritivo, ou seja, os compartimentos corporais são estimados por meio de derivação estatística, a partir de comparação com outros métodos considerados padrão-ouro, como o DXA ou pesagem subaquática. Os únicos dados que são derivados diretamente da R e Xc são a impedância e o ângulo de fase.

DIFERENÇAS ENTRE OS APARELHOS

Há diversos tipos de aparelhos disponíveis: existem aqueles que variam entre o número de eletrodos e a posição em que são colocados, podendo ser essas posições pé-mão, pé-pé ou

mão-mão. Esquemas mão-mão ou pé-pé, em geral, são utilizados em aparelhos domésticos, pela sua maior facilidade de uso. Os aparelhos de bioimpedância também podem ser classificados quanto à região do corpo submetida ao exame ou tipo de frequência utilizada. Quanto à região examinada, pode ser considerada regional, quando a corrente atravessa apenas a porção superior ou inferior do corpo (como, por exemplo, mão-mão ou pé-pé); total (a corrente atravessa todo o corpo) ou segmentar (apenas um segmento corporal ou membro é avaliado). Quanto ao tipo de frequência utilizada, a bioimpedância pode ser considerada de frequência única (50 kHz) ou multifrequencial (frequências de 5 a 1000 kHz).

Tabela 1¹²(D)

Exemplo de equações usadas em indivíduos saudáveis

População	Estudo	Cálculo*	Equação
Adultos saudáveis entre 18 a 94 anos	Kyle et al. ¹⁵ (B)	FFM	-4,104 + 0,518 x alt ² /R ₅₀ + 0,231 x peso + 0,130 x Xc + 4,229 x sexo
Indivíduos saudáveis entre 35 e 65 anos	Heitmann ¹⁶ (B)	BF	14,94 - 0,079 x alt ² /R ₅₀ + 0,818 x peso - 0,231 x alt - 0,064 sexo x peso + 0,077 x idade
Indivíduos saudáveis	Deurenberg et al. ¹⁷ (B)	TBW	6,69 + 0,34573 x alt ² /Z ₁₀₀ + 0,17065 x peso - 0,11-x idade + 2,66 x sexo
Indivíduos saudáveis	Deurenberg et al. ¹⁷ (B)	ECW	2,30 + 0,19528 x alt ² /Z ₁ + 0,06987 x peso - 0,02 x idade
Homens saudáveis entre 23 e 53 anos	De Lorenzo et al. ¹⁸ (B)	ICW	12,2 + 0,37065 x alt ² /R _{icw} - 0,132 x idade + 0,105 x peso
Homens saudáveis	Kotler et al. ⁵ (B)	BCM	0,76 x (59,06 x Alt ^{1,6} /X _{cp50} ^{0,5}) + 18,52 x peso - 386,66

alt²/R50 = Altura² / Resistência a 50 kHz; Xc: Reactância; Z₁₀₀ = Impedância a 100 kHz; Z₁ = Impedância a 1 kHz; R_{icw} = Resistência intracelular; X_{cp50} = Reactância paralela a 50 kHz; Sexo = usa-se o valor 1 para homens e 0 para mulheres

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Muitos estudos têm sido realizados validando a bioimpedância. A bioimpedância tem uma variabilidade menor em sua estimação que os outros métodos simples (“*skinfold*”, IMC – Índice de Massa Corporal), sendo portanto recomendada¹(B). Porém, a acurácia da bioimpedância depende de equações validadas para cada população específica²⁻¹⁰(B)¹¹⁻¹⁴(D), como pode ser observado na Tabela 1.

São sugeridas equações para diferentes situações específicas^{3,5,7,10}(B)^{11,12,14}(D). É possível o uso de uma única equação para estimar a FFM em indivíduos caucasianos, saudáveis,

com idades entre 22 e 94 anos e IMC entre 17 e 34 kg/m² (Tabela 2)¹⁵(B). Deve-se considerar, também, que estas fórmulas devem ser validadas para diferentes etnias, vivendo em condições climáticas e alimentares diferentes.

A bioimpedância pode ser usada como uma ferramenta para medir FFM na população pediátrica⁸(B).

