醫工學會誌 : 第 9 卷, 第 1 號, 1988
J. of KOSOMBE : Vol. 9, No. 1

기 술 해 설
88 - 1 - 01

MRI의 현황과 전망

전 희 국*

1. 서 론

국민생활 수준의 향상과 의료시혜의 확대로 국민보건에 대한 관심이 높아지면서 예방의학 및 진단의학 분야의 중요성이 인식되기에 이르렀다.

이에 진단의료기기에 대한 필요성이 대두되면서 X-선이나 방사선동위원소와 같이 인체에 유해한 전리방사선을 사용하지 않고 자장과 고주파만을 이용하여 외과적 수술에 의하지 않고도 인체내부의 단면을 2차원 또는 3차원으로 투시할 수 있는 자기 공명 영상 기술이 개발되어 의학계는 물론 학계에 지대한 관심을 불러 일으키고 있다.

자기공명 단층영상술은 1945년 F. Bloch와 M. Purcell에 의해 제창된 NMR 이론과 70년후에 나온 콤퓨터 단층촬영에 대한 연구 결과가 결합되어 1972년 P. Lauterbur에 의해 MRI-CT의 기본 개념이 정립되었으며, 70년대말과 80년대 초에 접어들면서 세계 각국의 대학, 연구소와 기업체들이 경쟁적으로 뛰어들어 이분야의 급속한 발전을 이룩하였다.

이에 본 연구소는 한국화학기술원의 조장희 교수연구실(전기전자공학과 영상 시스템 연구실)과 공동으로 연구개발에 착수하여 이를 상품화하는데 성공함으로써 현재 국내 6개 병원(상전도 : 5개, 초전도 : 서울대병원)에서 임상응용 중에 있는데 이 MRI에 대한 기본 원리 및 연구개발 경위 및 현황, 임상응용 예 및 앞으로의 연구개발 방향 임상응용의 전망등에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 기 본 원 리

양자와 중성자수의 합이 홀수인 ^{1}H, ^{19}F, ^{23}NA, ^{21}P등의 원자핵들은 핵 Spin과 자기 Moment를 가지고 있어서 하나의 미세 자석과도 같은데 이들 원자핵은 외부자장이 인가 되지않은 상태에서는 random하게 배열되어 있으나 외부자장이 가해 지게되면 이 외부 자장의 방향으로 나란히 정열하면서 자장의 세기에 비례하는 회전주파수(Larmor Frequency; $W_5 = rB_6$)로서 자장축 주위를 회전하는 세차운동(Precession)을 하게된다.

예로서 수소원자핵의 Larmor Frequency는 외부자장의 세기가 0.15T(1T = 10 KGauss)인때 약 6.4 MHZ이며 2.0T일 때 약 85.4 MHZ 정도이다.

이 자장축 주위로 정열되어 세차운동을 하고 있는 원자핵에 Larmor Frequency에 해당하는 고주파를 송신 Coil을 통하여 보내면 이 원자핵은 고주파의 에너지를 흡수하면서 기저상태(Ground state)에서 여기상태(Exitation state)로 천이되는데 이러한 현상을 공명이라하며 이때 회전축과 자기 Moment의 Spin Angle이 점차 커지게 된다. 이러한 현상은 마치 회전력과 중력에 의하여 회전축 주위를 돌고 있는 팽이나 Gyroscope와 같은 원리라 할 수 있다.

이렇게 공명 상태에 있는 원자핵에 고주파를 끊으면 원자핵은 스핀-격자 완화(Spin-Lattice Relaxation; T1)와 스핀-스핀완화(Spin-Spin Relaxation; T2)라는 Mechanism을 통해 흡수했던 에너지를 방출하면서 여기되기 이전의 상태로 되돌아가면서 신호를 발생하는데 이 신호를 FID(Free Induction Decay)라 하며 이 신호를 고주파 수신 Coil로 포착하여 Digitization한 후 컴퓨터를 이용하여 Fourier Transform이라는 수학적 연산을 한후 영상을 재구성하게 되는 것이다(Fig. 1 참조).

