

소아 체지방 평가를 위한 생체 저항분석법의 타당성 연구 : 이중 에너지 방사선 흡수법과의 비교

부산대학교 의과대학 소아과학교실

김 형 석 · 김 수 영

Validity of Bioelectrical Impedance Analysis(BIA) in Measurement of Human Body Composition

Hyung Suck Kim, M.D. and Su Yung Kim, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

Propose : Body composition by bioelectrical impedance analysis(BIA) is a very useful method of analysing body composition. BIA is non-invasive, inexpensive, nonhazaedous and reproducible technique. The aim of this study was to determine the level of agreement between body composition measurement by BIA and dual-energy X-ray absorptiometry(DEXA).

Methods : Data was examined in 100 children(male 58; female 42), who visited Pusan National Hospital. Weight(kg) and height(cm) were measured, and body compositions were analyzed with fat mass, lean body mass, body fat percent by BIA and DEXA methods.

Results : Comparison of the DEXA and BIA methods showed highly statistically significant correlations in measurement of human body composition(fat mass, lean body mass, body fat percent).

Conclusion : BIA should be considered as the method of choice in measurement of human body composition, since it's non-invasive, reliable, rapid, nonhazaedous and inexpensive, using portable equipment. (*Korean J Pediatr* 2005;48:696-700)

Key Words : Dual-energy X-ray absorptiometry(DEXA), Bioelectrical impedance analysis(BIA), Body composition

서 론

비만은 어른 뿐 아니라 소아에 있어서도 중요한 건강상의 문제이고 많은 신체적, 정신적 문제점들을 야기하므로 비만의 정도를 평가하기 위해서는 신체 성분을 분석하여 체내 지방의 축적된 정도를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 이상적인 비만의 진단 검사가 갖추어야 하는 조건으로는 정밀도와 정확도가 높아야 하고, 쉽게 측정할 수 있어야 하며, 재현성이 높아야 하며, 피검자에게 주는 불편함이 크지 않아야 한다. 비만 정도를 평가하기 위한 측정 방법으로 체질도법과 같은 직접 측정법은 특수한 시설이 필요하고 시간이 오래 걸리고, 복잡한 과정을 거쳐야 하기 때문에 주로 연구목적에만 사용된다. 실제로 임상에서는 체질량 지수(body mass index, BMI), 피부두께 측정(skin fold

thickness, mm), 비만도 계산(obesity index), 생체 전기저항 분석법(bioelectrical impedance analysis, BIA) 등과 같은 간접 측정법이 흔히 이용되고 있으며, 최근 들어 이중 에너지 방사선 흡수법(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA) 등을 이용한 체지방 측정이 이용되고 있다.

기존의 비만 평가에 사용되었던 BMI, 피부두께 측정, 비만도 계산은 외형적인 비만 정도는 대략적으로 알 수 있지만, 체내에 축적된 지방의 정도를 알 수 없으며, 이에 BIA, DEXA법을 객관적으로 체지방량 측정에 이용하고 있다.

BIA는 신체의 체수분량을 측정하는 기술로 1969년 Hoffer 등¹⁾이 처음으로 복잡한 인체의 구조를 단순한 원통형의 구조로 가정하여 체내의 총수분량은 전신의 전기저항값과 역비례 관계가 있다는 것을 보고하였으며, 이후 1980년대에 Luskaski 등²⁾, Kushner 등³⁾, Segal 등⁴⁾에 의해 건강한 개인을 대상으로 한 BIA의 타당성이 입증되었다. 이러한 BIA는 장치가 간단하고 특별한 기술을 필요로 하지 않으며, 비침습적이면서 측정치가 객관성, 신뢰성 및 타당성이 높고 연령이나 성과 관계없이 쉽게 적용할 수 있는 특징 때문에 의료기관이나 체력센터, 영양관련시설

접수 : 2005년 2월 16일, 승인 : 2005년 4월 5일
 책임저자 : 김수영, 부산대학교 의과대학 소아과학교실
 Correspondence : Su Yung Kim, M.D.
 Tel : 051)240-7296 Fax : 051)248-6205
 E-mail : suyung@pusan.ac.kr

에서 많이 이용되고 있다. 반면 DEXA법에 의한 체성분 분석은 방사선 조사량이 적으면서 측정치가 보다 정확, 정밀한 것으로 보고되고 있다.

