

한의학적 활용을 위한 임피던스 심장기록법의 연구동향

고영일 · 이현수 · 박영재 · 박영배

경희대학교 학과간협동과정 한방인체정보의학과

[Abstract]

A Review on Impedance Cardiography and Its Oriental Medical Application

Young-Il Ko, Hyon-Soo Lee, Young-Jae Park, Young-Bae Park

*Dept. of Human Informatics of Oriental Medicine, Interdisciplinary Programs,
Kyung Hee University*

Objectives:

To review the method, validity and reliability of Impedance Cardiography and to study its oriental medical application.

Method:

The papers reviewed in this study were searched through internet search engines such as Springer, Science Direct, and China National Knowledge Infrastructure.

Conclusion:

In this study, the methodological limitations, validity and reliability of impedance cardiography were examined. Impedance Cardiography is recognized as a highly accurate non-invasive tool to assess hemodynamic parameters. The ability of impedance cardiography to assess hemodynamic parameters in non-invasive way is very suitable for researches on the effect of oriental medical therapeutics or the validation of oriental medical diagnostic.

Key Words: impedance cardiography, hemodynamic parameter

교신저자 : 박영배 / 소속 : 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실

TEL : 02-958-9195 / E-mail : bmppark@khu.ac.kr

본 연구는 보건복지부 한방치료기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(B05-0011). This study was supported by a grant of the Oriental Medicine R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea(B05-0011)

I. 서론

일반적으로 실험을 위한 심혈관계의 상태를 측정하거나 임상에서 심혈관계 질환을 가진 환자를 관찰하기 위해 측정하는 혈압과 심박동수(heart rate: HR)는 피검자의 혈행역학적 상태에 관한 적절한 데이터로는 부족하다. 혈류량 나아가 심박출량(Cardiac Output: CO)이 심혈관 능력을 나타낼 수 있는 궁극적인 지표이다¹⁾. 지속적으로 심박출량을 관찰하기 위한 이상적인 시스템은 비침습적이고, 다목적적인 사용이 가능하며, 신뢰성이 높으며 비용면에서 효율적이고 사용이 쉬워야 한다. 임피던스 심장기록법(Impedance Cardiography: ICG)은 이러한 요구조건들을 대부분 만족시키면서 혈행역학 기능을 계속적으로 평가할 수 있는 방법이다. 특히 임피던스 심장기록법을 이용해서 심실박동량(Stroke Volume: SV)을 구할 수 있는데 심박동수와 연계하면 결국 심박출량을 얻을 수 있다. 임피던스 심장기록법이란 피검자 흉부의 전기적 저항 변화를 측정해서 심장의 기계적 특성 즉 심실박동량, 심근 수축력, 심박출량 등을 측정하는 방법이다.

신체 저항 변화를 측정해서 심박출량을 구하기 위한 연구에 대해서 간략히 살펴보면, 1932년 Atzler와 Lehmann 등²⁾은 최초로 흉부 전기저항의 변화를 측정해서 심박출량을 구하려는 연구를 하였다. 그들의 연구 결과는 심장의 특성을 측정 한 것으로 인정되었으나 심박출량의 정량적인 측정을 하지는 못 하였다. 1946년 Holzer 등³⁾은 환자의 팔과 다리에 부착된 전극에서 측정된 전기저항 신호를 기록하였고, 1959년 Nyboer⁴⁾는 팔과 다리의 혈액 부피변화를 계산하는 혈류 측정법(plethysmography)을 발표했다. 이 방법이 심박출량 계산의 이론적 근거를 제공했다. 1960년대에 인간을 달에 보내려는 시도를 하면서 우주 유행 동안 우주인들의 신체 상태를 관찰하기 위한 비

침습적인 방법들에 대한 연구가 가속화되었다. 1966년 Kubicek 등⁵⁾은 최초로 실제적인 임피던스 심장기록법을 제안했으며 그 측정 결과를 다른 침습적인 방법들 - Fick 방법, 열희석법(thermodilution) 등 - 과 비교해서 상관계수를 구하였다. 1974년 Kubicek 등⁶⁾은 이전의 방법을 개선했으며, Sramek 등^{7,8)}과 Bernstein 등^{9,10)} 역시 Kubicek의 방법을 개선한 연구를 했다. 임피던스 심장기록법의 개선에 관한 연구는 그 이후로도 계속되고 있다.

본 논문에서는 임피던스 심장기록법의 원리와 측정 지표에 관하여 개괄적으로 설명하고, 임피던스 심장기록법의 한의학적 이용방법에 관해 모색하였다.

II. 연구 방법

과학 논문 검색 엔진인 springer (<http://www.springer.com>)와 science direct(<http://www.sciencedirect.com/>)에서 검색어 "impedance cardiography"를 입력해서 검색을 시행했으며, 각각 90편, 173편의 논문이 검색(2006년 10월 현재)되었다. 중국에서 발간된 논문들은 중국학술정보원(<http://www.cnki.com.cn>)에서 1999년 이후 발간된 논문들로 검색하였다. 전문(Full Text) 검색이 가능한 논문을 우선적으로 문헌 고찰을 하였다.

