

MEG 영상진단 검사에 관한 연구

안산1대학 임상병리과

김 종 규

A Study on the MEG Imaging

Jong-Gyu Kim

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

Magnetoencephalography (MEG) is the measurement of the magnetic fields produced by electrical activity in the brain, usually conducted externally, using extremely sensitive devices such as Superconducting Quantum Interference Device (SQUID). MEG needs complex and expensive measurement settings. Because the magnetic signals emitted by the brain are on the order of a few femtoteslas (1 fT = 10⁻¹⁵T), shielding from external magnetic signals, including the Earth's magnetic field, is necessary. An appropriate magnetically shielded room is very expensive, and constitutes the bulk of the expense of an MEG system. MEG is a relatively new technique that promises good spatial resolution and extremely high temporal resolution, thus complementing other brain activity measurement techniques such as electroencephalography (EEG), positron emission tomography (PET), single-photon emission computed tomography (SPECT) and functional magnetic resonance imaging (fMRI). MEG combines functional information from magnetic field recordings with structural information from MRI. The clinical uses of MEG are in detecting and localizing epileptic form spiking activity in patients with epilepsy, and in localizing eloquent cortex for surgical planning in patients with brain tumors. Magnetoencephalography may be used alone or together with electroencephalography, for the measurement of spontaneous or evoked activity, and for research or clinical purposes.

Key Words : MEG, SQUID, Epilepsy, Brain tumor

I. 서 론

국민총생산(gross national product, GNP)의 상승과 인구 구성의 고연령화로 인하여 수반하는 질병구조가 변화되어 가고 있으며, 국민들의 의료에 대한 관심이 높아져 앞으로 의료는 질적으로, 양적으로 증가되어 갈 것이다. 이와 같은 고도의료시혜의 요구와 급격히 증가된 의료수

요에 대한 대처 방안으로 진단치료기술의 과학화와 함께 새로운 원리에 의한 검사, 진단, 치료법의 개발이 요구되고 있다.

사람의 뇌는 약 100억 개의 뇌신경세포로 구성되어 있는데, 뇌신경 세포의 전기적 작용에 의해 뇌활동과 뇌기능을 수행한다.

우리가 보고, 듣고, 느끼고, 생각할 때마다 뇌에서는 여러 가지 작용을 거쳐 전기신호가 발생하고, 이 전기신호는 다시 자기신호를 유도한다. 이러한 전자기신호는 특별한 센서로 측정이 가능한데, 표면전극을 이용한 전기신호 측정을 뇌파, 머리밖에 형성된 자기장을 고감도 자기센서

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

인 초전도양자간섭소자(superconducting quantum interference device, SQUID)로 측정된 것을 뇌자도(magnetoencephalography, MEG)라 한다. MEG 신호를 측정하고 분석함으로써 뇌신경전류의 활동을 이해할 수 있고 나아가 정밀한 뇌기능 연구가 가능하다. MEG 기술은 비접촉, 비침습적인 측정방법이고 시간분해능과 공간분해능이 우수하기 때문에 뇌의 기능적인 정보를 얻는데 유용하게 사용될 수 있다.

MEG 장비는 특히 간질발생의 위치측정, 뇌수술에서 가장 중요한 수술 전 대뇌피질의 기능진단, 인지기능 연구, 정신질환의 진단 등에 유용하며, 이러한 기술은 다른 MRI, CT 등과 더불어 진단, 수술준비에 중요한 역할을 하며, 직접 칼을 들이대지 않고 방사선, 레이저 등을 이용한 수술기술이 개발됨에 따라 그 중요성이 더욱 커지고 있다.

MEG는 1970년대 SQUID 장치의 개발로 시작되었고 MEG 영상진단시스템은 전체 두뇌 위에 300개의 센서를 일정한 간격으로 배치하여 대뇌피질로부터 데이터를 측정할 수 있으며, 최근 연구목적 뿐만 아니라 임상적 사용이 시작되었고 오늘날 전 세계적으로 약 100군데에 MEG 영상진단시스템이 설치되었고, MEG는 수술 전 뇌기능 매핑, 뇌의 병적 기능결핍의 측정, 간질측정과 신경과학 및 정신과학연구에 사용되어지고 있다(Verrotti 등, 2003).

