

# 부종환자에서 임피던스를 이용한 수분변화의 예측

오중환\* · 서재정\* · 김은기\* · 이종국\* · 윤형로\*\* · 이광호\*\*\*

=Abstract=

## Body Impedance Measurements for Edematous Patients

Joong Hwan Oh, M.D.\* · Jae Jeong Seo, M.D.\* · Eun Gi Kim, M.D.\*,  
Chong Kook Lee, M.D.\* · Hyung Ro Yoon, Ph.D.\*\* · Kwang Ho Lee, M.D.\*\*\*

The assessment method of human body composition by bioelectrical impedance is very simple, safe, rapid and noninvasive. Based on prediction formulas for total body water from bioelectrical impedance, the observed weight loss should be associated with an increase in impedance. However in edematous patients for dialysis, the calculated total body water loss as calculated from impedance were overestimated and significantly higher than the weight loss after dialysis.

So determination of impedance were made in 50 edematous patients before, during and after dialysis. Mean weight loss, which was assumed to be only loss of water was  $1719 \pm 866$  gr and mean impedance change was  $71.0 \pm 23.0$  Ohm under 50kHz.

Body weight loss was highly correlated ( $r > 0.81$ ) with the increase in body impedance under variable frequencies (1, 10, 20, 30, 40, 50 kHz). But there were no differences between frequencies.

In conclusion, clinical application of bioelectrical impedance method is useful for individual edematous patients with new correlation equation ( $Y = 230 + 26.8X$ , X; Impedance change, Y; Calculated total body water loss).

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1995; 28: 973-6)

**Key words** : 1. Body water  
2. Bioelectric impedance

## 서 론

수분은 몸의 구성성분 중 50~70%로 가장 많은 부위를 차지하고 있으며 수분의 체내구성 성분을 파악하는 것은

임상적으로 환자 경과를 예측할 수 있는 지표가 될 수 있다. 체내 수분 구성 장애로 나타날 수 있는 것은 부종과 탈수가 있을 수 있으며 부종의 대표적인 예들들면 인공심폐기를 이용하여 개심술을 시행하는 경우 혹은 신부전 환자

\* 연세대학교 원주의과대학 흉부외과학교실

\* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

\*\* 연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과

\*\* Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University, Wonju, Korea

\*\*\* 연세대학교 원주의과대학 마취과학교실

\*\*\* Department of Anesthesia, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

† 본 논문의 요지는 1994년도 추계 흉부외과학술대회에서 구연하였음.

논문접수일: 95년 6월 20일 심사통과일: 95년 7월 18일

통신저자: 오중환, (220-701) 강원도 원주시 일산동 162, Tel. (0371) 41-1320, Fax. (0371) 42-0666

에서 조직부종이 자주 동반되는 경우 등이 있으며 적절한 치료가 없으면 여러 장기부전을 동반하여 치명적일 수 있다<sup>1)</sup>.

부종을 알 수 있는 고식적인 방법으로는 수액의 섭취량과 배출량을 측정하고 체중을 측정하는 방법이 있지만 여러 제약과 오차가 많아 불편한 점이 많다. 또한 지금까지 많이 사용하고 있는 중심정맥압의 측정은 체내 혈량의 15% 이상 손실이 오기 전에는 혈관 수축 현상으로 변화가 나타나지 않기 때문에 카테터에 의한 중심정맥압 측정은 체액 손실이 과소평가 되는 경향이 있다<sup>2)</sup>.

Thomasett<sup>3)</sup>가 소개한 임피던스를 이용한 체내수분의 측정법은 매우 간편하고 신속하며 비침습적인 방법이지만 임상 응용에 대한 보고가 드물고 여러가지 단점도 있는 것이 사실이다. 개개인의 비교보다는 한 환자의 지속적인 측정이 더 의의가 있고 오중환 등<sup>4)</sup>은 개개인은 고유의 측정치를 유지하므로 상대적인 비교가 어렵고 부종환자에서는 실제의 수분양보다 과대평가되는 단점이 있었다고 하였다<sup>5)</sup>.

연세대학교 원주의과대학 흉부외과학교실에서는 부종환자에서 다양한 주파수에서 임피던스를 이용한 체내수분의 양을 보다 정확히 추산할 수 있는 공식을 유도하여 보다 개량된 기기를 만들고자 본 연구를 시도하였다.