A associação com doenças também tem sido alvo de muitas pesquisas atuais. Os pacientes portadores de HIV devem ter uma medida inicial da bioimpedância para poder detectar mudanças significantes em sua composição corporal¹⁹(D). Novas medidas devem ser realizadas com

Tabela 2¹³(D)

Equações usadas para o cálculo da massa livre de gordura do corpo (FFM)

Estudo	População	Equação	R ² *	SEE*
Kyle et al. ¹⁵ (B)	Adultos entre 18 e 94 anos	$-4,104 + 0,518 \times \text{alt}^2/\text{R50} + 0,231 \times \text{peso} + 0,130 \times \text{Xc} + 4,229 \times \text{sexo}$	0,97	1,8
Kotler et al. ⁵ (B)	Adultos saudáveis entre 30 e 49 anos	Mulheres: $0,07 + 0,88 \times (\text{alt}^{1,97}/Z_{50}^{0,49} \times 1/22,22) + 0,081 \times \text{peso}$	0,71	2,6
Kotler et al. ⁵ (B)	Indivíduos saudáveis entre 12 e 94 anos	Homens: $0,49 + 0,50 \times (\text{alt}^{1,48}/Z_{50}^{0,55} \times 1/1,21) + 0,42 \times \text{peso}$	0,92	3,2
Jakicical et al. ²⁰ (B)	Mulheres entre 25 e 45 anos com sobrepeso	$2,68 + 0,20 \times \text{alt}^2/\text{R50} + 0,19 \times \text{peso} + 2,55 \times \text{etnia (Caucasianos} = 0; \text{Afro-americanos} = 1) + 0,1157 \times \text{alt}$	0,65	8,8
Roubenoff et al. ²¹ (B)	Idosos	$5,741 + 0,4551 \times \text{alt}^2/\text{R50} + 0,1405 \times \text{peso} + 0,0573 \times \text{Xc} + 6,2467 \times \text{sexo}$	0,72	3,4
Schaefer et al. ²² (B)	Pacientes pediátricos	$0,65 \times (\text{alt}^2/Z_{50}) + 0,68 \times (\text{idade em anos}) + 0,15$	975	2,3

* = Comparados ao DXA. SEE = Erro padrão de estimativa; alt²/R50 = Altura² / Resistência a 50 kHz; Xc = Reactância; Z₅₀ = Impedância a 50 kHz; Sexo = usa-se o valor 1 para homens e 0 para mulheres.

intervalo de 6 a 12 meses, ou mensalmente, em casos de pacientes com perdas importantes de peso que estão recebendo terapia nutricional e medicações. Valores de ângulos de fase (PhA) de baixo valor ou que diminuem com a evolução clínica têm sido demonstrados como importantes preditores do prognóstico em infecção por HIV, hemodiálise e diálise peritoneal, doenças do fígado e pacientes idosos^{11,19}(D).

O tronco contribui com aproximadamente 50% da massa condutiva, mas somente 10% da bioimpedância corporal total²³⁻²⁵(B). O IMC influencia a distribuição do vetor de impedância padrão em mulheres obesas com alteração da composição corporal, as quais podem ser identificadas e monitoradas usando o vetor bioimpedância²⁶(B). Pode-se estimar de maneira localizada a gordura num segmento abdominal bem definido, com correlação linear entre gordura subcutânea e bioimpedância na cintura²⁷(B).

Os aparelhos que utilizam múltiplas frequências (MF-BIA – *Multi Frequency BIA*) têm melhor correlação com DXA do que os que utilizam apenas uma frequência (SF-BIA – *Single Frequency BIA*), porém os dois representam bem a composição do corpo durante a perda de peso²⁸(B). Pode-se também considerar que estudos que utilizam apenas correlação não são os mais adequados quando o objetivo é comparar resultados de dois aparelhos ou métodos. Estudos empregando outras metodologias comparativas podem ser considerados, no futuro, mais adequados.