Tanenbaum 등(2000)은 미국 방사선협회의 간질에 관한 판정에서 MEG와 뇌파만이 ms로 측정 가능한 우수한 시간분해능으로 간질성 뇌활동을 직접적으로 측정할 수 있다고 하였고, PET, SPECT, fMRI에서는 수초에서 수분까지 측정에 시간이 걸리므로 MEG와 비교해 보면 시간분해능이 좋지 못하다고 하였다.

Pataria 등(2004)은 113명의 간질 환자에 대한 MEG와 V-EEG(Video-EEG)의 민감도와 선택성에 관한 비교연구에서 MEG와 V-EEG 둘 다 민감도와 선택성이 환자들 중 32.3%로 같았고, MEG에서는 40%의 환자에서 부가적으로 간질 국지화를 볼 수 있었다고 하였다.

Stefan 등(2003)은 MSI검사를 한 455명의 간질환자의 측정에서, 특이적 간질활동에 대한 MEG의 평균 민감도는 70%였다고 보고하였다.

Eliashiv 등(2002)은 간질 환자의 수술 전 측정에서 ictal MEG기록의 가능성과 유용성을 결정하기 위한 연구를 하였으며, Stefan 등(2004)은 해면상 혈관종에 기인한 국소적 발작 환자에서 MEG는 정확하게 간질조직 병변부를 보여준다고 보고하였다.

따라서 세계적으로 MEG 검사에 대한 관심과 필요성이 점차 증가하고 있으며 국내에서도 MEG 기기도입과 이용이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 MEG 검사의 원리, MEG 검사의 영상, MEG 검사의 임상 적용 질환, MEG 검사 시 실시사항, MEG 검사의 장점에 대해서 설명하고자 한다.

II. 본 론

1. MEG 검사의 원리

뇌파는 세포의 전류가 만드는 전압을 머리표면에서 측정된 것이고, MEG는 세포 내 전류가 만드는 자기장을 머리 밖에서 측정된 것이다. 보통 세포 외 전류는 머리도체를 넓게 퍼져 흐르므로 전류밀도는 무시할 수 있을 정도로 낮은 반면 세포 내 전류는 신경세포내의 국한된 공간만을 흐르기 때문에 전류밀도가 높다.

MEG 영상진단시스템의 기본적인 원리는 뇌신경세포의 전기적 활동에 따라 머리주위에 형성되는 자기장을 초전도양자간섭소자(SQUID)라는 고감도 센서를 이용하여 측정, 분석하여 병변을 진단한다(Fig. 1).

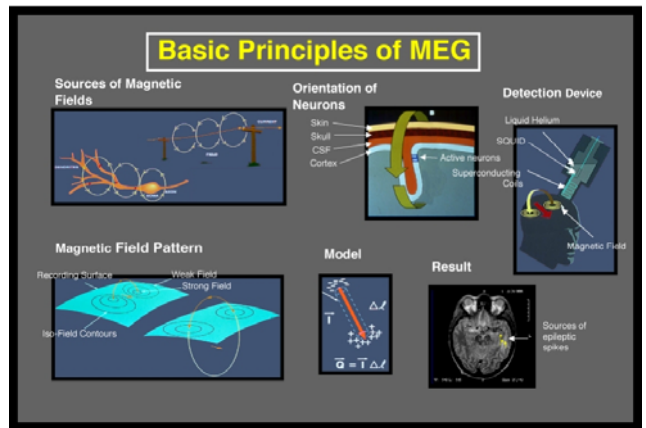


Fig. 1. Electrical activity in neurons produces magnetic fields that can be recorded outside the skull and used to calculate the locations of the activity within the brain.

MEG 신호의 종류는 알파리듬, 간질파 등과 같이 자발적으로 발생하는 신호와 인체에 시각, 청각, 촉각 등의 자극을 가했을 때 발생하는 유발자장신호가 있다. MEG신호는 주로 1 Hz-100 Hz의 주파수 영역에서 수십-수백 fT의 크기로 발생되며 지구자기장의 약 10억분의 1에 해당

하는(1 fT=10-15T) 매우 미약한 자장신호이기 때문에 고감도의 측정기술이 요구된다.

