

[비만연구회]

체성분 평가

강 지 현

건양대학교 의과대학 가정의학과

비만은 체지방의 과잉 축적 상태이다. 따라서 비만 환자의 건강 위험도 평가 및 치료 기준을 마련하기 위해서는 적절한 체지방의 평가가 중요하다.

체지방을 포함한 체성분을 분석하기 위해서는 신체의 구성 (body composition)에 대한 이해가 필요한데, 신체의 구성은 원자 수준, 분자 수준, 세포 수준, 조직 및 전신 수준의 5가지 수준에서 파악할 수 있다. 신체는 구성 모델에 따라 2개 또는 3개 이상의 구성 요소(multicomponent model)로 나눌 수 있는데, 각 모델은 측정된 변수값과 신체 구성 요소간의 안정적인 비율을 상수(constant)로 이용한 회귀식으로서 체성분을 분석하게 된다.

신체 구성을 원자 수준에서 분석한다면 신체는 산소, 수소, 탄소를 포함한 약 11가지 원자들로 구성되어 있으며, 주요 구성 원자들은 전신 계수기 (whole-body counting)나 중성자-활성화 분석법 (neutron-activation analysis) 등으로 측정할 수 있다. 원자의 신체 구성비는 매우 안정적이므로 주요 구성 원자량들을 측정하여 더 높은 수준의 구성 요소로 변환할 수 있으며, 다른 참고 검사법들의 정확성을 평가하는 목적으로도 쓰일 수 있다.

분자 수준에서의 주요 신체 구성 성분은 수분, 지질, 단백질, 미네랄, 글리코젠 등으로, 구성 성분 간 안정적인 관련성을 갖기 때문에 신체 구성 측정에 폭 넓게 이용되고 있다. 여기서, 지방 (fat)이란 대부분 지방세포에 존재하는 중성지방을 지칭하며, 지질 (lipid)에는 지질 용매로 추출되는 중성 지방, 인지질, 스테로이드, 기타 다양한 소량의 지질이 포함된다. 일반적으로 체내 지질의 약 90%가 중성지방이다. 신체 각 성분의 밀도는 비교적 안정적이는데, 체지방 (0.9007g/cc) 및 체지방 (1.100g/cc)의 밀도를 이용하는 수중 밀도법 (hydrodensitometry)이 최초로 그리고 가장 흔히 사용되어온 2-구획 모델이다. 신체를 여러 구획으로 나누어 분석할수록, 회귀식에서 실제 측정된 변수값이 많아지고, 신체 구성상의 알려진 비율로서 추정하는 부분이 줄어들기 때문에 2-구획 모델보다 정

확한 체지방량의 측정이 가능해진다. 분자 수준에서의 3-구획 모델에는 신체 수중 밀도법으로 체지방량을, 수분 측정법 (hydrometry; isotope dilution technique)으로 총 수분량을 측정하여 신체를 체지방+수분+체지방 외 고형 성분(주로 단백질과 미네랄)으로 구분하거나, 신체 수중 밀도법과 이중 에너지 X선 흡수계 (Dual-energy X ray absorptiometry; DXA)를 함께 이용하여 체지방+미네랄+단백질 및 수분으로 구분하는 방법 등이 있다. 또한 신체 수중 밀도법과 수분 측정법, 이중 에너지 X선 흡수계 또는 중성자-활성화 분석법을 함께 분석에 이용하면 신체를 체지방+수분+미네랄+단백질의 4-구획으로 분자수준에서 구분할 수 있다.

