

## 비침습적 일회박출량(stroke volume) 측정방법의 비교 분석 : 임피던스 심장도 검사(impedance cardiography) 와 Finometer<sup>®</sup>

박창민

고신대학교 의과대학 응급의학

## Noninvasive Evaluation of Stroke Volume : Comparison between Impedance cardiography and Finometer<sup>®</sup>

Chang-Min Park

Department of Emergency Medicine, Gospel Hospital, Kosin University, Busan, Republic of Korea,

### Abstract

**Background:** Impedance cardiography(ICG) and Finometer<sup>®</sup> is a noninvasive continuous monitoring of obtaining hemodynamic parameters such as stroke volume(SV) that requires little technical expertise. The aim of this study is to assess the agreement between SV measurements made by using ICG and Finometer<sup>®</sup>.

**Materials and Methods:** A total of 35 healthy volunteers, the SV measured by using ICG were compared with the corresponding measurements simultaneously using Finometer<sup>®</sup>.

**Results:** The mean stroke volumes were  $89.5 \pm 13.4$ ml by ICG, and  $89.6 \pm 10.8$ ml by Finometer<sup>®</sup>. The mean difference in stroke volume between ICG and Finometer<sup>®</sup> was  $0.1 \pm 6.3$ ml. The correlation coefficient for stroke volume between ICG and Finometer<sup>®</sup> was 0.887.

**Conclusion:** The comparison between ICG and Finometer<sup>®</sup> showed a good correlation and limits of agreement for stroke volume.

**Key words :** Impedance cardiography, Finometer<sup>®</sup>, stroke volume

## 서 론

순환의 가장 중요한 기능은 말초조직으로 산소를 공급하는 것이며, 순환이 제대로 이루어지지 않는 혈액학적으로 불안정한 환자의 상태를 집중 감시하는 궁극적 목적은 이러한 산소공급이 적절히 이루어지는지를 파악하기 위한 것이다. 하지만 대부분 손쉽게 측정 가능한 혈압, 심박수, 호흡수, 산소포화도 등의 지표들만으로 환자의 정확한 혈액학적 상태를 평가하는 것은 매우 어렵다.<sup>1)</sup> 심박출량은 순환평가에 있어서 중요한 인자중의 하나이며, 특히 혈액학적으로 불안정한 중환자의 심박출량 측정은 혈압상승제 투여 및 수액치료에 있어서 중요한 지

표가 될 수 있을 뿐만 아니라 환자의 사망률과 이환률에도 영향을 미치게 된다.

이러한 심박출량을 측정하기 위해서는 스완-간즈카테터를 이용한 열희석법(thermodilution)이 전통적으로 이용되어 왔으나 이 방법은 매우 침습적인 방법이므로 시술자체의 위험성으로 인한 여러 합병증을 유발할 수 있다. Connors 등<sup>2)</sup>에 의하면 장기부전이 있는 내과계 중환자에서 높은 사망률을 보고하였고, 심근경색환자<sup>3)</sup>와 중환자실의 외과계환자<sup>4)</sup>에서도 비슷한 연구결과가 보고되었다.

뿐만 아니라 스완-간즈카테터에 의한 심박출량의 측정은 비연속적인 측정방법으로 혈액학적으로 불안정한 환자의 순환기능의 변화를 조기에 발견해 내는 데에는 한계가 있다. 따라서 최근에는 이러한 심박출량을 평가하기 위한 비침습적이며 지속적인 측정 방법들이 다양하게 개발되어 왔다.

교신저자 : Chang Min Park  
주소 : 34, Amnam-dong, Seo-gu, Busan,  
Republic of Korea Department of Emergency  
TEL : 051-990-6881, FAX : 051-990-3200  
E-mail : ppp2631@naver.com

이에 본 저자는 응급의료센터에서 손쉬우면서도 연속적인 측정이 가능한 다양한 종류의 비침습적 심박출량 측정 장비들이 사용되고 있으면서도 이들 측정값에 대한 비교 연구가 거의 없는 상태이므로 대표적인 비침습적 검사인 Finometer<sup>®</sup> (FMS, Finapres Medical Systems, The Netherlands)와 임피던스 심장도 검사(Impedance Cardiography, Philips Medical System, U.S.A)에 의한 일회박출량의 상호 일치도를 서로 비교하고자 이 연구를 계획하였다.

