

Multi-frequency 자극 방식을 이용한 생체 전기 임피던스 측정 시스템 설계 및 경혈의 전기적 특이성에 대한 고찰

김수병 · 이나라 · 이승욱 · 최준영 · 이용흠

연세대학교 보건과학대학 의공학과 동서의료시스템 연구실

Development of Multi-Frequency Impedance Measurement System for Acupuncture Points and Preliminary Report of Measurement Results

Soo-Byeong Kim, Na-Ra Lee, Seung-Wook Lee, Jun-Young Choi, Yong-Heum Lee

*Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science,
The Eastern & Western Bio-Medical System Lab, Yonsei University*

Abstract

Objectives : The purpose of this paper was to suggest new diagnostic method that was to supersede the estimation of electrical properties at acupoints. Thus, we developed the multi-frequencies bioelectrical impedance measurement system so as to analyze the state of bio-ions in body fluid as body compositions, not skin impedance at acupoint.

Methods : At low frequency, the current does not penetrate the cell membrane and at high frequency, the current passes through both intracellular and extracellular fluid because of the decrease of cell membrane impedance. To confirm the reflection of composition in extracellular fluid or intracellular fluid of segment such as acupoint, the system was developed to detect the acupoint potential between adjacent two points in the area of LU3, LU4 and LU9 using 5,50 and 200kHz.

Results : The detected acupoint potential has been decreased according to elevation of frequency. As a result of correlation of left/right identical acupoint, we observed a high correlation of three types of acupoint potential at multi-frequencies. Moreover, we observed the low correlation at 5kHz, and that was a significant factor to be considered as unbalanced relationship of identical acupoints.

Conclusions : On the basis of meridian theoretical point of view, we may infer the acupoint's physiological composition using the multi-frequencies bioelectrical impedance measurement system.

Key words : acupoint, bioelectrical impedance analysis (BIA), Bio-ion, acupoint potential

1. 서 론

동·서양을 막론하고 의학, 영양학, 스포츠과학 등의 연구 분야에서 신체구성(body-composition)의 평가에 대한 중요성 인식과 논의가 활발해지고 있다. 한의학에서는 경락학설을 기반으로 하여 경혈과 장부가 연결되어 있으며, 인체의 내부 상태를 외부 증상으로 표출하는 지점을 경혈이라 한다. 이

· 교신저자: 이용흠, 강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
연세대학교 의공학과
Tel. 033-760-2863, Fax. 033-760-2920
E-mail: koaim@yonsei.ac.kr
· 투고 : 2012/02/15 심사 : 2012/02/29 채택 : 2012/03/08

에 한의학에서는 보다 명확한 한의학적 진단영역을 확보하고자 내부 증상과 경혈의 구성성분 (composition)과의 상관성을 확인하기 위한 연구들이 진행되었다. 이에 경락선을 따라 표출되는 피하 경결현상¹⁾, 경락과 신경계의 기능 및 체액인자와의 관계²⁻⁴⁾ 등이 보고되었다. 서양의학에서는 진신 혹은 신체의 분절별로 비만의 정도를 평가하는 방법으로 신체 구성 평가를 이행하고 있다. 복부비만의 유무에 따라 건강위험도가 달라지며, 당뇨병을 포함하여 고혈압, 이상지질혈증, 관상동맥질환 등 동맥경화성 질환을 동반하는 대사증후군이 유발될 가능성이 달라진다^{5,6)}. 이러한 동반되는 질환에 대한 문제가 대두되면서 복부비만에 수반되는 내장 지방을 측정하기 위하여 신체구성 평가의 중요성이 높이 인식되었다.

현재 신체구성 평가를 하기 위하여 여러 가지 방법들이 제시되었다. 대표적인 방법으로 자기공명영상법, 컴퓨터 단층촬영법, 동위원소 희석법, 수중체중 측정법 등이 있다. 제시된 방법들은 측정의 정밀도가 높다는 장점이 있으나 공간적, 경제적 부담이 크고 숙련된 전문가에 의해서만 활용 가능하다는 한계가 있다⁷⁾. 이러한 활용적인 한계를 극복하고자, 신체구성을 비침습적인 방법으로 빠르고 손쉽게 측정 및 평가 가능한 생체 전기 임피던스 분석법(BIA: bioelectrical impedance analysis)에 대한 논의가 활발해졌다. 생체 전기 임피던스 분석법은 인체의 고통을 유발하지 않는 작은 세기의 교류 전류를 인체에 통과시킴으로써 신체구성 성분에 따라 다양하게 측정되는 임피던스에 따른 전압을 측정하여 신체 성분의 구성을 추정하는 것이다⁸⁾. 인체 체액량 중 전해질은 전도체로서 역할을 하므로 개인의 총 체액량(TBW: Total body water)을 추정가능하다. 지방조직의 경우 수분량이 적어 상대적으로 높은 임피던스를 가지고 있으며, 제지방의 경우 73%의 수분을 함유하고 있으므로 전해질 역할을 하므로 상대적 낮은 임피던스를 가지고 있다. 이에 생체 전기 임피던스 분석 방법이 인체

임피던스 측정치와 총체액량간의 높은 상관관계를 전제로 총체액량을 평가하고 신체구성을 분석하기에 유용한 도구라고 제안되었다⁹⁾.

