

마이크로컴퓨터를 이용한 64채널 심장전기도시스템개발

정성헌* · 김원기* · 허재만* · 장병철** · 조범구**

= Abstract =

Development of 64 Channel Cardiac Mapping System Using Microcomputer

Sung-Hun Jung*, Won-Ky Kim*, Jae-Man Huh*, Byung-Chul Chang** and Bum-Gu Cho**

Computer assisted cardiac mapping system has made it possible to display local activation times of the heart using a simultaneous multi-point data acquisition system, and opened an era in electrophysiology guided cardiac arrhythmia surgery especially in ventricular tachycardia.

In this study, we have developed a 64 channel computerized cardiac mapping system using a micro-computer for basic research of electrophysiology and electrical propagation in cardiac arrhythmias. The significant tasks of this study were the simultaneous acquisition of large amount of data from 64 sites, accurate and rapid analysis, and the effective display of the analyzed data. To solve these problems, we made a 64 channel signal pre-processing board in order to amplify and filter the raw signals. And we developed the software for cardiac isochronous mapping which is presented immediately via computer-generated graphics.

This system is expected to enable us to study pathophysiology of cardiac arrhythmia and to improve the results of diagnosis and surgical treatment for cardiac arrhythmia.

1. 서 론

심장부정맥의 기전을 연구하기 위하여 20세기

〈접수 : 1991년 11월 15일〉

*연세대학교 의과대학 의용공학과

**연세대학교 의과대학 흉부외과

*Dept. of Medical Eng. Yonsei University

**Dept. of Thoracic Cardiovascular Surgery Yonsei University

초부터 동물심장에서의 전기생리에 대하여 연구가 되어왔다. 1914년에 Lewis 등은 심방에서의 전기 전파를 연구하고자 동물심장을 노출시키고 이 심장의 심외막에 몇개의 전극을 부착하여 전기전파에 소요되는 시간을 측정하였다¹⁾. 또한 Lewis는 이러한 방법으로 심방조동(atrial flutter) 및 심방세동(atrial fibrillation)의 기전을 구명하고자 많은 노력을 하였다. 그후 여러 학자들이 심장에서의 전

기전파를 연구하고, 심장부정맥의 기전을 연구하여 왔으나, 1970년대까지는 그 연구방법이 몇개의 전극을 심장에 부착하거나, 한개의 전극을 이곳 저곳으로 옮겨가면서 전기신호를 각각 받아 분석하여 각 조직으로 전기가 전파되는데 소요되는 시간을 측정하였기 때문에^[2,3] 불안정한 일과성의 심장부정맥의 기전을 연구하는데는 충분치 못하였다.

1970년대 후반에 들어와 컴퓨터 산업의 발달과 함께 심장전기도 검사에도 컴퓨터가 이용되기 시작하였다. 1978년 Boineau등은 28채널 FM테이프 기록장치에 전기신호를 기록하고 컴퓨터를 이용하여 분석함으로써 동방결절에서 발생하는 전기는 다중심성(multicentric)인 것으로 보고하여 주목을 받았다^[5]. 그후 Allesie(1984년)^[6]과 Kramer(1985년)^[7]은 160채널이상의 컴퓨터시스템을 개발하여 심장의 전기전파경로를 정확하게 알 수 있도록 하였고 여러가지 심장부정맥의 자세한 기전을 연구하여 외과적 치료의 결과를 향상시켜왔다. 특히 최근에는 80개 이상의 많은 전극이 달린 형판전극(electrode template)이 개발되어 이것을 심장에 부착시켜 전기신호를 분석함으로써 아직 잘 알려져 있지 않은 심장부정맥의 기전을 연구하고, 원인되는 우회로(bypass tract)나 이소성 병소(ectopic focus)를 외과적으로 절제하고 있다^[8~11].

그러나 기존의 시스템은 신호 입력 장치를 확장하는데 제한이 있으며, 다중 채널의 분석을 위해 중형 이상의 컴퓨터를 사용함으로써 많은 비용이 들고 또한 효과적 정보 전달을 위한 화면 구성을 하기도 어렵다.