## 대상 및 방법

2008년 5월 4주간 고신대학교 의과대학 재학생 중 20,30대의 건강한 남성 35명을 대상으로 하였다. 대상자는 본 연구의 목적과 방법에 대해 숙지한 후 자발적으로 동의하였으며 과거 병력상 특이사항은 없었다.

연구대상자에게 임피던스 심장도 검사와 Finometer<sup>®</sup>를 각각의 연구대상에게 연속적으로 적용하여 일회박출량을 측정하였으며 임피던스 심장도 검사는 5회씩 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정값의 평균값을 구하였고 Finometer<sup>®</sup>는 측정 후 초기 2분간의 보정기간(calibration time)을 제외한 나머지 측정값들의 평균값을 구하였다. 각각의 검사 사이에는 5분간의 휴식시간을 주었다. 두 검사법은 모두 다른 기술자들에 의해 측정되었고 서로의 검사결과에 대해 알지 못하였다.

통계분석에는 SPSS for Window 13.0 프로그램을 사용하였으며, 두 검사법에 의한 일회박출량의 차이를 알아보기 위하여 paired t test를 실시하였다. 두 검사법에 의한 일회박출량의 상관관계를 알아보기 위하여 상관분석을 실시하였고, 각각의 변수에 대한 두 검사법의 상호 일치도를 평가하기 위하여 Bland-Altman<sup>5)</sup> 분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 p값이 0.05 미만일 때 유의한 것으로 판단하였다.

## 결 과

연구대상자의 평균연령은  $24.0 \pm 2.4$ 세이었고, 평균키와 몸무게는 각각  $175.5 \pm 5.2$  cm,  $69.5 \pm 8.5$  kg이었으며, 평균 수축기 및 이완기 혈압은  $110.7 \pm 8.0$  mmHg와  $71.0 \pm 6.3$  mmHg이었다.(Table 1)

Table 1. The characteristics of the volunteers

	n = 35 (mean $\pm$ SD)
Age (year)	$24.0 \pm 2.4$
Weight (kg)	$69.5 \pm 8.5$
Height (cm)	$175.5 \pm 5.2$
Systolic blood pressure (mmHg)	$110.7 \pm 8.0$
Diastolic blood pressure (mmHg)	$71.0 \pm 6.3$

Table 2. Comparison of average stroke volume obtained from the Finometer<sup>®</sup> and ICG\* in the same subjects (n=35)

	Finometer <sup>®</sup> (n=35)	ICG* (n=35)	p-value
Stroke volume (ml, mean $\pm$ SD)	$89.6 \pm 10.8$	$89.5 \pm 13.4$	0.961

ICG\*: impedance cardiography

Table 3. Correlation coefficient and mean differences for the comparison of stroke volume between the Finometer<sup>®</sup> and ICG\*

	stroke volume (Finometer <sup>®</sup> - ICG*)
correlation coefficient	0.887
mean differences (ml)	$0.1 \pm 6.3$

ICG\*: impedance cardiography

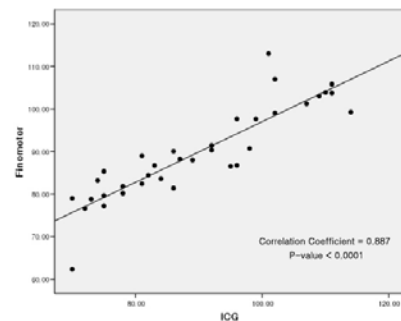


Fig 1. The correlation coefficient for stroke volume between Finometer<sup>®</sup> and ICG\*

ICG\*: impedance cardiography

Finometer<sup>®</sup>와 임피던스 심장도 검사에 의한 평균 일회박출량은 각각  $89.6 \pm 10.8$  ml와  $89.5 \pm 13.4$  ml로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.( $p=0.961$ )(Table 2) 두 검사법에 의한 일회박출량의 상관분석결과 상관계수가 0.887( $p<0.0001$ )로 유의한 양의 상관관계를 보였다.(Fig 1, Table 3)

Finometer<sup>®</sup>와 임피던스 심장도 검사에 의한 평균 일회박출량의 차이는  $0.1 \pm 6.3$  ml (95% 신뢰구간:  $-2.117 \sim 2.223$ )이었고, 일치의 한계치(limits of agreement)는 각각

