

# 전기적 임피던스 방법을 통한 hand-held 타입의 심박출량 모니터링 시스템 개발 및 검증

## Development and Verification of a Hand-held Typed Monitoring System for Cardiac Output Measurement using Electrical Impedance Technique

서 광 석\* · 심 명 현\*\* · 김 민 용\*\*\* · 윤 찬 솔\*\*\* · 정 주 홍\*\*\* · 박 성 빈§ · 윤 형 로†  
(Kwang-seok.Seo · Myeong-Heon Sim · Min-Yong Kim · Chan-Sol Yoon ·  
Joo-Hong Chung · Sung-Bin Park · Hyung-Ro Yoon)

**Abstract** - The impedance cardiogram has been proposed as a non-invasive, continuous, operator independent, and cost-effective method for cardiac output monitoring. However, it can not be completely considered as non-restrictive method because of attached spot and band type electrodes. Therefore, we developed a improved convenient hand-held typed measurement system for cardiac output by electrical impedance technique. 80 subjects from Yonsei University and the surrounding areas, participated. All subjects measured stroke volume and cardiac output through Physioflow and developed system. To verify the developed system, statistical methods such as correlation, Wilcoxon signed ranks test, and the Bland-Altman analysis were used. The proposed system showed significant correlation in both male and female stroke volume( $r=0.715$ ,  $r=0.704$ ) and cardiac output( $r=0.826$ ;  $r=0.804$ ). From these results, it can be concluded that stroke volume and cardiac output could be improved convenient measurement using the both hands without the help of a specialist.

**Key Words** : Cardiac output, Stroke volume, Impedance cardiogram, Hand-held type electrode, Physioflow

### 1. 서 론

1회 박출량(Stroke volume, SV)과 심박출량(Cardiac output, CO)은 심부전, 고혈압, 제한성 폐질환, 늑막, 신장 그리고 관상동맥 질환 등과 같은 만성심부질환의 진단과 치료 방법을 결정하는 주요한 지표이며, 심전도와 혈압이 동시에 모니터링 된다. 그러나 대부분의 응급 시설 및 환자 감시 장치 등에서는 심전도, 혈압 그리고 호흡률만을 모니터링 하고 있으며, 이것은 환자들의 혈류 역학적 상태에 대한 충분한 데이터를 제공하는데 어려움이 있다[1-3]. 1회 박출량과 심박출량 판단은 심장학적 판단과 흉부외과 수술에 있어 중요한 절차이며, 심혈관 수행 능력 및 치료 방법의 선택에 있어 기능적 지표로 이용되어져 왔다[4]. 1회 박출량과 심박출량은 심장 기능, 심장 질환 또는 혈류 역학적 모니터링 및

평가를 위한 신뢰성 있는 지표로도 사용되어지며, 심혈관계의 평균 혈류속도 결정에 있어서도 필수적이다. 또한 1회 박출량과 심박출량의 측정은 순환계 기능을 반영하는 많은 지표들을 산출해 낼 수 있다. 심박출량은 심장 박동을 통해 전신으로 나가는 분당 혈액의 양으로서, 심장 기능뿐만 아니라 전체 순환계의 상태를 반영하는 임상적 지표이며, 전신 조직의 자율적인 조절을 통해 통제된다. 심박출량은 대개 조직이 산소나 다른 영양분을 얼마나 필요로 하는가에 비례하는데, 이를 유지·조절하는 것이 순환계의 가장 복잡한 기능 중 하나이다. 실제 임상에서는 1회 박출량과 심박출량의 측정을 위해 Fick 방법(Fick's method), 색소희석법(dye-dilution method) 그리고 열 희석법(thermo-dilution method) 등이 사용되어지고 있다. 이러한 방법들은 1회 박출량과 심박출량의 측정에 있어 표준 방법들로 사용되어져 왔다. 이러한 측정 방법들은 Swan-Ganz 카테터를 이용하여 심박출량과 1회 박출량을 측정하게 되며, 체순환 저항, 폐동맥압, 폐동맥 폐기압(Pulmonary artery wedge pressure)등도 동시에 측정 가능하므로 혈류 역학적으로 불안정한 환자의 감별진단에 유용한 데이터를 제공하는 장점이 있다. 그러나 Fick 방법, 색소희석법 그리고 열 희석법 등의 카테터를 이용하는 침습적인 방법들은 중환자실 등의 환자의 집중적 관리가 이루어지는 장소에서만 사용이 가능함에 따라 매우 제한적이라고 할 수 있다.

위와 같은 침습적인 측정 방법의 단점을 해결할 수 있는 대체 방법으로서 초음파를 이용한 방법, 이산화탄소 재호흡

\* Director, Bio-Engineering R&D Center, Medigate  
\*\* Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Republic of Korea  
\*\*\* Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Republic of Korea  
§ Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Republic of Korea  
† Corresponding Author : Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Republic of Korea

E-mail : hryoon@yonsei.ac.kr

Received : June 20, 2012; Accepted : November 8, 2012

법, 혈압과형분석법 등이 임상적으로 연구되어 왔다[5, 6]. 또한 임피던스 기술을 이용한 임피던스 심박출량 측정법 (Impedance cardiography)은 1회 박출량과 심박출량의 측정 에 있어서 침습적인 방법들을 대체할 만한 유용한 방법이다 [7-9]. 임피던스 심박출량 측정법은 비침습적, 연속적, 효율 적인 비용으로 1회 박출량과 심박출량 모니터링이 가능하며, 전문가의 동반 없이도 측정이 가능하다.

