체성분 분석의 최신 접근법

김중우, 이선영*

인제대학교 상계백병원 가정의학과

Current Methods of Human Body Composition Assessment

Jongwoo Kim, Seon Yeong Lee*

Department of Family Medicine, Sanggye-Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Seoul, Korea

The present study reviews recently developed and commonly used methods for determination of body composition in vivo with relevance for nutritional assessment. Body composition measurement methods are continuously being improved, with the most commonly used methods being bioelectrical impedance analysis, dual energy X-ray absorptiometry, computed tomography, and magnetic resonance imaging or magnetic resonance spectroscopy. Recent developments include three-dimensional photonic scanning, quantitative magnetic resonance, and air displacement plethysmography. Collectively, these techniques allow for the measurement of fat, fat-free mass, bone mineral content, total body water, extracellular water, total adipose tissue and its subdepots (visceral, subcutaneous, and intermuscular), skeletal muscle, select organs, and ectopic fat depots.

Key words: Body composition, Measurement, Method, Obesity

서론

세계보건기구에서는 비만을 신체에 과다한 지방이 축적되어 건강과 참살이(well being)에 나쁜 영향을 주는 것으로 정의하고 있다. 비만은 전 세계적으로 가파르게 증가하며 여러 지역 다양한 인구집단의 건강을 위협하는 중요한 질환이 되었다. 비만과 동반되는 질환에는 관상동맥질환, 고혈압, 뇌졸중, 일부의 특정암, 2형 당뇨병, 이상지질혈증 및 수면무호흡을 포함하는 폐질환 등이 있다.^{1,2} 전통적으로 쉽게 비만을 평가하는 방법으로 체질량지수, 허리둘레 등의 신체계측법이 이용되어 왔으나, 이 계측치는 심뇌혈관질환 발생에 영향을 미치는 여러 가지 대사지표와의 관련성이 일정하지 않다. 따라서 체지방량 또는 체지방률을 직간접적으로 측정하여 비만의 정도를 정확하게 가늠하는 것이 임상적으로 더 중요하다. 이를 위해 임상적으로 가장 널리 사용되고 있는 대표적인 방법은 생체전기저항분석법(bioelectrical impedance analysis, BIA)이다. BIA는 조직의 생체 특성에

따른 전기 전도성의 차이를 이용하여 신체구성을 예측하는 방법인데, 전기전도성은 수분과 전해질량에 비례하며 세포의 형태가 원형에 가까울수록 감소하게 된다. 지방조직은 원형의 세포로 이루어져 있으며, 수분이 근육 등 다른 조직에 비해 상대적으로 적게 함유되어 있으므로 지방량이 증가할수록 전기전도성은 감소한다.³ BIA는 자체개발된 회귀식을 통해 내장지방의 면적을 자동으로 도출하여 보여주며^{4,5}, 체지방량의 정확한 측정에 적합하다는 다수의 보고가 있다.⁶⁻⁸

아울러 최근에는 총 체지방량 보다는 내장지방의 양이 비만으로 인한 대사적 합병증 발생에 더 주요하게 작용하는 것으로 밝혀지고 있으며, 내장지방의 정확한 측정 지표를 선정하기 위한 여러 연구 결과들도 보고되어 있다. 복부내장지방량을 정확하게 측정하기 위해 현재 사용되고 있는 computed tomography (CT)는 내장지방과 피하지방을 명확히 분리하여 측정할 수 있는 장점이 있으나, 방사선 노출의 위험이 높고 비용이 많이 든다는 단점이 있다.^{9,10} magnetic resonance imaging (MRI)도 CT와 유사하게 내장지방량을 정확히 측정

Corresponding author Seon Yeong Lee <http://orcid.org/0000-0002-8274-3654>
 Department of Family Medicine, Sanggye-Paik Hospital, College of Medicine, Inje University,
 1342 Donggil-ro, Nowon-gu, Seoul 01757, Korea
 Tel +82-2-950-1150 Fax +82-2-952-4093 E-mail sylee@paik.ac.kr