Fig. 2에서 보는 바와 같이 MRI는 Pulse Sequence Parameter를 다양하게 변화시켜 가면서 Tissue Parameter들의 차이를 영상화하는 기술이라 할 수 있다. 여기서 T2 완화시간이란 고주파를 받아 공명이된 고에너지상태의 원자핵은 고주파를 끊으면 FID 신호를 방출하

*금성통신 연구소 소장

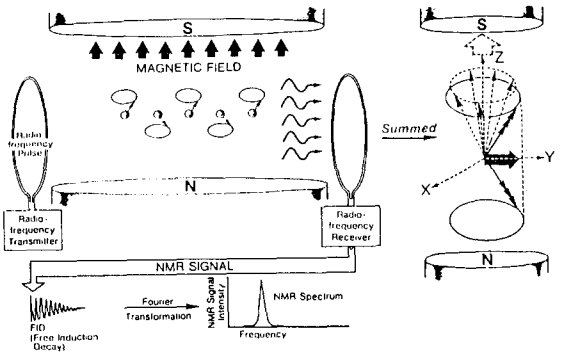

Fig. 1 Excitation and NMR Signal

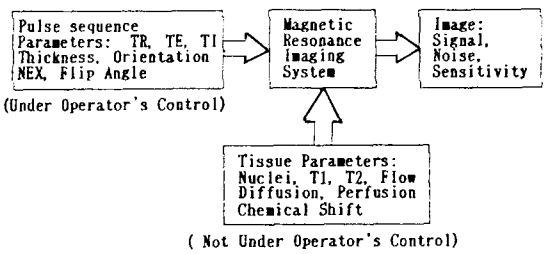

Fig. 2 MRI System Input

면서 원래의 상태로 돌아가게 되는데 이때 FID 신호는 지수 함수적으로 감소되어 수십 MS 이후에는 거의 신호가 나오지 않으며 처음 신호의 37%까지 신호가 감소하는데 걸리는 시간을 말하며 T1 완화시간이란 원자핵의 63% 고주파 인가전의 상태로 되돌아가는데 걸리는 시간을 말한다(Fig. 3 참조).

