

원격의료계측을 위한 한국형 생체 전기 임피던스 분석 시스템의 개발

문재국 · 서광석 · 임택균 · 신태민 · 윤형로

연세대학교 보건과학대학 의공학과
(2002년 6월 26일 접수, 2002년 10월 19일 채택)

Development of Bioelectrical Impedance Analyzer for Korean in Telemedicine

Jae-Kook Moon, Kang-Suk Seo, Taek-Gyun Lim, Tae-Min Shin, Hyung-Ro Yoon

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University

(Received June 26, 2002. Accepted October 19, 2002)

요약: 본 연구에서는 변기에 앉아 있을 때 체성분을 효과적으로 측정할 수 있는 체임피던스 측정기(Bioelectrical Impedance Analyzer, BIA)를 개발하고, 이 시스템으로 정확한 체성분 값을 구할 수 있는 방정식을 도출하였다. 이를 위해 설계한 하드웨어로 건강한 한국인 남·여 181명의 체임피던스 값을 변기에 적합한 전극 부착 위치(손목, 허벅지)에서 획득했다. 같은 피험자를 대상으로 기존의 한국인에게 적용시 정확도의 문제를 내포하는 수중체중법의 Siri 방정식을 modified-Siri 방정식으로 적용함으로써 한국인의 제지방량 표준값을 산출하였다. 이 표준값을 기준으로 임피던스 지수, 체중, 성별로 한국인의 제지방을 예측하는 추정식을 얻었다. 제지방량의 추정값과 표준값 사이의 상관계수(r)는 0.977로 높은 관련성을 나타냈으며, SEE(Standard Error of Estimation)은 2.47kg으로 낮은 오차를 나타냈다($p < 0.05$). 이는 기존의 전극 부착위치인 손목과 발목을 같은 피험자에 적용하여 체임피던스에 의한 제지방량 추정식을 세울 때, 추정값과 표준값 사이의 상관계수($r = 0.978$) 및 SEE(2.43kg)와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 이중교차검증(Double Cross Validation)을 통해 실험에 참가하지 않은 피검자에 대한 적용 가능성도 유효한 것으로 나타나 본 논문에서 설계한 체임피던스 분석기와 추정식은 한국인의 제지방량을 산출하는데 적합한 것으로 평가되었다.

Abstract: The purpose of this study was to design a single frequency BIA(Bioelectrical Impedance Analyzer) which can measure body impedance when patient is sitting on the toilet and to develop a prediction equation for designed BIA. For the purpose of this study, we acquired body impedances with designed BIA from 181 subjects composed of healthy Korean by attaching electrodes to suitable positions(wrist and thigh) for toilet measurement. We computed an appropriate FFM(Fat Free Mass) for Korean using modified-Siri equation to the same subjects instead of Siri equation which may cause accuracy problems in hydrodensitometry when it applied to Korean. We used this FFM as reference value and developed a Korean FFM prediction equation based on body impedance index, body weight and sex. Correlation coefficient between prediction value and reference value of FFM was extremely high ($r = 0.977$) and SEE(Standard Error of Estimation) was low 2.47kg. ($p < 0.05$) For comparison between existing electrode-attaching method and our method for toilet measurement, we acquired body impedance with designed BIA from same subjects attaching electrodes on existing positions(wrist and ankle) and made FFM prediction equation for BIA. Correlation coefficient between predicted value and reference value was 0.978 and SEE was 2.43kg ($p < 0.05$). It means that the developed system has not significant differences with existing method. In conclusion, bioelectrical impedance analyzer and the FFM prediction equation developed in this paper are evaluated to be adequate to compute FFM of Korean.

Key words: Body fat, Bioelectrical impedance analysis, Hydrodensitometry, Fat free mass prediction equation, Telemedicine

서론

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터 지원에 의한 것입니다.

