

## 상호상관 관계를 이용한 운동중의 임피던스 파형에서의 특성점 검출

오인식\*\* · 송철규\* · 김덕원\* · 김원기\* · 윤대희\*\*

= Abstract =

### Detection of Distinctive Points in Impedance Cardiogram during Exercise by Cross-Correlation Method

In Sik Oh\*\*, Chul Gyu Song\*, Deok Won Kim\*, Won Ky Kim\* and Dae Hee Youn\*\*

As the ensemble averaged  $dZ/dt$  signal during exercise gets smoothed, it is difficult to find the distinctive marks for estimation of stroke volume. The cross correlation function was made use of estimating these marks for automatic calculation by computer from the ensemble averaged  $dZ/dt$  signal. LVET(Left Ventricular Ejection Time) and stroke volume were estimated based on the calculated parameters from the characteristic points. LVET, stroke volume calculated by hand, by the ensemble average and the cross correlation were compared for accuracy validation.

#### 1. 서 론

임피던스신호에서 1회 심박출량(stroke volume, ml)의 계산을 위하여 필요한 좌심실 수축시간 간격(LVET)과 심실에서 박출된 혈액의 최고속도를 나타내는  $dZ/dt_{max}$ 를 찾는 것이 중요하나 운동 중의 앙상블 평균<sup>1-3)</sup>된 파형에서는 각 특성점이 평

활화되어 정확한 위치를 수작업으로 찾는 것이 어려우므로 본 연구에서는 좌심실 수축시간 간격의 시작점인 B점과 끝점을 표시하는 X점을 상호 상관관계<sup>3)</sup>를 이용하여 컴퓨터에 의해 자동으로 찾아내었다(그림 1 참조). 운동중의 앙상블 평균된  $dZ/dt$  파형과 템플릿과의 상관관계를 구하여 상호 상관관계의 최고점이 되는 위치로부터 특성점의 위치를 찾았고 구하여진 특성점을 이용하여 LVET와 1회 심박출량을 구하였다. 이 방법으로부터 구한 LVET, 일회 심박출량(SV), 심박출량(CO) 등을 수작업과 앙상블 평균법에 의한 수작업으로 구한 값들과 비교하여 정확도를 확인하였다.

〈접수 : 1991년 11월 15일〉

\*연세대학교 의과대학 의용공학과

\*\*연세대학교 전자공학과

\*Dept. of Medical Engineering, Yonsei University

\*\*Dept. of Electronics Engineering, Yonsei University

그림 1은 전형적인 심전도와 심음도 그리고 입피던스 신호의 동기특성과 사상(event)들을 도시하였다.

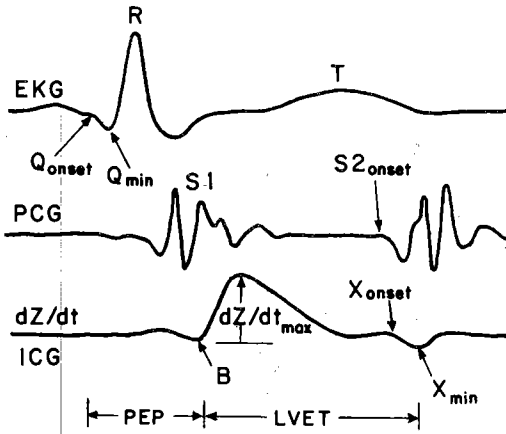


그림 1 전형적인 (a)심전도, (b)심음도, (c)입피던스 신호의 시간관계 및 사상

Fig. 1 Typical waveforms of ECG(a), PCG(b), and dZ/dt(c) and their temporal relationships

