

만성 신부전 환자에서 혈액투석시 체액량의 감소에 따른 신체 임피던스의 변화

연세대학교 원주의과대학 마취과학고실 및 흉부외과학고실*

윤 경 봉 · 이 광 호 · 이 정 원
업 대 자 · 최 령 · 오 중 환*

- Abstract -

Change of Body Impedance according to Loss of Total Body Water during Hemodialysis in Chronic Renal Failure Patients

Kyung Bong Yoon, M.D., Kwang Ho Lee, M.D., Jung Won Lee, M.D.
Dae Ja Um, M.D., Ryung Choi, M.D. and Joong Hwan Oh, M.D.*

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

Background: In biological structures, application of a constant alternating low current results in an impedance to the spread of the current that is frequency dependent. The living organism consists of intra- and extracellular fluids that behave as electrical conductors, and cell membranes that act as electrical condensers. Body fluids and electrolytes are responsible for electrical conduction.

Methods: We studied body impedance and fluid loss during hemodialysis in 20 patients with chronic renal failure. Two pairs of electrodes with a thin layer of electrolyte gel were placed on the dorsal surfaces of the hands and feet. 50KHz 800 μ A current was applied via the distal electrodes of each pair and the voltage drop was measured by proximal electrodes and impedance was derived from Ohm's law. We measured body impedance and fluid loss at every one hour during hemodialysis.

Results: Body impedance value according to weight before hemodialysis changed in inverse ratio. During hemodialysis the rate of increase of body impedance according to body fluid loss revealed individual variance, but it was nearly constant in each individual patient.

Conclusions: The method assessing total body water by body impedance is very simple, safe, rapid and noninvasive. The change of total body water can be predicted with body impedance method in individual patient by continuous monitoring, and this method may be useful particularly in critically ill patient. Further validation of this method is required for clinical application. (*Korean J Anesthesiol* 1996; 30: 566~570)

Key Words: Equipment: impedance. Kidney: renal failure; hemodialysis

서 론

인체 구성 성분의 평가는 각 개체의 영양 상태

혹은 건강 상태를 결정하는 중요한 요소이다. 인체 구성 성분을 측정하는 방법들로는 electrical conductivity¹⁾, potassium²⁾, nitrogen³⁾, calcium⁴⁾의 측정과 tomography⁵⁾, densitometry⁶⁾등을 이용할 수 있으나 이러한 방법들은 주로 연구 목적으로 많이 쓰이며 임상적 사용은 제한적이며 이에 대한 보고 역시 드물다. 특

논문접수일 : 1995년 12월 27일

히 인체내 물의 함량은 체중의 50~70%로서 몸의 구성 성분중 가장 많은 부분을 차지하고 있으므로 이러한 체액량의 상태를 파악하는 것은 임상적으로 환자의 경과를 예측할 수 있는 지표가 될 수 있다.

체액량 측정의 일반적인 방법으로 수액의 섭취량과 배출량을 측정하고 체중을 측정하는 방법이 있으나 불편하고 오차가 많으며 카테타를 이용하여 중심정맥압을 측정하는 방법은 출혈시 체내 혈량의 15% 이상의 손실이 오기 전에는 혈관수축현상으로 인하여 중심정맥압의 변화가 나타나지 않을 수도 있기 때문에 체액 손실이 과소평가 되는 경향이 있다⁷⁾.

따라서 임상에서 사용하기 적절하고 비침습적이며 체액량을 정확하게 측정할 수 있는 방법의 필요성이 제기된다. 신체 임피던스를 측정하는 방법은 유기체에서 전류의 전도성에 기초를 두며 생물학적 구조에서 일정한 낮은 교류를 가하면 주파수에 의존하는 임피던스가 발생하게 되고 생명 유기체는 전기전도체로 작용하는 세포내액과 세포외액, 전기콘덴서의 역할을 하는 세포막으로 구성되어 있다. 또한 낮은 주파수(~1KHz)의 전류는 주로 세포외액을 통과하는 반면 높은 주파수(500~800KHz)의 전류는 세포내액과 세포외액을 모두 통과하는 특성을 갖고 있다^{8,9)}. 이러한 신체의 전기전도체의 특성을 이용한 체액측정은 비침습적이며 간편한 방법이지만 이의 임상적용에 대한 보고는 드문 상태이다.

