

ST-T Changes of Multichannel Magnetocardiographic Pattern in Myocardial Ischemia

H. Kwon^{*,a}, K. Kim^a, Y. H. Lee^a, J. M. Kim^a, H. K. Lim^a, Y.-K. Park^a,
N. Chung^b, Y.-G. Ko^b, B. Joung^b, J.-B. Kim^b, J.-R. Cho^b

^a *Bio-signal Research Center, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Korea (9pt italic)*

^b *Cardiology Division, Department of internal medicine, Yonsei University Medical College, Seoul, Korea*

Received 16 August 2007

허혈에 의한 다채널 심자도의 ST-T 변화

권혁찬^{*,a}, 김기웅^a, 이용호^a, 김진목^a, 임현균^a, 박용기^a,
정남식^b, 고영국^b, 정보영^b, 김진배^b, 조정래^b

Abstract

Myocardial ischemia causes heterogeneity of ventricular repolarization and sometimes produces changes of the ST-T wave in ECG. Therefore, morphological changes of ST-T waveform in ECG have a clinical significance in diagnosing myocardial ischemia. In this study, we investigated the ST-T changes caused by myocardial ischemia in magnetocardiography (MCG). We analyzed MCG patterns of biphasic T, ST segment deviations from baseline, main current angle of T_{peak} and T_{peak} dispersion in 300 CAD patients without ST elevation in ECG, 122 symptomatic patients and 48 normal subjects. MCGs were recorded by multichannel SQUID system in a magnetically shielded room. As results, we found that appearances of the abnormality were strongly correlated with the severity of myocardial ischemia. Also we found that the percentage of the patients showing MCG changes were higher than those in ECG. These results show that morphological changes of ST-T waveform in MCG can be used as a marker of myocardial ischemia.

Keywords : SQUID, Magnetocardiography, myocardial ischemia, ST-T change, dispersion of ventricular repolarization

I. 서론

심자도는 고감도 자기 센서인 스쿼드(SQUID)를 이용하여 심근전류에 의해 발생하는 미약한 자기신호를 측정하는 기술이다. 다채널 스쿼드

센서로 구성되는 심자도 장치는 액체 헬륨에서 동작하기 때문에 제작비와 유지비가 비싼 단점이 있지만 비접촉, 비침습적인 방법으로 심장의 기능적 정보를 간편하게 측정할 수 있고 시간 및 공간 분해능이 뛰어난 장점을 가진다. 심자도는 심전도 검사에서 확인하기 어려운 심근 허혈이나 태아 심장의 이상, 부정맥과 같이

^{*}Corresponding author. Fax : +82 42 868 5290
e-mail : hckwon@kriss.re.kr

심장의 자극 전도계에 발생된 이상 부위를 찾는 데 매우 유용한 것으로 알려져 있다 [1].

심근 허혈은 심장 근육에 일시적으로 산소가 부족하여 심장이 제대로 활동하지 못하는 것을 말한다. 허혈의 대표적인 증상이 협심증으로 호흡 곤란이나 흉통이 나타난다. 허혈이 장시간 계속되면 심근 세포가 괴사하여 회복 불능 상태가 되고 심하면 심근 경색(Myocardial infarction: MI)에 이르게 된다. 심근 허혈은 심장에 혈액을 공급하는 관상동맥의 일부가 막혀 혈관이 좁아지는 관상동맥질환(coronary artery disease: CAD)이 주된 요인이며 혈관이 상당부분 막힐 때까지 별다른 증상을 느끼지 못하고 협심증, 심근경색, 돌연사 등으로 이어지는 경우가 많다.

현재 허혈을 정확하게 진단할 수 있는 방법은 없다. 혈관조영술로 혈관이 막힌 정도를 촬영하여 허혈의 심각한 정도를 간접적으로 판단할 수 있지만 방사능에 장시간 노출되어야 하기 때문에 수술전 환자에게만 제한적으로 사용된다. 양전자 단층촬영 역시 혈류의 흐름을 직접적으로 보여주지만 정확도가 낮다. 다만 임상에서 허혈성 심장 질환에 쉽게 사용될 수 있는 진단방법은 심전도로서 특히 ST-T 구간의 변화가 뚜렷하게 보인다. 심전도에서 ST 분절의 강하 또는 상승, T 파의 비정상적 상승 또는 반전 등이 있으면 허혈의 징후로 판단한다. 그러나 심전도 역시 정확도가 낮아 흉통을 수반하는 ST 상승이 있을 경우에는 심근 경색으로 진단하지만 그 외에는 참고자료로만 사용되는 경우가 많다. 특히 Q파의 시작부터 T파가 끝날 때까지의 시간을 분석하는 QT dispersion은 허혈에 의해 심근세포의 재분극이 공간적으로 비균질함을 나타내는 변수로 사용되지만 임상적 유용성에 대한 논란이 계속되고 있다 [3].

