

신체조성 분석에 있어서 생체전기저항분석을 이용한 방법의 유용성

임 수

서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 내과

Utility of Bioelectrical Impedance Analysis for Body Composition Assessment

Soo Lim

Department of Internal Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seoul National University College of Medicine, Seongnam, Korea

Abstract

People with obesity are at high risk of type 2 diabetes, cardiovascular diseases, and certain types of malignancy. A significant reduction in muscle mass is also associated with increased risk of developing sarcopenia. In general, body composition is affected by several factors, including ethnicity, environment, genetics, and lifestyle patterns. Assessment of body composition is an important tool for maintaining good general health and longevity, and is utilized by physicians and researchers to monitor disease severity and nutritional status. It can also be used to monitor the effectiveness of dietary and drug interventions. Dual energy X-ray absorptiometry is regarded as the gold standard method for analyzing body composition. However, there is an associated risk of a small amount of radiation exposure. In addition, severely obese people are not candidates for this method. Recently, bioelectrical impedance analysis (BIA) has been developed. BIA poses no radiation hazard, is easy applicable and relatively inexpensive. Thus, BIA is widely used in fitness centers as well as in hospitals. Several studies have been conducted to assess the effectiveness of BIA for measuring body composition, but most have focused

Corresponding author: Soo Lim

Department of Internal Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seoul National University College of Medicine, 82 Gumi-ro 173beon-gil, Bundang-gu, Seongnam 13620, Korea, E-mail: limsoo@snu.ac.kr

Received: May 9, 2022; Accepted: May 19, 2022

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2022 Korean Diabetes Association

on subjects of European descent. Of note, body composition differs among ethnic groups: Asians have a greater tendency toward obesity at a lower body mass index than Caucasians. Therefore, an ethnicity-specific approach is required for precise estimation of body composition using BIA. In conclusion, healthcare providers should have a thorough understanding of body composition assessment and the advantages and disadvantages of different measurement methods.

Keywords: Body composition; Fats; Impedance; Muscles; Obesity; Sarcopenia

서론

이상적인 신체조성(body composition)은 전반적인 건강과 장수를 유지하기 위한 핵심 구성 요소이다. 신체조성은 유전, 환경 및 생활 방식을 포함한 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 이에 따라 신체조성평가는 영양전문가가 영양상태를 효과적으로 평가하고 식이중재 중 진행 상황을 모니터링하는 데 필수적인 도구이다. 인간은 나이가 들어감에 따라 지방량(fat mass, FM)의 자연적인 증가와 함께 제지방량(fat free mass, FFM), 특히 뼈와 근육량이 점진적으로 감소한다.

체지방 비율이 높은 사람은 심혈관질환, 2형당뇨병, 여러 유형의 암 및 조기사망 위험이 더 높다. 골밀도의 현저한 감소는 골감소증 및 골다공증을 의미하는 반면, 골격근 질량의 감소는 근감소증 발병의 위험을 증가시킨다. 더욱이, 영양결핍은 다양한 의학적 상태의 영향을 악화시키므로 해결하는 것이 중요하다. 단순 체중 및 체질량지수(body mass index, BMI)의 변화는 FM 및 FFM의 상대적 기여도 또는 질병 위험을 반영하지 못하므로 한계가 있다. 따라서 의사, 영양사, 운동전문가 등 관련 전문가 입장에서는 대상자의 신체조성을 정확히 평가하는 것이 중요하고, 이를 위해 신체조성평가 기기의 기본 원리와 각 기기별 장점과 단점을 잘 이해하는 것이 중요하다.