## 2. 선형보간법

운동중의 심장기능을 평가하는데 있어서 전통적인 앙상블 평균법은 최소 R-R 시간 간격에 대하여 평균하는데 R-R 시간간격이 변화함으로 인하여 앙상블 평균된 파형의 왜곡이 발생한다. 심박동수의 변화가 크지 않다면 평균된 입피던스 신호에는 별 문제가 없지만 R-R 간격이 불규칙한 환자나 운동시에는 심박동수의 변화가 크게되어 최저 R-R 간격으로 앙상블 평균할 경우에 파형의 심한 왜곡을 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 입피던스 신호와 심전도가 동기되므로 템플릿의 데이터 길이를 평균 R-R 간격으로 취하였다. 또한 심박동수는 휴식상태와 운동상태일 때 선형적으로 변화하므로 평균된 값을 이용하여 입피던스 신호를 선형보간법<sup>5)</sup>을 이용하여 조정하였다. 선형보간법의 수식은 다음과 같으며, N은 각각의 R-R 시간 간격의 샘플링 갯수, N'은 평균된 R-R 간격의 샘플링 수라고 할 때 주어진 원래의 신호 D(n)을 평

균된 R-R 시간 간격으로 선형화된 신호 D'(n)으로 조정하면,

$$D'(n') = (1-S) \cdot D(n) + S \cdot D(n+1)$$

$$n' = 1, 2, \dots, N'$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

여기서, 선형화된 신호의 n'을 다음의 X와 같이 놓을때

$$X = (n' - 1) \cdot \frac{N-1}{N'-1} + 1$$

$$n = [X]$$

$$S = X - n$$

이 되며, [X]는 X 보다 작거나 같은 정수를 나타낸다.

그림 2는 79개의 샘플링 수를 가진 dZ/dt 파형의 X점 템플릿 파형(그림 2a)과 선형보간법에 의하여 54개의 샘플링 수로 조정된 후의 파형(그림 2b)을 보여주고 있다. 선형 보간법 수식과 그림 2에서 볼 수 있듯이 시작점과 끝점이 같은 크기를 가지고 있으며 선형적으로 조정되었다. 이와 같은 선형보간법에 의해 조정된 후의 입피던스파형은

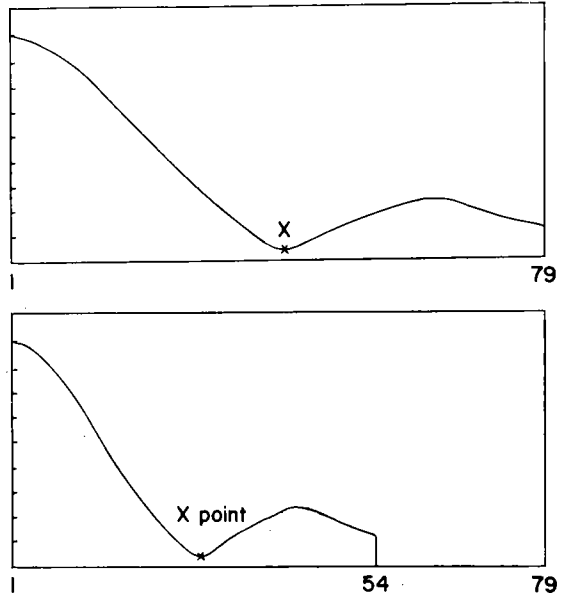


그림 2 (a) dZ/dt 파형의 X점 템플릿과

(b) 선형보간법에 의해 조정된 후의 X점 템플릿

Fig. 2 (a) X template of dZ/dt waveform, (b) its X template adjusted by linear interpolation

심전도의 최소 R-R 간격을 기준으로 하여 양상을 평균된 것이다.