SOBREPESO E OBESIDADE

A bioimpedância pode estimar a composição corporal de pacientes com sobrepeso, tendo se

demonstrado válida para pacientes com IMC até 34 kg/m². Em obesos mórbidos, a maioria das equações não consegue prever confiavelmente a composição corporal e não são reprodutíveis nos indivíduos durante seu seguimento. A desproporção entre massa corporal e condutividade corporal diminui a acurácia da bioimpedância na obesidade¹¹(D). No entanto, deve-se considerar que, nos casos de obesidade mórbida, a utilização de equações para obesos pode resultar em erros significativos. A seguinte equação¹¹(D) é indicada para estimar a gordura corporal (BF) de obesos brasileiros mórbidos, ou seja: $BF(kg) = 23,25 + (0,13 \text{ idade}) + \text{peso atual} + (0,09 \text{ R50}) - (0,8 \text{ altura})$, onde BF = gordura corporal, idade em anos, peso atual em kg, R50 = 50 kHz resistência e altura em cm).

DIFERENÇAS ENTRE SUJEITOS SAUDÁVEIS E GRUPOS ÉTNICOS

Quando se realiza a bioimpedância, aferem-se os valores de altura, peso e obtêm-se os valores de resistência e condutância (ou reactância) e ângulo de fase. A seguir, é essencial o uso de equações apropriadas de bioimpedância à população de estudo, já que há variações corporais entre os grupos étnicos, sexo e idade^{3,7}(B)¹⁴(D). Como ressaltado anteriormente, ainda são necessários estudos em etnias diferentes, vivendo em condições climáticas diferentes. Estas fórmulas podem ser programadas em planilhas de cálculos ou utilizadas manualmente com o auxílio de calculadores portáteis.

Em casos de perdas de peso decorrentes mudanças fisiológicas, as variações na massa de gordura livre (FFM) e gordura corpórea (BF)

podem ser aferidas pela bioimpedância, contudo, a sua interpretação deve ser cuidadosa, já que as variações menores que 1,5-2 kg são limitadas, devido à precisão do método^{4,29-32}(B)³³(C)³⁴⁻³⁶(D).

CONDIÇÕES EM GRUPOS ESPECÍFICOS E LIMITAÇÕES DA BIOIMPEDÂNCIA

Estudos mostram que podem ser obtidos resultados variáveis e contraditórios pela bioimpedância em várias doenças^{5,6,31,32,37,38}(B). Essas discrepâncias se devem não só às limitações do método, mas também pela própria diferença entre a condutividade do tecido entre indivíduos saudáveis e acometidos por alguma doença^{39,40}(B)¹²(D):

- Pacientes gravemente mal-nutridos ou anoréticos nervosos ($IMC < 16 \text{ kg/m}^2$) têm resultados afetados pelo grau de hidratação corporal e devem ser interpretados com cuidado durante a realimentação;
- Em obesos, a bioimpedância mostra resultados confiáveis em IMC até 34 kg/m^2 , ocorrendo erros de medição consideráveis acima desse índice. A análise bioimpedância em pacientes com sobrepeso e obesidade deve ser cautelosa, pois tende a subestimar a porcentagem de gordura do corpo quando esta é maior do que 25% em homens e 33% em mulheres⁴¹(B);
- A bioimpedância também não é apropriada para situações de hidratação anormal dos tecidos, como nos edemas, ascites ou balanço iônico alterado¹¹(D);
- Em doenças neuromusculares, a bioimpedância requer equações validadas específicas, e o seu uso pode ser recomendado para seguimento a longo prazo³⁹(B);

- O exame de análise da bioimpedância não é apropriado para detecção de mudanças na composição corporal após um programa de perda de peso, porque pequenas alterações fisiológicas na composição corporal podem não ser detectadas com acurácia²(B);
- Doenças que cursam com alterações dermatológicas extensas, como o mixedema no hipotireoidismo, podem invalidar o exame de bioimpedância devido às alterações na resistência elétrica da pele¹¹(D);
- Não foi verificada interferência da bioimpedância em marca-passos e desfibriladores, mas há a possibilidade do campo criado pela corrente afetá-los. Portanto, recomenda-se monitorização cardíaca nesses casos¹¹(D), e na impossibilidade de monitorização, a bioimpedância deve ser contraindicada.

PACIENTES PEDIÁTRICOS

Por ser um método considerado seguro, a bioimpedância pode ser usada também em pacientes pediátricos.

Estudos realizados com crianças com idade superior a 5 anos demonstram que quando comparada à DXA (considerado padrão-ouro para estimar a massa livre de gordura), a bioimpedância se mostrou uma alternativa válida para medida da composição corpórea das crianças^{8,9,42}(B).

