중환자 영양치료를 위한 생체전기저항분석법의 활용

이연희¹, 이재명²

¹아주대학교병원 영양팀, ²아주대학교 의과대학 외과학교실

Use of Bioelectrical Impedance Analysis for Nutritional Treatment in Critically Ill Patients

Yeon Hee Lee¹ and Jae Myeong Lee²

¹Food Service and Clinical Nutrition Team, Ajou University Hospital, ²Department of Surgery, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

Patients in the intensive care unit (ICU) easily have large amounts of extracellular fluids, such as edema or ascites, because of cardiovascular instability under septic conditions and also have high risk of malnutrition while staying in the ICU. Traditional nutritional assessment parameters like body mass index have a limitation in ICU patients due to muscle atrophy and decrease of lean body mass. Bioimpedance analyses (BIA) can be used to assess body composition and are useful in performance of nutritional assessments in ICU patients. BIA can simply and noninvasively estimate body composition (total body water, extracellular water, intracellular water, body cell mass, and free fat mass etc.) by sending a weak electric current through the body. In particular, phase angle (PhA, phase difference between the voltage applied to the impedance and the current driven through it), one of the parameters of BIA, is related to cell membrane integrity or cell size. Low PhA can possibly imply malnutrition and PhA has been reported as a useful indicator of clinical outcomes or prognosis of severe patients. Additional study with clinical application of BIA in ICU patients is needed in order to confirm the usefulness of BIA.

Key Words: Critically ill patients, Nutritional support, Bioimpedance analysis, Phase angle, Nutrition

서론

영양 치료를 위한 환자의 신체평가에는 일반적으로 신장과 체중을 이용한 체질량지수(body mass index, BMI)가 사용된다. 하지만 BMI는 질병 상태에서 지방, 근육, 수분 및 기타 중요한 사항들을 반영하지 못할 뿐만 아니라, 특히 중환자에서 빈번하게 발생하는 체액불균형으로 인해 정확한 근육소실 또는 체단

백감소 등의 평가에 한계를 갖는다.¹ 이러한 한계점을 극복하기 위한 노력으로 여러 가지 다양한 신체 및 영양 평가 방법에 대한 연구가 이루어지고 있는데,² 그 중의 하나가 생체전기저항분석법(bioelectrical impedance analysis, BIA)이다.

BIA는 조직의 생물학적 특성에 따른 전기 전도성의 차이에 따라 나타나는 저항값(impedance)을 이용하여 체성분을 산출하는 방법이다.³ 인체를 균일한 전도성을 가진 물체로 가정하고 1 개 혹은 여러 주파수의 전류를 흘려보내 총 체수분량(total body water, TBW)과 세포내액(intracellular water, ICW), 세포외액(extracellular water, ECW)을 간접적으로 측정하고, 이를 바탕으로 기존에 존재하는 체성분 산출방법을 적용한 회귀식을 사용하여 체지방량(body fat mass), 제지방량(fat free mass, FFM), 체세포량(body cell mass, BCM) 등을 구할 수 있을 뿐만 아니라, 팔, 다리, 몸통 등 부위별 수분량 및 근육량도 제공한다.⁴ 또한 전류를 흘려 보내 발생하는 저항값을 공식에 대

Received Mar 31, 2015; Revised Apr 20, 2015; Accepted Apr 20, 2015

Correspondence to Jae Myeong Lee

Department of Surgery, Ajou University School of Medicine, 164 WorldCup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 443-749, Korea
Tel: +82-31-219-6025, Fax: +82-31-219-5755, E-mail: ljm3225@hanmail.net

Conflict of interest: None.

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.

입하여 $[\text{PhA}=\text{resistance/reactance} \times (180/\pi)]$,⁵ 위상각(phase angle, PhA) 측정이 가능하다.

본 종설에서는 BIA를 이용하여 분석 및 산출 가능한 매개변수에 대해 살펴보고, 이 측정값들의 활용에 대한 기존 임상 연구들을 소개하고자 한다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 중환자실 환자에서 영양 치료에 활용할 수 있는 방안에 대한 가능성을 제시하고자 한다.

