

수중 체밀도법과 생체 전기저항 분석법, 체질량지수법, Broca의 표준 체중법의 상관관계

영동제일병원 가정의학과

우정의 · 오석 · 최종태

The Correlations between Hydrodensitometry and Bioelectrical Impedance Analysis, Body Mass Index, and Broca's Method

Jeong Ik Woo M.D., Seog Oh M.D. and Jong-Tae Choi, M.D.

Department of Family Medicine Jeil Women's Hospital

ABSTRACT

Object: Obesity is defined as "heperaccumulation of bodyfat". So in diagnosis of obesity, the accurate measurement of body fat is very important. The recent development of bioelectrical impedance analysis(BIA) method made it possible to analyze percent body fat more easily. We performed this study for two purposes. The first is to evaluate the precision error of percent body fat measurement by bioelectrical impedance analysis(Inbody 2.0,Biospace Seoul Korea) method. The second is to evaluate the correlation between densitometry and bioelectrical impedance analysis(BIA), body mass index(BMI) and Broca's method in body composition analysis.

Method: To evaluate the precision error of BIA method, 7 health subjects(M;3, F;4) were selected. Percent body fat measurement by BIA method was performed one time a day for 10 days. To evaluate the correlation between densitometry and BIA(Inbody2.0, Seoul Korea), BMI, and Broca method, 23 health subjects(M;10, F;13) were selected. To these subjects we measured height, weight, and percent body fat by BIA and densitometry. The Brozek's formula was used for percent body fat calculation by hydrodensitometry method. To assess the precision error of the measurement, we performed descriptive analysis by using SPSS statistic package. To assess the correlation, we performed bivariate correlation analysis and age controlled partial correlation analysis.

Results: The precision error of BIA method in percent body fat measurement was 3.4%. The precision error of densitometry method was 3.0%. In bivariate correlation analysis, there were statistically significant correlation between densitometry and BIA method($r=0.85$, $p<0.001$). In bivariate correlation analysis, there were no statistically significant correlation between densitometry and BMI, BROCA method. In age controlled partial correlation analysis, there were statistically

significant correlation between densitometry and BIA, BMI and Broca's method. The correlation coefficients were 0.82($p<0.001$), 0.46($p=0.038$), and 0.44($p=0.048$) respectively.

Conclusion: Precision error of BIA(Inbody 2.0) method was 3.4%. The correlation of between densitometry and BIA was statistically more significant than that of between densitometry and BMI, and Broca's method. When we diagnose obesity, considering percent body fat which measured by BIA method as well as anthropometric indices is more reasonable than that of anthropometric indices alone.

Key Words: BIA, Densitometry, BMI, Broca, Body composition

연구 배경

인체는 수분, 단백질, 지방, 무기질 및 기타의 제지방 구성물질등의 4가지 주요 성분으로 구성되어 있으며, 이를 크게 지방성분과 지방을 제외한 성분(lean body mass)으로 나누기도 한다[1,2,5]. 비만은 체내에 지방이 과도하게 축적된 상태를 말한다[5]. 따라서 비만을 진단할 때 체지방이 축적된 정도를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 체성분(body composition)을 분석하는 방법이 갖추어야 할 이상적인 조건으로는, 정밀도와 정확도가 높은 검사법이어야 하고, 피검자에게 불편감이 크지 않아야 하며, 숙련되지 않은 기술자도 쉽게 조작 할 수 있어야 하며, 가격이 저렴해야 한다[3]. 그러나 현재까지 이러한 조건을 갖춘 방법은 없는 실정이다. 일반적으로 저렴한 가격의 검사법은 체성분 분석의 정밀도 및 정확도가 낮고, 정밀도와 정확도가 높은 검사법은 가격이 비싸다[4]. 따라서 기존의 방법 중 연구목적에 가장 부합하는 방법을 선택하여 체성분 분석을 실시하여야 한다[4]. 체지방량이나 체지방률을 비교적 정확하게 측정하는 방법으로는 체밀도를 측정하는 법, 체내의 총 칼륨량이나 총수분량을 측정하는 방법 등이 있는데, 이를 방법은 인체는 지방과 지방을 제외한 부분으로 이루어져 있고 지방을 제외한 부분은 일정한 성분으로 이루어져 있다는 것을 전제로 한다[33]. 이를 방법은 대부분 번거롭고 복잡한 과정을 거쳐야 하고, 고가의 장비가 필요하거나, 피검자에게 불쾌감을 주고, 시간이 많이 걸리는 등의 제한점때문에 임상이나 집단을 대상으로 하는 역학적 연구의 영역에서는 사용하는

