

NMR (Nuclear Magnetic Resonance) Imaging 에 關한 新 知 見

梨花醫大 放射線學科 教室

金 熙 涉

New Imaging Technique by NMR - CT

Kim Hee - Seup, M.D.

Department of Radiology, College of Medicine, Ewha Womans University

歴使의 背景 및 意義

1895年 Roentgen의 X-ray 발견이후, 最近까지 인체 내부의 映像化의 方法은 X-ray가 主된 役割을 하여왔다.

1972年, 英國에서 Hounsfield가 CT scan (電算化 斷層攝影術) 을 발명함에 이어, Ultrasonography (超音波診斷術), Nuclear scintigraphy (核映像診斷術), 및 DSA (Digital Subtraction Angiography) 가 등장하여 그야말로 人間의 能力에는 한계가 없는듯 하였다.

1983년에 들어와서 우리나라 日刊誌와 專問誌에도 자주 NMR에 關하여 소개되고 있다.

NMR은 確實히 CT時代 다음에 到來한 진단분야의 종아이고 더욱이나 1~2年前 부터는 放射線醫學界에 열풍을 몰아온 획기적인 檢査법임에 틀림없다.

NMR (Nuclear Magnetic Resonance, 核磁氣共鳴) 의 基本現象은 이미 오래된 개념이다. 地球自體가 南極과 北極으로 된 하나의 큰 磁氣이며, 人間은 그 磁氣 內에서 살고 있기 때문이다.

1946년에 美國의 Purcell과 Bloch가 각각 實驗으로 NMR의 理論을 분석하여 1952년에 둘이 함께 Nobel 賞을 받았고, 그후 1970年代에 스코틀랜드, 英國, 美

國等地에서 동시에 각已 發展을 거듭하던 중, 1972年에 Damadian이 처음 NMR imaging 개념을 파악하고 1973年 Lauterbur가 처음 2-dimensional image 를 얻었다.

1980년에는 본격적으로 임상에 이용할 수 있는 NMR imaging 機械가 생산되었고, 급기야는 1980年 10月 26日, 27日 양일간, 美國 Nashville의 Vanderbilt Medical University에서 1st international clinical NMR imaging symposium이 열렸다.

國內에서도 한국과학기술 개발원 (KAIST) 의 조장희박사를 주축으로 하여 NMR이 자체개발로 생산되어 1984年 8月 1日부터 우리나라에서도 가동중에 있다.

NMR의 醫學的意義는 종래의 CT나 超音波檢査法이 臟器나 組織의 形態學的變化를 진단하는 방법임에 반해서, NMR은 그보다 한단계 早期의 病變, 즉 形態學的變化가 생기기 이전의 代謝 또는 機能의 變化를 찾아내자는 것이다. 즉 CT나 超音波檢査는 細胞病理學的變化를 진단하는 방법이고 NMR은 分子病理學的變化를 알아내자는 것이다. 특히 NMR이 癌의 早期診斷의 可能性을 열어줌으로써 이에 대한 연구의 열기가 대단하다.

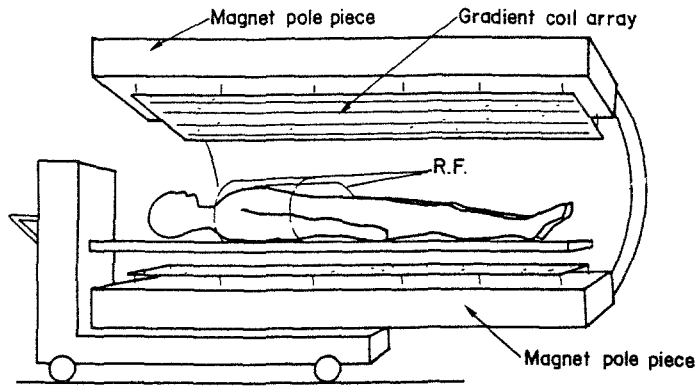


Fig. 1. Arough concept of the total body NMR flow imaging system.

