

4전극 BIA 법에 의한 체성분의 측정

박 찬 원*, 남 현 식*

강원대학교 전기전자정보통신 공학부

A Body Composition Measurement using the 4-Electrode BIA Method

Chan-Won Park*, Hyun-Shik Nam*

Kangwon National University, Department of Electrical and Computer Engineering

Abstract - 본 논문은 4 전극법을 이용한 BIA (Bioelectrical Impedance Analysis) 측정 기술로 측정된 신체의 내부 임피던스와 중량, 그리고 신장의 데이터를 활용하여 서로의 상관관계를 밝히고, 내부 임피던스와 중량의 관계로부터 신장을 측정하는 실험에 관한 것이다.

중요저 저항이 커진다. 이를 통해 몸속에 있는 물의 부피를 알아낼 수 있다. 이렇게 몸속의 물 부피를 알아내면 지방을 제외한 근육량을 산출할 수 있다. 근육의 73.3%가 물이라는 것이 생리학적으로 밝혀졌기 때문이다. 그 다음 몸무게에서 수분, 근육(단백질+무기질)을 모두 빼면 체지방량을 구할 수 있다([1]).

1. 서 론

현대사회의 대다수 사람들은 신체에 많은 관심을 가지고 있다. 특히 그중에서도 신체 내부의 체지방량은 건강한 몸을 구성하기 위한 필수조건으로써 그 비중이 상당하다. 그래서 건강한 사람들은 운동요법이나 식이요법 등의 다양한 방법을 통하여 신체의 체지방량을 조절한다. 인체의 지방을 측정하는 방법에는 가장 정확한 방법이 사람이 수조(水槽) 속에 들어가 비중을 제어 몸무게와 비교하는 수중체밀도법이 있다. 지방은 밀도가 낮고 근육은 밀도가 높기 때문에 두 성분의 밀도차를 비교하면 인체의 지방량을 알 수 있다. 이 밖에 체수분법, 칼륨법, 뇨중크레아틴법, 중성자활성법, CT-scan 법, 핵자기공명영상법(MRI), 이중에너지 X-선 흡수법등이 있는데 이러한 기술들은 유용한 방법이지만 하나 고비용/고기술을 요구하는 단점이 있다. 그래서 최근 체지방량 측정 방식으로는 생체전기 임피던스 (Bioelectrical Impedance Analysis; 이하 BIA)이 개발되어 활용되고 있다.

이 BIA 측정법은 측정자의 연령, 성별, 체중, 신장, 그리고 신체 임피던스를 구하여 체지방을 측정하는 방법으로 신체에 일정주파수의 전류를 통과시켜 내부 임피던스를 구하고, 이 임피던스와 다른 측정값과의 관계로부터 체지방량을 측정하는 방법이다. 그러나 현재 시중에 나와있는 BIA 측정 기기들은 대부분 내부 임피던스와 체중을 제외한 나머지 값들을 수동으로 입력하도록 되어 있다. 본 연구에서는 4전극법을 사용하여 신체 임피던스, 체중 및 신장과의 관계를 밝히고, 수동으로 입력하였던 신장을 자동으로 입력할 수 있도록 내부 임피던스와 체중의 관계를 통하여 신장을 측정하는 공식을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 BIA 기술의 개요

BIA 측정법은 1983년 안 노보에르 박사가 몸속의 수분과 전기저항과의 관계를 밝혀내면서 이 측정법이 실용화되었다.

BIA의 기본 원리를 살펴보면 다음과 같다. 인체의 구성 성분(물, 단백질, 무기질, 지방) 가운데 전류를 통과시키는 것은 전도성이 높은 물밖에 없다. 따라서 인체에 전극을 접촉시켜 전류를 흘려주면 전류는 물을 따라 흐르게 된다. 몸 안에 물이 많으면 전기가 흐르는 통로가 넓어져 저항이 적고 물이 적으면 전기가 흐르는 통로가

2.1.1 인체의 전기적 등가회로

그림 1은 인체를 전기적인 등가회로로 나타낸 것으로 각 신체부분은 저항 및 커패시턴스 성분으로 등가화 되며 각각의 임피던스를 측정하여 신체의 구성 성분을 추정하게 된다([2]).