데 제한이 있었다[5~7]. 역학적 연구의 영역에서 사용 되어져 온 방법들로는 신체계측법이나, 피부 두께를 측정하는 법 등이 있는데 이들 방법들은 간단하고, 값싸고, 시간이 적게 걸리는 등의 장점이 있지만 체성분을 측정하는데 정확도와 정밀도가 떨어지는 단점이 있다 [6]. 비만을 연구한 대부분의 대규모 역학적 연구들에서는 비만의 척도로서 체질량지수(body mass index, BMI)를 이용 하였다[8]. 그러나 체질량지수는 신장에 대한 체중의 지표일 뿐, 비만의 정의에 따른 '체지방 축적의 정도'를 나타내는 지표가 아니다. 따라서 체질량지수법에 의해서는 과체중인 사람의 체지방의 축적은 과도하지 않은 경우가 있고, 반대의 경우도 있다[5]. 따라서 빠르고, 안전하며, 침습적이지 않고, 피검자에게 불쾌감을 주지 않으며, 경제적이면서도, 정확도와 정밀도가 높은, 전신 체성분 검사방법이 요구되어 왔었다. 신체의 지방을 제외한 부분에는 수분과 전해질이 포함되어 있고, 따라서 제지방질은 도체의 성질을 띠게 되는 특성을 이용하여, Hoffer 등이 1969년 처음으로 복잡한 인체의 구조를 단순한 원통형의 구조로 가정하여 체내의 총 수분량과 전신의 전기저항과의 상관 관계를 보고한 이후, 생체 전기저항 분석법(bioelectrical impedance analysis, BIA)이 체성분 분석을 위한 방법으로 이용되기 시작하였으며[9], 그 후 많은 연구자들에 의해 그 타당성이 연구되어져 왔다[6,9~14]. 체내의 전기저항을 측정하는 방식인 BIA 체지방 측정이 도입됨에 따라 번거롭고 힘든 방식인 수중체밀도법이나, 총 칼륨측정법, 총 수분측정법 등에 비해 훨씬 경제적으로, 빠른 시간 안에 편리하게 체성분을 분석하는것이 가능해졌고, 더구나 체성분 분석에 있어서 그 정확도 또한

- 수중 체밀도법과 생체 전기저항 분석법, 체질량지수법, Broca의 표준 체중법의 상관관계 -

높다[6,10]. 여러 연구 결과들에 의하면 생체 전기저항 분석법은 건강한 피검자들을 대상으로한 체내 총 수분량의 측정이나, 제지방량의 측정시에 체성분분석의 표준방법인 수중 체밀도법에 의한 결과와 높은 상관성을 보였다고 하였다[6,10,13,14]. 이에 저자들은 국내에서 개발되어 임상에서 쓰이고 있는 BIA방식의 체지방 측정기 Inbody2.0(Biospace Seoul, Korea)의 정밀도를 알아보고, 체지방 측정의 표준인 수중 체밀도법에 의한 체지방률과 생체 전기저항 분석법(BIA), Broca의 표준 체중법, 체질량 지수법(BMI)에 의한 비만지표들간의 상관성을 알아보고자 하였다.

연구 방법

BIA(Inbody2.0, Biospace Seoul Korea) 방법을 이용한 체지방 측정의 정밀도를 구하기 위해, 최근 2개월 간 체중을 증가시키거나 감소시키기 위한 노력을 하지 않았으며, 이뇨제나 식욕억제제 등 체중에 영향을 미칠 수 있는 약물을 복용한 적이 없고, 문진과 이학적 검사상 건강한 남녀 지원자(남 4, 여 3) 7명을 대상으로, 매일 16시부터 17시 사이에 1일 1회 각 9회에서 12회에 걸쳐 반복하여 체지방 측정을 실시하였다. 이때 피검자는 12시~12:30분 사이에 점심식사를 한 후 금식하고 측정전 소변을 본 후 체지방 측정을 실시하였다.

BIA, BMI, Broca법에 의한 비만지표와 체지방 측정의 표준방법인 수중체밀도법에 의한 체지방률의 상관성을 알아보기 위해서, 문진과 이학적 검사상 건강한 남녀 지원자(남 10, 여 13) 23명을 대상으로 신체계측을 하여 체질량지수와, Broca의 표준체중법에 대한 피검자의 체중의 비를 구하고 BIA방법을 이용한 체지방 측정을 하였고, 수중체밀도 측정법에 의한 체지방 측정을 실시하였다. 피검자들은 12:00시~12:30분 사이에 점심식사를 한 후 금식하고, 16~17시사이에 소변을 본 후 측정에 임하였다. 신장은 수동식 신장계를 이용하여 cm단위로 측정후 반올림하였으며, 체중은 50g까지 측정이 가능한 디지털저울(CAS, Seoul Korea)을 이용하여 측정하였다. 그 후 BIA 체지방 측정기를 이용하여 체지방 측정을 실시하였다. 수중체밀도법에 의한 체

