

## 심외막의 전기적흥분면적을 평가하기 위한 한가지 방법

김정식, 리경미

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《보건실천에서 절박하게 요구되는 새로운 의학과과학기술분야를 개척하고 고려의학을 과학화하며 최신의학과과학기술을 적극 받아들여야 합니다.》

심외막에서 전기적흥분의 전과과정을 연구하는것은 심장의 전기적활동과정을 정확히 인식하며 여러가지 심장질환을 진단하는데서 중요한 의의를 가진다.

관혈적 및 비관혈적방법들로부터 얻어지는 심외막전위분포는 주로 경색의 해부학적 위치결정이나 전도이상 등을 평가하는데 리용되고있다.[2-4] 스칼라심전도나 벡토르심전도는 물론 심전도화상화의 응용연구에서는 흥분구역의 면적을 정량적으로 평가하고 그것의 치료효과를 검증하는것과 같은 실천적문제들에 적용하는것이 중요하다.

본문에서는 프랑크유도방식으로 측정되는 단일등가2중극모멘트를 리용하여 심외막전위분포를 얻고 그것의 2차원투영을 시간적으로 전개하여 동화상화일을 만들었으며 흥분면적을 평가할수 있는 한가지 지표인 비유효흥분도계산방법을 제기하였다. 그리고 그것을 건강한 사람과 경색환자의 분류, 경색환자의 치료효과판정에 적용하기 위한 기초연구를 진행하였다.

### 기초리론 및 연구방법

#### 1) 등가2중극의 측정과 심외막전위분포계산방법

심외막에서의 전위분포를 얻는 문제는 심장의 전기적원천이 주어지는 경우 심장전기마당의 정문제로 된다. 한편 몸결면에서의 측정을 통하여 심장의 전기적원천(2중극)을 구하는 문제를 심장전기마당의 역문제라고 하는데 지금까지 이와 관련한 여러가지 모형들이 연구되였다.[1]

심장의 전기적원천을 진폭과 방향이 변하며 위치가 고정된 하나의 2중극으로 보는 방법은 현재 림상에서 쓰이고있는 프랑크벡토르심전도유도계에 적용되고있다.

2중극  $\mathbf{p}$  에 의하여 나타나는 전위  $\phi_p$  는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\phi_p = c_x p_x + c_y p_y + c_z p_z \quad (1)$$

여기서  $p_x, p_y, p_z$  는 2중극  $\mathbf{p}$  의 축방향성분들이며 결수벡토르  $\mathbf{c} = (c_x, c_y, c_z)$  를 유도벡토르라고 한다. 이 유도벡토르는 체적도체내부의 고정된 점에 존재하는 2중극원천이 체적도체의 결면 혹은 내부점에서의 전위에 주는 영향을 나타내는 3차원적인 변환결수이다. 이 유도벡토르는 2중극의 위치와 마당점의 위치, 체적도체의 모양과 그것의 전도도(분포)에 관계된다.

다음으로 심장전기마당의 원천으로서 2중극이 주어지는 경우 마당내에서의 전위분포는 일정한 가정에 기초하여 정량적으로 얻을수 있다.

일반적으로 마당원천이 불균일체적도체내에 만드는 전위는 다음과 같이 적을수 있다.[1]

$$4\pi\sigma\phi(r)=\int_V j^i \cdot \nabla\left(\frac{1}{r}\right)dV + \sum_j \int_{S_j} (\sigma_j'' - \sigma_j') \phi n_j \cdot \nabla\left(\frac{1}{r}\right) dS_j \quad (2)$$

여기서  $j^i$  는 원천전류밀도,  $S_i$  는 경계면면적,  $\sigma_j'$ ,  $\sigma_j''$  는 경계량쪽의 전기전도도,  $n_j$  는 경계면에서의 법선방향단위벡토르를 나타낸다. 식 (3)에서 오른변의 첫번째 항은 체적원천의 기여를 나타내고 두번째 항은 결면원천 즉 서로 다른 전도도구역을 구분하는 경계의 기여 다시말하여 체적도체내에서 불균일성의 기여를 나타낸다. 이로부터 매질이 균일하다면 옷식의 두번째 항이 0으로 된다는것을 알수 있다.

매질이 균일하며 심장의 전기적등가원천이 고정된 2중극일 때 그것에 의하여 생기는 전위는 다음과 같이 표시된다.

$$\phi = \frac{p}{4\pi\sigma r^2} e_p e_r \quad (3)$$

여기서  $e_p$  는 2중극  $p$  의 단위벡토르,  $e_r$  는 2중극으로부터 체적도체의 점(측정점)까지의 거리벡토르  $r$  의 단위벡토르,  $\sigma$  는 심장의 전기전도도이다.

