

운동중의 임피던스 신호에서 상호상관 관계를 이용한 특성점의 검출

오 인식**, 송 철규*, 김 덕원*, 차 일환**

* 연세대학교 의과대학 의용공학과

** 연세대학교 전자공학과,

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

In Sik Oh**, Chul Gyu Song*, Deok Won Kim*, Il Whan Cha**

* Dept. of Medical Engineering,

** Dept. of Electronics Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

As the ensemble averaged dZ/dt signal during exercise is smoothed, it is difficult to find the distinctive marks. The cross correlation function was made use of estimating these marks. LVET was calculated based on the calculated parameters of the characteristic points. For the accuracy validation, LVET calculated by hand, by the ensemble average and the cross correlation were compared.

1. 서론

임피던스 신호에서 일회 심박출량(stroke volume, ml)의 파라메터인 좌심실 수축시간 간격(LVET)과 심실에서 박출된 혈액의 최고속도를 나타내는 C점을 찾는 것이 중요한 문제이지만 운동 중의 양상불 평균[1], [2]한 파형에서 각 특성점이 스무딩되어 정확한 위치를 찾는 것이 어려우므로 좌심실 수축시간 간격의 시작점인 B점과 끝점을 표시하는 X점을 구하기 위하여 상호 상관관계[3]를 이용하였다. 운동중의 양상불 평균된 파형과 템플릿과의 상관관계를 구하여 상호 상관관계의 최고점이 되는 위치와 특성점의 위치를 찾았고 구하여진 특성점을 이용하여 LVET를 구하였다.

2. 방법

(1) 선형보간법(Linear Interpolation Method)

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

임피던스 신호는 심전도 신호와 동기가 되므로 템플릿의 데이터 길이는 평균 R-R 간격으로 하였다. 또한 심박동수는 휴식상태와 운동상태일 때 선형적으로 변화하므로 평균된 값을 이용하여 임피던스 신호를 선형보간법[4]을 이용하여 재 조정하였다. 선형보간법의 수식은 아래와 같고, N은 각각의 R-R시간 간격의 샘플링된 개수이고, N'은 평균된 R-R 간격의 샘플링 수라고 할 때 주어진 원래의 신호 D(n)

을 평균된 R-R 시간 간격으로 선형화 된 신호 D'(n)으로 조정하면,

$$D'(n') = (1-S) \cdot D(n) + S \cdot D(n+1) \quad n' = 1, 2, \dots, N'$$

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

여기서, 선형화될 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 큰 정수를 나타낸다.

그림 2에서는 선형보간법에 의하여 79개의 샘플링 수를 가진 X점 템플릿 신호(그림 2a)와 54개의 샘플링 수로 재 조정된 후의 같은 신호(그림 2b)를 보여주고 있다. 선형 보간법 수식과 그림 1에서 볼 수 있듯이 시작점과 끝점이 같은 크기를 가지고 있으며 선형적으로 재조정 되었다.

(2) 상호상관 관계 함수

신호 X(t)는 임피던스 신호인 S(t)와 여러종류의 artifact인 N(t)와의 중첩에 의하여 측정된 신호이고, Y(t)가 템플릿 P(t)를 나타낼 때 다음이 된다.

$$R_{xy}(\tau) = E[X(t) * Y(t+\tau)]$$

$$= E[(S(t) + N(t)) * P(t+\tau)]$$

$$= E[S(t) * P(t+\tau)] + E[N(t) * P(t+\tau)]$$

위의 식에서 2번째 항인 잡음성분의 신호인 N(t)는 템플릿과 상관관계가 없다고 가정[5]할 때 zero가 되므로 여

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

상호 상관관계 함수는 신호 S(t)와 템플릿 P(t)와의 함수로만 나타난다. 그림 3에서 임피던스 신호 dZ/dt 는 양상불 평균으로 C점이 smoothing 되었음을 볼 수 있다. 여기서 이상적 신호인 템플릿 신호와 상관관계를 조사하여 상호 상관관계 함수의 최대치가 되는 값과 템플릿과의 위치를 이용하여 C점의 위치를 추정할 수 있다.