본 연구에서는 심전도에서 나타나는 ST-T 변화와 T 파가 최대값에 도달하는 시점(T_{peak})의 변화를 분석하여 허혈 진단에 활용할 수 있는지를 조사하였다. 동물 실험에서 얻은 결과를 보면 T_{peak} 는 활동전위가 심근외막에 도달하는 시점을 가리키는데 [4] 허혈이 있을 경우

허혈 부위에서는 심근 세포의 활동이 지연되거나 없으므로 각 채널에서 T_{peak} 가 나타나는 시점의 최대 간격을 공간적 비균질성을 나타내는 변수로 사용하였다.

II. 측정 및 분석방법

1. 측정대상

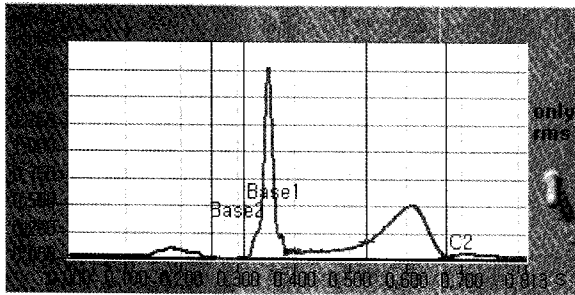
흉통으로 세브란스 병원을 찾은 환자 중 각 차단, 좌심실비대, 부정맥 등 허혈성 심장질환과 관련 없는 환자와 심전도에서 ST 분절 상승이 있어 심근 경색으로 진단된 환자를 제외한 422명의 환자에 대해 심자도 신호를 분석하였다. 이들에 대해 관동맥 조영술 진단 결과에 따라 CAD 환자 여부를 판단하였다. 즉 관상동맥의 일부분이 50% 이상 협착이 있는 300명은 관상동맥질환자(CAD)로, 나머지 122명은 잠재적 질환자(nCAD)로 분류하였다. 또한 정상인중 심장 병력이 없고 심전도에서 정상으로 판정된 자발적 지원자 48명의 심자도 신호도 분석하였다.

2. 측정방법

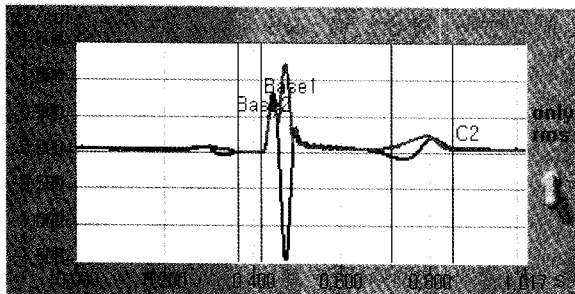
심자도는 본 연구실에서 제작되고 세브란스 병원에 설치된 평면형 64 채널 스쿼드 장치를 이용하여 자기 차폐실내에서 측정하였으며 [5] 측정 전후에 환자는 특별한 운동부하 없이 안정된 상태를 유지하였다. 이 장치는 자기 센서로 DROS(Double Relaxation Oscillation SQUID)를 이용하였고, 검출 코일은 baseline이 40 mm인 미분형으로 제작되었다. 듀아(dewar) 바닥에 평행한 두 접선 성분을 측정하도록 배열된 센서의 측정 범위는 162 mm x 162 mm이다. 아날로그 필터(0.1-100 Hz)를 지난 신호는 A/D 카드를 통해 500 Hz의 sampling rate로 컴퓨터에 수집된다. 저장된 신호는 P-Q 구간을 기준으로 기저선 보정을 하고 30 초 동안의 신호를 가산 평균하였다. 따라서 심자도 측정 시간은 준비과정을 포함해도 5-10분 정도이다.

