

High-field MRI

이 홍규

자기공명연구센터

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

서론

자기공명영상 진단장치는 현대의학의 영상촬영 기법 중 현재까지 해상력이 가장 뛰어난 진단방법으로 질병의 종류, 부위, 정도 등을 진단하고 치료효과를 평가하는데 광범위하게 사용되고 있으며 또한 임상적인 진료향상 뿐만 아니라 기초의과학 연구분야의 발전에도 상당한 기여를 하고있다. 첨단 자기공명 촬영기법을 가능케 해 주는 고자장 MRI의 장단점과 최근 국내에서 개발되는 3T MRI의 중간 결과를 요약하였다.

고자장의 장단점

자기공명현상이 의료기기에 도입되어 자기공명 영상진단 장치가 개발되던 1970년대 말에는 0.05 Tesla 또는 0.1 Tesla 자석이 표준이었으며 0.35 Tesla 이상은 인체의 안정성과 기술적인 어려움으로 실현되기 어려울 것으로 간주되었다. 그럼에도 불구하고 1980년대에 최적 자석의 크기가 어느 것이냐는 학계와 산업체의 논란을 일으키면서도 1.0 Tesla 및 1.5 Tesla 가 상용화되어 널리 보급되었고 1990년대에는 3.0 및 4.0 Tesla를 거쳐 6.0 및 7.0 Tesla가 첨단 연구 분야에서 사용되고 있는 형편이다. 실로 20년 사이에 무려 140배에 달하는 자장의 증가가 이루어진 셈이다. 이러한 배경에는 무엇보다도 자기공명영상진단장치가 갖는 무한한 잠재성, 진단에 유용한 풍부한 정보, 임상에 적용될 수 있는 새로운 진단기법등을 구현할 수 있는 충분한 자장의 세기에 대한 필요성과 이를 기술적으로 가능케 한 각 분야의 공학 기술 발전에 있다고 설명할 수 있다.

고자장이 갖는 장점은 첫째 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)가 자장의 세기와 정비례하며 둘째 Chemical Shift가 선형으로 증가하며 셋째 Susceptibility가 자장의 세기에 제곱으로 정비례하다는 점이다. 구체적으로 고자장이 갖는 임상적인 효과를 요약하면 신호대 잡음비가 정비례하므로 더욱 깨끗한 영상과 정밀한 영상을 얻을 수 있고 영상의 두께도 더욱 얇게 할 수 있게된다. 반면에 영상촬영시간은 동일한 신호대 잡음비 조건에서 저자장에 비해 자장의 세기의 제곱에 반비례한다. 예를 들면 3T의 경우 1.5T 보다 4배 빠르게 환자 촬영을 할 수 있게 되어 더욱 많은 환자를 처리할 수 있는 경제적인 효과외에 외부 조영제 주입을 통한 혈관 침투효과 측정시에 시간적으로 더욱 정밀하게 측정할 수 있어 진단가치를 높일 수 있게 된다.

뿐만 아니라 자기공명 분광학에 적용시 1.5 T에서 문제가 되어온 측정 가능한 최소 부피가 더욱 작아져 진단 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 Chemical Shift 효과가 증가하게 되어, 신진대사 정보를 갖는 각종 스펙트럼의 분리가 선명해져 각 스펙트럼의 높이와 양을 신

퇴성 있게 측정할 수 있게된다.

Susceptibility 증가는 영상 왜곡을 주는 문제점이 될 수도 있으나 최신 영상기법에 적극적으로 활용되고 있다. 최근에 급격히 발전하는 기능적 영상기법 (functional-MRI)에 적용할 경우 1.5T에서는 반응도 (Sensitivity)가 1-3% 내외로 신뢰성이 떨어지나 3T 이상으로 자장을 증가시킨 경우 반응도가 8-14%로 증가하게 되어 정밀도 및 신뢰성을 갖는 진단이 가능하게 되고 또한 미세 혈류 촬영의 경우 고자장에서 더욱 선명하고 상세한 결과를 얻을 수 있음이 보고되고 있다.

반면에 고자장의 단점을 열거하면 1) 자석의 가격이 고가이며, 2) 고주파 전력이 증가하며, 3) T₁ 이완 시간이 증가하며 4) 고자장의 안전에 대한 FDA규제가 있다. 그러나 3T의 경우 미국의 GE가 이미 설치된 9개의 3T MRI를 규격통일을 한 후 98년내에 FDA승인을 완료할 것으로 예상된다.

국산 3T MRI의 연구개발

국산 3T MRI의 개발은 가톨릭의대와 메디슨의 산학협동으로 추진되어 97년 7월 30일 자석본체가 도입된 이후 5개월만에 첫 인체 두부 영상을 얻게 되었다. MRI개발사상 최소의 인원과 최단기간 내에 이루어진 내용으로 이는 그 동안 국내에서도 충분한 기술이 축적되어 왔다는 반증이기도 하다. 이로써 능동차폐 자석을 사용한 세계최초의 3T MRI이며 세 번째로 3T MRI 자체 개발국이 되었다. 능동차폐 (active-shield)형 방식은 기존의 철판을 사용한 수동차폐(passive-shield)형 방식과 달리 자석에서 발생하는 자장을 자석내부에 내장된 차폐 코일을 반대 방향으로 감아서 외부 유출 자장을 획기적으로 줄이기 위한 자석 제조의 최첨단 기술이다.

