

# 새로운 앙상블 평균법에 의한 임피던스 심장기록법의 트레드밀 운동 중의 심박출량 측정

김 덕원\*, 송 철규\*, 오 인식\*, 황 수관\*\*, 김 원기\*

\* 연세대학교 의과대학 의용공학과  
\*\* 연세대학교 의과대학 생리학고실

- Measurement of cardiac output during treadmill exercise by impedance cardiography with a new ensemble average -

Deok W. Kim\*, Chul G. Song\*, In S. Oh\*, Soo K. Hwang\*\*, Won K. Kim\*

\* Dept of Medical Engineering, \*\* Dept of Ephysiology Yonsei University College of Medicine

= Abstract =

In this study, a new ensemble average technique was developed to measure cardiac output during treadmill exercise. Each dZ/dt peak (C point) was used as a starting point for ensemble averaging, instead of conventionally used R wave of ECG in order to prevent the peak dZ/dt waveform from blurring. In case of using R wave as a reference, time interval from R wave to the peak of dZ/dt varies for each heart beat. Stroke volume, heart rate, and cardiac output of five male were successfully measured with Balke protocol using the new ensemble average technique.

5명의 정상인 성인 남자를 선정하여 매 분마다 경사율 1%씩 올리고 속도는 3.4 MPH (miles per hour)를 유지하게 하는 Balke protocol에 따라 Treadmill(Quinton사)위에서 운동 중의 일회 박동량(stroke volume)과 심박동수(heart rate)를 측정하였다. 운동은 12분과 회복 5분간의 ECG, Zo, 그리고 dZ/dt를 매 stage에서 10초 이상씩 4 채널 FM Taperecorder(TEAC사, R60)로 기록을 하였다. 이때 기록된 파형들을 16 bit A/D converter(Data Translator, DT2827)와 IBM AT computer를 이용하여 디지털화 하였다. 앙상블 평균법을 위한 출발점을 잡기 위해 각 dZ/dt 파형들의 피크점을 탐색하고 그 피크점을 이용하였다. 평균의 시간은 약 10초간 기록된 최소 심장리듬의 주기보다 고정을 하였는데 이것은 평균을 취하는 데이터의 갯수를 일치시키기 위함이다. 샘플링 주파수는 250 Hz로 하였고 일회 박동량(stroke volume)은 평균을 취하여 얻은 마지막 dZ/dt 파형으로부터 계산을 하였다. 운동 중의 데이터는 운동 1분, 3분, 6분, 9분, 12분에서 그리고 회복시의 데이터는 운동후 1분, 3분, 5분에서 각각 얻었다.

## 1. 서론

임피던스 심장기록법은 비관혈적인 방법으로 운동 중의 심박출량을 구할 수가 있으나 트레드밀 운동 중에는 특히 움직임에 의한 잡음(motion artifact)이 심각하다. 바람직한 방법은 아니지만 Kobayashi 등[1]과 Hatcher 등[2]은 움직임에 의한 잡음을 피하기 위해 운동 직후에 심박출량을 측정하였다. 대부분의 앙상블 평균법은 트레드밀 보다 움직임에 의한 영향이 덜 민감한 bicycle ergometer로 운동부하의 변화를 주었다. 1986년에 Zhang 등[3]은 평균을 위한 기준점으로서 심전도의 R 파를 써서 트레드밀 운동 중의 심박출량을 측정하였다. 김 등[4]은 트레드밀 운동 중의 호흡과 몸의 움직임 뿐만 아니라 매 스텝에 의한 영향이 매우 중요한 잡음의 원인이 됨을 실험적으로 규명하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 한 피검자가 트레드밀 상에서 운동 시작 후 12분이 지난 후(3.4 mph, 12% 경사)의 ECG, dZ/dt 그리고 평균을 취해 얻어진 dZ/dt 파형들을 보여주고 있다. 그림 1의 (c)와 (d)의 첫번째 파형들은 그림 1(b)의 첫째와 둘째 파형의 평균을 취한 파형이다. 마찬가지로 그림 1의 (c)와 (d)의 둘째 파형은 그림 1(b)의 셋째, 둘째, 셋째편의 3개의 파형에 대한 평균을 취한 파형을 보이고 있다. 그림 1의 (c)와 (d)에서 알 수 있듯이 약 10개의 파형에 대해서 평균을 취한 후에야 평균한 dZ/dt 파형이 안정이 되어감을 알 수 있다. 그림 1의 (c)가 EXG의 R 점을 기준으로 평균을 한 파형이고, (d)는 dZ/dt의 최대 피크점을 기준으로 하여 평균을 취하여 얻어진 파형인데, 기대했던 바와 같이 (c)가 (d)보다 dZ/dt 파형의 크기와 날카로움이 훨씬 덜함을 알 수가 있다. (c)의 평균을 취한 dZ/dt의 크기가 (d)의 평균을 취한 dZ/dt의 크기보다 약 8% 정도 작음을 알 수 있다. 그림 1의 (c)와 (d)로부터 표 1과 같은 데이터를 얻을 수 있었다.