### 3. 상호상관법

신호  $X(t)$ 는 임피던스 신호인  $S(t)$ 와 여러종류

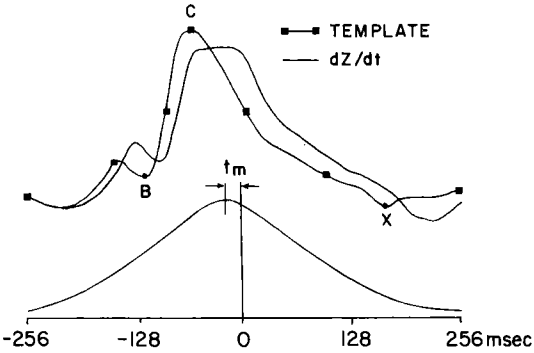


그림 3 상호 상관관계를 이용한 특성점 검출

Fig. 3 Detection of the C point using cross-correlation method

의 artifact인  $N(t)$ 와의 중첩에 의하여 측정된 신호이고,  $Y(t)$ 가 템플릿  $P(t)$ 를 나타낼 때 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} R_{xy}(\tau) &= E[X(t) * Y(t+\tau)] \\ &= E[ [S(t)+N(t)] * P(t+\tau) ] \\ &= E[S(t) * P(t+\tau) + E[N(t) * P(t+\tau)]] \end{aligned}$$

위의 식에서 2번째 항인 잡음성분  $N(t)$ 는 템플릿과 상관관계가 없다고 가정할 때 zero가 되므로<sup>6)</sup>

$$R_{sp}(\tau) = E[S(t)] * P(t+\tau)$$

상호 상관관계 함수는 신호  $S(t)$ 와 템플릿  $P(t)$ 와의 함수로만 나타난다. 그림 3에서 양상을 평균된 임피던스 파형  $dZ/dt$ 의 C점이 smoothing 되었음을 볼 수 있다. 여기서 이상적 신호인 템플릿 파형과 상관관계를 조사하여 상호 상관관계 함수의 최대치와 템플릿과의 위치를 이용하여 C점의 위치를 추정할 수 있다. 상관관계 함수의 최대치와 템플릿과의 위치를 이용하여 C점의 위치를 추정할 수 있다.  $R_{sp}(t_m)$ 가 상호상관관계 함수의 최고치가 되는 시간  $t_m$ 은 가장 상관관계가 잘 일치되는 템플릿과 신호사이의 상대적인 변화를 나타낸다.

본 연구에서 정합필터를 적용하기 위하여 사상 템플릿을 만드는데, 각 운동부하에서 양상을 평균된 파형으로 템플릿을 만들고 상호 상관관계를 이용하여 사상을 검출하였다. 검출된 특성점을 이용하여 심박출량을 계산하는 흐름도는 그림 4와 같다.

### 4. 실험 방법 및 결과

피검자는 심장질환의 경력이 없는 21세에서 25세 까지의 건강한 남자로서 선정하였고, 운동부하는 트레드밀에서 시속 5.6km의 고정된 속도와 매분마다 경사가 1%씩 증가시키면서 운동 중 3분, 6분, 9분 그리고 회복시에 측정을 하였고 데이터 저장은 4채널 종이 기록지(San Ei 8K-21) 및 4채널 FM Tape recorder(TEAC R-30)를, AD 변환은 12bit Date Translator(DT 2821)을 사용하였고 샘플링 주파수는 250Hz로 하였다.

그림 5는 운동 9분일때의 보간법으로 조정된 임피던스 파형(a)과 양상을 평균된 파형(b), B점과 X점의 상호상관관계(c)를 보여주고 있다. 그림 6

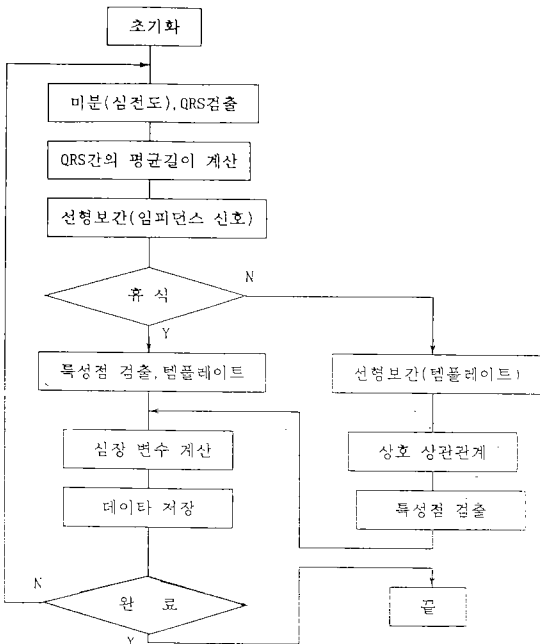


그림 4 심장변수 계산을 위한 전체 흐름도  
Fig. 4 Flow chart for calculation of cardiac parameters

