

## 심전도신호의 동력학적모형화에 대한 연구

리정심, 김송희

심전도신호는 심장을 포함한 인체의 여러 기관과 계통들에 대한 정보를 반영하고있는 가장 중요한 생리신호의 하나이며 그 발생물림새와 형성에 대한 과학적인 인식은 매우 중요한 의의를 가진다.

우리는 심전도신호의 동력학적모형을 리용한 수값모의를 진행하고 몇가지 생리 및 병리학적인자들이 심전도신호의 형성과 변화에 미치는 영향을 정량적으로 해석할수 있는 방법론적기초를 마련하였다.

### 1. 심전도신호의 기초리론 및 동력학적모형

심전도신호는 심장이 규칙적으로 수축이완하는 과정에 심근세포들이 생성하는 동작전위에 의하여 종합적으로 형성되는 전기적신호이다. 심전도신호의 구체적인 형태는 매 순간 기준선으로부터의 어떤 편이로 나타나며 이러한 편이과정은 심장내근육수축을 일으키는 전기적활동의 직접적인 반영으로 된다. 심전도신호중 하나의 전형적인 주기고리상에는 P, Q, R, S, T 등 몇가지 뚜렷한 특징점들이 있으며[2] 심전도신호를 P파, PQ간격, QRS군, QT간격, ST간격, T파 등 몇개의 부분으로 나눌수 있다.(그림 1)

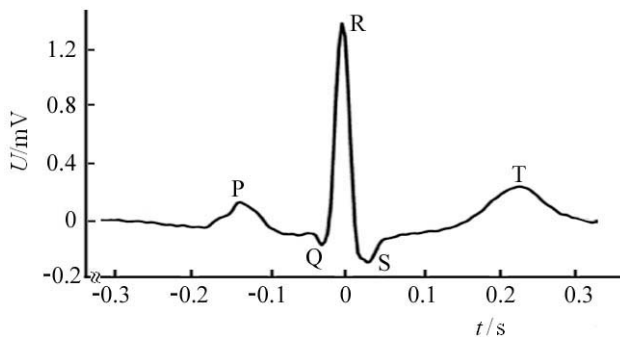


그림 1. 정상심전도파형

이때 매 부분들은 서로 다른 생리적 과정에 대응한다.

3차원공간  $(x, y, z)$ 에서 심전도신호의 주기적인 반복은  $(x, y)$ 평면내에서의 극한주기운동으로 볼수 있으며 매 순환은 하나의 RR간격에 대응한다. 그리고 매 심박주기내에서 심전도신호의 기준선으로부터의 편이는  $z$ 방향에서의 궤도의 변화로 나타낼수 있다. 특징점 P, Q, R, S, T 들이 나타나는 위치는 단위원우의 주어진 각도로써 표현할수 있다.[3]

한편 위에서 지정한 심전도신호의 5개의 특징점에 해당하는 봉우리파를 다음과 같은 지수함수형태로 표현할수 있다.

$$z = a_i \exp\left(-\frac{x^2}{2b_i}\right) \quad (1)$$

여기서  $a_i$ 는 PQRST파의 봉우리크기와 관계되는 값으로서 이 값이 클수록 파봉우리가 보다 높으며  $b_i$ 는 PQRST파의 너비와 관계되는 값으로서 이 값이 클수록 신호는 보다 넓다.

다음 심전도신호 한주기의 파형에 대하여 개별적인 특징파들을 합성하고 그 주기적인 특성을 시간미분방정식형태로 적으면 구체적인 심전도신호의 동력학적모형을 구성할수 있다. 즉 심전도신호의 동력학적방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \left(1 - \sqrt{x^2 + y^2}\right)x - \varpi y \\ \dot{y} &= \left(1 - \sqrt{x^2 + y^2}\right)y + \varpi x\end{aligned}\quad (2)$$

$$\dot{z} = - \sum_{i=(P, Q, R, S, T)} a_i \Delta \theta_i \exp\left(-\frac{\Delta \theta_i^2}{2b_i^2}\right) - (z - z_0)\rho$$

여기서  $\varpi = 2\pi/T$ ,  $T$ 는 RR간격,  $\theta = a \tan 2(y, x)$ 이다. 또한  $z_0$ 은  $z_0 = A \sin(2\pi f_2 t)$ 로 설정되는 값으로서 심전도신호의 기준선직류성분을 반영한다. 그리고  $A$ 는 구체적인 모형에서 설정되는 호흡주기신호의 진폭,  $f_2$ 는 호흡주파수이다.