본 논문에서는 채널수의 확장이 가능한 신호 입력단을 제작하고 현재 널리 보급되고 있는 개인용 마이크로 컴퓨터를 이용하여 64채널 심장 전기도 시스템을 개발함으로써 심장 부정맥의 전기 생리 연구 및 임상에 도움이 되고자 하였다.

2. 시스템 구성

64채널 심장 전기도 시스템은 그림 1과 같이 다중 전극이 부착된 심장 전극 형판과 신호 전처리 부분, 그리고 데이터 입력 부분 및 마이크로 컴퓨터 급인 매킨토시 컴퓨터로 구성되어 있다.

Block Diagram of the Cardiac Mapping System

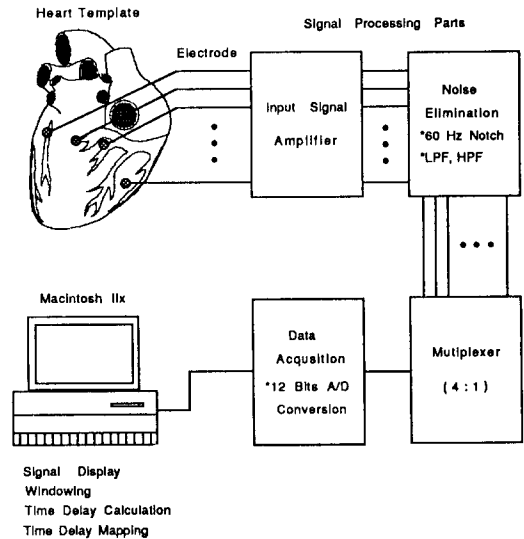


그림 1 64채널 심장 전기도 시스템의 구성

Fig. 1 Configuration of a 64 channels cardiac mapping System

2.1 심장 전극 형판

심장의 전파 신호를 여러곳에서 동시에 얻기 위한 방법으로 전극띠(band electrode)나 심장 전극 형판을 사용한다. 심장 전극 형판은 검사 목적에 따라 여러가지를 제작해야 하며 그 과정은 다음과 같다. 사체로부터 적출한 심장의 해부학적 형태가 변형되지 않도록 거즈 스펀지(gauze sponge)를 심장내부에 삽입한 다음 10% 포르말린 용액에 24시간 고정한다. 그런 후에 검사부위에 따라 심장 내/외막에 실리콘을 여러차례 도포하여 실리콘 형판을 만든다. 하나의 전극당 은사(silver wire)를 0.2mm 간격으로 2개씩 묶어서 쌍극성 전극이 되도록 하고 이를 형판 표면에 일정 간격마다 부착하여 심장 전극 형판을 구성한다^[8~10].

2.2 신호 전처리 부분

동물 실험이나 수술시에 여러개의 쌍전극(bipolar electrode)이 달린 띠 또는 실리콘 형판을 심장의 내외막에 부착하여 받아들인 심장 전파 신호는 대략 25μV에서 최대 50mV 정도로서 직접

처리하기에는 크기가 작고, 또한 잡음의 영향을 받기가 쉽다. 따라서 컴퓨터에 신호를 입력하기 전에 증폭 및 잡음제거를 해야 한다.

이와 같은 처리를 위한 하드웨어는 그림 2와 같이 4채널을 기본 단위로 증폭단과 잡음제거 및 제어단으로 나누어 제작하였다.

신호 전처리를 위한 하드웨어의 세부 구성은 다음과 같다.