### 대상 및 방법

연구대상은 혈액투석을 시행하는 부종이 동반된 신부전 환자 50명을 대상으로 하였다. 남자 26명, 여자 24명이고 나이는 23세에서 67세로 평균연령은  $46.6 \pm 11.8$ 세이었다. 체중은 40 kg에서 91 kg으로 평균  $57.6 \pm 12.1$  kg이었다.

혈액투석하는 동안 소실되는 수분 양은 3~4시간동안 정확한 측정이 가능한 장점을 이용하여 지속적으로 3~4회에 걸쳐 1시간마다 측정하고 동시에 1~50kHz의 다양한 주파수를 이용한 임피던스 측정법으로 임피던스 수치의 변화를 관찰하였다.

임피던스 측정방법은 혈액투석을 시행하는 환자에서 우측 손등과 발등 피부 내구대(중수골과 중족골 원위부, 요골과 척골 사이 원위부 돌기, 발목 내외 복사뼈 사이)에 전해질 젤이 묻어있는 심전도용 전극(Model F 56 & 40, S & W, Denmark)을 연결하여 1, 10, 20, 30, 40, 50 kHz 주파수와 800 A 전류를 손등과 발등의 원위부에서 각각 통과시켜 근위부에서 전압의 격차를 구한 후 Ohm의 법칙으로 임피던스가 측정기구에 표출되게 하였다(Fig. 1).

측정을 위한 Hardware는 1) 정현파 발전부, 2) Isolated



Fig. 1. A four surface electrodes were placed on the dorsal surfaces of the right hand and foot at the distal metacarpals and metatarsals, respectively. Bioelectrical impedance analyzer (arrow) is small and movable.

current source, 3) 차등증폭부, 4) Demodulator, 5) Display 등 다섯 부분으로 구성하였다. 먼저 정현파 발전부는 Harmonics를 최소화한 1~50 kHz의 Carrier 주파수를 AM 변조하기 위한 회로이고 이때 정전류 값은 피측정자의 Micro shock, Let go current를 고려하여 800 A로 하였다. 차등증폭부는 앞의 정전류원에 의해 AM 변조된 체저항 신호를 증폭하기 위한 부분으로 600 dB 이상의 CMRP를 갖도록 설계하여 체표면에서 60 Hz 등의 Common mode noise를 제거하도록 하였다. 또한 Demodulator는 AM 변조된 신호의 Envelope 검출을 위한 회로로서 Precision half wave rectifier와 peck detector로 구성하였다. 마지막으로 Display는 임피던스 값이 나오도록 하였다.

측정된 임피던스 변화값과 혈액투석기에서 빠져나간 수분 양의 관계를 SPSS-PC 프로그램을 이용하여 회귀분석 및 회귀식을 구하였고  $p < 0.05$  이하인 경우 통계적으로 의의가 있는 것으로 간주하였다.

### 결 과

1. 환자의 체중은 혈액투석 전 평균  $57.6 \pm 12.1$  (40~91)kg으로 혈액투석 후 평균  $1719 \pm 866$  (268~4210)g의 체중 감소가 있었다(Fig. 2).
2. 임피던스의 변화 수치는 50 kHz에서 평균  $71.0 \pm 23.0$  (28~120) Ohm으로 체내수분과의 관계는  $r > 0.81$ ,  $p < 0.001$ 로 높은 상관관계를 보이며 회귀식은  $Y = 230 \pm 26.8 X$  (Y; 체내수분 감소량, X; 체내임피던스 변화량)이었으며(Fig. 3) 다른 주파수(1, 10, 20, 30, 40, 50 kHz)에서도 비슷한 결과를 보였다(Table 1).

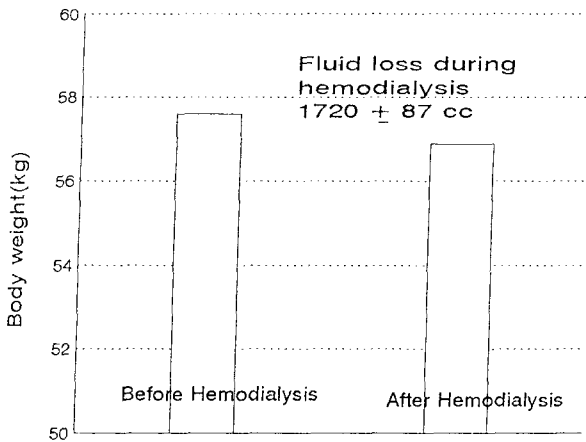


Fig. 2. Observed weight loss means total body water loss during hemodialysis.