생체 전기 임피던스 분석 방법은 단일주파수 (Single frequency)와 다주파수(Multi frequencies) 방법으로 구분 된다¹⁰⁾. 단일주파수법은 조직에 특성 주파수인 50kHz와 전류 800 μ A를 이용한 장비들을 사용한다. 그러나 단일주파수법은 세포 내·외액의 비율을 구별하지 못하는 한계가 있다. 그 이유는 조직 내 세포는 세포 외액과 내액이 세포막으로 구분되어 있으며, 세포막은 전기적으로 커패시터 (Capacitor)의 역할을 하기 때문이다. 이에 저주파 신호는 커패시터의 임피던스 증가로 인하여 세포막을 통과하지 못하고 세포 외액으로 흐른다. 이와 반대로 고주파 신호는 커패시터의 임피던스가 감소하여 세포막을 통과하므로 세포 내액과 외액을 반영한다¹¹⁾. 즉 기존의 연구결과 따르면, 200~300 kHz 이상의 고주파 신호는 세포 내액을 반영할 수 있으며, 50kHz 이하의 저주파 신호는 세포 외액만을 반영하게 된다¹²⁾.

이러한 세포 내액과 외액의 양을 모두 반영 가능한 다주파수방법의 생체 전기 임피던스 분석법을 경혈과 2cm이내의 점에서 국소적 분절별로 측정하여 해당 부위의 구성 성분을 계측가능하도록 접목한다면, 한의학적 경맥의 관점으로 재해석이 가능하다. 기존 연구 결과 중 경혈에서의 생물광자 (biophoton)에 관한 연구를 고찰해보았을 시, 좌/우의 손은 같은 경맥에 의해서 그 기능이 제어되므로, 건강한 사람은 좌/우의 생물광자 방출량이 높은 상관성을 가지며, 환자의 경우 경맥의 균형이 깨어진 상태로 보아, 좌/우의 낮은 상관성을 보고 하였다^{13,14)}. 이러한 국소적 경혈만에서의 구조성분을 계측한 후 기존 연구결과와 한의학적 경맥관점에서 재해석해본다면, 좌/우 동일 경혈의 구조성분은 정상인의 경우 높은 상관성을 가질 것이며, 환자의 경우 경맥의 불균형 상태로 인하여 낮은 상관성이 관찰될 것이다. 따라서 이를 반영 가능한

시스템은 한의학적 진단기로서의 충분한 활용성을 가지고 있다.

본 연구는 생체 전기 임피던스 분석법을 이용하여 다수의 경혈에서 생리적 특성이 반영된 구성성분(생체이온 및 분포량)에 대한 경혈의 전기적 특이성을 관찰하여 한의학적 경맥의 관점으로 재해석하기 위해 동시 측정이 가능한 다주파수 방식(5kHz, 50kHz, 200kHz)의 6채널 시스템을 개발하였다.

이에, 개발된 다주파수를 이용한 생체전기임피던스 측정 시스템의 유의성을 평가하기 위해서 정상인을 대상으로 좌/우 수태음폐경(LU)의 경혈 중 천부(LU3), 협백(LU4), 태연(LU9)의 주파수 특성을 비교·분석하였다. 그 결과, 경혈의 구성성분에 따른 자극 주파수 가변에 대한 경혈의 전기적 특이성이 일부 확인되어 이를 보고하는 바이다.

II. 재료 및 방법

1. 생체 전기 임피던스 측정 원리

Fig. 1은 세포 또는 조직 내의 임피던스의 회로 등가 모델과 800 μ A의 교류를 인가하였을 시의 전류의 흐름을 등가회로이다. C_m 과 R_m 은 각각 세포막의 정전용량(Capacitance)와 저항(Resistance)를 나타내고 있으며, R_i 와 R_e 는 각 세포내액, 외액의 저항을 의미한다. 저주파 신호의 전류는 세포외액으로 대부분 흐르며, 고주파 신호에서는 세포막을 완전히 통과하므로 이때의 임피던스가 $R_i R_e / (R_i + R_e)$ 로 낮아진다. 다주파수 방법은 신호의 주파수에 따라 생체 임피던스가 변하므로 그로 인해 발생하는 전압을 측정하는 방법이다. 이러한 원리로 다주파수 생체 전기 임피던스 분석법은 세포외액량과 세포내액량을 분리하여 측정 가능하다^{15,16)}.

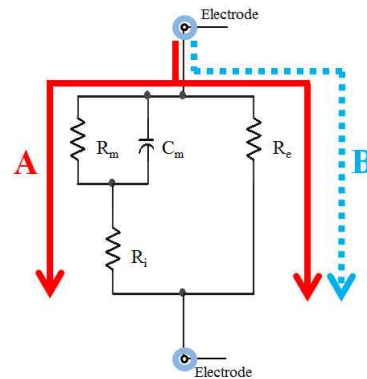


Fig. 1. Circuit equivalent circuit for impedance in a cell or tissue.

C_m : membrane capacitance

R_m : membrane resistance

R_e : extracellular fluid resistance

R_i : intracellular fluid resistance

A : current flow through both extracellular and intracellular fluid

B : current flow through only extracellular fluid

2. 생체 전기 임피던스 측정 시스템 개발 및 평가 방법

생체 조직은 전기적으로 절연체로 간주되는 세포막을 중심으로 내외가 전해질로 구성되어 있다. 또한 세포배열, 골조직 등 다양한 차이에 의해서 각각 고유의 전기적 성질로서 주파수 특성을 가지고 있다. 이에 1kHz에서 1MHz의 주파수 대역이 폭넓게 사용되며, 그 중 골격근의 특성을 관별할 시는 50kHz가 사용되고 있다. 그 까닭은 전기적으로 절연물이라 여길 수 있는 얇은 세포막을 관통하는 주파수 신호가 50kHz 부근이기 때문이다. 50kHz의 신호로 측정할 시 세포외액량과 세포내액량의 반영감도비가 대략 8:2 정도이다. 이보다 낮은 주파수인 1~20kHz의 신호는 세포내액으로 흐르는 전류가 적으므로 세포외액 측정시에 사용되고 있으며, 5kHz의 신호가 다수 사용되고 있다. 또한 100kHz 혹은 200kHz 부근의 주파수 대역이 세포내액과 외액을 추정하기 적합하다고 보고하였다¹⁷⁻¹⁹⁾.