세포 수준에서 인체는 세포량 (cell mass), 세포 외액 (extracellular fluid), 세포 외 고형물질 (extracellular solids)의 3가지 요소로 구성되며, 세포는 대사의 활동성에 따라서 대사가 활발하게 이루어지는 체세포량 (body cell mass)과 대사적으로 불활성인 중성지방 또는 지방량으로 나눌 수 있다. 칼륨은 세포 내에 대부분 분포하므로 전신 K^{40} 계수기 (whole body K^{40} counting)를 이용하여 자연적으로 존재하는 전신의 칼륨 동위원소 (K^{40})를 측정하면 전신의 총칼륨량 및 체세포량을 구할 수 있으며, 세포 외액 (ECW)은 bromide를 추적자 (tracer)로 사용하는 희석 방법 (dilution method)을 통해 측정할 수 있다.

조직 수준에서 신체는 지방조직, 골격근, 뼈, 기타 내장 기관 등으로 구분되며, 지방조직은 80%의 지질과, 14%의 수분, 5% 단백질, 1%의 미네랄 등으로 이루어져 있다. 이중 에너지 X선 흡수계를 통해 신체의 99%의 칼슘과 86%의 인이 들어 있는 골조직과 지방 및 연부 조직량을 측정할 수 있다. 지방조직은 피하 지방, 내장 지방과 사이질 (interstitial) 지방 등으로 나눌 수 있으며, 분포하는 위치에 따라 대사 및 기능적인 차이를 보인다. 컴퓨터 단층 촬영이나 자기 공명 영상 검사를 통해 지방조직을 해부학적으로 분류할 수 있다. 흔히 사용되는 신체 계측법이나 체질량 지수 등은 전신 수준에서의

Table 1. Qualitative Characteristics of Body Composition Methods

Method	Research	Clinical	Cost	Safety	Accessibility [†]
Anthropometry	*	****	*	****	****
Bioimpedance analysis	**	****	*	****	****
DXA	***	***	***	***	***
Under water weighing	***	**	**	****	**
Hydrometry (isotope dilution)	***	**	**	****	**
Whole body K40 counting	****	*	***	****	*
Neutron activation	****	*	****	*	*

Scores range from low (*) to high (****)

[†] Accessibility refers to availability of measurement system

From Eckel RH. Obesity: Mechanisms and clinical management, 2003.

신체 구성 측정 방법이다.

체지방의 평가 방법은 역학 조사나 임상 진료, 연구 등의 목적에 부합하도록 검사의 정확성과 정밀도, 가격, 안전성, 접근 가능성 등을 고려하여 선택해야 한다(표 1).

외래에서 시행 가능한 체지방 평가 방법으로는 흔히 임상에서 사용되는 신체 계측법(anthropometry) 및 생체 전기 임피던스 측정법(bioelectrical impedance) 등이 있으며, 이 두 가지 방법보다는 비용과 수고가 많이 들지만 높은 정확성과 함께 비교적 접근성이 높은 이중 에너지 X선 흡수계(Dual-energy X ray absorptiometry; DXA)를 이용할 수도 있다. 체지방의 분포(distribution)는 허리 둘레를 측정하거나 컴퓨터 단층 촬영이나 자기 공명 영상 등을 이용하여 측정할 수 있다

신체 계측법 (anthropometry)

신체 계측법은 체중계와 줄자, 캘리퍼 등의 간단한 도구를 이용하여 체지방량을 예측하는 방법으로 비교적 간단하고 저렴하며, 고도의 기술과 훈련을 요구하지 않으므로 임상이나 대규모 역학조사에 유용하다. 체중(kg)을 신장(meter)의 제곱으로 나눈 값인 체질량 지수(body mass index)는 세계적으로 통용되는 비만도 판정의 기준이며, 대다수 인구 집단에서 체지방량과 상관관계가 높아 체중 및 신장을 이용한 지수 중 가장 널리 사용되는 방법이다. 체중은 8시간 금식 후 소변을 본 후 최소한의 복장에서 신발을 벗고 측정하며, 비만도가 높을수록 체중의 일중 변동이 크므로 항상 일정한 시간에 동일한 조건에서 측정한다. 신장은 발뒤꿈치는 붙이고 발은 60도 간격으로 벌린 상태에서, 가능한 머리, 어깨뼈(scapula), 엉덩이, 발뒤꿈치를 벽에 붙이고 숨을 깊이 들이 쉰 상태로 측정한다. 체중과 신장 모두 소수점 한 자리까지 측정함을

원칙으로 한다.

