

## MCG 영상진단 검사에 관한 연구

안산1대학 임상병리과

김종규

### A Study on MCG Imaging

Jong-Gyu Kim

*Department of Clinical Laboratory Science, Ansan College, Ansan 425-701, Korea*

Magnetocardiography (MCG) is the measurement and analysis of the magnetic component of the electro-magnetic field of the human heart, usually conducted externally, using extremely sensitive devices such as a Superconducting Quantum Interference Device (SQUID). MCG is a totally noninvasive method, it uses neither radiation nor ultrasonics. The magnetic activity of the heart is registered from outside the thorax. MCG has a very high sensitivity and a high spatial resolution for very a small, local myocardial current. In comparison to the electrical signals measured by an ECG, the magnetic signal does not disturb the boundaries of tissues with different electrical properties. MCG measures the myocardial function rather than describing the morphology. MCG is a relatively new technique that promises good spatial resolution and extremely high temporal resolution, thus complementing other heart activity measurement techniques such as Electrocardiography (ECG). The clinical uses of MCG are in detecting various cardiac disorders including myocardial infarction, ventricular hypertrophy, ventricular conduction defects, Wolff-Parkinson-White (WPW) syndrome, sudden cardiac death and fetal magnetocardiography. Magnetocardiography may be used alone or together with electrocardiography for the measurement of spontaneous or overloaded activity and for research or clinical purposes.

---

**Key Words** : MCG, SQUID, Myocardial infarction, Sudden cardiac death

### I. 서 론

심장질환은 2002년 우리나라 사망원인 3위로 분류될 만큼 성인들에게 있어서는 위험한 질병이다. 이러한 심장 질환에 관한 정확하고 신속한 진단을 위한 최첨단 장비인 심자도(Magnetocardiography, MCG)가 개발되어 현재 사용되고 있다.

MCG는 심근의 흥분으로부터 발생하는 전류에 의한 미세 자기장을 측정하여 여러 가지 병증을 진단하는 기술이다. 이러한 생체자기측정은 완전히 비침습적이며 안전하고 정확하게 고해상도로 심장이상을 국지화 하는 것이 가능하며, 차세대 최신 의료진단장비로서 주목 받고 있다.

심근의 흥분을 동반하는 활동전류에 의해 체표면에서 발생한 활동전위를 계측한 것이 심전도이고, 활동전류에 의해 흉벽면 상에 발생하는 자계를 측정하는 것이 MCG이다. 심근의 흥분을 동반하는 활동전류의 전자기신호는 특별한 센서로 측정이 가능한데, 표면전극을 이용한 전기신

---

교신저자 : 김종규, (우)425-701 경기도 안산시 상록구 일동 752  
안산1대학 임상병리과  
Tel : 031-400-6937  
E-mail : jkkim@ansan.ac.kr

호 측정을 심전도, 흉벽면 상에 형성된 자기장을 고감도 자기센서인 초전도양자간섭소자(superconducting quantum interference device, SQUID)로 측정한 것을 MCG라 한다. MCG 신호를 측정하고 분석함으로써 심근의 흥분으로부터 발생하는 전류의 활동을 이해할 수 있고 나아가 정밀한 심장기능 연구가 가능하다. MCG 기술은 비접촉, 비침습적인 측정방법이고 시간분해능과 공간분해능이 우수하기 때문에 심장의 기능적인 정보를 얻는데 유용하게 사용될 수 있다.

MCG장비는 특히 관상동맥질환으로 인한 심근경색, 협심증 등의 허혈성심장질환 진단, WPW 증후군의 원인인 부전도로 위치 탐색, 심실성 혹은 심실상성 부정맥의 원인 진단, 심실비대증 진단, 심장 돌연사 예측, 임신 중 태아 심장기능 진단에 유용하게 사용되며, 기존의 심전도에서 확인이 되지 않는 심근 허혈 및 각차단을 더욱 예민하게 진단할 수 있다.