쌍전극을 통해 들어온 심장 전파 신호는 프리앰프에 의해서 saturation을 감안하여 일단 10배로 증폭되며, 프리 앰프 부분은 피검자를 전기 쇼크로부터 보호하기 위하여 다른 부분과 격리(isolation)하였다. 프리 앰프된 신호는 다시 100배 정도로 증폭되어 잡음 제거 및 제어부로 가게된다. 이 때 증폭도는 가변 저항에 의해 조절될 수 있다. 잡음 제거 및 제어부에서는 먼저 전력선의 간섭 현상을 없애기 위해 60Hz 성분을 제거한다. 다음으로 심전도 신호를 추출하는데 있어서 혼입되는 고주파 성분을 없애기 위해 저역 통과 필터링을 한다. 저역 통과 필터는 SCF(switched capacitor filter)로 구성되었으며 차단 주파수를 선택할 수 있다. 또한 DC 성분 및 혼입되는 저주파 성분을 없애기 위해 고역 통과 필터링을 하게되며 저역 통과 필터와 마찬가지로 차단 주파수를 선택할 수 있다. 이와 같은 과정을 거친 신호는 최종적으로 A/D변환기의 범위에 맞도록 0.25, 0.5, 1.2배, 중의 하나로 증폭될 수 있게 설계되었다.

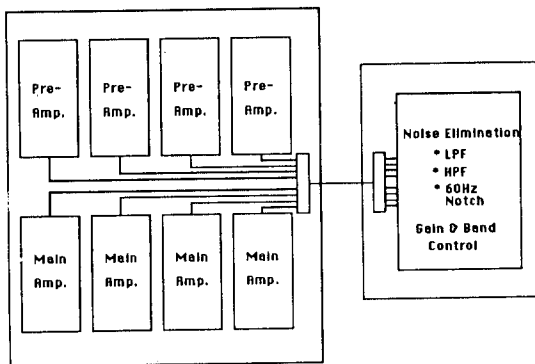


그림 2 신호 전처리 과정을 위한 하드웨어의 구성

Fig. 2 Hardware for signal pre-processing

2·3 멀티플렉서 및 A/D 변환기

신호 전처리 과정을 거친 신호는 마이크로 컴퓨터에 입력하기 위해 A/D 변환을 한다. 사용된 A/D 변환기는 16채널을 동시에 입력할 수 있는 National Instrument사의 NB-MIO-16 보드를 사용하였다. 64채널의 신호를 동시에 입력하기 위해서 A/D 변환기의 각 채널에 4:1 멀티플렉서를 설치하였다. 샘플링 주파수는 목적에 따라 각 채널당 500Hz, 1KHz 또는 2KHz로 하며^[4] 샘플링된 데이터는 DMA(direct memory access)에 의해 하드 디스크에 직접 저장된다.

컴퓨터에 입력된 데이터는 분석이 필요한 구간을 선택하여 시간 지연등을 계산함으로써 심장 전기도를 구성하게 된다.

2·4 심장 전기도 구성

컴퓨터에 입력된 심장 전기 전파 신호 중에서 기준이 되는 신호, 예컨대 심전도(ECG) 신호, 심방 기준 신호(atrial reference) 및 심실 기준 신호(ventricular reference) 등을 화면에 나타낸다. 이러한 신호의 파형을 보면서 전기 전파 시간을 계산할 구간을 찾는다. 구간이 정해지면 모든 채널의 신호를 부분별로 나타내고 기준점부터 펄스가 나오는 곳 까지의 시간 지연(time delay)을 계산하여 그 위치를 표시한다. 최종적으로 2차원 심장 도식에 계산된 시간 지연 값을 크기에 따라 색과 밝기를 변화시켜 나타냄으로서 부정맥 환자의 심장 전기전파 과정을 시각적으로 쉽게 알 수 있도록 한다.

3. 실험 및 결과 고찰

제작된 64 채널 심장 전기도 시스템을 심방 증격 결손증(atrial septal defects) 환자의 수술시에 적용하여 보았다.