비만도 외에 체지방의 분포, 즉 복부 비만 정도가 동반 질환이나 예후에 큰 영향을 미치므로 지방 분포에 대한 평가도 중요하다. 지방의 분포를 측정하기 위해 임상에서 흔히 쓰이는 허리 둘레는 MRI나 CT로 측정된 복부 내장 지방량과 연관성이 높다($r=0.76\sim0.88$). 측정 부위는 권고안이 단일화되지 않아서, 세계보건기구에서는 직립 자세에서 늑골의 최하위와 골반 장골능 간의 중간 부위를, 미국 NIH에서는 양쪽 장골능의 가장 높은 부분에서 바닥과 수평하게 측정하는 것을 권고하고 있으며, 늑골 최하위와 골반 장골능 사이의 가장 가는 부분을 측정하는 경우도 있다. 심한 비만의 경우에는 피하지방을 들어올려 측정함을 원칙으로 하며, 오차를 줄이기 위해 일정 부위에서 일정한 압력으로 일관되게 측정해야 한다.

시상 복부 직경(sagittal abdominal diameter; SAD)은 제대 위치에서 복부의 전후 길이를 측정하는 방법이다. SAD는 내장 지방과 강한 상관관계를 보이거나($r=0.76\sim0.82$), 비만도가 높아질수록 상관관계는 약해진다. 측정 방법은 표준화되지 않았으나 일반적으로 다리를 펴고 천정을 보고 누워서 sliding-beam anthropometer를 이용하여 제대 위치에서 수직 길이를 측정한다.

피부 주름 두께 측정법(skinfold thickness measurement)은 피부의 두 층과 피하지방의 두께를 측정하여 회귀식에 의해 전체 체지방을 평가하는 방법이다. 이 방법은 피하지방과 총지방량의 비율이 일정하다는 가정하에 체지방량을 예측하게 되는데, 연령과 성별, 비만도에 따라 그 비율이 일정하지 않으며, 피하 지방이 매우 많은 경우 측정 자체가 어렵고, 측정상의 오차가 많기 때문에 최근 임상에서 많이 사용되지는 않는다.

생체 전기 임피던스 측정법 (bioelectrical impedance analysis method)

생체 전기 임피던스 측정법은 조직의 생물학적 특성에 따른 전기 전도성의 차이를 이용하여 신체 구성을 예측하는 방법이다. 전기 전도성은 수분과 전해질량에 비례하며, 세포의 모양이 원형에 가까울수록 감소하는데, 지방 조직은 원형의 세포로 이루어져 있으며, 수분이 근육 등 다른 조직에 비해 상대적으로 적으므로 지방량이 증가할수록 전기 전도성은 감소하게 된다.

저주파(~1kHz)에서 전류는 세포 외액만을 통해 흐를 수 있지만, 고주파(~1MHz)에서는 세포 내액을 통해서도 흐를 수 있다. 단주파 임피던스 측정법(single frequency BIA)에서는 보통 50kHz의 전류를 이용하며, 이때 측정된 임피던스는 주로 세포 외액(ECW)을 반영하게 된다. 다주파 임피던스 측정법(multifrequency BIA)은 넓은 범위의 주파수를 가진 전류를 이용하므로 이론적으로 세포 외액, 세포 내액, 총수분량을 측정할 수 있다.