## 2) 심외막에서 흥분된 심근세포의 면적을 평가하기 위한 방법

일반적으로 심근의 일부가 경색되면 전기적흥분의 전달과정에 그 부위의 심근세포들에서의 탈분극이 진행되지 않는다. 즉 정상심장의 전기적흥분면적보다 경색된 심장에서의 전기적흥분면적이 상대적으로 줄어들게 될것이다.

주어진 순간 심외막전위의 공간적분포에 심근세포들의 흥분 또는 비흥분상태가 반영된다는데로부터 다음과 같이 표시되는 량적지표인 비유효흥분도를 제기한다.

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{유효}}^+(t) &= \frac{1}{S} \int_S H(\phi(x, y, z, t) - \phi_{\text{thr}}^+(t)) dS \\ S_{\text{유효}}^-(t) &= \frac{1}{S} \int_S H(\phi(x, y, z, t) - \phi_{\text{thr}}^-(t)) dS \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서  $S$  는 전체 심외막의 면적,  $\phi(x, y, z, t)$  는  $t$  시각에 심외막의 점  $(x, y, z)$  에서의 전위값,  $\phi_{\text{thr}}^+(t) = \mu\phi_{\text{최대}}(t)$ ,  $\phi_{\text{thr}}^-(t) = \mu\phi_{\text{최소}}(t)$  는 립계전위값으로서 해당 시각의 최대 또는 최소심외막전위값에 비례결수를 곱한 량으로 정하였다.  $\mu$  는 흥분의 유효성을 반영하는 무게값이며  $H$  는 헤비사이드계단함수이다. 이렇게 정의된 비유효흥분도는 해당 시각에 전체 심근세포들중에서 유효하게 탈분극 또는 재분극된 심근세포의 몫을 반영한다고 볼수 있다.

## 연구결과 및 해석

경색의 해부학적위치가 각이한 심근경색환자들(324명)과 건강한 사람들(56명)의 심전도자료를 리용하였다.[5]

론문에서는 프랑크유도계를 통하여 측정되는 량들을 매 축방향의 원천성분으로 하는 등가2중극으로부터 심외막전위분포를 계산하였다.

등적투영방법의 하나인 스타브-웨르네르사영을 리용하면 계산된 심외막전위분포를 2차원적인 평면도형으로 넘길수 있는데 이것은 주어진 시각의 심외막전위분포도로 된다.

시간에 따르는 심외막전위분포의 변화특성을 연구할 목적으로 매 순간의 2차원적인 심외막전위분포도를 결합하여 동화상을 제작하였다.

### 1) 등가2중극으로부터의 심외막전위분포계산

그림 1은 건강한 사람에 대한 심외막전위분포의 시간변화과정을 보여준다. 여기서는 동화상형식으로 얻은 결과중에서 특정한 시각(Q, R, S, T파)들에서의 심외막전위분포만을 선택적으로 보여주었다.