이에 저자들은 만성 신부전 환자에서 혈액투석중 체액의 감소에 따른 신체 임피던스의 변화를 관찰함으로써 임피던스와 총체액량간의 관계를 규명하고 신체 임피던스의 변화로 체액량의 증감을 예측, 중환자실이나 수술실에서 임피던스의 측정으로 환자의 체액상태 변화를 감시할 수 있는지를 알아보 고자 하였다.

대상 및 방법

연구대상으로 신부전 환자로 혈액투석을 시행한 20명을 대상으로 하였으며 남자와 여자가 각각 10 명이고, 나이는 23세에서 64세까지로 평균 45세였다.

임피던스 측정은 본교 의용공학과에서 자체 제작

Fig. 1. Instrument for measurement of body impedance.

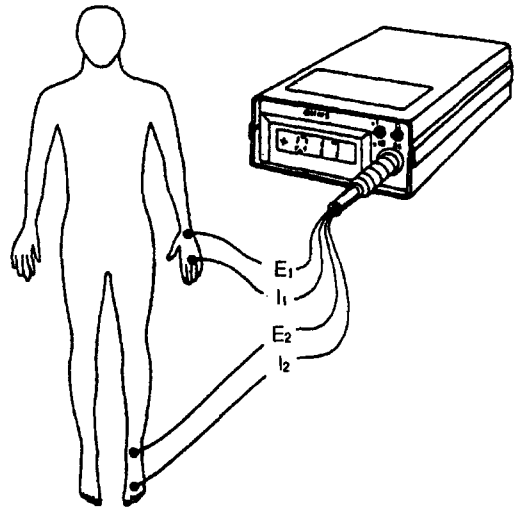


Fig. 2. Measurement of body impedance. (I: current, E:voltage, impedance=E/I).

한 측정 기구를 사용하였는데 측정 방법은 혈액투석을 시행하는 환자에서 우측 손등과 발등의 피부 네 군데에 전해질 겔이 묻어 있는 심전도용 전극을 연결하여 50 KHz의 주파수로 800 μ A의 전류를 손등과 발등의 원위부에서 각각 통과시켜 근위부에서 전압의 격차를 구한 후 Ohm의 법칙으로 임피던스 값이 측정 기구의 모니터에 나타나게 하였다(Fig. 1, 2).

혈액투석 전후에 체중과 임피던스 값을 측정하였

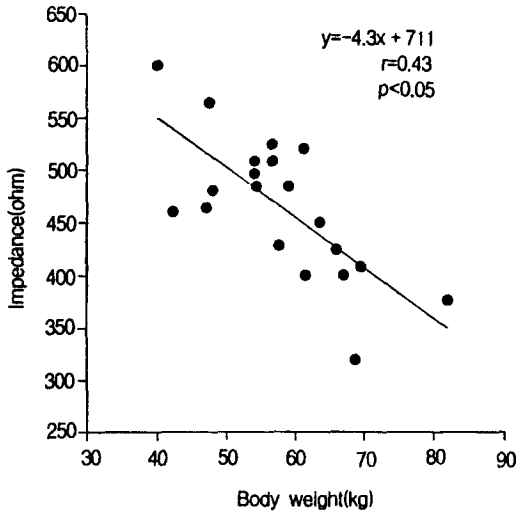


Fig. 3. Correlation between body weight and impedance.

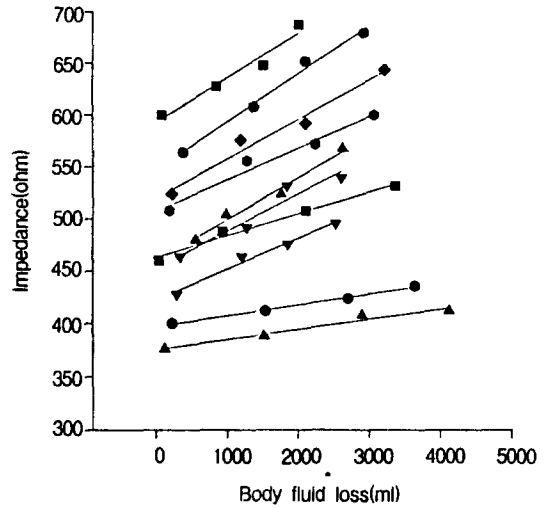


Fig. 5. The individual body impedance changes according to body fluid loss in female patients.