본 연구자는 소아 비만 평가방법에 대한 구체적인 정보를 제공하고자, 부산대학교병원 소아과를 방문한 소아들을 대상으로 BIA와 DEXA법에 의한 체성분 측정치들의 분포 및 상관 관계를 비교 검토하여 BIA에 의한 체지방 평가의 타당성을 알아보 고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

2003년 3월에서 7월까지 4개월 동안 부산대학교병원 소아과 외래를 방문하였던 소아 100명(남아 58명, 여아 42명)을 대상으로 하였다.

2. 방 법

신체 체형 및 체질량 지수 측정에 있어 신장은 맨발로 신장 측정계를 이용하여 소수점 한자리까지 측정하였고, 체중은 표준 체중계의 영점을 맞춘 후 소수점 한자리까지 측정하였다. 체질량 지수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{체질량 지수(BMI : kg/m}^2\text{)} = \text{체중(kg)} / [\text{신장(m)}]^2$$

BIA는 Health keeper(HTM-1000, Seoul, Korea)를 사용하였는데, 피검자는 가벼운 복장을 하고 신체에서 금속 성분을 모두 제거하였다. 상·하지에 전극을 부착하고 직립 자세로 팔과 다리를 약간 벌린 자세를 취한 후 부위별 전기 저항에 따른 체지방량[fat body mass, FBM(kg)], 제지방량[lean body mass, LBM(kg)], 체지방률[percent body fat, %BF(%)]을 분석하였다.

DEXA법은 전신 스캐너(whole body scanner, QDR 1000/W, HOLOGIC, Waltham, MA)를 사용하였으며, 대상 소아들을 충분히 진정시킨 후 검사가 이루어졌다. 대상 소아들은 가벼운 운동복 차림 외에 모든 착용물을 제거한 후 머리부터 발끝까지 연속적인 횡축 촬영에 의해 이루어졌다. 협조가 되지 않는 어린 소아들은 경구 진정제를 투여하였다. 촬영 속도는 고속 횡축 촬영법을 이용하였으며 소요 시간은 10-15분이었고 노출 방사선량은 1 μSv 이하였으며 매일 검사 시행 전 조울을 시행하였다. 자료 처리과정에서 제지방량은 골량[body mineral density, BMD(kg)]과 조직량[tissue(kg)]을 합하여 구하였다.

본 연구에서 음식과 온도 및 운동 등에 의한 영향을 배제하기 위해 3-7월에 온도가 비교적 일정한 실내에서 시행되었고 측정시간이 오후 3시부터 6시 사이인 외래 진료 후 측정하였다.

본 연구의 통계 처리는 student t-test, 상관계수 및 회귀방정식을 통하여 BIA와 DEXA법을 통한 각 측정치간의 상관성을 분석하였다.

결 과

1. 성별과 나이분포

대상 소아 100명 중 남아가 58명, 여아가 42명으로 남녀 비는 1.4:1로 남아가 많았다. 대상 소아의 평균 연령은 9.6±2.8세이었으며 남아에서는 9.9±2.5세, 여아에서는 9.3±3.1세로 큰 차이는 보이지 않았다(Table 1).

2. 신체 계측

전체 조사 대상자 100명에 대한 평균 체중은 35.4±11.5 kg이었으며 남아에서는 37.7±12.0 kg, 여아에서는 32.1±10.1 kg로 남아에서 높게 측정되었으며, 평균 신장은 134.7±15.7 cm로 남아에서는 136.8±14.4 cm, 여아에서는 131.7±17.2 cm로 큰 차이를 보이지 않았으며, BMI는 평균 18.9 3.9 kg/m²였으며, 남녀간의 의미있는 차이는 없었다(Table 1).