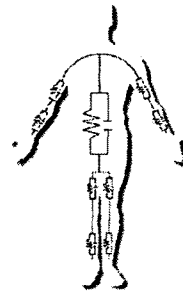


그림 1. 인체의 전기적 등가회로

1988년, Lukaski와 Bolonchuk은 'Aviation Space and Environmental Medicine' 紙에서 체수분량을 측정하는 공식을 발표하였다. 이 공식은 인체의 발등에서부터 손등까지 50%의 전류를 흘려서 측정한 저항 값(R)과 신장, 체중, 성별 및 나이를 이용하여 TBW(Total Body Water)를 구하게 된다. 공식은 다음과 같다.

$$TBW = 0.372 (S^2/R) + 3.05 (Sex) + 0.142 (W) - 0.069 (Age) \quad [Kg]$$

$$\begin{aligned} S &= \text{Stature in centimeters} \\ R &= \text{Resistance.} \\ W &= \text{Weight in kilograms.} \\ Sex &= 1 \text{ for males, } 0 \text{ for femal.} \\ Age &= \text{years old} \end{aligned}$$

이를 이용하여 FFM(Fat Free Mass; 체지방량), FM(fat mass; 지방량), BF(percent body fat; 체지방량)을 구할 수가 있다. 구하는 과정은 다음과 같다.

$$FFM = \frac{TBIV}{0.73} \quad [Kg]$$

$$FM = Weight - FFM \quad [Kg]$$

$$\%BF = \frac{FM}{Weight} \times 100 \quad [\%]$$

현재, BIA 측정법을 이용한 여러 종류의 체지방 측정 기기들이 나와 있는데, 이러한 기기들은 대부분은 저가형 기기들로 4전극(4-electrode)을 사용하며 측정을 할 경우에는 신장, 성별, 나이를 입력한 후 체중계에 올라가지만 하면 체중계에 설치된 전극을 통하여 인체에 미세한 전류를 보내게 되어 신체 임피던스를 측정할 수 있게 된다. 모든 측정이 끝나게 되면 기기는 피측정자의 체중, BMI(Body Mass Index; 신체지수) 및 체지방량을 표시하여 준다.

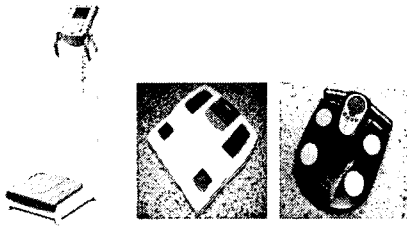


그림 2 BIA계측 장치

그림 2는 현재 시판되고 있는 체지방 측정기의 실제 사진을 보여주고 있다. 가장 왼쪽의 것이 BIOSPACE社의 InBody 4.0이고, 가운데 있는 것은 TANITA社의 2001-W UltimateScale, 오른쪽 사진은 Ormon社의 HBF-355의 실제 사진이다.

2.2 신장 측정 시스템의 원리 및 구성

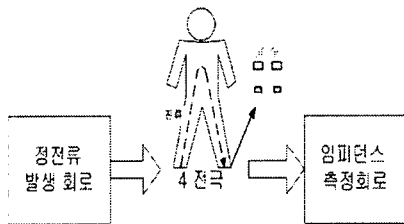


그림 3. Bioimpedance 측정 시스템

그림 3은 전체적인 블록도로 정전류 발생 회로 및 임피던스 측정회로로 구성되어 있다. 정전류 발생회로에서는 500 Ω , 1k Ω , 2k Ω 의 주파수에 해당하는 정전류를 발생시키고, 각각의 전류는 신체의 양 발바닥에 위치하는 4전극 중 2개의 전극에 연결되어 인체를 통해 흐르게 되며, 임피던스 측정회로에 연결되어 있는 나머지 2개의 전극에서 측정되는 전압의 진폭을 가지고 각각의 주파수에 따른 인체의 임피던스를 측정하였다.

그림 4는 정전류 발생 회로로 인체에 부착된 전극으로 출력되는 전류(I)를 살펴보면 다음과 같다.[3].

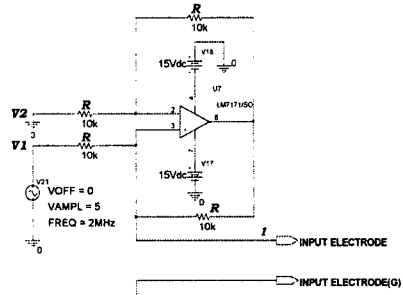


그림 4. AC 정전류 발생 회로

$$I = \frac{V1 - V2}{R} = \frac{V1}{R} \quad (\because V2 = 0)$$

$$= \frac{3.54}{10 \times 10^3} = 0.354 \text{ mA} \approx 354 \mu\text{A}$$

인체에 인가되는 전류는 $\pm 500\mu\text{A}$ 이고, 이는 매우 미약한 전류로써, 인체에 무해하다.