MEG 영상진단시스템은 고감도 SQUID 센서 기술과 자기잡음 제거기술, 구동회로기술과 미약 자기장 측정기술, 디지털 신호처리 기술과 자장분포 매핑, 전류원 위치 추정기술과 뇌기능 매핑 등으로 구성되어 있다(Clarke, 1989; Drung, 1991)(Fig. 2).



Fig. 2. MEG Unit

뇌자기장 측정 환경은 주변 지구자기장등에 의한 영향을 차단하기 위하여 검사실은 강자성체를 재료로 사용한 자기차폐실이 사용되고 오프레이터실과 분리되어 있다.

2. MEG 검사의 영상

MEG 연구의 역사는 1972년에 미국 MIT 자기연구소에서 D. Cohen이 개발한 1채널 SQUID 시스템으로 알파리듬에 의한 자장신호측정에 최초로 성공한 이래 현재 뇌 전체의 자장분포를 1회의 측정으로 알 수 있는 헬멧형 MEG 영상진단시스템이 개발되어 병원에 투입되기 시작한 1995년 이후이며 이를 이용한 뇌기능 연구가 활발히 진행 중이다(Wikso, 1995).

현재 개발된 헬멧형 MEG 영상진단 시스템은 150-300개의 위치에 센서가 일정한 간격으로 배치되어 있다.

MEG로 측정된 데이터는 파형분석과 활동전류의 국지화를 통해 병변부위와 기능의 장애를 찾아낼 수 있다.

파형분석은 진폭변화나 파형의 극성변화를 살펴 간질과 검출 및 뇌병변 존재, 또는 기능장애를 정량적으로 진단하며, ms 단위의 짧은 시간동안의 뇌신경전류가 나오

는 위치와 방향의 변화를 표시하는 전류원의 국지화는 간질발생의 위치측정, 수술 전 대뇌피질의 기능진단, 정신질환의 진단 등에 활용된다.

MEG는 머리 주위에 형성되는 자기장을 측정하기 때문에 접촉이나 절개 없이 검사가 가능하며 뇌신경세포의 전기적 활동을 직접 관찰하여 3차원적인 정보를 얻을 수 있다는 점에서 해부학적인 정보만을 제공하는 뇌 CT나 MRI, 피의 흐름, 산소이동 등 물질대사 과정을 측정하는 PET 등의 장비보다 우수한 것으로 알려졌다.

MEG는 해부학적 위치를 판별하기 쉽지 않기 때문에 MRI로 얻어지는 해부학적 영상과 결합시켜 간질발생 위치를 국지화시킨 영상을 얻을 수 있다(Fig. 3).

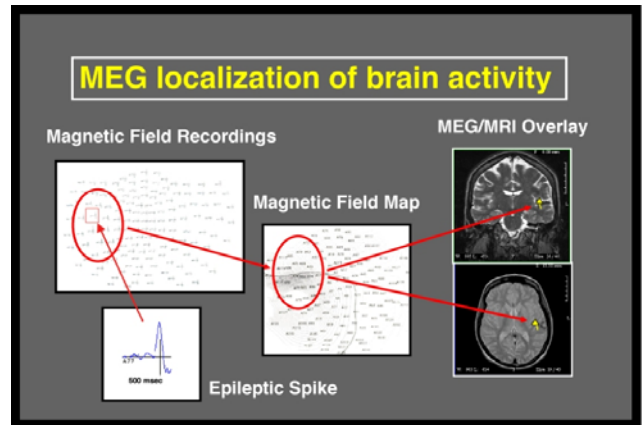


Fig. 3. The sequence of steps to localize sources of neuronal activity from time-domain recordings to MRI overlay.