이에 본 연구에서는 세포내액과 외액을 추정하

기 위하여 5kHz, 50kHz 그리고 200kHz 의 세 가지 주파수 대역을 선정하였으며, 각 주파수마다 800 μ A의 정전류를 흐르도록 시스템을 설계하였다. 기존에 제작 보급된 모델과 수입된 측정 기구들의 기준저항 500 Ω 으로 보정 및 설계하므로 본 방식을 이용하여 주파수 발생과 800 μ A의 교류전류를 확인하였다. 각 측정된 생체 임피던스 성분으로 인한 전압은 482Hz의 2차 고역통과필터(2-order Highpass filter)와 530kHz의 2차 저역통과필터(2-order lowpass filter)로 노이즈 성분을 제거한 후, 8.2배의 증폭을 걸쳐서 1초에 100개의 Sample로 ADC(Analog-to-Digital Conversion) 하였다(Fig. 2). Fig. 3은 6채널 생체 전기 임피던스 측정 시스템의 시작품이다.

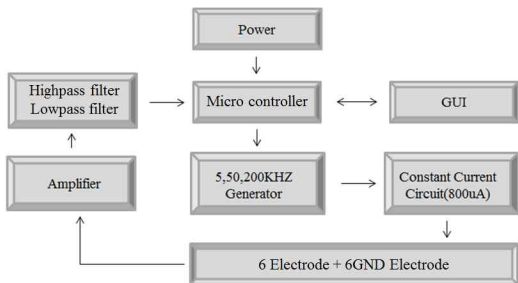


Fig. 2. Block diagram of bioelectrical impedance analysis system.



Fig. 3. Sample of bioelectrical impedance analysis system.

경혈을 포함한 신체 부위는 일정한 횡단면적을 가진 완전한 실린더의 형태가 아니며 조직의 특정

저항도 일정하지 않다. 또한 측정전극간의 부착 위치가 1cm만 벗어나도 측정치의 오차가 대략 2%에서 최고 16%까지 발생 된다^{20,21)}. 이러한 실험적 오차를 줄이기 위하여 측정하고자 하는 경혈은 경락 선상에서 동일한 근섬유 내에서 전극을 일정 거리를 유지하도록 부착하고 측정하여야 한다. 그리하여 본 연구는 조직의 특정 저항을 최소화하고 일정 거리를 유지 가능한 Two circular Ag/AgCl surface electrodes(Norax Inc., USA)를 선정하였다. 본 전극은 전극사이에 18mm의 일정거리를 유지하고 있으며, 직경 14mm로 초소형 Ag/AgCl 전극이다(Fig. 4).

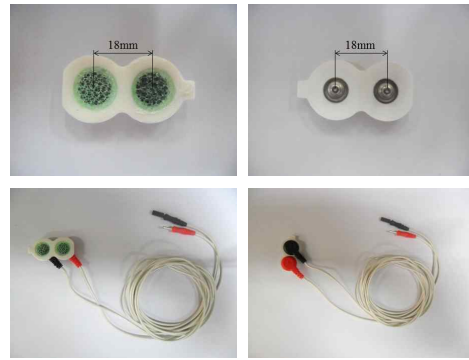


Fig. 4. Electrode for stimulation and measurement.

3. 경혈 위치 선정 및 실험환경

경혈 구성성분 평가에 본 시스템의 사용 가능성 및 상관성을 확인하기 위하여 좌/우 수태음폐경(LU) 내에 천부(LU3), 협백(LU4), 태연(LU9)을 측정 부위로 선정하였다. 천부와 협백은 두 경혈 모두 상완이두박근에 존재하고 있으며 그 위치가 근접하여 동일 근골격계 구조로써 유사한 신체구성을 가지고 있다. 이를 비교함으로써 국소적 분절로 경혈을 측정하는 것이 해당 부위의 구성성분 뿐만 아니라 경혈의 특이성까지 반영 가능한지 확인하고자 두 경혈을 측정 부위로 선정하였다. 또한 서로 다른 신체구성으로 인한 영향을 파악하기 위하여 다른 근골격계 구조에 위치한 동일 경락 내

의 원혈인 태연을 선정하였다.

생체 전기 임피던스 분석법은 피험자의 상태, 검사환경에 민감하게 반응하여 측정 오차를 유발한다. 피험자 상태에 의한 주된 오차 요인은 수화(Hydration) 상태의 변화로, 주로 식사, 음료섭취, 탈수, 운동과 같은 요인들에 의해 발생되며 피험자의 전기 임피던스를 변화시킨다. 기존 연구결과에 따르면 측정하기 2시간에서 4시간 이내에 음식물을 섭취 하였을 경우 13~17Ω 정도의 저항이 감소하고²²⁾, 수분 1리터를 섭취할 경우 4분 이후에서 90분 이후 사이에 저항 수준이 10Ω 정도 증가한다고 보고하였다²³⁾. 검사환경에 의한 주된 오차요인은 실내 온도이다. 만약 온도가 14℃ 이하일 경우 피부온도를 떨어뜨려 인체 저항을 현저하게 증가시키는 결과를 초래할 수 있다. 이에 본 연구에서는 임상 실험실 실내 온도를 25℃로 일정하게 하여 체온이 36.5℃에서 유지하도록 하였다. 기존의 연구결과에서 제시하는 아래와 같은 사항을 모든 피험자에게 금지시켰다.