3. 분석방법

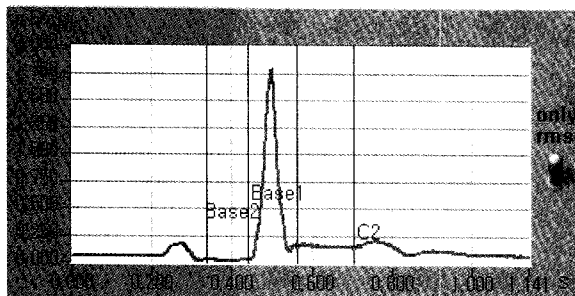
모든 채널의 rms 파형을 구한 뒤 T 파의 최대값의 1/3 되는 시점부터 T파가 끝나는 시점



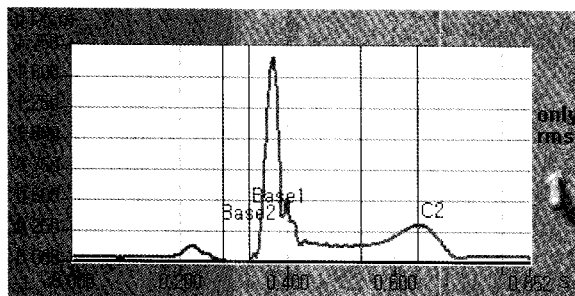
(a) Normal ST-T waveform



(b) Biphasic T



(c) ST deviation 1 ($ST > 0.1 \text{ pT/cm}$)



(d) ST deviation 2 ($ST > 1/2 T_{\text{peak}}$)

Fig. 1. Definition of various ST-T changes.

까지의 구간을 결정하고 이 구간에서 각 채널의 파형을 분석하여 최대값이 나타나는 시점을 조사한다. 이때 T_{peak} 가 가장 먼저 나타나는 채널과 가장 늦게 나타나는 채널의 시간 간격을 ΔT_{peak} 로 정의하였다(Fig. 1(a) 참조). 만약 한 채널이라도 T파가 + 최대값과 - 최대값을 동시에 가질 때는 Biphasic T로 정의한다(Fig. 1(b) 참조). 그러나 ST 구간에서의 rms 값이 0.1 pT/cm보다 크거나(Fig. 1(c) 참조) T 파 최대값의 1/2보다 클 경우에는 ΔT_{peak} 를 정의할 수 있는 구간을 설정하기 어려우므로 제외하였다(Fig. 1(d) 참조). T_{peak} 에서의 전류방향(CAT_{peak})은 Fig. 2와 같이 왼쪽팔을 기준으로 시계방향의 각도로 정의하였다.

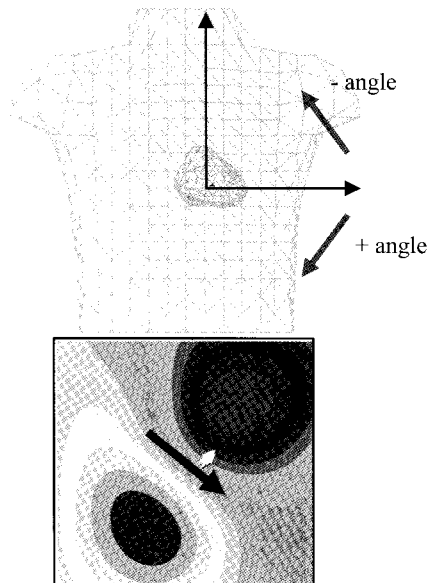


Fig. 2. Orientation of the current vector was measured clockwise from the patient's right-left line.

III. 결과 및 논의

허혈이 장시간 계속되면 심근 세포가 괴사하여 회복 불능 상태가 되고 심근 경색에 이르게 된다. 따라서 허혈의 진행 정도에 따른 효과를 보기 위하여 CAD 환자를 120 명의 심근경색 환자와 180 명의 불안정 협심증 환자로 분리하

였다. Table 1은 그룹별로 Biphasic T, ST deviation, $\Delta T_{peak} > 75$ ms, $CAT_{peak} < 0^\circ$ 또는 $CAT_{peak} > 110^\circ$ 등을 가진 환자 및 정상인의 숫자를 나타낸다. 각 그룹에서 ST deviation을 보인 환자 109명 (nCAD: 13명, CAD-nMI: 48명, CAD-MI: 48명)을 제외한 나머지 사람에게 대해서 ΔT_{peak} 를 조사하였다. 정상인의 경우 ΔT_{peak} 가 75 ms 미만으로서 모든 채널에서 심근 세포의 재분극이 고르게 진행되었음을 보여주었다. 그러나 관상동맥의 협착이 50 % 미만인 nCAD 그룹에서는 5명이 ΔT_{peak} 가 75 ms 보다 길었으며 이는 CAD 환자그룹에서 심근경색이 없는 경우 35 명으로, 심근경색이 있는 경우 34 명으로 각각 증가하였다.