지방 측정을 할 때 폐활량(vital capacity, VC) 및 잔기량(residual volume, RV)을 보정하기 위하여 폐활량을 측정하였다. 폐활량은 디지털 폐활량계 ST-250(Fukuda Japan)을 이용하여, 폐활량을 3회 측정한 후 그 평균값을 구하여 폐활량의 보정 및 잔기량의 유추에 이용하였다. 폐활량계의 측정오차는 3.0 liter 피스톤을 이용하여 30회 반복 측정시 1.0%, 피검자들에게 3회 반복 측정시 2.8%였다. 폐활량 측정 후에 피검자들은 수중체밀도법에 의한 체지방률을 구하기 위해 수중체중을 측정하였다. 수중체중은 스쿠버용 풀에서 측정하였는데, 피검자는 4.0kg(수중무게 3.7kg)의 납추를 허리에 착용하고 최대흡기상태(maximal inspiration)로 수중에서 움직이지 않게 한 후 수면이 잠잠한 상태에서 수중체중을 측정하였다. 이때 측정된 무게에서 납추의 수중무게(3.7kg)와 폐활량에 의한 부력(1cc당 1gm으로 환산)을 보정한 값을 피검자의 수중체중으로 하였다. 이때 수중체중은 5회 측정한 후 그 평균값을 구하여 체밀도의 계산에 이용하였다. 체밀도를 계산할 때 잔기량(RV)은 남자는 폐활량(VC)에 0.24를, 여자의 경우는 폐활량에 0.28을 곱하여 추정한 값을 이용하였다[15]. 수중 체밀도는 $D = W_a / (K \cdot RV)$ 의 식을 이용하여 계산하였다. 이때 D는 수중체밀도(gm/cc), W_a 는 공기중의 피검자의 체중, K는 공기중 체중에서 수중체중을 뺀 값을 측정시의 물의 밀도로 나눈 값이고, RV는 잔기량이다. 위의 식을 이용하여 수중 체밀도를 구한 후, 체지방률의 계산은 Brozek의 식, 체지방률 $\% = (4.570/D - 4.142) \times 100$ 을 이용하였다[2]. 폐활량 측정과 BIA방법을 이용한 체지방 측정의 측정 오차를 구하기 위해 SPSS통계 프로그램의 기술통계를 이용하였다. 측정오차(CVsd)를 구하기 위하여 각각의 피검자에 대한 측정치의 표준편차(SD)의 산술평균을 구하지 않고, $SD = SD^2/m$, $CVsd \% = (SD/x)/m \times 100$ 의 식을 이용하여 측정오차를 구하였다[16]. 위 식에서 x는 각 대상자의 측정치의 평균값이고, m은 대상자의 수이다. 수중 체밀도법에 의해 측정된 체지방률과 BIA, BMI, Broca 법에 의한 비만지표와의 상관성을 보기 위하여 이변수 상관분석과(bivariate correlation), 나이를 보정한 분할 상관분석(partial correlation)을 실시하였다.

결 과

BIA방법을 이용한 체지방률 측정의 정밀도를 알아보기 위한 연구에 참여한 피검자는 모두 7명(남 3명, 여 4명)이었다. 이들의 평균 연령은 29.7세(표준편차 5.2) 이었으며, 최소 25세 최대 40세이었다. 신장은 평균 164.4cm(표준편차 7.9)이었고, 최소 154cm 최대 177cm이었다. 체중은 평균 60.5kg(표준편차 10.2) 이었고, 최소 45.3kg 최대 74.6kg이었다(Table 1). 측정 오차는 각 피검자의 표준편차의 산술평균을 구하는 방법으로 하지 않고, 각 피검자의 표준편차의 제곱의 합을 총 피검자의 수(7명)로 나눈 값의 제곱근을 구하는 방식으로 7명의 피검자에 대한 BIA 방식의 체지방 측정기 Inbody 2.0(Biospace Seoul, Korea)를 이용한 체지방률 측정의 표준 편차를 구하였다. 이렇게 구해진 표준 편차를 각 피검자에 대한 반복 측정시의 평균값을 총 피검자수(7명)로 나눈 값으로 다시 나누어서 측정오

Table 1. 생체 전기저항 분석법에 의한 체지방 측정의 정밀도 연구대상의 특성

	N=7(남=3, 여=4)			
	평균	표준편차	최소	최대
연령(세)	29.7	5.2	25.0	40.0
신장(cm)	164.4	7.9	154.0	177.0
체중(kg)	60.5	10.2	45.3	74.6

차를 구하였다. 이 방식으로 구한 BIA방식 체지방측정기 Inbody2.0(Biospace Seoul, Korea)의 체지방률 측정의 측정오차는 3.4%였다(Table 2).

수중체밀도법으로 구한 체지방률과 BIA, BMI, Broca의 표준체중법에 의한 비만지표간의 상관성을 알아보는 연구의 피검자는 총 23명(남 10명, 여 13명)이었다. 이들의 연령은 평균 29.2세(표준편차 5.7)이었으며, 최소 21세 최대 43세이었다. 신장은 평균 165cm (표준편차 7.3)이었고, 최소 152cm 최대 179cm이었다. 체중은 평균 61kg(표준편차 11.0)이었고, 최소 43.8kg 최대 83.4kg 이었다(Table 3). 수중 체밀도법에 의한 체지방률과 BIA법에 의해 구해진 체지방률 사이에는 단순상관분석과 나이를 보정한 분할상관분석 모두에서 통계적으로 유의한 상관성이 있었으며, 이때의 상관계수는 단순상관 분석시 0.85($P<0.001$), 나이를 보정한 분할상관 분석시 0.86($P<0.001$)이었다(Fig. 1).

수중체밀도법에 의한 체지방률과 체질량지수(BMI) 사이에는 단순상관 분석시에는 통계학적으로 유의한 상관 관계가 없었으나, 나이를 보정한 분할상관 분석에서는 유의한 상관관계가 있었으며, 이때의 상관계수는 단순상관 분석시 0.34($P=0.112$), 나이를 보정한 분할상관 분석시 0.47($P=0.020$)이었다(Fig. 2).

수중체밀도법과 Broca의 표준체중에 대한 피검자의 체중의 비 사이에는 단순상관 분석시에는 통계학적으로 유의한 상관관계가 없었으나, 나이를 보정한 분할상관 분석에서는 유의한 상관관계가 있었으며, 이때의 상관계수는 단순상관 분석시 0.34($P=0.112$), 나이를 보정한 분할상관 분석시 0.47($P=0.020$)이었다(Fig. 2).