3. BIA, DEXA법을 통한 체성분 분석

100명의 환아를 대상으로 한 BIA, DEXA법의 자료를 비교하였으며(Table 1), 두 방법을 통한 체성분 분석의 결과, LBM, FBM 양자에서 통계학적으로 의미있는 양의 상관 관계가 관찰되었다(Fig. 1-3). BIA, DEXA법의 결과의 상관관계에 나이 및 BMI를 보정하고도 미치는 영향은 없었다. Bland-Altman plots을 통한 BIA와 DEXA법의 비교 분석에서 의미있는 차이가 관찰되지 않았다. BIA와 DEXA법을 통한 FBM, LBM, %BF 값의 차이는 각각 0.22±1.35 kg, -0.71±1.99 kg, 1.37±3.79%이었다(Fig. 4-6). 특히 FBM에서 남녀 모두 상관 계수가 높았다(Table 2).

Table 1. Auxology and Values for Fat Body Mass(FBM), Lean Body Mass(LBM) and Percent Body Fat(%BF) Measured by Bioelectrical Impedance Analysis(BIA) and Dual Energy X-ray Absorptiometry(DEXA) in the Study Subjects

	All(n=100)	Males(n=58)	Females(n=42)
Age(year)	9.6±2.8	9.9±2.5	9.3±3.1
Weight(kg)	35.4±11.5	37.7±12.0	32.1±10.1
Height(cm)	134.7±15.7	136.8±14.4	131.7±17.2
BMI(kg/m ²)	18.9±3.9	19.6±4.0	18.1±3.5
FBM(kg)			
BIA	10.1±5.8	10.8±6.3	9.1±4.9
DEXA	9.8±6.0	10.5±6.8	9.0±4.5
LBM(kg)			
BIA	25.3±7.4	26.9±7.8	23.1±6.2
DEXA	26.0±7.4	27.5±7.6	24.0±6.7
%BF			
BIA	26.7±9.4	26.6±9.9	26.8±8.8
DEXA	25.3±9.5	24.9±10.9	25.9±7.2

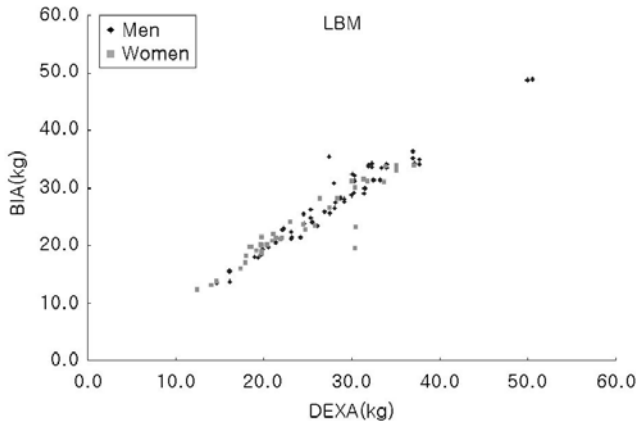


Fig. 1. Relationship between lean body mass(LBM) measured by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA) and bioelectrical impedance analysis(BIA) in 100 subjects($P<0.001$ for both sex).

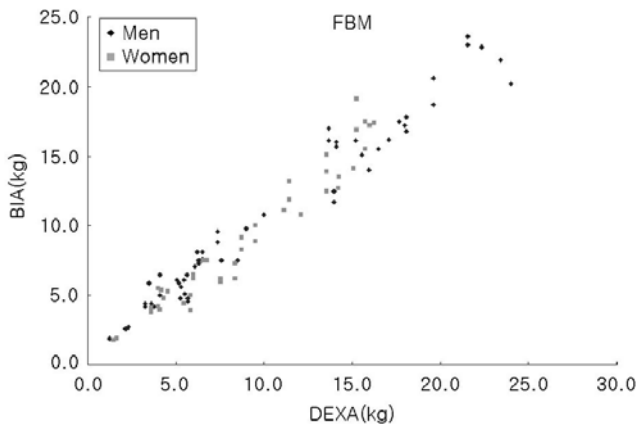


Fig. 2. Relationship between fat body mass(FBM) measured by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA) and bioelectrical impedance analysis(BIA) in 100 subjects($P<0.001$ for both sex).