III. 임피던스 심장기록법의 원리

인체 조직 중에서 가장 고유저항(resistivity : $\Omega \cdot \text{cm}$)이 낮은 혈액이 신체의 어느 부위로 유입되면 그 부위의 임피던스가 감소한다는 것이 임피던스를 이용한 혈류량 측정법의 기본 원리이다¹¹⁾. 흉부의 임피던스 변화는 흉부의 기하학적 구조와

각 장기의 고유저항의 변화에 의해 발생되지만 혈액이 임피던스 변화에 가장 큰 영향을 준다. 흉부 대동맥에서의 혈류량은 심장의 수축기(systole) 때 증가하는데 혈액의 고유저항이 다른 장기들에 비해 낮으므로 흉부의 저항은 이완기(diastole) 때 보다 감소하게 된다. 한편 흉부 대동맥의 혈류량은 심장의 주기에 관계없이 거의 일정하기 때문에 흉부 혈류량의 변화는 주로 대동맥의 혈류량의 변화가 되며, 따라서 흉부 임피던스의 변화 역시 거의 흉부 대동맥 혈류량의 변화에 기인한다. 흉부 임피던스의 변화는 일반적으로 Figure 1과 같이 약한 전류를 흘려주는 전극 2쌍과 흉부 임피던스를 측정하는 전극 2쌍을 목과 흉부에 각각 부착해서 측정한다¹²⁾. 임피던스 심장기록법에서 측정에 사용하는 전류는 약한 세기(2.5~4 mA)와 높은 주파수(70-100 kHz)를 가진 교류 전류이다¹⁾.

1966년 Kubicek 등⁵⁾은 흉부 대동맥에 반영된 심실박동량 SV와 그로 인해 일어난 흉부 임피던스 변화량 ΔZ 과의 관계를 다음의 식(1)과 같이 정의했다.

$$SV = \rho_b \frac{L^2}{Z_0^2} \Delta Z \quad (1)$$

식 (1)에서 ρ_b 는 혈액의 고유저항($\Omega \cdot \text{cm}$)이며, L은 임피던스 측정 전극 간의 직선거리(cm), Z_0 은 흉부의 기저 임피던스(base impedance, Ω)이다. 이 공식에서 Kubicek은 흉부를 높이 L의 원통형으로서 가정했다. 1974년 Kubicek 등⁶⁾은 심실박출량을 정하는데 있어서 식 (1)에서 사용된 흉부 임피던스 변화량 ΔZ 대신 그의 일차 미분값인 dZ/dt 를 이용하도록 그 방법을 개선했다. Figure 2는 피검자에서 동시에 측정된 심전도(Electrocardiography: ECG)결과와 임피던스 변화량의 일차 미분 dZ/dt 의 전형적인 관계를 나타낸다¹¹⁾.

그림 2에서 ECG의 Q점은 심실 탈분극이 시작되는 시점이며, dZ/dt 의 파형에서 B점은 대동맥판과 폐동맥판이 열리는 시점이다. C점은 dZ/dt 이 최대값을 가지는 시점이자 흉부 임피던스의 변화량이 가장 급격한 시점이다. X점은 대동맥판이 닫히는 시점이며 O점은 승모판이 열리며 심실이 혈액으로 급속하게 채워지는 시점이다. LVET (Left-Ventricular Ejection Time)은 좌심실에서 대

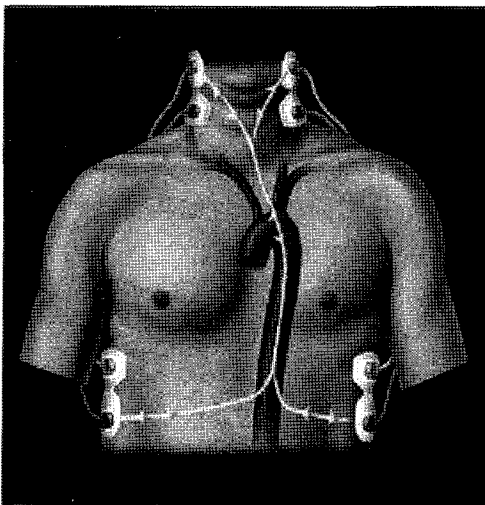


Figure 1. 4쌍의 전극을 이용한 임피던스 심장기록법에서의 흉부 임피던스 변화 측정

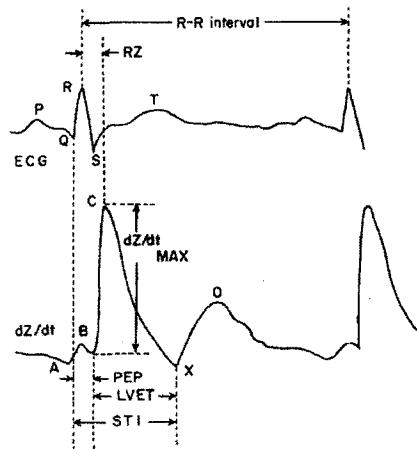


Figure 2. 전형적인 심전도와 dZ/dt 파형

동맥으로 혈액이 박출되는 기간으로서 B점에서 X점까지의 기간이며, PEP(Pre-Ejection Period)는 심실의 탈분극이 일어나기 시작해서 대동맥 밸브가 열리기 전까지의 시간 간격으로서 Q점에서 B점까지이다. PEP와 LVET의 합은 Systolic Time Interval(STI)로서 정의된다.