통신저자: 윤형로, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234
연세대학교 의공학과

Tel. (033)760-2431, Fax. (033)763-1953

E-mail. hrgoon@dragon.yonsei.ac.kr

현대의 통신기술과 컴퓨터 기술의 비약적인 발전은 의료산업에 새로운 요구를 유발시켰으며, 이를 충족시켜 주기위해 등장한 것이 원격의료계측시스템이다[1]. 원격의료계측 시스템을 이용하면, 지리적으로 의료서비스가 취약한 지역에서 거주지와 병원간 의료정보교환을 통해 원격건강관리가 가능하다. 채택된료가 정착되어 주거지 내에서 진료가 가능하게 되면, 일반인도

정기적인 검진 서비스로 인하여 질병을 예방할 수 있을 뿐만 아니라 거동이 불편한 노인이나 만성질환자도 일정 수준이상의 의료 서비스를 지속적으로 받을 수 있게된다[2]. 이러한 제택 진료의 일환으로 배변시 좌변기에서 생체정보를 획득하는 변화생체측은 매일 일상생활 속에서 비관절적이고, 무의식적으로 측정이 가능하며, 측정시 구속되지 않는 장점이 있다. 원격의료 계측시스템을 통해 얻어진 생체정보 중 체성분은 신체의 주요 구성요소로서 영양 상태, 식이요법, 운동상태, 질병 등을 나타내기 때문에 영양사, 병원, 건강클리닉등에서 관심을 갖는다[3]. 몸의 구성 성분을 지방(Fat Mass, FM)과 제지방(Fat Free Mass, FFM)으로 나누었을 때 과대 지방량을 갖는 비만인에게는 신체 거동의 부자유 및 다양한 질병이 유발된다[3]~[5]. 반면 몸의 생리적인 기능을 수행하는데 있어서 어느 정도의 지방을 필요로 하기 때문에 정확한 지방량을 측정하는 것이 중요하다[3]. 변화생체측에서의 제지방 측정은 무의식적으로 제지방을 측정함으로써 장기적인 패턴을 관찰하여 근육의 쇠약과 신체가 비대해지는 것을 막아 최적의 영양공급을 가능케 하고, 자신의 제지방량을 항시 자각하여 비만에 관련된 다양한 질병을 예방하며, 과도한 다이어트로 인한 부작용을 해결할 수 있다.

기존의 제지방 예측 회귀방정식의 기준이 되는 제지방량의 표준값을 얻기 위해 수중체중법(Hydrodensitometry)을 사용하였고, 수중체중법에 의한 체밀도를 제지방량으로 변환하는 방정식으로는 Brozek 방정식과 Siri 방정식을 사용하였다[3][6]. 하지만 체밀도-제지방량 변환 방정식이 유도되는 주요인자인 제지방 조직의 평균밀도가 미국흑인이 1.1034 kg/l, 미국 백인이 1.0988 kg/l, 싱가포르 중국인이 1.1072 kg/l, 싱가포르 말레이인이 1.1064 kg/l, 싱가포르 인디언이 1.1072 kg/l로 인종에 따라 그 값에 차이가 있는데도 불구하고, Siri 방정식은 지방 조직의 평균밀도는 0.9 kg/l, 제지방조직의 평균밀도는 1.1 kg/l로 사용했으며, Brozek 방정식은 지방 조직의 평균밀도가 0.88876 kg/l, 제지방 조직의 평균밀도는 1.1033 kg/l로 외국인을 기준으로한 평균밀도를 사용하여 방정식이 세워졌기 때문

에 한국인에 적용시 정확도 문제를 내포하고 있다[3][7]. 이러한 수중체중법에 의한 체밀도 제지방량 변환 방정식을 사용하여 산출한 제지방량을 기준으로 생체전기 임피던스 분석기(Bioelectrical Impedance Analyser, BIA)의 제지방량 추정식을 사용했기 때문에 한국인에 대한 제지방량이 과대 혹은 과소 예측되었다. 이에 최근 한국인에 적합한 제지방량 평균밀도가 제안되었으며, 이 제지방 조직의 평균밀도를 이용하여 한국인에게 적합한 modified Siri 방정식이 발표되었다[7].

