
技術ノート

NMR-CT の臨床応用 (第5報)

—旭 Mark-J の画像と

T_1 値について—

Clinical Trial of NMR-CT (Report 5)

—Clinical Efficacy of the Image and T_1 Value, Using Asahi Mark-J—

池平博夫 (放射線医学総合研究所臨床研究部)

福田信男 (同 上)

山根昭子 (同 上)

鳥居伸一郎 (同 上)

梶間敏男 (同 上)

松本 徹 (同 上)

飯沼 武 (同 上)

館野之男 (同 上)

キーワード

NMR imaging, T_1 value, T_1 image, NMR-CT

要 旨

常伝導型 NMR-CT の将来的潜在的な有効性を評価するために、 S/N の向上や雑音の混入を防止するというような装置の調整を十分に行う努力や、データ収集マトリックスを細くするというようなソフト面の改良をすることによって、NMR-CT の画像が臨床診断をする上でどのように有効性が増加したかということ X 線 CT 画像との比較によって検討を行った。

また T_1 値についても人体の正常組織および数種の疾患での T_1 値を測定し、各組織の示す T_1 値の特徴と T_1 値による鑑別診断の可能性と限界などについて総合的に検討を加え、常伝導型 NMR-CT の臨床的有用性の将来的発展が考えられたので報告する。

1 はじめに

我国において NMR-CT の臨床応用が始められてわずかに約 2 年しか経過していないが、この

間に超伝導装置の導入も行われて NMR 画像の画質は非常な進歩を遂げた。画質の向上は常伝導型の装置でも同様で、さらに T_1 , T_2 という緩和時間の臨床的有用性に関する検討も進められている。

いずれについても未だ完全に見通しが立った段階ではないが、我々の施設において1983年6月より1984年9月まで全く同じ装置とパルス系列を用いて、ノイズの除去やソフトウェアなどの画質改良の努力のみを行いつつ、装置機械部分は全く同じものを使用して、どのようにNMR画像の有効性がどのように向上して来たかということをもX線CTとの比較によってその評価を試みた。

さらに T_1 値の再現性と正確性についてファントムによる検討を加え、また正常組織の T_1 値とその範囲、および病変部の T_1 値の分布を比較することによって、 T_1 値による鑑別診断の可能性についても検討を加えたので報告する。

2 装置

使用したNMR-CTは旭Mark-Jである。その仕様の詳細については既に報告済みであるが、主な仕様は常伝導型電磁石空芯4段垂直磁場の公称0.1Tesla静磁場を使用し、プロトンの共鳴周波数は4.5MHz、画像再構成法はスピニング法二次元フーリエ変換方式である¹⁻³⁾。

RFコイルは頭部用が直径24cm、全身用が直径48cmを使用した、スライス厚は約12mmで使用したパルス系列はSR(Saturation Recovery)法、IR(Inversion Recovery)法および T_1 計測用系列を用いた。

3 装置の調整経過と対象

放医研にNMR-CTが導入されたのは、1983年4月であるが、それ以後、表1に示すように現在までに2回調整や改良を行っている。即ち装置設置後最初の調整は1983年9月、10月に行われ、磁場の均一度の調整および外部からの雑音をできるだけ少なくするという作業であった。第2回目の調整は1984年3月から4月にかけて行わ

表1 放医研におけるNMR-CTの調整経過

1983年	4月—5月	NMR-CT 設置
同	6月—9月	初期使用期
同	9月—10月	S/N, ノイズ調整
同	10月—1984年3月	128画像期
1984年	3月—4月	256画像, 画像合成ソフト導入
同	4月—9月	256画像期

れ、データ収集マトリックスを128×128から256×256に増加させるとともに画像間の合成用ソフトウェアの導入を行った。

このような調整によって、得られる画像も段階的に良くなり、表1に示すように放医研のNMR-CT使用時期を初期使用期、128画像期および256画像期という3期に分けて以後の検討を行った。

これまでに放医研でNMR-CTを施行した症例は表2に各時期別に示したが、全身の疾患にわたっており、特に中枢神経系が約半数の232例を

表2 放医研でのNMR-CT検査症例数

疾患	初期使用期	128画像期	256画像期	合計
中枢神経系				
脳腫瘍	33	67	35	135
脳血管障害	4	10	4	18
他の脳脊髄疾患	19	48	12	79
眼疾患	0	9	9	18
頭頸部疾患	18	9	10	37
呼吸器, 縦隔疾患	4	5	1	10
循環器疾患	9	11	0	20
消化管疾患	9	13	1	23
肝, 胆, 膵疾患	13	24	9	46
腎癌	0	1	1	2
女性性器疾患	0	4	24	28
骨腫瘍	2	11	7	20
その他	2	0	0	2
小計	113	212	113	438
Volunteer	50	65	19	134
合計	163	277	132	572