1974년 연구에서 Kubicek 등⁹⁾은 심실 박동량을 식(2)와 같이 정의했다.

$$SV = \rho_b \frac{L^2}{Z_0^2} LVET (dZ/dt)_{\max} \quad (2)$$

Kubicek의 방법에서 가장 큰 문제점은 심실박동량을 정량화하기 위해서 혈액 고유저항 ρ_b 을 결정하는 것이다. ρ_b 을 결정하기 위한 여러 연구가 있었지만 좋은 결과를 얻기는 힘들었다¹²⁾. 일반적으로 균일한 부피와 특성의 전도체의 임피던스는 그 길이에 비례하고 단면적에 반비례하기 때문에 인체의 흉부를 높이 L, 단면적 A의 원통으로 가정하는 경우 흉부의 기저 임피던스 Z_0 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Z_0 = \rho_b \frac{L}{A} \quad (3)$$

식(2)의 ρ_b 을 제거하기 위해서 식(3)을 식(2)에 대입하면 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} SV &= A \cdot L \cdot LVET \cdot \frac{(dZ/dt)_{\max}}{Z_0} \\ &= V_{th} \cdot LVET \cdot \frac{(dZ/dt)_{\max}}{Z_0} \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 V_{th} 는 원통형으로 가정된 흉부의 체적이다. 식(4)로부터 임피던스 심장기록법의 문제점을 명백하게 보여준다. 정확한 심실박동량을 구하기 위해서는 피검자의 흉부 체적을 정확하게 추정해야한다는 것이다. V_{th} 의 추정 방법이 현존

하는 여러 임피던스 심장기록법의 주요한 차이점이자 핵심기술이다¹²⁾.

Sramek 등^{7,8)}과 Bernstein 등^{9,10)}은 흉부를 각각 원뿔과 절두체(截頭體) 등으로 모델링하고 새로운 공식을 유도했다. Sramek 등은 성인 자원자들을 대상으로 직접 측정하고 흉부 X-ray를 분석한 결과, 검상 돌기 높이에서 측정되는 가슴 둘레는 임피던스 심장기록법 측정 시 사용되는 전극 간의 거리 L의 대략 3배 정도라는 사실을 밝혀냈다. 이러한 사실에 근거해서 흉부를 원뿔로 가정한 후 식(4)에 대입하면 결과는 식(5)와 같다.

$$SV = \frac{L^3}{4.2} \cdot LVET \cdot \frac{(dZ/dt)_{\max}}{Z_0} \quad (5)$$

Sramek 등⁸⁾은 대부분의 성인에서 전극간의 거리 L이 신장의 17%라는 것을 알아내고 임피던스 심장기록법을 이용한 심실박동량의 측정 공식을 다음과 같이 제시했다.

$$SV = \frac{(0.17H)^3}{4.2} \cdot LVET \cdot \frac{(dZ/dt)_{\max}}{Z_0} \quad (6)$$

식(6)에서 H는 피검자의 신장(cm)이다.

Bernstein 등⁹⁾은 Sramek 등의 방법인 식(6)을 수정해서 그들의 방법을 유도하는데 가정되는 이상적인 체형과 피검자의 체형간의 차이를 보정해주는 인자 δ 를 고려한 기법(Sramek-Bernstein method)을 제안하고 상업화했다.

IV. 임피던스 심장 기록법의 평가 지표

일반적으로 임피던스 심장기록법을 이용해서 피검자를 관찰할 때는 흉부의 임피던스 변화량뿐 아니라 심전도와 혈압을 동시에 측정하게 된다.

임피던스 심장기록법을 이용해서 직접적으로 측정가능하거나 측정치로부터 계산해서 얻어지는 측정지표들을 표로 정리하면 Table 1과 같다. 표 1에서 BSA(Body Surface Area)는 피검자의 체표면적으로서 신장(H)과 체중(W)을 이용하면 다음과 같은 실험식으로서 구할 수 있다¹¹⁾.

$$BSA = H^{0.725} \times W^{0.425} \times 0.007284 \quad (7)$$

V_{th} 는 전술한대로 피검자 흉부 체적의 추정치로서, 이용되는 임피던스 심장기록법에 따라 그 추정방식이 다르다. Z_0 는 Thoracic Fluid Index라

고도 하며, 흉부의 기저 임피던스이다. CVP (Central Venous Pressure)는 중심정맥압으로서 흉부 대정맥과 우심방에서의 혈압이며, 기본값으로는 주로 6 mmHg가 이용된다. PAOP(Pulmonary Artery Occlusion Pressure)는 wedge pressure라고도 불리며, 기본값으로는 주로 10 mmHg가 이용된다. MAP(Mean Arterial Pressure)는 평균 동맥압이다.