그림 3은 심전도 및 기준 신호를 보며 분석이 필요한 구간을 정하는 과정이다. 첫번째 파형은 환자의 심전도를 신호를 나타내며 두번째 파형은 심방 기준 신호이다. 파형 중간의 사각형은 분석 구간을 나타내는 것으로서 심방 기준 신호가 시작되

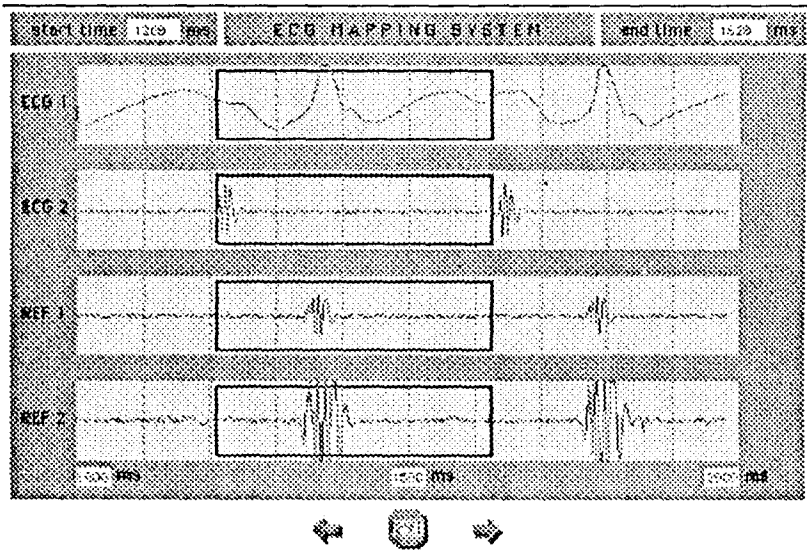


그림 3 분석 구간을 정하는 과정

Fig. 3 Selection of a wanted segment within reference sequences

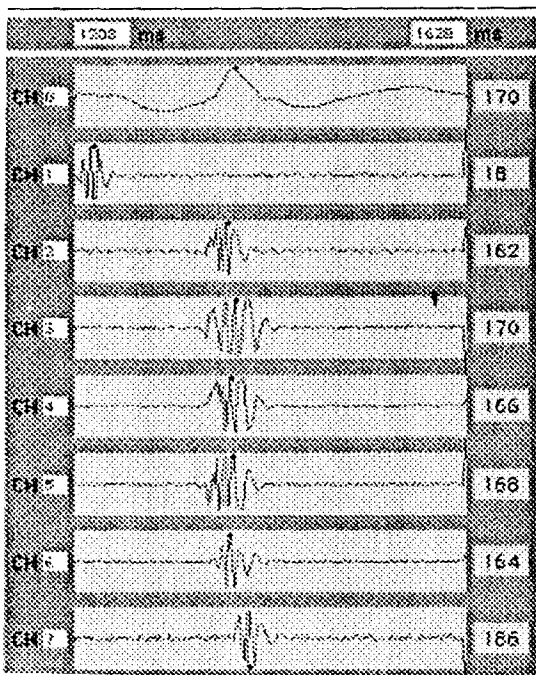


그림 4 신호 전파 시간 계산

Fig. 4 Activation time delay calculation

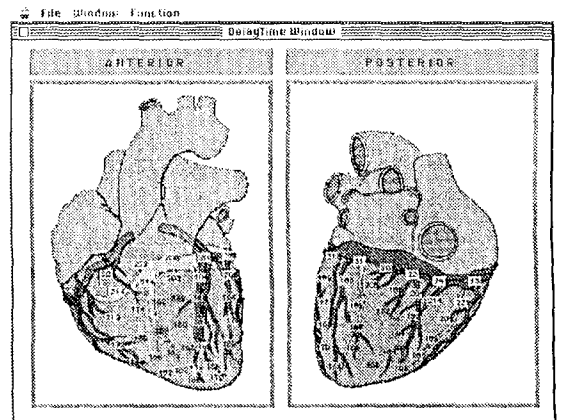


그림 5 구성된 심장 전기도

Fig. 5 Posterior and anterior view in a cardiac activation map

는 위치에 부터 구간안의 각 전극의 위치에 전기 신호가 도달되는 시간을 구하게 된다. 분석 구간의 시작과 끝 시간을 각각 위쪽에 나타내었다. 그림 4는 앞에서 정한 분석 구간에서 기준 신호로부터 각 부위에 전파되는 시간을 계산하는 과정을 나타낸다. 전파 시간을 계산하는 방법은 각 파형의 최대치를 검출하여 시작점으로 부터의 시간을 계산한다. 각 부위의 전파 시간은 파형의 오른쪽에 나타내었으며 계산의 오류를 알 수 있도록 최대치의