본 론

1. BIA의 종류

BIA는 인체를 균일한 원통형의 전도체로 가정하고 전류를 흘려보내 저항값을 측정하는 체성분 분석법으로, 사용하는 주파수의 종류나 저항값을 측정하는 부위에 따라서 몇 가지 종류로 나눌 수 있다.^{3,6}

1) 단일주파수 BIA (Single Frequency BIA)

일반적으로 50 kHz의 단일 전류를 이용하는 방법으로 우측 반신(오른손과 오른발)에 전류를 흘려보내 저항값을 측정하는 방식이다. 이는 BCM과 TBW 측정에 정확도를 보이지만,⁶ ICW의 변화를 정확히 측정하기는 어렵기 때문에 수분축적이 심한 환자에서는 정확도가 감소할 수 있다.⁷

2) 다중주파수 BIA (Multi Frequency BIA)

체수분을 ICW와 ECW로 구별하여 측정하는 기술로 높은 주파수는 세포막을 통과하고 낮은 주파수는 이를 통과하지 못하는 성질을 이용한다.⁸ 1~500 kHz의 다양한 주파수의 전류를 이용할 수 있으며, 200 kHz 이상의 높은 주파수는 ICW와 ECW를 추정하는데, 5 kHz 이하의 낮은 주파수는 ECW만을 추정하는데 사용하는 것이 적합하다. Patel 등⁹은 심장수술 후 환자에서 다중주파수 BIA를 사용하여 체성분을 측정한 결과 단일주파수를 사용한 것보다 ECW와 총 체수분 측정값에서 오차가 적었음을 보고하였다.

3) 부위별 BIA (Segmental BIA)

기존의 BIA가 인체를 하나의 균일한 원통형으로 가정하여 우측 반신의 저항값을 측정하고 이를 토대로 전신의 체성분을 추정하는 반면, 이 방법은 인체를 사지와 몸통(trunk)으로 나누어 각 부위의 저항값을 측정하는 방법이다.¹⁰ 이 방법을 이용하면 기존의 방식이 인체 부위별 저항차이를 반영하지 못하는 점이나, 인체 중 50%의 FFM을 차지하고 있는 몸통의 저항값 반영 비율이 10% 정도로 낮은 단점을 보완할 수 있다.¹¹ 아직까지 표

준화된 측정방법(부위)은 없지만 현재 이에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다.

2. BIA를 이용한 체성분 분석

1) TBW

체수분은 대부분 근육 조직을 형성하는 세포에 함유되어 있어 개개인의 차이가 있지만, 건강한 사람의 신체 근육은 70% 이상의 수분을 함유하고 있다. 일반적으로 TBW는 남성의 경우 60% 내외, 여성은 50% 내외, 근육이 많은 운동선수 같은 경우는 70% 내외로 측정된다(Fig. 1).^{6,12} BIA를 통해 얻어진 저항값은 조직에 포함된 수분 전해질에 대한 비교적 정확한 정보를 제공한다. 하지만 수분축적의 변화가 심한 경우, BIA를 이용한 분석에 오차가 발생할 수 있다.⁷ Kim 등¹³은 수술 후 중환자실 치료를 받는 환자에서 전신 및 부위별 수분비율이 소변 배출량과 역의 상관관계를 나타내었다고 보고하였고, 이를 이용하여 BIA를 이용한 체수분량이 수액요법치료의 지표로 사용될 수 있는 가능성을 제시하였다.

2) ICW와 ECW

TBW는 ICW (세포를 싸고 있는 세포막 안에 존재하는 수분)와 ECW (세포와 세포 사이의 간질에 있는 수분과 혈액 중의 혈장에 있는 수분의 합)로 구분할 수 있다. ECW 또는 ECW/TBW 비율의 증가는 부종 또는 영양불량의 지표로 여겨진다.¹⁴ Lee 등¹⁵은 중환자를 대상으로 BIA를 측정한 연구에서 환자의 영양 상태에 따라 ECW와 ECW/TBW의 비율이 유의한 차이를 나타냄을 보고하였다.

정상 TBW를 갖는 환자에서는 50 kHz의 단일주파수 BIA를 이용한 ECW 측정이 가능하지만,¹⁶ 급격한 수분축적 변화 상태

Fig. 1. Schematic diagram of fat-free mass (FFM), total body water (TBW), intracellular water (ICW), extracellular water (ECW) and body cell mass (BCM). FM = fat mass. Adapted from the article of Kyle et al. Clin Nutr 2004;23(5):1226-43.⁶

에서는 단일주파수 BIA를 이용한 TBW와 ECW의 측정이 부정확할 수 있다.^{10,17} Kyle 등⁶은 다중주파수 BIA가 체중의 변화가 없는 상태에서도 ECW나 TBW의 변화를 민감하게 반영하므로, 중환자의 수분변화를 측정하기 위해서는 단일주파수 BIA보다 다중주파수 BIA를 사용할 것을 권고하였다. 그러나 투석 직후 ICW와 ECW에 큰 변화가 생기면서 발생하는 오차로 인하여 결과값에 보정이 필요하였다는 보고도 있어,¹⁸ 투석환자에 있어서는 측정에 주의가 필요하다.