- 30분 이내에 소변
- 4시간 이내에 음식물 섭취 및 수분 섭취
- 12시간 이내의 운동
- 48시간 이내 알코올 섭취
- 7일 이내 이뇨제 섭취

4. 피험자 선정

생체 전기 임피던스 분석법의 사항을 기본조건으로 하여 최근 1년 이내 어떠한 질환으로 인하여 의료행위를 받지 않았고, 일상생활을 수행함에 있어 불편함이 없는 성인 남자 11명(27±2세)이 자발적으로 참여하였으며, 측정 경혈위치에 피부 상태가 화상 및 상처가 나지 않은 자로 국한하였다. 피험자의 평균 신장은 175.8±5.23cm이며 몸무게는 75.6±18.70 이다. 일반적인 BIA 측정방법에 기준하여 모든 피험자는 누운자세로 양팔이 몸통에 닿지 않은 상태로 다리와 팔의 각도가 45도 외전하였다.

또한 양 대퇴간에 접촉을 하지 않은 상태로 자세를 유지하였다. 전극 부착 전 모든 경혈 부위에서 의료용 소독을 실시하고, 전극을 부착한 후 10분 뒤 측정하였다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 각 주파수 별로 3회씩 연속 측정하였으며, 5kHz, 50kHz 그리고 200kHz로 순서적으로 측정하였다. 1채널당 1초가 소요되므로 1회 측정 시 총 6 초가 소요되었다. 각 측정 회마다 1분간의 휴식 후 재 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 좌/우 동일 경혈 및 경락의 구성성분 상관성 분석

Fig. 5는 모든 피험자에 대하여 좌/우 동일 경혈에서 구성성분로 인하여 유발된 경혈 전위를 비교한 결과이다. 한 개의 경혈에서 세포내액과 외액을 추정하기 위하여 5kHz, 50kHz 그리고 200kHz를 인가하여 측정할 시, 고주파로 갈수록 경혈 내 세포막의 기능을 상실함에 따라 측정 전위가 낮아진다. 모든 피험자에 대하여 각 경혈마다 평균 및 표준편차를 계산한 결과, 고주파로 갈수록 측정된 전위가 낮아지는 양상을 확인하였다. 이에 일원분산분석을 이용하여 한 개의 경혈마다 대상으로 주파수별로 경혈 전위가 상이한 정도를 분석해본 결과, 모든 경혈에서 $p < 0.001$ 로 차이가 있음을 확인하였다.

좌/우측 동일 경혈은 해부학적으로 동일한 근골격계에 존재하고 있으며, 동일 경맥으로 인하여 기능이 제어되므로 높은 상관성을 가져야만 한다. 모든 피험자에 대하여 좌/우측 동일 경혈의 평균 경혈 전위를 분석한 결과, 모든 경혈에서 좌/우측에 상당히 유사한 경혈 전위가 측정됨을 확인하였다(Table 1). 이에 좌/우 동일 경혈에서의 경혈 전위의 상관성을 확보하기 위하여 주파수마다 측정된 좌/우측 경혈 전위를 independent t-test를 통하여 분석한 결과, 모든 동일 경혈에서 $p > 0.05$ 로 분석됨

에 따라 유의한 차이가 없음을 확인하였다(Table 2).

천부(LU3)와 협백(LU4)은 상완이두박근에 존재하고 있으며, 경혈 위치가 근접함에 따라 유사한 신체 구성을 가지고 있다. 이에 좌측 천부와 협백을 비교할 시, 각 주파수에 따라 유사한 경혈 전위가 측정되고 있으며, 우측 천부(LU3)와 협백(LU4) 또한 동일한 양상을 확인하였다. 하지만 태연(LU9)은 해부학적 위치가 다름에 따라, 모든 주파수에서 두 경혈과는 상이한 경혈 전위가 확인되었다.

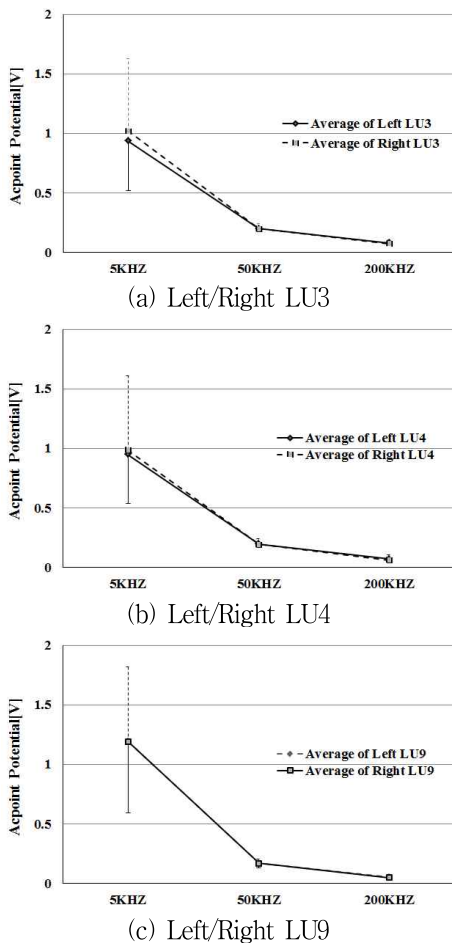


Fig. 5. Correlation analysis of Left/Right identical acupoint(n=11).