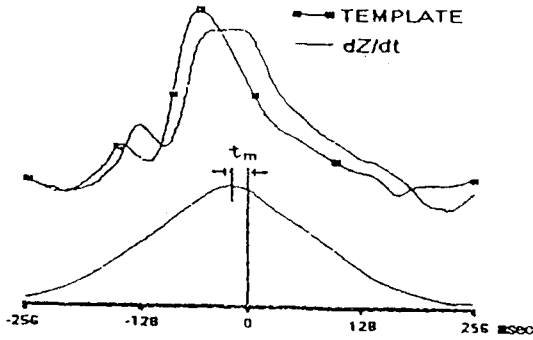


그림 3 상호 상관관계를 이용한 특성점 검출

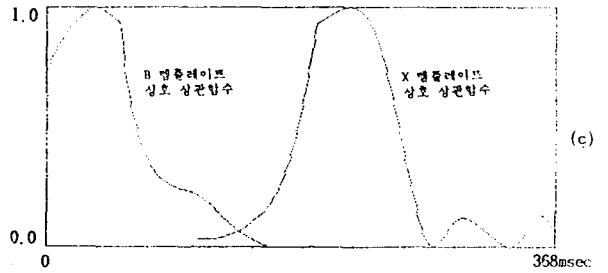
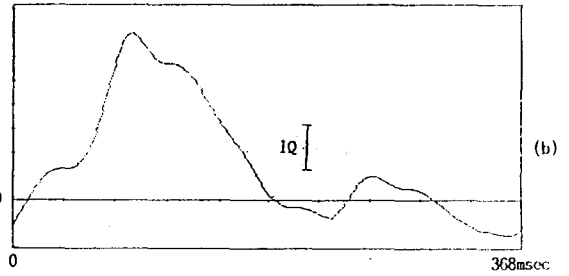
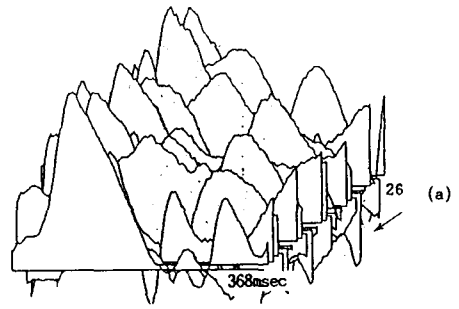


그림 5 운동 중 6분일때의 재조정된 임피던스 신호 (a)와 양상을 평균된 파형(b), B점과 X점의 상호 상관관계 결과

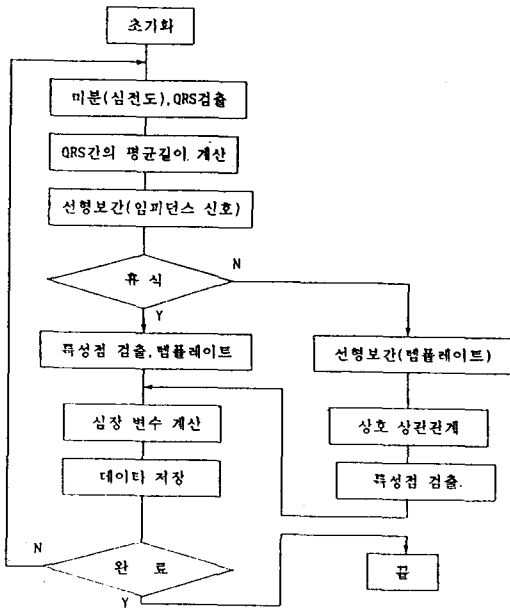


그림 4 특성점 검출의 흐름도

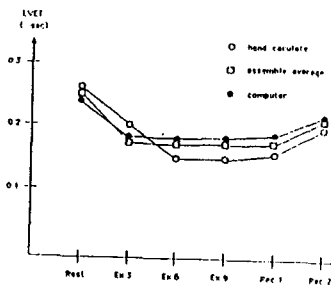


그림 6 운동과 회복시의 LVET 변화

$R_{sp}(t_m)$ 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 스테이지에서 양상을 평균된 파형으로 템플릿을 만들어 상호 상관관계를 이용하여 사상을 검출하였다. 그림 4는 특성점 검출의 흐름도 이다.