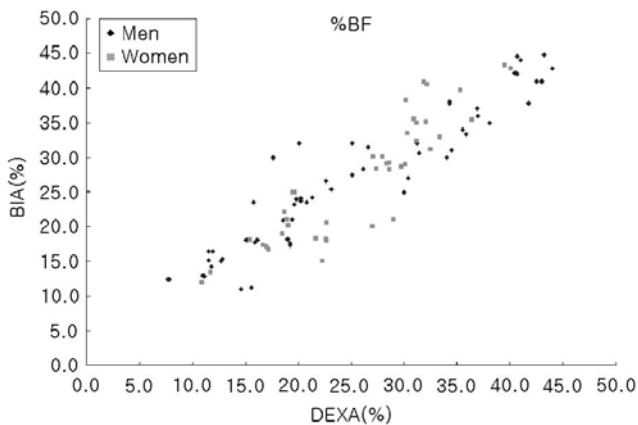


Fig. 3. Relationship between percent body fat(%BF) measured by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA) and bioelectrical impedance analysis(BIA) in 100 subjects($P<0.001$ for both sex).

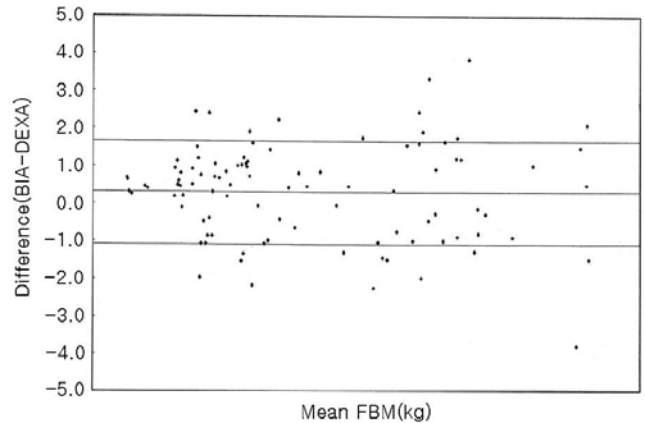


Fig. 4. Bland-Altman plot showing the difference between fat body mass(FBM) by bioelectrical impedance analysis(BIA) and FBM by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA).

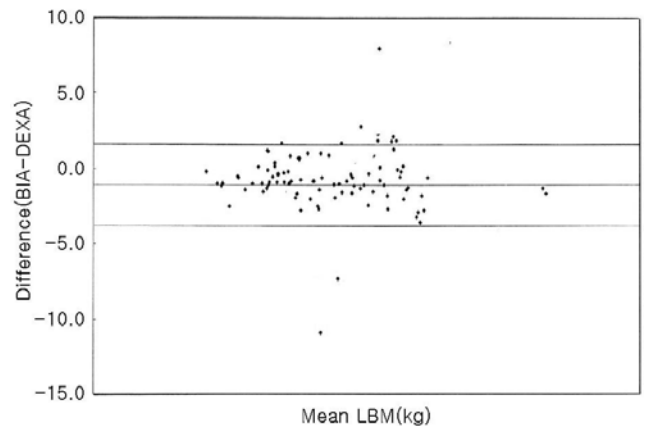


Fig. 5. Bland-Altman plot showing the difference between Lean body mass(LBM) by bioelectrical impedance analysis (BIA) and fat body mass(FBM) by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA).

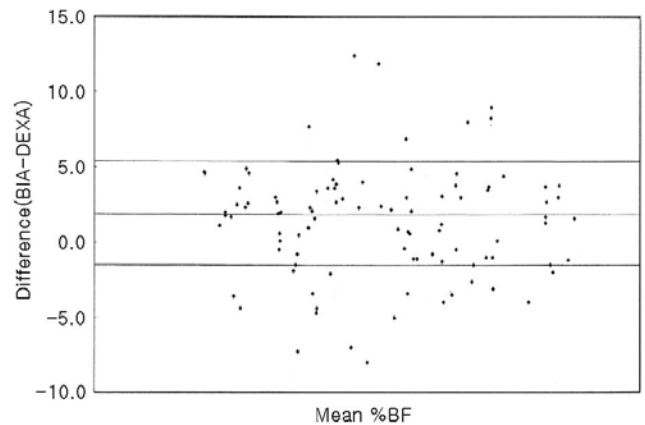


Fig. 6. Bland-Altman plot showing the difference between percent body fat(%BF) by bioelectrical impedance analysis (BIA) and %BF by dual energy X-ray absorptiometry(DEXA).