우리는 호흡주파수변화의 영향을 무시하고 다만 하나의 심장주기상태만을 고려하여 구체적인 심전도신호의 동력학적모형을 연구하였다. 하나의 심전주기내에서 R파봉우리의 위치를 령점으로 하면 린접한 R파는  $\pm 2\pi$  위치에 있다. 시간비값과 각도비값이 정비례관계를 가진다는 사실로부터 이 주기내에서 PQRST파의 봉우리에 대응하는 각도  $\theta_P, \theta_Q, \theta_R, \theta_S, \theta_T$ 를 구할수 있다.

## 2. 실험결과 및 분석

우리는 심전도신호의 동력학적모형에 기초하여 Matlab를 리용한 수값모의를 진행하고 정상심전도신호와 몇가지 병리상태에서 측정된 심전도신호를 정량적으로 해석하기 위한 연구를 하였다.

식 (2)로 모형화한 정상심전도신호의 실행은 그림 2와 같다.

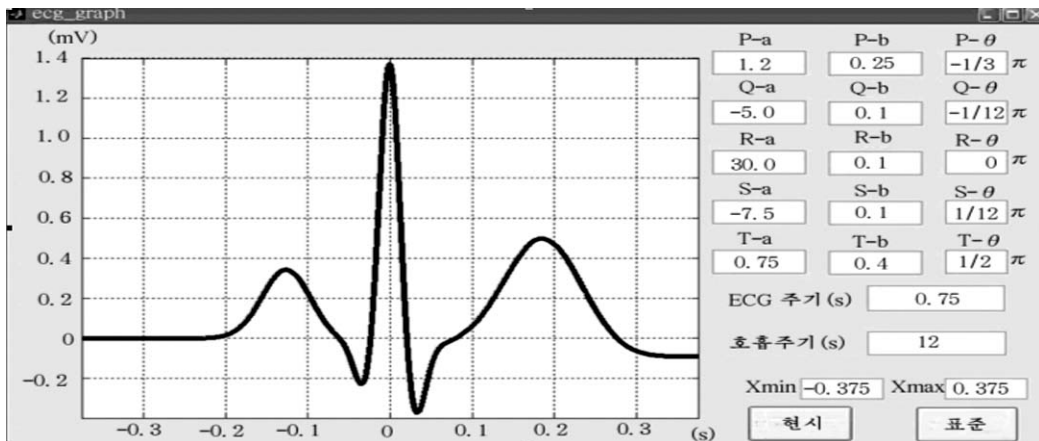


그림 2. 정상심전도신호의 모의결과

그림 2에서 보는바와 같이 측정된 정상심전도신호파형과 모형파형사이의 상관결수는 0.967로서 우리가 제기한 동력학적모형이 비교적 정확한 모형이라는것을 알수 있다.

다음 류마치스성심근염과 심방중격결손증[1]때의 실지 심전도측정파형에 근거하여 모형신호를 얻고 해당한 파라메터값을 결정하였다. 매 경우 측정신호와 모형신호사이의 상관결수는 0.9이상이었다.

류마치스성심근염때의 심전도모의신호와 모형의 파라메터값은 그림 3, 표 1과 같다.

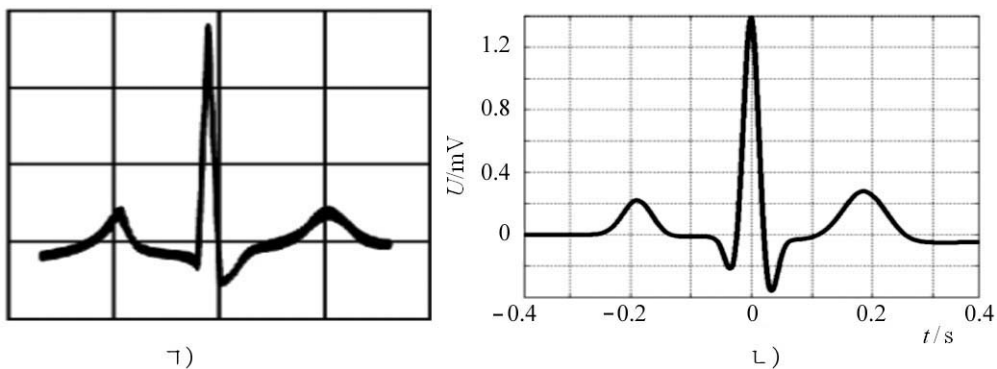


그림 3. 류마치스성병조성심근염때의 심전도모형

ㄱ) 심전도실형값, ㄴ) 심전도모형

표 1. 류마치스성병조성심근염때의 심전도모형파라메터

파라메터	P	Q	R	S	T
$\theta_i$	$-\frac{1}{2}\pi$	$-\frac{1}{12}\pi$	0	$\frac{1}{12}\pi$	$\frac{1}{12}\pi$
$a_i$	1.2	-5.0	30.0	-7.5	0.75
$b_i$	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3