MCG 연구의 역사는 Baule 과 McFee(1963)는 MCG을 이용하여 첫 번째로 생자기 신호를 탐지하였다. 그 후에 Baule과 McFee(1970)는 vector magnetocardiogram으로 심장자기벡터 연구를 행하였다. SQUID는 쉽게 직류신호들을 측정할 수 있고, MCG검사는 심근경색환자에서 ST 분절의 shift와 관련이 있다고 보고하였다(Cohen 등, 1971; Cohen와 Kaufman, 1975).

오늘날 MCG 연구의 대부분은 흉벽면 주변 심장 자기장 분야의 정상적 구성성분을 매핑(mapping)함으로써 이루어진다. MCG의 대부분의 연구는 자기장의 벡터를 이용하지 않고 흉벽 앞면 심장자기장의 여러 기록점만 단지 기록하는 매핑방법으로 행하여졌다(Cohen와 McCaughan, 1972; Saarinen 등, 1978). 또한 매핑방법과 함께 심장의 벡터자기장의 3가지 성분을 기록한 많은 보고서들이 있다(Cohen와 Chandler, 1969; Nousiainen 등, 1986; Willems 등, 1987). 따라서 세계적으로 MCG 검사에 대한 관심과 필요성이 점차 증가하고 있으며 국내에서도 MCG 기기도입과 이용이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 MCG 검사의 원리, MCG 검사의 영상, MCG 검사의 임상 적용 질환, MCG 검사의 장점에 대해서 설명하고자 한다.

## 본 론

### 1. MCG 검사의 원리

심전도는 세포의 전류가 만드는 전압을 체표면에서 측정하는 것이고, MCG는 세포 내 전류가 만드는 자기장을 흉벽면 상에서 측정하는 것이다. 보통 세포 외 전류는 체표면을 넓게 퍼져 흐르므로 전류밀도는 무시할 수 있을 정도로 낮은 반면 세포 내 전류는 심근세포내의 국한된 공간만을 흐르기 때문에 전류밀도가 높다.

MCG 영상진단시스템의 기본적인 원리는 심근세포의 전기적 활동에 따라 흉벽면상에 형성되는 자기장을 초전도양자간섭소자(SQUID)라는 고감도 센서를 이용하여 측정, 분석하여 병변을 진단한다. 지구 자기장의 1천만분의 1 이하인 미약한 심장자기장을 감지하기 위해서는, 지구상에서 가장 정밀한 자기측정센서인 SQUID 센서를 사용하여 측정한다(Fig. 1).

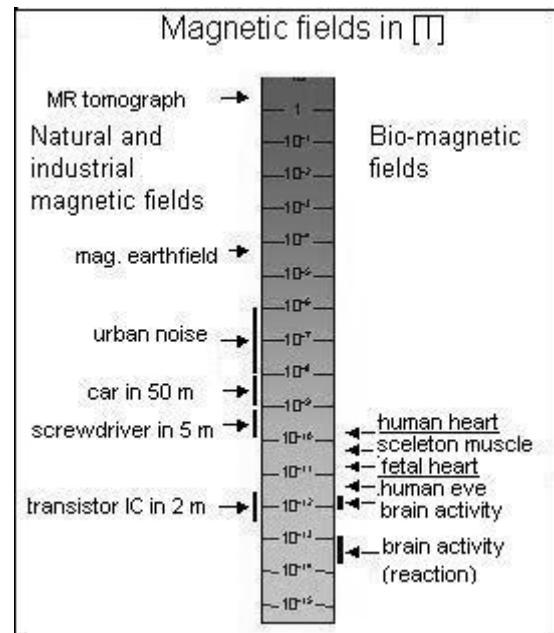


Fig. 1. The magnetic signal of the heart is very small.