본 논문에서는 변화생체측에 적용 가능한 50kHz, 500uA의 단일 주파수의 BIA를 설계 제작하였다. 제지방량 추정식을 개발하기 위해 건강한 한국인 피험자 181명의 체임피던스를 설계한 BIA로 측정하였다. 또한 같은 피험자를 대상으로 수중체중법에 의해 체밀도를 얻은 후 modified-Siri 방정식에 의해 한국인에 적합한 제지방량을 산출하였다. 이 산출된 제지방량을 기준으로 회귀분석에 의해 설계한 BIA의 제지방량 추정식을 개발하였다.

시스템 설계

변화 생체전기 임피던스 분석 시스템은 교류 정전류 주입부, 임피던스 측정 전치 증폭부, 마이크로컨트롤러부로 구성된다.

1. 교류 정전류 주입부

교류 정전류 주입부는 고정 주파수(50kHz)의 정현전압, 전압-전류 변환기, 자동이득조정 루프, 측정부위 선택기로 구성 되어 임피던스가 1Ω~10kΩ 까지 전류를 일정하게 공급할 수 있으며, 양팔과 양다리 어느 곳에서도 전류 인입과 전압을 측정하여 부위별 체임피던스를 얻을 수 있는 교류 정전류 주입부를 설계하였다. 측정부위 선택기의 개략도 및 신체 주요한 각 부위별 체임피던스 모델은 그림 2와 같다.

그림 2와 같이 왼팔, 몸통, 오른팔, 왼다리, 오른다리의 임피던스를 각각 A, B, C, D, E라 하고 측정부위 선택기로 측정된 임피던스 값을 표 1과 같다고 가정하면, 부위별 임피던스와 측

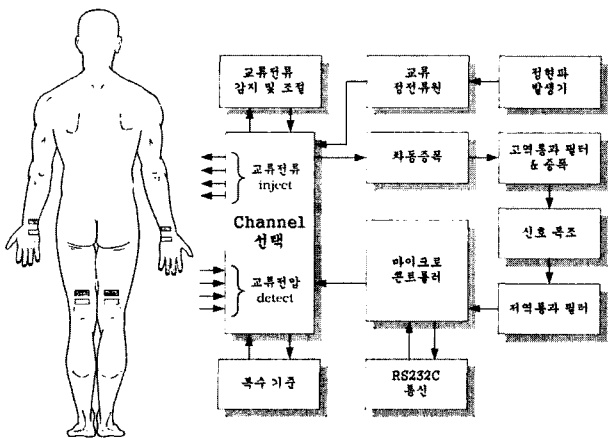


그림 1. 시스템 블록도
Fig. 1. System block diagram

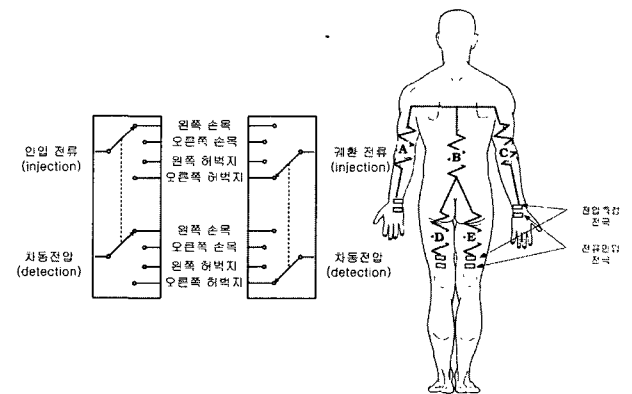


그림 2. 측정부위 선택기 및 각 부위에 대한 임피던스 모델
Fig. 2. Measuring region selector and Segmental body impedance model

표 1. 측정부위 선택기로 측정된 체임피던스 모형
Table 1. Measured impedance model using measuring region selector

