

Single-Chamber 페이스메이커 테스터의 개발에 관한 연구

강병운, 신재우, 윤영로
연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과

A Study on the Development of a Single-Chamber Cardiac Pacemaker Tester

B. Y. Kang, J. W. Shin, Y. R. Yoon

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University

ABSTRACT

In this study, the design of the single-chamber pacemaker tester is presented. It is important to test the functions of the pacemaker before it is implanted into the patient. A pacemaker tester, that is presented in this study, is able to examine pacemaker parameters such as sensing threshold and refractory period. We need to make artificial intracardiac electrogram in order to test the pacemaker parameters. We know from the previous practical examples that a triangle pulse is similar to the physiologic intracardiac electrogram. The tester generates the simplified electrograms and PC software examines the output pulses of the pacemaker which is VVIR mode in closed-loop simulation.

1. 서 론

인공 페이스메이커(artificial pacemaker)는 심장 기능에 이상이 있는 환자에게 이식하여 인위적인 전기자극을 심장에 공급함으로써 심장의 전도체계를 유지시킬 수 있는 보조장치이다. 페이스메이커 테스터는 이러한 인공 페이스메이커를 환자에게 이식하기 전에 그 특징들을 테스트할 수 있는 장치이다. PC와 마이크로컨트롤러를 이용해서 심장내 신호(intracardiac electrogram)를 구현하여 심실에서 pacing 및 sensing이 모두 일어나고, inhibit pacing 및 rate adaptive 작용이 가능한 VVIR 모드의 페이스메이커에 공급하여 기능 테스트 및 파라미터 측정이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 인공 페이스메이커의 여러 가지 파라미터 중 sensing threshold와 불응기(refractory period) 등을 측정함으로써 페이스메이커 테스터를 개발하고자 한다.

2. 시스템의 구성

인공 페이스메이커는 NASPE/BPEG의 NBG 코드에 의해 작동 모드가 결정된다.[1][5] 본 연구에서는 심실에서 pacing 및 sensing이 모두 가능한 Medtronic사의 VVIR 모드 Activitrax[®] 페이스메이커를 사용하였다.

페이스메이커 테스터의 시스템 구성은 그림 1과

같이 심장내 신호를 시뮬레이션하고, 페이스메이커의 pacing 펄스를 A/D 변환하여 PC로 전송하는 하드웨어 부분과 페이스메이커의 pacing 펄스를 모니터링하고 파라미터를 측정할 수 있는 소프트웨어 부분으로 구성되어 있다.

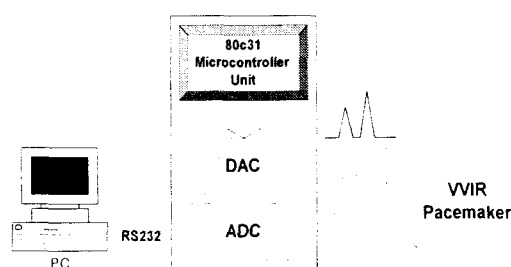


그림 1 페이스메이커 테스터 블록도

3. 실험 방법 및 결과

심장내 신호는 surface ECG와는 다른 신호로서 QRS 콤플렉스가 심실신호(ventricular electrogram)에서 펄스가 뚜렷하게 나타나고, P파는 심방신호(atrial electrogram)에서 펄스가 뚜렷하게 나타난다.[2] 페이스메이커는 이러한 심장내 신호에 대해 프로그램된 역치값을 초과하는 신호에 대해 반응을 하게 된다. 따라서 P파나 QRS 콤플렉스의 모양을 실제 심장내 신호와 같이 정확하게 구현할 필요가 없다. 가장 간단하게 심장내 신호와 같이 P파 및 QRS 콤플렉스가 뚜렷하게 나타나는 신호를 시뮬레이션 할 수 있는 펄스가 삼각펄스(triangle pulse)임이 Werkheiser (1995)와 Farmer(1996)에 의해 증명되었다. 삼각 펄스의 높이 및 경사를 이용하여 여러 가지의 크기(amplitude) 및 간격(duration)을 가지는 P파나 QRS 콤플렉스를 구현하는데 용이하다. 페이스메이커로 공급되는 삼각펄스는 여러 가지의 간격 및 크기를 지니는데, 이는 PC에서 마이크로컨트롤러로 시뮬레이션 하고자 하는 특정신호를 전송하게 되면 마이크로컨트롤러는 그 특정신호에 해당하는 삼각펄스를 발생하게 된다.

본 연구에서 사용한 VVIR 페이스메이커는 심실신호에 대해서만 반응하므로 QRS 콤플렉스의 간격과 크기가 중요하다. 따라서, 삼각펄스의 간격 및 크기 설정에 따른 sensing threshold를 측정하였다.[3]

실제 심장내 신호는 mV단위의 신호이기 때문에 마이크로컨트롤러로부터 발생된 삼각펄스를 D/A과정을 거친 후 분압기(voltage divider)를 통해 감쇄시킬 필요가 있다. sensing threshold를 측정하기 위해 삼각펄스를 40ms에서 160ms까지 10ms의 간격으로 가변 하였고, 전압은 0V에서 25mV까지 페이스메이커가 sensing할 수 있을 때까지 가변 하였다. 각각의 데이터를 선형회귀를 통해 분석한 결과 그림 2와 같이 $y=a+bx$ 형태의 방정식형태를 나타내었다. 이러한 결과는 페이스메이커가 입력펄스의 간격이 증가할수록 그 전압도 증가하여야 sensing이 가능함을 나타낸다.[2] 또한 QRS 콤플렉스의 최고기울기는 $0.141Vs^{-1}$ 에 가까움을 알 수 있다.