임피던스(impedance, Z)는 저항(resistance, R)과 리액턴스(reactance, Xc)를 제공하여 더한 값의 제곱근($Z^2 = R^2 + Xc^2$)으로, 저항이란 조직을 통과하면서 전류의 흐름이 감소되는 정도이며, 리액턴스란 세포막 등의 capacitor에 의해 전류의 흐름이 느려지는 정도를 의미한다. 튜브 형태의 전도체에서, 임피던스는 전도체의 길이에 비례, 단면적에 반비례한다($Z = \rho(L/A)$; Z=impedance, ρ =specific resistivity, L=length, A=cross-sectional area). 생체 전기 임피던스 측정법은 인체를 사지와 몸통으로 이루어진 5개의 균질한 튜브형 전도체(isotropic cylindrical conductor)로 가정하고, 용적은 신장의 제곱을 임피던스로 나눈 값에 비례한다는 공식($Volume = \rho L^2 / Z$)을 이용하여 체수분량 및 체지방량을 계산하게 된다. 그러나 실제로 인체는 임피던스가 신장에 정확하게 비례하는 균질한 튜브형 전도체가 아니며, 정해진 온도에서 전류의 흐름을 감소시키는 정도(ρ)도 일정하지 않기 때문에, 임피던스와 신장 외에 나이, 성별, 인종 등 기타 예측 변수들로 보정한 추정 모델을 개발하여 적용하게 된다. 그러므로 임피던스법으로 체지방량을 측정하기 위해서는 추정 모델 개발 당시에 이용되었던 대상 집단과 동일한 특성을 가진 집단에서 사용되어야 한다.

여러 가지 인자들이 생체 전기 임피던스 측정법의 정확성에 영향을 줄 수 있는데, 음식이나 수분 섭취, 발한이나 배뇨 상태, 생리 주기, 수분량의 일중 변동 등에 의해 측정값은 영향을 받는다. 또한 온도는 임피던스와 반비례하므로 따뜻한 환경에서는 체지방량이 유의하게 적게 측정된다. 그러므로

검사의 정확성을 높이기 위하여, 특히 추적 검사 시 체지방량의 변화를 정확히 반영하기 위해서는 측정 환경 및 수분량에 영향을 줄 수 있는 여러 인자들에 대한 표준화가 필요하다(표 2).

Table 2. BIA Pretesting Patient Guidelines

- No eating or drinking within 4hr of the test
- No exercise within 12hr of the test
- Patient should urinate within 30min of the test
- No alcohol consumption within 48hr of the test
- No diuretic medication within seven days of the test
- No testing of female patient who perceive they are retaining water during the stage of their menstrual cycle

From Heyward VH, Wagner DR. Applied body composition assessment, 2004

생체 전기 임피던스 측정법은 비침습적이며 작동이 비교적 단순하고 검사비가 상대적으로 저렴하며, 장비의 이동성이 좋고, 재현성이 높아 임상에서 폭 넓게 이용되고 있다.

이중 에너지 X선 흡수계 (Dual-energy X ray absorptiometry: DXA)

엑스선을 조직에 투과시키면, 광전자 효과(photoelectric effect)와 콤프턴 산란(Compton scattering) 효과 등에 의해 에너지의 감쇠(attenuation) 또는 약화 현상이 일어난다. 여기서, 엑스선의 에너지가 증가할수록, 그리고 투과되는 물질의 원자량이 클수록 조직을 투과한 뒤 에너지가 약화되는 정도도 증가하게 된다.

이중 에너지 X선 흡수계(DXA)는 40keV 이하 및 70~100 keV의 두 가지 서로 다른 에너지 엑스선을 동시에 신체에 투과시킨 뒤, 엑스선의 감쇠 정도를 측정하여 두 구획의 체성분을 예측하는 방법이다. 두 가지 엑스선이 약화되는 정도의 비율(R-value)은 투과되는 물질의 화학적 성분에 따라 일정하며, 연부조직에서 체지방량과 반비례한다.