Copyright © 2015 Korean Society for the Study of Obesity

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

할 수 있으면서 방사선 노출이 없다는 장점이 있으나, 높은 비용과 접근성의 문제가 있다. 그 외에도 dual energy X-ray absorptiometry (DEXA)는 체지방에 대한 절대 표준 측정법으로서 비교적 정확하게 체구성을 측정할 수 있으므로 임상에서 활발하게 이용되고 있다. 이 측정법은 방사선 노출이 매우 적고, 검사에 소요되는 시간이 짧으며, 측정자 및 수검자 모두 이용이 편리한 장점을 갖고 있다.¹¹ 특히 DEXA는 피하지방과 내장지방을 직접적으로 구분할 수는 없으나, 몸통지방량을 이용하여 내장지방량을 추정할 수 있고, CT로 측정된 내장지방면적과도 유의한 상관성이 있는 것으로 보고되었다.¹² 또한 내장지방 외에도 팔, 다리 지방량과 근육량도 임상적으로 의미가 있다는 보고가 많고, 체지방량의 증가 없이 근육량만 감소하는 근육감소형 비만(sarcopenic obesity)도 최근 주목 받고 있어 DEXA의 측정도움이 되고 있다.

체성분 계측 시 가장 중요한 것은, 평가하고자 하는 임상적인 목표가 무엇인지 구체적으로 설정하는 것이다. 또한 정확하게 체성분을 계측하고 분석할 수 있어야 수검자의 영양상태 및 질병상태에 대한 정확한 평가가 가능하므로, 임상적으로 적용할 수 있는 다양한 체성분 분석법의 특징 및 장단점을 숙지하는 것은 매우 중요하다. 이에 본 중설에서는 현재까지 개발되어 임상에서 사용 가능한 다양한 체성분 분석 방법들을 소개하고, 각 방법들이 개발된 이론적 배경 및 각각의 특성에 대해 정리해 보고자 한다.

본 론

1. 신체구획모델

다섯 단계별 구획모델(five-level model)¹³은 신체의 구조적 틀을 구획별로 나누어 평가하는 연구에 적용 가능하도록 고안된 개념이다

Table 1. Representative multicomponent models at the 5 body composition levels

Level	Body composition model	Number of components
Atomic	BM=H+O+N+C+Na+K+Cl+P+Ca+Mg+S	11
Molecular	BM=FM+TBW+TBPro+Mo+Ms+CHO	6
	BM=FM+TBW+TBPro+M	4
	BM=FM+TBW+non-fat solids	3
	BM=FM+Mo+residual	3
	BM=FM+FFM	2
Cellular	BM=cells+ECF+ECS	3
	BM=FM+BCM+ECF+ECS	4
Tissue-organ	BW=AT+SM+bone+visceral organs+other tissues	5
Whole body	BW=head+trunk+appendages	3

AT, adipose tissue; BCM, body cell mass; BM, body mass; CHO, carbohydrates; ECF, extracellular fluid; ECS, extracellular solids; FFM, fat-free mass; FM, fat mass; M, mineral; Mo, bone mineral; Ms, soft-tissue mineral; SM, skeletal muscle; TBPro, total body protein; TBW, total body water.

(Table 1).¹⁴ 두 구획모델 (two-compartment [2C] model)은 전신을 지방량(fat mass)과 제지방량(fat-free mass)으로 나누며, 신체구성성분을 측정하는 데 가장 폭넓게 사용되는 접근법이다. Behnke 등¹⁵에 의하면 2C 모델에서 제지방량을 구성하는 요소는 수분, 단백질 및 무기질이다. 2C 모델은 단순하므로 많이 사용되는 개념이지만, 제지방량이 급속하게 변화하는 성질 발육기의 영유아 및 소아에서는 그 정확성에 한계가 있어 적용하기 어렵다. 이러한 경우 체중, 총신체체적(total body volume), 총신체수분량(total body water) 및 골무기질(bone mineral)의 측정을 기본으로 하는 네 구획모델(four-compartment [4C] model)을 적용할 수 있으며, 4C 모델은 새로운 체성분 분석 방법이 개발될 때 그 신뢰도 및 타당도 평가에도 많이 사용된다.