Table 2. Linear Regression Equations and Correlation Coefficients for Lean Body Mass(LBM), Fat Body Mass(FBM), and Percent Body Fat(%BF) Obtained from Bioelectrical Impedance Analysis[BIA(x)] and Dual Energy X-ray Absorptiometry[DEXA(y)] Measurements

	Sex	Linear regression equation	Correlation coefficient
LBM(kg)	Male	$y=-0.49+1.00x$	$r=0.97^*$
	Female	$y=2.00+0.88x$	$r=0.94^*$
FBM(kg)	Male	$y=1.29+0.91x$	$r=0.98^*$
	Female	$y=-0.31+1.05x$	$r=0.97^*$
%BF(%)	Male	$y=5.27+0.86x$	$r=0.94^*$
	Female	$y=-1.61+1.10x$	$r=0.90^*$

* $P<0.001$

고 찰

우리나라에서도 소아 비만의 빈도가 증가하고 있고 성인 비만으로 이행하기 쉬우며 중등도 이상의 비만아는 체력, 특히 전신 지구력의 저하 뿐 아니라, 고지혈증, 고혈압, 신장 혈관계 질환 등 합병증을 동반할 수 있으며 성인까지 지속되는 경향이 많다. 이러한 합병증을 예방하기 위해서는 비만의 조기 발견 및 예방이 중요하며 비만 정도의 정확한 평가가 필요하며, 체성분 분석은 영양 상태와 관련한 건강을 평가하는데 매우 중요하다. 인체의 구성은 제지방(lean body mass, LBM)과 지방으로 나눌 수 있는데, 제지방이란 지방을 제외한 근육 조직, 골격 조직, 장기 조직, 치아 등을 포함한 모든 것을 말하며, 지방 조직은 필수 지방 조직과 축적된 지방을 포함한다. 비만은 체내에 지방이 과다하게 축적된 상태를 말한다⁵⁾.

비만의 평가에 대해 인체구성의 측정방법에 관한 많은 연구들이 보고되고 있으나 신체구성의 평가에 관하여 직접 측정한 것을 근거로 한 것은 거의 없다. 이 직접 측정은 사체분해로 가능하며 *in vivo*에서 제지방의 평가는 간접 원리를 근거로 하여야 한다. 간접 측정에 의한 방법으로 신장, 체중을 측정하여 환산하는 신체계측지수에 의한 방법과 체밀도(body density) 등을 측정하여 제지방률(%BF)을 측정하는 방법이 비교적 널리 이용되고 있는데, 신체계측지수에는 신장별 표준체중을 이용한 비만도, 체중충실지수로 알려져 있는 Rohrer 지수, 폰데랄 지수, BMI 등이 있다. 그 외 방법으로 수중체중법(underwater weighing), 칼륨법, 가스 환산법, DEXA법, 피부두께 측정법, 생체 전기저항 분석법이 있는데 수중체중법은 현재 제지방 측정의 방법으로써 가장 신뢰성, 객관성 및 타당성이 있으나 정확히 실시하기 위해서는 여러 특수한 장비가 필요하다는 단점이 있으며 DEXA법 역시 비교적 정확한 제지방 측정법이나 장비가 고가이고 시술이 용이하지 않아 제지방 측정에 정기적인 검사로는 적절하지 않다^{6,7)}. 제지방 측정에 있어 어느 한 가지 검사 방법을 제시하기에는 무리가 따른다^{8,9)}.