DXA는 이론적으로 두 구획 모델이므로 동시에 두 종류의 체성분만을 측정할 수 있다. 그러나 연부조직(soft tissue)을 지방조직(fat tissue)과 체지방조직(lean soft tissue)으로 구분한 뒤 측정된 R-value를 이용하여 각 성분을 계산하고, 인체를 다시 골조직과 연부조직(soft tissue) 두 구획으로 나누어 각 성분을 계산하여 DXA 컴퓨터로 분석하면, 결국 골조직, 지방조직, 골조직을 제외한 체지방조직(lean soft tissue)의 세 가지 체성분을 알 수 있게 된다.

DXA를 통한 체구성 측정은 정확성과 재현성이 매우 높으

며, 검사 시에 노출되는 엑스선량은 $1 < \text{mrem}$ 정도로 흉부 엑스선 촬영보다 방사선 노출이 적기 때문에, DXA를 이용한 장기간의 체성분 추적 검사가 가능하다. DXA 검사 결과는 엑스선이 통과되는 물질의 두께가 두꺼울수록 정확성이 떨어지므로, 검사자의 시상 복부 직경 (sagittal abdominal diameter)을 측정하여 두께가 27cm 이상인 경우 느린 속도로 스캔을 해야 한다. 검사자가 매우 비만한 경우 시상 복부 직경이 길고, 측정 테이블의 크기에 따라 스캔할 수 있는 영역이 제한되기 때문에 정확한 검사가 어렵다. 또한 임신부에서 사용할 수 없고 가격이 비싼 단점이 있다. DXA로 신체 총 지방량과 부위별 지방량을 측정할 수는 있지만 내장 지방과 피하 지방을 구분할 수는 없다. 그러나 DXA로 측정된 복부 총 지방량은 CT로 측정된 내장지방과 높은 상관관계를 보이는 것으로 보고되고 있다.

영상 기법 (imaging methods)

- 전산화 단층 촬영 및 자기 공명 영상 촬영

전산화 단층촬영과 자기 공명 영상 촬영은 조직 수준에서 신체 조성을 가장 정확하게 측정할 수 있는 방법으로, 신체 내부의 조직과 기관을 측정할 수 있는 장점이 있다.

CT 촬영 시 조직의 물리적인 밀도가 방사선의 감쇠치 (attenuation number) 즉, CT number를 결정하게 된다. CT number는 물과 공기에 대한 상대적인 감쇠 정도로서, 공기는 -1000 HU (Hounsfield Unit), 물은 0 HU에 해당한다. CT number가 -190에서 -30에 해당하는 부위가 지방조직에 해당되며, 근육과 장기는 -30에서 +100 HU, 골격은 +100 HU 이상인 부위에 해당된다. 여러 개의 연속적인 영상 슬라이스를 모아 컴퓨터 프로그램을 이용하면 신체 각 조직의 3차원적인 용적을 산출할 수 있다. CT number를 측정하여 인슐린 저항성과 관련된 근육 조직 및 간 조직내의 사이질 지방량 (interstitial fat)을 예측할 수 있으며, 내장 지방과 피하 지방을 구분하여 측정할 수 있다. 내장 지방이란 CT나 MRI로 관찰되는 복강 내 지방 조직을 지칭하며 흔히 4~5번 요추 사이에서 촬영한다.

신체의 일부분 특히 복강 내 지방량 등을 측정하는 방법으로 CT는 매우 정확하며 재현성이 높고, 스캔 속도가 빠른 편이므로 호흡이나 장기의 운동 등에 의해 영상이 영향을 적게 받는 장점이 있으나, 전신의 총 체지방량 측정을 위한 목적으로는 과도한 방사선 노출로 인해 사용이 제한된다.

MRI 역시 신체 조성을 조직 수준에서 측정하며, 해부학적 구조를 알 수 있다는 점에서 CT와 동일하지만 방사선이 아

닌 수소 이온의 자기적인 성질을 이용하여 영상을 얻기 때문에, 방사선 노출에 대한 우려 없이 소아나 임신부에서도 전신 MRI를 통해 총 체지방량의 측정이 가능하다. 또한 관상영상 (coronal image) 및 시상영상 (sagittal image)에서의 체지방의 측정도 가능하다. 그러나 검사에 소요되는 비용이 매우 비싸고, 영상 획득 시간이 CT에 비해 길어서 다양한 허상 (artifact)이 나타날 수 있다.