-12.3 ml (95% 신뢰구간: -16.0745~-8.5851)와 12.4 ml (95% 신뢰구간: 8.6914~16.1808) 이었다.(Fig 2, Table 3)

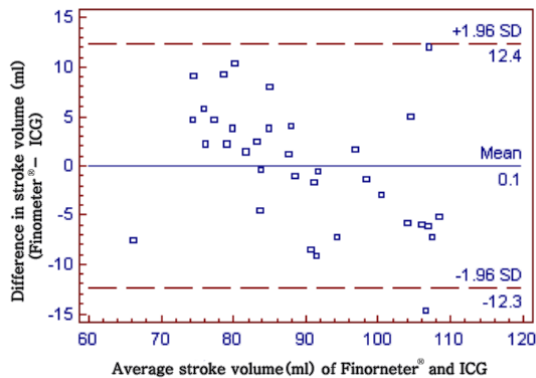


Fig 2. Bland-Altman plots of stroke volume measurements obtained by Finometer® and ICG\*. Solid line indicates the average mean difference, while dotted lines delineates the 95% confidence limits of agreement.

ICG\*: impedance cardiography

## 고 찰

응급의료센터는 대부분의 중환자들에게 있어 내.외과적 집중 치료가 시작되는 곳이며, 혈액학적으로 불안정한 환자에 대한 조기 평가와 치료적 중재의 빠른 결정이 환자의 임상결과에 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 이를 위해서는 다양한 혈액학적 감시가 필요하며, 특히 심박출량의 측정은 생명유지를 위한 중요 장기에 산소와 영양분의 공급을 위한 순환기능을 평가하는데 있어 매우 중요한 지표가 된다. 이러한 심박출량의 측정을 위해서는 전통적인 방법으로 스완-간즈카테터를 이용한 열희석법(thermodilution)이 있으나 측정에 시간이 소요되는 불편함과 비연속적인 측정치로 인해 실시간 평가하는데 한계가 있다. 이에 비해 비침습적 감시장치들은 급성기의 중환자에서 실시간으로 연속적인 동일한 정보를 제공하는 장점이 있다.

이처럼 혈액학적으로 불안정한 환자의 비침습적인 감시방법은 응급의료센터 영역에서 초기에 적용하기에 매우 유리한데, 실시간 연속적인 측정치는 시기 적절성이 중요한 급성기의 중환자에게 초기에 순환부전을 즉시 인식하고 치료적 중재를 결정하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공하기 때문이다.<sup>(6,7)</sup> 뿐만 아니라 말초 산소/이산화탄소 분압 및 맥박 산소포화도 측정과 연계하면 이러

한 비침습적 감시 장치들은 심폐기능 및 조직관류(tissue perfusion)상태의 조기 평가에도 매우 유용할 수 있다.<sup>(8-11)</sup>

최근들어 비침습적이며 안전하고 사용이 간편한 혈액학적 감시 장비가 많이 개발 되었는데, 도플러를 이용한 USCOM(ultrasonic cardiac output monitor), 동맥 파형 분석법(pulse wave analysis), 임피던스 심장도 검사, modelflow방법을 이용한 Finometer® 등이 있다.

이 중에 수지부 혈압 감시기인 Finometer®는 손가락에 채워진 Cuff를 통해 beat-to-beat 동맥압 박동의 혈압 변화치를 연속적으로 측정하여 보여주는 비침습적 혈류역학 심혈관계 감시장치로써 modelflow 방법을 이용하여 여러 심혈관계의 변수를 계산할 수 있으며, 말초 동맥압의 박동을 변환시켜 만든 대동맥 혈류 파형을 실시간 지속적으로 관찰할 수 있어<sup>(12)</sup> 혈액학 변화의 내용을 실시간 빠르고 정확하게 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>(13)</sup>

이러한 modelflow 방법은 말초동맥압과 대동맥압의 파형을 추정하고 분석하여 매 박동마다 일회박출량, 심박출량, 그리고 전신혈관저항을 계산하여 보여줄 뿐만 아니라. 최고 및 최저 혈압, 맥박수, R-R 간격(R-R Interval) 등 14가지 Parameters<sup>(12,14)</sup>를 볼 수 있다. 그리고 modelflow에 의해 계산된 심박출량은 열희석법이나 Fick 원리에 의해 산출된 심박출량과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다.<sup>(15,16)</sup>