しめ症例全体では 438 例, 健常ボランティアを含めると合計 572 例の検査を行った。

4 NMR 画像の評価

NMR 画像の評価方法は, NMR-CT 検査を行った全症例について原則として検査直前に X 線 CT を施行し, NMR 画像を同じ部位の X 線 CT 画像と対比することにより行った。さらに表 3 に示すような我々なりの NMR 画像評価基準を作成し, これに基づいて全検査終了後の 1984 年 10 月初旬にこれまでの全画像を再度読影することによって判定を行った。

表 3 に示した評価基準は X 線 CT 画像を対象として NMR 画像から見た基準であって, それぞれの画像あるいは映像法の良非を判定するものではない。即ち, 基準 1, 2 は明らかに NMR 像による情報が X 線 CT による情報におよばなかったものを示すが, 基準 4, 5 については, NMR 画像が何らかの点で X 線 CT 画像では得られない情報を捕えることができたものを示している。

さらに X 線 CT に関する追加基準として, 表 3 下段に示すように X 線 CT にて病巣把握の可否および施行の有無による基準を参考のために追加した。

NMR 画像評価の結果を表 4 に, また各時期

表 3 NMR-CT 画像評価基準

1. X 線 CT で明らかに病巣が認められるにもかかわらず, NMR-CT では全く病巣の描出がなかったもの
2. 病巣の描出はあるが, 明らかに X 線 CT の情報に劣るもの
3. X 線 CT 以上の情報が得られなかったもの
4. 何らかの点において X 線 CT によって得られない情報が得られたもの
5. NMR-CT によってのみ病巣の把握が可能であったもの

X 線 CT による追加基準

- a. X 線 CT によって病巣の明らかに認められたもの
- b. X 線 CT によって病巣の認められないもの
- c. X 線 CT を何らかの理由で行っていないもの

の NMR 画像の例として健常ボランティアの IR (300, 1000) 像を図 1 (a)~(c) に示した。図 1 (a) (b) (c) はそれぞれ初期使用期, 128 画像期, 256 画像期の NMR 画像である。

表 4 は各基準により判定した症例数を各時期別に表示したもので, 各時期の症例に対する各基準に含まれる症例数の割合を百分率でも表示し, 各項目ごとに X 線 CT 追加基準による分類も合わせて記入した。

この表のように初期使用期には NMR 画像が

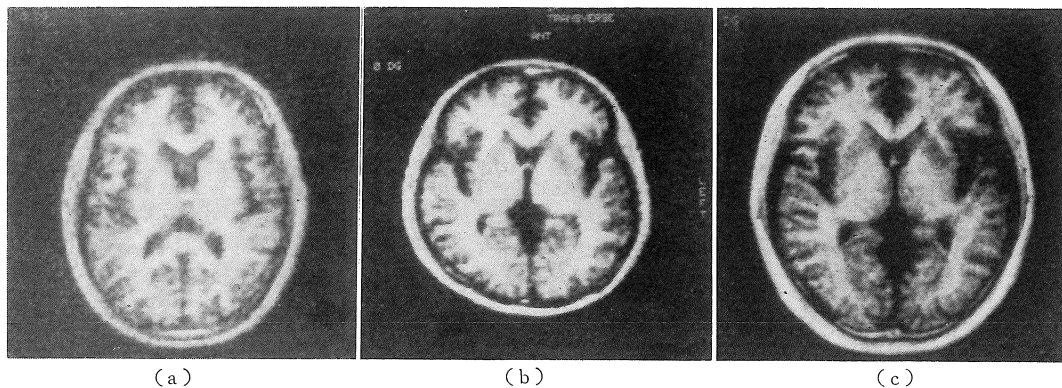


図 1 健常ボランティアの頭部横断層像, IR (300, 1000)
(a) 初期使用期, (b) 128 画像期, (c) 256 画像期

表 4 NMR-CT 画像の評価

評 価	初期使用期		128 画像期		256 画像期	
1	8 (7.2%)	a. 8	0 (0%)		0 (0%)	
2	34 (30.6%)	a. 31 c. 3	19 (8.8%)	a. 19	1 (0.9%)	a. 1
3	63 (47.8%)	a. 34 b. 18 c. 1	102 (47.5%)	a. 67 b. 35	44 (39.3%)	a. 24 b. 16 c. 4
4	16 (14.4%)	a. 16	84 (39.1%)	a. 83 b. 1	60 (53.6%)	a. 56 b. 4
5	0 (0%)		10 (4.6%)	a. 8 b. 2	7 (6.2%)	a. 7