2. BIA와 bioimpedance spectroscopy (BIS)

BIA는 2C 모델에 근거하여 개발된, 현재 임상에서 가장 많이 사용되고 있는 계측법이다. BIA는 수분과 전해질 함량에 따른 전기전도성의 차이를 이용하여 수분을 포함한 조직량 및 수분이 없는 조직량을 구분할 수 있으며, 수분이 없는 조직 중 지방량을 측정해 낼 수도 있다.¹⁶ 저주파(~1 kHz) 전류는 세포외액(extracellular water, ECW)만을 통해 흐를 수 있으나, 고주파(~1 MHz) 전류는 세포내액(intracellular fluid, ICF)을 통해서도 흐를 수 있다. 단주파 생체전기저항분석법(single-frequency, SF-BIA)에서는 보통 50 kHz의 전류를 이용하며, 이 때 측정된 저항값은 주로 ECW만을 반영하게 되는데, 다주파 생체전기저항분석법(multifrequency BIA) 또는 BIS의 경우 넓은 범위의 주파수를 가진 전류를 이용하므로 ECW, ICW, 전체수분량(total body water, TBW)을 분리한 측정이 가능하다는 장점이 있다.¹⁷ 따라서 SF-BIA에 비해 수분섭취, 배뇨상태, 생리주기, 체내 수분량의 일중변동 등에 의한 영향이 비교적 적은 것으로 알려져 있다.¹⁸ 특히 다주파 생체전기저항분석법(~300 kHz)을 이용하면 SF-BIA에서는 측정이 불가능한 하지 골격근량을 구할 수 있다.¹⁹ 또한 BIS는 ECW와 ICF의 분포면적을 정확히 구분하여 총 체세포량(body cell mass, BCM)의 측정도 가능하게 한다. 그러나 BIA는 인체를 단순한 5개의 원통기둥(좌우 상하지 및 몸통)으로 구분하여 측정하는 방법이라는 점, 통계적인 표준 정도에 따라 비율을 계산해 내도록 고안되어 있으므로 표준에서 벗어나는 경우 적용이 어렵다는 점, 수분의 측정이 중요한 인자이므로 수분섭취량, 배설량, 측정 당시의 온도 및 습도에 영향을 받게 된다는 점 등의 한계를 가지고 있는 측정법이다. 또한 BIS를 이용하여 측정된 제지방량(fat-free mass, FFM)은 정상 체중군에서 과소평가 되고, 비만군에서는 과대평가되는 경향이 있다는 보고도 있다.²⁰

3. Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA)

현재까지 임상에서 사용되고 있는 분석 방법들 중 가장 재현성이

종고 정확도가 높은 것으로 인정되는 방법이다. 두 개의 에너지 수준에 차이가 있는 저용량의 방사선을 사용하여 각각의 방사선이 투과되는 정도의 차이를 가지고 지방과 연조직을 구분해내고 뼈의 단단한 밀도까지 계산해 낼 수 있어 제지방량 중 근육량과 골량을 측정할 수 있는 검사방법이다. 전신 DEXA를 촬영한 후 전체 몸을 머리, 몸통, 골반, 상하지로 구획을 나누어 측정한다. 사용자와 수검자 모두 편하게 검사를 진행할 수 있고 방사선 피폭량이 매우 적은 편이어서 비교적 안전하게 검사를 할 수 있으며 검사 결과의 신뢰도가 높아서 좋은 검사법으로 인정받고 있다. 하지만 방사선 노출 위험이 적다고는 하나 임신부에서의 안전성이 확보되지 않았으므로 사용을 금하는 것이 좋고, 고도 비만의 경우 엑스선 투과의 정확도가 떨어져서 결과에 오차가 생길 우려가 있다. 처음 얻어진 영상검사결과를 가지고 신체의 부분을 각 구획으로 나눌 때 초고도비만이거나 극도로 몸이 마른 경우에는 측정 구획을 벗어나는 경우가 있을 수 있어서 해석에 주의가 필요하다.²¹