능동차폐형 자석은 표 1.에서 보듯 선진국제품에 비해 여러 가지 장점을 갖고 있다. 무엇보다도 5 Gauss line이 작아져서 비교제품의 1/5배로 설치면적을 축소시킬 수 있으며 무게는 30 ton에서 1/4이하로 줄일 수 있어 장비의 설치 위치와 장소를 기존 1.0 Tesla 및 1.5 Tesla 장비가 설치될 수 있는 조건이면 3.0 Tesla장비도 설치가 될 수 있도록 하였다. 성능면에서도 자장의 균질성과 안정성도 상대적으로 우수한 성능을 갖고 있다.

표 1. 3T Gradient Coil Spec Comparison

	B	CMC
Dimension		
· O.D.	890/780[mm]	838
· I.D.	630/550	640
· Length		1720
Linearity		
·	+/-7%@dsv450mm	+/-5%@dsv450mm
Max Gradient		
·	30mT/m/600A	35mT/m/600A
Switching		
·	150us/1kV/30mT	170us/1kV/30mT

경사자계코일은(표 2) 최대 자장의 세기가 35mT/M/600A로 초고속 촬영기법이 가능토록 하였고 경사자계의 선형성이 우수하도록 설계되었다. 경사자계코일 내의 냉각방식은 수냉식이나 급수관은 코일 내부에 설치되도록 해서 파열이나 열화되지 않도록 하였고, 코일 내부는 유리섬유로 몰딩해서 기계적인 강도를 높이도록 하였다. 분광 및 고속촬영시 요구되는 자장의 균질성 유지를 위해 12개의 passive shim tray외에 6 channel의 active shim coil이 장착되도록 하였다. RF Amp는 2KW와 10kW가 사용되어 proton MRS외에 X-nucei까지 응용이 가능토록 하였다. RF Coil 중 기본이 되는 두부영상 코일은 Birdcage 및 End cap의 두 가지 형태를 사용하였다. RF electronics는 디지털 신호처리기술이 적용되어 고속영상 재구성, 기능의 정밀성 및 안정화가 가능토록 하였다. 운영자용 computer외에 연구개발을 위한 독립된 workstation computer를 설치하여 영상판독, 영상분석, 환자자료관리, 분광분석 외에 새로운 기법의 pulse sequence 개발이 가능토록 하였다. 인체의 안정성을 위해 SW 방법 외에 RF 에너지를 직접 측정하고 감시할 수 있는 부분을 설계하여 FDA guide line을 만족시키도록 하였다.

또한 국산 3T MRI는 현재 전세계적으로 상품화 되어 있는 MRI 장비 중 유일하게 한글과 한문을 표기할 수 있어 환자 관리에 효율적이며, 국내 자체 기술로 개발하고 제작하게 되므로 기존 상품화되어 있는 외제 타사제품에 비하여 가격경쟁이 2배 이상 우수하다. 참고로 GE, Bruker 회사등에서 상품화한 3T MRI 장비는 약 400만불 이상이었다.

표 2. 3T Gradient Coil Spec Comparison

	B	CMC
· Dimension		
· Height/Length	2554/2188	2575/2350
· Clear Bore	800	840
· Weight	7.8 tons	7.5tons
· He Boil Off	0.1 Liter/h	0.09 Liter/h
· Field Stability	0.05 ppm/h	0.03 ppm/h
· Stray Field axial/radial	8.6/6.5*(14.5/11/5)	6.2/4.2
· Homogeneity		
· 220 mm	0.15FWHM	0.04 FWHM
· 300	2.5 ppm	1.07 ppm
· 400	10 ppm	3.78 ppm

· Iron yoke shield weight 22 tons

결론:

고자장 자기공명 영상 장치의 장점 및 단점을 간략히 소개하였고, 국산 고자장 MRI의 개발 현황 및 중간 결과를 요약하였다. 고자장 MRI와 기능적 자기공명 영상 기법의 최첨단 임상 응용 기술이라는 세계적 추세 속에서 임상과 연구를 병행할 수 있는 국산 3.0 Tesla MRI의 개발은 MR의 영상 및 분광기술, 생리학적 영상촬영, 실시간 생체반응측정 등을 통해 인간의 생리현상과 병변의 근본적인 원인을 더욱 깊게 연구 할 수 있을 뿐 아니라 뇌신경 과학발전에 기여할 수 있을것으로 기대된다. 또한 3.0 Tesla MRI 개발 2단계를 거쳐 상용화가 될 경우 3.0T MRI의 연구개발은 향후 국내 고자장 MRI 연구의 시발점외에도 첨단

의료기기로서 국가기술 선도에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌:

이홍규, 최보영, 이형구, 서태석, 이재문, 신경섭, Progress in 3.0T MRI 개발, 1997 대한 자기공명의학 회 제2차 추계학술대회 1997; 35.

Rosen B, Belliveau J, Vevea J, Bradt T. Perfusion imaging with NMR contrast agent. Magn Reson Med 1990; 14:249-266.

Ogawa S, Lee TM, Kay AR, and Tank DW. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. Proc Natl Acad Sci U S A. 1990; 87:9868-72.

Moseley M, Cohen Y, Mintorovitch J, et al. Early detection of regional cerebral ischemia in cats: Comparison of diffusion and T2 weighted MRI and spectroscopy. Magn Reson Med 1990;14:330-346.

Villringer A, Rosen B R, Belliveau J W, Ackerman JL, Lauffer RB, Buxton RB, Chao YS, Wedeen VJ, and Brady TJ, Dynamic imaging with lanthanide chelates in normal brain: Contrast due to magnetic susceptibility effects. Magn Reson Med 1988;6:164-174.

Moseley M E, Mintorovitch J, Cohen Y, et al. Early detection of ischemic injury:comparison of spectroscopy, diffusion-, T2-, and magnetic susceptibility- weighted MRI in cats. Acta Neurochir suppl(Wien)1990;51 (Suppl) :207-209.