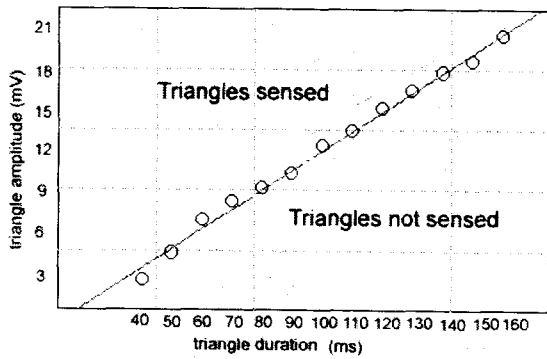


그림 2 삼각펄스의 sensing threshold

페이스메이커의 또 다른 중요한 파라미터 중 하나가 심실 불응기(Ventricular Refractory Period, VRP)이다. 페이스메이커의 불응기는 생리학적인 심장의 불응기와는 구별되는 것으로서 페이스메이커의 입력 신호에 대해 sensing 작용이 일어나지 않는 기간이다. 페이스메이커에서 불응기는 페이스메이커의 출력 펄스가 내부의 증폭기로 유입되는 것을 방지하고 또한 페이스메이커가 pacing된 심실에서 일어나는 QRS 콤플렉스에 의해 방해받지 않기 위해서 페이스메이커를 설계할 때 중요한 파라미터이다.[1] 본 연구에서 측정하고자 하는 심실 불응기는 연속적으로 세 개의 삼각펄스를 공급하되 첫 번째 삼각펄스와 두 번째 삼각펄스의 간격은 정상 R-R 간격으로 고정 설정하고 두 번째 삼각펄스와 세 번째 삼각펄스의 간격을 점차 감소시켜가면서 측정하였다.

첫 번째 삼각펄스는 페이스메이커에 의해 트리거 되고, 두 번째 삼각펄스 또한 페이스메이커에 의해 트리거 된다. 이 pacing 펄스는 불응기의 시간이 시작되고 이 시간 내에 입력되는 펄스는 sensing이 일어나지 않는다. 따라서 두 번째 펄스 이후 설정된 R-R 간격이 지나고 pacing이 일어난다. 그러나 두 번째 삼각펄스 이후의 입력신호가 불응기가 지난 후 입력되면 이 펄스는 sensing이 되고 정상 R-R 간격이 지난 후 다시 pacing이 일어난다. 세 번째 펄스가 sensing이 될 때까지 두 번째 펄스와 세 번째 펄스의 최대 간격이 페이스메이커 불응기에 해당한다. 실험결과는 그림 3과 같이 측정하였고, 측정된 페이스메이커 불응기는 313ms로 측정되었다. 일반적인 페이스메이커의 심실 불응기는

200~350ms이다.[1][5]

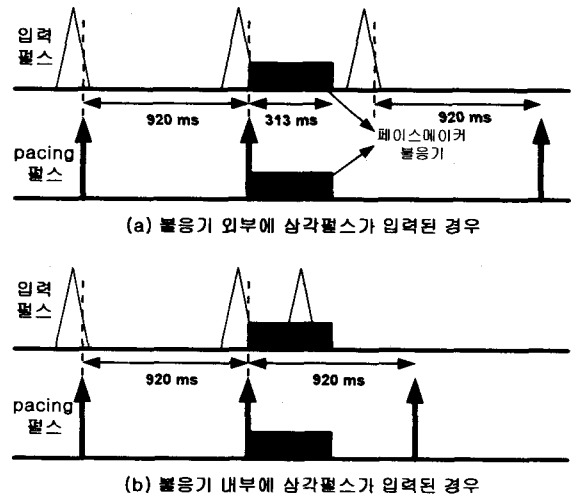


그림 3 페이스메이커 불응기 측정

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 마이크로컨트롤러와 PC로 구성된 페이스메이커 테스터를 설계하였고, 페이스메이커의 sensing threshold와 페이스메이커 불응기의 두 가지 파라미터 측정을 수행하였다. 본 연구에서와 같이 페이스메이커에 적용되는 PC 기반의 시뮬레이션의 단점은 페이스메이커와 심장의 인터페이스 요소가 고려되지 않는 것이다.

페이스메이커 테스터가 더 높은 효율성을 지니기 위해서는 여러 가지 패턴의 심장 전도 체계 알고리즘을 추가하여 시뮬레이션 할 필요가 있다.

나아가 페이스메이커의 심방 및 심실 파라미터를 측정할 수 있는 dual-chamber 페이스메이커를 개발하고자 한다.

본 연구는 1998년도 보건 의료 기술 연구 개발 사업의 연구 지원에 의해 수행되었음.
(과제번호 : HMP-98-E-4-0016)

참고문헌

- [1] John G. Webster, "Design of Cardiac Pacemakers", IEEE Press, pp. 448-459, 1995
- [2] A-Hadi Hakki, "Ideal Cardiac Pacing", W.B. Saunders company, 1984
- [3] C.W. Galuschky, J.G. Webster, "Dual-chamber cardiac pacemaker tester", Medical & Biological Engineering & Computing, pp. 233-237, March 1998
- [4] D. Radhakrishnan, "A microcontroller based pacemaker tester", Journal of Network and Computer Applications, pp. 405-413, 1996
- [5] Kenneth A. Ellenbogen, "Cardiac Pacing", Blackwell Science, pp. 278-332, 1996