3. MEG 검사의 임상 적용 질환

MEG기술의 주된 임상적 응용분야는 간질발생부위의 위치추정, 수술 전 수술부위의 기능진단, 인지기능연구, 정신질환의 진단 등이 있다(Lounasmaa 등, 1994; Kakigi 등, 1995; Kitamura 등, 1995; Kuriki 등, 1996; Kuriki 등, 1998). 간질에 관해서는 국내에는 약 40만 명의 간질환자가 있고 이중에서 약 20%가 수술이 필요한 상태이나 현재의 뇌파, fMRI, PET, SPECT 등의 측정방법으로는 간질 발생부위를 정확히 추정하기가 어렵고 진단에 소요되는 비용과 시간이 환자에게 많은 부담이 된다. 그러나 MEG 기술을 이용하면 간질발생부위의 위치를 보다 정확히 진단할 수 있다.

1) 간질 국지화

대뇌피질 신경세포의 과도한 흥분에 의해 발생하는 간질은 정상적인 신경활동에 비해 더 많은 수의 신경세포에 전류가 동시에 흐르기 때문에 발생하는 MEG 신호도 정상인에 비해 훨씬 크다. 간질진단에 있어서 신호파형의 이상 유무 판정, 간질초점의 위치추정, 간질발작 진행순서의 동적해석에 MEG 기술이 적용된다(Diekmann 등, 1998).

2) 수술 전 뇌기능 매핑

수술 전 뇌기능 매핑으로는 체성감각 유발자장 측정이 가장 많이 사용되고, 청각유발자장은 측두엽 부위에 병변이 존재하는 경우 청각기능의 진단에 사용되며 이명환자의 진단에도 사용된다.

3) 정신질환의 진단

MEG 기술의 비침습적인 특성을 이용함으로써 소아정신질환의 정기적인 모니터링, 학습장애의 조기진단이 가능하며, 알츠하이머 질환의 조기진단으로서 임상적으로 심각한 장애가 나타나기 전에 증상의 변화양상을 추적할 수 있다.

4. MEG 검사 시 실시사항

- ① 진정제를 투여하지 않으면 특별한 준비사항은 없다.
- ② 자정이후에 금식 하여야 한다.
- ③ 정기적으로 복용하는 약은 약간의 물과 함께 먹는다.
- ④ MEG실에 들어갈 때 헐겁고 편안한 옷을 입는다.
- ⑤ 보석, 헤어스타일, 화장, 보청기, 의치를 하지 않는다.
- ⑥ 미주신경 자극물이나 심박의 페이스메이커를 한 경우에는 MEG를 할 수 없으므로 의사에게 문의한다.
- ⑦ MEG영상진단시스템의 측정을 방해하는 금속물체를 제거한 후 병원 가운데로 바뀌 입는다.
- ⑧ 센서들은 머리위에 위치시키고 얼굴을 덮지 않게 한다.
- ⑨ MEG 검사는 1시간에서 2시간 반 걸린다.

5. MEG 검사의 장점

뇌파는 뇌내의 활동전류가 전기전도도가 다른 여러 물

질을 거쳐 머리표피까지 전달되면서 공간적으로 심하게 왜곡된 전위차를 측정하게 되므로 공간적인 정확성이 좋지 않다. 그러나 MEG에서는 머리가 자기적으로 균일하고 자기장에 대해 투명하기 때문에 자장 발생원으로부터 공간적으로 떨어진 위치에서 측정이 가능하므로 주변 매질에 의한 영향이 뇌파측정에 비해 훨씬 적다. 즉, 측정결과가 주로 활동전류에만 의존하기 때문에 전류원의 위치를 정확하게 추정할 수 있는 장점이 있다.

MEG는 뇌기능을 검사할 수 있는 다른 각종 검사장비들과 비교해 보면 시간분해능 및 공간분해능이 우수하나 MEG신호는 지구자기장의 약10억분의 1에 해당하는 미약한 자장신호이기 때문에 주변 자기장의 영향을 차단하기 위해서 고감도의 측정기술이 요구된다(Fig. 4).