선택된 측정부위		측정된 임피던스
왼쪽 손목	- 오른쪽 손목	u
왼쪽 손목	- 왼쪽 허벅지	v
오른쪽 손목	- 오른쪽 허벅지	w
왼쪽 허벅지	- 오른쪽 허벅지	x
왼쪽 손목	- 오른쪽 허벅지	y
오른쪽 손목	- 왼쪽 허벅지	z

정된 임피던스 사이에는 식 1과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$u = A + C, v = A + B + D, w = C + B + E, x = D + E, y = A + B + E, z = C + B + D \quad (1)$$

식 (1)을 A, B, C, D, E로 다시 정리하면 식(2)를 얻을 수 있다.

$$A = \frac{u + v - z}{2}, B = \frac{y + z - u - x}{2}, C = \frac{u + z - v}{2}, D = \frac{v + x - y}{2}, E = \frac{x + y - v}{2} \quad (2)$$

식 (2)는 각 부위별 임피던스로 재구성할 수 있음을 보여주며 이것을 이용하여 신체 전체의 임피던스를 얻을 수 있다.

2. 임피던스 전치 증폭부

선택부위로 인입된 전류는 임피던스 정보를 갖는 50kHz의 전압의 형태로 나온다. 따라서 차동증폭에 의해 전류가 인입된 부위의 임피던스 정보만을 추출하며, 추출된 전압은 50kHz로 정현파의 최대치에 대한 임피던스 정보를 갖고 있다. 따라서 전압의 최대치에 선형적으로 비례하는 직류 전압을 얻기 위해 RMS 변환기를 사용하여 직류로 변환하였다.

3. 마이크로콘트롤러부

변좌 생체전기 임피던스 분석 시스템은 PIC16C774를 기반으로 설계하였으며, 측정부위선택기를 제어하고, 체임피던스의 정보를 갖는 직류 전압을 임피던스 값으로 변환하기 위해 A/D변환 및 32비트 부동소수점 연산을 수행하며, 통신을 위한 시리얼 인터페이스를 갖는다. 통신시 CRC를 체크하여 통신시 오류를 보정하였다.

실험 결과 및 고찰

본 연구에서 설계한 시스템의 성능을 평가하기 위해 실험을 수행하였다.

첫째, 하드웨어에서 임피던스 획득값의 정확성과 재현성을

평가하기 위해 Appa사의 305 멀티미터와 본 하드웨어의 저항 측정값을 비교하여 정확성을 평가하고, 10시간 동안 한시간에 1번씩 저항을 측정하여 재현성을 평가하였다.

둘째, 표준값을 얻기 위해서, 한국인 181명을 대상으로 수중 체중법을 실시하였다. 수중체중법에 의해 얻어진 체밀도를 체지방으로 변환하는데 있어 modified Siri방정식을 사용함으로써 한국인의 정확한 체지방량 및 체지방률을 산출하였다.

셋째, 기존의 전극방식과 본 논문의 전극방식을 비교하기 위해서 같은 피험자를 대상으로 설계한 하드웨어로 손목과 발목에 전극을 부착하여 체임피던스를 측정하고, 손목과 허벅지에 전극을 부착하여 체임피던스를 측정하였다. 두 체임피던스 사이의 상관관계를 구하여 두 방식간의 차이를 관찰하였다.

넷째, 표준값과 기존의 전극방식 및 표준값과 본 논문의 전극 방식으로, 각각의 임피던스에 의한 체지방량 추정식을 세워 표준값과 추정값을 비교함으로써 두 방식의 신뢰성을 비교하였다.

다섯째, 변좌 체지방 분석기의 체지방량 추정식이 실험에 참가하지 않는 다른 피험자에게 적용이 가능한가를 검증하기 위해 이중교차검증(Double Cross Validation)을 실시하였다

1. 하드웨어의 정확성 및 재현성 평가

그림 3은 Appa사의 멀티미터에 의한 임피던스 값과 설계한 하드웨어에 의한 임피던스 값을 비교한 것이다.