체성분의 추적 검사

식이 요법이나 운동의 효과, 영양 및 건강 상태를 평가하기 위해서는 단순히 체중이나 체질량 지수의 측정 외에, 시간에 따른 지방량과 체지방량 등의 신체 조성의 변화를 추적할 수 있어야 한다.

시간에 따른 체성분 변화를 정확하게 측정하기 위해서는 측정의 정밀도 (precision) 즉, 통계적으로 유의한 변화를 찾아낼 수 있는 능력이 정확성 (accuracy)보다 중요하게 된다. 신체 계측법을 제외한 다양한 체구성 측정 방법들의 정밀도는 CT나 MRI로 측정된 내장 지방량을 제외하면 (5~10%), 대부분 1~5% 정도의 오차 (error)를 나타내며, 정밀도에 비해 정확성은 대한 일반적으로 높은 오차를 보인다.

다구획 모델 (Multicomponent model)은 초기 체구성의 측정 및 추적 검사에서 가장 높은 정확성을 가진 방법이다. 그러나 단순히 신체 구성의 변화를 측정하는 것이 초기 체구성을 평가하는 것보다 까다롭기 때문에 multicomponent model을 이용하더라도 1.5kg 미만의 체지방의 변화를 정확하게 측정하는 것은 쉽지 않다.

DXA는 다구획 모델을 대신할 수 있는 적절한 방법이다. DXA로 체구성의 변화를 측정하기 위해서는 최소한 골미네랄 양 (bone mineral content)은 약 4%, 지방량은 약 10%, 지방과 골을 제외한 연부조직은 약 7% 이상의 변화가 있어야 차이를 측정할 수 있다 (minimum detectable change). DXA는 수분 상태에 따른 영향을 적게 받기 때문에 신체 수분량이 변화되는 상태에서도 지방량과 체지방량을 비교적 정확하게 측정할 수 있다.

BIA의 경우 수분 상태의 변화는 체지방량에 유의한 변화를 초래한다. BIA에서 측정 가능한 체지방량의 최소 변화는 7% (2~4kg) 정도이므로, 측정 간격이나 체성분의 변화가 충분하지 않은 경우 측정값의 신뢰도는 감소하게 된다.

체질량 지수의 측정은 체지방량과 체지방량의 변화를 구분할 수 없는 단점이 있으며, SFT 방법은 비만 환자에서 피부 두께를 정확하게 측정하기 어렵기 때문에 체성분 변화

의 추적 검사 방법으로 추천되지 않는다. 피부 주름 두께의 상대적인 감소폭은 부위별로 동일하지 않아서, 체중 감량 정도와 피부 주름 두께의 변화의 상관관계는 그리 높지 않은 것으로 보고되고 있다 ($r=0.02\sim0.38$).

피부 주름 두께 측정 방법에 비해서 신체 둘레 (circumference) 측정 방법은 체중 감량 정도와 비교적 상관관계가 높다 ($r=0.4\sim0.83$). 그러나 엉덩이 허리 둘레비는 빠른 체중 감소에 따른 지방 분포의 변화를 빠르게 반영하지 못하므로 초기 체중 감소에 따른 지방 분포를 측정하는데 적절하지 않다.