有効であった症例はわずかに 14.4% にすぎず、むしろ NMR 画像が全く役に立たなかったものが 37.8% もあった、しかし 128 画像期では NMR 画像の有効率が 43.7% となり無効例は 8.8% と著明に減少した、さらに 256 画像期に入ると NMR 画像の有効率は 59.8% となり、無効例はわずかに 1 例 0.9% となった。

5 各組織の T_1 値

T_1 値の測定は T_1 ファントームによる NMR-CT の T_1 値の再現性と正確性と、各正常組織および病変部における T_1 値について総合的に行った。 T_1 パルス系列は $T_d=300$ msec, $T_r=1000$ msec を用い、得られた T_1 画像上に適切な関心領域を設定することによって T_1 値の測定を行った。

T_1 ファントームは硫酸銅水溶液を多点法により T_1 値をそれぞれ 200 msec, 300 msec, 400 msec と調整したものを使用し、連続 26 日間 NMR-CT 使用日に T_1 ファントーム、 T_1 値を測定し、 T_1

値の再現性と正確性について表 5 のような結果が得られた。200 msec, 300 msec, 400 msec のそれぞれの T_1 ファントームに対する T_1 測定値は $211 \text{ msec} \pm 4.2 \text{ msec}$, $295 \text{ msec} \pm 6.6 \text{ msec}$, $370 \text{ msec} \pm 17.6 \text{ msec}$ であった。

表 5 T_1 ファントームによる T_1 値の再現性および正確性 (CuSO₄)

T_1 値 (msec)	計算値 (msec) $\pm \sigma_n$	η
200	211 ± 4.2	26
300	295 ± 6.6	26
400	370 ± 17.6	26

次に人体の各組織の T_1 値の測定結果を表 6, 7 に示す。表 6 は正常組織の T_1 値であり、表 7 は病変部の T_1 値である。

今回集計を行った症例は頭部および全身臓器について合計 200 例以上についてまとめたものである。得られた T_1 値は表 6 に示したように、中枢神経系では大脳白質で $285 \text{ msec} \pm 26 \text{ msec}$ 、灰白質で $400 \text{ msec} \pm 37 \text{ msec}$ でその他の部位についても灰白質組織で $350 \text{ msec} \sim 400 \text{ msec}$ 、白質組織で

表 6 正常組織の T_1 値

組 織	T_1 値 $\pm \sigma_n$ (msec)	η
大 腦 白 質	285 \pm 26	135
大 腦 灰 白 質	400 \pm 37	135
中 腦	318 \pm 32	54
腦 梁	288 \pm 42	85
橋	318 \pm 30	83
視 床	349 \pm 23	49
小 腦 白 質	335 \pm 31	73
小 腦 灰 白 質	410 \pm 36	75
頭 皮	275 \pm 39	155
骨 髓 頸 椎	377 \pm 45	107
腰 椎	319 \pm 50	73
上 腕 骨	219 \pm 48	38
骨 格 筋	315 \pm 25	55
舌	322 \pm 21	55
皮 下 脂 肪	109 \pm 31	57
肝 臓	242 \pm 39	56
脾 臓	384 \pm 36	36
腎 臓	432 \pm 38	21
心 筋 中 隔	333 \pm 39	24
後 壁	341 \pm 33	25
左 心 室	644 \pm 80	19
右 心 室	664 \pm 101	24
大 動 脈	679 \pm 163	61
大 静 脈	666 \pm 146	16
子 宮	364 \pm 51	4

表 7 病変部の T_1 値

疾 患	T_1 値 最小—最大 (msec)
脳腫瘍 (グリオーマ等)	400—600
脳下垂体腺腫	300—400
多発性硬化症	350—600
脳出血	150—320
脳梗塞	450—600
上顎癌	350—450
脳の嚢胞	600—1000
眼窩の血管腫	650—800
肺 癌	300—400
肝 癌	300—500
肝の血管腫	400—600
血 栓	200—250
子宮頸癌	350—450
大腿骨頭壊死	350—650
骨腫瘍	450—650
腹部の嚢胞	600—1000
腹 水	800—1000