3) BCM

BCM은 FFM (lean body mass라고도 불리우며 지방을 포함하지 않는 신체조직의 총량으로 BCM과 세포외질량으로 구성) 중 ICW와 내장단백질을 일컫는 말로 평활근, 근골격계 세포, 내장 기관, 심근, 혈액, 위장관계, 신경계 분비선과 같은 조직을 포함한다. 모든 신체의 대사 기능이 BCM의 세포 내에서 수행되므로 BCM은 조직의 이화작용에 의해 감소하며, 이는 환자의 예후와 깊은 상관관계를 갖는다.^{4,19} Kaido 등²은 간이식 환자를 대상으로 한 연구에서 수술 전 BCM이 저하된 환자에서 간이식 후 합병증과 사망률이 증가된 것을 보고하였다.

BCM은 환자의 영양상태 평가의 지표로 사용될 뿐만 아니라, 신체 열량 요구량 설정과 열량 소비평가를 위해 사용되기도 한

다.²⁰ 그러나 과수화 상태의 환자에서는 BCM의 증가로 인해 정확한 FFM의 측정이 어렵다. Pirlich 등²¹ 역시 복수환자처럼 심한 과수화 상태의 환자에게는 BIA를 이용한 BCM의 평가가 적절하지 않다고 하였다. 그러나 선행된 대부분의 연구들이 단일주파수 BIA를 이용하여 수행되었기 때문에, 앞으로 부위별 BIA와 다중주파수 BIA 등을 이용하여 과수화 상태 환자 적용가능성에 대한 연구가 필요하다.

3. PhA

앞서 말하였듯이 BIA는 조직의 생물학적 특성에 따른 전기 전도성의 차이에 따라 나타나는 저항값을 이용하여 체성분을 산출한다. 신체의 전기 전도성 차이에 따라 나타나는 저항값은 전류의 흐름을 방해하는 저항성분의 총칭이며, 이 저항성분은 저항(resistance)과 유도저항(reactance)으로 나눌 수 있다.⁶ 저항은 FFM과 조직의 수화 정도를 반영하고, 유도저항은 콘덴서 역할을 하는 세포막에서 발생하는 저항 성분이며, PhA는 이 저항에 대한 상대적인 유도저항의 값을 나타낸다.²² Fig. 2에서 보듯이, PhA는 유도저항과 비례하기 때문에, 이론상으로 PhA는 세포 또는 세포막의 건강상태를 반영하는 지표가 된다.^{5,6,22}

PhA는 순수한 세포에서 90°, 순수한 전해질 용액에서는 0°로 BCM과 직접적으로 비례한다. 즉, 세포막 구조의 완성도 및 기능의 증가는 PhA를 증가시키는 반면, 세포 원형질막에 구조적인 손상이 있거나 선택적으로 투과 기능이 감소되어 있는 경우에는 PhA가 감소된다.⁵ 그러므로 PhA는 BCM과 세포의 구조적 완성도, 생리적 기능의 수준을 나타내는 영양 지표로 사용될 수도 있다.²² Máttar²³는 대부분의 사람에게서 PhA는 3°~15° 사이에서 측정된다고 발표한 바 있는데, PhA의 범위는 인종이나 성별에 따라 다르고, 일반적으로 아시아인이 다른 인종에 비해 낮으며, 남자가 여성보다 많은 제지방을 가지고 있으므로 세포의 정량적인 양이 많아 높게 나타난다.²⁴ 또한 사용하는 기계의 종류나 주파수 사용 방식, 측정 방식에 따라서도 PhA의 정상

Fig. 2. Diagram of the graphical derivation of the phase angle. Adapted from the article of Kyle et al. Clin Nutr 2004;23(5):1226-43.⁶

Table 1. Published data for norms of body bioimpedance phase angle at 50 kHz in healthy subjects

Author and year	Number	Sex	Mean	Range ^a
Selberg and Selberg (2002)	50	20 men, 30 women	6.6°	5.4°~7.8°
Baumgartner et al. (1988)	73	29 men, 44 women	7.0° 6.3°	5.3°~8.8° 4.9°~7.7°
Mattar (1996)	265	87 men, 178 women	6.8°	4.4°~9.6° ^c
Pilla et al. (1990) ^b	15	15 men	7.5°	6.2°~8.8°
Zarowitz and Pilla (1989)	114	47 men, 67 women	8.2° 6.7°	6.0°~10.4° 4.9°~8.5°
Talluri and Magia (1995)	888	University freshmen of both sexes	6.4°	4.6°~8.1° ^c

Modified from the article of Selberg and Selberg. Eur J Appl Physiol 2002;86(6):509-16.²⁵

^aRange given as 2 standard deviation either side of the mean, ^bage range 24~35 years, ^chighest and lowest limit of several ranges of different sex and age groups, ^ddata estimated from published scatterplot.