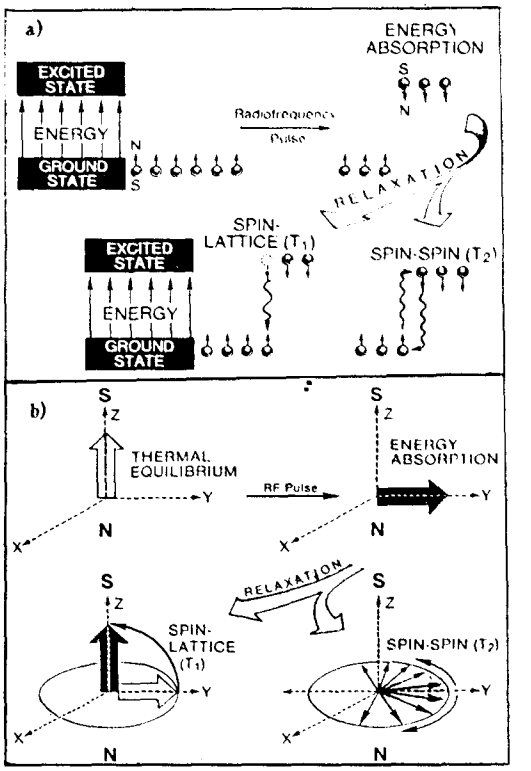

Fig. 3 Relaxation of T1 and T2
a) Energy 교환과정
b) Vector 해석

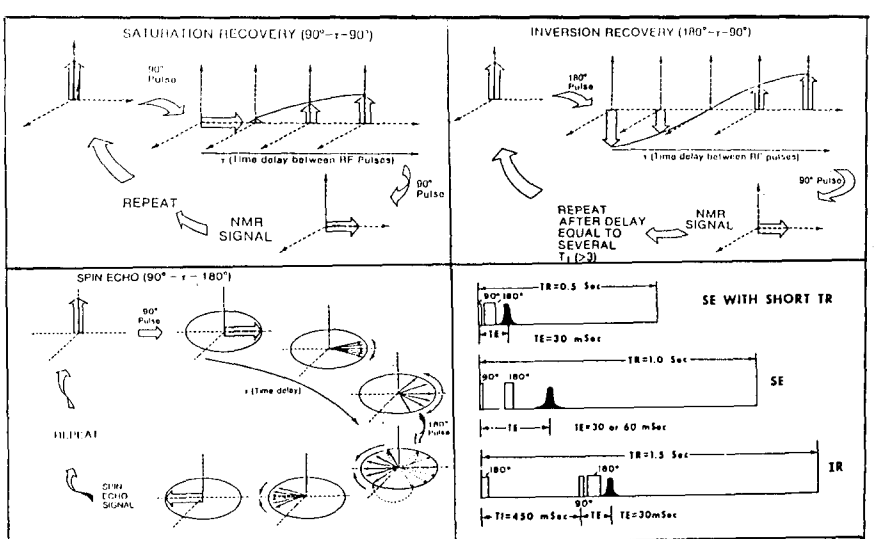

Fig. 4 Pulse Sequences

따라서 T1이 항상 T2보다 길게되며 이러한 Tissue의 고유의 특성에 의해 발생되는 고주파 신호를 Computer로 처리하여 그에 상응하는 영상을 얻을 수 있게 된다.

한편 Tissue의 어느 부분에 Weighting을 두어 영상화 할것이냐는 Pulse Sequence에 따라 다양화 할 수 있는데 포화회복(Satruation Recovery)은 원자핵의 밀도를, 반전회복(Inversion Recovery)는 T1을 강조한 영상법이며 Spin Echo 방법을 이용하여 T2가 강조된 영상을 얻을 수도 있다(Fig. 4 참조).

3. 개발 경위 및 현재상황

'80년대초에 세계적 대학, 연구소 및 Maker와 거의 같은 시기에 기본 연구를 완료하였으며 '82년 새로운 영상기법 및 영상처리 시스템의 개선을 완료함은 물론 기업주도의 상품화에 착수하여 '84년 상품화에 성공, 첫제품을 서울의 신화병원에 설치 운용하기에 이르렀으며 그 후 계속 성능향상에 주력하여 상전도 MRI의 (자장의 세기 0.15T) 경우 촬영시간은 당시의 한 환자당 1시간에서 현재 30분 정도로 줄이는 한편 영상재구성 시간을 당시의 1장당 1분에서 현재 12초로 줄이는 등 제품의 상품연구에 심혈을 기울여온바 현재 상전도 MRI는 국내 6개 병원(1개 병원은 '88년 7월말 설치 완료예정)에 설치되어 연구와 임상 진단에 응용되고 있는데 그 해상력은 선진국 제품에 비해 전혀 손색이 없을 정도로 뛰어나다는 평을 듣고 있다.

그러나 자장의 세기가 0.15T인 수냉식 상전도 MRI가 갖는 여러가지 제약점 및 User로부터의 요구에 부응하기 위해 본 연구소는 KAIST와 공동으로 자장의 세기가 2.0T인 초전도자석을 이용한 영상장치(Superconductive MRI)를 연구 개발하여 세계최초로 2.0T 초전도 MRI의 상품화에 성공함으로써 다시한번 국내는 물론 세계의 과학계, 의학계 관계자들을 놀라게 하였으며 이를 '87년 9월 서울대학병원에 설치하여 시험가동한 후 '88년 5월 정상가동에 들어감으로써 고질의 국민보건향상에 이바지하게 되었다.

이를 연구개발함에 있어 당사로서는 사업의 수익성이나 기업의 이윤에 연연하지 않고 고질의 진단의료기기를 보급함으로써 국민보건 향상에 이바지한다는 보람과 긍지를 가졌음은 물론 선진국을 지향하는 우리나라의 공학분야와 의학분야의 산학협동의 좋은 결실을 보여줌으로써 향후에도 지속적인 발전을 기대할 수 있게 되었다.

한편 대학병원 의사들 및 관련분야 종사자들과의 끊임없는 토론의 결과를 연구 개발에 반영함으로써 임상적으로 양질의 영상을 제공함은 물론 User에게 친숙하며 운용하기에 편리한 System을 개발하였다는 점도 간과할 수 없는 산학협동의 좋은 본보기가 되었다 할 수 있다. 자기공명영상장치는 종전에 개발된 상온전자석(Resistive) MRI에 비해 성능이나 기능면에서 획기적인 system으로서 순수한 국내기술과 자본으로 개발된 것으로서 과학입국을 증명함은 물론 기술적 자긍심을 자아내고 다양하고 우수한 진단기능으로 국민의료 혜택의 질적확대를 기대하게 되었다.