표 1에서 볼 수 있는 임피던스 심장기록법의 측정 지표들에서, PEP와 LVET의 비인 Systolic Time Ratio(STR)은 심실 수축기능을 반영하는 비침습적이고 적합한 지표가 된다¹³⁻¹⁶⁾. STR의 증가

Table 1. 임피던스 심장기록법에서 측정가능한 주요 측정 지표들

측정 지표	기호	정의	계산 공식
Heart Rate	HR	분당 심장 박동수	ECG에서 R-R간격으로 구함.
Pre Ejection Period	PEP	심실이 탈분극되기 시작해서 동맥관이 열리기까지의 시간 (전기적 수축기)	ECG의 Q점에서 dZ/dt 그래프의 B점까지 시간
Left Ventricular Ejection Time	LVET	대동맥관이 열려서 닫히기까지의 시간(기계적 수축기)	dZ/dt 그래프에서 B점에서 X점까지의 시간
Stroke Volume	SV	심장 박동 당 좌심실에 의해 박출되는 혈액량	$SV = V_{th} \times LVET \times \frac{(dZ/dt)_{max}}{Z_0}$
Stroke Index	SI	단위 체표면당 심실박동량	$SI = \frac{SV}{BSA}$
Cardiac Output	CO	분당 좌심실이 박출하는 혈액량	$CO = SV \times HR$
Cardiac Index	CI	단위 체표면당 심박출량	$CI = \frac{CO}{BSA}$
Heather Index	HI	심근 수축성의 변화에 매우 민감함	$HI = \frac{(dZ/dt)_{max}}{(Q \sim C \text{ 시간간격})}$
Thoracic Fluid Content	TFC	흉부의 혈관내액, 폐포내액, 간질액 등으로 결정되는 흉강의 도전을	$TFC = \frac{1}{Z_0}$
Systolic Time Ratio	STR	전기적 수축기와 기계적 수축기의 비	$STR = \frac{PEP}{LVET}$
Systemic Vascular Resistance	SVR	혈류에 대한 동맥계의 저항	$SVR = 80 \cdot \frac{(MAP - CVP)}{CO}$
Systemic Vascular Resistance Index	SVRI	단위 체표면당 동맥계의 혈류 저항	$SVR = 80 \cdot \frac{(MAP - CVP)}{CI}$
Left Cardiac Work	LCW	분당 좌심실이 하는 물리적 일의 양의 지표	$LCW = 0.0144 \cdot (MAP - PAOP) \cdot CO$
Left Cardiac Work Index	LCWI	단위 체표면당의 LCW	$LCW = 0.0144 \cdot (MAP - PAOP) \cdot CI$

는 심장 기능부조를 의미할 수 있다¹⁶⁾. Systolic Time Interval(STI)을 이루고 있는 PEP와 LVET은 심장마비, 심근질환, 관상동맥 질환, 고혈압 질환의 진단에 이용되며, LVET는 좌심실이 대동맥으로 혈액을 박출하는 시간, 부하 정도에 비례하며 근 수축력과는 반비례한다¹¹⁾. 또한 STI는 심장의 교감신경과 중추 교감신경계의 활성화 정도에 대한 표지자로서도 이용될 수 있다. PEP는 말초 adrenergic stimulation이 가해지면 짧아지며, β_1 -adrenergic blockade가 가해지면 길어진다. PEP는 명백히 심장에 대한 교감신경계의 활성화 차단에 대해 반대 경향을 가진다¹⁷⁾. 그러므로 심장의 교감신경 활성화도에 대한 가장 적절하고 유효한 지표는 PEP이다¹⁸⁾. 그러나 PEP 지표는 혈압(Blood Pressure, BP)에 의해서 영향을 받을 수 있다. 만일 피검자의 혈압이 높은 경우라면 PEP가 길어질 수 있는데, 대동맥 판막이 열리기 전에 높은 압력이 형성되어야 하기 때문이다. 고혈압의 피검자에서 측정된 PEP의 기간이 긴 경우, 이것은 심장 교감신경 활성화도의 저하를 의미하는 것이 아니라 외부압력을 극복하는데 필요한 시간의 증가를 의미할 수 있다. 따라서 PEP를 기록할 때는 혈압도 함께 기록하는 것이 좋다¹⁸⁾.

V. 임피던스 심장기록법에 영향을 미칠 수 있는 인자

임피던스 심장기록법의 측정 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인들 중 우선 고려할 수 있는 것은 피검자의 체형과 이상적인 체형과의 차이이다. 식(4)에서 알 수 있듯이 피검자의 체형이 원통이나 원뿔, 절두체 등 공식 유도 시 가정했던 이상적인 체형과 편차가 큰 경우 측정결과의 정확도는 떨어지게 된다. 저체중인 경우의 흉부 형태는 원통에 가까우며, 과체중인 경우는 절두체(截頭體)에

가까운 경향이 있다¹²⁾. 체중이 30 kg 미만이거나 155kg 이상인 경우는 측정결과가 매우 부정확했다¹⁹⁾. Miles와 Gotshall 등²⁰⁾은 지방 조직이 근육보다 전기저항이 높으며, 흉부의 둘레가 작은 경우가 큰 경우보다 전기저항이 높기 때문에 여성과 남성을 대상으로 한 측정 결과의 정확도에는 차이가 있을 수 있다고 보고했다. 그 외에도 만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive lung disease) 등과 같은 폐질환, 지성피부, 호흡곤란, 판막 역류, 수술 등으로 인한 흉부 금속 물질의 존재, 고혈압, 패혈증, 부정맥, 분당 150회 이상의 높은 심장박동 혹은 분당 2L 이하의 심박출량 등이 있는 경우 부정확한 측정이 있을 수 있다는 연구결과가 있다¹⁾.