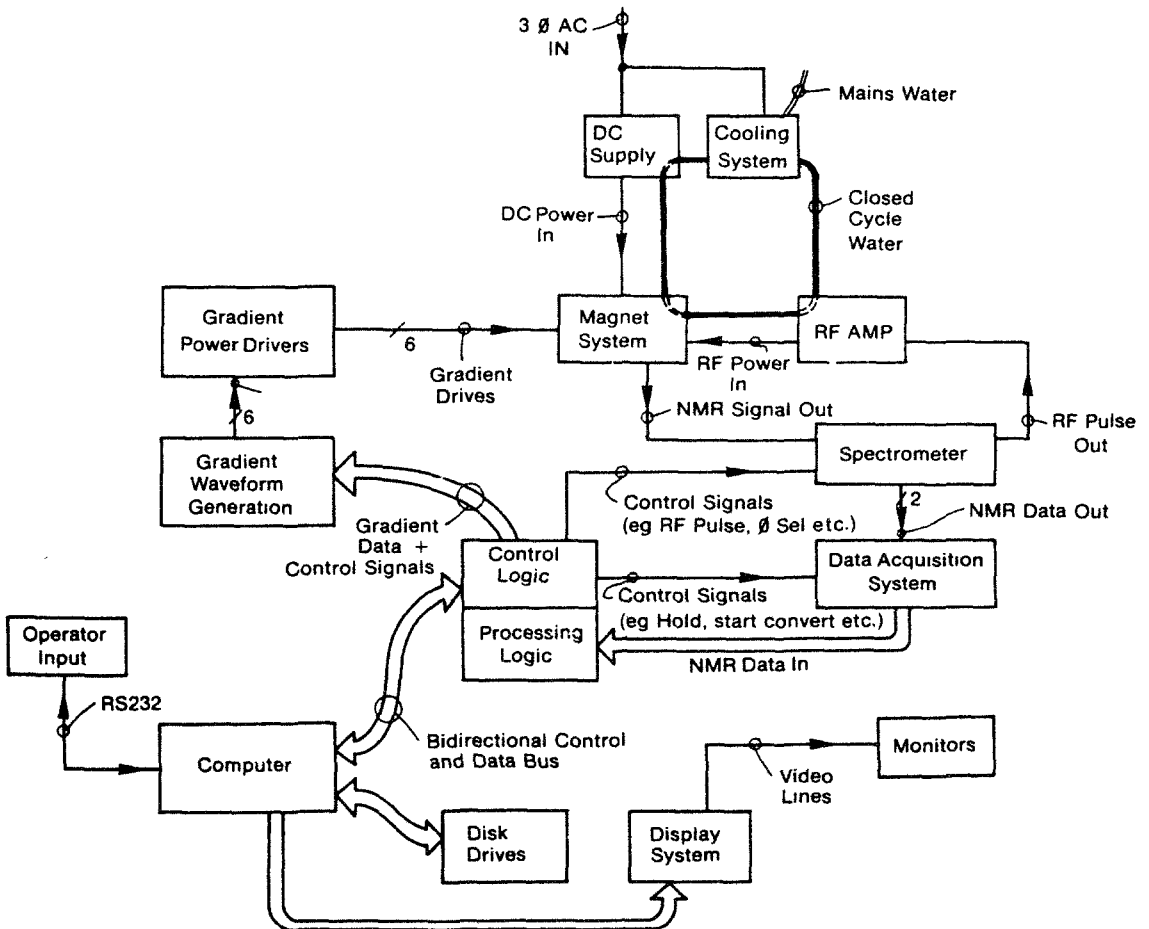


Fig. 2. Schematic of total NMR imaging system.

原 理

NMR이란 Nuclear Magnetic Resonance의 略字로서 核磁氣共鳴이라 번역된다.

或種의 原子의 原子核은 磁界內에서 特定한 周波數(自體에 맞는 周波數)의 電波를 받으면 그 電波에 共鳴하여 勵起(excitation)한다. 즉 刺戟을 받아 활발하게 運動(excitation of spin system)한다. 이를 核磁氣共鳴이라고 부른다.

時間이 지나면 勵氣한 原子核은 다시 原狀態로 돌아가고 그때 받았던 것과 同一한 電波를 放出한다. 이때 放出하는 電波를 檢出하여 映像을 構成하는 것이 NMR image이다.

原子는 太陽系와 類似하다. 즉 原子核이 太陽에 해당되고 電子가 惑星에 해당해서 原子核 주위를 回轉(空轉)할뿐 아니라 惑星이 自體의 軸을 돌듯이 電子도 自體의 軸을 回轉(自轉)한다. 따라서 惑星의 自轉으로 因해서 兩極이 생기는 것처럼 電子의 自轉(spine)으로 因해서도 北極과 南極이 形成된다. 또 原子도 太陽과 同一하게 自轉軸을 回轉하고 따라서 그 自轉(spine)의 副產物로서 南極과 北極의 두 磁極을 形成하여 磁石(磁氣雙極子)의 역할을 한다.