100Ω, 220Ω, 330Ω, 390Ω, 470Ω, 560Ω, 760Ω, 820Ω의 표준저항 각각 10개씩을 멀티미터와 설계한 하드웨어로 측정하여 비교하여 본 결과 피어슨 상관계수는: 1.000 (p<0.001)으로 높은 수치를 보였으며, 최대 4Ω이하의 차이를 보였다. 재현성은 470Ω을 한시간에 한번씩 10회 멀티미터와 설계한 하드웨어로 측정 한 결과 표준 편차는 1.2Ω이었다.

2. 체지방의 표준값 획득 및 체임피던스 획득

체지방의 표준값을 획득하기 위해 한국인을 대상으로 3개월간 병력이 없고, 신체 장애가 없는 건강한 한국 남녀 181명(남자 : 90명, 여자 : 91명)을 연령에 따라 무작위적으로 선정하여

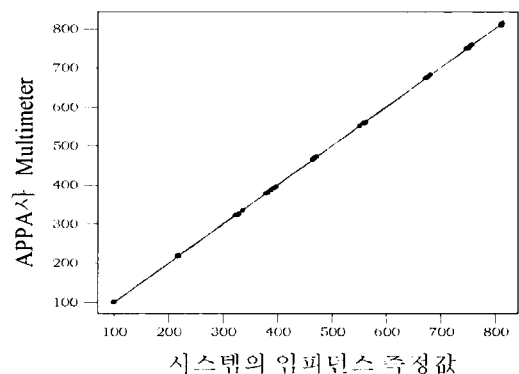


그림 3. APPA사의 멀티미터와 시스템의 측정값 비교
Fig. 3. Comparison of measured values between multi-meter and designed system

표 2. 실험대상의 신체치수 분포

Table 2. Anthropometric characteristics of subjects

구 분		연령분포				
		13~19	20~29	30~39	40~49	50~67
남자	n	17	26	18	13	16
	신장(cm)	166.6±9.6	172.3±4.9	173.2±5.8	167.8±7.2	168.6±6.0
	체중(kg)	63.0±12.9	70.9±9.0	73.5±10.3	69.3±10.4	70.5±9.5
	BMI(kg/m ²)	22.6±3.5	23.9±2.8	24.5±3.0	24.5±3.0	24.8±2.7
여자	n	17	23	16	21	14
	신장	161.5±5.7	160.4±7.1	155.8±4.0	157.3±5.8	154.4±4.6
	체중	53.4±7.8	55.7±8.0	56.0±9.5	59.7±8.2	57.9±6.6
	BMI(kg/m ²)	20.4±2.1	21.6±2.9	23.0±3.3	24.1±2.7	24.3±2.4

수중체중법을 실시하였다.

표2는 실험참가자의 신체치수에 대한 분포를 연령별로 나타낸 것이다. 키와 체중은 각각 0.1cm, 0.1kg 단위까지 측정하였다.

(1) 수중체중법에 의한 제지방의 표준값 획득

수중체중 측정은 별도의 실험실에서 실시하였으며, 체밀도를 구하기 위해 1.8t 용량의 플라스틱 수조 속에서 30℃ 이상의 물을 채운 다음, 전자식 저울(CAS, 카스톤)을 이용하여 수중 체중을 측정하였다. 측정은 각 개인의 차이를 고려하여 10회 실시하여 수중체중이 수렴하는 구간 3회의 평균값을 이용하였다. 폐 잔기량(Residual Volume, RV)은 Vmax Auto Box (Sensormedics, CA, USA)를 사용하여 측정하였다.