は 280 msec~320 msec とそれぞれの組織で T_1 値の違いが見られた。

また骨髄では頸椎、腰椎などの椎体の骨髄の T_1 値 (320 msec~380 msec) に対して上腕骨骨髄では約 220 msec と短く出る傾向があった。筋組織としては骨格筋、舌筋、心筋および子宮の T_1 値を測定し、子宮筋組織で 365 msec とやや長い値が得られたが、いずれも大差なく 320 msec~370 msec という値を示した。

皮下脂肪では 110 msec と非常に特徴的な T_1 値を示し、肝臓は 242 msec、脾臓は 384 msec、腎臓は 432 msec という値が平均値として得られた。血液成分については、大動脈、大静脈と左右

の心室における T_1 値を測定したが、いずれも 600 msec~700 msec と長くまたバラツキも大きいので一定の値を得ることが困難であった。

表7の病変部の T_1 値については、脳浮腫をとまなうグリオーマなどの脳腫瘍の T_1 値は 400 msec~600 msec と延長を認めしたが、下垂体腺腫については 300 msec~400 msec と著明な延長を認めなかった。また出血巣は 150 msec~320 msec とやや短縮傾向を示した。さらに眼窩の血管腫では 650 msec~800 msec と血液成分とほぼ同様の T_1 値を示した、嚢胞ではさらに T_1 値が長く 600 msec 以上の値であった。

肝疾患については、肝癌で 300 msec~500 msec、血管腫で 400 msec~600 msec と長く嚢胞では頭部と同様 600 msec 以上の T_1 値を示した。また腹水でも 800 msec 以上の T_1 値であった。

血栓では 200 msec~250 msec と血液成分に比べて著明な短縮が見られた。その他では肺癌、子宮頸癌などの腫瘍組織で、いずれも 300 msec~450 msec 程度の値を示し、大腿骨頭壊死でも 350

msec~650 msec と延長しており、骨腫瘍では 450 msec~650 msec と著明な延長が見られた。

6 考 察

我々の使用している常伝導型 NMR-CT 装置では、装置の機械部分を変えることなく同じパルス系列を使用しつつ、装置の条件調整やソフト面の改良の努力のみで、表 4 に示したように画質の向上にもなっており、その臨床的有用性の向上も認められた。このことは NMR-CT の画質が、単に磁場強度のみによって決定されるものでなく、磁場の均一度を上げ、さらに外部および内部からの雑音の混信を極力少なくするというような努力を十分に行うことだけでも良い画像が得られ、さらに信号強度が十分に得られればデータ収集マトリクスをさらに細くすることで、画像の臨床的有用性が向上することが明らかになった。特に常伝導型の NMR-CT では、このような微妙な調整が画質に大きく影響すると考えられる。

NMR 画像が特に有効であった例は、X 線 CT で得られない情報、即ち矢状断像や冠状断像あるいは T_1 画像などが有効な場合が多く、矢状断像、冠状断像が有効であった例としては頭部では下垂体や脳幹部の病変の判定^{4,5)}、骨盤部では子宮や大腿骨骨頭の病変および膝部の検索などがあげられる⁶⁾。

また T_1 画像が有効であった例としては、放射線治療の影響や血栓の描出という点で X 線 CT では得られない情報が得られた場合がある⁷⁾。

これらのことから、NMR-CT の特徴を生かすことができるに足る程度の画質が保証されれば、解像力が非常に良い画像でなくとも表 4 に示したように、128 画像期でも X 線 CT の情報に何らかの付加情報を NMR 画像から得ることが可能であり、NMR-CT の性能を十分発揮させるためには、磁場調整と S/N 向上に十分努力をすることが最も重要であると考えられる。

T_1 値については、我々の使用した T_1 パルス系列 ($T_d=300$ msec, $T_r=1000$ msec) では表 5 に示すように、 T_1 値の長い部分で短く出る傾向があったが、再現性は良く T_1 値についても 400 msec 以下ではほぼ正確な値と考えられ臨床診断のための実用性は十分認められた。

正常組織の T_1 値は表 6 に示すように、各組織で特有の値を示すことがわかった。即ち中枢神経系では細胞成分の多い灰白質と脂質の多い白質のそれぞれを、 T_1 値で区別することがある程度可能であり、骨髄においても上腕骨の T_1 値が椎体の値に比べて非常に短い値が得られたが、これは骨髄の脂肪変性の程度によるものと推定している。