신체조성평가 시 일반적으로 개인의 총 체질량을 FM과 FFM의 상대적 비율로 나눈다. FFM은 근육, 뼈, 장기, 인대, 힘줄 및 물로 구성된다. 이 중 지방, 근육, 뼈 및 수분의 정량

화는 개인의 건강에 영향을 주는 영양상태의 진단, 관리 및 치료에 매우 유용하다. 신체조성 검사 결과의 활용은 2형당뇨병이 있거나 위험이 있는 과체중 또는 비만 환자의 체중감소에서 근감소증 또는 골다공증 환자의 제지방조직 질량 또는 골밀도의 상당한 증가에 이르기까지 다양하다. 본 논문의 목적은 생체전기저항분석을 이용한 신체조성 분석 방법의 장점과 단점에 대해 정보를 제공하는 것이다.

신체조성평가의 임상적 중요성

비만은 건강과 장수에 악영향을 미치는 것으로 잘 알려져 있다. 특히 고도비만은 심혈관질환, 2형당뇨병, 여러 유형의 암 및 조기사망률의 위험을 증가시킨다[1-3]. 미국에서는 성인의 70% 이상이 BMI에 따라 과체중 또는 비만으로 분류되며, 비만과 관련된 의료비로 연간 1,000억 달러 이상이 지출되는 것으로 알려져 있다[4]. 또한 비만 환자는 코로나바이러스감염증-19(coronavirus disease 2019, COVID-19)에 있어서 입원 및 기계환기의 높은 사용과 유의한 관련이 있는 것으로 보고되었다[5-7]. 이러한 비만은 당뇨병과도 연관이 있고, 당뇨병 또한 중증의 COVID-19와 연관이 있다[8]. 이러한 상황을 고려할 때, 신체조성평가는 비만 진단 및 비만 치료 프로그램에 대한 반응을 모니터링할 때 널리 사용할 수 있다.

또한 평균 수명이 증가함에 따라, 근감소증의 중요성이 대두되고 있다. 운동부족, 영양결핍, 신경계질환, 염증반응, 만성질환 등 다양한 원인으로 근감소증이 생길 수 있다(Fig. 1). 근감소증은 젊고 건강한 인구의 기준보다 2 표준편차(stan-

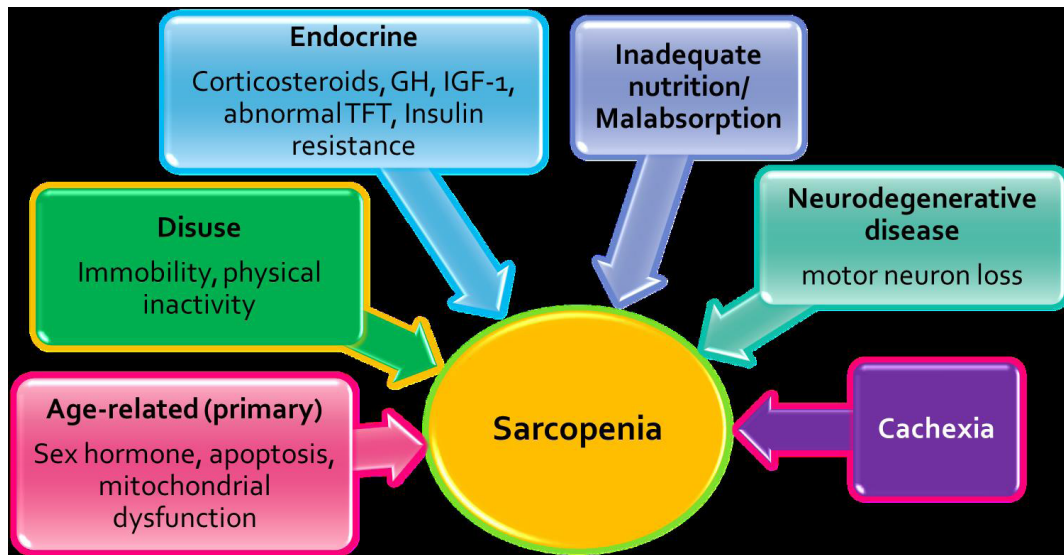


Fig. 1. Various causes of sarcopenia.

