

# 64채널 심장전기도 시스템 구현에 관한 연구

장병철\*, 김남현\*\*, 정성현\*\*, °라상원\*\*, 조범구\*

\*: 연세대학교 흉부외과학 교실, \*\*: 연세대학교 의과대학 의용공학과

## *A study on the development of 64 channels computerized cardiac mapping system*

Byung Chul Chang\*, Nam Hyun Kim\*\*, Sung Hun Jung\*\*,  
°Sang Weon Ra\*\*, Bum Koo Cho\*

\*:Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Yonsei Cardiovascular Research Institute,

\*\*: Division of Biomedical Engineering, Yonsei University College of Medicine

### **Abstract**

It is well known that multipoint and computerized intraoperative mapping systems improve the results of surgery for Wolff-Parkinson-White syndrome and show tremendous potential for opening an entirely new era of surgical intervention for the more common and lethal types of supraventricular tachyarrhythmias such as atrial flutter and atrial fibrillation. In addition, the ability to map and ablate the sometimes fleeting automatic atrial tachycardia is greatly enhanced by computerized mapping systems.

In this study, we have developed 64 channel computerized data analysis system using microcomputer (Macintosh IIX) for basic research of electrophysiology and electrical propagation. The bipolar electrogram information is acquired from 64 cardiac sites simultaneously at a sampling rate of 1ksamples/sec with continuous and total data storage of up to 30 seconds. When the reference electrogram is selected and reference point is picked up, delay time from the reference point is displayed on two dimensional diagram of the heart. System design permits easy expansion to almost 256 simultaneous sites. 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. 서론**

심장부정맥의 기전의 연구는 20세기 초부터 동물심장에서의 전기생리에 대한 연구를 통하여 하는 노력이 계속되어왔다. 1914년 Lewis로부터 시작된 여러 학자들의 심장부정맥의 기전에 대한 연구는 1970년대까지는 그 연구방법이 몇 개의 전극을 심장에 부착하거나, 한 개의 전극을 이곳 저곳으로 옮겨가면서 전기

신호를 각각 받아 분석하여 각 조직으로 전기가 전파되는데 소요되는 시간을 측정하였기 때문에 불안정한 인과성 심장부정맥의 기전을 연구하는데는 충분치 못하였다.[1,2,3]

그러다가, 1970년대에 들어와 컴퓨터 산업의 발달과 함께 심장전기도 검사에도 컴퓨터가 이용되기 시작하였으며 특히, 심장부정맥의 기전 연구 및 Wolff-Parkinson-White 증후군의 환자에게서 나타나는 방실 회귀성 빈맥을 수술할 경우에는 짧은 시간(최소 1msec)내에 일어나는 심장전기전파 신호를 심장의 각 부위로부터 획득하여 종합적으로 분석하는 시스템이 필수적이다.

본 연구에서는 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 64채널의 전기신호를 동시에 받아 분석하고 나타내는 심장 전기도 시스템을 개발하고 이를 실제로 심장 수술시에 적용함으로써, 심장의 전기전파 경로 및 심장부정맥의 원인이 되는 우회로(bypass tract)나 이소성 병소(ectopic focus)의 정확한 위치에 대한 정보를 알수 있고, 수술시 분석되는 시간도 감소되도록 한다.

### **2. 심장전기도(cardiac activation map)**

심장전기도는 심장의 전기적 전달 신호를 전극(electrode)을 통해 받아 들이고 이를 처리하여 시간 지연(time delay)이 같은 위치를 연결하여 나타냄으로써 심장의 전기 생리적 활동을 입체적으로 알기 쉽게 인식하도록 하는 시스템을 말한다. 이는 신호를 받는 방법에 따라 몸의 절표면에 전극을 부착하여 처리하는 BSPM(Body Surface Potential Mapping)과 수술시에 심장 표면에서 직접 신호를 받아들여 처리하는 EM(Epicardial Mapping)으로 나눌 수 있는데 이 때 부착하는 전극의 수가 많을수록 심장의 전기적 활동을 더욱 정확하게 규명할 수 있으나 실제로 연구 및 임상에 필요한 수준과 시스템 구성의 복잡성을 감안하여 전극의 수를 결정해야 한다.

심장의 전기전파(electrical propagation)에 대한 심장 전기도는 WPW(Wolff-Parkinson-White) 증후군에 따른 방실회귀성

(atrio ventricular reentry)에 의한 상심실성 빈맥 (supraventricular tachycardia) 환자를 외과적으로 수술할 때 중요한 정보를 준다. 즉 심장의 일정 부위에 기준이 되는 전기적 자극을 줄 때 이 신호가 심장 각 부위에 전파되는 시간을 계산하여 나타냄으로써 비정상적으로 전파 시간이 빠른 우회로 (bypass tract)의 위치를 알게 되는 것이다.