Table 2. 생체 전기저항 분석법에 의한 체지방 측정의 정밀도 (단위 %)

피검자(성별)\ 측정회수	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차	11차	12차	평균	표준 편차
	1(M)	20.7	18.9	19.7	19.3	19.5	20.0	21.4	20.8	19.2			19.94	0.85
2(M)	15.3	15.2	14.4	14.2	13.8	14.1	15.6	15.3	13.4	13.7			14.50	0.79
3(M)	20.6	21.0	21.7	20.7	21.5	20.4	20.0	21.1	21.5	20.2			20.87	0.59
4(F)	38.7	38.6	40.1	39.9	38.4	37.9	39.3	38.8	39.2	38.4	38.5	40.3	39.01	0.76
5(F)	27.0	24.8	25.8	26.0	25.1	26.6	25.3	25.8	26.2	24.8	24.8		23.52	0.76
6(F)	24.6	21.4	23.8	24.4	23.5	24.2	23.7	23.7	23.8	23.5			23.71	0.89
7(F)	20.3	18.4	18.8	18.9	20.0	20.8	20.2	20.2	20.4	21.1			19.92	0.91

$$SD = \sqrt{\sum_m^{j=1} SD_i^2/cm} \quad CV_{SD} = [SD / \sqrt{\sum_m^{j=1} X_j/m}] = 3.4\%$$

SD: 표준편차, CV: 변이계수, m: 대상자수

X_j: 각 피검자의 평균, CV_{SD}: 측정오차

– 수중 체밀도법과 생체 전기저항 분석법, 체질량지수법, Broca의 표준 체중법의 상관관계 –

Table 3. BIA, BMI, Broca법과 수중체밀도법의 상관성 연구대상의 특성

	N=23(남=10, 여=13)			
평균	표준편차	최소	최대	
연령(세)	29.2	5.7	21.0	43.0
신장(cm)	165.0	7.3	152.0	179.0
체중(kg)	61.0	11.0	43.8	83.4

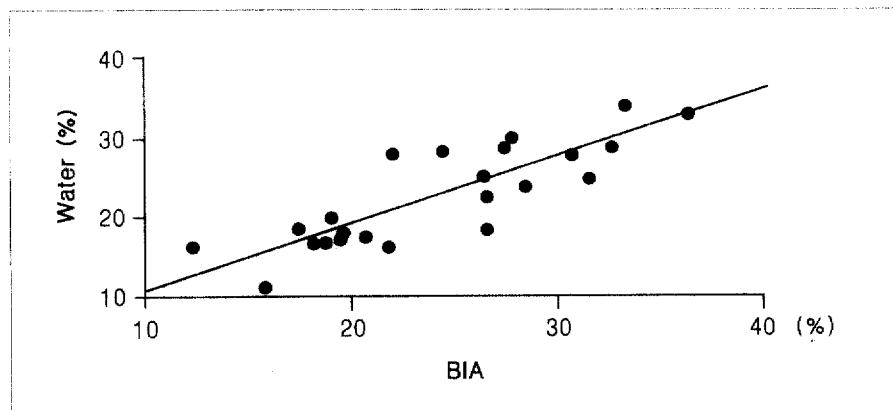
BIA: 생체 전기저항 분석법, BMI: 체질량 지수법

Broca: Broca의 표준체중법

관 분석시에는 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었으며, 이 때의 상관계수는 단순상관 분석시 0.40($P=0.06$), 나이를 보정한 분할상관 분석시 0.52($P=0.013$)이었다(Fig. 3).

고찰

BIA 방식의 체지방측정기 Inbody 2.0(Biospace

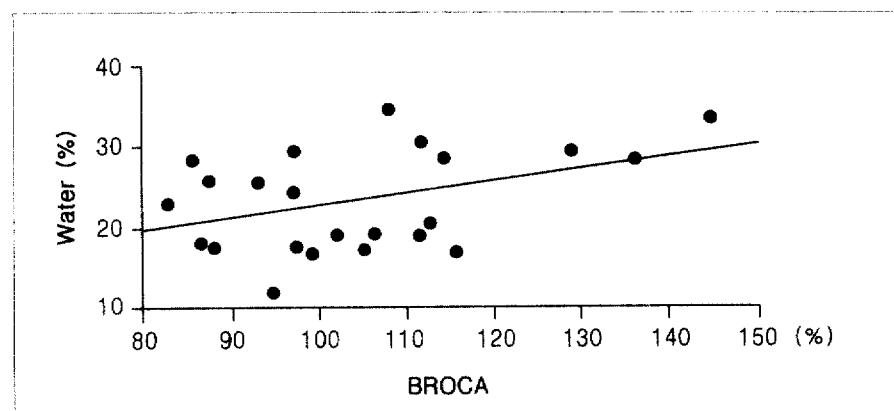


r: Simple=0.85($p<0.001$), r: Partial(age adjusted)=0.86($p<0.001$)

Water: 수중체밀도법에 의한 체지방률

BIA: 생체 전기저항 분석법에 의한 체지방률

Fig. 1. BIA법과 수중 체밀도법의 상관성.