GH, growth hormone; IGF-1, insulin-like growth factor-1; TFT, thyroid function test.

dard deviation) 이상 낮은 근육량지수와 함께 FFM의 감소를 특징으로 한다[9,10]. 골격근의 현저한 위축 외에도 근력과 전반적인 신체기능이 동시에 감소하여 부상, 장애 및 사망의 위험이 더욱 증가한다[11]. FFM의 감소와 FM의 증가가 결합된 근감소증 및 근감소성 비만은 모두 노인을 이환율 및 사망률의 더 높은 위험에 노출시키는 중요한 영양 문제로 인식된다[9,12]. 노년층의 낮은 근육량과 과체중 또는 비만의 조합은 신체기능을 현저히 떨어뜨리고, 그 결과 심폐 건강이 저하되고 건강상태가 악화된다[13]. 특히, BMI는 체지방과 근육을 구별하지 않기 때문에, 건강하거나 과체중 범위에 있는 경우 근감소증을 식별하지 못하는 경우가 많다. 신체조성에 대한 정확한 평가를 통해 임상 의들이 최적의 근육 형성을 촉진하기 위해 단백질 섭취 패턴과 신체활동을 보다 효율적으로 처방할 수 있다. 또한 근감소성 비만의 경우 골격근량을 증가시키면서 체지방량을 감소시켜야 하는 두 가지 목표가 존재한다[14]. 임상 의와 영양사는 체중감량 단계에서 상당한 근육량이 손실되지 않고, 체중증가 단계에서 체지방 비율의 상당한 증가가 발생하지 않도록 하기 위한 노력이 필요하다. 이에 따라 지방량과 근육량을 정량화하는 신체조성평가가 매우 중요한 도구로 대두되고 있다.

신체조성 추정 및 정량화 방법

대부분의 신체조성평가 방법은 신체를 지방 성분과 제지방 성분(각각 FM 및 FFM)으로 분리하는 2구획 모델을 기반으로 한다. 역사적으로 수중계체법(hydrostatic weighing)이 표준 평가 기술이었지만 장비, 공간, 전문 지식 및 소요 시간이 참가자의 부담을 높여 대부분의 환경에서 수중계체법을 사용하지 않고 있다. 이에 따라, 이중에너지방사선흡수측정(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)은 현재 선호되는 최적표준 방법이며, 체지방 및 제지방 외에 골무기질 함량을 정량화할 수 있는 이점이 있다. 이외 신체조성평가를 위한 대체 방법에는 피부 주름(skinfolds), 생체전기저항분석(bioelectrical impedance analysis, BIA), 디지털 이미지 분석, 공기이동 체적변화기록법(air displacement plethysmography), 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT) 및 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)과 같은 정교한 영상 기술이 포함된다. 신체조성 기기의 평가에 있어서 측정기기의 정확성, 신뢰성, 접근성, 비용, 사용 용이성, 측정대상자가 느끼는 부담 및 안전성 등이 중요하다.

생체전기저항분석

BIA는 임피던스(impedance) 또는 전류 흐름을 측정하는 방법이며, 개인의 신체를 통과하는 낮은 수준의 전류를 측정하게 된다(Fig. 2). 체수분의 전해질이 이 전류를 전도하기 때문에 전류는 물로 구성된 부분은 쉽게 흐르지만, 지방조직은 전류 흐름에 저항을 유발한다. 제지방조직은 대략 70%가 수분으로 구성되어 있는 반면, 지방조직은 수분이 매우 적다. 따라서 세포내 및 세포외수분을 통한 적절한 수화와 함께 높은 비율의 제지방을 가진 사람은 높은 지방 비율을 가진 사람들보다 더 낮은 저항과 더 큰 반응 측정값을 갖는다. 개인 내에서 측정된 저항과 리액턴스(reactance)의 합은 임피던스 값을 제공한다. BIA는 총 체수분에 극도로 민감하기 때문에 오류를 줄이기 위해 여러 사전 조치가 필요하다(예: 아침에