4. Quantitative computed tomography (QCT)

QCT는 체성분 중 골량을 가장 실제와 유사하게 측정할 수 있는 측정법이다. 골밀도를 부피의 형태로 측정하여 보여주며, 특히 골 성분에 따른 구분(trabecular and cortical component)이 가능하다는 장점이 있으나, 전신 영상을 스캔할 경우 고용량의 방사선에 노출될 우려가 있다. 최근에는 골 생역학이나 미세구조에 대한 분석을 위해 3차원 고해상도 말초 QCT를 이용한 연구가 시행되고 있다.^{22,23}

5. Air displacement plethysmography (ADP)

수중밀도법(underwater weighing)과 동일한 원리로 체성분의 밀도를 측정하는데 물 대신 공기를 사용하는 방법이다. 수중밀도법의 정확도를 재현하는 데 성공한 것으로 알려져 있으며 성인, 소아 등 거의 모든 연령대와 비만 정도에 따라서도 모두 체성분 측정에 성공적인 결과를 보여주었다고 보고된 바 있다. 이 측정법은 현재 BODPOD (Life Measurement Inc., Concord, California, USA)이라는 명칭으로 출시되어 사용되고 있으며, 6개월 미만 영유아에서 적용 가능한 PEAPOD (Life Measurement Inc., Concord, California, USA)도 개발되어 있다. 수중밀도법을 이용한 측정에 비해 매우 간단하고 편리하며 안전한 방법이므로 임상에서 적용이 가능할 것으로 보였으나, 현재까지 사용되고 있는 다른 방법들에 비해 아직까지는 번거롭고, 역시 개인 진료실에서 사용하기에는 기기의 가격이나 방법이 만만치 않아 널리 사용되고 있지는 않다.²¹ 그러나 더 간단하게 개선된 측정법이 개발되어 임상적용이 시도되고 있으므로, 사용의 편의성이나 가격 경쟁력이 갖춰진다면 충분히 효용가치가 있을 것으로 사료된다.

6. 3차원 광자촬영법(Three-dimensional photonic scanning, 3DPS)

효과적인 체형분석을 위해 개발된 장비이며, 실제 체형 및 각 신체 부위별 개별 부피측정이 가능하다는 점이 가장 큰 장점이라 할 수 있다. Wang 등²⁴은 3차원 광자촬영법을 이용하여 구한 체측값을 수중밀도법 및 직접 신체계측을 이용해 측정한 값과 비교 연구한 바 있는데, 그 결과 체지방률은 거의 차이가 없었으나 수중밀도법의 측정치에 비해 총 체적(body volume)이, 직접 측정한 측정치에 비해 각 신체 부위별 둘레값이 다소 과대평가되는 경향을 보였다. 특히 인체모형을 대상으로 한 측정 시연에서 복장 착용 상태에 따른 측정오류가 발생하였으므로, 임상연구에 이용할 때에는 반드시 탈의한 상태로 검사를 시행하여야 한다. 이 측정법을 이용하여 체형과 여러 대사지표들과의 상관성을 분석하였던 UK National Sizing Survey²⁵의 결과, 체지방지수와 가장 연관성이 있는 지표는 남자에서 가슴둘레, 허리둘레였으며, 여자에서는 엉덩이둘레였다. 또한 연령 증가에 따라 성별 체형 차이가 점차 감소하는 경향을 보였다. 3차원 광자촬영법을 이용한 연구가 앞으로 활발히 진행되면 심혈관계 위험인자의 예후를 정확하게 예측할 수 있고, 각 대사지표가 반영된 특징적인 체형의 분류가 가능하게 되므로, 그 임상적용이 매우 기대되는 방법이다.