人體를 強한 磁場(1000~3000 gauss: 地球磁場: 0.5 gauss)內에 놓으면 지금까지 각각 다른 方向으로 향해있던 原子核들의 大部分은 그 磁場(主磁場과 外部로부터의 磁場)의 方向과 同一한 方向으로 定列하여 歲差運動(precession)을 하나(낮은 energy를 지닌 核磁氣), 一部는 主磁場과 反對方向으로 定列한다(높은 energy를 지닌 核磁氣). 이때 이들 高energy 核磁氣와 低energy 核磁氣間的 energy差와 同一한 無線電周波(radiofrequency, RF)를 보내면 低energy 原子核이 그 電波에 共鳴하게 되어 勵起하여 高energy 狀態로 되고 反轉하여(所謂 spin 反轉誘導) 方向을 바꾼다. 時間이 지나면 勵起한 原子核은 다시 原來의 平常原子(低 energy 原子核)으로 돌아가서(緩和, relaxation) 方向을 바꾸고 同時에 받았던 것과 同一한 energy를 放出하여 NMR signal을 形成한다.

이렇게 原子核의 磁場이 변동함으로서 電池의 역할을 하고 그 電壓의 差를 受信 coil로 受信하는 것이 NMR이라 하겠다. 즉 化學的인 性質이 無線電子工學的인 性質로 變換한 것이다.

現在 NMR에 이용되고 있는 同位元素와 核種은 水素原子核(^1H)뿐이나 ^{23}Na , ^{31}P 의 이용이 연구단계에 있다. 예를 들면 癌細胞의 ^{23}Na 의 spin density는 正常組織의 2~3배에 달하고 ^{31}P 의 T_1 은 正常組織

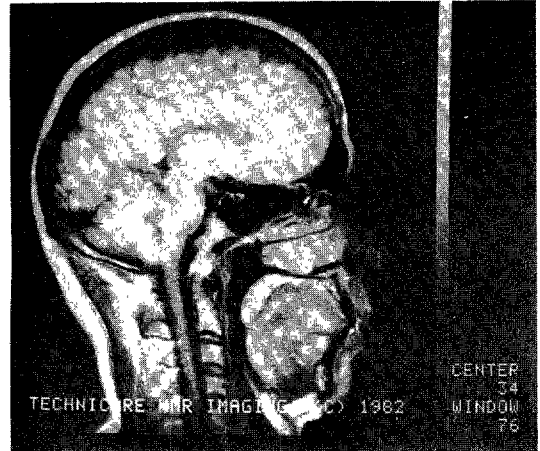


Fig. 3. Sagittal section of head and neck.

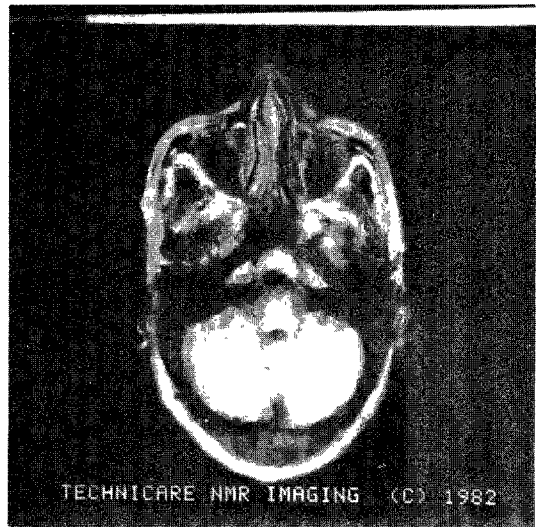


Fig. 4. Coronal section of head.

보다 훨씬 길다.

理論的으로는 人體를 構成하는 ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P 등 核子번호를 가진 原子들은 모두 磁氣性質이 있어 이용이 가능하다.

水素原子를 이용할 때의 NMR은, 첫째, 水素原子核의 密度(proton density)를 測定함으로써 組織의 물기(water content)를 알아내고, 둘째, 勵起했던 原子核이 原狀態로 復歸하는 데 소요되는 時間(緩和時間)을 測定해서 水素原子의 化學的 結合狀態, 즉 組織의 質의 差를 알아내고, 셋째, 水素가 지나가는 速度(velocity)를 알아낸다.