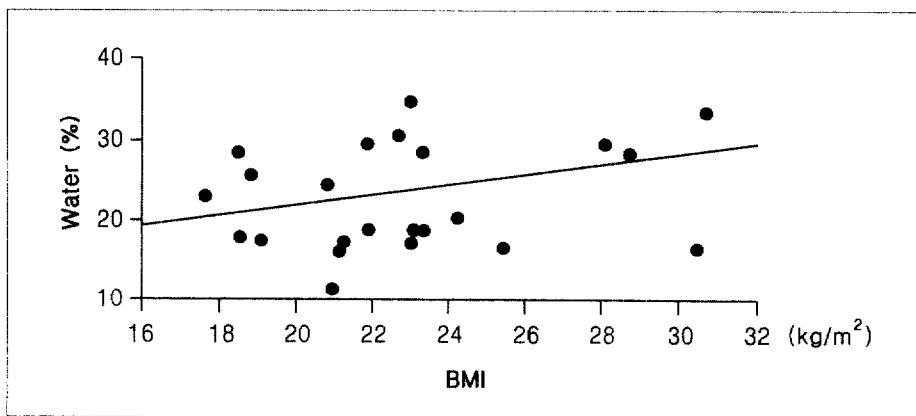


r: Simple=0.40($p=0.06$), r: Partial(age adjusted)=0.52($p=0.013$)

Water: 수중체밀도법에 의한 체지방률

Broca: Broca의 표준체중에 대한 피검자 체중의 비율

Fig. 2. Broca법과 수중 체밀도법의 상관성.



r: Simple=0.34(p=0.112), r: Partial(age adjusted)=0.47(p=0.020)

Water: 수중체밀도법에 의한 체지방률, BMI: 체질량 지수

Fig. 3. BMI법과 수중 체밀도법의 상관성.

Seoul, Korea)를 이용한 체지방률 측정의 정밀도는 측정오차가 3.4%였는데, 이는 다른 연구자들이 발표한 BIA 체지방측정의 측정오차와 유사한 수준이다. BIA 방법에 의해서 체지방을 측정할 때 전극의 위치, 수분 섭취의 정도, 음식물의 섭취, 활동수준, 누워서 지내는 시간, 측정시의 기온 등이 측정결과에 영향을 미칠수 있다[21]. 여러 보고자들에 의하면, 측정된 저항값의 변이는 하루중에 1~2%이고, 일간 혹은 주간의 변이는 2~3.5%이다[6,12,17,18]. Lukaski 등은 체밀도법을 기준으로 하였을때, BIA는 제지방 체중을 예측하는데 2~2.5kg의 오차가 있었고, 체지방률을 예측하는데는 2.7%의 오차가 있었다고 하였으며, 신체계측에 의한 체지방률의 계산시에는 3.7%의 측정오차가 있었다고 하였다[10]. Lukaski 등은 14명의 남자를 대상으로 저항을 5일간에 걸쳐 반복측정 했을 때, 측정오차 2%는 체내수분의 미세한 변화에 의한 것이라고 하였다. BIA 방법을 이용하여 측정한 저항값의 장단기 신뢰도에 관한 연구들에 의하면, 같은 장비와 측정방법을 사용했을 때 표준편차는 8.3~14오옴, 그리고 측정오차는 1.8~2.9%로 상대적으로 적었다[6,19,20]. Deurenberg 등 [21]은 식후 2~4시간에 측정시 저항값이 17오옴까지 감소한다고 했으며, Fogelholm 등[22]은 식후 1시간에 저항이 평균 0.6% 증가한 후, 다시 감소하여서 약 7시간동안 저항이 약간 낮아진 상태를 유지한다고 하였다.

Fogelholm 등은 BIA체지방 측정 전날 저녁 식후부터 금식하는 것이 필요하다고 하였다[22]. 하지만 다른 연구자들은[23], 측정 전 2시간내의 음식섭취는 저항값에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 음식섭취 후 1시간 이내에는 전신의 전기 저항의 변화는 미미 하지만, 체중이 증가하게 되고 따라서 체지방이 실제보다 과도하게 측정된다[24]. 실험적 조건 하에서 식후 2~4시간에는 저항의 감소가 3% 미만이라고 한다. 이러한 저항의 변화에 의한 영향은 식후 8시간 이상 경과 후 BIA방법에 의한 체지방 측정을 함으로써 피할 수 있다[24]. 저자들이 시행한 연구에서 피검자들은 점심식사 후 약 3~4시간이 경과한 후 측정에 임하였는데 아침식사의 유무, 아침 및 점심식사의 내용과 양 등이 다소 결과에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. Khaled 등은 운동시의 수분순실에 의해 탈수가 일어나면[25] 측정된 저항값이 감소한다고 하였으며, Fogelholm과 Garby 등은 저항을 측정하기 전 중간 강도의 운동은 저항값에 영향을 미치지는 않으나, 높은 강도의 운동 후에는 저항값이 감소한다고 하였다[22,26]. 따라서 측정오차를 줄이기 위해서는 중간 강도 이상의 운동을 하고난 후 수시간 이내에는 BIA방법에 의한 체지방 측정을 하여서는 안되며 탈수 상태를 완벽히 교정한 상태에서 측정 하여야 한다[24]. Garby 등은 섭씨 24~34도의 온도에서는 저항값이 변화하지 않는다고 하였다[26].