일어나 있을 때 금식). BIA 장치는 임피던스를 정량화하여 세포 내수분, 세포외수분, 총 체수분, FFM, FM 및 %지방을 추정한다. BIA 장치는 기기에 따라 정확도가 다르다. 일부는 단일 주파수 전류를 사용하는 반면, 최근 향상된 기기는 다중 주파수 전류를 구현하여 다양한 조직에 더 잘 침투하여 더 높은 정확도를 제공한다. 일부 BIA 기기는 전신 FM 및 FFM 측정만 제공하고, 다른 기기는 전신 측정 외에 각 사지 및 몸통의 FM 및 FFM에 대한 부분 평가를 제공하며, 다른 BIA 기기는 추가로 뼈 미네랄 함량 추정치를 제공한다. 또한 특정 BIA 장치에서 제공되는 위상각(phase angle, 리액턴스에 대한 저항의 비율)은 스포츠의학 및 건강관리 측면에서 사용되기도 한다. 이것은 세포막과 조직 사이의 계면에 따라 변할 수 있으며 수분분포, 체세포 질량 및 세포 무결성에 대한 지표로 사용될 수 있다. 참고로 위상각은 영양상태와 연관되어 있어,

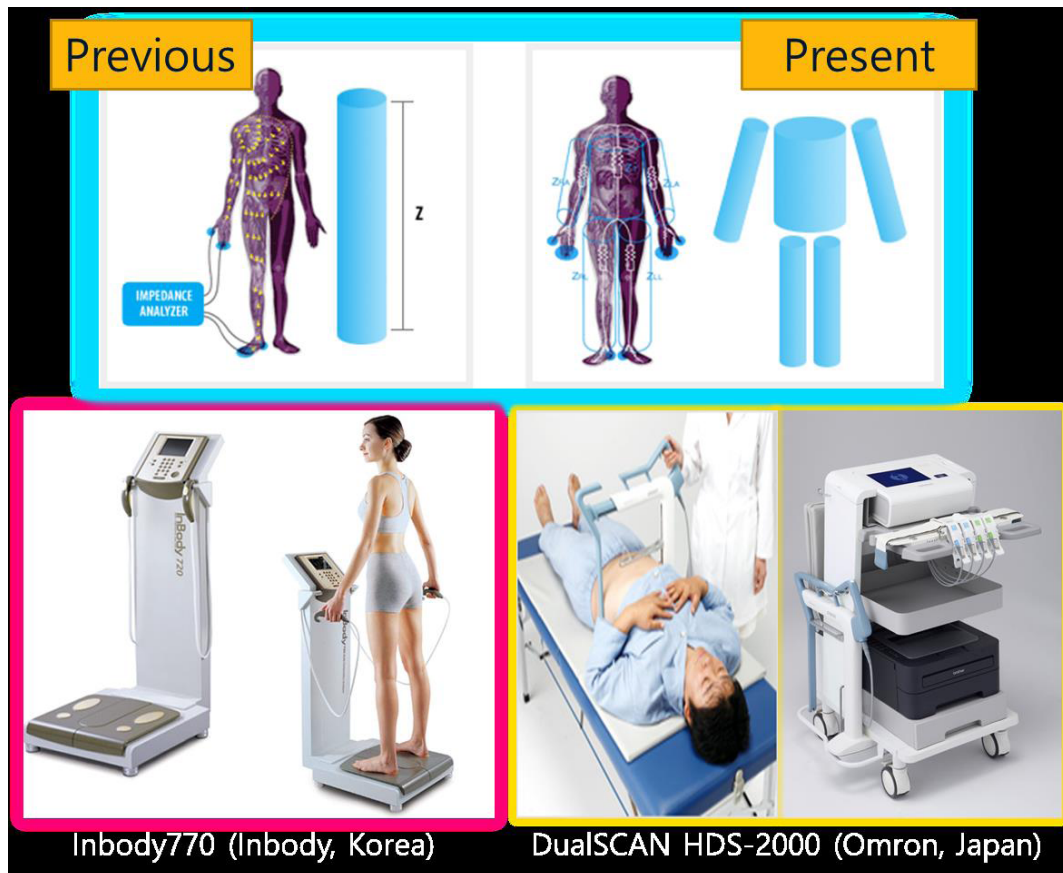


Fig. 2. Progress in bioelectrical impedance analysis (BIA) method (upper panel). The BIA technology has progressed from single segmental to multi-segmental assessment. Two BIA machines for body composition assessment in whole body (lower left) and abdomen (lower right).

일부에서는 영양보충 시 반응 효과를 보는 지표로 사용되기도 한다[15].

주목할 점은 BIA 장비에 따라 정확도와 신뢰도가 많이 다를 수 있다는 점이다. 다수의 연구에서 단일 주파수 및 다중 주파수 장치 모두의 유효성이 입증되었으며, BIA는 대규모 그룹에서 전신 및 분절 신체조성평가를 위해 DXA의 대안으로 사용될 수 있다고 결론지었다[16,17]. 그러나 단일 주파수 장치 및 세그먼트 측정은 DXA와 비교할 때 가장 큰 차이를 보여주며, BMI 수준이 높을수록 정확도가 떨어지는 것으로 보고된다[18-21]. 