## 2. 실험

본 연구팀에 의해 개발된 임피던스 심장기록법은 1번 전극을 목 상단에 부착하는 대신 이마에 부착하고 새로운 4개의 피 전극을 사용하였다. 피 전극(3M사, #24)은 심한 운동 중에는 전극이 움직이므로 본 연구에서 피 전극 속에 탄력성을 유지하기 위하여 탄력밴드를 삽입하였다. 따라서 이러한 피 전극은 운동 중에도 견고하게 피부와 접촉할 뿐만 아니라 탐도 잘 흡수할 수가 있다. 전극 2번과 3번과의 거리 L은 흉부와 등에서 거리의 평균을 취하였다.

표 1. 2가지의 서로 다른 평균법을 위하여 얻어진 심장 기능변수의 비교

기준점	EKG R파	dZ/dt 피크
dZ/dt(max)[ /s]	2.13	2.31
LVET[msec]	190	185
HR[beat/min]	145	145
SV[ml]	89	94
CO[l/min]	12.9	13.6

그림 2는 5명의 성인 남자들로부터 얻은 수치로써 전형적인 일회 박출량, 심박동수, 심박출량을 보여주고 있다. 운동을 시작한 직후에는 심박동수와 심박출량은 급격히 증가하나 운동부하의 증가로 심박동수와 심박출량은 계속해서 증가하나 심박동량은 포화상태가 됨을 보여주고 있다. 이러한 값들과 경향은 Zhang등[3]의 연구와 상당히 근사한 결과를 보여주고 있다.

결론적으로 현재까지 ECG의 R점을 동기보 한 앙상블 평균법에 비하여 본 연구에서 제안한 dZ/dt(max)을 이용한 방법이 평균된 파형과 dZ/dt(max)을 고려할 때 더 정확하다고 생각된다.

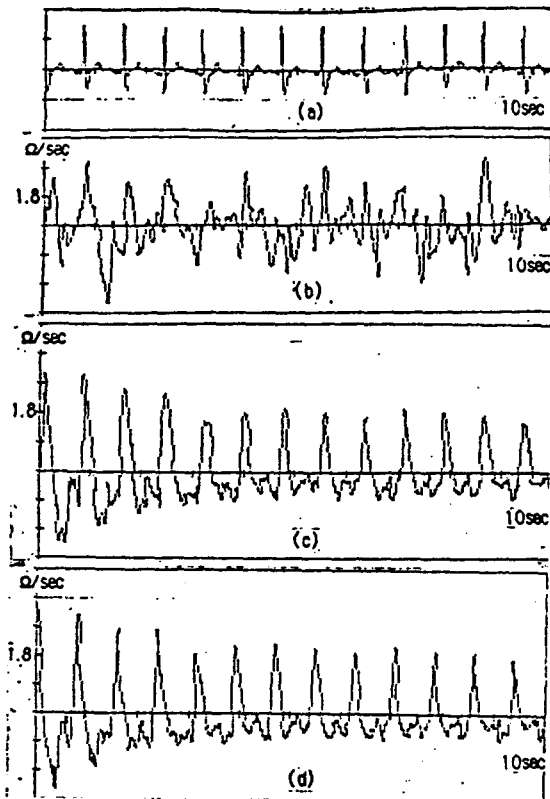
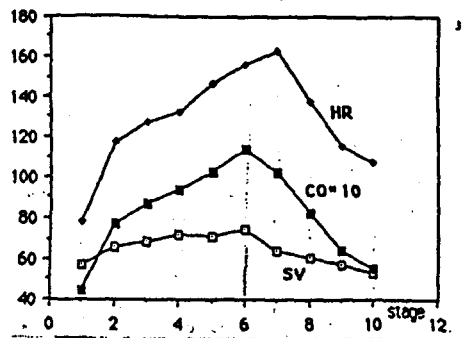


그림 1. 트레드밀 운동 12분 중의 ECG, dZ/dt, 와 평균을 위한 dZ/dt 파형. (a) ECG, (b) dZ/dt, (c) R점을 기준으로 평균을 위한 dZ/dt 파형 (d) dZ/dt(max)를 기준으로 평균을 위한 dZ/dt 파형



Stage 1: 안정시 2: 운동 1분후 3: 운동 3분후  
4: 운동 6분후 5: 운동 9분후 6: 운동 12분후  
7: 휴식 직후 8: 휴식 1분후 9: 휴식 3분후  
10: 휴식 5분후

그림 2. 트레드밀 운동 중의 5명의 성인에 대한 심박동량, 일회 박출량, 심박출량의 변화

#### 참고문헌

- [1] Y. Kobayashi, Y. Andoh, T. Fujinami, K. Nakayama, K. Takada, T. Takeuchi, and M. Okamoto, "Impedance cardiography for estimating cardiac output during submaxial work". J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. Vol.45, pp.459-462, 1978.
- [2] D.D. Hatcher, and O.D. SRB, "Comparison of two noninvasive technique for estimating cardiac output during exercise". J. Appl. Physiol. Vol.61, pp.155-159, 1986.
- [3] 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, 1986.
- [4] D.W. Kim, S.K. Hwang, C.G. Song, D.H. Kang, and M.H. Lee, "Measurement of cardiac output during exercise by impedance cardiography". Kor-Jap Joint Conf. on Med. & Biol. Eng., pp.100-103, 1989.