- 수중 체밀도법과 생체 전기저항 분석법, 체질량지수법, Broca의 표준 체중법의 상관관계 -

저자들의 연구에 참여한 피검자들은 모두 사무직 종사자들이고 근무를 하다가 측정에 임하였고, 측정시의 실내온도는 섭씨 24~28도로 조절되고 있는 상태였으므로 운동및 온도에 의한 영향은 배제되었다고 할 수 있다. BIA방법을 이용한 체지방률의 측정시에 체지방률을 계산하는 회귀식에 저항값과 함께 키와 체중이 포함되므로, 피검자의 키와 체중을 정확하게 측정하는 것이 아울러 중요하다. Kushner 등은 체내 총 수분량을 예측하기 위해 고안한 타당성이 검증된 나중 회귀식을 적용 시에, 키를 2.5cm 적게 측정하면 수분량이 약 1 liter 적게 측정되고, 체중을 1kg 적게 측정하면 체내의 수분량은 0.2 liter 적게, 체지방량은 0.7kg 적게 측정이 된다고 하였다[11]. 따라서 BIA체지방 측정의 정밀도와 정확도를 높이기 위해서는 키의 경우 최소한 0.5cm, 체중은 0.1kg까지 측정하여야 하며, 피검자가 말하는 자신의 체중과 키를 그대로 받아들여서는 안된다[24]. 피검자가 서 있거나, 앉아 있거나, 이동중일 때 중력에 의해서 세포외액이 하지말초 부위의 혈관이나 세포간질에 축적되게 되고, 이때 피검자가 누운 자세를 취하게 되면 하지말초부 세포간질액이 혈관내로 흡수되고 다시 몸의 중심부로 이동하게 된다[27]. 따라서 BIA법에 의한 체지방률의 측정시 피검자의 자세변화는 결과에 유의한 변화를 초래하게 된다[24,28,29]. BIA 방법에 의한 체지방의 측정시 상지와 하지의 단면적이 몸통의 단면적보다 상대적으로 적기 때문에 상지와 하지의 저항이 상대적으로 높게 평가되고, 같은 이유로 상지와 하지의 저항의 대부분은 말초의 단면적이 좁은 부분에 의한 것이다[12]. 따라서 상지를 몸통에 밀착 시키거나 하지를 서로 밀착시킬 경우 저항이 과도하게 낮게 측정될 수 있는데, 하지를 교차시킬 때 18%, 손을 몸통에 밀착시킬 때 43% 정도 저항이 낮게 측정된다[24]. 저자들이 연구에 사용한 BIA방식의 체지방측정기는 전극이 8개인데, 측정기의 발판 위에 양측발의 앞뒤에 부착되도록 만들어진 전극이 한쌍이 있고, 피검자가 이 전극을 두발로 덮고선 후에, 양손은 손바닥과 엄지에 부착되도록 고안된 한쌍의 전극을 잡고 서서 측정을 하는 방식이다. 측정시 피검자는 양팔을 몸통에 밀착되지 않도록 약15도 정도 벌리도록 하며, 양측 발로 덮고 서는 전극의 간격이 떨어져 있어서 다리 사이가 밀착되는

것이 방지된다. 따라서 선채로 측정하기 때문에 측정시의 자세변화에 의해 일어나는 수분 재배치에 따른 오차나, 상,하지가 몸통에 밀착되어 발생하는 오차를 줄일 수 있었다.

수중 체밀도법에 의한 체지방률의 측정시에 피검자들이 협조를 잘해주는 것과, 잔기량(residual volume) 및 장내가스의 영향을 잘 보정하는 것이 매우 중요하다 [4,5]. 피검자의 협조가 매우 중요한 이유는 피검자들이 물 속에 들어가기를 꺼리고, 수중체중을 측정하는 저울이 완전히 평형을 이를 때까지 수중에서 숨을 참고 기다려야 하는데, 이 과정이 상당히 고통스러워서 잘 참으려하지 않는다는 점이다. 위에 열거한 이유 외에 수중체중을 측정할 때 피검자의 폐 내의 공기의 양을 정확히 보정하는 것이 체지방률을 정확하게 측정하는데 중요하다[5]. 본 연구에 참여한 피검자들의 폐활량은 최소 2.07 liter 부터 최대 4.76 liter까지 분포되어 있었고, 이들의 수중 체중은 최소 1.2kg에서부터 최대 3.28kg 이었다. 따라서 피검자의 폐내의 공기의 양을 정확히 보정하지 않을 경우, 체지방률의 차이에 따른 비중의 차이에 의한 수중 체중의 차이가 충분히 상쇄되고 남음이 있음으로, 피검자들이 최대 호기상태(본 연구에서는 최대 흡기 상태)를 정확하게 이해하고, 수중에 들어갈때 최대 호기상태(본 연구에서는 최대 흡기 상태)로 수중에 들어가기 위해 협조를 해주는 것이 중요하다. 이에 저자들은 건강한 젊은 지원자들을 대상으로 수중체중 측정시의 폐내의 공기량의 중요성을 사전에 교육한 후, 측정 직전 수회의 연습을 연구자들과 함께 진행한 다음 측정을 실시하였다. 수중체중을 측정할 때 피검자가 수중으로 들어갈 때 나타나는 수면의 혼들림, 피검자의 수중에서의 동작 등의 영향으로 인해 저울이 평형을 이루는데는 최소 15초 이상의 시간이 소요되었었다. 그러나 저자들의 연구에 참여한 피검자들의 경우 젊고 건강한 집단이었음에도 불구하고, 최대 호기상태로 이 시간동안 수중에 머무를 수 있는 피검자가 매우 드물었고, 측정을 반복할 때 수중에서 머무를 수 있는 시간은 더욱 단축되어서 정확한 측정을 할 수 없었다. 이러한 제한점을 극복하고자 연구자들은 피검자들이 수중에서 참을수 있는 시간을 연장하기 위해 최대흡기 상태로 수중에 들어가도록 하였고, 최대 흡기상