A medida de BF juntamente com o IMC em populações pediátricas multiétnicas permite mudanças na FM e FFM, que podem ser detectadas e melhoram a habilidade de prever

dislipidemia¹⁰(B). No entanto, deve-se ter em mente que a proporção de água corporal na criança é maior que no adulto e este fato pode dificultar a interpretação dos resultados da bioimpedância.

Assim como nos adultos, em casos de obesidade ou desnutrição extrema, a análise da bioimpedância deve ser realizada com cautela, pois apresenta diferenças de valores quando comparada ao padrão-ouro. No demais casos, valem as mesmas restrições de uso da bioimpedância em adultos^{8,9,42}(B).

Foram avaliadas quatro equações para estimar a massa isenta de gordura em crianças, chegando-se à conclusão de que a fórmula de Schaefer é a mais válida⁹(B) (Tabela 2).

COMO FAZER A ANÁLISE DA BIOIMPEDÂNCIA

Por ser um exame sensível à presença de água no corpo, a análise da bioimpedância deve seguir uma padronização do seu método, a fim de se minimizar os erros de mensuração.

Para isso, devem-se respeitar os seguintes procedimentos¹¹(D):

- Os pacientes devem ter sua altura e peso aferidos no momento do exame;
- O paciente deve estar em decúbito dorsal, descalço e com os membros inferiores afastados, ficando os pés distantes um do outro em cerca de 30 cm. A dificuldade de afastar a coxa de pessoas obesas (mórbidas) deve ser um fator de dificuldade de análise dos resultados. O paciente deve permanecer

em decúbito dorsal em repouso por pelo menos 10 minutos antes do exame;

- O paciente deve retirar objetos de metal presos ao corpo, como anéis e brincos;
- As condições que dizem respeito à posição do corpo e dos eletrodos devem ser respeitadas. Isto é, os eletrodos devem ser uniformemente posicionados;
- O paciente deve suspender o uso de medicamentos diuréticos no mínimo 24 horas antes da realização do teste⁴³(B);
- O consumo de alimentos e bebidas deve ser evitado até 4 horas antes de se realizar o teste⁴⁴(B)^{13,45}(D). Apesar de existir consenso de que o paciente deve estar em jejum de 4 horas e esvaziar a bexiga antes do exame, ainda não há, na literatura, a confirmação de que o jejum por 4 horas seja realmente necessário;
- O exame deve ser feito com o paciente em repouso e a prática de exercícios até 8 horas anteriores não é recomendada^{28,46}(B);
- Medicamentos que cursem com retenção hídrica, se possível, devem ser retirados para a realização do exame.

CÁLCULO

Após a obtenção do peso (P), altura (Alt), resistência (R) e reactância (Xc), aplicando-se as fórmulas expostas nas Tabelas 1 e 2, são estimados os compartimentos corpóreos. Alternativamente, os aparelhos programados com estas fórmulas estimam automaticamente

os diferentes compartimentos. Recomenda-se, no entanto, que as fórmulas utilizadas pelos fabricantes sejam verificadas para se ter certeza de sua adequação. Assim, não se recomenda que os aparelhos automáticos sejam tomados como padrão-ouro, principalmente quando obtêm medidas de segmentos corporais. A impedância (Z) é obtida pela fórmula $\sqrt{R^2 + Xc^2}$ e o ângulo de fase é o arcotangente de Xc/R .

RECOMENDAÇÃO

A bioimpedância é um procedimento não-invasivo, relativamente barato, que não expõe à radiação e pode ser feita em praticamente qualquer situação, em decorrência de sua

portabilidade. A análise da bioimpedância é apropriada em sujeitos saudáveis e portadores de doenças crônicas, desde que com equação devidamente validada e correlacionada com sexo, idade e grupo étnico. Entretanto, a bioimpedância em sujeitos com IMC extremos ou anormalidades de hidratação não é recomendada de rotina.

Dados obtidos em população brasileira, principalmente quando utilizados como padrão-ouro a medida real de diferentes compartimentos, já começam a surgir na literatura⁴⁷(B). Espera-se que em futuro próximo exista número de publicações suficiente para realização de uma diretriz de pessoas saudáveis brasileiras.