본 연구에서 수중체중측정에 의한 체밀도 추정은 Behnke와 Wilmore, Buskirk 등이 수중체중 측정법에 적용한 공식을 이용하였으며 그 공식은 식 3과 같다[10][11].

$$D_B = \frac{W_A}{\frac{W_A - W_W}{D_W} - (RV + 100ml)} \quad (3)$$

D_B : 체밀도, D_W : 물의 밀도, RV : 잔기량,
 W_W : 물 속의 체중, W_A : 물 밖의 체중

추정된 체밀도를 체지방량(Body Fat, BF)으로 산출하는 공식은 modified-Siri 방정식을 사용하였으며, 이외에 제지방량(fat-free mass, FFM)의 산출공식은 식 4, 연령별 제지방 밀도값은 표 3과 같다.

$$\text{제지방량} = \frac{D_{FM} \times (D_{FFM} - D_B)}{D_B \times (D_{FFM} - D_{FM})} \times W_A \quad (4)$$

D_{FM} : 지방의 밀도, D_{FFM} : 제지방의 밀도,
 D_B : 체밀도, W_A : 체중

제지방량 = 체중 - 지방량

식 4에서 D_{FM} 은 0.9 kg/m³로 사용하였으며, D_{FFM} 은 표

3의 한국인에 적합한 제지방의 밀도를 사용하였다.

(2) 체임피던스 획득

같은 피험자 181명을 대상으로 본 연구에서 설계한 하드웨어로 기존의 BIA의 전극 위치인 손과 발에 전극을 부착하여 부위별 임피던스를 얻은 후 모든 부위의 임피던스의 합을 기존-체임피던스 값으로 정하고, 본 연구의 전극위치인 손과 허벅지에 전극을 부착하여 부위별 임피던스를 얻어 모든 부위의 임피던스 합을 변화-체임피던스 값이라 하였다. 그림 4와 그림 5는 기존의 전극 부착위치와 본 논문의 전극 부착위치를 비교하여 보여준다.

3. 기존의 전극 방식과 변화식 전극 방식의 비교

두 방식으로 설계한 하드웨어에 의해 같은 피험자 181명의 기존-체임피던스 값과 변화-체임피던스 값 사이의 피어슨 상관관계수는 0.974($p < 0.001$)로 높았으며, BIA에 의한 제지방량 추정식의 인자인 임피던스 지수(Impedance Index : 신장²/체임피던스)를 비교할 때, 기존-체임피던스 지수와 변화-체임피던스

표 3. 한국인의 연령별 제지방 밀도 (단위 : kg/m³)

Table 3. Fat-free mass density for Korean by age group

성 별	나 이				
	13~19	20~29	30~39	40~49	50~67
남 성	1.1101	1.1024	1.0921	1.0977	1.0842
여 성	1.1224	1.1270	1.1181	1.1087	1.1017

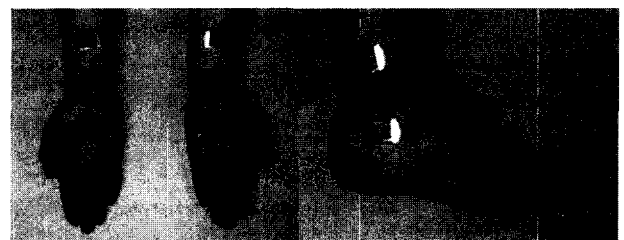


그림 4. 기존의 전극 위치

Fig. 4. Existing electrode-attaching position

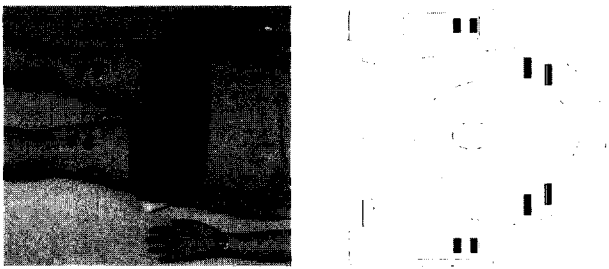


그림 5. 변좌식 전극 위치 및 좌변기의 전극
Fig. 5. Designed electrode-attaching position for toilet measurement

지수 사이의 피어슨 상관계수는 0.983(p<0.001)로 높은 값을 얻었다.