범위는 달라질 수 있으며 아직까지 표준화된 기준은 없다.⁵ 건강한 사람에 대한 PhA 측정 실험을 한 여러 연구 결과(Table 1)를 보면 모집 집단에 따라 측정값에 차이가 있음을 볼 수 있다.²⁵ 따라서 PhA를 이용한 연구에서는 산출된 PhA 값을 지표로 사용하는 것 외에도 PhA의 변화나 대조군과의 차이 등을 비교 연구할 필요가 있다.

중환자나 암 질환 등 소모성 질환자에게서 영양 상태가 생존율에 의미 있는 영향을 미친다는 것은 이미 널리 밝혀져 있다.²⁶ 이에 착안하여, PhA를 측정함으로써, 다른 전통적인 영양 지표인 신체 계측, 혈액 영양 지표 등과 비교하여, 영양 지표로서의 가능성을 가늠해 본 연구들이 몇몇 보고되었다. 혈청 프리알부민은 빠른 혈중 교체 속도, 짧은 반감기 등으로 인해 영양 평가에 있어 지금까지 밝혀진 가장 민감한 지표이며 생존 예측에도 유용한 인자이다.^{27,28} Gupta 등⁵은 폐장암 환자에게서, Mushnick 등²⁹은 복막투석 환자에서 프리알부민과 PhA가 유의한 상관관계가 있음을 보고하였다. 특히 Gupta 등⁵의 연구에 따르면, 폐장암 환자에게서 PhA, 프리알부민, 알부민, 트랜스페린, subjective global assessment (SGA)와 생존율의 연관성을 분석한 결과, PhA가 생존율과 가장 강한 상관관계를 보였다. Lee 등¹⁵ 역시 알부민과 총 임파구수로 평가한 환자의 영양상태와 PhA가 유의한 상관관계를 보였다고 하였다. 또한 Schwenk 등³⁰은 인간 면역 결핍 바이러스 감염환자에서, Fein 등³¹은 복막투석 환자군에서, Selberg 등¹⁹은 간경화 환자에서, PhA가 환자 생존율과 깊은 연관이 있음을 보고하였다.

이처럼, BIA를 통해 산출된 PhA 값이 환자의 영양상태 평가 뿐만 아니라, 환자의 치료 예후를 예측하고 개선하는 데도 사용될 수 있을 가능성이 제시되었다. 앞으로 이에 대한 더 활발한 연구가 기대되는 상황이다.

3. BIA의 실제 적용과 앞으로의 연구 과제

중환자들은 패혈증의 생태병리적 기전으로 인해 체수분 저류가 많아져서 부종이 생기기 쉽고, 중환자실 입실 당시, 그리고 집중 치료 기간 중 영양 불량의 위험성이 높다.³² 중환자실 환자는 거의 대부분을 침대에서 누워서 지내는 점, 많은 검사 장비와 수액줄 등으로 인해 정확한 체중 측정이 어려운 점 등의 제한점이 있지만, BIA는 이런 조건의 중환자에서도 침대 옆에서 5분 이내에 쉽게 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 실제로 부종이나 복수 등의 환자 체수분 상태, 신체 절단 및 수술부위 상처, 수액 적용 시점, 환자의 자세 등 여러 가지 이유로 정확한 BIA 측정이 어려운 경우가 많다. 그리고 같은 환자에서도 시기각각 변화하는 상태로 인해 검사가 유효할 때도 있고, 실패할 때도 있다. 이러한 이유로 이미 여러 연구들에서 BIA 측정값에 대

한 신뢰성을 입증하였음에도 불구하고,^{33,34} 중환자에서는 심한 체액불균형상태가 BIA 측정값에 영향을 미칠 것으로 생각되어, 이를 이용한 체조성 분석이 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이다.^{33,35,36}