Table 1. Average & STD of all acupoints according to frequency(n=11, unit: V)

Frequency	Left LU3	Right LU3	Left LU4	Right LU4	Left LU9	Right LU9
5klz	0.94 ±0.42	1.02 ±0.61	0.95 ±0.41	0.99 ±0.62	1.20 ±0.60	1.19 ±0.62
50klz	0.20 ±0.03	0.20 ±0.04	0.20 ±0.03	0.20 ±0.05	0.17 ±0.04	0.17 ±0.04
200klz	0.08 ±0.01	0.07 ±0.03	0.07 ±0.03	0.06 ±0.04	0.05 ±0.02	0.05 ±0.02

Table 2. Result of the independent t-test(n=11)

Frequency	LU3	LU4	LU9
5klz	p=0.531	p=0.788	p=0.990
50klz	p=0.860	p=0.828	p=0.890
200klz	p=0.330	p=0.348	p=0.409

Fig. 6은 좌/우측 경락에서 측정된 3개의 경혈에 대하여 각 주파수에 따라 측정된 경혈 전위의 평균 및 표준 편차를 분석한 결과이다. 좌/우 동일 경혈의 상관성 분석 결과와 일치하도록, 좌/우 경락이 유의한 차이가 없음을 확인되었다. 또한 좌/우 동일 경락에서의 경혈 전위의 상관성을 확보하기 위하여 각 주파수마다 측정된 좌/우측 3개의 경혈 전위의 평균값을 대상으로 independent t-test를 통하여 분석한 결과, 5klz는 p=0.634, 50klz는 p=0.919 그리고 200klz는 p=0.167로 서로간의 차이가 거의 없음을 확인하였다.

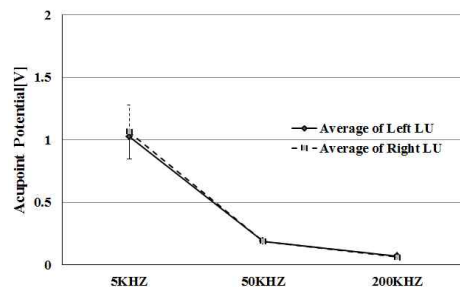


Fig. 6. Correlation analysis of Left/Right identical LU meridian(n=11).

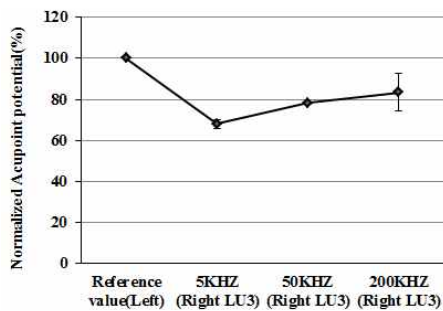
Table 3. Average & STD of LU meridian and the result of the independent T-test(n=11, unit: V)

Frequency	Left LU	Right LU	p-Value
5kHz	1.03±0.18	1.07±0.22	p=0.634
50kHz	0.19±0.01	0.19±0.02	p=0.919
200kHz	0.07±0.01	0.06±0.01	p=0.167

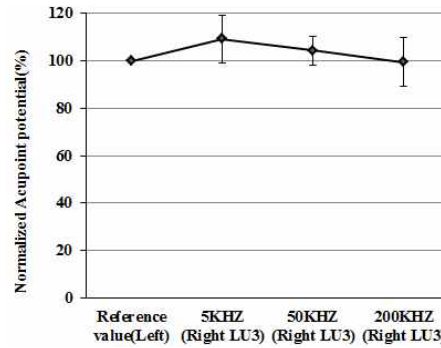
2. 구성성분에 따른 경혈 전위 측정의 유의성 분석결과

모든 피험자에 대하여 좌/우 경혈 전위의 상관성을 확보하기 위하여 측정된 모든 좌측 데이터를 자신의 값으로 나누어 1로 여기고, 연관된 우측 데이터를 좌측 데이터로 나누어 normalization을 이행하였다. 이를 백분율로 표현하여 좌측 해당 경혈에 비해 우측 해당 경혈의 어느 정도 높/낮거나 유사한 경혈 전위가 관찰되었는지 확인하였다. 그 결과, 9명의 피험자에 대해서는 모든 좌/우측 경혈 전위가 유사하며 유의한 차이가 없으나 2명의 피험자에서 유의한 차이가 관찰되었다.

Fig. 7과 Table 4는 두 명의 피험자에게서 관찰된 좌측을 기준으로 하였을 시, 우측 천부(LU3)에서 구성성분에 따른 경혈 전위의 변화율이다. 두 피험자 모두 다른 주파수보다 5kHz에서 각 67.91 2.29(%) 과 109.17±10.20(%)로 좌/우측의 유의한 차이가 관찰되었다. 또한 공통적으로 200kHz에서 각 83.51±9.14(%)과 99.37±10.28(%)로 가장 낮은 변화율을 확인하였다.



(a) Subject 1



(b) Subject 2

Fig. 7. Graph of the rate of change of acupoint potential at LU3.