이를 바탕으로 modified-Siri 방정식에 의한 181명의 한국인 제지방량의 표준값을 기준으로 회귀분석에 의해 기존-제지방 추정식과 변좌-제지방 추정식을 세워 표준값과 두 방정식의 추정값을 비교함으로써 두 방식의 신뢰성을 비교하였다.

회귀 분석은 SPSS 10.0을 사용하였으며 추정식의 독립변수 설정은 단계별 선택법을 실시하여 임피던스 지수, 체중, 성별이 공통적으로 선택되었으며, 기존의 전극 방식은 나이도 선택되었다. 회귀 분석시 모든 p값은 0.05보다 낮았다. 두 방식의 추정식은 표 4와 같다.

기존의 전극방식에서의 표준값과 추정값 사이에 상관계수가 0.978, SEE(standard error of estimation)이 2.43kg을 보였지만, 이는 변좌식 전극방식의 상관계수, 0.977과 SEE, 2.47kg과 큰 차이가 없다. 따라서, 변좌식 전극 방식과 기존의 전극방식

의 정확성에는 큰 차이가 없었다.

4. 이중교차검증(Double Cross Validation)

피검자 181명의 표준 제지방량에 의해 세워진 추정식이 실험에 참여하지 않은 다른 피검자의 제지방량을 추정할 수 있는가의 가능성을 확인하기 위해 이중 교차검증을 실시하였다.

나이 순서에 의해 홀수 순번은 A집단, 짝수 순번은 B집단으로 나누고 제지방량 표준값에 대해 회귀분석을 이용하여 변좌-제지방 추정식을 세웠다. 독립변수는 단계별 선택법을 사용하여 변좌-임피던스 지수, 체중, 성별이 선택되었다. 각 집단의 데이터를 상대 집단의 추정식에 넣어 추정값과 표준값을 비교하였다. 즉, A 집단은 실험에 참가하지 않았다는 가정하에 B 집단의 추정식에 넣어 표준값과 A집단의 추정값을 비교하고, 반대로 B 집단이 실험에 참가하지 않았다고 가정하고 A 집단의 추정식에 넣어 표준값과 B집단의 추정값을 비교하였다. 교차검증의 결과는 표 5와 같다.

A 집단의 추정식에 B집단의 데이터를 넣어 B 집단의 제지방량 추정값을 산출한 후 산출된 추정값과 B집단의 표준값 사이의 상관계수는 0.981와 SEE는 2.36kg으로 높은 관련성과 낮은 오차를 보였다. 반대로 B 집단의 추정식에 A집단의 데이터를 넣어 A집단의 제지방량 추정값을 산출하고 산출된 추정값과 A집단의 표준값 사이의 상관계수는 0.970, SEE는 2.74kg으로 역시 높은 관련성과 낮은 오차를 보였다. 따라서 제지방량 추정식은 실험에 참가하지 않는 피험자에게 적용하여도 높은 정확성과 낮은 오차를 갖는다.

표 4. 기존의 전극방식과 변좌식 전극방식의 신뢰성 비교

Table 4. Comparison of confidence between existing electrode-attaching method and designed method

제지방량 표준값		46.7±11.4kg
기존의 전극방식	추정된 제지방량	46.7±11.1kg, r = 0.978, SEE = 2.43kg
	제지방 추정식	3.10+0.32×체중+0.874×기존-임피던스 지수+0.0488×나이-5.24×(성별: 남자 1, 여자 0)
변좌식 전극방식	추정된 제지방량	46.7±11.1kg, r = 0.977, SEE = 2.47kg
	제지방 추정식	0.289+0.611×변좌-임피던스 지수+ 0.355×체중-2.996×(성별: 남성 1, 여성 0)