緩和時間(relaxation time)에는 두가지 種類가 있다.

(1) Spin-lattice relaxation (스핀-格子緩和), Lon-

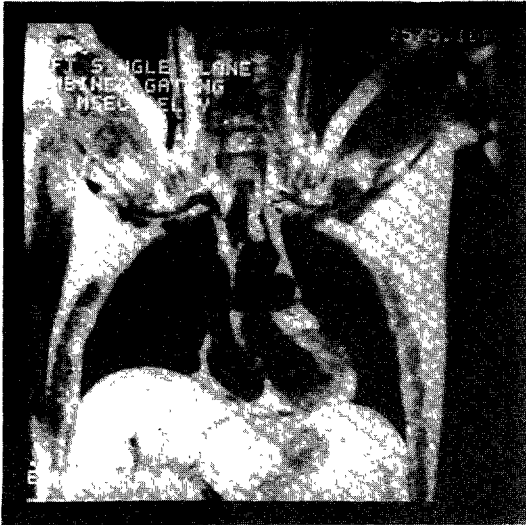


Fig. 5. Coronal section of chest reveals heart chambers and valves.

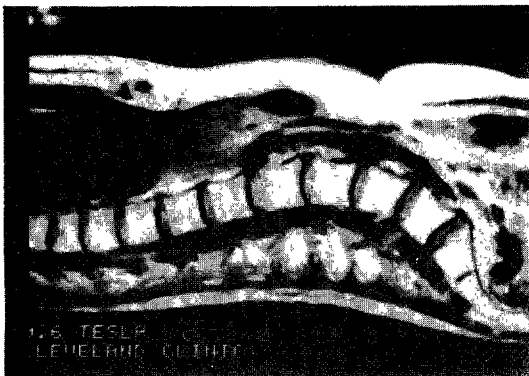


Fig. 6. Sagittal section of abdomen reveals thoracic and lumbar spines.

itudinal relaxation (縱緩和), T_1 :

勵起(excitation)하여 主磁場(外部에서 주어진 강한 磁場)의 反對方向으로 配列했던 高 energy 原子核이 그 energy를 주위의 物質(格子, lattice=general nuclear environment)에게 熱電動의 形態로 주고 低 energy 原子核이 되어 元來의 方向(主磁場의 方向)으로 돌아가는 過程, 즉 熱平衡狀態로 돌아가는 過程까지 필요한 一定한 時間이다.

T_1 의 크기에 따라 分子의 運動의 難易를 알 수 있다. 生體內的 물처럼 液體이거나 또는 液體와 類似한 狀態에 있을 때는 分子의 運動이 容易할수록 T_1 이 길어지고(즉, 溫度를 높이면 T_1 이 길어지고), 結合水 보다는 自由水의 T_1 이 길어진다.

癌組織의 T_1 이 正常組織의 T_1 보다 긴것은 癌組織이 自由水의 比率이 크기 때문이다. T_1 은 軟組織의 여

러 部位間的 對照度(contrast)를 높이기 위해서 이용된다.

(2) Spin-spin relaxation (스핀-스핀緩和), Transverse relaxation (橫緩和) T_2 :

勵起한 原子核과 勵起하지 않은 狀態(ground state)의 原子核間的 相互 energy 交換으로 原子核의 凝集力(coherence)이 없어져서, 즉 spin이 위상자의 범위를 벗어나서 완전히 퍼져서 主磁場과 直角方向으로 平衡 狀態로(net magnetization이 零으로) 돌아가기까지 필요한 一定한 時間이다. 즉, 勵起한 原子核과 勵起하지 않은 狀態의 原子核間的 energy 交換을 T_2 relaxation 이라 한다.

Instrumentation and Imaging modality (器機使用 및 映像樣式)

現在까지 試驗製作되고 있는 NMR은 常傳導(常電導, resistive)와 超傳導(超電導, superconductive)의 두가지 system이 있다.

常傳導 NMR은 저항이 적은 금속 coil에 큰 電流를 흘려서 강한 磁場을 만드는 것으로 0.15T($T=$ Tesla, 1T는 15,000 gauss)가 한계이다.