종전 상온자석보다 15배에 달하는 자장의 세기에 이에 상응하는 초정밀 전자기기 및 컴퓨터 시스템을 갖춘 첨단의료진단기기인 금성 초전도 MRI (MODEL: SPECTRO-20000)는 인체내부의 해부학적 구조뿐만아니라 생화학적 기능에 관한 정보를 보다 선명하고 정밀하게 제공해줌으로써 질병의 조기 진단과 정확한 원인규명을 하는데 크게 기여하고 있다.

특히 MRI의 단점이라 할 수 있는 영상기간이 긴 점을 보완할 수 있는 고속촬영(Fast Imaging), 화학분광영상(Spectroscopic Imaging), 확산 및 미세혈류영상(Diffusion & Perfusion Imaging) 및 혈관조영영상(MR Angiography), Cardiac Cine Imaging등이 가능해졌을 뿐만 아니라 영상의 화질에 결정적 영향을 주는 S/N(신호대 잡음)비가 종전의 상자석에 비해 무려 수십배 이상이나 개선되는 효과로 실제로 해부학에서나 볼 수 있었던 정밀하고 선명한 인체내부 영상을 제공함으로써 진단의료기기의 총아로서 세계적인 각광을 받기에 이르렀다.

세계적으로 미국의 GE, 서독의 Siemens 그리고 네덜란드의 Philips사 등에서 수억불의 연구비 및 수백명의 연구진을 투입하여 연구개발을 해온 것을 감안할 때 이와같은 최첨단 치료기기를 독자개발 상품화하게 된것은 과학 입국을 입증하였으며 산학협동체제를 더욱 견고히 함으로써 향후 연구수행 방향의 좋은 본보기가 되었다 할 수 있다.

한편 자석이 초전도 상태를 유지하기 위해 소요되는 고가의 액체헬륨을 재충진할 필요가 전혀 없는 장치를 추가 부착함으로써 이로 인한 운용비의 절감 및 운용의 용이성을 증가시켰음은 또 하나의 괄목한 만한 발전이라 하

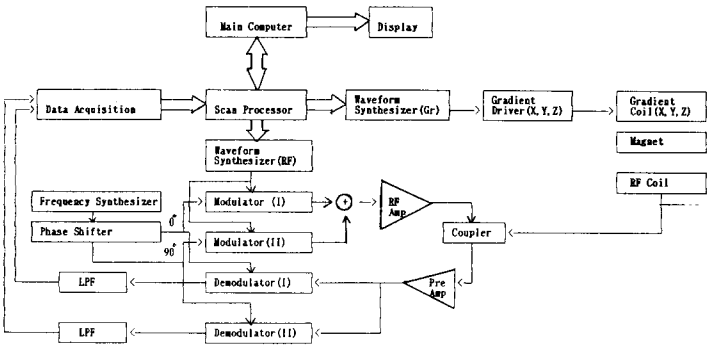

Fig. 5 GoldStar MRI Block Diagram

겠다.

특히 2.0T 이상의 고자장 하에서만 가능한 화학 분광 영상법이나 나트륨같은 희귀원소의 영상기법 개발은 향후 의학계의 비상한 관심을 불러 일으킬 것으로 생각되며 Phosphorus의 화학천이 현상연구 등은 임상적 의의가 대단히 큰것으로 이에 대한 관심이 증대되고 있으며 향후 계속 연구가 진행되어질 것이다.

4. 임상적가치 및 이용현황

종전까지 개발되어 임상에 이용되어온 영상은 Proton을 함유한 수분 지방 및 기타조직에 함유된 Proton density, T1, T2 Relaxation에 관한 정보를 나타내는데 불과하였다.

이 Proton Image는 최근 급속도로 개선되어 X-CT에 비해 두부 뿐만 아니라 흉부, 추부, 골반이나 사지등의 영상이 해상도나 임상적 가치에 있어 그 우월성이 입증되고 있다.