에서는 한 피검자에 대한 안정상태, 운동 중, 회복 상태에서 종이기록지로부터 수작업으로 계산한 경우와 앙상블 평균된 파형에서 수작업으로 계산한 경우 앙상블 평균된 파형으로부터 그리고 본 연구에서 제안한 상호상관관계를 이용하여 컴퓨터가 구한 결과를 비교하였다. 여기서 종이기록지로부터 수작업으로 계산한 경우, 안정상태와 회복상태에서의  $dZ/dt$  파형으로부터 특성점을 찾는 데 별 문제가 없지만 운동 중의  $dZ/dt$  파형은 motion artefact가 심해 특성점을 찾기 힘들어 계산된 값들을

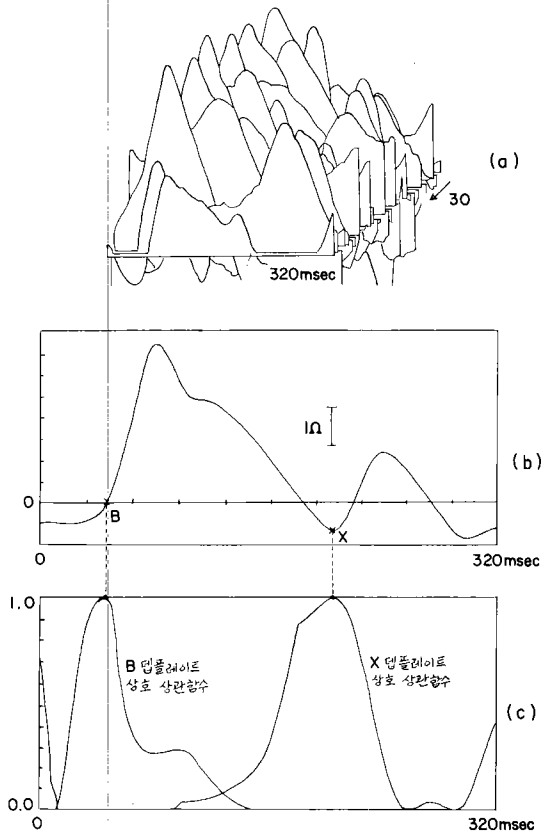
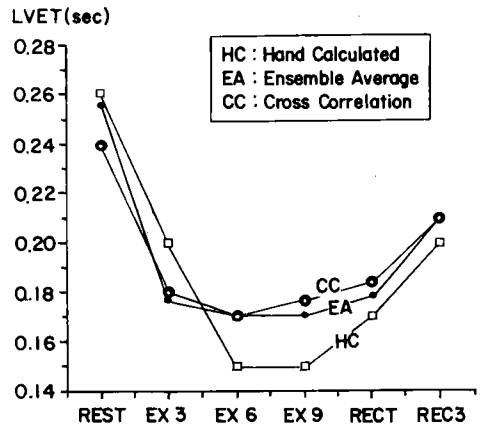
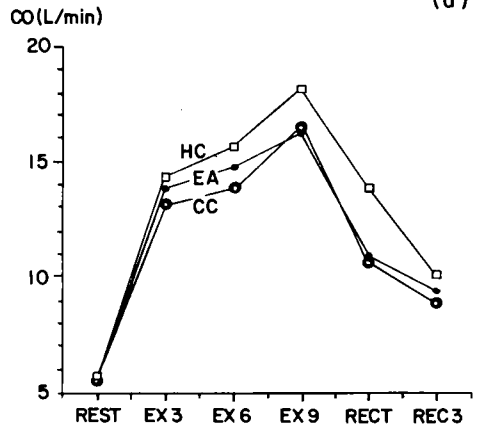


그림 5 운동 9분일때의 조정된 임피턴스 파형(a) 과 앙상블 평균된 파형(b), B점과 X점의 상호상관관계 결과(c)