도가 잘 진행되지 않아 동결절에서 시작된 신호가 심실로 제대로 넘어가지 못하고 지연이 일어난다. 그러므로  $\theta_p$ 는 방실전도의 시간적인 경과와 완화특성을 반영하는 파라메터로서 심전도파형의 PQ간격을 정량적으로 표현한다고 볼수 있다.

또한 심방중격결손증때 심전도모의신호파형과 파라메터값은 그림 4, 표 2와 같다.

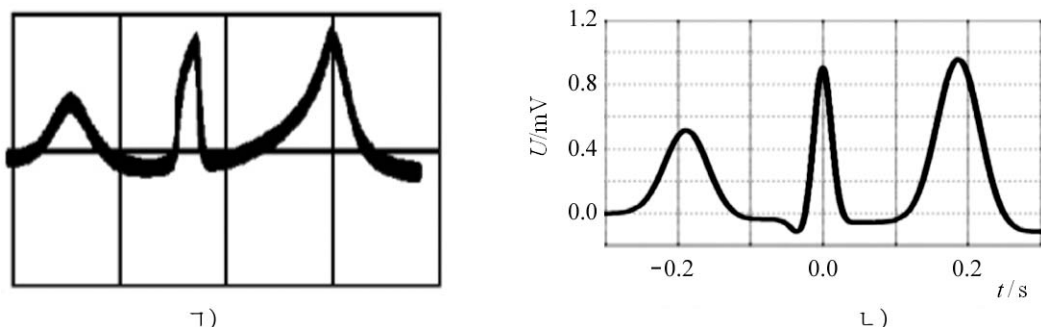


그림 4. 심방중격결손증때의 심전도모형

ㄱ), ㄴ)는 그림 3과 같음.

그림 4에서 보는바와 같이  $a_P$ 와  $a_T$ 는 증가하고  $a_R$ 는 감소하며  $\theta_P$ 는 증가하였다.

심방중격결손증에서는 우심방과 우심실, 좌심방이 확장된다. 그러므로 기본좌심실의 탈분극을 나타내는 R파는 약화되고 심방의 탈분극을 나타내는 P파

가 커지며 PQ간격이 넓어진다. 또한 비대된 심장으로 하여 재분극세기가 커져 T파도 증가한다. 결국 모형의 파라미터  $a_P$ 는 심방의 탈분극세기를 규정한다고 볼수 있다.

표 2. 심방중격결손증때의 심전도모형의 파라미터

파라미터	P	Q	R	S	T
$\theta_i$	$-\frac{1}{2}\pi$	$-\frac{1}{2}\pi$	0	$-\frac{1}{2}\pi$	$-\frac{1}{2}\pi$
$a_i$	1.8	-2.0	20.0	0	3.5
$b_i$	0.25	0.1	0.1	0.1	0.25

## 맺 는 말

- 1) 심전도신호의 동력학적모형을 제기하여 심전도자료를 분석처리할수 있는 기초를 마련하였다.
- 2) 류마치스성심근염과 심방중격결손증일 때 실시 심전도와 같은 심전도모형을 얻고 파라미터의 변화로부터 심장의 기능적변화를 예측할수 있다는것을 보여주었다.
- 3) 심전도모형의 파라미터로부터 미지의 심장병의 원인을 진단할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 길락진 등; 림상심전도학, 의학과학출판사, 20~79, 주체99(2010).
- [2] D. Ostafe; Journal of Applied Computer Science, 1, 2, 24, 2008.
- [3] P. E. McSharpy et al.; Phys. Rev. Lett., 83, 21, 4285, 1999.

주체104(2015)년 4월 5일 원고접수

## On the Dynamical Model of Electrocardiogram Signals

*Ri Jong Sim, Kim Song Hui*

We suggest a dynamical model of ECG signals, which is used to analyze ECG data.

We obtain a dynamical model from ECG signals of rheumatic myocarditis and atrioseptal defects and show functional changes of heart from this model parameters.

Key words: ECG signal, dynamical model