BIA는 체수분을 전기적인 방법을 이용하여 측정하는 기술로 최근 제지방을 측정하기 위하여 많이 이용되고 있으며 성인에서는 여러 연구에서 타당성이 검증되었다^{5,10)}. 신체에 미세한 전류를 흘렸을 때 수분, 지방, 근육 등에서의 전류저항 및 전도성이 각각 다르게 나타나는 성질을 이용하여 전기 저항치를 측정하여 간편하게 체수분, 제지방 등의 신체 조성을 측정한다. 즉, 지방은 전기전도도의 효율이 매우 떨어져 저항이 크며, 수분과 전해질을 포함하는 제지방조직은 전류에 저항이 낮다는 점을 이용하여 간접적으로 지방량을 측정한다^{11,12)}. 신체 전기저항 분석법은 음식물 섭취 여부, 측정시의 기온, 운동의 정도, 전극의 위치 등에 의해 영향을 받을 수 있다. 음식물을 측정 전 1시간 이내에 섭취하였을 경우에는 제지방이 실제보다 높게 측정될 수 있다. Graby 등은 24-34℃에서는 측정치에 아무런 영향을 주지 않는다고 하였으며, Caton 등은 35℃ 이상 혹은 14℃ 이하이면 제지방량이 실제보다 높게 측정된다고 하였다. 측정 전에 심한 운동을 하면 저항값을 감소시킬 수 있으나 중간 강도 정도의 운동은 저항값에 영향을 미치지 않는다. 운동 후의 탈수 상태에서는 저항값이 낮게 측정된다는 보고도 있다. 본 연구에서 음식과 온도 및 운동 등에 의한 영향을 배제하기 위해 3-7월에 온도가 비교적 일정한 실내에서 시행되었고 측정시간이 오후 3시부터 6시 사이인 외래 진료 후 측정하였다.

신체 전기저항 분석법을 이용한 체성분 분석은 비침습적이고, 경제적이며, 방사선 노출의 위험이 없이 검사가 용이해 반복 시행할 수 있다는 장점이 있다¹³⁾. 또한 신체 전기저항 분석법으로 측정된 제지방량, 제지방, 제지방률이 제지방을 측정하는 표준 방법인 수중 체밀도법으로 측정된 결과와 높은 상관 관계가 있으므로, 성인에서 신체 조성을 평가하는 방법으로 널리 사용되고 있다. 그러나 현재까지도 소아를 대상으로는 충분한 연구가 이루어져 있지 않다.

최근 DEXA법이 소개되면서 단순히 골 밀도 측정 뿐 아니라 체성분 분석에 이용되고 있다. 이는 X-ray 선을 이용하여 에너지가 다른 광자(주로 140 keV, 100 keV)로 신체를 투과시켜 증폭 에너지를 측정하는 방법으로 다른 방법과 달리 인체의 3부분, 즉 골, 지방, 체성분을 나누어 측정하며 보다 민감하고 신뢰성이 있으나¹⁴⁾, 소아에서의 정확성을 감소시키는 요인, 즉 측정하는데 걸리는 시간이 오래 걸리며 움직임이 있을 경우 검사의 정확도가 감소한다는 단점이 있다. 검사 대상의 수분 섭취 상태에 따라 검사 결과가 달리 나타나는데, 소아들은 비례적으로 몸의 총 수분량이 많다고 알려져 있다¹⁵⁾. 또한 체부 두께에 따른 결과치 오차가 발생하는데, 두께가 두꺼운 대상에 대해서 제지방이 과다 측정될 우려가 있다. 그럼에도 불구하고 DEXA법은 임상에서 체성분 분석에 있어 가장 유용하면서 신뢰도 높은 검사법들 중 하나로 알려져 있다^{8,9)}. 일부 연구들에서 DEXA법보다 BIA에서 제지방량이 적게 측정된다고 보고하고 있으나^{16,17)}, Johansson 등¹⁸⁾은 BIA서 제지방량이 높게 측정되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 제지방 및 제지방량 측정에 있어 두 검사간 의미있는

차이가 보이지 않았다.

BIA에 의한 체지방 분석은 사용이 간편하고 반복하여 사용할 수 있으며 다른 비만 측정법과도 높은 상관성을 보이고 체지방률을 비교적 정확하게 측정할 수 있어 소아의 비만을 진단하는 객관적인 자료로 제시할 수 있다고 사료된다¹⁹⁾. 그러나 본 연구가 단면적인 조사이고 한정된 소아만을 대상으로 한 한계점이 있으므로, 체지방 분석에 있어 BIA의 타당성을 제시하기 위해서는 보다 광범위한 검사를 통한 체지방 평가 방법들 간의 상관관계 연구가 필요하리라 생각된다.