### 3. 시스템 구성

64채널 심장 전기도 시스템은 심장의 표면으로부터 전기 신호를 얻는 다중 채널전극(스타킹 전극)으로부터 신호를 받아 이를 전처리하여 컴퓨터(맥킨토시IIx)에 입력하는 신호 입력단 및 심장 전기도를 나타내는 소프트웨어 부문으로 구성되며 그 구성도는 그림 1과 같다.

#### 3.1 다중채널 전극 (스타킹 전극)

스타킹 전극(Stocking 또는 Sock electrode)은 주로 심실의막 전기도를 위하여 만든다. 이것은 사슴단추 모양의 테플론(teflon) 단추에 약 1.5mm간격으로 구슬 모양의 은(silver)을 부착하고 테플론(teflon)이 코팅된 전기줄에 부착하여 이것을 그물모양의 신축성이 있는 스타킹에 일정한 간격으로 부착한다. 다른 한쪽 끝은 25핀의 컴퓨터 커넥터에 연결하여 신호입력단으로 연결한다.

#### 3.2 신호 입력단

전극을 통해 들어오는 심장 전기전파신호는 수 mV에서 수십 mV로서, 전처리 과정을 통해 일정 범위 이상으로 증폭되고, 전선에 야기되는 잡음 및 전원 잡음에 대한 영향을 제거하게 된다. 전처리 과정을 거친 신호는 멀티플렉싱(multiplexing)을 한 후 1KHz로 샘플링(sampling)을 하여 컴퓨터에 입력된다.

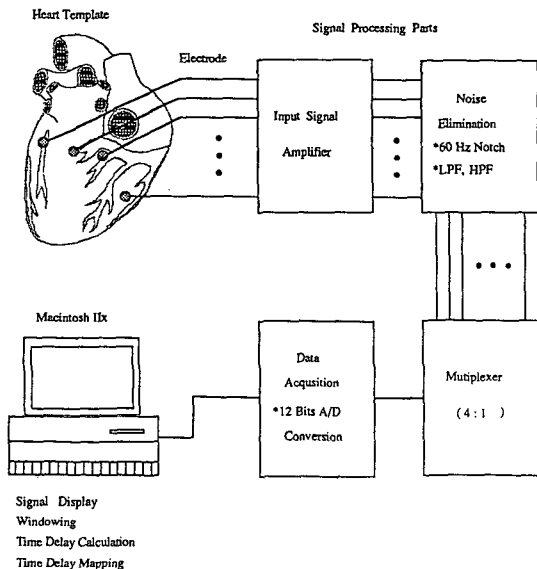


그림 1. 64채널 심장전기도 시스템 구성도

처리 과정은 먼저 피검자의 심실의막에 부착된 전극을 통해 심장 전파 신호 및 reference로 사용될 심전도 신호가 들어오면 저역통과필터(LPF)를 거친 후 1차로 차동증폭(differential amplifying)을 하게 된다. 이때 피검자의 심장을 전기 쇼크로부터 보호하기 위해 신호 추출 부분과 처리 부분을 분리하는 isolation부분을 두는데 변압기로 구성되어 있다. 1차 증폭된 신호는 다시 주 증폭단에서 수 Volts 크기의 신호로 증폭된다. 증폭된 신호는 60 Hz notch filter를 통해 전력선의 간섭이 제거된다. 이어서 심장 전파 신호를 추출할 때 혼입되는 고주파 성분 제거 및 A/D 변환을 위한 대역 제한 필터는 SCF(Switched Capacitor Filter)로 구성되어 있으며 컴퓨터의 제어신호에 의하여 Cutoff Frequency를 300, 600, 2400, 4800 Hz 중에서 선택한다. 또한 DC성분 및 혼입되는 저주파 성분을 제거하기 위한 고역 통과 필터도 SCF로 구성되어 있으며 19, 38, 675, 150 Hz 중에서 선택할 수 있다. 마지막으로 이득 조절부(Gain Controller)에서 심장 전파 신호의 크기에 따라 0.5, 1, 2, 4 배로 증폭도를 조절할 수 있도록 설계되어 있다.

#### 3.3 소프트웨어 [4,5]

본 시스템의 소프트웨어는 신호 입력 제어, 입력 데이터 디스플레이, 분석 구간 선택, 전파 시간 지연 계산 및 심장 전기도 작성 등으로 구성되어 있다.

a. 신호 입력제어는 전처리 과정을 거친 64채널의 신호를 4:1 멀티플렉싱을 한 후 입력 레벨 +5V인 12비트 A/D 변환기에서 채널당 1 KHz로 샘플링되어 맥킨토시에 입력, 하드디스크에 저장하는 기능을 한다.

b. 입력 데이터 디스플레이는 저장된 64채널 신호들 중에서 분석이 필요한 구간을 찾기 위해 기준이 되는 신호, 즉 심전도 신호 및 atrial reference 신호, ventricular reference 신호등을 화면에 나타내는 것을 말한다. 신호들을 화면에 나타낸 후에 분석이 필요한 구간을 선택한다.