참고문헌

- Heyward VH, Wagner DR. Applied body composition assessment. 2nd edition. Champaign, IL:Human Kinetics; 2004.
- WHO. Obesity: Preventing and managing the global epidemic report of a WHO consultation on obesity. 1997.
- NIH-HNLIBI: Clinical guidelines on the identification, evaluation and treatment of overweight and obesity in adults. 1998.
- Eckel RH. Obesity: Mechanisms and clinical management. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2003.
- Bray GA, Bouchard C. Handbook of obesity. 2nd edition. New York, NY: Marcel Dekker, Inc; 2004.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology. 5th edition. Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
- 대한비만학회편. 비만의 진단과 치료. 도서출판 혼의학; 2003.
- Wang ZM, Pierson RN Jr., Heymsfield SB. The five level model: A new approach to organizing body composition research. *Am J Clin Nutr* 1992;56:19-29.
- Han TS, McNeill G, Seidell JC, Lean ME. Predicting intra-abdominal fatness from anthropometric measure: The influence of stature. *Int J Obes* 1997;21:587-93.
- Janssen I, Heymsfield SB, Allison DB, Kotler DP, Ross R. Body mass index and waist circumference independently contribute to the prediction of nonabdominal, abdominal subcutaneous and visceral fat. *Am J Clin Nutr* 2002;75: 683-8.
- Zamboni M, Turcato E, Armellini F, Kahn HS, Zivelonghi A, Aantana H, Bergamo- Andreis IA, Bosello O. Sagittal abdominal diameter as a practical predictor of visceral fat. *Int J Obes* 1998;22:655-60.
- Ohrvall M, Berglund L, Vessby B. Sagittal abdominal diameter compared with other anthropometric measurements in relation to cardiovascular risk. *Int J Obes* 2000;24: 497-501.
- Bunt JC, Lohman TG, Boileau RA. Impact of total body water fluctuation on estimation of body fat from body density. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1989; 21:96-100.
- Callaway CW, Chumlea Wc, Bouchard C, Himens JH, Lohman TG, et al. Circumferences in Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL:Human Kinetics; 1988.
- Behnke AR, Feen BG, Welham WC. The specific gravity of healthy men. Body weight and volume as an index of obesity. *Journal of American Medical Association*. 1942;118: 495-8.
- Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In *Techniques for measuring body composition*, Washington DC: National Academy of Sciences. 1961.
- Ellis KJ. Human body composition: In vivo methods. *Physiological Reviews* 2000; 80:649-80.
- Pierson RN, Wang J, Colt E, Neumann P. Body composition measurement in normal men: the potassium, sodium, sulfate, and tritium space in 58 adults. *J Chron Dis* 1982;35:419-28.
- Wang AM, Heshka S, Pierson RN, Heymsfield SB. Systematic organization of body composition methodology: overview with emphasis on component-based methods. *Am J Clin Nutr* 1995;61:457-65.
- Baumgartener RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance for body composition. *Exerc Sport Sci Rev* 1990;18:193-224.
- Heymsfield SB, Noel R, Lynn M, Kutner M. Accuracy of soft tissue density predicted by CT. *J Compu Assis Tomogr* 1979;3:859-60.
- Kvist H, Sjostrom L, Tylen U. Adipose tissue volume determination in women by computed tomography: technical consideration. *Int J Obes* 1986;10:53-67.
- Ryan AS, Nicklas BJ. Age-related changes in fat deposition in mid thigh muscle in obese women: relationships with metabolic cardiovascular disease risk factors. *Int J Obes*

- 1999;23:126-32.
24. Banerji MA, Buckley MC, Chaiken RL, Gordon D, Lebovitz HE, Kral JG. Liver fat serum triglycerides and visceral adipose tissue in insulin-sensitive and insulin-resistant black men with NIDDM. *Int J obes* 1995;19:846-50.
25. Jebb SA, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Prentice AM, Coward WA. In vivo measurement of changes in body composition: Description of methods and their validation against 12-d continuous whole-body calorimetry. *Am J Clin* 1993;58:455-62.
26. O'Brien C, Baker-Fulco CJ, Young AJ and Sawka MN. Bioimpedance assessment of hypohydration. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1999;31:1466-71.
27. Bray GA. Definitions, measurements and classifications of the syndromes of obesity. *Int J Obes* 1978;2:99-113.