이러한 SQUID 센서는 초전도현상을 이용한 장치로서, 최적 동작점을 결정하기 위해서 여러 가지 파라미터의 조정을 필요로 한다. 또한 신호원의 공간국지화를 위해서는 수십 채널급의 동시측정이 이루어져야 하며 측정 후에는 미약한 자기신호를 외부자기잡음으로 분리하기 위하여 필터링, 기저선보정, triggered averaging, PCA, ICA 등의 신호처리과정을 거친다. 이렇게 획득된 자기신호로부터 전류원의 위치를 추정하기 위해서는 전역 최적화를 이용한 역문제 해법과정을 사용하여야 하며 마지막으로 추정된 전류원을 가시화하고, 임상학적 의미를 분석하여

병증을 판단하는 진단과정을 통하여 실제 임상에 활용하게 된다.

MCG 영상진단시스템은 고감도 SQUID 센서기술과 SQUID 구동회로기술, 자기잡음제거 기술, 생체자기 신호측정 기술, 다채널 신호처리 및 분석기술, 자장분포 영상화 기술, 인체 전류원 국소화 기술, 인체 전기적 특성 모델링 기술과 심장기능 매핑 등으로 구성되어있다(Fig. 2).



Fig. 2. MCG Unit.

## 2. MCG 검사의 영상

인체는 자기적으로 진공 상태와 같이 투명하기 때문에 MCG는 심전도와 달리 파형의 왜곡이 없이 심장의 전기적 활동에 대한 정보를 정확하게 제공해 줄 수 있다.

MCG 신호는 심장 활동에 대한 시간적, 공간적 정보를 제공함으로써 심장의 이상 유무 또는 이상 부위의 위치를 찾을 수 있다. 심장의 기계적 활동은 심근전류에 의해 제어되므로 다채널 SQUID 시스템으로 측정된 MCG의 공간적 분포로부터 심근전류의 흐름을 분석하면 심장의 전기 생리학적인 활동의 이상을 찾을 수 있다.

뇌의 활동은 단일 쌍극자 전류원으로 잘 나타낼 수 있지만 심근전류는 한번에 활성화되는 세포들이 넓게 분포되어 있는 경우가 많기 때문에 심장의 내벽 또는 외벽에 흐르는 전류의 분포로 해석한다. 심장에서의 전류분포 변화를 MCG 전류원 역문제에 나타낼 수 있다(Fig. 3).

MCG 전류원 역문제 예로서 건강한 지원자의 전류분포(Fig. 4)와 관상동맥 질환 환자의 전류분포(Fig. 5)를 제시할 수 있다.

MCG로 측정된 데이터는 파형분석과 활동전류의 국지화를 통해 심근경색, 협심증 등의 허혈성 심장질환의 진단, 부정맥, WPW 증후군, 심실비대증, 각차단의 진단, 심장 돌연사 예측, 임신 중 태아 심장기능 진단 등에 활용된다.

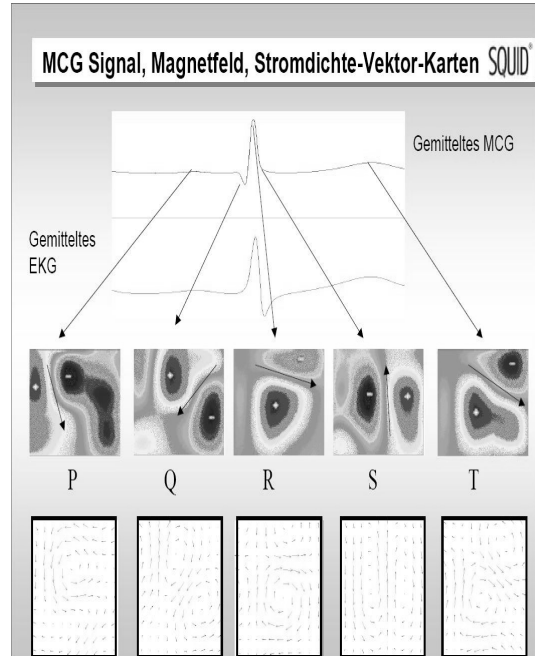


Fig. 3. An explanation of the magnetic topology maps and the current density vector maps at characteristic time points of the ECG during the cardiac cycle is shown in this Figure.