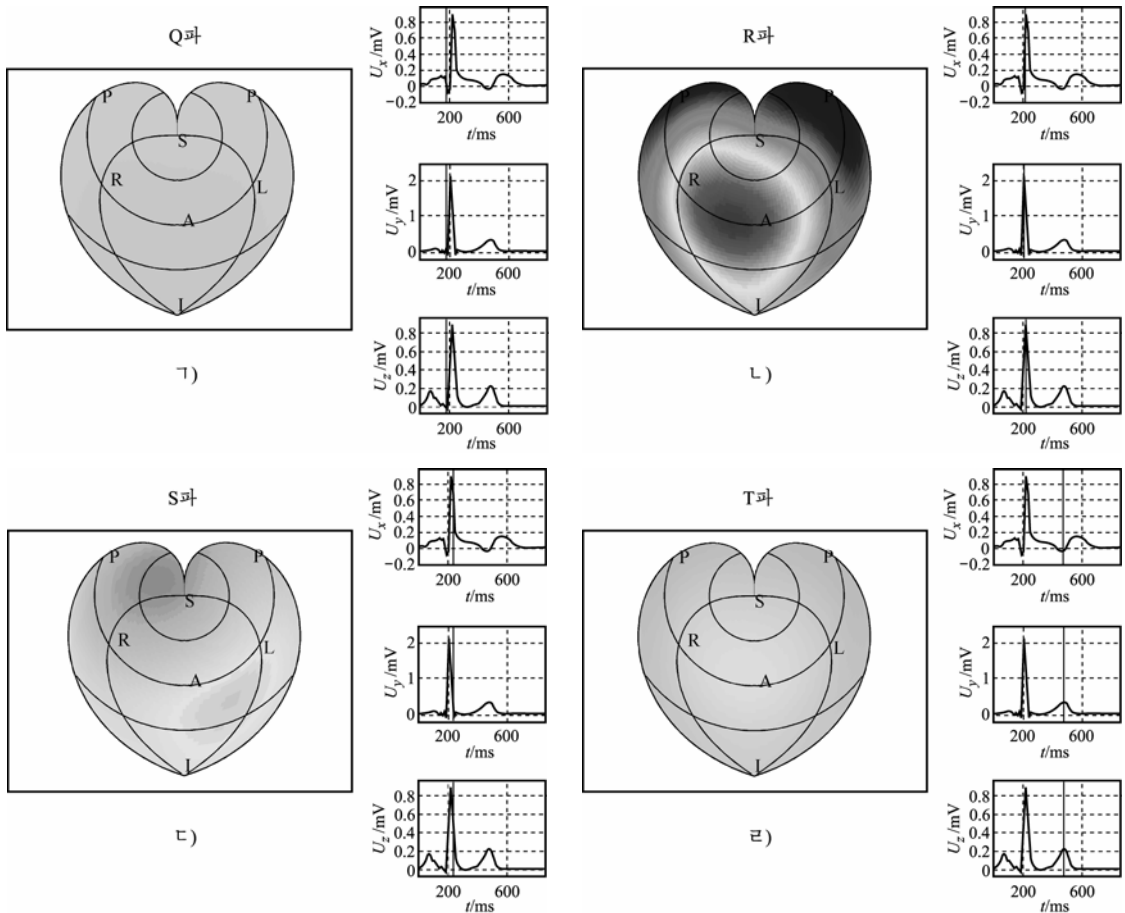


그림 1. 건강한 사람에 대한 심외막전위분포의 시간변화과정

스칼라심전도에서 Q파는 심방의 탈분극이 거의 끝나고 방실결절로 전달된 전기적 흥분이 히스속과 푸르킨예섬유를 거쳐 심실로 전달되기 시작하는 시각을 나타낸다.(그림 1의 ㉠) 심방이 탈분극된것으로 하여 심방부근에서의 심외막전위는 상대적으로 커지게 된다.

R파는 심실이 최대로 탈분극되어있는 상태로서 이때 심외막전위분포에서는 최대값을 가지는 구역이 있게 되며 넓은 면적에서 전위가 큰 값을 가지게 된다. 그림 1의 ㉡)를 보면 흥분구역이 오른쪽으로 약간 치우쳐있는것을 알수 있는데 이것은 좌심실벽이 우심실벽보다 약간 두꺼운것으로 하여 우심실이 먼저 탈분극되기때문이다. 그림 1의 ㉢)에서는 좌심실도 점차 탈분극되기 시작하여 심실전체가 탈분극상태에 있게 된다는것을 잘 보여주고있다. 그림 1의 ㉣)는 T파 즉 심실의 재분극상태를 보여준다.

그림 2는 전벽경색환자에 대한 심외막전위분포의 시간변화를 보여준다. 그림 2의 ㄴ)와 ㄷ)에서 알수 있는것처럼 전위분포가 건강한 사람과는 달리 전반적으로 좌측으로 약간 치우친다. 이것은 심근의 전벽부위가 경색되어 그 부위에서 탈분극이 일어나지 않는것과 관련된다.