이전 연구에서는 BIA 척도가 DXA와 비교하여 뼈무기질 함량에 대한 부정확한 추정치를 제공하는 것으로 나타났으며[22], 다른 연구에서는 BIA에서 파생된 뼈무기질 함량이 DXA 대신 다중 구획 모델에서 사용될 수 있음을 보여주었다[23]. 최근에는 전신 BIA 측정기기뿐만 아니라, 복부지방만을 정확하게 측정하고자 고안된 기기도 소개되었다(Fig. 2).

BIA 기기의 정확도는 해당 기기에서 사용하는 회귀식의 영향을 받으며, 많은 제조업체가 해당 제품의 내부 유효성 테스트 중에 파생된 자체 방정식을 사용한다. 그러나 이러한 방정식의 대부분은 일반적이며 다양한 모집단에 대한 특이성은 거의 없다. 마지막으로, 최근의 BIA 기기는 휴대가 가능하지만 임상 및 연구 환경을 위해 설계된 보다 정교한 모델은 기기가 커서 휴대성은 떨어진다[24]. 결론적으로 BIA 장비는 DXA 장비에 비해 상대적으로 저렴하지만 BIA 장비 간의 정확도 및 가격은 기능에 따라 크게 다르다[25-27].

실제 적용

신체조성평가 방법을 선택할 때 고려해야 할 중요한 요소는 정확성, 접근성 및 비용이다. 최고의 정확도와 신뢰성을 얻기 위해서는 관심 조직이나 상태에 가장 적합한 방법을 선택하는 것이 중요하다. 예를 들어, DXA는 골다공증의 진단 및 관리를 위한 골밀도를 정량화하는 데 최적인 반면, BIA 또는 DXA는 근감소증, 종말증(cachexia) 또는 근감소성 비만을 식별하기 위한 FFM 및 FM을 정량화하는 데 사용할 수 있다.

또한, BIA는 체중감량 중재에 참여하는 환자와 림프부종이 있거나 발병할 위험이 있는 환자 사이에서 수분상태 및 체액 분포의 상당한 변화를 모니터링하기 위한 이상적인 도구이다. 신체조성평가 방법 중 하나를 사용하여 비만을 식별할 수 있으며, 이러한 일련의 평가 방법은 비만에 대한 체중감량 중재 동안 치료 반응을 추적하는 데 사용할 수 있다. 또한 평균 수명 증가로 인한 노인인구가 증가하고 있는데, 이와 관련되어 근감소증 연구에 BIA 방법으로 측정된 신체조성 결과가 중요하게 사용될 수 있다.