현재 사용되는 일반적인 임피던스 심장 기록 장치들은 흉곽에 점식(Spot) 또는 밴드(Band) 타입의 4개 또는 8개의 전극을 부착하고, 50-100kHz, 2.5-4mA의 정전류를 주입한다. 주입된 전류는 흉곽을 거쳐 기준 전극으로 전달되며, 이 때 흉곽의 대동맥에서 방출되는 혈액 양에 의해 변화하는 임피던스 신호를 통해 1회 박출량 및 심박출량의 변화를 검출한다. 또한 임피던스 방법은 혈액 양의 변화를 기록함에 따라 미분을 통해 1회 박출량에 비례하는 혈류 속도의 검출 도 가능하다.

Charloux 등은 임피던스 심박출량 측정법을 통해 thora cic hyperinflation의 영향에 대해 연구하였으며, Koobi 등 은 수술 전 환자들의 심박출량을 Fick 방법, 열희석법 그리 고 임피던스 심박출량 측정법의 비교를 통해 전기적 임피던 스 방법의 신뢰성을 검증하였다[10]. 그러나 침습적인 방법 과 마찬가지로 임피던스 심박출량 측정법 역시 흉부에 점식 또는 밴드 타입의 4개 또는 8개의 전극을 부착함에 따라 완 전히 비수술적인 방법이라고 볼 수 없으며, 또한 전극의 부 착은 부착과정에 있어 의료진이 수반되어야 하며, 전극에 따 른 추가적 비용이 발생한다.

본 연구는 기존의 흉부에서의 임피던스 심박출량 측정 방 법을 기초하여 심박출량 측정 시 흉부에 부착되는 리드를 제 거하고 양손에서 편리하게 측정할 수 있도록 하며, 고가의 일 회용 전극의 사용을 대신하여 반영구적인 hand-held 타입 전 극으로 대체하여 시술자의 도움 없이도 측정이 가능한 편리 성을 제공하고자 한다. 따라서 본 연구는 기존의 침습적 또는 비침습적의 방법을 모두 개선시킨 전기적 임피던스 방법을 통한 hand-held 타입의 1회 박출량 및 심박출량 검출 시스템 을 개발하며, 개발된 시스템의 임상적 검증은 목적으로 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 Hand-held 타입의 심박출량 측정 시스템

본 연구에서는 흉곽에 직접 전극을 부착하는 대신에 hand-held 타입의 전극을 사용하였다. Hand-held 타입의 전 극은 그림 1과 같이 전류 전극(Current high, CH), 전류 전 극(Current low, CL), 전압 측정 전극(Voltage high, VH), 그리고 전압 측정 전극(Voltage low, VL), 총 4개의 전극으 로 구성된다. 두 개의 전류 전극은 전류 주입과 기준 전극 으로서 사용되며, 1회 박출량과 심박출량에 대한 임피던스 변 화 측정 전극으로 두 개의 전압 측정 전극이 사용된다. 측 정 신호의 기준선 표류를 최소화하기 위해 전류 전극 중 하 나의 전극은 기준 전극으로 사용된다. 모든 전극은 크롬 도 금된 hand-held 타입으로 전극으로 제작되었다.

그림 2는 hand-held 타입의 심박출량 측정 시스템의 블

록도이다. 직류 전류는 인체 깊숙이 주입되지 못 함에 따라, 개발된 시스템은 교류 전류를 사용하였다. 윈 브리지 오실 레이터(Wien-bridge oscillator)를 통해 100kHz의 정현파를 생성하였으며, 인체에 무해한 1mA 정 전류를 주입하였다. 주입된 정 전류는 음의 법칙에 따라 임피던스 변화에 비례 하는 전압의 변화를 발생시킨다. 따라서 심박출량 주기에 따 른 임피던스 변화에 대한 전압 변화의 검출이 가능하다. 심박출량 주기에 따른 전압 변화는 두 개의 전압 전극 사이 의 차동 증폭을 통해 검출이 가능하며, 이때 검출된 신호는 교류 신호에 대한 진폭 변화로 나타난다. 검출된 교류 신호 는 직류 형태의 신호로 변환해야 하는데, 이를 위해 2MHz 의 대역폭과 0.2%의 오차를 갖는 전과정류회로를 통해 직류 형태의 전압 신호로 변환하였다. 본 연구에서는 초기 전과 정류회로를 통해 변환된 직류 신호 기저 임피던스는 1회 박 출량 및 심박출량 검출을 위한 정보를 포함하는 신호이다. 그러나 두 신호는 기저 임피던스 신호에 비해 매우 작은 신 호임에 따라, 1회 박출량 및 심박출량 신호만의 검출을 위해 분해능 높은 신호 생성이 필요하다. 따라서 본 연구에서 개 발된 hand-held 타입의 심박출량 검출 시스템은 PWM 피드 백 시스템(Pulse width modulation feedback system)을 포 함한다. PWM 피드백 시스템을 통해 1회 박출량 및 심박출 량의 검출이 가능한 향상된 분해능을 가지는 신호의 검출이 가능하다. PWM 피드백 시스템은 초기 기저 임피던스를 통 해 획득된 데이터를 마이크로컨트롤러 Cortex-M3(STM32F 103RE, ST-micro, Switzerland)를 통해 실시간 피드백을 수 행한다. 따라서 기저 임피던스와 이에 해당하는 피드백 신 호의 차동 증폭을 통해 심장에서 대동맥을 통해 방출되는 혈액 양의 변화에 비례하는 임피던스 신호만의 검출이 가능 하다. PWM 피드백 시스템의 신호 폭(40kHz duty cycle) 은 마이크로컨트롤러의 12비트 아날로그 디지털 변환기와 4kHz 저역통과필터를 통해 기저 임피던스에 비례하게 선형 제어 된다. 따라서 1회 박출량과 심박출량의 정보를 포함하 는 기저 임피던스 신호는 기저임피던스 신호와 PWM 시스 템을 통해 피드백 된 신호의 차동 증폭을 통해 1회 박출량 및 심박출량의 정보만을 포함하는 신호로 변경된다. 더욱이 본 연구에서 제안된 임피던스 방법을 통한 심박출량 측정 시스템은 4개의 hand-held 타입의 전극을 통해 심전도(Lead

