
原 著

腹部外科手術症例における NMR-CT 画像の検討

Evaluation of NMR Imaging in Abdominal Surgery

宮川昭平 (東芝中央病院)
五島仁士 (同 上)
松本俊一 (同 上)
永山隆一 (同 上)
飯田 晶 (同 上)
山川和夫 (同 上)
佐伯文彦 (同 上)
平野井直英 (同 上)
荒木 力 (山梨医科大学)
鈴木宏和 (東芝医用機器事業部)
佐藤昌孝 (東芝メディカル(株))
井上多門 (東芝総合研究所)
安岡弘志 (東京大学物性研究所)

キーワード

NMR-CT, 緩和時間, 悪性腫瘍診断, 腹部画像診断, パルスシーケンス, T_1 値

要 旨

腹部 NMR imaging は, 臓器の呼吸性移動や消化管蠕動のため, 鮮明な画像を望み難いが, 描出された病変については, プロトン密度や緩和時間に関する情報が得られる. とくに T_1 像はコントラストがすぐれ, 画像上の関心領域の T_1 値を, デジタル表示で他の部位と比較したり, ヒストグラム表示で内部を分析したり, プロファイル表示で周囲への影響をみたりするなど, 病変の性質の判断, ことに悪性占拠性病変の診断に寄与するところが大きい.

1 緒 言

NMR image は、頭部に関する限り、X線 CT 像に比肩し得る spatial resolution と、X線 CT 像をしのぐ contrast resolution が得られ、骨や空気存在でグレイスケール表現が妨げられることなく、脂肪組織や血管内腔がとくによく描出され、断層面を任意に選択して病変を立体的に把握することができるなど、多くの利点を有する。

しかし臓器の呼吸性移動や、消化管蠕動に影響される腹部では、一種類の pulse sequence について数分の撮像時間を必要とする NMR imaging にとって不利な条件が少なくない。病変の早期発見ことに外科的切除によって根治可能な段階での画像診断という点では、進歩したX線 CT や、管腔造影法、超音波断層法などにくらべ、NMR imaging は first choice とはいえない。腹部 NMR image は、臓器や病変の形態輪廓の、粒状性のよい鮮鋭な描出というよりも、tissue characterization という点に、大きな意義が存在するものと思われる。

2 研究対象および研究方法

1982年5月から1983年6月までの間に、東芝中央病院に設置された、人体用全身プロトン NMR-CT 試作装置によって、49例の腹部疾患症例に NMR imaging を施行した。そのうち7例と手術摘出標本6例ならびに剖検材料1例の NMR 像について、手術所見、病理組織所見、X線 CT 像その他の画像診断所見などと対比し、retrospective に NMR-CT 像の解析を試みた。

使用機器の仕様は、表1に示した。

標準的撮像法は、表2に示す如く、二つの pulse sequence を用い、SR法によるプロトン密度強調像、IR法によるスピン格子緩和時間 (T_1) 強調像、SR像とIR像の画像間演算による T_1

表 1 使用機器の仕様

Magnet	常電導 4 coil 空芯電磁石
静磁場強度	0.15 Tesla
プロトン共鳴周波数	6.4 MHz
Imaging 方式	projection 法
Slice 選択	選択励起法
Slice 厚	20 mm, 10 mm
画像 Matrix	320×320
空間分解能	2 mm 以下

表 2 Imaging の種類と Pulse Sequence

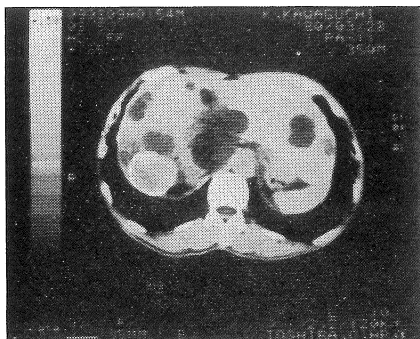
1. Saturation Recovery Image (SR 像):
90°-T_R-90°
2. Inversion Recovery Image (IR 像):
180°-T_D-90°-T_R
3. T₁ calculated Image (T₁ 像): SR 像と IR 像より画像間演算