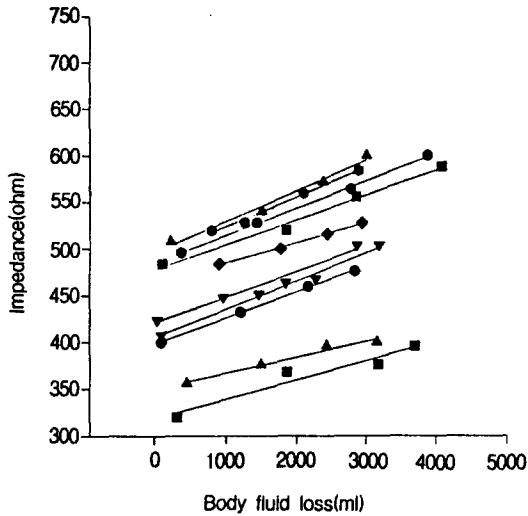


Fig. 4. The individual body impedance changes according to body fluid loss in male patients.

으며 혈액투석 시작부터 끝날 때까지 1시간 간격으로 임피던스의 변화 값과 혈액투석기에서 빠져나간 수분 양을 측정하여 회귀분석하였다.

결 과

환자의 체중은 혈액투석전 평균 57.9 Kg에서 혈액

투석후 55.1 Kg으로 평균 2.8 Kg의 체중 감소가 있었으며 임피던스의 변화는 460.2 Ω에서 538.8 Ω으로 평균 78.6 Ω의 증가가 있었으며 이때 투석기를 통한 체액량의 감소는 평균 2838.5 ml였다.

혈액투석전 체중과 임피던스의 관계는 체중이 많이 나갈수록 임피던스 값은 낮고 체중이 적게 나갈수록 임피던스 값은 크게 나타났다($p < 0.05$) (Fig. 3).

각 환자에서 체액량 감소에 따른 임피던스의 증가는 체액량의 감소가 많을수록 임피던스의 증가가 큰 경향을 보였으나 개체간의 차이, 즉 개인마다 임피던스의 기본값이 다른차이로 인해 통계학적 의의는 없었으며 전체 환자의 개인별 체액량 감소에 따른 임피던스의 변화는 모든 환자에서 각 개인의 변화 정도는 다르지만 체액량의 감소에 따라 임피던스가 일정하게 증가하는 결과를 보였다(Fig. 4, 5).

고 찰

수술실 혹은 중환자실의 환자나 탈수가 쉽게 생길 수 있는 영유아와 같은 경우에 총체액량의 상태는 환자의 예후에 중요한 영향을 미치며 적절한 관리가 이루어지지 못하면 환자의 생명까지 위협할 수 있는 심각한 상황이 발생할 수 있다. 따라서 환

자의 총체액량의 상태를 빠르고 정확하고 손쉽게 알 수 있는 방법이 요구되나 현재 사용되고 있는 방법들로는 그러한 요구에 쉽게 부합되지 않는 문제점이 있다.

Thomasett⁸⁾가 인체가 전기전도체의 특성을 갖고 있는 점에 착안, 2개의 전극을 사용하여 임피던스를 측정하였고 이를 체내 수분 측정의 지표로 발표하였고 Hoffer등¹⁰⁾이 4개의 전극을 사용하여 신체 임피던스와 총체액량의 관계가 밀접함을 보고한 바 있다.

전기이론에 의하면 전도체의 저항은 전도체의 길이, 전류의 주파수에 비례하고 단면적에 반비례하므로 $Resistance \propto Length/Cross-sectional\ area$ 의 식에서 만약 $Length/Length$ 를 곱하면 $Resistance \propto Length^2/Volume$ 이 된다. 따라서 저항은 부피에 반비례하는 것을 알 수 있으며 사람의 경우에 부피는 보통 총체액량으로 대변되지만 어느정도 체중과 일치하므로 본 결과에서 보여주는 바와 같이 체중이 클수록 임피던스값은 작아지는 것을 알 수 있다.