또 본 논문에서 500 Ω , 1k Ω , 2k Ω 의 주파수를 사용하였고, 1k Ω 이하의 주파수를 사용하던 기존의 연구와는 달리, 2k Ω 의 높은 주파수를 사용하였는데 이유는 커패시턴스성분의 임피던스는 주파수에 반비례하기 때문에 커패시턴스성분의 임피던스를 줄이고자 사용하였다.[4]



그림 5. 신호 처리 회로의 블록 다이어그램

그림 5는 신호 처리회로의 블록 다이어그램으로 전압 버퍼, Band Pass Filter, 증폭 회로로 구성되어 있으며, BPF는 500 Ω , 1k Ω , 2k Ω 의 세 가지 대역에 대한 BPF로 각각 구현하였으며, 증폭회로는 이득을 5로 하였다.

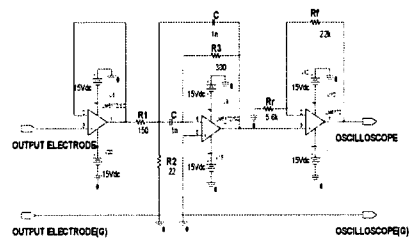


그림 6. 신호처리 회로

실제적인 회로구성은 그림 6과 같이 구성이 되며, 데이터는 Oscilloscope로 측정할 수 있다.

2.2.1 실험 및 고찰

실험은 학교에 재학 중인 남학생 114명을 대상으로 측정을 하였으며, 측정 전에 대상자들에게 실험 방법, 실험 이론에 대한 설명 및 대상자들의 동의를 거친 후 실험을 수행하였다.

다음은 측정 대상자들의 신장, 체중, BMI 지수의 분포를 살펴본 차트이다. 측정된 대상자들의 체중은 55.0~94.0Kg의 분포를 가졌으며, 신장은 161~186cm의 분포를 가졌다. 단, 체중은 0.5kg 단위로 측정하고, 신장은 1cm 단위로 측정을 하였다.

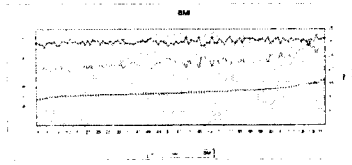


그림 7. 피측정자들의 BMI, 신장, 체중분포도

신체 질량 지수(BMI=(체중/(신장/100)²))의 데이터의 경우, 18.8-31.8의 분포를 가졌다.

앞에서도 밝혔듯이 본 연구에서 사용된 주파수가 기존의 사용되었던 주파수보다 높게 선정된 것은, 본 논문의 주된 목적이 4전극 BIA계에서 인체의 신장을 대략적으로 찾아냄으로써 측정 조작 단계를 자동 혹은 간소화 시키고자 하고자 하는 것이다.

측정된 신체 임피던스의 분포를 각 주파수별로 살펴보면 그림 8과 같다. 측정된 저항은 10²단위로 표기하였다.

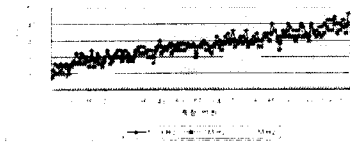


그림 8. 각 주파수에서의 임피던스 분포도

인체의 임피던스는 500Hz - 320-500 Ω , 1kHz - 310-470 Ω , 2kHz - 280-430 Ω 의 분포를 가졌다. 500Hz와 1kHz에서의 임피던스 크기의 차이는 0-30 Ω 의 분포를 보였으며, 1kHz와 2kHz의 임피던스 크기의 차이는 0-70 Ω 의 변화폭을 확인 할 수 있었다. 위의 분포를 찾는 과정에서 인체의 임피던스는 주파수가 증가함에 따라 감소함을 확인할 수가 있었다.

본 연구에서는 2kHz에서의 임피던스와 체중 및 BMI와의 관계를 살펴본 후 체중을 구하는 공식을 유도하도록 하겠다. 먼저 2kHz에서의 임피던스와 체중 및 BMI와의 관계를 차트로 살펴보면 다음과 같다.