7. MRI 및 Magnetic resonance spectroscopy (MRS)

MRI는 CT와 마찬가지로 비교적 지방량을 정확히 측정할 수 있다는 점과 함께 방사선 노출이 없다는 장점이 있다. 특히 MRI를 이용한 체성분 분석은 내장지방, 피하지방 및 근육간 지방량을 정확히 구분해 낼 수 있으므로, 각각의 지방조직이 대사지표의 변화에 미치는 영향들에 대한 가장 많은 연구가 진행되고 있는 방법이며²⁶, 최근에는 이를 이용한 심장외막지방량에 대한 활발한 연구들도 시행되고 있다.^{27,28} 그러나 장비가 고가이며 검사시간이 오래 걸리고, 폐쇄공포증, 고도비만 환자에게 적용하기 어렵다는 제한점이 있다. 또한 conventional MRI는 근육내 수분과 지방함유량을 정확히 구분할 수 없는 단점이 있는데, 이를 개선한 장비가 proton magnetic resonance spectroscopy (1H-MRS)와 31P-MRS이다. 1H-MRS를 이용하면 인슐린저항성 발생 초기단계부터 발생하는 간 및 근육내 지방량의 미세한 변화를 조기에 감지할 수 있으며, 노화에 따른 대사질환의 악화에 선행하는 근섬유내 지방량의 변화도 정확하게 측정하는 것이 가능하다.^{29,30} 또한 비만 환자에서 심혈관질환이나 당뇨병이 발생하기에 앞서, 심근내 미세지방축적이 선행된다는 보고³¹가 있는 만큼, 1H-MRS를 이용하여 이러한 미세한 지방축적의 변화를 조기에 선별해 낸다면 심혈관질환 발생에 대한 적극적인 일차예방이 가능하게 될 것이다.

Table 2. The characteristics of available methods for measuring body composition

Method	Primary measurements	Advantages	Disadvantages
BIA/BIS	TBW, extracellular and intracellular fluid spaces	Inexpensive, portable, simple, safe, fast	Population specific, poor accuracy in individuals and groups
DEXA	Total body fat, lean mass, regional body fat, bone mineral content and BMD	Easy to use, low radiation exposure, accurate for lean and fat mass of limb	Biased by body size, sex, fatness; specialized technician required to operate
QCT	Specific regional bone density	High accuracy and reproducibility	High radiation exposure, expensive
Dilution techniques	TBW and extracellular fluid	Acceptable in all age groups, easy to administer isotopes	Inaccurate if used in disease states, expensive, labor for analyses
Air displacement plethysmography	Total body volume and total body fat	Relatively high accuracy, fast	Reduced accuracy if used in disease states, expensive
Three-dimensional photonic scanning	Total and regional body volume	Acceptable in extremely obese persons, easy to use, suitable for both research and clinical applications	Few scanners available thus far
QMR	TBW and total body fat	Easy to use, safe, fast	Expensive, few systems available thus far
MRI/MRS	Total and regional adipose tissue, skeletal muscle, organs, lipid content in liver and muscle	High accuracy and reproducibility for whole body, regional adipose tissue and skeletal muscle	Expensive

BIA, bioelectrical impedance analysis; BIS, bioimpedance spectroscopy; BMD, bone mineral density; DEXA, dual energy X-ray absorptiometry; MRS, magnetic resonance spectroscopy; QCT, quantitative computed tomography; QMR, quantitative magnetic resonance; TBW, total body water.

8. Quantitative magnetic resonance (QMR)

조직별 화학적 분자구조의 차이 분별이 가능한 QMR이 개발되면서, 내장지방의 구분 측정이 더욱 정확해지고 있다. 현재 EchoMRI (Echo Medical Systems, Houston, Texas, USA) 라는 명칭으로 출시되어 사용되고 있다. 이를 이용한 연구는 아직 많지 않으며, 최근 연구³²에서 문제점으로 지적되었던 지방량의 과대평가 및 체지방량의 과소평가 가능성을 기술적으로 개선하려는 노력이 현재 진행중이다. QMR은 매우 간편한 비침습적 체성분 측정법이며, 전신에 대한 측정이 3분 내에 끝난다는 장점이 있어 그 활용이 기대되는 방법이다.