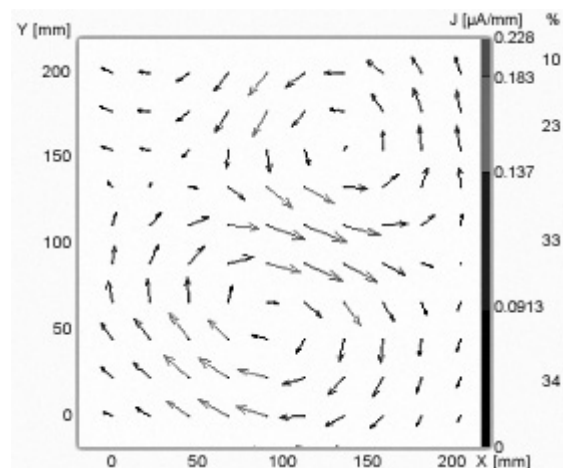


Fig. 4. Current density maps from the ST-T interval: The map of the healthy volunteer is homogeneous, main areas of vectors are directed left and down.

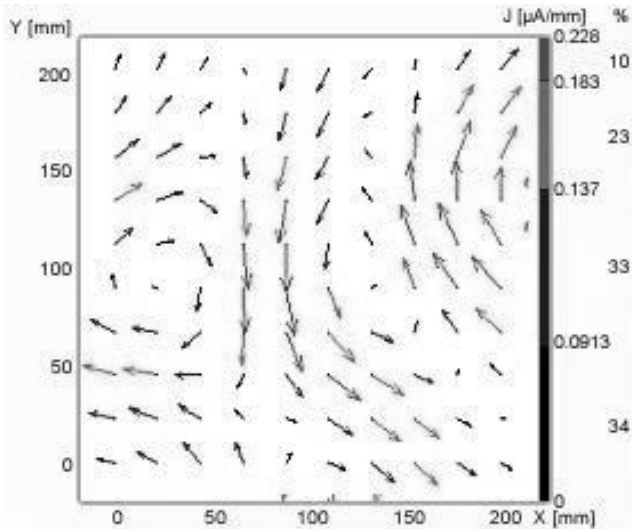


Fig. 5. Current density maps from the ST-T interval: The map of the coronary artery disease patient presents an additional strong vector area in the right upper part of the map.

### 3. MCG 검사의 임상 적용 질환

MCG 기술의 주된 임상적 응용분야는 심근경색, 협심증 등의 허혈성 심장질환 진단, 부정맥, WPW 증후군, 심실비대증, 각차단의 진단, 심장 돌연사 예측, 임신 중 태아 심장기능 진단 등이 있다(Cohn, 1980; Fujino 등, 1984; Hamada 등, 1999; Kariniemi 등, 1974; Nomura 등, 1989; Tsukada 등, 2000; Wakai 등, 1998). MCG를 측정함으로써 부정맥에 의한 돌연사의 조기 진단이나 태아 심장 기능의 이상 유무를 기존의 심전도보다 정밀하게 측정할 수 있다.

#### 1) 허혈성 심장질환 진단

MCG는 심근경색, 협심증 등의 관상동맥질환으로 인한 허혈성 심장질환 진단에 적용될 수 있으며 특히 기존 심전도에서 확인되지 않던 심근허혈을 더욱 예민하게 진단할 수 있어 관상동맥질환 판단에 80~95%의 높은 민감도를 보여서 응급상황에서 급성 관상동맥증후군의 초기 진단에 유용하다.

#### 2) 부정맥, WPW 증후군, 심실비대증, 각차단의 진단과 심장 돌연사 예측

심실성 혹은 심실상성 부정맥들의 원인 진단과 WPW 증후군의 원인인 부전도로 위치 탐색, 심실비대증 진단, 기존의 심전도에서 확인이 되지 않는 각차단을 더욱 예

민하게 진단할 수 있고, 기존의 심전도측정만으로는 심장 돌연사의 예측, 부정맥의 발생위치 추정 등에 한계가 있으므로 MCG측정기술이 각광을 받고 있다.