태를 취함에 따라 피검자들이 수면으로 떠오르는 것을 방지하기 위해 4.0kg의 납으로 된 허리띠를 착용시킨 후의 수중 무게를 측정하였다. 이 무게에서 납 허리띠의 수중무게 3.7kg을 빼고, 폐활량에 의한 부력(1cc당 1gm으로 환산)을 더한 값을 피검자의 수중체중으로 하여, 체밀도를 계산하였다. 저자들의 경우 최대 흡기상태로 수중체중을 측정하였으므로 수중 체밀도를 계산할 때 폐활량(VC) 및 잔기량(RV)을 정확하게 보정할 필요가 있다. 본 연구에서 피검자들을 대상으로 한 폐활량 측정의 측정오차는 2.8% 였고, 3.0 liter 보정용 피스톤을 이용한 30회 반복측정에서의 측정오차는 1.0% 이었다. 저자들의 경우 폐활량 측정을 실험실에서 실시하였는데, 이 때 측정된 폐활량은 피검자들이 수중으로 들어갈 때의 폐활량과 다르게 측정되었을 가능성이 있다. 그 이유는 잠수하기 전의 최대흡기량은 전신에 수압이 작용하고 있는 상태에서 대기중에서의 최대흡기량보다 작아질 수 있기 때문이다[4]. 따라서 측정된 수중체중의 정확도에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 잔기량은 Willmore 등이 제시한 폐활량의 측정으로부터 유추하는 방법을 이용하였는데, Willmore 등에 의하면 건강하고, 흡연을 하지 않으며, 활동적인 학생들을 대상으로 했을 때, 수중에 잠기는 동안에 잔기량을 측정하거나, 측정된 폐활량으로부터 잔기량을 추정하거나, 폐활량 표준표에서 예측하건간에 계산된 체밀도는 차이가 없었다[15]. 수중 체밀도법에 의한 체지방률의 측정 시에 장내의 가스에 의한 영향을 고려하여야 한다. 수중체밀도법의 경우 장내 가스가 12시간 금식시 100cc로 일정하다는 것을 가정하고 체지방률을 계산하는데 [5,32], 일반적으로 장내에는 50cc에서 300cc 정도의 장내 가스가 존재 한다고[30] 하며 이러한 이유로 수중체밀도법에 의한 체지방률의 측정 시 약 1.5%의 오차가 발생할 수 있다[4]. 저자들의 경우 장내 가스의 영향을 줄이기 위해 피검자들에게 수중체밀도 측정 전에 금식을 실시하여야 하지만, 금식을 실시하지 못했고 이 점이 체지방률 측정의 정확도에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 저자들은 계산된 체밀도를 이용하여 체지방률을 계산하는데 Brozek의 식 $f\% = [(4.570/Db) - 4.142] \times 100$, f; % body fat, Db(gm/cc); body density을 이용하였다[31]. 체밀도를 이용하여 체지방률을 구하는

다른 식으로 Siri의 식[$f = (4.950/Db) - 4.50$]이 있는데, 체밀도가 1.10~1.03gm/ cc의 범위에 있을 때에는 두 가지 다른 식에 의해 계산되는 체지방률의 차이는 1% 미만이다[4]. 본 연구에 참여한 피검자 23명 중 6명의 체밀도가 1.03 이하였고, 체밀도가 1.10 이상인 피검자는 없었다.

여러 연구들에 의하면 일반적으로 BIA방식에 의해 측정된 체지방률과, 체성분분석의 표준인 수중체밀도법에 의해 얻어진 체지방률간에 상관성이 높은($r=0.9 \sim 0.97$) 것으로 보고하고 있다[6,10,13,14]. 저자들의 연구에서는 BIA방식에 의한 체지방률과, 수중체밀도법에 의한 체지방률간에는 상관계수 $r=0.85$ 로 유의한 상관성이 있었으나, 다른 연구자들이 발표한 결과보다는 상관계수가 약간 낮았다. Ronenn 등은 BIA방식이 체질량지수만을 단독으로 사용할 때보다 체지방 측정의 정도를 더 잘 알 수 있고, 체질량 지수 자체는 여성에서 BIA 방식에 의해 측정된 체지방률 변이의 55%를 설명해 주고 ($P < 0.0001$), 남성에서는 단지 체지방률 변이의 38%만을 ($P < 0.0001$) 설명해 줄 수 있을 뿐이라고 하였다[18]. 본 연구에서도 신체계측에만 의존하는 체질량지수법이나 Broca의 표준체중법에 의한 비만지표보다, BIA 방법에 의해 측정된 체지방률이 체성분분석의 표준방법인 수중체밀도법에 의해 측정된 체지방률과 더욱 상관관계가 높았다. 본 연구는 피검자 집단의 수가 제한적이고, 피검자집단의 연령분포가 고르지 않고, 건강한 집단만을 대상으로 하였으며, 체밀도의 계산사에 잔기량을 직접적인 방법으로 측정하지 않는 등의 제한점을 지니고 있다.