VI. 임피던스 심장기록법의 타당도와 신뢰도

임상에서 심박출량(CO)을 측정하기 위한 현존하는 여러 방법들로서 임피던스 심장기록법 이외에도 열희석법(thermodilution), Fick 방법, 초음파 심장 검진법 등이 있으나, 그 중 열희석법이 가장 표준적인 방법으로서 인정되며 침습적 방식이다. 임피던스 심장기록법의 타당도 연구에는 비교 기준 방법으로 열희석법이 가장 광범위하게 사용되었다. 1995년도 이전까지의 임피던스 심장기록법의 타당도에 대한 연구들을 살펴보면, Sramek-Bernstein 방법에 의해서 측정된 심박출량과 열희석법을 이용한 결과를 비교하는 많은 연구가 행해졌는데, 보고된 연구들의 반 수 이상에서 두 방법 간의 상관계수는 0.7 이상이었다¹⁾. 물론 0.4-0.6 사이의 비교적 낮은 상관계수를 보고한 연구들도 있었다¹⁾. 그 이후로도 임피던스 심장기록법의 개선에 관한 여러 연구가 행해졌으며 그 결과, 전 세대의 임피던스 심장기록법에 비해서 더욱 정확

Table 2. 임피던스 심장기록법(ICG)의 타당도 연구 결과

연구대상	저자	파라미터	비교대상	r value	Bias	Precision
HF in ICU	Albert 등 ²²⁾	CO	ICG-TD	0.89	0.08	1.38
HF in catheterization lab.	Drazner 등 ²³⁾	CO	ICG-Fick	0.73	0.74	1.1
			TD-Fick	0.81	0.75	0.95
			ICG-TD	0.76	0.03	1.1
Mechanical Ventilation	Ziegler 등 ²⁴⁾	CO	ICG-TD	0.89	-0.45	1.2
Post-CABG	Sageman 등 ²⁵⁾	CI	ICG-TD	0.92	0.07	0.40
Post-CABG	Van De Water 등 ²¹⁾	CO	ICG-TD	0.81	-0.17	1.09
			ICG-Fick	0.84	-0.24	0.87
Pulmonary hypertension	Yung 등 ²⁶⁾	CO	TD-Fick	0.89	-0.19	0.76
			ICG-TD	0.80	-0.43	1.01

HF: heart failure, ICU: intensive care unit, TD: thermodilution, CABG: coronary artery bypass surgery

한 데이터를 얻을 수 있었다. 1998년 이후 행해진 임피던스 심장기록법의 타당도에 관한 여러 연구 결과를 Table 2에 정리했는데, 임피던스 심장 기록법은 침습적인 심박출량 측정법과 비교했을 때 매우 높은 상관관계와 정확도를 보여주고 있다.^{19,21-26)}

임피던스 심장기록법의 신뢰도에 대한 연구를 살펴보면, Wilson 등²⁷⁾은 Sramek-Berstein 방법을 이용하는 경우 연속된 측정에서 변동계수(coefficient of variation)는 1.2%~15%의 범위에 있었다고 보고했다. 김 등¹¹⁾은 임피던스 심장기록법과 열희석법으로 2명의 피검자에게 각각 10분 간격으로 연속적으로 10회 측정된 심실박동량(SV)으로 각 방법의 재현성을 구하였다. 재현성은 연속된 각 SV 측정결과에서 (SV의 표준편차 / SV의 평균)X100으로 정의되었다. 실험결과 피검자 1에 대한 재현성은 9.32%, 피검자 2의 경우는 3.24%로서, 실험에서 구해진 열희석법 재현성 30%보다 월등했다. Water 등²¹⁾은 혈관우회로술(bypass surgery)을 받은 후 폐동맥에 카테터(catheter)를 삽입한 환자들에 대해서 열희석법과 임피던스 심장기록법으로 심박출량을 측정했다.

각각 3번씩 연속으로 측정하고 측정 결과 간의 상관계수와 표준편차를 구했는데, 임피던스 심장기록법의 경우 측정 결과 간 평균 상관계수는 0.93, 표준편차의 평균은 0.42 L/min으로서, 열희석법의 상관계수 0.83, 표준편차 1.03 L/min 보다 우수했다. 이 연구에서 연구자들은 임피던스 심장기록법이 꾸준히 발전해 왔고 임피던스 심장기록법은 열희석법과 동등한 정도의 측정결과를 보여준다고 결론을 내렸다.

VII. 임피던스 심장기록법의 활용

임피던스 심장기록법은 인체와 동물의 심혈관 반응을 관찰하기 위해 광범위하게 사용되어 오고 있다. Miles와 Gotshall 등²⁰⁾은 수중(水中)에 노출된 경우, 수면 중, 운동 중에 심박출량과 심실박동량을 측정하는데 임피던스 심장기록법을 이용하였다. Patterson 등²⁸⁾은 valsalva manoeuvre 시 혈류와 혈압변화 등을 임피던스 심장기록법과 광센서를 이용한 혈류측정법(photoplethysmograph)으로 각각 측정하였다. valsalva manoeuvre 실험