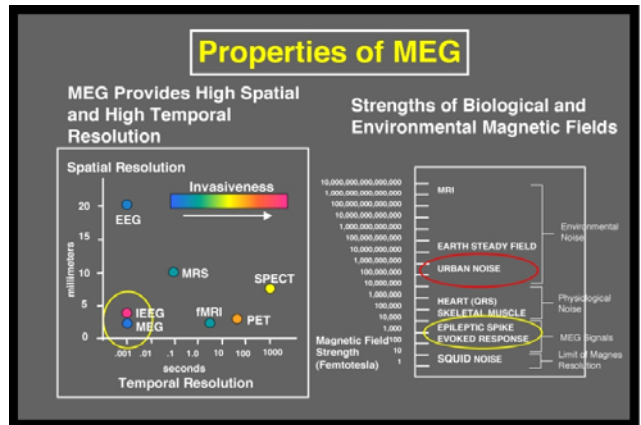


Fig. 4. MEG has the advantages of very high temporal and spatial resolution, however it requires highly sensitive instrumentation and sophisticated methods for eliminating environmental magnetic interference.

MEG는 뇌의 피의 흐름, 산소이동 등 물질대사를 2차적으로 측정하는 fMRI, PET, SPECT에서의 기능적 측정과는 달리 뇌의 기능을 직접 측정한다는 점에서 다른 뇌기능 영상진단법과는 구분된다.

MEG는 fMRI, PET, SPECT가 자극을 오랜 시간동안 가해서 뇌에서 대응되는 활동부위를 찾을 수 있으나 MEG는 ms의 짧은 자극 시에도 뇌에서 대응되는 활동부위를 찾을 수 있어 우수한 시간분해능을 가진다.

MEG는 병변부를 수 mm 정도로 정밀하게 국지화 할 수 있어 우수한 공간분해능을 가진다.

MEG는 방사선물질의 주사나 X-선과 자기장에 노출되지 않는 비침습적이어서 어린이와 유아에서 반복적으로 검사 하는 것이 가능하다.

MEG를 이용한 진단은 비접촉·비침습적이면서 3차원적 정보를 제공하고 우수한 시간분해능과 공간분해능을 제공하여 인체의 기능적인 정보를 얻는데 유용하게 사용될 수 있다. 따라서 MEG는 MRI로부터 얻은 해부학적 정보에 자기장측정으로부터 얻은 기능적 정보를 결합함으로써 매우 중요한 의학적인 정보를 얻을 수 있다(Fig. 5).

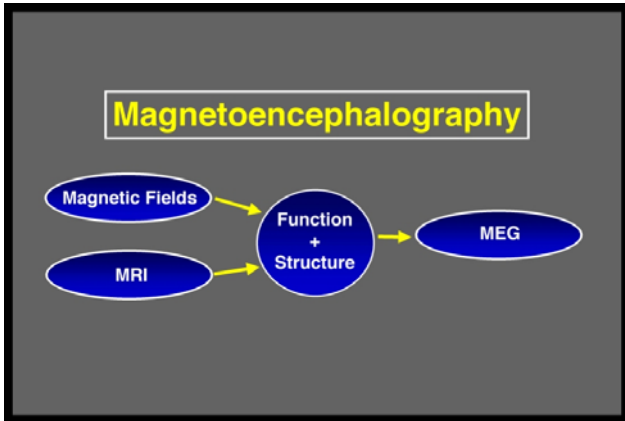


Fig. 5. MEG combines functional information from magnetic field recordings with structural information from MRI.

III. 결 론

MEG 영상진단시스템은 뇌신경세포의 전기적 활동에 따라 머리 주위에 형성되는 자기장을 고감도 센서인 초전도양자간섭소자(SQUID)를 이용하여 측정한다.

MEG신호는 지구자기장의 약 10억분의 1에 해당하는 (1 fT=10⁻¹⁵T) 미약한 자장신호이기 때문에 지구자기장을 포함한 외부 자기신호에 의한 영향을 차단하기 위하여 검사실은 자기차폐실이 반드시 사용되어야 한다.

MEG장비는 비접촉, 비침습적인 측정방법이며 우수한 시간분해능과 공간분해능을 가지므로 EEG, PET, SPECT, fMRI와 같은 다른 뇌활동 측정 장비와 함께 뇌기능 연구 및 기능적 질환진단에 중요하게 사용될 수 있는 새로운 진단 장비이다.