Table 4. Rate of change of acupoint potential at LU3(unit: %)

Frequency	Subject 1	Subject 2
5kHz	67.91±2.29	109.17±10.20
50kHz	78.14±0.80	104.32±6.21
200kHz	83.51±9.14	99.37±10.28

Fig. 8과 Table 5는 두 명의 피험자에게서 관찰된 좌측을 기준으로 하였을 시, 우측 협백(LU4)에서 구성성분에 따른 경혈 전위의 변화율이다. 피험자 1은 5kHz에서 43.63±2.69(%)를, 피험자 2는 200kHz에서 31.34±0.42(%) 가장 큰 변화율을 확인하였다. 즉 두 피험자 모두 유의한 차이가 관찰된 정도가 좌측 협백(LU4)에 비하여 경혈 전위가 60% 이상 감소하였음을 확인하였다. 또한 피험자 1의 경우 50kHz에서 74.63±7.69(%), 200kHz에서 76.61±7.86(%)로 모든 주파수에서 유의한 차이가 있다. 하지만 피험자 2는 200kHz를 제외한 5kHz에서 102.33±2.52(%), 50kHz에서 101.64±1.31(%)로 좌측 경혈과 유사한 경혈 전위가 측정되므로 인하여 유의한 차이가 없음을 확인하였다.

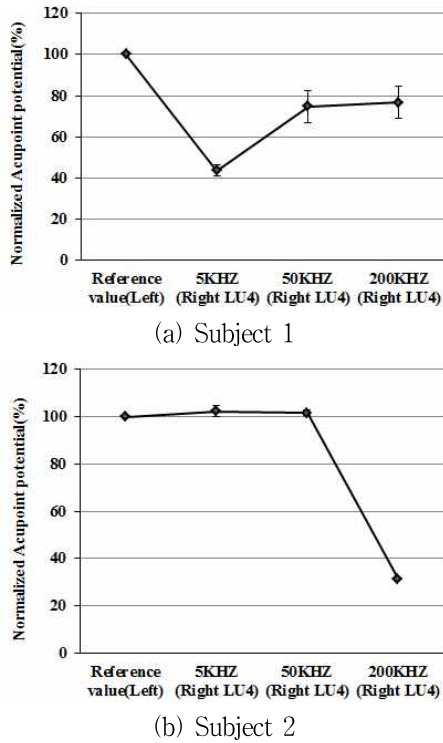


Fig. 8. Graph of the rate of change of acupoint potential at LU4.

Table 5. Rate of change of acupoint potential at LU4(unit: %)

Frequency	Subject 1	Subject 2
5kHz	43.63±2.69	102.33±2.52
50kHz	74.63±7.69	101.64±1.31
200kHz	76.61±7.86	31.34±0.42

Fig. 9과 Table 6는 두 명의 피험자에게서 관찰된 좌측을 기준으로 하였을 시, 우측 태연(LU9)에서 구성성분에 따른 경혈 전위의 변화율이다. 피험자 1은 모든 주파수에서 좌측 경혈보다 최소 11%에서 최대 20%까지 감소된 우측 경혈 전위가 관찰되었다. 모든 주파수에서 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 이에 반대로 피험자 2의 경우 모든 주파수에서 좌측 경혈보다 최소 2%에서 최대 9%까지 증가된 우측 경혈 전위가 관찰됨에 따라 비교적

유의한 차이가 없다.

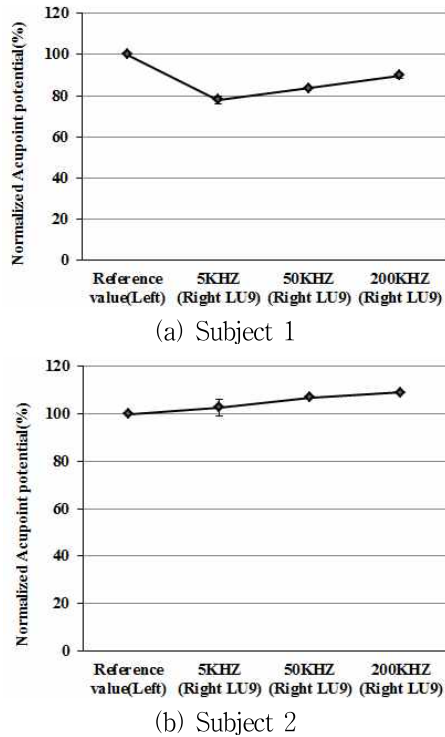


Fig. 9. Graph of the rate of change of acupoint potential at LU9.

Table 6. Rate of change of acupoint potential at LU9(unit: %)

Frequency	Subject 1	Subject 2
5kHz	77.98±1.83	102.66±3.39
50kHz	83.61±0.19	107.02±0.63
200kHz	89.85±1.31	109.09±0.00

근육은 주로 단백질과 수분으로 구성되어 있으며 체지방량(fat free mass)은 근육과 뼈의 무게이다. 수분을 포함한 체지방 조직은 전기 전도성이 뛰어나고 전기저항이 작으며, 지방조직은 전기 전도성이 낮아 비전도체의 역할을 한다. 좌/우 경혈은 동일한 근육 내에 포함되어 있으므로 구성성분 또한 매우 유사하다. 이에 따라 정상인을 대상으로 측정할 시, 모든 주파수에서 좌/우 동일 경혈에서

유의한 차이가 없는 결과가 도출되었다고 사료된다.