Table 1. Correlation equations between impedance change and fluid loss

Frequency	Y = aX + b	r	p
50	Y = 230 + 26.8 X	0.82	< 0.001
40	Y = 233 + 26.1 X	0.81	< 0.001
30	Y = 224 + 25.6 X	0.82	< 0.001
20	Y = 224 + 24.8 X	0.82	< 0.001
10	Y = 236 + 23.0 X	0.82	< 0.001
1	Y = 234 + 21.2 X	0.82	< 0.001

\*X; Impedance change(Ohm), Y; Calculated total body water loss

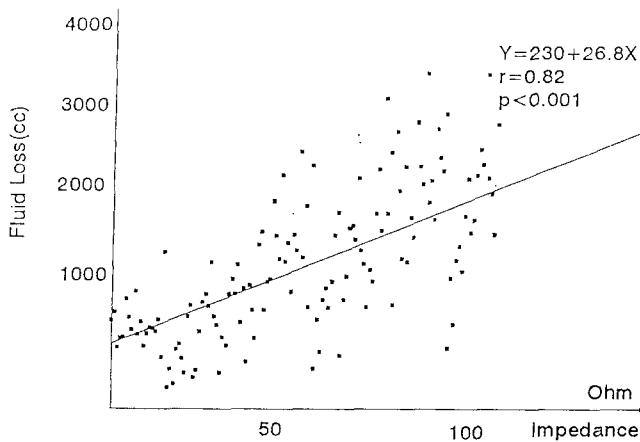


Fig. 3. Prediction formula for total body water loss from bioelectrical impedance under 50 kHz (linear regression equations).

원소 검사법으로 측정된 값과 상관관계가  $r > 0.9$ 로 매우 높음을 알 수 있다.

Lukaski 등<sup>6)</sup>은 37명의 건장한 성인에서 4개의 전극을 이용한 임피던스 측정으로 체내수분을 예측할 수 있는 법을 소개하였으며 이는 어디까지나 건장한 안정조건하에서 가능하였다고 하였으며 체내성분의 이상이 있는 암이나 신장병 환자 등에서의 연구가 절실하다고 하였다. Segal 등<sup>7)</sup>은 75명의 성인 남녀에서 신체임피던스와 농도계를 이용한 Lean Body Mass를 비교하였으며, Novak 등<sup>11)</sup>은 소아심장수술 후 신체 임피던스에 관하여 처음으로 임상연구를 시도하였는데 임피던스 측정법이 안전하고 비침습적이며 신속하고 조작하기 쉬우며 실험실 밖에서도 측정이 가능하고 측정기기를 이동할 수 있으며 환자의 협조가 없어도 측정할 수 있는 장점이 있다고 하였다.

국내에서는 이에 대한 기초연구와 보고가 드문 실정이고 김덕원 등<sup>8)</sup>은 임피던스 측정법을 이용하여 정상한국인 남녀의 수치를 제시하였고, 오중환 등<sup>4)</sup>은 이를 임상에 응용하여 사용가능성을 제시하였으나 여러 개체간의 절대값을 비교한 결과 통계적인 의의가 없어 사용에 애로점이 있었지만 한 환자를 3개월간 지속적으로 측정된 결과는 고유한 값을 가지며 오차가 매우 적고 임상적인 의의가 있음을 보고하였다. 또한 심장수술환자에서 수술 중 임피던스 측정은 피부 상태가 일정하지 않으며, 혈구치, 체온 등의 영향을 많이 받고 수술대의 여러 부착물과 노이즈 현상때문에 오차가 많아 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다<sup>9)</sup>.

부종이 동반된 환자 경우 세포내액보다는 세포외액의 증가가 현저하므로 저항성이 보다 감소하여 체내수분의 총량이 과대평가되는 경향이 있다<sup>9)</sup>. 이 경우 변수로 체중을 포함시키면 오차를 어느 정도 줄일 수 있다고 하였다. Durenberg 등<sup>9)</sup>에 의하면 이러한 현상은 부종환자에서 이노제를 사용하는 경우 세포외액의 감소에 비하여 임피던스의

## 고 찰

Thomasett<sup>3)</sup>의 생전기 임피던스 측정법의 이론은 생체는 1kHz 미만의 저주파에서는 전류가 주로 세포외액을 통하여 지나가고 고주파수에서는 세포내외액 모두를 통하여 지나간다. 체내수분과 전해질은 전기전도성과 관련이 있고 세포막은 용량과 관련이 있다. 또한 지방질이 없는 부위가 지방조직보다 전도가 상당히 잘된다. 이러한 성질을 이용하여 인체를 하나의 전기매체로 가정하고 여기에 Ohm의 법칙과 부피는 신장의 제곱에 비례하고 저항에 반비례하는 성질을 이용하여 부피 즉 체내수분의 양을 추정할 수 있다. 특히 이러한 공식에 의한 체내수분 양은 동위

증가가 과대하게 나타나는 현상과 같이 해석할 수 있다.