결 론

지금까지 정리해 본 다양한 체성분 분석방법들의 특성 및 장단점들이 Table 2에 요약 정리 되어 있다.³³ 아직까지는 어떠한 방법도 장기 및 조직별 특성을 완벽하게 반영하지 못하는 제한점을 가지고 있으므로, 반드시 각 측정법 별 특성 및 차이에 대해 잘 알고 있어야 한다. 또한 체성분 측정 방법을 선택하기에 앞서, 어떤 구체적인 임상적 평가 목표를 가지고 검사를 시행하려고 하는지 숙고해 보는 것이 중요하다.

요 약

정확한 체성분 측정 및 분석은 비만 환자의 영양상태 및 질병상태에 대한 평가를 위한 필수적인 선행조건이므로, 임상적으로 적용할 수 있는 다양한 체성분 분석방법의 특징 및 장단점을 숙지하는 것은

중요하다. 이에 본 종설에서는 현재까지 개발되어 임상에서 자주 사용되고 있는 Bioelectrical impedance analysis (BIA), Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA), Quantitative computed tomography (QCT) 및 Magnetic resonance imaging (MRI) 등의 특성 및 장단점에 대해 정리해 보고, 아울러 최근 소개되고 있는 Three dimensional photonic scanning (3DPS), Air displacement plethysmography (ADP), Magnetic resonance spectroscopy (MRS) 및 Quantitative magnetic resonance (QMR) 등을 이용한 최근의 연구 동향에 대해서도 간략히 정리해 보았다.

중심단어: 체성분, 측정, 방법, 비만

Conflicts of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

References

1. Kontogianni MD, Panagiotakos DB, Skopouli FN. Does body mass index reflect adequately the body fat content in perimenopausal women? *Maturitas* 2005;51:307-13.
2. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 2000;894: i-xii, 1-253.
3. Korean Society for the Study of Obesity. Evaluation of body composition. In: Korean Society for the Study of Obesity, editors. *Clinical*