하지만 유럽정맥경장영양학회(European Society of Parenteral and Enteral Nutrition) 가이드라인에서는 부위별 BIA를 이용할 경우, 단일주파수 BIA에서 확실하게 측정되지 않았던 몸통의 BCM과 FFM의 변화를 민감하게 분석이 가능하여 복강 내로의 체액의 유입이 많은 간경변 환자나 복수천자를 받는 환자에도 BIA 적용이 가능하다고 하였다.^{21,37} 또한 다중주파수 BIA를 이용할 경우, 세포막 투과능력이 상이한 여러 주파수로 ICW와 ECW의 변화가 많은 환자에서도 체성분의 효과적인 측정이 가능하다고 언급하였다.⁸ 그러나 아직까지 오랜 기간 동안 쌓여온 단일주파수 BIA 연구에 비해 부위별 BIA나 다중주파수 생체전기저항 분석을 이용한 연구결과는 상대적으로 부족하고, 특히 국내 중환자에 대한 연구는 매우 부족한 상태이다. 앞으로 이를 이용한 대규모 연구가 활발하게 이루어져 다양한 환자군에서 BIA 측정값의 신뢰도 및 재현성을 확보하는 것이 필요하다. 또한, 이미 환자의 영양상태나 질병 예후와 연관성이 검증된 수분량, BCM, PhA 외의 측정값과 환자의 영양상태나 질병의 예후, 생존율과의 상관관계를 평가하는 연구도 필요할 것으로 보인다.

결론

BIA는 비침습적이고 간단한 검사방법으로 건강한 사람과 환자에게 두루 적용이 가능한 체조성 분석 방법이다. 선행된 여러 연구들에서 BIA의 측정값과 환자의 영양상태 및 질병의 예후나 생존율이 깊은 연관성을 보였음에도 불구하고 체액불균형, 검사 결과의 신뢰도를 확보하지 못하여 실제 중환자에게서의 적용은 활발하지 않은 상태이다. 그러나 앞으로 부위별 BIA와 다중주파수 생체전기저항분석을 이용하여 체액불균형 상태의 중환자나 복수 환자 등 다양한 환자군에서 TBW와 BCM 및 PhA 등의 측정값을 도출하여, 이를 영양치료에 적용하고, 더 나아가 영양 상태 및 질병의 예후 평가에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. Reid CL, Campbell IT, Little RA. Muscle wasting and energy balance in critical illness. Clin Nutr 2004;23(2):273-80.
2. Kaido T, Mori A, Ogura Y, Ogawa K, Hata K, Yoshizawa A, et al. Pre- and perioperative factors affecting infection after living donor liver transplantation. Nutrition 2012;28(11-12):1104-8.

3. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* (1985) 1986;60(4):1327-32.
4. Kotler DP, Tierney AR, Wang J, Pierson RN Jr. Magnitude of body-cell-mass depletion and the timing of death from wasting in AIDS. *Am J Clin Nutr* 1989;50(3):444-7.
5. Gupta D, Lis CG, Dahlk SL, Vashi PG, Grutsch JF, Lammersfeld CA. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in advanced pancreatic cancer. *Br J Nutr* 2004;92(6):957-62.
6. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al; Composition of the ESPEN Working Group. Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004;23(5):1226-43.
7. O'Brien C, Young AJ, Sawka MN. Bioelectrical impedance to estimate changes in hydration status. *Int J Sports Med* 2002;23(5):361-6.
8. Hannan WJ, Cowen SJ, Plester CE, Fearon KC, deBeau A. Comparison of bio-impedance spectroscopy and multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci (Lond)* 1995;89(6):651-8.
9. Patel RV, Peterson EL, Silverman N, Zarowitz BJ. Estimation of total body and extracellular water in post-coronary artery bypass graft surgical patients using single and multiple frequency bioimpedance. *Crit Care Med* 1996;24(11):1824-8.
10. Lorenzo AD, Andreoli A. Segmental bioelectrical impedance analysis. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2003;6(5):551-5.
11. Foster KR, Lukaski HC. Whole-body impedance--what does it measure? *Am J Clin Nutr* 1996;64(3 Suppl):388S-96S.
12. Barrett KE, Ganong WF. Ganong's review of medical physiology. 23rd ed. New York:McGraw-Hill Medical;2010.
13. Kim SH, Lee JG, Cho HW, Kim HI, Kim KS, Kim CB. The clinical application of bioelectrical impedance analysis in patients with critical illness. *Surg Metab Nutr* 2010;(1):175-6.
14. 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(3 Suppl):478S-84S.
15. Lee Y, Kwon O, Shin CS, Lee SM. Use of bioelectrical impedance analysis for the assessment of nutritional status in critically ill patients. *Clin Nutr Res* 2015;4(1):32-40.
16. Ellis KJ, Bell SJ, Chertow GM, Chumlea WC, Knox TA, Kotler DP, et al. Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition* 1999;15(11-12):874-80.
17. Battistini N, Virgili F, Bedogni G, Gambella GR, Bini A. In vivo total body water assessment by total body electrical conductivity in rats suffering perturbations of water compartment equilibrium. *Br J Nutr* 1993;70(2):433-8.
18. Scharfetter H, Monif M, László Z, Lambauer T, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Effect of postural changes on the reliability of volume estimations from bioimpedance spectroscopy data. *Kidney Int* 1997;51(4):1078-87.
19. Selberg O, Böttcher J, Tusch G, Pichlmayr R, Henkel E, Müller MJ. Identification of high- and low-risk patients before liver transplantation: a prospective cohort study of nutritional and metabolic parameters in 150 patients. *Hepatology* 1997;25(3):652-7.
20. Moore FD, Boyden CM. Body cell mass and limits of hydration of the fat-free body: their relation to estimated skeletal weight. *Ann N Y Acad Sci* 1963;110:62-71.
21. Pirlich M, Schütz T, Spachos T, Ertl S, Weiss ML, Lochs H, et al. Bioelectrical impedance analysis is a useful bedside technique to assess malnutrition in cirrhotic patients with and without ascites. *Hepatology* 2000;32(6):1208-15.
22. Kyle UG, Genton L, Pichard C. Low phase angle determined by bioelectrical impedance analysis is associated with malnutrition and nutritional risk at hospital admission. *Clin Nutr* 2013;32(2):294-9.
23. Máttar JA. Application of total body bioimpedance to the critically ill patient. Brazilian Group for Bioimpedance Study. *New Horiz* 1996;4(4):493-503.
24. Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8(3):311-7.
25. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *Eur J Appl Physiol* 2002;86(6):509-16.
26. McClave SA, Martindale RG, Vanek VW, McCarthy M, Roberts P, Taylor B, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2009;33(3):277-316.
27. Raguso CA, Dupertuis YM, Pichard C. The role of visceral proteins in the nutritional assessment of intensive care unit patients. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2003;6(2):211-6.
28. Winkler MF, Gerrior SA, Pomp A, Albina JE. Use of retinol-binding protein and prealbumin as indicators of the response to nutrition therapy. *J Am Diet Assoc* 1989;89(5):684-7.
29. Mushnick R, Fein PA, Mittman N, Goel N, Chattopadhyay J, Avram MM. Relationship of bioelectrical impedance parameters to nutrition and survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int Suppl* 2003;(87):S53-6.
30. Schwenk A, Beisenherz A, Römer K, Kremer G, Salzberger B, Elia M. Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. *Am J Clin Nutr* 2000;72(2):496-501.

31. Fein PA, Gundumalla G, Jorden A, Matza B, Chattopadhyay J, Avram MM. Usefulness of bioelectrical impedance analysis in monitoring nutrition status and survival of peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial* 2002;18:195-9.
32. Mueller C, Compher C, Ellen DM; American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.) Board of Directors. A.S.P.E.N. clinical guidelines: Nutrition screening, assessment, and intervention in adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2011; 35(1):16-24.
33. Barak N, Wall-Alonso E, Cheng A, Sitrin MD. Use of bioelectrical impedance analysis to predict energy expenditure of hospitalized patients receiving nutrition support. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2003;27(1):43-6.
34. Ling CH, de Craen AJ, Slagboom PE, Gunn DA, Stokkel MP, Westendorp RG, et al. Accuracy of direct segmental multi-frequency bioimpedance analysis in the assessment of total body and segmental body composition in middle-aged adult population. *Clin Nutr* 2011;30(5):610-5.
35. Berneis K, Keller U. Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man. *Clin Nutr* 2000; 19(5):361-6.
36. Koulmann N, Jimenez C, Regal D, Bolliet P, Launay JC, Savourey G, et al. Use of bioelectrical impedance analysis to estimate body fluid compartments after acute variations of the body hydration level. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(4):857-64.
37. De Lorenzo A, Deurenberg P, Andreoli A, Sasso GF, Palestini M, Docimo R. Multifrequency impedance in the assessment of body water losses during dialysis. *Ren Physiol Biochem* 1994;17(6): 326-32.