calculated image の三種類の画像を得た。SR 像には T_R, IR 像には T_D/T_R の如く、pulse sequence を記載した。静磁場の強さは 0.15 Tesla (共鳴周波数 6.4 MHz), projection 数は 180 を基準とし、average 数、echo 数、スライス厚は症例により適宜選択したが、本論文では記載を省略した。なお私共は、calculated T₁ image (以下 T₁ 像と略称) の場合、グレイスケール上では、T₁ 値が長いほど白く描出されるようにしているため、T₁ 値が長いほど黒く描出される IR 像とは、黒白が反転して表現される。血管内を流れる血液からは、殆んど信号が得られないので、血管内腔は T₁ 像、IR 像ともに黒く描出される。また骨皮質は T₁ 値が短く且つ殆ど信号が出ないので、T₁ 像、IR 像ともに黒く描出される。

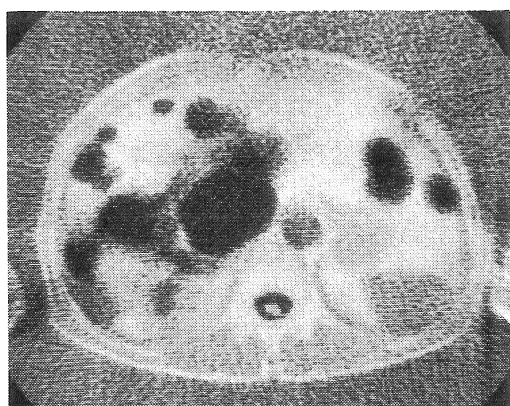
3 結 果

1) 肝嚢胞

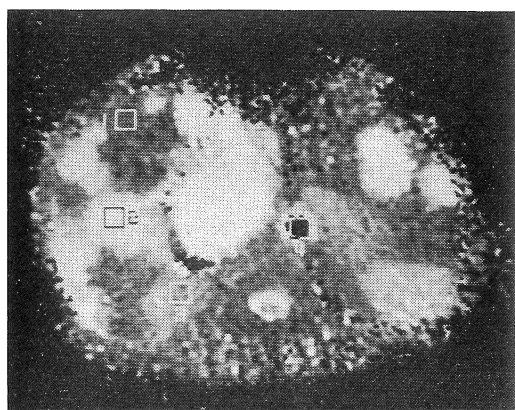
嚢胞内容は水に近い T₁ 値を示し、嚢胞腔は極



X-CT



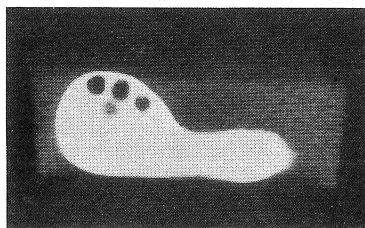
IR 0.4/1.6



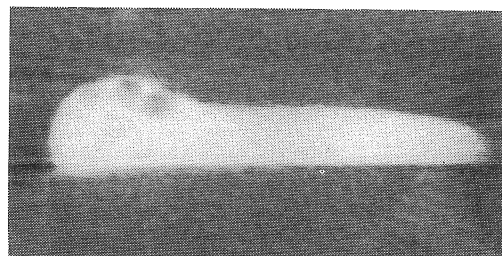
T_1

図 1 症例 1 K. K. 58y. m.

めてよく描出される。症例 1 は多発性肝嚢胞で、そのうちのひとつに対し、十数年前に、肝下面に膨出していた部分の嚢胞壁を切除し残りの嚢胞壁の内面を搔爬したが、再発し石灰沈着を起したものである。石灰化部分は、X線 CT 像で明らかであるが、NMR 像では、骨に近い信号を呈するため、周囲から識別困難である。

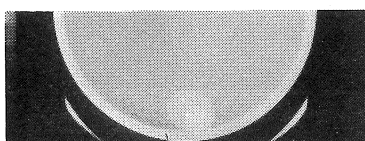


X-CT

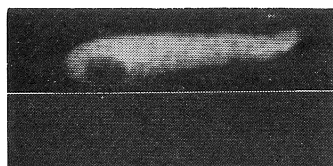


SR 0.4

図 2 症例 2 T. M. 52y. f.