흉부 임피던스에 관한 연구에서는 폐부종의 조기 발견을 위한 흉부 임피던스 측정의 유용함과 폐부종의 호전시 임피던스 값이 증가함을 관찰하여 폐부종 치료의 지표로 사용할 수 있다고 하였고¹¹⁾ 임피던스 측정을 이용하여 aortic surgery를 받는 환자에서 crystalloid의 투여가 colloid보다 폐내 수분의 증가를 덜 유발한다고 밝힌바 있다^{12,13)}.

Lukaski등¹⁴⁾은 37명의 건강한 성인에서 4개의 전극을 이용한 임피던스의 측정으로 체내 수분을 예측할 수 있는 방법을 소개하였으며 체내 성분의 이상이 있는 암이나 신장병 환자 등에서의 연구가 절실하다고 하였고 Segal등¹⁵⁾은 75명의 성인 남녀에서 신체 임피던스와 농도계를 이용한 Lean Body Mass를 비교하여 정확성이 높음을 보고하였으며 다른 연구자들도 임피던스를 이용하여 체내 수분을 추측할 수 있고 그 정확성이 높다고 보고한 바 있다¹⁶⁾.

임피던스를 이용한 심박출량의 측정을 보고한 연구들에서 Appel등¹⁷⁾은 심장수술과 중환자실 환자에서 임피던스를 이용한 심박출량과 thermodilution을 이용한 심박출량을 서로 비교하였는데, 21명중 16명에서 높은 상호 연관성을 보였으며 나머지 5명중 4명의 환자에서는 불충분한 임피던스의 측정으로 심

박출량을 측정할 수 없었으며 이러한 임피던스를 이용한 심박출량의 측정은 분당 140회 이상의 높은 심박동수나 패혈증 혹은 hemodilution등이 있는 경우에는 그 정확성이 떨어진다고 보고되고 있다^{18,19)}.

Novak등²⁰⁾은 소아 심장수술후 임피던스를 측정하여 임상에 적용하였으며 이러한 임피던스를 이용한 체내 수분측정법은 안전하고 비침습적이며 신속하고 조작하기 쉬우며 실험실 밖에서도 측정이 가능하고 측정기기를 이동할 수 있으며 환자의 협조가 적은 경우에도 시행할 수 있는 장점이 있다고 주장하였다^{21,22)}.

또한 인체 구성 성분중 수분과 전도성 전해질을 갖고 있는 fat-free mass가 fatty mass보다 전기전도성이 더 크다고 보고되고 있으며²³⁾, 국내에서도 보고된 바에 의하면 한국인 체지방율이 여성에 있어서 높게 나오고 임피던스 값도 높음을 보고하였고²⁴⁾ 저자들의 경우에도 Fig. 4, 5에서 비교되듯이 간접적으로 이와 일치되는 결과를 보였다. Perko등²⁵⁾은 심장수술 환자에서 흉부 임피던스를 측정하여 수액의 양과의 관계를 보고하였지만 체온이나 적혈구 용적 등에 영향을 많이 받는다고 하였으며 앞으로 이에 대한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

저자들의 연구에서 각 개체간의 임피던스 값은 차이가 컸으나 각 개체내에서의 임피던스 값의 변화는 거의 일정하였으며, 이러한 결과를 토대로 임피던스의 측정법은 각 개체간의 비교보다는 한 개체에서 지속적으로 측정하여 체액량의 변화를 예측할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 임피던스 값에 영향을 미치는 요소, 즉 환자의 체온이나 적혈구 용적 등에 대한 연구, 중심정맥압의 비교 등이 없었으므로 앞으로의 연구에서는 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료되며, 또한 임상에서 수액치료의 감시장치로서의 이용을 위해서는 수술실이나 중환자실과 같이 여러 전기적인 감시장치가 있는 환경에서의 간섭현상에 따른 오차 등에 관한 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