그림 2는 분석구간을 찾기 위한 기준신호를 나타낸 주화면으로서 심전도 신호 및 atrial reference 또는 ventricle reference 신호를 통해 분석구간을 정하는 과정을 보여준다.

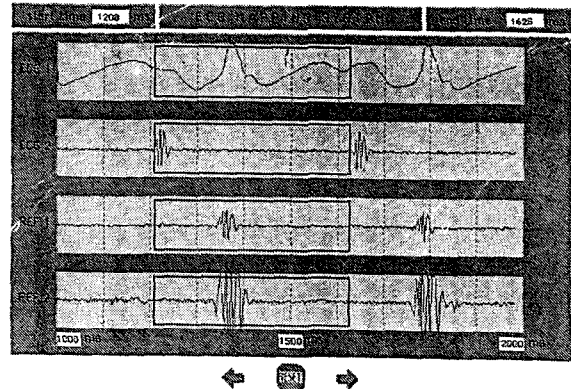


그림 2. 분석구간을 정하는 주화면

c. 기존 신호의 검색을 통해 분석이 필요한 구간이 정해지면 그 구간에 해당하는 64채널 신호를 디스플레이하고 기준점으로부터 펄스가 나오는 곳까지의 심장 전파 시간 지연(time delay)을 계산하여 그 위치를 표시한다. 이때 육안으로 확인하여 잡음에 의해 잘못된 신호이거나 위치를 변경해야 하는 경우에는 제거 또는 정정 가능하도록 하였다.

그림 3은 정해진 분석 구간내 모든 채널의 신호 파형을 나타낸 화면으로서 기준점으로부터 각 전극에 도달된 심장 전파시간 지연 값을 계산하여 표시하며, 도달 시간 위치에 수직막대로 표시를 함으로써 혹시 잘못 계산된 지연 값인지를 알 수 있도록 하였다.

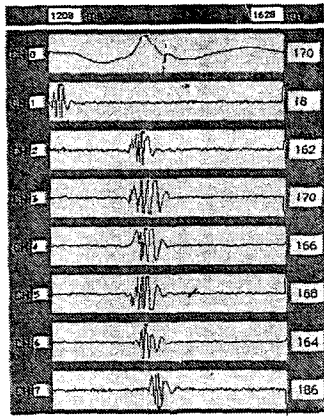


그림 3. 분석구간내 각 채널 별 심장 전파 지연 시간 계산

d. 이렇게 하여 최종적으로 얻은 시간 지연을 심장 도식에 색조를 이용하여 나타냄으로써 우회로의 위치를 시각적으로 쉽게 알 수 있도록 한다.

여기서 전기전파의 지연시간을 도식으로 나타내주는 램핑을 위한 보간(interpolation)은 Distance-weighted least-square approximation 방법을 사용하였다. [6]

그리고 컴퓨터에서 구현하기 위한 행렬계산에는 LU-Decomposition 방법이 이용되었다. [7]

◆ Distance-weighted least-square approximation

각각 값을 가지고 있는 n개의 데이터 점이 있다고 할 때 임의의 점(a,b)에서의 값을 계산하기 위해

$$P(x, y) = c_{00} + c_{10}x + c_{01}y + c_{20}x^2 + c_{11}xy + c_{02}y^2$$

와 같은 다항식을 만들고

$$Q = \sum_{i=1}^n (P(x_i, y_i) - z_i)^2 \cdot w((x_i - a)^2 + (y_i - b)^2)$$

를 최소로 하는 계수  $C_r$ 들을 구한다.

여기서  $w$ 는 weight function, 즉  $w(d^2) = 1/d^2$ 이다.

또, 모든 값에 대하여 이와 같은 방법을 쓰면 계산량이 많아서 처리속도가 느려지게 되므로 한칸씩 뛰어넘어 보간한 후에 계산되지 않은 위치에서는 주위의 값을 평균하여 값을 정해주어 처리속도를 개선하였다.