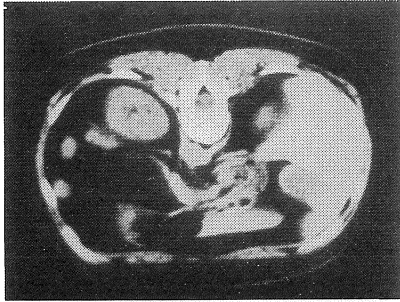


X-CT

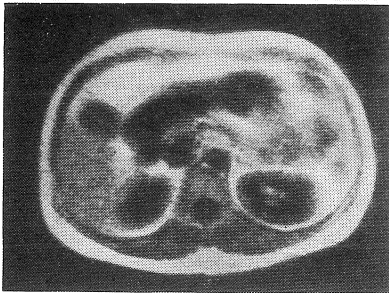


SR 1.8

図 3 A. C. 67y. f.

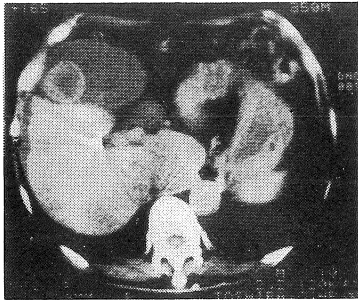


X-CT

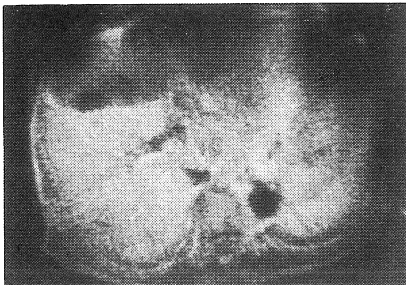


IR 0.4/1.0

図 4 症例 4 K.H. 44 y. f.



X-CT



IR 0.4/1.6

図 5 症例 5 U. Y. 66 y. m.

2) 胆嚢結石

症例 2 および 症例 3 は摘出胆嚢で、内部にビリルビン系結石を含んでいる。胆石は胆汁にくらべ、はるかに T_1 値が短く且つ信号が弱いので、NMR 像ではすべて黒く描出される。

症例 4 は生体画像で、細小不整のビリルビン石灰石を多数含む、炎症性に肥厚した慢性胆嚢炎であり、X線 CT 像では、そういった状態がよく描出されているが、NMR-CT 像では、胆嚢の存在のみがわかる程度に描出されているだけであった。

症例 5 も生体画像で、巨大胆嚢内に最大 3cm のビリルビン系胆石を多数含んでおり、一部は周囲に石灰沈着があり、NMR 像で 2 個の胆石と思われる黒くぬけた部分が胆嚢像内に描出されたが、X線 CT 像ほど明瞭ではなかった。

3) 肝硬変, 原発性肝癌

症例 6 は肝硬変の経過中に肝癌が発生し、肝外性に発育して、破裂出血を起こした症例である。NMR-CT 像も X線 CT 像も同様の画像を呈し、肝硬変部になんらの特徴もみられず、腫瘍との境界もコントラストの差としては識別困難である。ただ T_1 像において、硬変部分は T_1 値 360 msec と通常の肝組織の T_1 値よりも延長し、境界部分は 471 msec、腫瘍中心部分は 632 msec を示していた。また腫瘍を通過する直線上にならぶピクセル毎の T_1 値をプロットしていくと、図のようなプロフィール像が得られ、肉眼的には識別困難な T_1 値の推移の状態が把握できるようになる。

4) 転移性肝癌

症例 7 は結腸癌の多発性肝転移の画像で、症例 5 と同一症例である。個々の腫瘍はおおむね桜実大で境界は比較的是っきりしているが、IR 像、 T_1 像、X線 CT 像において、肝実質内の濃淡のムラとして描出されている。 T_1 像において腫瘍とみなされる部分の T_1 値は 401.4 ± 70.04 msec、