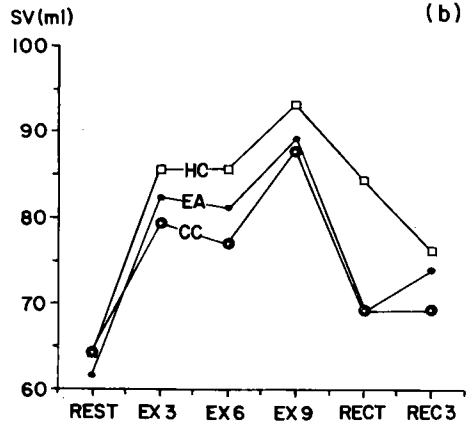
Fig. 5 Interpolated  $dZ/dt$  waveforms(a), ensemble averaged waveform(b), and cross-correlation of B and X points(c) during nine minutes of exercise



(a)



(b)



(c)

그림 6 운동과 회복시의 LVET(a) SV(b)와 CO(c)의 변화

Fig. 6 Changes of LVET(a), SV(b), and CO(c) at rest, during exercise, and recovery

신뢰하기 힘들다. 그림 6에서는 앙상블 평균법(EA)과 상호상관관계(CC)에 의하여 계산된 값들은 서로 유사하나 수작업(HC)으로 계산된 값들과는 차이를 보여주고 있어 본 연구에서 제안한 상호상관관계를 이용하여 찾은 B, C, X점들이 정확함을 알 수 있다. 그리하여 본 연구의 목표인, 컴퓨터에 의한 심박출량의 자동계산을 앙상블 평균된 dZ/dt 파형으로 부터 상호상관관계를 이용하여 달성하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서 제시한 알고리즘에 의하여 계산된 심장변수는 종이기록지에 기록된 파형과 앙상블 평균된 파형으로 부터 수작업으로 구한 값들과 비교하여 거의 일치하는 경향을 보였다. 상호 상관계 함수를 이용하여 컴퓨터에 의한 특성점을 찾아 환자 및 운동 중의 심박출량을 계산함으로써 운동 부하에 따른 환자의 심장능력을 평가하는데 효과적으로 이용할 수 있다.

앞으로의 연구과제는 환자와 비정상인에 사용하기 위하여 그들에 대한 각 운동부하에서의 특성점 템플릿의 연구와 실시간으로 심장변수를 계산하기 위한 효율적인 소프트웨어의 개발에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1) Y. Zhang, M. Qu, J. G. Webster, W. J.

Tompkins, B. A. Ward, and D. R. Basset, Jr., "Cardiac output Monitoring by impedance cardiography during treadmill exercise," IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol. BME-33, pp.1037-1042, No.11, 1986.

- 2) D. W. Kim, S. K. Hwang, C. G. Song, N. H. Kim, and W. K. Kim, "Measurement of cardiac output during treadmill exercise by impedance cardiography with ensemble average," Proc. of the 12th Ann. Inter. Conf. of IEEE EMBS, pp. 705-7-6, philadelphia, Nov., 1990.
- 3) D. W. Kim, C. G. Song, and M. H. Lee, "Measurement of stroke volume during treadmill exercise by impedance cardiography with a new ensemble average," KITE J. Electronics Eng., Vol. 2, No. 2, 1991(in printing).
- 4) J. H. Nagel, L. Y. Shyu, S. P. Reddy, B. E. Hurwitz, P. M. McCabe, and N. Schneiderman, "New signal processing techniques for improved precision of noninvasive impedance cardiography," Annals of Biomed. Eng., Vol. 17, pp. 517-534, 1989.
- 5) C. Myers, L. R. Rabiner, and A. E. Rosenberg, "Performance tradeoffs in dynamic time warping algorithms for isolated word recognition," IEEE Trans. ASSP, Vol. ASSP-28, No.6, pp. 623-634, 1980.
- 6) J. Nagel, "Method and apparatus for identifying recurring signal patterns," US Patent No. 4211237, 1980.