#### 3) 임신 중 태아 심장기능 진단

임신 중 태아 심장기능 진단을 위한 태아 MCG 측정분야가 새롭게 부상하고 있는데, 임신 7~8 개월부터는 태아가 모태로부터 전기적으로 절연상태가 되기 때문에 기존의 심전도로는 측정하기가 힘들며 인체는 자기신호에 대하여 투명하기 때문에 태아 MCG로 태아의 심장신호를 측정하여 태아의 부정맥 등 심장기능의 이상여부를 측정할 수 있다.

### 4. MCG 검사의 장점

인체는 자기적으로는 진공상태와 같이 투명하므로 MCG 측정은 심전도와 달리 신체 조직에 의한 신호의 왜곡 없이 심근 전류 활동에 대한 정보를 정확하게 제공할 수 있고, 측정 방법에 있어서도 심장전류의 흐름으로 발생하는 수십 pT 크기의 자장을 비접촉적, 비파괴적 방법으로 측정하는 장점을 가진 기술이다. MCG 측정은 신속하면서도 간편하여 피부준비나 별도의 전극을 부착할 필요가 없고, mass screening이 가능하며, 환자에게 운동부하를 주면서도 측정할 수 있다(Brockmeier 등, 1994). 또한, 외부에서 에너지를 전달해야만 하는 X-선이나 초음파, 핵자기공명영상의 경우와 달리, 환자 내부에서 나오는 신호만을 측정하므로 인체에 전혀 무해하다는 특징을 갖는다.

현재 병원에서 널리 사용되는 심전계는 심장주위의 전위차를 직접 측정하여 판단하며, 뇌파 측정의 경우처럼 왜곡된 신호를 측정할 수 있으므로 심장의 기능을 정밀하게 진단하는 데는 한계가 있다. 이에 비하여 MCG 측정은 왜곡되지 않은 자기신호로부터 심장활동전류의 위치, 시간 등을 정확히 측정하여 심장기능의 이상유무 및 부정맥의 발생위치까지 판별할 수 있어서, 기존의 심전도 측정만으로는 심장돌연사의 예측, 부정맥의 발생위치 추정 등에 한계가 있으므로, MCG 측정기술이 각광을 받고 있다.

MCG 측정 기술은 기존의 심전도에 비해 심장기능상 이상 부위의 위치추정 등이 보다 우수하여 앞으로의 심장질환 진단에 활용이 기대되고 있으며, 특히 심전도 측정이 어려운 태아의 심장 기능진단에 있어서는 앞으로

중요한 진단 기술이 될 것이다.

MCG를 이용한 진단은 비접촉, 비침습적 이면서 3차원적 정보를 제공하고 우수한 시간분해능과 공간분해능을 제공하여 심장의 기능적인 정보를 얻는 데 유용하게 사용될 수 있다.

### III. 결 론

MCG 영상진단시스템의 기본적인 원리는 심근세포의 전기적 활동에 따라 흉벽면상에 형성되는 자기장을 초전도양자간섭소자(SQUID)라는 고감도 센서를 이용하여 측정, 분석하여 병변을 진단한다.

MCG 측정은 심전도와 달리 신체 조직에 의한 신호의 왜곡 없이 심근 전류 활동에 대한 정보를 정확하게 제공해 줄 수 있고 측정 방법에 있어서도 비접촉적, 비침습적이고 비파괴적인 장점을 가지며 우수한 시간 분해능과 공간 분해능을 가지므로 심전도와 함께 심장기능 연구 및 기능적 심장질환 진단에 중요하게 사용될 수 있는 새로운 진단 장비이다.

MCG 측정은 신속하면서도 간편하여 별도의 전극을 부착할 필요가 없고 환자에게 운동부하를 주면서도 측정할 수 있으며 외부에서 에너지를 전달해야만 하는 X-선이나 초음파, 핵자기공명영상의 경우와 달리, 환자 내부에서 나오는 신호만을 측정하므로 인체에 전혀 무해하다는 특징을 갖는다.