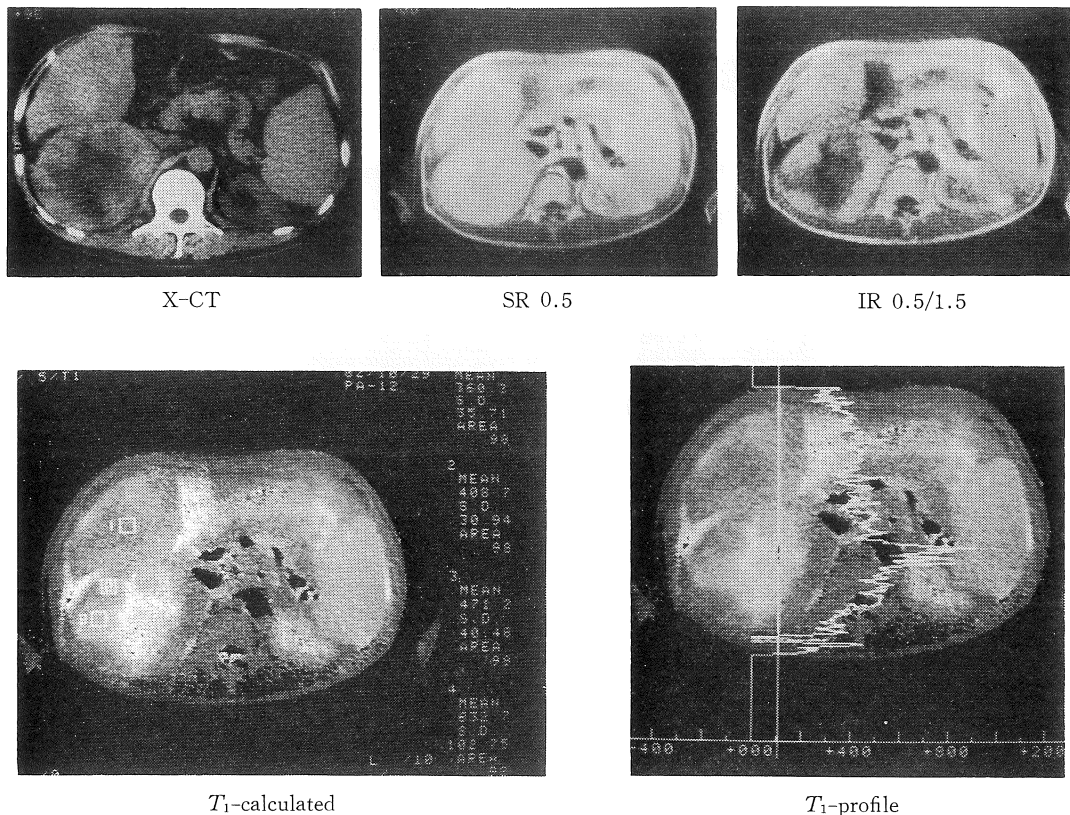


図 6 症例 6 T. M. 53 y. m.

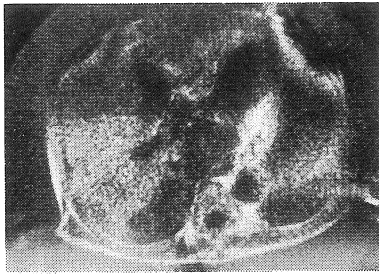
372.3±65.53 msec であった。

5) 肝内胆管癌

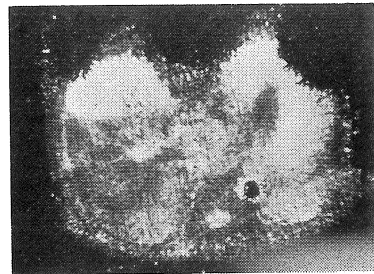
症例 8 は肝門に近い部分に発生し、経胆管的に浸潤した胆管癌で、閉塞性黄疸をともなう症例の、死亡半年前ならびに剖検肝の画像である。生体画像では IR 像において、肝門部が黒く T_1 の延長を思わせるが、肝内胆管拡張と識別できない。dead sample では、血流の欠如、温度の変化、血液や胆汁の流出と空気の置換などの条件が加味されてくるが、浸潤性増殖をするような腫瘍は、NMR-CT 像の方が X 線 CT 像よりも、よく描出されていることがわかる。