이러한 혈액학 변수들의 beat-to-beat 변화를 분석하는 modelflow 방법은 임상적으로 다양하게 이용되고 있는데,<sup>(17,18)</sup> Jellema 등<sup>(19)</sup>이 패혈성 속 환자에서 열희석법과 modelflow 방법에 의한 심박출량을 비교분석하여 modelflow 방법이 지속적이고 정확한 심박출량 감시방법으로서 유용하다고 보고하였다. 그러나 modelflow 방법에 의한 beat-to-beat 혈액학적 변수의 분석기법은 아직까지는 제한된 영역에서 사용되고 있으며 특히 응급실에서의 중환자와 관련된 연구결과는 거의 없다.

임피던스 심장도 검사방법은 흉곽내 조직의 전류에 대한 저항값의 차이를 측정하여 계산하는 방법으로, 1966년 Kubicek 등에 의해 최초로 시도된 이후 많은 기술적 개발을 통해 최근에 임상적으로 이용되기 시작한 장비이다. 간편하게 환자의 흉부와 목 부위에 부착된 8개(4쌍)의 전극(electrode)으로 심장주기에 따라 변하는 흉곽내 대동맥 혈류량의 차이에 따른 교류저항의 미미한 변화를 감지하여 이를 기준으로 일회박출량, 심박출량, 심장지수, 전신혈관저항 등의 혈액학적 지수가 계산되어진다.<sup>(20)</sup>

특히, 이 방법은 적용이 간편하고 비침습적으로 시행될 수 있을 뿐만 아니라 연속적인 감시가 가능해 침습적이고 간헐적인 감시방법인 열회석법이나 시술자가 혼란된 경험을 필요로 하는 경흉부 심초음파를 대신해 그 활용 범위가 넓을 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 임피던스 심장도 검사방법으로 측정된 심박출량과 심장지수는 열회석법에 의한 측정값과 높은 상관관계를 보이기 때문에<sup>21,22)</sup> 혈액학적인 변동이 큰 환자에서도 임상적용이 가능하다. 그러나 비만환자나 노인에서 심박출량 측정의 정확성이 떨어지며<sup>23)</sup> 심장판막의 상태에 따라 과소 또는 과대평가 될 수 있고,<sup>24)</sup> 적혈구용적률, 체온 그리고 흉벽의 움직임 등이 증가된 경우,<sup>25,26)</sup> 중증의 부정맥, 혈관 및 심장의 구조적 이상(판막 질환 등)이 있거나 전극(electrode)의 부착부위가 잘못된 경우<sup>27)</sup>에 측정치의 정확도가 떨어질 수 있으므로 임상 적용 시에는 이를 고려하여야 한다.

본 연구의 제한점으로는 스완-간즈카테터를 이용한 열회석법은 시행하지 않았기 때문에 혈액학적 지표의 절대값에 대한 비교연구가 이루어 지지 않았다는 점이지만, 본 연구의 목적은 손쉽게 측정 가능한 비침습적 혈액학 감시방법들간의 측정치의 일치도에 관한 상호 비교이므로 결론을 내리는 데는 문제가 없을 것으로 판단된다. 그리고 연구대상이 연구를 위해 자원한 건강한 성인 남성으로 국한 되어 있다는 점이다. 따라서 향후 보다 광범위하고 다양한 연령과 성별 및 질환군에 대한 상호비교가 필요하리라 생각된다.

본 연구의 결과로 Finometer®와 임피던스 심장도 검사에 의한 일회박출량은 뚜렷한 양의 상관관계와 매우 좋은 일치도를 나타내었다. 이에 침습적인 혈액학 감시 방법의 적용이 어려운 응급의료센터에서 Finometer®와 임피던스 심장도 검사는 비침습적이고 적용이 간편하여 혈액학적으로 불안정한 환자의 조기 진단과 치료적 중재 결정에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## 결 론

대표적인 비침습적 혈액학 감시 방법으로서 Finometer®와 임피던스 심장도 검사에 의한 일회박출량은 뚜렷한 양의 상관관계를 보일 뿐만 아니라 서로 매우 좋은 일치도를 나타내었다.