Gray<sup>10)</sup>와 Kushner 등<sup>11)</sup>은 비만환자에서 체중감소는 임피던스 측정으로 예측할 수 있다고 하였으나 세포내액인지 외액인지의 구별은 불확실하다고 하였다. Lorenzo 등<sup>5)</sup>은 수분균형이 망가진 환자에서 임피던스측정에 의한 공식은 문제점이 있으며 부종환자에서 전형적으로 나타난다고 하였다.

저자들은 이러한 오차를 줄이고자 부종이 동반된 혈액투석환자를 대상으로 하였는데 장점으로는 빠져나가는 수분 양이 3~4시간동안 최대 4000 cc에 해당하며 주위 온도가 일정한 환경에서 정확하게 측정할 수 있고 체중감소가 바로 수분감소의 양과 일치한다는 점이다.

측정기기는 오중환 등<sup>4)</sup>이 사용한 주파수 50 kHz 이외에 1, 10, 20, 30, 40 kHz를 이용하여 주파수에 따른 차이가 있는지를 관찰하였다. 즉 보다 낮은 주파수에서는 전기가 피부 쪽으로 치우쳐 지나가고 보다 높은 주파수에서는 피부와 떨어져 안쪽으로 전기가 흐르는 성질이 있는데 저자들은 50 kHz보다 1 kHz를 이용하면 피부에서 발생하는 오차가 더 많을 것으로 생각하였으나 기대한 것과는 달리 별 차이가 없었다.

혈액투석 중에 수분이 빠져나가면 거의 일정하게 임피던스의 값이 증가하는데 혈액투석 전 측정치가 서로 차이가 있어 일정한 공식을 유도하는 데는 문제점이 있었다<sup>3)</sup>. 저자들은 하고자 처음 측정한 모든 임피던스의 값을 영점으로 하여 증가된 차이와 소실된 수분 양과의 상관관계를 구하여 높은 상관관계를 볼 수 있었기에 부종환자의 임상응용에 가능성을 제시하였다.

## 결 론

연세대학교 원주의과대학 흉부외과학 교실에서는 신체에 전류를 흘려 전압의 차이를 이용하여 임피던스를 구한 후 체내수분 양을 추정하는 방법을 임상에 적용하도록 가능성을 제시한 이후 부종이 동반된 환자에서는 과대평가

되는 단점이 있어 이를 보완하고자 부종이 동반된 혈액투석환자를 대상으로 임피던스를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

체내수분 손실의 양과 이에 따른 임피던스 증가분은 높은 상관관계를 보여 기존의 공식과 달리 오차를 줄일 수 있었고 측정방법에서 1~50 kHz의 주파수에 따른 차이는 없었다.

## 참 고 문 헌

1. Novak I, Davies PSW, Elliot MJ. *Noninvasive estimation of total body water in critically ill children after cardiac operations.* J Thorac Cardiovasc Surg 1992;104:585-9
2. Jacobsen J, Sofelt S, Warberg J, Sechner NH. *Cardiovascular and endocrine responses to hemorrhage in pig.* Acta Physiol Scand 1990;138:167-73
3. Thomasset A. *Bioelectrical properties of tissue impedance measurements.* Lyon Med 1962;207:107-12
4. 오중환, 윤형로, 윤경봉. 임피던스를 이용한 체내수분 측정의 임상응용. 원주의대논문집 1993;6:273-8
5. Lorenzo A, Barra PFA, Sasso GF, Battistini NC, Deurenberg P. *Body impedance measurements during dialysis.* Eur J Clin Nutr 1991;45:321-5
6. 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
7. 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;58:1565-70
8. 김덕원, 황수관, 심상수. 임피던스 방법을 이용한 체지방 측정. 1992년도 대한의용 생체공학 춘계학술대회논문집 1992;14(1):142-5
9. Durenberg P, Weststrate JA, Van der Kook K. *Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements.* Am J Clin Nutr 1989;49:401-3
10. Gray DS. *Changes in bioelectrical impedance during fasting.* Am J Clin Nutr 1988;48:1184-7
11. Kushner RF, Schoeller DA. *Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis.* Am J Clin Nutr 1986;44:417-24