인체의 세포외액은 조직액(interstitial fluid), 림프액(lymph fluid) 그리고 혈장(plasma) 로 구성되어 있으며, 공통적으로 무기이온으로 조성되어 있다. 또한 세포외액은 세포내액에 비하여 Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- 가 많으며 K^+ , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} 가 적게 내포되어 있다. 세포내액은 체액의 대략 65%를 차지하고 있으며, 세포외액에 적은 이온들을 비교적 많이 내포하고 있다. 세포외액의 Na^+ 은 세포외액의 삼투압 유지와 신장에서의 수분보유와 배설, 혈압유지, 신경근 반응의 자극에 반응하는 중요한 양이온이다. 인체 근육, 신경과 당 혹은 단백대사에도 관여하고 있는 양이온으로 중요한 인자로 여겨지며 특히 Na^+ 의 증가는 통증과 높은 상관성을 가진다. K^+ 은 심장 및 골격근에서 전기적 자극 전달의 역할을 하며, 세포 삼투성과 전기적 중성 유지에 중요한 인자이다. 또한 당을 ATP로 변화하는 전환하며 아미노산을 단백질로 환원하는 역할을 한다. 이에 근섬유막에서의 K^+ 의 농도 변화는 근육의 최대힘과 밀접한 관계가 있다²⁴⁾. Ca^{2+} 은 근육의 수축과 신경전달 물질 방출에 관여하며, 인체의 전반적인 효소 활동과 밀접한 연관이 있다. K^+ 와 Ca^{2+} 의 경우, 골격근 섬유의 반복적인 활성화로 인하여 세포막 안팎의 K^+ 농도 경사의 감소가 일어나며, 근피로 유발 시 피로에 대하여 보호하기 위하여 세포외액의 Ca^{2+} 이 집중하여 농도경사가 높아지며, 그 후 상당한 고갈이 발생한다^{25,26)}. 이러한 생체 내 이온들 중 Ca^{2+} 의 농도 경사변화로 인하여 두 명의 피험자에서 우측보다 상대적으로 5kHz에서 증/감하는 경혈이 관찰된 것으로 사료된다. 또한 K^+ 의 농도 경사 변화는 Na^+ , K^+ ATPase로 인하여 Na^+ 의 농도경사에 영향을 미치며 세포 외액 중 가장 많은 양의 음이온이며 수분 균형을 유지하고 삼투압을 조정하는 Cl^- 의 농도 경사를 변화시킨다. 이와 같이 K^+ 의 감소는 수분의 균형 상태에 영향을 미치고 이에 따라 좌/우 동일 경혈에서의 수분

의 상태가 상이하다면 동일 자극에 대한 전기 전도성이 서로 다르다. 이러한 생체 내 이온의 반응으로 인하여 피험자 1의 천부(LU3)과 협백(LU4)에서 모든 주파수에 유의한 차이가 관찰되었을 것으로 판단된다. 이는 5kHz에서는 경혈전위는 세포외액을, 200kHz에서는 경혈전위는 세포외액과 세포내액을 포함한 총체수분량으로 인하여 측정된 수치임을 고려해보았을 시, 피험자 2의 협백(LU4)의 경우, 5kHz에서는 유의한 차이가 존재하지 않았으나 200kHz에서만 유의한 차이가 관찰되었으므로 좌/우 측 동일 경혈간의 세포내액에서 차이가 원인을 제공하였음을 예측가능하다. 이러한 피험자의 상태에 따라 세포 내·외액 안의 이온의 이동으로 인하여 각 주파수마다 서로 상이한 경혈 전위가 관찰되고 세포막의 상태를 대변하는 50kHz보다는 세포 외액을 대변하는 5kHz와 총체수분량을 나타내는 200kHz에서 큰 차이가 관찰된다고 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 경혈의 구성성분(생체이온 및 이온 분포량)에 의한 전기적 특이성을 관찰하고자 생체이온 특성을 반영하는 3단계 주파수를 인가하여 임피던스를 측정하였다. 이에 생체 전기 임피던스 분석법 중 다주파수(Multi frequency)방법을 이용하여 국소적 부위 경혈에서만 구조성분을 측정하고 평가할수 있는 동시 6채널 측정시스템을 제작하였다. 이에 천부(LU3), 협백(LU4), 태연(LU9)에서 800 μA 의 정전류를 5kHz, 50kHz 그리고 200kHz로 인가하여 구조성분에 따른 경혈 전위를 측정 및 비교하였다. 5kHz, 50kHz 그리고 200kHz를 인가하여 측정할 시, 고주파로 갈수록 경혈 내 세포막의 기능을 상실하고 저항성분이 낮아짐에 따라 경혈전위가 감소되는 추이를 확인하였다. 또한 일원분산분석을 이용하여 한 개의 경혈에서 각 주파수마다 측정된 경혈 전위가 상이한 정도를 분석해본 결과, 모든 경혈에서 $p < 0.001$ 로 차이가 있음을 확인하였