개인이 특정 사전 검사 지침을 따르는 것이 중요하며, 이럴 경우 신체조성평가의 정확도가 최적화된다. 이를 위해 다음과 같은 지침을 지키도록 권장된다.

- 검사 전 8시간 이내에 음식 섭취 금지
- 검사 전 2시간 이내에 물 섭취 금지
- 검사 전 24시간 이내에 운동 금지
- 검사 전 48시간 이내에 알코올 섭취 금지
- 검사 전 최소 30분 이내에 방광·장을 비우도록 한다.

즉 신체조성 측정기기를 이용한 신체조성 측정 시 이러한 조건이 충족되었는지 확인하는 것이 중요하다. 일반적으로 밤새 금식 후 아침에 신체조성평가를 수행하는 것이 좋다. 또한 적절한 수분 섭취는 정확한 평가를 위해 중요하며 소변 색을 확인하여 추정할 수 있다. 소변 색이 짙은 경우 물을 마시고 평가를 받기 전에 30~45분을 기다리도록 권고한다. 신체조성 측정 시 이러한 사전 조치가 정확성을 높이는 데 가장 중요한 요소임에는 틀림없지만, 대상자의 접근성 및 비용도 함께 고려하여야 한다.

결론

본 논문에서 언급한 대로, 현재 통용되고 있는 DXA, BIA와 같은 신체조성평가 기술은 어느 정도 의학적으로 검증된 것이다. 그럼에도 불구하고 앞서 언급한 각 방법에는 한계가 있으며 모든 방법은 다양한 가정에 따라 신체조성 추정치를 제공한다. 그리고 신체조성에서 있어서 정량화가 가능하고 임상적으로 의미 있는 변화가 일어나려면 시간이 걸린다

는 점은 주목할 가치가 있다. 따라서 평가빈도는 개인, 증세 및 달성해야 할 목표에 따라 결정되어야 한다. 요약하면, 신체 조성평가는 개인의 건강에 영향을 미치고 치료 반응에 대한 귀중한 정보를 제공하는 중요한 도구로서, 앞으로 널리 사용될 것으로 보인다.

REFERENCES

- Gómez-Ambrosi J, Silva C, Galofré JC, Escalada J, Santos S, Gil MJ, et al. Body adiposity and type 2 diabetes: increased risk with a high body fat percentage even having a normal BMI. *Obesity (Silver Spring)* 2011;19:1439-44.
- Freisling H, Arnold M, Soerjomataram I, O'Doherty MG, Ordóñez-Mena JM, Bamia C, et al. Comparison of general obesity and measures of body fat distribution in older adults in relation to cancer risk: meta-analysis of individual participant data of seven prospective cohorts in Europe. *Br J Cancer* 2017;116:1486-97.
- Bigaard J, Frederiksen K, Tjønneland A, Thomsen BL, Overvad K, Heitmann BL, et al. Body fat and fat-free mass and all-cause mortality. *Obes Res* 2004;12:1042-9.
- Finkelstein EA, Trogon JG, Cohen JW, Dietz W. Annual medical spending attributable to obesity: payer- and service-specific estimates. *Health Aff (Millwood)* 2009;28:w822-31.
- Dietz W, Santos-Burgoa C. Obesity and its implications for COVID-19 mortality. *Obesity (Silver Spring)* 2020;28:1005.
- Lim S, Shin SM, Nam GE, Jung CH, Koo BK. Proper management of people with obesity during the COVID-19 pandemic. *J Obes Metab Syndr* 2020;29:84-98.
- Lim S, Lim H, Després JP. Collateral damage of the COVID-19 pandemic on nutritional quality and physical activity: perspective from South Korea. *Obesity (Silver Spring)* 2020;28:1788-90.
- Lim S, Bae JH, Kwon HS, Nauck MA. COVID-19 and diabetes mellitus: from pathophysiology to clinical management. *Nat Rev Endocrinol* 2021;17:11-30.
- Andreoli A, Garaci F, Cafarelli FP, Guglielmi G. Body composition in clinical practice. *Eur J Radiol* 2016;85:1461-8.
- Kim KM, Jang HC, Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med* 2016;31:643-50.
- Ganapathy A, Nieves JW. Nutrition and sarcopenia-what do we know? *Nutrients* 2020;12:1755.
- Prado CM, Lieffers JR, McCargar LJ, Reiman T, Sawyer MB, Martin L, et al. Prevalence and clinical implications of sarcopenic obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study. *Lancet Oncol* 2008;9:629-35.
- Hsu KJ, Liao CD, Tsai MW, Chen CN. Effects of exercise and nutritional intervention on body composition, metabolic health, and physical performance in adults with sarcopenic obesity: a meta-analysis. *Nutrients* 2019;11:2163.
- Lim S, Kim JH, Yoon JW, Kang SM, Choi SH, Park YJ, et al. Sarcopenic obesity: prevalence and association with metabolic syndrome in the Korean Longitudinal Study on Health and Aging (KLoSHA). *Diabetes Care* 2010;33:1652-4.
- Campa F, Toselli S, Mazzilli M, Gobbo LA, Coratella G. Assessment of body composition in athletes: a narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients* 2021;13:1620.
- Anderson LJ, Erceg DN, Schroeder ET. Utility of multifrequency bioelectrical impedance compared with dual-energy x-ray absorptiometry for assessment of total and regional body composition varies between men and