결 론

BIA 방식의 체지방 측정장비 Inbody2.0(Biospace Seoul, Korea)를 이용한 체지방 측정의 측정오차는 3.4%이었다. 신체 계측에 의해 얻어지는 체질량 지수나, Broca의 표준 체중에 대한 피검자의 체중의 비보다, BIA방법을 이용하여 측정한 체지방률이 체지방 측정의 표준방법인 수중 체밀도법에 의한 체지방률과 상관성이 높다. 따라서 신체계측에만 의존하여 비만을 진단하기보다는 BIA방법에 의한 체지방률을 함께 고려

- 수중 체밀도법과 생체 전기저항 분석법, 체질량지수법, Broca의 표준 체중법의 상관관계 -

하여 비만을 진단하는 것이 바람직하다고 본다. 추후 BIA방식에 의한 체지방률과 비만과 관련된 질환들과의 관련성에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 말씀

본 연구에 도움을 주시고 적극적으로 참여해 주신 영동체일병원 직원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 현

1. Keys A, Brozek J: *Body fat in adult men. Physiol Rev* 33:245-325, 1953
2. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A: *Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. Ann NY Acad Sci* 110:113-40, 1963
3. Garrow JS: *New approaches to body composition. Am J Clin Nutr* 35:1152-8, 1982
4. Henry C Lukaski: *Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. Am J Clin Nutr* 46:537-56, 1987
5. 임상비만학: 대한비만학회. 1판, 181-189. 서울, 고려의학, 1995
6. Lukaski HC, etc: *Assessment of fat-free mass using bioelectric impedance measurement of the human body. Am. J. Clin. Nutr.* 41:810-7, 1985
7. Paul Deurenberg, Jan A Weststrate etc: *Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements. Am J Nutr* 49:401-3, 1989
8. Metropolitan Life Insurance Company: *The 1979 Build study. Chicago: Society of actuaries and association of Life Insurance Medical Directors of America*, 1980
9. Hoffer EC, Meador CK, etc: *Correlation of whole-body impedance with total body volume. J Appl Physiol.* 27:531-4, 1969
10. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CA, Siders WA: *Estimation of fat free mass in humans using the bioelectric impedance method: a validation study. J Appl Physiol* 60:1327-32, 1986
11. Kushner RF, Schoeller DA, etc: *Is the impedance index(ht²/R) significant in predicting total body water? Am J Clin Nutr* 56:835-9, 1992
12. Kushner RF, Scholler DA, etc: *Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. Am J Clin Nutr* 44:417-24, 1986
13. Segal KR, Gutin B, etc: *Estimation of human body composition by electrical impedance methods:a comparative study. J Appl Physiol* 58:1565-71, 1985
14. Hoffer EC, Meador CK, etc: *Correlation of whole-body impedance with total body water volume.. J Appl Physiol* 27:531-4, 1969
15. Willmore J: *The use of actual, predicted and constant residual volumes in the assessment of body composition by underwater weighing. Med. Sci. Sports*, 1(2):87-90, 1969
16. CGluer, G Blake: *Accurate assessment of precision errors: How to measure the reproducibility of bone densitometry technique. Osteoporosis International* 5:262-270, 1995
17. Van Loan M, Mayclin P: *Bioelectrical impedance analysis: is it a reliable estimator of lean body mass and total body water? Hum Biol* 59:299-309, 1987
18. Ronenn Roubenoff: *Applications of bioelectric impedance analysis for body composition to epidemiologic studies. Am J Nutr* 64(suppl)459s-62s, 1996
19. Jackson AS, Pollock ML, etc: *Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. J Appl Physiol* 64:529-34, 1988
20. Van Loan M, Mayclin P: *Bioelectrical impedance analysis: is it a reliable estimator of lean body mass and total body water? Hum Biol* 59:299-

- 309, 1987
21. Deurenberg P, etc: *Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans.* Eur J Clin Nutr 42:1017-22, 1988
 22. Fogelohm M, etc: *Effects of meal and its electrolytes on bioelectrical impedance.* In: Ellis KJ, eastman JD ,eds. *Human body composition.* New York: Plenum Press, 331-2, 1993
 23. Rising R, Swinburn B, etc: *Body composition in pima indians; Validation of bioelectrical resistance* Am J Clin Nutr 53:594-8, 1991
 24. Robert F, Kushner, Rani Gudivaka, etc: *Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements.*
 25. Khaled MA, McCutcheon MJ, etc: *Electrical impedance in assessing human body composition: the BIA method.* Am J Clin Nutr 47:789-92, 1988
 26. Garby I, Lammert O, etc: *Negrible effects of previous moderste physical activity and caanges in environmental temperature on whole body electrical impedance.* Eur J Clin Nutr 44:545-6, 1990
 27. Maw GJ, Mackenzie IL, etc: *Redistribution of body fluids during postural manipulations.* Acta Physiol Scand 155:157-64, 1995
 28. Roos AN, Westendorp RGJ, etc: *Tetrapolar body impedance is influenced by body posture and plasma sodium concentration.* Eur J Clin Nutr 46:53-60, 1992
 29. Berg HE, Tedner B, etc: *Changes in lower limb muscle cross sectional area and tissue fluid volume after transition from standing to supine.* Acta Physiol Scand. 148:379-85, 1993
 30. Bedell GN, Marshall R, etc: *Measurement of the volume of gas in the gastrointestinal tract. Values in normal subjects and ambulatory patients.* J Clin Invest 35:366-45, 1956
 31. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A: *Densitometric analysis of body composition; revision of some quantitative assumptions.* Ann NY Acad Sci 110:113-40, 1963
 32. Akers R, Buskirk ER. An underwater weighing system utilizing "force cube" transducers.J Appl Physiol 26:649-652, 1969
 33. HC Lukaski, J Mendez, etc: *A Comparison of methods of assessment of body composition including neutron activation analysis of total body nitrogen*