REFERÊNCIAS

1. Heitmann BL. Prediction of body water and fat in adult Danes from measurement of electrical impedance. A validation study. *Int J Obes* 1990;14:789-802.
2. Minderico CS, Silva AM, Keller K, Branco TL, Martins SS, Palmeira AL, et al. Usefulness of different techniques for measuring body composition changes during weight loss in overweight and obese women. *Br J Nutr* 2008;99:432-41.
3. Deurenberg P, Wolde-Gebriel Z, Schouten FJ. Validity of predicted total body water and extracellular water using multi-frequency bioelectrical impedance in an Ethiopian population. *Ann Nutr Metab* 1995;39:234-41.
4. Heitmann BL, Kondrup J, Engelhart M, Kristensen JH, Pødenphant J, Høie H, et al. Changes in fat free mass in overweight patients with rheumatoid arthritis on a weight reducing regimen. A comparison of eight different body composition methods. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1994;18:812-9.
5. 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: effects of race, sex, and disease. *Am J Clin Nutr* 1996;64:489S-97S.
6. Corcoran C, Anderson EJ, Burrows B, Stanley T, Walsh M, Poulos AM, et al. Comparison of total body potassium with other techniques for measuring lean body mass in men and women with AIDS wasting. *Am J Clin Nutr* 2000;72:1053-8.
7. Siervo M, Davies AA, Jebb SA, Jalil F, Moore SE, Prentice AM. Ethnic differences in the association between body mass index and impedance index (Ht^2/Z) in adult women and men using a leg-to-leg bioimpedance method. *Eur J Clin Nutr* 2007;61:1337-40.
8. Pietrobelli A, Andreoli A, Cervelli V, Carbonelli MG, Peroni DG, De Lorenzo A. Predicting fat-free mass in children using bioimpedance analysis. *Acta Diabetol* 2003;40:S212-5.
9. Cleary J, Daniells S, Okely AD, Batterham M, Nicholls J. Predictive validity of four bioelectrical impedance equations in determining percent fat mass in overweight and obese children. *J Am Diet Assoc* 2008;108:136-9.
10. Rush EC, Scragg R, Schaaf D, Juranovich G. Indices of fatness and relationships with age, ethnicity and lipids in New Zealand European, Maori and Pacific children. *Eur J Clin Nutr* 2009;63:627-33.
11. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, et al. Bioelectrical impedance analysis – part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004;23:1430-53.
12. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al.

- Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004;23:1226-43.
13. Kushner RF, Gudivaka R, Schoeller DA. Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr* 1996;64:423S-7S.
 14. Deurenberg P, Deurenberg-Yap M. Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Acta Diabetol* 2003;40(Suppl 1):S246-9.
 15. Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–94 years. *Nutrition* 2001;17:248-53.
 16. Heitmann BL. Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study. *Eur J Clin Nutr* 1990;44:831-7.
 17. Deurenberg P, Tagliabue A, Schouten FJ. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Br J Nutr* 1995;73:349-58.
 18. De Lorenzo A, Candeloro N, Andreoli A, Deurenberg P. Determination of intracellular water by multifrequency bioelectrical impedance. *Ann Nutr Metab* 1995;39:177-84.
 19. Wanke C, Polsky B, Kotler D. Guidelines for using body composition measurement in patients with human immunodeficiency virus infection. *AIDS Patient Care STDS* 2002;16:375-88.
 20. Jakicic JM, Wing RR, Lang W. Bioelectrical impedance analysis to assess body composition in obese adult women: the effect of ethnicity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22:243-9.
 21. Roubenoff R, Baumgartner RN, Harris TB, Dallal GE, Hannan MT, Economos CD, et al. Application of bioelectrical impedance analysis to elderly populations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997;52:M129-36.
 22. Schaefer F, Georgi M, Zieger A, Schärer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatr Res* 1994;35:617-24.
 23. Hendel HW, Gotfredsen A, Hojgaard L, Andersen T, Hilsted J. Change in fat-free mass assessed by bioelectrical impedance, total body potassium and dual energy X-ray absorptiometry during prolonged weight loss. *Scand J Clin Lab Invest* 1996;56:671-9.
 24. Das SK, Roberts SB, Kehayias JJ, Wang J, Hsu LK, Shikora SA, et al. Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284:E1080-8.
 25. Tagliabue A, Andreoli A, Comelli M, Bertoli S, Testolin G, Oriani G, et al. Prediction of lean body mass from