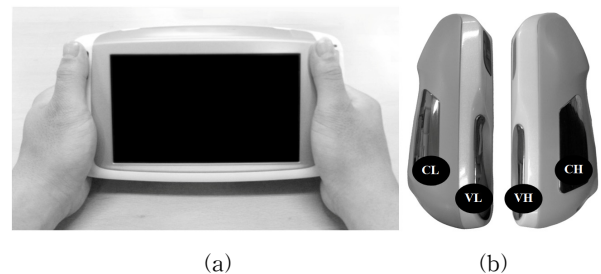


그림 1 심박출량 측정 시스템 및 hand-held 타입 전극: (a) 심박출량 측정 시스템, (b) Hand-held 타입 전극 (전류 전극(CH, CL), 전압 전극(VH, VL))

Fig. 1 Cardiac output measurement system and hand-held typed electrode: (a) Cardiac output measurement system, (b) hand-held typed electrode(current electrode(CH, CL), voltage electrode(VH, VL))

I) 신호의 동시 획득도 가능하다.

본 연구에서 개발된 hand-held 타입의 심박출량 측정 시스템을 통해 획득되어진 1회 박출량과 심박출량은 Physioflow (PF104D, Manatec Biomedical, France)와 비교된다.

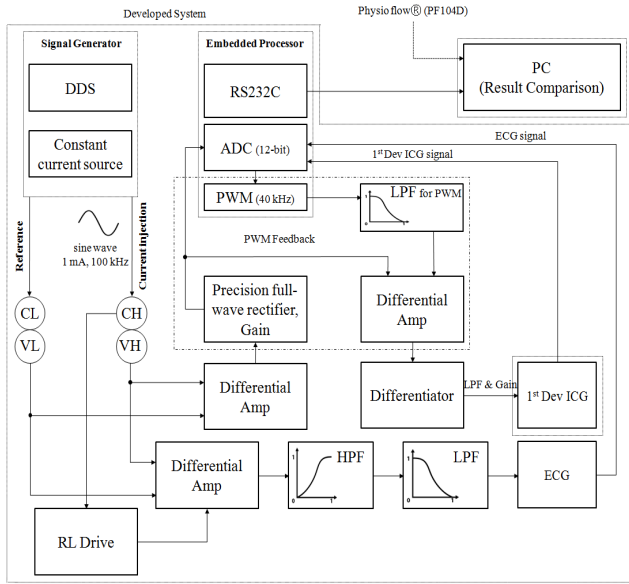


그림 2 Hand-held 타입의 심박출량 측정 시스템의 구성도  
Fig. 2 Configuration of hand-held typed cardiac output measurement system

### 2.2 신호처리

그림 3은 본 연구에서 제안한 hand-held 타입의 임피던스 심박출량 측정 시스템의 신호 처리 흐름도이다. 모든 신호는  $f_s = 1\text{kHz}$ (샘플링율, fs)로 샘플링 되었다. 임피던스 심박출량 측정 신호는 제안된 시스템의 실시간 PWM 피드백에 의해 향상된 분해능을 갖는 1회 박출량과 심박출량 신호로 변환되며, 원활한 특징점 검출을 위해 소프트웨어 20Hz 저역통과필터링을 수행하였다. 과도응답 및 노이즈 신호의 제거를 위해 초기 4초간 데이터는 삭제하였으며, 이후 3초간 데이터의 중간 값을 초기 임계값으로 설정하였다. 설정된 초기 임계값은 C-point (대동맥에서의 혈액의 최대 흐름)를 검출하기 위해 사용된다. 두 C-point 사이에서 최소값을 가지거나 또는 C-point 후 기울기가 변화하는 변곡점을 검출하여 X-point (대동맥 판막이 닫히는 순간)로 검출한다. 동시에 역추적 알고리즘을 통해 B-point (대동맥 판막이 열리는 순간)를 검출하였다.