MEG는 MRI로부터 얻은 해부학적인 정보에 자기장 측정으로부터 얻은 기능적 정보를 결합함으로써 매우 중요한 의학적인 정보를 얻을 수 있다.

MEG는 뇌신경세포에서의 전기적 활동을 직접 관찰할 수 있다는 점에서 다른 뇌기능 영상진단법과는 구분되는 특징을 가지며, MEG 기술의 주된 임상적 응용분야는 간질 발생부위의 국지화, 뇌종양 환자의 수술 전 대뇌피질

의 기능진단, 인지기능연구, 정신질환의 진단 등에 응용되고 있다.

MEG는 연구 또는 임상진단의 목적으로 자발적으로 발생하는 신호와 자극을 가했을 때 발생하는 유발자장신호를 측정하기 위해서 MEG 단독 또는 뇌파와 함께 사용하면 의료 진단 치료기술에 유익한 정보를 줄 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Clarke J. Principles and applications of SQUIDS. *Proc IEEE* 70(8):1208-1223, 1989.
2. Diekmann V, Becker W, Jurgens R, Grozinger B, Kleiser B, Richter HP, Wollinsky KH. Localization of epileptic foci with electric, magnetic and combined electro-magnetic models. *EEG Clin Neurophysiol* 106:297-313, 1998.
3. Drung D. SQUID system overview. *Supercond Sci Tech* 4:377-385, 1991.
4. Eliashiv D, Elsas S, Squires K, Fried I, Engel J Jr. Ictal magnetic source imaging as a localizing tool in partial epilepsy. *Neurology* 59:1600-1610, 2002.
5. Kakigi R, Koyama S, Hoshiyama M, Kitamura Y, Shimojo M, Watanabe S. Pain-related magnetic fields following painful CO₂ laser stimulation in man. *Neuroscience Letters* 192:45-48, 1995.
6. Kitamura Y, Kakigi R, Hoshiyama M, Koyama S, Shimojo M, Watanabe S. Pain-related somatosensory evoked magnetic fields. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 95:463-473, 1995.
7. Kuriki S, Hirata Y, Fujimaki N, Kobayashi T. Magnetoencephalographic study on the cerebral neural activities related to the processing of visually presented characters. *Cognitive Brain Research* 4:185-199, 1996.
8. Kuriki S, Takeuchi F, Hirata Y. Neural processing of words in the human extrastriate visual cortex. *Cognitive Brain Research* 6:193-203, 1998.
9. Lounasmaa OV, Knuutila J, Salmelin R. SQUID technology and brain research. *Physica B* 197:54-63, 1994.

10. Pataraiia E, Simos PG, Castillo EM, Billingsley RL, Sarkari S, Wheless JW, *et al.* Does magnetoencephalography add to scalp video-EEG as a diagnostic tool in epilepsy surgery? *Neurology* 62: 943-948, 2004.
11. Stefan H, Hummel C, Scheler G, Genow A, Druschky K, Tilz C, *et al.* Magnetic Brain source imaging of focal epileptic activity: a synopsis of 455 cases. *Brain* 126(Pt 11):2396-2405, 2003.
12. Stefan H, Scheler G, Hummel C, Walter J, Romstock J, Buchfelder M, Blumcke I. Magnetoencephalography (MEG) predicts focal epileptogenicity in cavernomas. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 75(9):1309-1313, 2004.
13. Tanenbaum L, Drayer BP, Anderson RE, Braffman B, Davis PC, Deck MD, *et al.* Epilepsy. American College of Radiology. ACR appropriateness criteria. *Radiology* 215(Suppl):459-470, 2000.
14. Verrotti A, Pizzella V, Trotta D, Madonna L, Chiarelli F, Romani GL. Magnetoencephalography in pediatric neurology and in epileptic syndromes. *Pediatr Neurol* 28(4):253-261, 2003.
15. Wikso JP. SQUID magnetometers for biomagnetism and nondestructive testing. Important questions and initial answers, *IEEE Trans. Appl Supercond* 5(2):74-120, 1995.