전과 후의 측정지표들의 변화와 비를 구하고 비교함으로써, 흉부 임피던스 변화에 대정맥 혈류의 변화가 영향을 줄 수 있으며, 흉부 혈류량의 측정에는 임피던스 심장기록법이 더 적합하다고 결론을 내렸다. 임신 상태에 대한 임피던스 심장기록법에 이용되는 가정의 정확성에 대한 문제제기가 있지만²⁹⁾, 임신 중의 심박출량과 심실박동량의 변화에 대한 장기간의 연구도 있었다³⁰⁾. 연구 결과 연구자들은 Kubicek이 임피던스 심장기록법에 관해 세운 가정들은 임신부의 측정에 있어서 큰 문제가 없었다고 결론 내렸다. 임피던스 심장기록법과 수술 전후의 체액균형(fluid balance)에 관한 연구도 Meguid 등³¹⁾에 의해서 행해졌다. 일반적으로 수술 후의 체액 균형의 변화는 섭취한 수분의 양, 소변으로 배출된 수분량, 체중 변화량을 통해서 측정된다. 이 연구에서는 섭취한 수분의 양, 배출된 수분량, 체중변화량, 신체의 임피던스 변화량, 리액턴스(reactance) 변화량과 순 체액균형(net fluid balance)을 구하고 측정했다. 연구 결과 순 체액균형의 변화는 체중 변화보다 임피던스 심장기록법에 의한 임피던스의 변화와 더욱 높은 상관관계를 가졌다. Hector 등¹⁹⁾은 임피던스 심장기록법이 단순 혈압뿐 아니라 혈관저항(SVR)과 심박출량(CO) 등 여러 지표들을 측정할 수 있기 때문에 고혈압의 진단, 예후 추정, 치료 계획 수립에 있어서 중요한 역할을 하는 진단 도구가 될 수 있음을 밝히고 있다. 혈압은 SVR과 CO의 곱으로서 정의되므로, 같은 수치의 고혈압 환자라도 SVR이 상승되어 있는 경우와 CO가 상승되어 있는 경우의 치료법이 달라질 수 있다. 마찬가지로 CO가 상승되어 있는 경우 역시, 그 원인이 HR의 상승인 경우와 SV의 상승인 경우에 따라서 치료법은 달라진다. 임피던스 심장기록법 지표와 심장에 대한 교감 신경계와 부교감 신경계의 활성화도와와의 관계를 비교하는 연구들도 있었는데, 전술한 바와 같이 PEP는 교감신경계의 항진과 밀접한 관

계가 있었다^{17,18)}. 따라서, valsalva manoeuvre, 경동맥동(carotid sinus) 마사지, 기립경사 검사(Head-up tilt test) 동안의 자율반사 기전 연구에도 사용된다¹⁾. Julie 등³²⁾은 측정 지표중 하나인 TFC(Thoracic Fluid Contents)와 혈액 투석 시 발생하는 수분 제거량과의 관계를 조사하고 두 측정값 사이에 의미있는 상관관계가 있음을 밝힘으로써 임피던스 심장기록법이 혈액투석 시 유용한 환자 관찰 감시장치로 사용될 수 있음을 보고했다.

VIII. 임피던스 심장기록법의 한의학적 이용에 관한 고찰

임피던스 심장기록법은 심전도(ECG), 혈압과 함께 측정되어 심혈관계의 상태를 종합적으로 알 수 있는 측정 지표들을 산출할 수 있다. 그러므로心和血분에 영향을 줄 수 있는 한의학 치료술의 영향을 연구하는데 광범위하게 사용될 수 있다. 그 예로서, 馮³³⁾은 人蔘 附子 전탕액을 울혈성 심부전 환자에게 투여하고 좌심실 수축 기능의 개선정도를 임피던스 심장기록법의 측정지표인 STI를 통하여 측정하였다. 李 등³⁴⁾은 관상동맥 결찰술로 심근경색을 일으킨 후 울혈성 심부전을 유발시킨 rat에 대해 各各 活血, 益氣, 氣血藥을 투여한 후의 심장기능 개선정도를 측정하기 위해 임피던스 심장기록법을 통해 심실박동량(SV), 심박출량(CO)을 이용하였다. 또한 神門, 靈道 등 手少陰心經, 手厥陰心包經 上의 穴들에 대한 刺針이 신체에 미치는 영향을 임피던스 심장기록법의 지표변화를 이용해서 측정할 수도 있을 것이다. 기공이나 명상 등 한의학적 치료술은 수련 시에 용적맥파의 지연시간에 일정한 영향을 미치게 되는데³⁵⁾, 용적맥파의 지연시간은 혈관벽의 탄성도와 밀접한 영향이 있으므로 임피던스 심장기록법 측

정지표인 SVR에 그 수련 영향이 반영될 것으로 사료된다.

임피던스 심장기록법의 지표인 PEP는 심장에 미치는 교감신경계의 항진과 밀접한 관계가 있으며, 심박변이율(HRV) 스펙트럼의 고주파 영역(High Frequency, HF)은 부교감 신경계의 항진과 관계가 있으므로 명상, 기공, 호흡유도 등의 한의학 치료술이 자율신경계에 미치는 영향을 연구하는데도 폭넓게 사용이 가능하다. 기존에 개발된 寒熱 설문지³⁶⁾, 맥율과 임피던스 심장기록법과 연계한 寒熱 변증 정량화 연구도 가능할 것이다. 호흡 당 맥박수로 정의되는 맥율의 생리학적인 기전은 아직 완전히 밝혀진 것은 아니지만 뇌간의 기능에 그 토대를 두고 자율신경계를 통해 작용된다고 보고되고 있으므로³⁷⁾, PEP, HF, HR 등의 측정지표와 寒熱 현상의 상관관계를 기대해볼 수 있을 것이다.