B point에서 X-point 사이의 시간은 좌심실방출시간(Left ventricular ejection time, LVET)으로 측정되며, 임피던스 심박출량 측정 신호의 최대 진폭을  $Dz/dt_{MAX}$  로 측정하였다. 미분과 제로크로싱 검출 방법은 임피던스 심박출량 측정 신호의 특징점 검출을 위해 유용하게 사용된다[11]. 검출된 파라미터들은 Kubicek 방정식(수식 1)을 통하여 1회 박출량으로 산출되며, 수식 2를 통해 심박출량으로 계산된다 [12, 13]. 모든 신호 처리는 제안된 시스템의 마이크로프로세서인 Cortex-M3(STM32F103RE, ST-micro, Switzerland)에

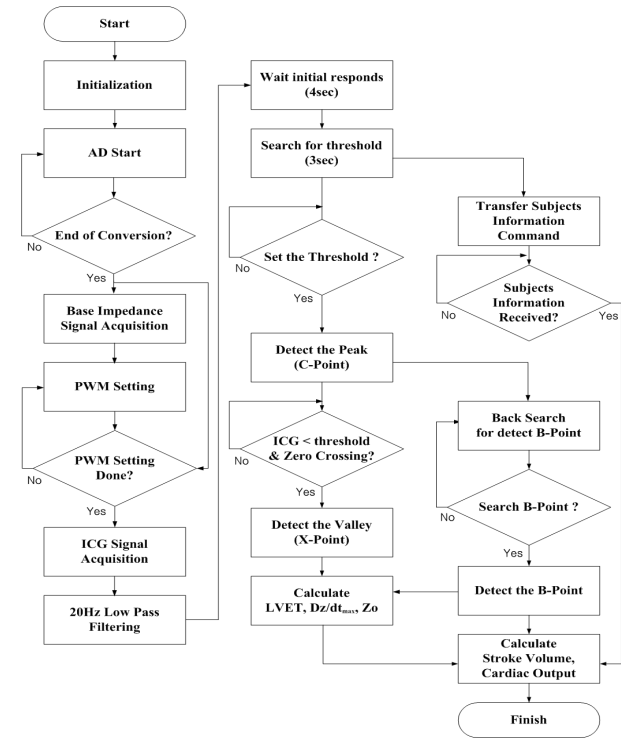


그림 3 1회 박출량과 심박출량 검출을 위한 순서도  
Fig. 3 Flow chart for detection stroke volume and cardiac output

서 실시간 처리를 수행한다.

$$Stroke\ Volume = \rho \cdot \left(\frac{L}{Z_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{dz}{dt}\right)_{max} \cdot LVET \quad (1)$$

$\rho$  : 혈액의 저항성분 상수(135Ωcm), L : 측정 전극 사이의 거리,  $Dz/dt_{MAX}$  : 임피던스 심박출량 측정 신호의 최대 진폭,  $Z_0$  : 기저임피던스, LVET : 좌심실방출시간

$$Cardiac\ Output = Stroke\ Volume \times Heart\ Rate \quad (2)$$

Cardiac output : 심박출량, Stroke volume : 1회 박출량, Heart rate : 심박수

### 2.3 임상실험

본 연구에서 개발된 hand-held 타입의 임피던스 심박출량 검출 시스템의 임상 검증을 위해 연세대학교 및 연세대학교 원주의과대학 내 총 80명을 대상으로 실험을 수행하였다. 80명의 피검자 중, 50명은 심혈관 관련 질병 기록을 가지고 있지 않았으며, 30명은 심혈관 관련 질병 기록, 혹은 현재 환자이다. 임상실험 진행 전, 80명의 모든 피검자를 대상으로 실험 프로토콜을 설명하였으며, 실험 동의서를 작성하였다. 모든 임상실험은 원주기독병원 임상시험센터 윤리위원회(IRB)의 승인을 기반으로 수행되었다. 30명의 피검자 중 8명은 심각한 질병 상태 및 분석 불가의 이유로 임상실험 도중 제외되었다. 따라서 임상실험은 정상군 50명, 환자군 22명, 총 72

명(남자 54명, 여자 18명)을 대상으로 수행되었다.

표 1은 피검자 72명(남 54명, 여 18명)에 대한 기초 데이터이다.

그림 4는 본 연구의 제안된 시스템에 대한 임상 검증 실험 프로토콜이다. 실험 전 모든 피검자에 대해, 실험에 관한 자세한 설명 및 동의서 작성을 수행하였다. 과정 1을 수행한 후, 10분의 안정 시간을 가졌으며, 4개의 hand-held 타입의 전극을 통해 심전도와 임피던스 심박출량 측정을 동시에 수행하였다. 개발된 시스템의 재현성 검증을 위해 연령대별 각 1명씩(남자 3명, 여자 2명)에 대해 5회 반복 측정하였다. 5회 반복 측정에 대한 실험 프로토콜(안정 10분, ECG/ICG 측정 5분, 그리고 휴식 3분)은 그림 4(a)와 같다.