요 약

목적 : 소아 체지방 평가에 있어 여러 가지 방법 중 BIA를 이용한 체성분 분석은 비침습적이고, 경제적이며, 방사선 노출의 위험이 없이 검사가 용이해 반복 시행할 수 있다는 장점이 있는 반면 검사 결과의 정확성에 대해 확인해 볼 필요가 있다. 이에 BIA 및 이중 DEXA에 의한 측정치들을 비교하여 BIA의 타당성을 알아보고자 하였다.

방법 : 2003년 7월에서 10월까지 4개월 동안 부산대학교병원 소아과 방문하였던 소아 100명(남아 58명, 여아 42명)을 연구 대상으로 하여 연구 대상자들에 대하여 각각 신장, 체중, 피부두께를 측정하였으며, BIA 및 DEXA법을 이용하여 체성분(체지방량, 체지방량, 체지방률, 체수분량)을 분석하였다.

결과 : BIA와 DEXA법을 통한 검사상 FBM, LBM, %BF의 상관관계는 남녀 모두에서 통계학적으로 의미있는 양의 상관관계를 보였으며, 통계학적으로 의미가 있었다($P < 0.001$). 특히 FBM에서 남녀 모두 상관 계수가 높았다.

결론 : 소아 비만의 평가에 있어 BIA를 통한 체성분 분석은 장치가 간단하고 특별한 기술을 필요로 하지 않으며, 비침습적이면서 경제적인 뿐 아니라 측정치가 객관적이고 정확한 것으로 분석되었다.

References

- Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol* 1969;27:531-4.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW. Estimation of body fluid volumes using tetrapolar bioelectrical impedance measurements. *Aviat Space Environ Med* 1988;59:1163-9.
- Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986;44:417-24.
- Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J, Van Itallie TB. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J Appl Physiol* 1985;58:1565-71.
- Lee JE, Park KW, Cho SJ, Whang IT, Hong YM. Body composition by bioelectrical Impedance analysis in obese children. *J Korean Pediatr Soc* 2001;44:992-1001.
- Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr* 1988;47:7-14.
- Erselcan T, Candan F, Saruhan S, Ayca T. Comparison of body composition analysis methods in clinical routine. *Ann Nutr Metab* 2000;44:243-8.
- Pullicino E, Coward WA, Stubbs RJ, Elia M. Bedside and field methods for assessing body composition: comparison with the deuterium dilution technique. *Eur J Clin Nutr* 1990;44:753-62.
- Roubenoff R, Kehayias JJ, Dawson-Hughes B, Heymsfield SB. Use of dual-energy X-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". *Am J Clin Nutr* 1993;58:589-91.
- Kotler DP, Burastero S, Wang J, Pierson RN Jr. 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-497S.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985;41:810-7.
- 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.
- Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Hall MC. Validity of bioelectric impedance for body composition assessment in children. *J Appl Physiol* 1989;66:814-21.
- Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy X-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 1990;51:1106-12.
- Fomon SJ, Haschke F, Ziegler EE, Nelson SE. Body composition of reference children from birth to age 10 years. *Am J Clin Nutr* 1982;35:1169-75.
- Wang ZM, Deurenberg P, Guo SS, Pietrobelli A, Wang J, Pierson RN Jr, et al. Six-compartment body composition model: inter-method comparisons of total body fat measurement. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22:329-37.
- Hildreth HG, Johnson RK, Goran MI, Contompasis SH. Body composition in adults with cerebral palsy by dual-energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance analysis, and skinfold anthropometry compared with the ¹⁸⁰O isotope-dilution technique. *Am J Clin Nutr* 1997;66:1436-42.
- Johansson AG, Forslund A, Sjodin A, Mallmin H, Hambræus L, Ljunghall S. Determination of body composition—a comparison of dual-energy X-ray absorptiometry and hydrodensitometry. *Am J Clin Nutr* 1993;57:323-6.
- Whang IT, Ryu KH, Kim KH, Hong YM, Kim GH, Lee K. Percentage of body fat by bioelectrical impedance analysis in healthy children. *J Korean Pediatr Soc* 1999;42:1207-14.