MCG 기술의 주된 임상적 응용분야는 심근경색, 협심증 등의 허혈성 심장질환의 진단, 부정맥, WPW 증후군, 심실비대증, 각차단의 진단, 심장 돌연사 예측, 임신 중 태아 심장기능 진단 등에 응용되고 있다.

MCG는 연구 또는 임상진단의 목적으로 자발적으로 발생하는 신호와 운동부하를 가했을 때 발생하는 신호를 측정하기 위해서 MCG 단독 또는 심전도와 함께 사용하면 의료 진단 치료기술에 유익한 정보를 줄 수 있다고 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. Baule GM, McFee R. Detection of the magnetic field of the heart. *Am Heart J* 66(7):95-96, 1963.
2. Baule GM, McFee R. The magnetic heart vector. *Am*

- Heart J* 79(2):223-236, 1970.
3. Brockmeier K, Comani S, Ern  SN, Di Luzio S, Pasquarelli A, Romani GL. Magnetocardiography and exercise testing. *J Electrocardiol* 27:137-142, 1994.
4. Cohen D, Chandler L. Measurements and simplified interpretation of magneto- cardiograms from humans. *Circulation* 39:395-402, 1969.
5. Cohen D, Kaufman LA. Magnetic determination of the relationship between the S-T segment shift and the injury current produced by coronary artery occlusion. *Circ Res* 36:414, 1975.
6. Cohen D, McCaughan D. Magnetocardiograms and their variation over the chest in normal subjects. *Am J Cardiol* 29(5):678-85, 1972.
7. Cohen D, Norman JC, Molokhia F, Hood W. Magnetocardiography of direct currents: S-T segment and baseline shifts during experimental myocardial infarction. *Science* 172(6):1329-33, 1971.
8. Cohn PF. Silent myocardial ischemia in patients with a defective anginal warning system. *Am J Cardiol* 45:697-702, 1980.
9. Fujino K, Sumi M, Saito K, Murakami M, Higuchi T, Nakaya Y, Mori H. Magnetocardiograms of patients with left ventricular overloading recorded with a second derivative SQUID gradiometer. *J Electrocardiol* 17:219-228, 1984.
10. Hamada H, Horigome H, Asaka M, Shigemitsu S, Mitsui T, Kubo T, Kandori A, Tsukada K. Prenatal diagnosis of long QT syndrome using fetal magnetocardiography. *Prenat Diagn* 19:677-680, 1999.
11. Kariniemi V, Ahopelto J, Karp PJ, Katila TE. The fetal magnetocardiogram. *J Perinat Med* 2:412-416, 1974.
12. Nomura N, Nakaya Y, Fujino K, Ishihara S, Katayama M, Takeuchi A, Watanabe K, Hiasa Y, Aihara T, Mori H. Magnetocardiographic studies of ventricular repolarization in old inferior myocardial infarction. *Eur Heart J* 10:8-15, 1989.
13. Nousiainen JJ, Lekkala JO, Malmivuo JA. Comparative study of the normal vector magnetocardiogram and vector electrocardiogram. *J. Electrocardiol* 19(3) : 275-90, 1986.

14. Saarinen M, Karp P, Katila T, Siltanen P. The normal magnetocardiogram: I. Morphology. *Ann Clin Res* 10(S21):1-43, 1978.
15. Tsukada K, Miyashita, Kandori A, Mitsui T, Terada Y, Sato M, Shiono J, Horigome H, Yamada S, Yamaguchi I. An iso-integral mapping technique using magnetocardiogram and its possible use for diagnosis of ischemic heart disease. *Int J Card Imaging* 16:55-66, 2000.
16. Wakai RT, Leuthold AC, Martin CB. Atrial and ventricular fetal heart rate patterns in isolated congenital complete heart block detected by magnetocardiography. *Am J Obstet Gynecol* 179:258-260, 1998.
17. Willems JL, Lesaffre E. Comparison of multigroup logistic and linear discriminant ECG and VCG classification. *J Electrocardiol* 20:83-92, 1987.