Physioflow를 통해 1회 박출량 과 심박출량의 데이터를 획득하였다. Physioflow는 흉부에서의 임피던스 신호를 통해 심박출량을 측정하는 여러 연구에 사용되었다. Charloux는 Fick 방법에 의한 Physioflow의 정확성 평가 결과, 각각의 방법에서 휴식기에 0.04L/분, 운동기에 0.29L/분의 평균 오차를 확인하였다. Richard는 Physioflow의 정확성을 평가하기 위한 연구로 Fick 방법을 통해 측정된 146명의 피험

표 1 피검자에 대한 기초 데이터

Table 1 Baseline characteristics data of participants

Variable	Total (n=72)	Male (n=54)	female (n=18)
Age (years)	31.1 ± 17.0	28.6 ± 13.9	38.7 ± 22.7
Height (cm)	170.2 ± 8.5	173.6 ± 6.4	160.1 ± 5.2
Weight (kg)	67.7 ± 13.9	71.2 ± 13.0	57.4 ± 11.5
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.3 ± 3.9	23.6 ± 3.7	22.4 ± 4.4
SBP at resting (mmHg)	122.5 ± 16.1	124.1 ± 14.1	117.7 ± 20.6
DBP at resting (mmHg)	71.6 ± 11.7	72.4 ± 11.2	69.4 ± 13.2
MBP at resting (mmHg)	87.1 ± 13.6	87.6 ± 12.1	85.7 ± 17.6

All data = mean ± SD, n = sample size; BMI = body mass index, SBP = systolic blood pressure, DBP = diastolic blood pressure, MBP = mean blood pressure

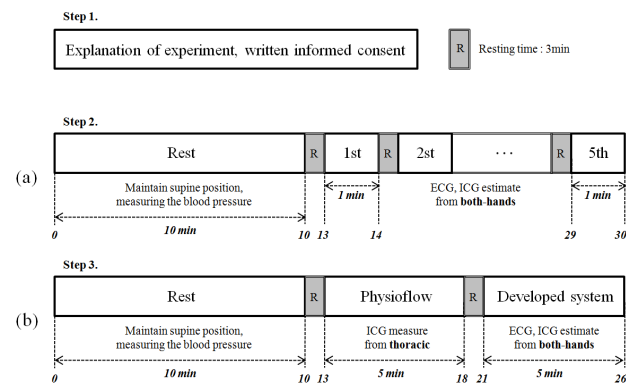


그림 4 (a) 재현성 실험 프로토콜, (b) 임상 실험 프로토콜  
 Fig. 4 (a) Reproducibility experiment protocol, (b) Clinical experimental protocol

자 데이터와 Physioflow를 비교하였으며, 그 결과  $p < 0.01$  구간 내에서  $r = 0.94$ 의 높은 상관관계를 보임을 확인하였다. 또한 Tordi는 Physioflow와 이산화탄소 재호흡법의 두 가지의 비침습적인 측정 방법의 비교를 통해 두 방법의 차이에 있어서  $R^2 = 0.85$ , 평균오차 =  $0.06L/\text{분}$ 으로서 두 방법의 차이가 0.12%의 높은 정확성을 보임을 확인하였다[14-16].

본 연구에서 개발된 hand-held 타입의 임피던스 심박출량 검출 시스템은 양손을 통해 정 전류를 주입하며, Physioflow는 흉곽을 통해 정 전류를 주입하는 장비이다. Physioflow와 본 연구에서 개발된 시스템은 모두 흉부나 양손에 전류를 주입하기 때문에 서로 간섭이 생기는 부작용을 나타낼 수 있으므로, 동시에 전극을 부착한 실험이 불가능하다. 따라서 흉부에 부착된 전극을 통해 Physioflow의 데이터를 획득하고, 흉부에 부착된 전극을 제거 후, 제안된 시스템의 데이터를 획득하였다. 그림 4(b)와 같이, Physioflow를 통하여 5분 동안 10초 간격으로 1회 박출량, 심박출량 그리고 심박수를 저장한 후, 제안된 시스템을 통해 5분 동안 1회 박출량, 심박출량 그리고 심박수를 측정하였다.

### 2.4 통계분석

모든 데이터는 SPSS 17.0(SPSS Inc., an IBM Company, USA)과 Medcalc(MedCalc Software bvba, Belgium)를 통해 분석되었으며, 산출된 통계치는 (평균 ± 표준편차)의 형태로 표현되었다. 전체 피검자 72명에 대하여, Physioflow를 통해 획득된 1회 박출량, 심박출량 데이터는 제안된 시스템의 1회 박출량, 심박출량 데이터와 통계적 교차 검증을 통해 상관관계수(Pearson product moment correlation coefficient, r)를 산출하였다. 더불어 제안된 시스템과 Physioflow의 1회 박출량과 심박출량 결과에 대한 차이를 검증하기 위해 대응표본 t-검정에 대응하는 비모수적 검정 방법인 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed ranks test)을 수행하였다. 윌콕슨 부호순위 검정 분석은 제안된 시스템의 결과 값이 비정규분포인 연속변수 또는 순위 변수일 때 사용된다[17].

## 3. 결 과

### 3.1 시스템 재현성 평가

표 2는 각 연령대별 5명의 피검자(남자 3명, 여자 2명)에 대한 재현성 평가 결과이다. 각 연령대 별로 3% 미만의 오차를 확인하였다. 본 결과를 통해 제안된 hand-held 타입의 임피던스 심박출량 측정 시스템의 재현성을 확인하였으며, Physioflow 결과와 높은 상관성을 보임을 검증하였다.

### 3.2 시스템 유효성 평가

제안된 시스템의 유효성 검증을 위해 Physioflow의 1회 박출량과 심박출량을 비교·검증하였다. 표 3은 남자(N=54), 여자(N=18)에 대한 제안된 시스템과 Physioflow에서 측정되어진 1회 박출량과 심박출량의 비교 결과이다. 그 결과 5.38%(1회 박출량\_남), 5.37%(심박출량\_남), 5.55%(1회 박출량\_여) 그리고 5.54%(심박출량\_여), ( $P < 0.05$ )의 오차를 확인하였다.