- obesity. 3th ed. Seoul: Korea Medicine; 2008. p. 184-6.
4. Tokunaga K, Matsuzawa Y, Ishikawa K, Tarui S. A novel technique for the determination of body fat by computed tomography. *Int J Obes* 1983;7:437-45.
 5. Jackson AS, Pollock ML, Graves JE, Mahar MT. Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J Appl Physiol* (1985) 1988;64:529-34.
 6. Kim HS, Park HS. Reliability and validity of bioimpedance body composition analyzer. *Korean J Obes* 2002;11:389-97.
 7. Jeong YJ, Park JY, Cha KC, Park HS. Accuracy of waist circumference and waist-hip ratio measured by InBody 3.0. *Korean J Obes* 2002;11:115-22.
 8. Han SH, Lee SY, Kim KN, Yoo SM. Comparison between dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) and bioelectrical impedance analysis (BIA) in measurement of lean body mass and fat mass in obese adults: based Bland-Altman plot analysis. *Korean J Obes* 2006;15:213-8.
 9. van der Kooy K, Seidell JC. Techniques for the measurement of visceral fat: a practical guide. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1993; 17:187-96.
 10. Plourde G. The role of radiologic methods in assessing body composition and related metabolic parameters. *Nutr Rev* 1997;55:289-96.
 11. Lee EJ, Kim DK, Yoo S, Kim KN, Lee SY. Association of visceral fat area measured by InBody 720 with the results measured by CT, DEXA and anthropometric measurement. *Korean J Fam Med* 2010;31:190-7.
 12. Clasey JL, Bouchard C, Teates CD, Riblett JE, Thorner MO, Hartman ML, et al. The use of anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) measures to estimate total abdominal and abdominal visceral fat in men and women. *Obes Res* 1999;7:256-64.
 13. Wang ZM, Pierson RN Jr, Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr* 1992;56:19-28.
 14. Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB. Human body composition. 2nd ed. Champaign, IL: Human kinetics; 2005.
 15. Behnke AR Jr, Feen BG, Welham WC. The specific gravity of healthy men: body weight divided by volume as an index of obesity. *JAMA* 1942;118:495-8.
 16. Nuñez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:524-31.
 17. Kang JH. Body composition analysis and assessment of obesity in practice. *Korean J Obes* 2011;20 Suppl 1,2:223-9.
 18. Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, Gallagher D, Pierson RN Jr. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996;64(Suppl 3):478S-84S.
 19. Pietrobelli A, Morini P, Battistini N, Chiumello G, Nuñez C, Heymsfield SB. Appendicular skeletal muscle mass: prediction from multiple frequency segmental bioimpedance analysis. *Eur J Clin Nutr* 1998;52:507-11.
 20. Ward LC, Dyer JM, Byrne NM, Sharpe KK, Hills AP. Validation of a three-frequency bioimpedance spectroscopic method for body composition analysis. *Nutrition* 2007;23:657-64.
 21. Kim JH. Current methods of body fat assessment. *Korean J Obes* 2014;23 Suppl 1:72-5.
 22. MacNeil JA, Boyd SK. Accuracy of high-resolution peripheral quantitative computed tomography for measurement of bone quality. *Med Eng Phys* 2007;29:1096-105.
 23. MacNeil JA, Boyd SK. Load distribution and the predictive power of morphological indices in the distal radius and tibia by high resolution peripheral quantitative computed tomography. *Bone* 2007; 41:129-37.
 24. Wang J, Gallagher D, Thornton JC, Yu W, Horlick M, Pi-Sunyer FX. Validation of a 3-dimensional photonic scanner for the measurement of body volumes, dimensions, and percentage body fat. *Am J Clin Nutr* 2006;83:809-16.
 25. Wells JC, Treleaven P, Cole TJ. BMI compared with 3-dimensional body shape: the UK National Sizing Survey. *Am J Clin Nutr* 2007; 85:419-25.
 26. Yim JE, Heshka S, Albu J, Heymsfield S, Kuznia P, Harris T, et al. Intermuscular adipose tissue rivals visceral adipose tissue in independent associations with cardiovascular risk. *Int J Obes (Lond)* 2007;31:1400-5.
 27. Flüchter S, Haghi D, Dinter D, Heberlein W, Köhl HP, Neff W, et al. Volumetric assessment of epicardial adipose tissue with cardiovascular magnetic resonance imaging. *Obesity (Silver Spring)* 2007; 15:870-8.
 28. Fattori R, Tricoci P, Russo V, Lovato L, Bacchi-Reggiani L, Gavelli G, et al. Quantification of fatty tissue mass by magnetic resonance

- imaging in arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *J Cardio-vasc Electrophysiol* 2005;16:256-61.
29. White LJ, Ferguson MA, McCoy SC, Kim H. Intramyocellular lipid changes in men and women during aerobic exercise: a (1)H-magnetic resonance spectroscopy study. *J Clin Endocrinol Metab* 2003;88:5638-43.
30. Nakagawa Y, Hattori M, Harada K, Shirase R, Bando M, Okano G. Age-related changes in intramyocellular lipid in humans by in vivo H-MR spectroscopy. *Gerontology* 2007;53:218-23.
31. Kankaanpää M, Lehto HR, Pärkkä JP, Komu M, Viljanen A, Ferrannini E, et al. Myocardial triglyceride content and epicardial fat mass in human obesity: relationship to left ventricular function and serum free fatty acid levels. *J Clin Endocrinol Metab* 2006;91:4689-95.
32. Napolitano A, Miller SR, Murgatroyd PR, Coward WA, Wright A, Finer N, et al. Validation of a quantitative magnetic resonance method for measuring human body composition. *Obesity (Silver Spring)* 2008;16:191-8.
33. Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008;11:566-72.