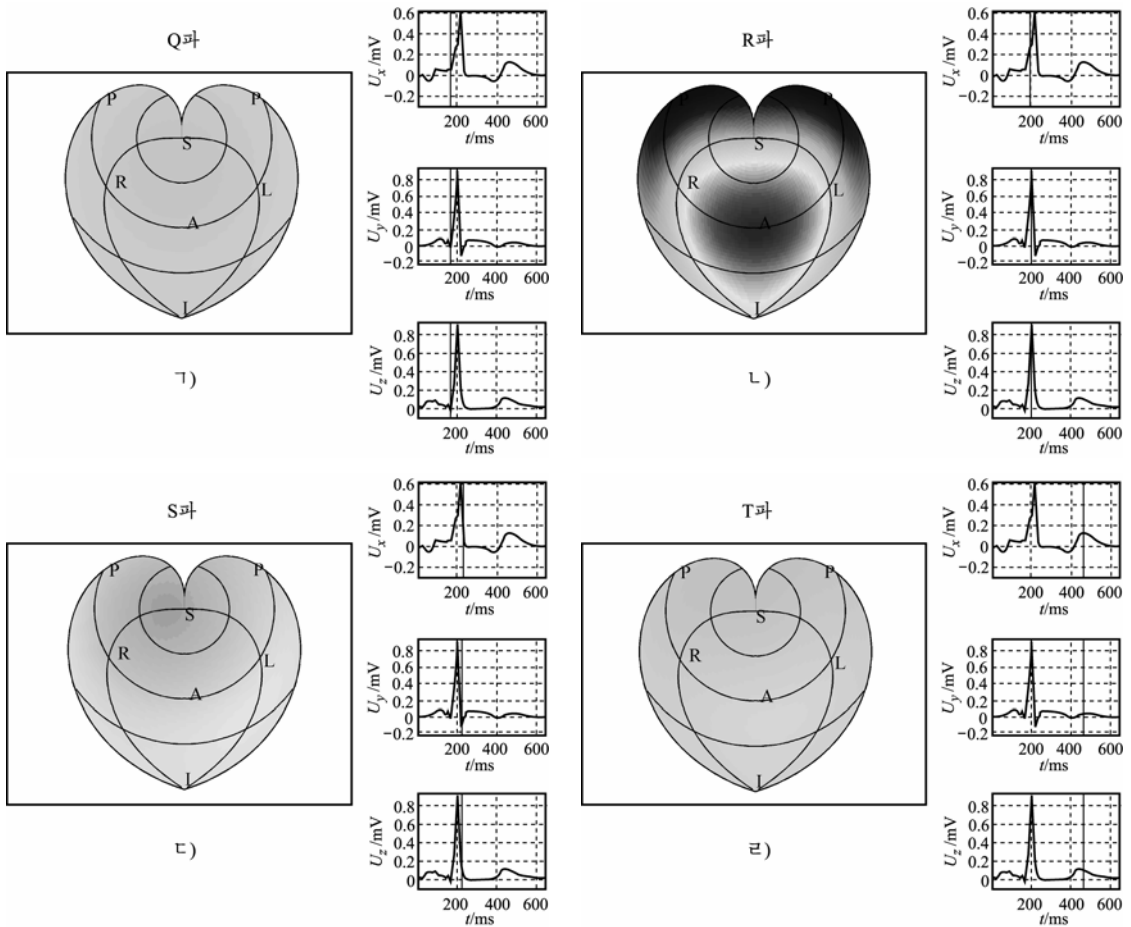


그림 2. 전벽경색환자에 대한 심외막전위분포의 시간변화

다른 측정자료들에 대하여서도 위의 방법을 적용하고 제기한 심외막전위분포계산방법이 심장전기생리학적인견지에서 큰 모순이 없으며 심장에서 전기적흥분의 발생과 전파과정을 시각화할수 있는 한가지 방법으로 될수 있다는것을 확인하였다.

## 2) 건강한 사람과 경색환자에 대한 심외막의 비유효흥분도

건강한 사람과 전벽경색환자들에 대하여 비유효흥분도를 계산하고 그에 대한 분석을 진행하였다.(그림 3) 서로 다른 비례계수  $\mu$  에 따르는 실험을 진행한데 의하면  $\mu$  의 가장 유효한 값범위는 0.3~0.6이다. 즉 이 값범위에서 건강한 사람과 전벽경색환자에 대한 비유효흥분도값들의 차이가 명백하다.

그림 3에서 알수 있는것처럼 비유효흥분도는 건강한 사람에 비하여 전벽경색환자의 경우 R파극대점이나 T파극대점에서 다같이 감소하지만 R파극대점에서의 감소는 그리 크지 않다. 그러나 T파극대점에서는 비유효흥분도의 감소가 뚜렷하다.

구체적으로 보면  $\mu=0.4$  일 때 T과극대점에 대한  $S_{\text{유효}}^+$ 는 건강한 사람에 대하여 대부분 0.04~0.05구간에 있고 전벽경색환자에 대해서는 대부분 0.02~0.03구간에 있다.