## 국문초록

**목 적:** 임피던스 심장도 검사(Impedance cardiography)와 Finometer®는 응급의료센터에서 손쉬우면서도 연속적인 측정이 가능한 비침습적 혈액학 감시 장비들이며 두 장비의 일회박출량에 대한 상호 일치도를 서로 비교해 보고자 이 연구를 계획하였다.

**대상 및 방법:** 2008년 5월 4주간 고신대학교 의과대학 재학생 중 연구에 동의한 20,30대의 건강한 남성 35명을 대상으로 하였다. 임피던스 심장도 검사와 Finometer®를 각각의 연구대상에게 연속적으로 적용하여 일회박출량을 측정하였으며, 측정값은 Bland-Altman 분석을 통해 일치도를 평가하였다.

**결 과:** 연구대상자의 평균연령은  $24.0 \pm 2.4$ 세이었고, 평균키와 몸무게는 각각  $175.5 \pm 5.2$  cm,  $69.5 \pm 8.5$  kg이었으며, 평균 수축기 및 이완기 혈압은  $110.7 \pm 8.0$  mmHg와  $71.0 \pm 6.3$  mmHg이었다.

Finometer®와 임피던스 심장도 검사에 의한 평균 일회박출량은 각각  $89.6 \pm 10.8$  ml와  $89.5 \pm 13.4$  ml로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.961$ ) 두 검사법에 의한 일회박출량의 상관분석 결과 상관계수가  $0.887(p<0.0001)$ 로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 평균 일회박출량의 차이는  $0.1 \pm 6.3$  ml (95% 신뢰구간:  $-2.117 \sim 2.223$ )이었고, 일치도의 한계치(limits of agreement)는 각각  $-12.3$  ml (95% 신뢰구간:  $-16.0745 \sim -8.5851$ )와  $12.4$  ml (95% 신뢰구간:  $8.6914 \sim 16.1808$ ) 이었다.

**결 론:** Finometer®와 임피던스 심장도 검사에 의한 일회박출량은 뚜렷한 양의 상관관계를 보일 뿐만 아니라 서로 매우 좋은 일치도를 나타내었다.

**색인 단어:** 임피던스 심장도 검사, Finometer®, 일회박출량

## 참고문헌

- 1) WO CCI, Shoemaker WC, Appel PL, Bishop MH, Kram HB, Hardin E : Unreliability of blood pressure and heart rate to evaluate cardiac output in emergency resuscitation and critical illness. Crit Care Med 21 : 218-223, 1993
- 2) Connors AF Jr, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE Jr, Wagner D, et al : The effectiveness of right heart

- catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA* 276 : 889-897, 1996
- 3) Blumberg MS, Binns GS : Swan-Ganz catheter use and mortality in myocardial infarction patients. *Health Care Financ Rev* 15 : 91-103, 1994
- 4) Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P, Latini R, Tognoni G, Pesenti A, et al : A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. *N Engl J Med* 333 : 1025-1032, 1995
- 5) Bland JM, Altman DG : Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1 : 307-310, 1986
- 6) Bishop MH, Shoemaker WC, Appel PL, Meade P, Ordog GJ, Wasserberger J, et al : Prospective randomized trial of survivor values of cardiac index, oxygen delivery, and oxygen consumption as resuscitation endpoints in severe trauma. *J Trauma* 38 : 780-787, 1995
- 7) Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB : Role of oxygen debt in the development of organ failure, sepsis, and death in high risk surgical patients. *Chest* 102 : 208-215, 1992
- 8) Tremper KK, Waxman K, Shoemaker WC : Effects of hypoxia and shock on transcutaneous PO<sub>2</sub> values in dogs. *Crit Care Med* 7 : 526-531, 1979
- 9) Tremper KK, Shoemaker WC : Transcutaneous oxygen monitoring of critically ill adults, with and without low flow shock. *Crit Care Med* 9 : 706-709, 1981
- 10) Tremper KK, Waxman K, Bowman R, Shoemaker WC : Continuous transcutaneous oxygen monitoring during respiratory failure, cardiac decompensation, cardiac arrest, and CPR. Transcutaneous oxygen monitoring during arrest and CPR. *Crit Care Med* 8 : 377-381, 1980
- 11) Tremper KK, Shoemaker WC, Shippy CR, Nolan LS : Transcutaneous PCO<sub>2</sub> monitoring on adult patients in the ICU and the operating room. *Crit Care Med* 9 : 752-755, 1981
- 12) Wesseling KH, Jansen JR, Settels JJ, Schreuder JJ : Computation of aortic flow from pressure in humans using a nonlinear, three-element model. *J Appl Physiol* 74 : 2566-2573, 1993
- 13) Tam E, Azabji Kenfack M, Cautero M, Lador F, Antonutto G, di Prampero PE, et al : Correction of cardiac output obtained by Modelflow from finger pulse pressure profiles with a respiratory method in humans. *Clin Sci* 106 : 371-376, 2004
- 14) Leonetti P, Audat F, Girard A, Laude D, Lefrère F, Elghozi JL : Stroke volume monitored by modeling flow from finger arterial pressure waves mirrors blood volume withdrawn by phlebotomy. *Clin Auton Res* 14 : 176-181, 2004
- 15) Jansen JR, Schreuder JJ, Mulier JP, Smith NT, Settels JJ, Wesseling KH : A comparison of cardiac output derived from the arterial pressure wave against thermodilution in cardiac surgery patients. *Br J Anaesth* 87 : 212-222, 2001
- 16) van Lieshout JJ, Pott F, Madsen PL, van Goudoever J, Secher NH : Muscle tensing during standing: effects on cerebral tissue oxygenation and cerebral artery blood velocity. *Stroke* 32 : 1546-1551, 2004
- 17) Wieling W, Harms MP, ten Harkel AD, van Lieshout JJ, Sprangers RL : Circulatory response evoked by a 3 s bout of dynamic leg exercise in humans. *J Physiol* 494 : 601-611, 1996
- 18) Krediet CT, van Dijk N, Linzer M, van Lieshout JJ, Wieling W : Management of vasovagal syncope: controlling or aborting faints by leg crossing and muscle tensing. *Circulation* 106 : 1684-1689, 2002
- 19) Jellema WT, Wesseling KH, Groeneveld AB, Stoutenbeek CP, Thijs LG, van Lieshout JJ : Continuous cardiac output in septic shock by simulating a model of the aortic input impedance : a comparison with bolus injection thermodilution. *Anesthesiology* 90 : 1317-1328, 1999
- 20) Bernstein DP : Continuous noninvasive real-time monitoring of stroke volume and cardiac output by thoracic electrical bioimpedance. *Crit Care Med* 14 : 898-901, 1986
- 21) Thangathurai D, Charbonnet C, Roessler P, Wo CC, Mikhail M, Yoahida R, et al : Continuous intraoperative noninvasive cardiac output monitoring using a new thoracic bioimpedance device. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 11 : 440-444, 1997
- 22) Suttner S, Schöllhorn T, Boldt J, Mayer J, Röhm KD, Lang K, et al : Noninvasive assessment of cardiac output using thoracic electrical bioimpedance in hemodynamically stable and unstable patients after cardiac surgery : a comparison with pulmonary artery thermodilution. *Intensive Care Med* 32 : 2053-2058, 2006
- 23) Hirschl MM, Kittler H, Woisetschlager C, Siostrzonek P, Staudinger T, Kofler J, et al : Simultaneous comparison of thoracic bioimpedance and arterial pulse waveform-derived cardiac output with thermodilution measurement. *Crit Care Med* 28 : 1798-1802, 2000
- 24) Karnegis JN, Heinz J, Kubicek WG : Mitral regurgitation and characteristic changes in impedance cardiogram. *Br Heart J* 45 : 542-548, 1981
- 25) Mohapatra SN, Costeloe KL, Hill DW : Blood resistivity and its implications for the calculation of cardiac output by the thoracic electrical impedance technique. *Intensive Care Med* 3 : 63-67, 1977
- 26) Geddes LA, Sadler C : The specific resistance of blood at body temperature. *Med Biol Eng* 11 : 336-339, 1973
- 27) Renner LE, Morton MJ, Sakuma GY : Indicator amount, temperature, and intrinsic cardiac output affect thermodilution cardiac output accuracy and reproducibility. *Crit Care Med* 21 : 586-597, 1993