임피던스 심장기록법 측정지표 중 TFC은 체액을 포함한 체성분의 특성에 민감한 지표이므로 痰飲 설문지³⁸⁾ 설문결과와의 상관관계를 구하는 연구도 의미가 있을 것으로 사료된다.

IX. 결 론

임피던스 심장기록법은 1966년 Kubicek에 의해서 개발이 된 후, 측정 지표 산출방법의 개선, 전자공학 발달에 따른 측정되는 신호 처리 기법의 향상, 하드웨어의 발전, 전극 위치와 측정결과에 관한 연구 등을 통해서 꾸준히 발전해왔다. 최근에는 침습적인 심박출량 기법들과 거의 동등한 정도의 타당도와 신뢰도를 가진 유일한 비침습적 심박출량 측정 기법으로 평가받고 있다. 임피던스 심장기록법은 사용법을 익히기가 간편하며, 무엇보다 휴식상태뿐만 아니라 운동 중에도 측정이 가능하므로 그 이용 영역이 매우 넓다.

임피던스 심장기록법의 측정지표들은 심혈관계의 기능 상태를 종합적으로 나타내 줄 수 있으므로 고혈압 등 심혈관계 질환의 진단과 예후 추정, 치료계획 수립에 유용하게 사용될 수 있다. 외적인 증상과 심전도에서 명백하게 드러나지 않은 심부전의 징후가 임피던스 심장기록법에서는 확인 가능한 경우도 보고되었다^{1,11)}.

임피던스 심장기록법은 寒熱, 瘀血, 痰飲 등의 각종 한의학적 변증 지표의 정량화와 더불어 心, 血分에 작용할 수 있는 藥과 鍼術, 기공, 명상 등의 치료효과를 측정하고 객관화하는 데에도 유용하게 사용될 수 있는 잠재성을 가지고 있으며, 앞으로 이 기법을 이용한 다양한 주제의 한의학 연구가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Louise Jensen, RN, PhD, Joan Yakimets, RN, MN, Koon K. Teo, MB, PhD Issue in Cardiovascular Care : A review of impedance cardiography, Heart & Lung The Journal of Critical Care. 1995; 24(3): 183-193.
2. E. Atzler, G. Lehmann, Über ein neues Verfahren zur Darstellung der Herztätigkeit, Arbeitsphysiologie. 1932; 5(6): 636-680.
3. W. Holzer, K. Polzer, A. Marko, RKG. Rheography, Ein Verfahren der Kreislaufforschung und Kreislaufdiagnostik, Vienna, Wilhelm Maudrich, 1946.
4. J. Nyboer, Electrical impedance plethysmography, A physical and physiologic approach to peripheral vascular study, Circulation 1950; 2: 811-821.
5. W.G. Kubicek, J.N. Karnegis, R.P. Patterson, D.A. Witsoe, R.H. Mattson, Development

- and evaluation of an impedance cardiac output system, *Aerosp. Med.* 1966; 37: 1208-1212.
6. W.G. Kubicek, F.J. Kottke, M.U. Ramos, R.P. Patterson, D.A. Witsoe, J.W. Labree, W. Remole, T.E. Layman, H. Schoening, J.T. Garamela, *The Minnesota impedance cardiograph - theory and applications*, *Biomed. Eng.* 1974; 9: 410-416.
 7. B.B. Sramek, Non-invasive measurement of cardiac output by means of electrical impedance, *proceedings of the 5th International Conference of Electrical Bioimpedance*, Tokyo, Japan, 1981, p.91.
 8. B.B. Sramek, D.M. Rose, A. Miyamoto, Stroke volume equation with a linear base impedance model and its accuracy as compared to thermodilution and magnetic flow meter techniques in humans and animals, *Proceeding of the 6th International Conference of Electrical Bioimpedance*, Zadar, Yugoslavia, 1983, p.83.
 9. D.B. Bernstein, A new stroke volume equation for thoracic electrical bioimpedance : theory and rationale, *Crit. Care Med.* 1986; 14: 904-909.
 10. D.B. Bernstein, Continuous non-invasive real-time monitoring of stroke volume and cardiac output by thoracic electrical bioimpedance, *Crit. Care. Med.* 1986; 14: 898-901.
 11. 김택원, 김정열, 고한우, 김남현, 김원기. 임피던스 심장기록법을 이용한 심장기능의 측정. *의공학회지.* 1988; 9(1): 109-115.
 12. J. Fortin, W. Habenbacher, A. Heller, A. Hacker, R. Grullenberger, J. Innerhofer, H. Passath, Ch. Wagner, G. Haitchi, D. Flotzinger, R. Pacher, P. Wach, Non-invasive beat-to-beat cardiac output monitoring by an improved method of transthoracic bioimpedance measurement, *Computers in Biology and Medicine* 2006; 36: 1185-1203.
 13. Harrell JS, Futrell AG, Adams LF, Forst S, Sherwood A, Hutcheson JS. Cardiac output and associated cardiovascular responses to bed making., *Crit. Care Nursing Q.* 1989; 12: 19-33.
 14. Sheps DS, Petrovick ML, Kizakevich PN, Wolfe C, Craige E., Continuous noninvasive monitoring of left ventricular function during exercise by thoracic impedance cardiography-automated derivation of systolic time intervals. *Am Heart J.* 1982; 103: 519-524.
 15. Capan LM, Bernstein DP, Patel KP, Sanger J, Turndorf H., Measurement of ejection fraction by bioimpedance method [Abstract]. *Crit. Care Med.* 1987; 15: 402.
 16. Weissler AM. Current concepts in cardiology: systolic-time intervals. *N Engl J Med.* 1977; 296: 321-322.
 17. Hartmut Schächinger, MD, Markus Weinbacher, MD, Alexander Kiss, MD, Rudolf Ritz, MD, Wolf Langewitz, MD, *Cardiovascular Indices of Peripheral and Central Sympathetic Activation*, *Psychosomatic Medicine.* 2001; 63: 788-796.
 18. Helen J. Burgess, Plamen D. Penev, Renate Schneider, Eve Van Cauter, Estimating cardiac autonomic activity during sleep : impedance cardiography, spectral analysis, and Poincare plots, *Clinical Neurophysiology.* 2004; 115: 19-28.
 19. Hector O. Ventura, Sandra J. Taler, and John