**표 2** 재현성 평가 결과

**Table 2** Reproducibility test results

	Developed system SV					Mean±SD	Physio flow SV	Error Ratio
	1	2	3	4	5			
Subject1 (female, 18years)	91.69	90.21	88.74	90.91	90.54	90.42 ± 1.09	89.54	1.34%
Subject2 (male, 22years)	96.12	96.98	95.93	96.19	96.57	96.36 ± 0.42	97.00	0.66%
Subject3 (male, 30years)	88.98	89.57	89.34	89.42	89.41	89.34 ± 0.22	91.88	2.76%
Subject4 (female, 48years)	79.98	81.28	82.13	81.39	80.26	81.01 ± 0.88	81.98	1.26%
Subject5 (male, 59years)	108.79	107.63	107.51	108.11	108.67	108.14 ± 0.58	106.00	2.02%

**표 3** 평균 1회 박출량 및 평균 심박출량 측정 결과

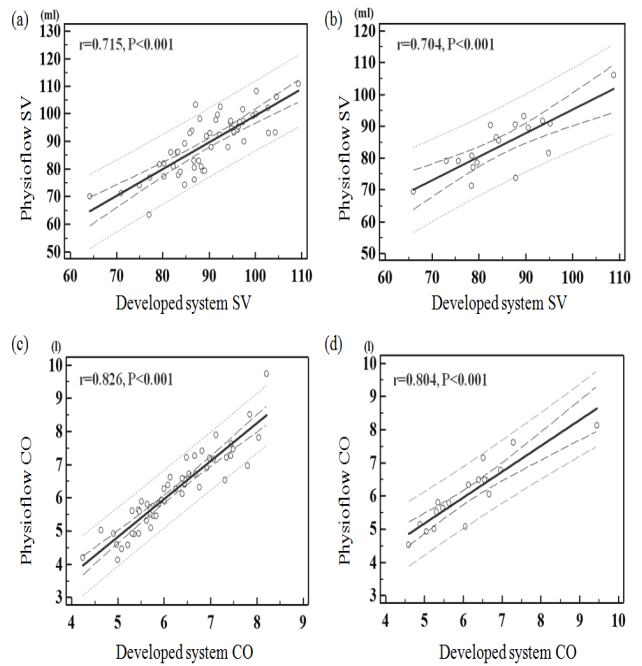
**Table 3** Results of mean stroke volume and mean cardiac output

		Stroke	Cardiac
		Volume(SV)	Output(CO)
Male	Physioflow	89.39 ± 10.56	6.18 ± 1.12
	Developed system	89.74 ± 8.90	6.19 ± 0.91
	Error ratio(%)	5.38 %	5.37 %
Female	Physioflow	84.13 ± 9.13	6.05 ± 0.97
	Developed system	84.92 ± 9.85	6.12 ± 1.13
	Error ratio(%)	5.55 %	5.54 %

그림 5는 제안된 시스템과 Physioflow의 데이터 유효성 분석을 위해 Bland-Altman 분석을 수행하였다. 그림 6은 제안된 시스템과 Physioflow의 평균에 대한 두 시스템에 대한 차이를 나타낸다.

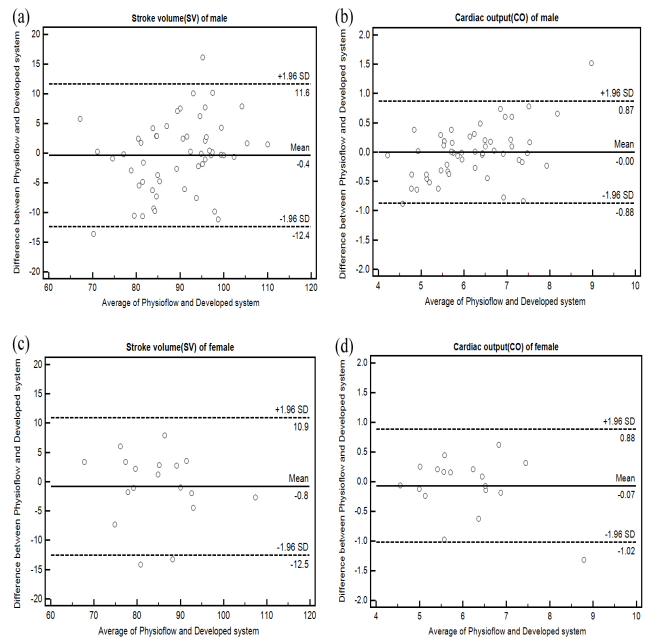
Bland-Altman 분석 수행 결과 1회 박출량\_남(그림 6(a)), 심박출량\_남(그림 6(b)), 1회 박출량\_여(그림 6(c)) 그리고 심박출량\_여(그림 6(d))에 대해서 모든 데이터가 95% 신뢰구간 내에 포함되어 있는 것을 확인하였다.

추가적으로, 제안된 시스템과 Physioflow의 1회 박출량과 심박출량 결과에 대한 차이를 검증하기 위해 윌콕슨 부호순위 검정을 수행하였다. 수행 결과 1회 박출량\_남(p=0.744, p<0.05), 1회 박출량\_여(p=0.879, p<0.05), 심박출량\_남(p=0.766, p<0.05), 심박출량\_여(p=0.862, p<0.05) 으로 두 측정 시스템의 결과 값에 통계적인 차이가 없음을 확인하였다.