筋組織については子宮筋肉がわずかに延長気味ではあるが、その他の骨格筋などの T_1 値との区別は不可能であると考えられる。

また腹部臓器では肝臓の T_1 値が非常に短い。これは肝臓に含まれる脂肪成分によるものと考えている。これに対して血液成分に富む脾臓では 380 msec、腎臓ではさらに 430 msec と延長しているが、これらはいずれもそれぞれの臓器に含まれる自由水量に応じたものと考えられる。

しかし血液成分の、 T_1 値は、流れや血管心臓などの動きによる部分体積効果の影響を受けることと、我々の使っている T_1 測定法は T_1 値の長い物質では得られる T_1 値が不正確となるために、非常にバラツキが大きくなるので、生体での T_1 値の変化による病態などの判定は血液については非常に困難であろうと思われる。

疾患については、 T_1 値が著明に短縮する出血巣が血栓、あるいは逆に T_1 値が著明に延長する血管腫、嚢胞などの T_1 値と形態による鑑別診断は可能であると考えられるが、充実性腫瘍の鑑別は T_1 値のみでは困難であると思われる、しかし浮腫をともなった腫瘍、あるいは壊死病巣の鑑別はある程度可能であろう⁷⁻⁹⁾。

また T_1 画像は絶対値画像であるため、いわゆ

るファンクショナル画像として、経過観察や他の症例との比較の際に有効であろうと考えられるが、 T_1 値については、他の NMR-CT 装置の値との比較を行うために、何らかの基本的な T_1 値測定のための基準を作る必要があると思われる。

7 まとめ

NMR 画像の評価については、ソフトウェアおよび S/N などの改善によって、NMR 画像の臨床的有用性の向上が認められた。しかし NMR-CT の X 線 CT に対する病巣診断能の向上は、必ずしも解像度に一致せずむしろ、矢状断像や冠状断像あるいは T_1 画像によることが多かった。また NMR 画像が有効であった疾患は頭蓋内の正中に存在する病変あるいは子宮頸癌、大腿骨骨頭壊死など骨盤部の病変、さらに血栓や出血性病変などである。

次に、 T_1 値については、ファントムによってほぼ正確な値と良好な再現性が認められた、また脳では白質部分と灰白質部分の T_1 値が明らかに異なり、視床部はその中間の値を示した。骨髄については長管骨の骨髄の T_1 値が椎体のそれに対して短い値が得られ、脂肪変性の程度による T_1 値の骨髄での変化が捉えられる可能性が認められた。

病変部では充実性組織の T_1 値の差による鑑別

は困難であったが、出血巣や血管腫あるいは嚢胞での、 T_1 値はそれぞれ特徴的な値を示した。

文 献

- 1) 福田信男, 池平博夫, 館野之男他: NMR-CT の初期使用経験, 画像診断, 3: 1085-1093, 1983.
- 2) 池平博夫, 福田信男, 館野之男他: NMR-CT, Mark-J の臨床使用経験 (第1報), 核医学, 21: 269-272, 1984.
- 3) 福田信男, 池平博夫, 館野之男: 全身 NMR-CT 臨床アトラス, 秀潤社, 東京, 1984.
- 4) 青木芳朗, 福田信男, 池平博夫他: 下垂体腫瘍の放射線治療と NMR-CT, NMR 医学, 4: 80-86, 1984.
- 5) 西山裕孝, 池平博夫, 福田信男他: Arnold-Chiari 奇型 (1型) の NMR, NMR 医学, 4: 124-128, 1984.
- 6) 池平博夫, 福田信男, 館野之男他: NMR-CT の臨床応用 (第2報) — 骨疾患への応用 —, NMR 医学, 4: 75-79, 1984.
- 7) 池平博夫, 福田信男, 館野之男: NMR-CT の画像紹介, 新医療, 11 (8): 19-26, 1984.
- 8) 江原正明, 大藤正雄, 杉浦信之他: NMR-CT による肝疾患の診断 — 肝腫瘤の鑑別診断および病理組織所見との比較検討 —, NMR 医学, 4: 87-98, 1984.
- 9) 池平博夫, 福田信男, 館野之男他: NMR-CT の臨床応用 (第3報) — 肝および脾疾患への応用 —, 核医学, 21: 1277-1284, 1984.