표 5. 이중교차검증

Table 5. Double cross validation

A 집단(n=91)	
제지방량 표준값	46.3±11.0kg
제지방량 추정식	-2.286+0.653×변좌-임피던스지수+0.329×체중-2.235×(성별: 남자 1, 여자 0)
제지방량 추정값	46.8±11.0kg, r = 0.971, SEE = 2.66kg
추정된 B집단의 제지방량	47.3±11.3kg, r = 0.981, SEE = 2.36kg
B 집단(n=90)	
제지방량 표준값	47.1kg±11.8kg
제지방량 추정식	-2.824+0.546×변좌-임피던스지수+0.391×체중-4.031×(성별: 남자 1, 여자 0)
제지방량 추정값	46.6±11.3kg, r = 0.982, SEE = 2.27kg
추정된 A집단의 제지방량	46.2±11.0kg, r = 0.970, SEE = 2.74kg

결론

본 연구의 목적은 원격의료계측의 일환인 변화생체계측에 적합한 생체전기 임피던스 분석기를 설계하는데 있다. 설계한 변화식 생체 전기 임피던스 분석기는 다음과 같은 결과를 나타냈다.

- 1) 임피던스 값의 획득에 있어 4Ω이하의 오차와 1.2Ω의 재현성 오차를 갖는다.
- 2) 기존-전극방식과 변화-전극방식의 임피던스값 사이의 상관계수는 0.974($p < 0.001$), 임피던스 지수 사이의 상관계수는 0.983($p < 0.001$)로 매우 높은 관련성을 보였다.
- 3) 표준값과 기존-전극방식 및 표준값과 변화-전극방식으로, 각각의 제지방량 추정식을 세워 표준값과 추정값 사이의 상관계수 및 오차를 확인한 결과, 상관계수는 기존 방식이 0.978, 변화방식은 0.977로 유사하였으며, SEE는 기존방식이 2.43kg, 변화방식이 2.47kg으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 기존의 전극방식과 변화식 전극방식이 제지방량을 예측하는데 있어 차이가 없음을 나타낸다.
- 4) 이중교차검증으로 실험에 참여하지 않은 다른 피험자의 제지방량을 추정 또한 높은 정확성을 보이는 것으로 나타났다.

본 연구에서 변화식 생체전기 임피던스 분석기의 추정값과 표준값을 비교해 볼 때 결정계수(r^2)가 95.4%로 매우 높은 정확도와 2.47kg의 낮은 오차를 보여 만족한 결과를 보였다.

참고 문헌

1. 김응석, "원격 환자 정보 계측 및 관리시스템에 대한 연구", 연세대학교 의공학과 석사학위 논문, 1998
2. 함지훈, "의료용 디지털 텔레메트리를 이용한 재택 진료 시스템의 개발에 관한 연구", Vol. 3, No. 2, pp125~131, 대한의료정보학회지, 1997
3. David Brodie., "Composition Measurement : A Review of Hydrodensitometry, Anthropometry, and Impedance Methods", Nutrition, Vol. 14, No. 3, pp 296~310, 1998
4. 한지혜, "성인 비만 남성의 체지방율이 폐기능 및 산소섭취량에 미치는 영향", 연세대학교 의학과 석사논문, 1995
5. 한부현, "청소년 학생들의 비만도 및 합병증", 연세대학교 의학과 석사논문, 1997
6. 김명기, "부위별 생체 전기 임피던스법을 이용한 제지방 평가", 한국체육학회지, Vol. 39, No. 3, pp 391~400, 2000
7. 임택균, "한국인을 위한 Siri방정식의 수정", 대한의용생체공학회 춘계학술대회, 2002
8. Ursula G. Kyle, "Single Prediction Equation for Bioelectrical Impedance Analysis in Age 20~94 Years", Nutrition, Vol 17, pp 248~253, 2001
9. Claude Pichard, Ursula G., "Reference Values of Fat-Free and Fat Masses by Bioelectrical Impedance Analysis in 3393 Healthy Subject", Nutrition, Vol 16, pp 245~254, 2000
10. Behnke, A.R., & Wilmore, J.H., "Evaluation and regulation of body build and composition." Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1974
11. Buskirk, E.R., "Underwater weighing and body density: A review of procedures, In J. Brozek(Ed.), Techniques for measuring body composition", Washington D.C.:National Academy of Science