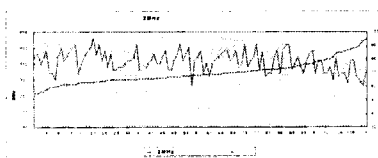


그림 10. 2kHz에서의 임피던스와 체중 분포도

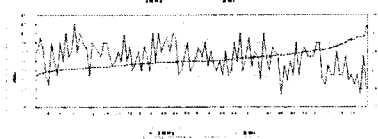


그림 11. 2kHz에서의 신체 임피던스와 BMI의 분포도

위의 차트들을 살펴보면, 2kHz의 임피던스는 체중 및 BMI에 반비례하는 경향을 살펴볼 수가 있다. 이를 다시 표현하면,

$$Im_{2MHz} \propto \frac{1}{Weight}, \quad Im_{2MHz} \propto \frac{1}{BMI}$$

$$(BMI = \frac{Weight}{Height^2}) \text{ 이므로, } Im_{2MHz} \propto \frac{Height^2}{Weight}$$

$$(Im_{2MHz} \times Weight) \propto Height^2$$

가 된다. 본 논문에서는 이와 같은 관계를 바탕으로 공식을 유도 하였다. 첫 번째 과정으로 2kHz에서의 임피던스와 체중을 곱하고, 비례 상수를 찾은 후, 이 결과 값과 실제 신장과의 차이를 비교하였고, 이를 다시 2kHz에서의 임피던스를 아래와 같이 세 구간으로 분류하여 보정을 하였다. 본 논문에서 제시하는 공식은 다음과 같다.

$$H_C = k \times W \times Im_{2MHz} + H_C \quad (Cm) \quad (k = 0.001)$$

$$i) \quad Im_{2MHz} < 330\Omega \quad : \quad H_C = 151$$

$$ii) \quad 330\Omega \leq Im_{2MHz} \leq 390\Omega \quad : \quad H_C = 149$$

$$iii) \quad Im_{2MHz} > 400\Omega \quad : \quad H_C = 147$$

여기서,

$$H_C = \text{예상되는 신장 값}(Cm),$$

$$W = \text{체중}(Kg),$$

$$Im_{2MHz} = 2kHz\text{에서의 임피던스}(\Omega),$$

$$H_C = 2kHz\text{에서의 임피던스에 따른 상수}$$

위의 공식을 사용한 결과, 실제 신장과의 차이가 최대 $\pm 11cm$ 의 범위 내에 들어 왔으며, $\pm 5\%$ 의 범위 내에 들어오는 확률은 83.3%가 됨을 확인할 수가 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 체중계 겸용의 4전극 체지방 측정계기에서의 신장 데이터 입력 과정을 조금 더 간소화시키기 위해서 신체의 임피던스 및 체중 값을 가지고 신장을 예측하기 위한 방법을 연구하였다.

실험을 통한 결론으로 2kHz에서의 신체 임피던스와 체중 값을 가지고 그 사람의 신장을 찾아낼 수 있는 공식을 제안하였으며, 제안된 공식은 최대 오차 범위가 $\pm 11cm$ 이고, $\pm 5\%$ 범위 내에 들어오는 확률은 83.3%이다. 하지만 피측정자를 젊은층의 20대 남성만을 대상으로 하였기 때문에 본 연구로부터 얻은 결과는 다양성을 갖지 못하는 단점을 갖고 있다.

그러나 본 연구는 4전극을 사용하는 체중계 겸용 체지방 측정 계기의 사용에 있어서 신장 값을 입력하는 과정을 간소화 시킬 수 있을 것으로 예상되며, 관련 분야 연구의 활성화에 기여 할 수 있으리라 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Andrew P. Hills and Nuala M. Byrne, "Bioelectrical impedance and body composition assessment", *Mal J Nutr* 4:107-112, 1998
- [2] Rudolph J. Liedtke, "Fundamentals of Bioelectrical Impedance Analysis", 1998
- [3] ROBERT F. COUGHLIN, ROBERT S. VILLANUCCI, "INTRODUCTORY OPERATIONAL AMPLIFIERS AND LINEAR ICS - Theory and Experimentation", pp. 226-228
- [4] R. GUDIVIAKA, D. A. SCHOELLER, R. F. KUSHNER, AND M. J. G. BOLT, "Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments", *The American Physiological Society*, 1999
- [5] Bodystat, <http://www.bodystat.com>