3. 실험 및 결과고찰

피검자는 심장질환의 경력이 없는 21세에서 25세까지의 건강한 남자로 선정하였고, 운동부하는 트레드밀위에서 시속 5.6 Km의 고정된 속도와 매분마다 경사가 1°씩 증가시키면서 운동 중 3분, 6분, 9분 그리고 회복시에 측정을 하였고 데이터 저장은 4 채널 종이 기록지(San Ei 8K-21) 및 4 채널 FM Tape recorder(TEAC R-60)를, AD 변환은 12 bit Data Translator(DT 2821)을 사용하였고 샘플링 주파수는 250 Hz로 하였다.

그림 5는 운동 중 6분일때의 재조정된 임피던스 신호(a)와 양상을 평균된 파형(b), B점과 X점의 상호상관관계 결과를 보여주고 있다.

그림 6에서는 한피검자에 대한 안정상태, 운동 중, 휴식상태에서 종이기록지로부터 수작업으로 계산한 경우와 양상을 평균된 파형에서 수작업으로 계산한 경우 그리고 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 양상을 평균된 파형으로 부터 컴퓨터가 구한 결과를 비교하였다.

4. 결론

본 논문에서 제시한 알고리즘에 의하여 측정된 심장변수는 종이기록지에 기록된 파형과 양상을 평균된 파형에서 수작업한 것과 비교하여 거의 일치하는 경향을 보였다. 상호 상관관계 함수를 이용하여 특성점을 구함으로써 운동 중의 심박출량을 컴퓨터에 의해 계산하므로써 운동 부하에 따른 환자의 심장능력을 평가하는데 이용할 수 있다.

또한 환자와 비정상인에 사용하기 위하여 그들에 대한 각 스테이지에서의 특성점 템플릿의 연구와 실시간으로 심장변수를 계산하기 위하여 효율적인 소프트웨어의 개발에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 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).
- [2] Y. Zhang, M. Qu, J. G. Webster, W. J. Tompkins, B. A. Ward, and D. R. Bassett, Jr., "Cardiac Output Monitoring by Impedance Cardiography During Treadmill Exercise," IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol. BME-33, pp.1037-1042, No.11, Nov. 1986.
- [3] 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 Biom. Eng., Vol. 17, pp. 517-534, 1989.

- [4] 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, Dec. 1980.
- [5] J. Nagel, "Method and apparatus for identifying recurring signal patterns," US patent No. 4,211,237 : 1980.

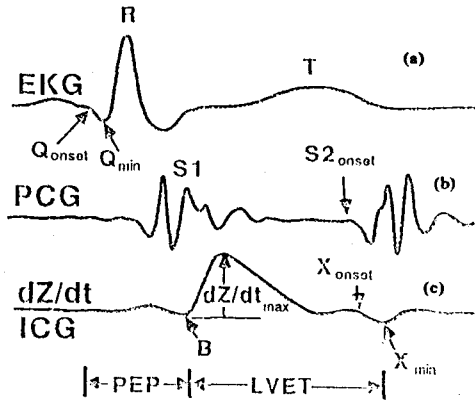
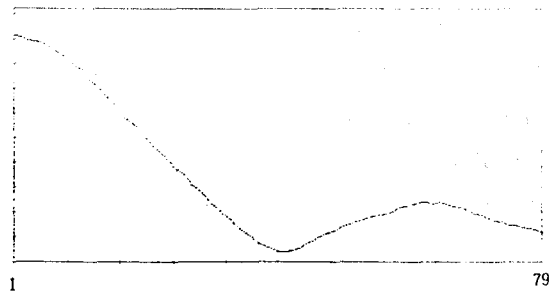
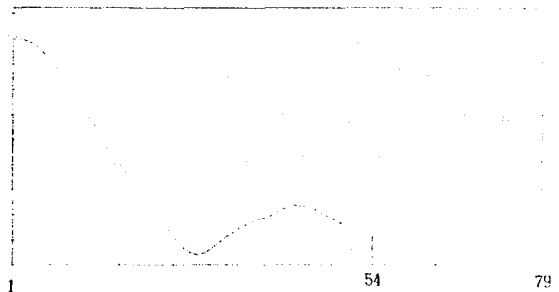


그림 1 전형적인 (a)심전도, (b)심음도, (c) 임피던스 신호의 시간관계 및 사상



(a) 샘플링 갯수가 79인 X점 템플릿



(b) 선형보간법에 의해 샘플링 갯수가 54로 조정된 X점 템플릿

그림 2 선형보간법에 의해 (a)조정되기 전의 X점 템플릿과 (b)조정된 후의 X점 템플릿