한편 Biphasic T를 보인 사람은 정상인에서 1명이었고 nCAD 그룹에서는 6명인데 비해 50 % 이상의 CAD 환자그룹에서는 심근경색이 없는 경우 44 명이, 심근경색이 있는 경우 41 명이 Biphasic T 패턴을 보였다. 또 T_{peak} 에서의 전류 방향은 정상인 경우 $0-110^\circ$ 사이의 값을 갖는데 심근 경색 환자인 경우 $\Delta T_{peak} < 75$ ms이면서 CAT_{peak} 가 비정상적인 범위를 가지는 경우가 있었다. 이는 심전도에서 심근경색이 발생하더라도 시간이 지나면 Q파가 생기고 T파가 정상으로 되돌아 오는 것과 비슷하데 심근 세포의 부분적인 괴사로 인한 심근 전류의 비정상적 흐름이 심자도에서 CAT_{peak} 의 변화로 나타난 것으로 생각된다.

Table 1. Number of subjects with various ST-T changes.

	CAD		nCAD	Normal
	MI	Non-MI		
Number	120	180	122	48
Biphasic T	41	44	6	1
ST deviation	48	48	13	0
$\Delta T_{peak} > 75$ ms	34	35	7	0
CAT_{peak}	68	57	13	0
Normal	21	76	97	47

Fig. 3은 Table 1을 백분율로 나타낸 것으로서 허혈 정도가 심각할수록 ST-T 구간의 변화를 보이는 환자의 비율이 증가함을 알 수 있고, 정상적인 ST-T 파형을 갖는 환자의 비율은 크게 줄어들고 있는 모습을 잘 보여주며, 이는 ECG에서 ST depression이나 T inversion이 나타나는 것보다 훨씬 높은 비율이다 [6].

결론적으로 허혈이 심각할수록 ST-T의 변화가 크게 나타났으며 이런 상관관계를 이용하면 심자도의 ST-T 변화를 허혈의 진단 증거로서 사용될 수 있음을 확인하였다.

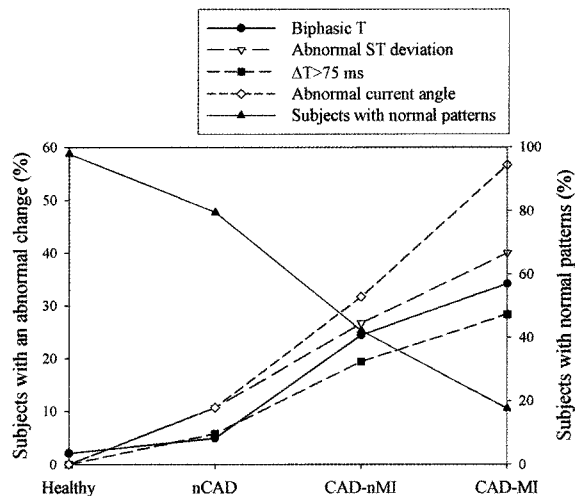


Fig. 3. Percentage of subjects with various ST-T changes depending on the severity of myocardial ischemia.

References

- [1] S. Yamada and I. Yamaguchi, "Magnetocardiograms in clinical medicine: Unique information on cardiac ischemia, arrhythmias, and fetal diagnosis", Internal Medicine, 44, 1-19 (2005).
- [2] K. Channer and F. Morris, "ABC of clinical electrocardiography: Myocardial ischemia", BMJ, 324, 1023 - 1026 (2002).
- [3] K. W. Lee, P. Kligfield, G. E. Dower, P.M. Okin, "QT dispersion, T-wave projection, and heterogeneity of repolarization in patients with coronary artery disease", Am. J. Cardiol., 87, 148-151 (2001).

- [4] G.-X. Yan and C. Antzelevitch, "Cellular Basis for the Normal T Wave and the Electrocardiographic Manifestations of the Long-QT Syndrome", *Circulation*, 98, 1928-1936 (1998).
- [5] Y. H. Lee *et al*, "A 64-channel SQUID Planar Gradiometer System for Magnetocardiogram", 한국 초전도학회 2005년도 학술발표회 (KSS 2005), (2005).
- [6] M. E. Bertrand *et al*, "Management of acute coronary syndrome in patients presenting without persistent ST-segment elevation", *Eur. Heart J.*, 23, 1809-1840 (2002).