현재까지는 X-CT와 MRI는 상호보완적인 검사 방법으로 여겨지고 있으나 인체에 무해하며 새로운 영상기법의 개발로 상당부분 MRI가 X-CT를 대체할 것으로 내다보고 있다. 이와같이 MRI는 영상진단을 필요로 하는 거의 모든 질환의 환자를 대상으로하고 있으나 중추신경계, 심혈관계, 흉부, 상복부, 골반, 후복강, 근골격계 등의 질환에서 특히 탁월한 진단효과를 나타내고 있다 (Fig. 6 참조).

한편 인체에 전혀 해가 없고 인체조직의 생화학적 정보를 얻을 수 있고 혈류에 관한 기능적 정보를 얻을 수

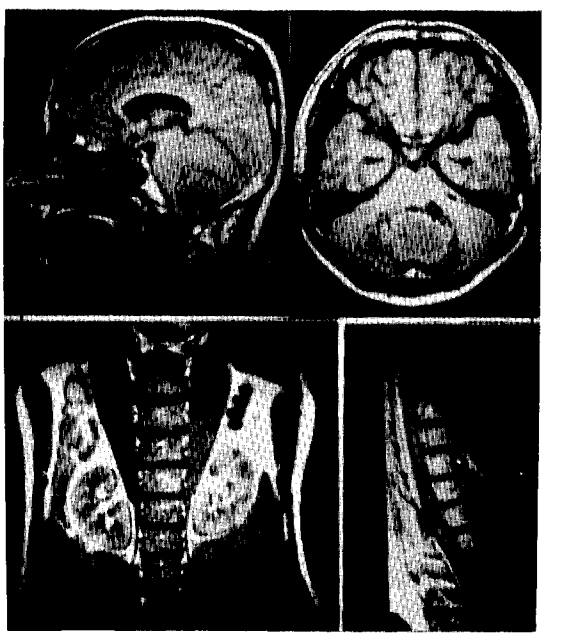

Fig. 6 MRI 영상

있으며 CT에 비해 해상력(Resolution)과 대조도(Contrast)가 좋은 반면 Moving Artifact로 인한 위장관의 영상의 질이 저하되고, Proton이 없는 골과 석회조직은 정보를 얻을 수 없고, Pacemaker 환자나 수술용 Silver clip등을 부착한 환자는 촬영할 수 없으며 CT에 비해 값이 비싸다는 등의 단점을 가지고 있다.

5. 향후 MRI의 전망

현재는 대부분이 Proton(H) 원자핵을 영상의 대상으로 해 왔으나 자장의 세기가 2.0T 이상에서는 S/N비가 기존의 상전도 MRI에 비해 수십배이상 향상되었으므로 Na, P등 인체내의 함유량이 적은 희귀 원소도 영상화 할 수 있게 되었다.

한편 화학분광법을 이용 조직의 화학적분석이 가능하게 되었으며 혈관 조영술(MR Angiography)이 가능하게 되어 기존의 DSA(Digital Subtraction Angiography)등을 대체할 수 있게 되었으며 심장을 고속으로 촬영하는 MR Cardiac Cine Imaging, 미세구조를 영상화 할 수 있는 MR Microscopy등 무한한 가능성을 가지고 있으며 앞으로 MR의 발전 및 이용은 어디까지 진전될지 아무도 예측하기 어려운 상황이다.

이러한 추세에 맞추어 현재 미국에는 800여대, 일본에는 200여대 유럽에는 100여대 정도가 설치 운용중이며 90년대에는 MRI가 대부분의 X-CT를 대체할 것으로 전망되고 있다.

참 고 문 헌

1) 조장희 : MRI 기술의 최신동향과 전망
2) 조장희 : 초전도 자석(Superconducting Magnet)을 이용한 자기공명 단층촬영(MRI-CT)
3) 한만청, 장기현 : 자기공명 영상(*MR*) 진단과 전망
4) 김순용, 은충기, 이준형 : KAIST상전도형 MRI-CT의 임상적 이용
5) Cho, Z.H., Kim, H.S., Song, B.H., *et al: Fourier Transform Nuclear Magetic Resonance Tomographic Imaging. Proc. IEEE, 70 (10):1152-1173, 1982*
6) Pykett, I.L: *NMR Imaging in Medicine.*
7) Diagnostic Imaging: *NOV-1987, DEC-1987, JAN-1988, FEB-1988*