**그림 5** 제안된 시스템과 Physioflow에 대한 산점도; (a) 1회 박출량\_남, (b) 1회박출량\_여, (c) 심박출량\_남, (d) 심박출량\_여

**Fig. 5** Scatter plot between Physioflow and developed system; (a) SV\_male, (b) SV\_female, (c) CO\_male, (d) CO\_female



**그림 6** 제안된 시스템과 Physioflow에 대한 Bland-Altman 결과; (a) 1회박출량\_남, (b) 심박출량\_남, (c) 1회박출량\_여, (d) 심박출량\_여

**Fig. 6** Bland-Altman plot between Physioflow and developed system ; (a) SV\_male, (b) CO\_male, (c) SV\_female, (d) CO\_female.



#### 표 4 제안된 시스템과 Physioflow의 윌콕슨 부호순위 검정 결과

Table 4 Wilcoxon signed ranks test between Physioflow and developed system

		Mean $\pm$ SD	t	p
Male (N=54)	Physioflow SV - Developed system SV	0.35 $\pm$ 6.12	-0.427	0.744
	Physioflow CO - Developed system CO	-0.004 $\pm$ 0.44	-0.064	0.766
	Physioflow SV - Developed system SV	-0.79 $\pm$ 5.98	-0.559	0.879
Female (N=18)	Physioflow CO - Developed system CO	-0.069 $\pm$ 0.49	-0.601	0.862

#### 4. 결 론

본 연구에서는 양손 임피던스 방법을 이용한 hand-held 타입의 1회 박출량 및 심박출량 측정 시스템을 제안하였으며, 측정 결과에 대한 임상 검증을 수행하였다. 임피던스 방법을 이용한 심박출량 측정 시스템은 크롬 도금된 hand-held 타입의 전극을 사용하며, 실시간 PWM 피드백을 통해 기저 임피던스와 피드백 신호의 차이를 증폭함에 따라 심장에서 대동맥을 통해 방출되는 혈액 양의 변화에 따른 임피던스 신호의 분해능을 향상하였다. 이를 통해 기존 방법들이 가진 문제점을 해결 및 hand-held 타입의 전극을 통해 양손에서 1회 박출량 및 심박출량의 데이터 획득을 가능하게 하였다. 제안된 시스템에 대한 재현성 평가 결과 각 연령대 별 3% 미만의 오차를 확인하였으며, 1회 박출량과 심박출량에 대한 검증 결과 1회 박출량\_남( $r=0.715$ ), 1회 박출량\_여( $r=0.704$ ), 심박출량\_남( $r=0.826$ ), 심박출량\_여( $r=0.804$ )로 높은 상관성을 보임을 확인하였다. 더불어 Bland-Altman 분석과 윌콕슨 부호순위 검정을 통해 제안된 시스템과 Physioflow를 통해 획득된 1회 박출량과 심박출량의 측정 결과 값이 통계적으로 유의함을 확인하였다. 따라서 제안된 시스템은 기존의 제한점을 보완한 편리하고 유의성 있는 측정 방법으로써 이는 임피던스 방법을 기반으로 한 새로운 측정 방식으로 사료된다. 본 연구를 통해 개발된 hand-held 타입의 임피던스 방법을 이용한 심박출량 측정 시스템을 통해 병원 내원 없이, 기술자의 도움 없이도 편리하고 간단하게 1회 박출량과 심박출량의 측정이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점으로는 질병군과 정상군의 표본은 존재하지만, 성별에 따른 분석만이 이루어졌다는 것과 심박출량 측정의 표준법인 Swan-Ganz 카테터를 사용한 열희석법을 통한 측정 데이터와의 비교가 없다는 것이다. 향후 연구 과제으로써 성별, 나이, 심장 질환 등의 다양한 범주의 표본을 획득하고 병적 상태에 대한 분류를 통한 통계적 분석이 시행되어야 한다. 또한 Swan-Ganz 카테터를 사용한 열희석법을 이용해 1회 박출량 및 심박출량을 획득하고, 제안된 시스템의 결과 값 비교를 통한 확실한 검증이 필요하다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011학년도 연세대학교 학술연구비의 (부분적인) 지원에 의하여 이루어진 것임.