4. 임상 실험 및 결과 고찰

본 연구에서 제작된 64채널 심장 전기도 시스템을 이용해 심장 부정맥으로 외과적 요법이 필요한 환자나, 심방중격결손증 등 심근수축력이 정상으로 심외막전기도 검사로 환자 회복에 지장이 없는 환자를 대상으로 임상에 적용하였다. 임상 실험 결과나 과정은 다음과 같다. 먼저 수술전 환자에게 연구에 대한 동의를 받은 다음 전신 마취를 한다. 개흉하여 심장은 노출시킨 다음 스타킹 심외막 전극을 심실에 덮어 씌우고 전극들의 위치를 확인한 다음 동성 운동시의 심외막 전기도 검사들 하여 정상에서의 심실 외막 전기도를 작성한다. 심외막 전기신호가 입력되면 스타킹 전극의 기준이 되는 전극들과 심장의 관상동맥 해부학적 구조와 대조하여 이차원 심외막도식에 표시된 전극 위치가 일치하도록 하며 부정맥 환자의 경우 외과적 절제술에 필요한 부정맥의 원인을 조사한다. 헤파린(3mg/kg)을 정맥에 투여한 다음 대동맥관을 상행대동맥의 원위부에 삽관하고, 상공정맥과 하공정맥에 직접 정맥관을 삽관하여 완전체외순환을 시작한다. PES(Programmed electrical stimulation)으로 심방조동을 유발시켜 유발되는 환자를 대상으로 우심방 및 우측 심방중격의 심내막 전기도 검사를 한다. 즉 우심방이(right atrial appendage)에 약 3cm의 우심방 절개를 한 다음 이곳을 통하여 미리 준비한 심내막 형판전극(64채널)을 삽입한다. 형판전극이 해부학적 구조와 잘 일치되도록 한 다음 PES을 이용하여 심장을 자극하여 심방조동을 유발하면서 심장 전기도를 검사한다. 심방조동의 회귀성과 이소성의 기전을 판별하기 위하여 rapid atrial stimulation이나 PES을 하여 다시 심방조동을 없앤다. 이러한 컴퓨터를 이용한 심방 전기도 검사로써 심방조동의 전기환성순서를 확인하여 심방조동의 전기전파 양상을 연구할 수 있으며, PES을 이용함으로써 심방조동의 원인 기전이 회귀성인지, 이소성인지 구분할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 심장 기전 연구 및 심장 수술시 부정맥의 원인이 되는 우회로의 위치를 찾는 데 필요한 64채널 심장전기도 시스템을 구현하였으며, 임상에 적용하여 sinus thymth 시에 발생하는 전기 신호가 각 부위에 도달하는 시간을 계산하고 이를 심장전기도로 구성함으로써 수술 부위를 단시간내에 정확하게 알 수 있도록 하였다.

제작된 시스템을 통해 얻은 결론은 다음과 같다. 첫째, 심장 전기전파 및 심장 부정맥의 자세하고 정확한 전기적 활동 상태를 연구할 수 있다. 둘째, 심장 부정맥의 외과적 치료시 부정맥의 원인이 되는 이소성 병소나 회귀성 우회로에 대한 정확한 위치를 단시간내에 찾아냄으로써 치료 성공률을 높이고 환자의 수술시 수반되는 위험률을 감소시킨다. 셋째, 카테타 삽입에 의한

심장활동 전위를 조사할 수 있게 된다. 네제, 심장의 전기생리 연구이외에도 다중 채널의 신호분석을 요구하는 중추 신경 전달 체계의 연구 및 말초신경등의 전기생리를 연구하는데에도 적용될 수 있을 것이다.

끝으로, 컴퓨터 시스템의 구현에 있어서 소프트웨어의 개발이 사용자의 편의 위주로 더욱 향상되는 경우 마이크로 컴퓨터가 의학연구에 더욱 많이 사용되리라 생각되며, 증폭장치의 아날로그 부문과 그 주변장치가 더욱 소형화되면 데스크탑 형태의 다중채널 생체 신호 전산화 시스템이 될 수 있으리라 여겨진다.

[ 참고문헌 ]

- [1] Lewis T, Meakins J, White PD: The Excitatory Process in the dog's Heart.  
Philosophical Transactions Royal Society of London  
205:375-420, 1914
- [2] Puech P, Esclavissat M, Pallares DS, Cisneros F: Normal auricular activation in the dog's heart. Am Heart J  
4:174-191, 1953
- [3] Goodman D, Van Der Steen ABM, Van Dam RT:  
Endocardial and epicardial activation pathways of the canine right atrium. Am J. Physiol, 220:1-11,1971
- [4] Rose C, Hacker B, Anders R, Withey K : Apple Computer Inside McIntosh : Addison-Wesley Publishing Company,Inc. Volume I, II. 1985
- [5] Chernicoff S. : Macintosh Programming Primer (Think C), Addison-Wesley Publishing Company,Inc. 1989
- [6] McLain D.H : Drawing Contours from arbitrary data points. The ComputerJournal 17(4):318-324, 1974
- [7] Press W.H, Flannery B.P, Teukolsky S.A, Vetterling W.T : Numerical Recipes in C, Cambridge CALA, 28-45, 1990