超傳導 NMR은 저항이 零인 狀態의 coil에 電流를 흘려서 0.2~2T의 磁場을 만든다.

금속의 전기저항은 온도를 낮출수록 적어지고, -273.15°C에 달하면 零이 된다. 따라서 금속 coil의 저항을 없애는 방법으로 液體 Helium(-269°C, 4.2K)內에 coil을 담근다.

映像을 얻는 방법으로는 다음 세가지를 들수있다.

1) Saturation Recovery(SR) image

主로 陽子密度(proton density)를 나타내며 높은 陽子密度는 희게(白), 낮은 密度는 검게(黑)보인다. 예를 들면 脂肪과 腦는 희게, 頭蓋骨의 內外板은 검게 보인다. 例外로 높은 陽子密度를 지니면서도 검게 보이는 것으로는 腦脊髓液과 血液이 있다.

2) Inversion Recovery(IR) image

主로 T_1 에 의존하는 것으로 軟組織의 여러 部位間的 對照도를 높이기 위해 이용된다. 腦의 白質(white matter)과 灰白質(gray matter) 및 腦脊髓液이 각각 白色, 灰色, 黑色으로 나타나며, 이는 白質의 T_1 은 짧고, 灰白質은 조금 길고, 腦脊髓液은 아주 길기 때문이다.

3) Spin-Echo(SE) image

主로 T_2 에 의존하는 것으로 NMR 映像의 基本이

된다. 勵起後의 時間이 지남에 따라 신호의 強度가 떨어져 SE映像이 더 雜音化(noise)한다. 짧은 T_2 가 검고, 긴 T_2 가 밝은(白)것은 T_1 과 반대 현상이다.

NMR의 長點

- ① 放射線障害가 없다(Freedom from known hazard).
- ② 組織識別(Tissue discrimination) : 陽子密度(proton density)로 物質의 密度를 알수있고, T_1 , T_2 緩和時間으로 化學的結合狀態, 즉 組織의 質的差의 판단이 가능하다.
- ③ 病理學的的識別(Pathologic discrimination) : 惡性 및 良性腫瘍鑑別, 感染, 梗塞, 出血, 浮腫, 囊腫, Demyelination 등, 各種 疾患의 진단이 容易하다.
- ④ 切片選擇(Slice selection) : 體位나 機械의 변동 없이도 願하는 各種方向의 映像(transverse, axial, coronal, sagittal 등)을 自由自在로 얻을 수 있다.
- ⑤ 透過性(Penetration) : 骨, 金屬등에 의한 artefact가 없으므로 뇌하수체종양, 두개저부질환, 척추질환의 진단이 가능하다.
- ⑥ 血流情報 : 血流量, 血流障碍, 梗塞症을 즉시 알 수 있다.
- ⑦ 心臟映像(Gated cardiac imaging) : 造影劑注入 없이도 심장 ejction fraction 계산, 各 chamber volume, wall motion, wall thickness를 알수 있다.
- ⑧ 非侵害性(Non-invasive)

NMR의 欠點

- ① 撮影時間이 길다.

- ② 心臟調律機(pacemaker) 使用者, surgical clip, wire 등 金屬을 몸에 지닌 사람은 撮影할 수 없다.
- ③ 遮蔽施設이 必要하다.
- ④ 유지비가 많이 든다.
- ⑤ 緻密骨, 石灰化, gas의 구별이 어렵다.

NMR의 未來

藥劑의 開發로서 paramagnetic isotope labeling하여 癌腫의 早期診斷과 organ space, 및 pathology-specific enhancement를 할 수 있다. 예를 들어 靜脈內에 manganese 注入으로 liver, gall-bladder, myocardium enhancement를, iron compound를 먹여서 stomach, G-I tract imaging을 할수있는 방법을 動物實驗을 통해 活潑히 연구중에 있다.

NMR imaging과 化學的診斷技術이 臨床醫學에 미치는 영향이 심오하여, 向後 5~10年內에 다른 種類의 映像診斷樣式에 비교하여 NMR의 역할과 能力이 보다 밝혀질 展望이다.

Physicians, physicist와 engineer가 서로 협동하여 NMR imaging technique을 발전시키고 개발하여 國民健康增進에 이바지 해야 할 것이다.

REFERENCES

- Partain CL, James AE, Rollo FD, Price RR : Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Imaging, W.B. Saunders Company, 1983.