- women. *Nutr Res* 2012;32:479-85.
17. Moon JR, Stout JR, Smith-Ryan AE, Kendall KL, Fukuda DH, Cramer JT, et al. Tracking fat-free mass changes in elderly men and women using single-frequency bioimpedance and dual-energy X-ray absorptiometry: a four-compartment model comparison. *Eur J Clin Nutr* 2013;67 Suppl 1:S40-6.
18. Neovius M, Hemmingsson E, Freyschuss B, Uddén J. Bioelectrical impedance underestimates total and truncal fatness in abdominally obese women. *Obesity (Silver Spring)* 2006;14:1731-8.
19. Gába A, Kapuš O, Cuberek R, Botek M. Comparison of multi- and single-frequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in post-menopausal women: effects of body mass index and accelerometer-determined physical activity. *J Hum Nutr Diet* 2015;28:390-400.
20. Chen KT, Chen YY, Wang CW, Chuang CL, Chiang LM, Lai CL, et al. Comparison of standing posture bioelectrical impedance analysis with DXA for body composition in a large, healthy Chinese population. *PLoS One* 2016;11: e0160105.
21. Lukaski HC, Siders WA. Validity and accuracy of regional bioelectrical impedance devices to determine whole-body fatness. *Nutrition* 2003;19:851-7.
22. LaForgia J, Gunn S, Withers RT. Body composition: validity of segmental bioelectrical impedance analysis. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008;17:586-91.
23. Nickerson BS, Tinsley GM. Utilization of BIA-derived bone mineral estimates exerts minimal impact on body fat estimates via multicompartment models in physically active adults. *J Clin Densitom* 2018;21:541-9.
24. 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.
25. Lee DH, Park KS, Ahn S, Ku EJ, Jung KY, Kim YJ, et al. Comparison of abdominal visceral adipose tissue area measured by computed tomography with that estimated by bioelectrical impedance analysis method in Korean subjects. *Nutrients* 2015;7:10513-24.
26. Park KS, Lee DH, Lee J, Kim YJ, Jung KY, Kim KM, et al. Comparison between two methods of bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring abdominal visceral fat area. *J Diabetes Complications* 2016;30:343-9.
27. Lee SY, Ahn S, Kim YJ, Ji MJ, Kim KM, Choi SH, et al. Comparison between dual-energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring whole body muscle mass and appendicular skeletal muscle mass. *Nutrients* 2018;10:738.