#### References

- [1] M.A. Silve, P. Cianci, S. Brennan, H. Longeran Thomas, F. Ahmad, "Evaluation of impedance cardiography as an alternative to pulmonary artery catheterization in critically ill patients" *Congestive Heart Failure*, vol.10, pp.17-21, 2004.
- [2] R.L. Summers, C.W. Parrott, C. Quale, D.L. Lewis, "Case Report" *Congestive Heart Failure*, vol.10, pp.28-31, 2004.
- [3] R.F. Wright, J. Gilbert, "Clinical decision making in patients with congestive heart failure: the role of thoracic electrical bioimpedance" *Congestive Heart Failure*, vol.6, pp.81-85, 2000.
- [4] P. Sullivan, R. Martineau, K. Hull, D. Miller, "Comparison of bioimpedance and thermodilution measurements of cardiac output during aortic surgery" *Canadian journal of anaesthesia*, vol.37, pp.S78, 1990.
- [5] J. Conway, P. Lund-Johansen, "Thermodilution method for measuring cardiac output" *European Heart Journal*, vol.11, pp.17, 1990.
- [6] J.M. Levett, R.L. Replegle, "Thermodilution cardiac output: a critical analysis and review of the literature" *Journal of Surgical Research*, vol.27, pp.392-404, 1979.
- [7] M. Muzi, T.J. Ebert, F.E. Tristani, D.C. Jeutter, J.A. Barney, J.J. Smith, "Determination of cardiac output using ensemble-averaged impedance cardiograms" *Journal of Applied Physiology*, vol.58, pp.200-205, 1985.
- [8] W.C. Shoemaker, C. Wo, M.H. Bishop, R.L. Appel, J.M. Van de Water, G.R. Harrington, X. Wang, R.S. Patil, "Multicenter trial of a new thoracic electrical bioimpedance device for cardiac output estimation" *Critical care medicine*, vol.22, pp.1907, 1994.
- [9] X. Wang, H.H. Sun, D. Adamson, J.M. Van De Water, "An impedance cardiography system: a new design" *Annals of Biomedical Engineering*, vol.17, pp.535-556, 1989.
- [10] T. Kööbi, S. Kaukinen, T. Ahola, V.M.H. Turjanmaa, "Non-invasive measurement of cardiac output: whole-body impedance cardiography in simultaneous comparison with thermodilution and direct oxygen Fick methods" *Intensive care medicine*, vol.23, pp.1132-1137, 1997.
- [11] G.S.H. Chan, P.M. Middleton, B.G. Celler, L. Wang, N.H. Lovell, "Automatic detection of left ventricular

ejection time from a finger photoplethysmographic pulse oximetry waveform: comparison with Doppler aortic measurement" Physiological measurement, vol.28, pp.439, 2007.

- [12] W.G. Kubicek, J.N. Karnegis, R.P. Patterson, D.A. Witsoe, R.H. Mattson, "Development and evaluation of an impedance cardiac output system" Aerospace medicine, vol.37, pp.1208-1212, 1966.
- [13] W. Kubicek, R. Patterson, D. Witsoe, "Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system\*" Annals of the NewYork Academy of Sciences, vol.170, pp.724-732, 1970.
- [14] Charloux A, Lonsdorfer-Wolf E, Richard R, Lampert E, Oswald-Mammosser M, Mettauer B, Geny, J. Lonsdorfer, "A new impedance cardiograph device for the non-invasive evaluation of cardiac output at rest and during exercise: comparison with the "direct" Fick method" European journal of applied physiology, vol.82, pp.313-320, 2000.
- [15] P. Lepretre, J.P. Koralsztein, V.L. Billat, "Effect of Exercise Intensity on Relationship between [latin capital V with dot above] O2max and Cardiac Output" Medicine & Science Sports & Exercise, vol.36, pp.1357, 2004.
- [16] N. Tordi, L. Mourot, B. Matusheski, R. Hughson, "Measurements of cardiac output during constant exercises: comparison of two non-invasive techniques" International journal of sports medicine, vol.25, pp.145-149, 2004.
- [17] J. Martin Bland, D.G. Altman, "Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement" The lancet, vol.327, pp.307-310, 1986.

저 자 소 개



**서 광 석 (徐 光 奭)**

1976년 04월 27일생. 2001년 연세대 의공학과 졸업. 2003년 동 대학원 의공학과 졸업(공학석사). 2012년 동 대학원 의공학과 졸업(공학박사). 현재 메디게이트(주) 기업부설연구소장.

E-mail : kwangseok.seo@gmail.com



**심 명 헌 (沈 明 憲)**

1980년 10월 23일생. 2007년 연세대 의공학과 졸업. 현재 동 대학원 박사과정. 관심분야는 운동 중 최대지방연소시점 추정 및 심혈관 및 임피던스를 이용한 폐기능 측정.

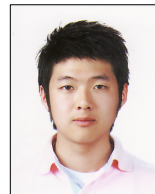
E-mail : bmesim@gmail.com



**김 민 용 (金 珉 用)**

1986년 12월 07일생. 2010년 연세대 의공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정. 관심분야는 운동 중 최대지방연소시점 추정 및 심혈관 기능 시스템.

E-mail : kmy1207a@naver.com



**윤 찬 술 (尹 찬 술)**

1985년 11월 8일생. 2011년 을지대 의공학과 졸업. 현재 연세대 의공학과 대학원 석사과정. 관심분야는 심혈관 기능 시스템.

E-mail : iamlionking@naver.com



**정 주 홍 (鄭 柱 泓)**

1989년 07월 17일생. 2012년 연세대 의공학과 졸업. 현재 연세대 의공학과 대학원 석사과정.

E-mail : jjhong13@naver.com



**박 성 빈 (朴 聖 彬)**

1974년 09월 17일생. 1997년 연세대학교 의공학과 졸업. 1999년 동 대학원 의공학과 졸업(공학석사). 2005년 동 대학원 의공학과 졸업(공학박사). 현재 연세대학교 의공학과 교수.

E-mail : sung.b.park@gmail.com



**윤 형 로 (尹 亨 老)**

1949년 02월 17일생. 1992년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1988년 Johns Hopkins Univ. 객원교수. 현재 연세대학교 의공학과 교수.

E-mail : hryoon@yonsei.ac.kr