따라서 신체에 전류를 흘려 전압의 차이를 이용하여 임피던스를 구한 후 체액량을 추정하는 방법은 간단하고 비침습적이며 체액량의 변화가 빠른 상황에서도 유용하게 사용할 수 있으며 체액량의 변화에 대한 감시장치로서의 임상적 이용이 가능할

것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Presta E, Wang J, Harrison GG, Bjorntorp P, Harker WH, Van Itallie TB: Measurement of total body electrical conductivity: a new method for estimation of body composition. *Am J Clin Nutr* 1983; 37: 735-9.
2. Forbes GB, Hursh JB: Age and sex trends in lean body mass calculated from ^{40}K measurements: with a note on the theoretical basis for the procedure. *Ann NY Acad Sci* 1963; 110: 255-63.
3. Vartsky D, Ellis KJ, Cohn SH: In vivo quantification of body nitrogen by neutron capture prompt gamma-ray analysis. *J Nucl Med* 1979; 20: 1158-65.
4. Cohn SH, Shukla KK, Dombrowski CS, Fairchild RG: Design and calibration of a "broad beam" ^{238}Pu , Be neutron source for total body neutron activation analysis. *J Nucl Med* 1972; 13: 487-92.
5. Borkan GA, Gerzof SG, Robbins AH, Hulst DE, Silbert CK, Silbert JE: Assessment of abdominal fat content by computed tomography. *Am J Clin Nutr* 1982; 36: 172-7.
6. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A: Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci* 1963; 110: 113-40.
7. Jacobsen J, Sofelt S, Warberg J, Sechner NH: Cardiovascular and endocrine responses to hemorrhage in the pig. *Acta Physiol Scand* 1990; 138: 167-73.
8. Thomasset A: Bio-electrical properties of tissue impedance measurements. *Lyon Med* 1962; 207: 107-18.
9. Thomasset A: Bio-electrical properties of tissues. *Lyon Med* 1963; 209: 1325-52.
10. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC: Correlation of whole-body impedance with total body water. *J Appl Physiol* 1969; 27: 531-4.
11. Pomeranz M, Baumgartner R, Lauridson J, Eiseman B: Transthoracic electrical impedance for the early detection of pulmonary edema. *Surgery* 1969; 66: 260-5.
12. Van DE Water JM, Mount BE, Barela JR: Monitoring the chest with impedance. *Chest* 1973; 64: 597-606.
13. Shires GT, Pietzman AB, Albert SA: Response of extravascular lung water to intraoperative fluids. *Ann Surg* 1983; 197: 515-9.
14. 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.
15. 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.
16. Kushner RF, Schoeller DA: Estimation of total body water by electrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986; 44: 417-24.
17. Appel PL, Kram HB, MacKabee J: Comparison of measurements of cardiac output by bioimpedance and thermodilution in severely ill surgical patients. *Crit Care Med* 1986; 14: 933-5.
18. Spinale FG, Reines HD, Crawford FA: Comparison of bioimpedance and thermodilution methods for determining cardiac output: experimental and clinical studies. *Ann Thorac Surg* 1988; 45: 421-5.
19. Young JD, McQuillan P: Comparison of thoracic electrical bioimpedance and thermodilution for the measurement of cardiac index in patients with severe sepsis. *Br J Anaesth* 1993; 70: 58-62.
20. Novak I, Davies PS, Elliot MJ: Noninvasive estimation of total body water in critically ill children after cardiac operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992; 104: 585-9.
21. Davies PS, Preece MA, Hicks CJ, Halliday D: The prediction of total body water using bioelectrical impedance in children and adolescents. *Hum Biol* 1988; 15: 237-40.
22. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA: Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60(4): 1327-32.
23. Pethig R: Dielectric and electronic properties of biological materials. Chichester, England: John Wiley & Sons. 1979; pp 225-35.
24. 김덕원, 황수관, 심상수: 임피던스 방법을 이용한 체지방 측정. 생체의용공학 춘계학술대회 논문집 1992; 14: 142-8.
25. Perko G, Perko MJ, Jansen E, Secher NH: Thoracic impedance as an index of body fluid balance during cardiac surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 1991; 35: 568-71.