6) 肝十二指腸靱帯内腫瘍

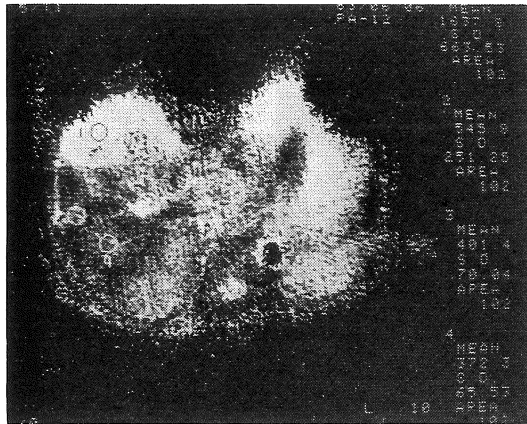
症例 9 は閉塞性黄疸、PTC で総胆管の狭窄がみられ、血管造影で膵十二指腸動脈から血流を受ける血管豊富な腫瘍の症例で、比較的限局した鶏卵大の腫瘍であるが、門脈本幹がまきこまれているため、摘出不能であった。NMR-CT でも X 線 CT でもよく描出され、 T_1 像において腫瘍部分の T_1 値は 666.7 ± 161.55 msec と表示され、肝組織 266.8 ± 31.99 msec、胆嚢 1096.7 ± 442.51 msec、腎 495.5 ± 57.12 msec と算出された。腫瘍部分の T_1 値とヒストグラムおよび腫瘍中心を通過する横にひいた直線上のピクセル毎の T_1 値をプロットしたプロフィール像を示す。



IR 0.4/1.6



T_1



T_1 -calculated

図 7 症例 7. U. Y. 66 y. m.

7) 肝脂肪腫

症例 10 は肝内に発生した巨大な脂肪腫の症例で、国立がんセンターに於て切除に成功した。脂肪は SR 像および IR 像では白く、 T_1 像ではグレイのコントラストを示す。

8) 胃 癌

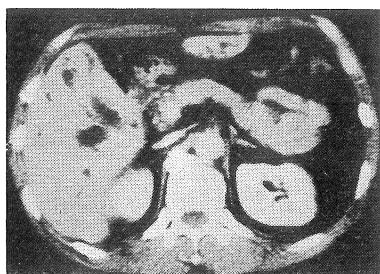
症例 11 は胃体部後壁に存在する 6×8cm、厚さ 2.5cm、漿膜面に浸潤露出した Borrmann II 型の進行胃癌の切除標本を、生理食塩水に浮遊せしめて撮像したもので、左胃動脈基部の径 2cm のリンパ節転移をともなっている。SR 像において T_R を 0.6sec, 0.4sec, 0.2sec と変えていくと、腫瘍のコントラストは次第に黒くはっきりしてくるが、粘膜層と癌との境界は識別し難い。

9) 結腸癌

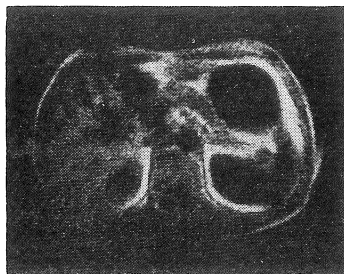
症例 12 は上行結腸癌で、4cm 径の腫瘤と 2cm 径の腸間膜リンパ節転移と健常小腸を連ねる線で撮像した。結腸右半切除標本で、症例 3 と同一症例である。SR 像、IR 像、 T_1 像と次第に腫瘍、腸間膜浸潤、リンパ節転移のコントラストがはっきりしてくる。 T_1 値はそれぞれ、 662.3 ± 97.82 msec, 451.8 ± 28.35 msec, 520.0 ± 47.50 msec と算出された。X線 CT では NMR-CT ほどのコントラスト分解能は得られない。