- E. Strobeck, Hypertension as a Hemodynamic Disease: The Role of Impedance Cardiography in Diagnostic, Prognostic, and Therapeutic Decision Making, the American J of Hypertension. 2005; 18: 26s-43s.
20. Miles DS, Gotshall RW. Impedance cardiography : noninvasive assessment of human central hemodynamics at rest and during exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 1989; 17: 231-263.
 21. Van De Water Jm, Miller Tw, Impedance Cardiography : The next vital sign technology? *Chest.* 2003; 123: 2028-2033.
 22. Albert N, Hail M, Li J, Young J, Equivalence of bioimpedance and thermodilution in measuring cardiac output and index in patients with advanced, decompensated chronic heart failure hospitalized in critical care. *Am J Crit. Care.* 2004; 13: 469-479.
 23. Drazner M, Thomson B, Rosenberg P, Kaiser PA, Boehrer JD, Baldwin BJ, Dries DL, Yancy CW, Comparison of impedance cardiography with invasive hemodynamic measurements in patients with heart failure secondary to ischemic or nonischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2002; 89: 993-995.
 24. Ziegler D., Grotti L, Krucke G. Comparison of cardiac output measurements by TEB vs. intermittent bolus thermodilution in mechanical ventilated patients(abstract). *Chest.* 1999; 116: 281s.
 25. Sageman WS., Riffenburgh RH, Spiess BD, Equivalence of bioimpedance and thermodilution in measuring cardiac index after cardiac surgery. *J Cardiothoracic Vasc. Anesth.* 2002; 16: 8-14.
 26. Yung, G, Fedullo P., Kinninger K, Johnson W., Channick R., Comparison of impedance cardiography to direct Fick and thermodilution cardiac output determination in pulmonary arterial hypertension. *Congest Heart Fail.* 2004; 10: 7-10.
 27. Wilson MF, Sung BG, Pincomb GA, Lovallo WR, Simultaneous measurement of stroke volume by impedance cardiography and nuclear ventriculography : comparisons at rest and exercise. *Ann Biomed. Eng.* 1989; 17: 475-482.
 28. R.P Patterson, J.Zhang, Impedance cardiographic measurement of the physiological response to the valsalva manoeuvre, *Med. Biol. Eng. Comput.* 2003; 41: 40-43.
 29. De Swiet M, Talbert DG, The measurement of cardiac output by electrical impedance plethysmography in pregnancy : are the assumptions valid ? *Br. J. Obstet Gynaecol.* 1986; 93: 721-726.
 30. Davies P, Francis RL, Docker MF, Watt JM, Crawford JS., Analysis of impedance cardiography longitudinally applied in pregnancy. *Br. J. Obstet. Gynaecol.* 1986; 93: 717-720.
 31. Meguid MM, Lukaski HC, Tripp MD, Rosenberg JM, Paker FB Jr. Rapid bedside method to assess changes in post-operative fluid status with bioelectrical impedance analysis. *Surgery.* 1992; 112: 502-508.
 32. Julie L. Wynne, MD, Leo O. Ovadjie, MD, Chaltsy M. Akridge, BS, Samuel W. Sheppard, MS, Robert L. Vogel PhD, Joseph M. Van de Water, MD., Impedance Cardio-

- graphy: A Potential Monitor for Hemodialysis. *J. of Surgical Research*. 2006; 133: 55-60.
33. 馮青根. 參附注射液治療充血性心力衰竭的療效觀察. *上海中醫藥雜誌*. 1999; 9: 17-18.
34. 李敏, 王碩仁, 趙明鏡, 王振濤. 活血、益氣方藥對心梗後心衰大鼠血流動力學影響的實驗研究. *中國中醫基礎醫學雜誌*. 2001; 7(6): 22-25.
35. 김혜경, 신상훈, 박영배. 기공의 효능/효과에 관한 문헌적 고찰. 2004; 8(1): 69-85.
36. 김숙경, 박영배. 한열변증 설문지 개발. 대한한의학진단학회지. 2003; 7(1): 64-75.
37. 김동훈, 양동훈, 허웅, 박영재, 박영배. 맥을 측정방법의 신뢰도 분석. 대한한의학진단학회지. 2005; 9(2): 123-144.
38. 박재성, 김민용, 박영재. 痰飲辨證 說問 開發을 위한 文獻研究. 대한한의학진단학회지. 2006; 10(1): 54-63.