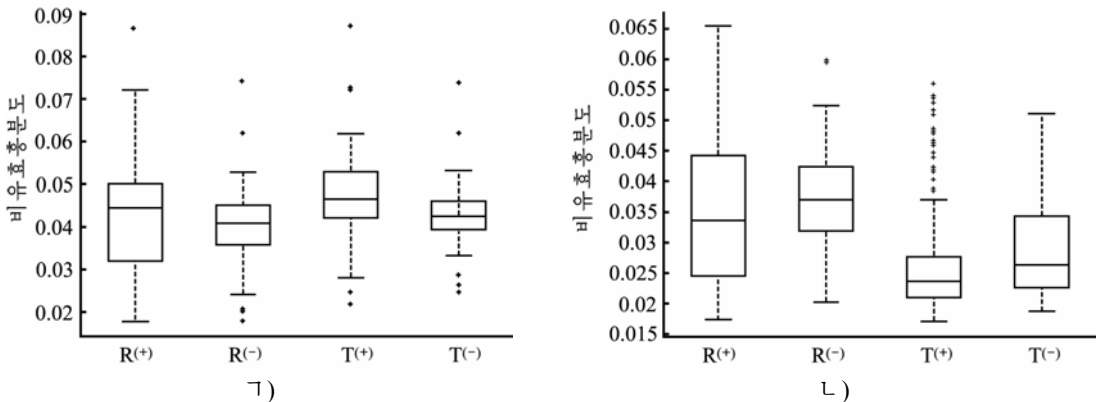


그림 3. 건강한 사람(A)과 전벽경색환자(B)의 비유효흥분도( $\mu=0.4$ )

비유효흥분도의 연구목적은 경색부위의 크기를 정량적으로 평가하자는데 있다. 우리는 치료과정을 경과한 심근경색환자의 자료에 대하여 비유효흥분도를 계산하고 그것의 변화특성을 연구하였다.(표)

표. 전벽경색환자의 비유효흥분도(카테테르수술날자: 1990. 11. 6)

측정날자	1990. 10. 29	1990. 10. 31	1990. 11. 7	1990. 12. 17
R(+)	0.016 8	0.014 6	0.036 6	0.036 6
R(-)	0.025 9	0.017 6	0.041 3	0.040 2
T(+)	0.015 3	0.015 8	0.037 4	0.036 3
T(-)	0.015 3	0.015 1	0.036 7	0.032 5

표를 보면 치료전에 측정한 심전도자료에 대한 비유효흥분도는 정상값보다 훨씬 작으며 치료후의 비유효흥분도는 정상값에는 도달하지는 못했지만 그 크기가 전반적으로 커진것을 알수 있다. 즉 치료의 효과가 있다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

프랑크유도방식으로 측정된 단일등가2중극을 원천으로 하고 축대칭균일심장모형에 대하여 심외막전위의 공간적분포를 계산하였다. 1 000Hz로 표본화된 신호에 대하여 초당 500개의 공간적분포화상을 리용하여 동화상을 생성하였다. 이 동화상화일을 통하여 심장에서 흥분의 발생과 전파과정을 매우 생동하게 직관적으로 관찰할수 있다.

제안된 비유효흥분도는 심외막내에서 유효하게 흥분된 구역의 몫을 반영하는 지표로서의 의미를 가진다. 비유효흥분도를 유효하게 하는 턱값비례결수는 0.3~0.6범위에 있다. 비례결수가 이 범위의 값을 가질 때 비유효흥분도의 값분포는 건강한 사람과 전벽경색환자에 대하여 현저하게 차이난다.

비유효흥분도가 실제로 심근경색의 정량적평가지표로 될수 있는가를 평가하기 위하여 카테테르수술을 받은 대상의 수술전후 측정자료에 대하여 비유효흥분도를 계산하여보았다. 결과 비유효흥분도가 수술전에 비하여 수술후 전반적으로 커졌다는것을 알수 있다.

론문에서 제기한 심전도화상화기술이나 경색의 해부학적크기를 평가할수 있는 량적 지표는 심전도의 발생 및 심전도기능진단에서의 효과성을 높이고 경색부위의 크기나 치료효과를 검증하는데 의의가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Malmivuo et al.; Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields, Oxford University Press, 1~641, 1995.
- [2] R. Cárdenes et al.; Medical Image Analysis, 24, 52, 2015.
- [3] S. Ploux et al.; Journal of the American College of Cardiology, 61, 24, 2435, 2013.
- [4] D. Potyagaylo et al.; Computing in Cardiology, 43, 113, 2016.
- [5] A. Goldberger et al.; Circulation, 23, 215, 2000.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

## A Method for Estimation of the Electrical Active Area of Epicardia

*Kim Jong Sik, Ri Kyong Mi*

In this paper we constructed the distribution of epicardial potential(EP) by equivalent single dipole induced by Frank Leads and projected it onto a plain to make its animation. We proposed one parameter, called specific effect activity, to determine the order of infarction quantitatively from the distribution of EP.

Keywords: electrocardiographic imaging(ECGI), epicardial potential(EP), specific effect activity(SEA)