다. 이에 두 전극간의 거리가 18mm임에도 불구하고 경혈전위를 측정하였을 시, 기존의 연구결과와 동일한 연구결과가 도출됨에 따라 매우 국소적 분절이자 경혈에서 유의하게 구조성분에 비례한 전위가 계측가능하다고 판단하였다. 또한 피험자 개인별로 분석해본 결과, 대다수 좌/우 경혈과 경락의 매우 높은 상관성을 확인하였으나, 한 개의 경혈에서 주파수마다 좌/우측 상관성이 서로 다름에 따라 경혈 안의 세포외액과 내액 중 불균형 상태 여부를 측정할수 있어서, 경혈을 전기적 특이성을 관찰하고, 분석하여 새로운 경락경혈의 평가방법으로써 가능성을 제시하였다. 향후 분절별로 판별한 신체 구조성분 추정식을 접목하여 분석함으로써, 경혈 내의 이온의 상태에 대하여 더욱 객관적으로 접근하여 한의학적 진단으로의 근거를 제시하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 중소기업기술혁신개발사업의 연구비를 지원 받았음[과제고유번호 SA113768]

참고문헌

1. 木下晴都. 針灸學原論. 日本 : 講談社. 1976 : 79.
2. 송범용, 김경식, 손인철. 합곡(LI4)에 행한 염전보사 침자극이 적외선 체열 촬영을 이용한 수양명대장경의 오수혈과 영향(LI20)영역의 온도변화에 미치는 영향. 대한경락경혈학회지. 2000 ; 17(1) : 47-65.
3. 송재수, 안성훈, 김재효, 김경식, 손인철. 합곡(LI4) 자침이 곡지(LI11)와 영향(LI20) 영역 온도변화에 미치는 영향. 대한한의학회지. 1998 ; 19(2) : 271-95.
4. 손영주, 원란, 장혁상, 김용석, 박영배, 손낙원. 전침자극에 의한 흰쥐 중추신경계내 대사활성 변화의 영상화 연구. 대한침구학회지. 2001 ; 18(3) : 56-68.
5. St-Pierre J, Lemieux I, Vohl MC, Perron P, Tremblay G, Després JP, et al. Contribution of abdominal obesity and hypertriglyceridemia to impaired fasting glucose and coronary artery disease. Am J Cardiol. 2002 ; 90(1) : 15-8.
6. Despres JP. Health consequence of visceral obesity. Ann Med. 2001 ; 33(8) : 534-41.
7. Panotopoulos G, Ruiz JC, Guy-Grand B, Basdevant A. Dual x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and near infrared interactance in obese women. Med Sci Sports Exerc. 2001 ; 33(4) : 665-70.
8. 조정환, 전명규. 생체전기저항분석 방법에 의한 신체구성 측정의 원리와 과제. 서울여자대학교 자연과학논문집. 1996 ; 7 : 178-90.
9. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. J Appl Physiol. 1969 ; 27(4) : 531-4.
10. Deurenberg P, Tagliabue A, Schouten FJ. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. Br J Nutr. 1995 ; 73(3) : 349-58.
11. Lusseveld EM, Peters ET, Deurenberg P. Multifrequency bioelectrical impedance as a measure of differences in body water distribution. Ann Nutr Metab. 1993 ; 37(1) : 44-51.
12. McNeill G, Fowler PA, Maughan RJ, McGaw BA, Fuller MF, Gvozdanovic D, et al. Body fat in lean and overweight women estimated by six methods. Br J Nutr. 1991 ; 65(2) : 95-103.
13. Cohen S, Popp FA. Biophoton emission of the human body. J Photochem Photobiol B. 1997 ; 40(2) : 187-9.
14. Jung HH, Woo WM, Yang JM, Choi C, Lee J, Yoon G, et al. Left-right asymmetry of biophoton emission from hemiparesis patients.

- Indian J Exp Biol. 2003 ; 41(5) : 452-6.
15. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance for body composition. *Exerc Sport Sci Rev.* 1990 ; 18 : 193-224.
 16. Muraoka Y, Komiya S. Equation for estimating total body water by bioelectrical impedance measurements in Japanese subjects. *Ann Physiol Anthropol.* 1991 ; 10(4) : 203-10.
 17. Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, Ito M, Fukunaga T. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J Appl Physiol.* 2001 ; 91(1) : 386-94.
 18. Miyatani M, Kanehisa H, Fukunaga T. Validity of bioelectrical impedance and ultrasonographic methods for estimating the muscle volume of the upper arm. *Eur J Appl Physiol.* 2000 ; 82(5-6) : 391-6.
 19. Nakadomo F. Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn J Appl Physiol.* 1990 ; 20 : 321-30.
 20. 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.
 21. Elsen R, Siu ML, Pineda O, Solomons NW. Sources of variability in bioelectrical impedance determinations in adults. In: Ellis KJ, Yasumura S, Morgan WD, eds. *In vivo body composition studies.* London: Institute of Physical Sciences in Medicine. 1987 : 184-8.
 22. Deurenberg P, Weststrate JA, Paymans I, van der Kooy K. Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *Eur J Clin Nutr.* 1988 ; 42(12) : 1017-22.
 23. Gomez T, Mole PA, Collins A. Dilution of body fluid electrolytes affects bioelectrical impedance measurements. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation.* 1993 ; 4(4) : 291-8.
 24. Cairns SP, Lindinger MI. Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue?. *J Physiol.* 2008 ; 586(Pt 17) : 4039-54.
 25. Cairns SP, Hing WA, Slack JR, Mills RG, Loiselle DS. Role of extracellular [Ca²⁺] in fatigue of isolated mammalian skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1998 ; 84(4) : 1395-406.
 26. Quiñonez M, González F, Morgado-Valle C, DiFranco M. Effects of membrane depolarization and changes in extracellular [K⁺] on the Ca²⁺ transients of fast skeletal muscle fibers. Implications for muscle fatigue. *J Muscle Res Cell Motil.* 2010 ; 31(1) : 13-33.