- multifrequency segmental impedance: influence of adiposity. *Acta Diabetol* 2001;38:93-7.
26. Guida B, Trio R, Pecoraro P, Gerardi MC, Laccetti R, Nastasi A, et al. Impedance vector distribution by body mass index and conventional bioelectrical impedance analysis in obese women. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2003;13:72-9.
27. Scharfetter H, Schlager T, Stollberger R, Felsberger R, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Assessing abdominal fatness with local bioimpedance analysis: basics and experimental findings. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001;25:502-11.
28. Thomson R, Brinkworth GD, Buckley JD, Noakes M, Clifton PM. Good agreement between bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry for estimating changes in body composition during weight loss in overweight young women. *Clin Nutr* 2007;26:771-7.
29. Vazquez JA, Janosky JE. Validity of bioelectrical-impedance analysis in measuring changes in lean body mass during weight reduction. *Am J Clin Nutr* 1991; 54:970-5.
30. Forbes GB, Simon W, Amatruda JM. Is bioimpedance a good predictor of body-composition change? *Am J Clin Nutr* 1992;56:4-6.
31. Bosaeus I, Johannsson G, Rosén T, Hallgren P, Tölli J, Sjöström L, et al. Comparison of methods to estimate body fat in growth hormone deficient adults. *Clin Endocrinol* 1996;44:395-402.
32. Beshyah SA, Freemantle C, Thomas E, Page B, Murphy M, Johnston DG. Comparison of measurements of body composition by total body potassium, bioimpedance analysis, and dual energy X-ray absorptiometry in hypopituitary adults before and during growth hormone treatment. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 1186-94.
33. Deurenberg P, Weststrate JA, Hautvast JG. Changes in fat-free mass during weight loss measured by bioelectrical impedance and by densitometry. *Am J Clin Nutr* 1989;49:33-6.
34. Deurenberg P, Weststrate JA, Hautvast JG, van der Kooy K. Is the bioelectrical-impedance method valid? *Am J Clin Nutr* 1991;53:179-81.
35. Pennock BE. Sensitivity of bioelectrical impedance to detect changes in human body composition. *J Appl Physiol* 1990;68:2246-7.
36. Mazess RB. Do bioimpedance changes reflect weight, not composition? *Am J Clin Nutr* 1991;53:178-9.
37. Steiner MC, Barton RL, Singh SJ, Morgan MD. Bedside methods versus dual energy X-ray absorptiometry for body composition measurement in COPD. *Eur Resp J* 2002;19:626-31.
38. Smith MR, Fuchs V, Anderson EJ, Fallon MA, Manola J. Measurement of body fat by dual-energy X-ray absorptiometry and

- bioimpedance analysis in men with prostate cancer. *Nutrition* 2002;18:574-7.
39. Bedogni G, Merlini L, Ballestrazzi A, Severi S, Battistini N. Multifrequency bioelectric impedance measurements for predicting body water compartments in Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord* 1996;6:55-60.
40. Pirlich M, Schütz T, Ockenga J, Biering H, Gerl H, Schmidt B, et al. Improved assessment of body cell mass by segmental bioimpedance analysis in malnourished subjects and acromegaly. *Clin Nutr* 2003;22:167-74.
41. Sun G, French CR, Martin GR, Younghusband B, Green RC, Xie YG, et al. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *Am J Clin Nutr* 2005;81:74-8.
42. Eisenkölbl J, Kartasurya M, Widhalm K. Underestimation of percentage fat mass measured by bioelectrical impedance analysis compared to dual X-ray absorptiometry method in obese children. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:423-9.
43. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986;60:1327-32.
44. Gudivaka R, Schoeller D, Kushner RF. Effects of skin temperature on multifrequency bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol* 1996;81:838-45.
45. Heitmann B. Impedance: a valid method in assessment of body composition? *Eur J Clin Nutr* 1994;48:228-40.
46. Liang MT, Norris S. Effects of skin blood flow and temperature on bioelectric impedance after exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:1231-9.
47. Horie LM, Barbosa-Silva MC, Torrinhas RS, Mello MT, Ceconello I, Waitzberg DL. New body fat prediction equations for severely obese patients. *Clin Nutr* 2008;27:350-6.