위치에 표시를 하였다. 계산된 전파시간을 2차원 심장 도식에 나타내어 그림 5와 같이 심장 전기도를 구성하였다. 그림에서 전파 시간이 빠른 곳에서 늦은 곳으로 갈수록 전극이 위치한 부위의 색깔을 옅어지게 함으로써 심자의 전기 전파 과정을 시각적으로 쉽게 알 수 있게 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 마이크로 컴퓨터를 이용하여, 심장 부정맥의 기전 연구 및 심장 부정맥 수술시에 이상 부위를 진단하는데 필요한 64채널 심장 전기도 시스템을 구성하여 심장 중격 결손증 환자에 적용하였다.

제작된 시스템은 분석을 위한 심장 전기 신호를 동시에 입력 할 수 있으며, 전파 시간을 계산하여 2차원 심장 그림에 효과적으로 나타냄으로써 심장의 전기 전파 과정을 쉽게 인식하도록 하였다.

본 시스템은 실용화를 위해 PCB 제작 및 몇가지 테스트와 보완 작업을 하고 있다. 또한 필요에 따라서는 약간의 수정을 통해 128채널 이상으로 확장이 가능하며, 뇌전도, 근전도 및 동/정맥압 등과 같이 다중 생체 신호를 분석해야 하는 분야에도 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Lewis T, Meakins J, White PD : The Excitatory Process in the dog's Heart. Philosophical Transactions Royal Society of London, Vol. 205; pp. 375-420, 1914.
- 2) Goodman D, Van Der Steen ABM, Van Dam RT : Endocardial and epicardial activation pathways of the canine right atrium. Am J. Physiol, Vol. pp.220 : 1-11, 1971.
- 3) John P. Boineau, MD; E. Neil Moore, DVM, RhD; Will C. Sealy, MD; Jackie J.J. Kasell, "Epicardial Mapping in Wolff-Parkinson-White

Syndrome", Arch Intern Med/Vol 135, March 1975.

- 4) Barr. R.C, and M.S.Spach, Sampling rates required for digital for digital recording of intracellular and extracellular cardiac potentials. Circulation, Vol.55; pp.40-48, 1977.
- 5) Boineau JP, Schuessler RB, Mooney CR et al. : ulticentric Origin of the Atrial Depolarization Wave the Pacemaker Complex : Relation to Dynamics of atrial conduction P-Wave changes and heart rate control.
- 6) Allessie MA, Lammers WJEP, Bonke IM et al. : Intra-atrial reentry as a mechanism for atrial flutter induced by acetylcholine and rapid pacing in the dog. Circulation, Vol.70 : pp.123-135, 1984.
- 7) Kramer JB, Corr PB, Cox JL, et al. : Simultaneous computer mapping to facilitate intraoperative localization of accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White Syndrome. Am J Cardiol, Vol.56 : pp.571-576, 1985.
- 8) Cox JL : The status of surgery for cardiac arrhythmias. Circulation Vol.71 : pp.413-417, 1985.
- 9) Cox JL : Intraoperative computerized mapping thcniques : do they treat our patients better surgically? in brugada P, Wellens HJJ, eds. Cardiac arrhythmias : where to go from here : New York : Futura, pp.613-37, 1987.
- 10) Chang BC, Schuessler RB, Stone CM, Branham BH, Canavan TE, Boineau JP, Cain ME, Corr PB, Cox JL : Computerized Activation Sequence Mapping of the Human Atrial Septum. Ann Thorac Surg., Vol.49 : pp.231-41, 1990.
- 11) 장병철, "심방 및 심방중격의 전기전파양상과 이에 대한 냉동수술요법의 영향", 연세의대는 문집 pp.255-267, 1990