4 考 察

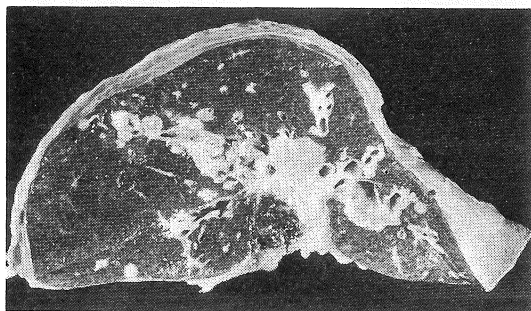
腹部外科症例の中から 9 疾患について、NMR-CT 画像を検討した。今後は症例の増加にもな



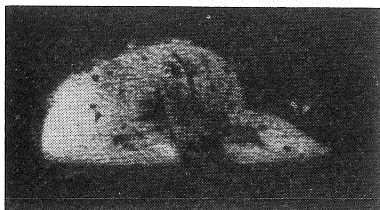
X-CT



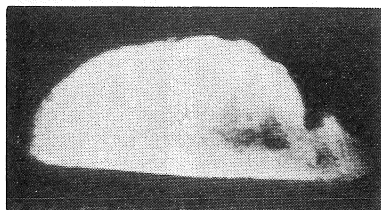
IR 0.3/1.6



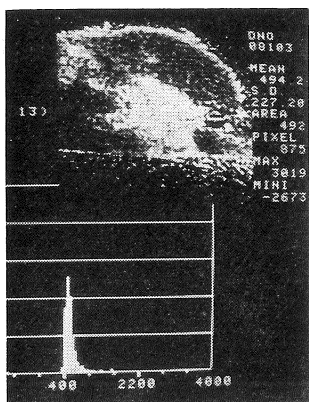
剖検肝断面



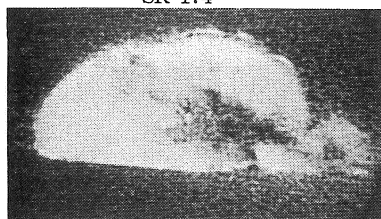
X-CT



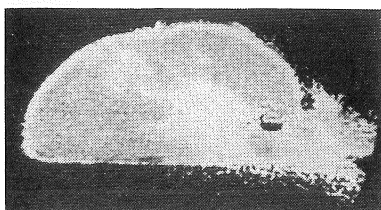
SR 1.4



T_1 -histogram

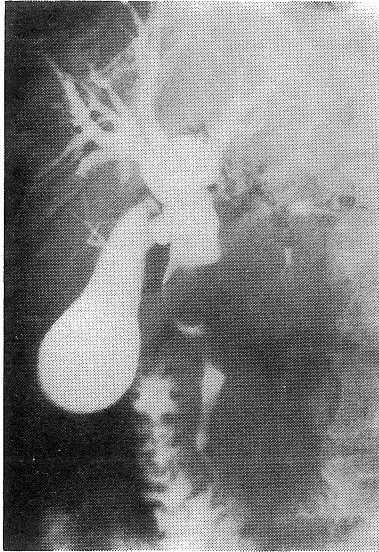


IR 0.35/1.4

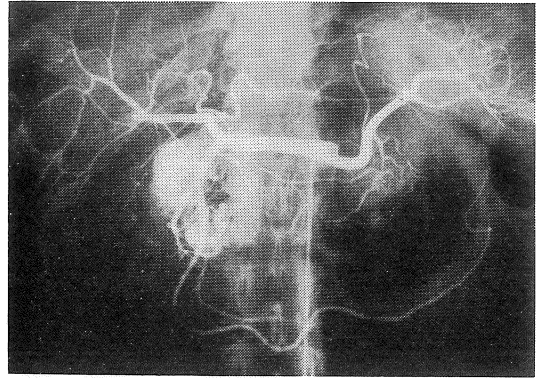


T_1

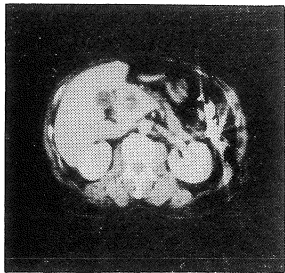
図 8 症例 8 K.S. 67y. m.



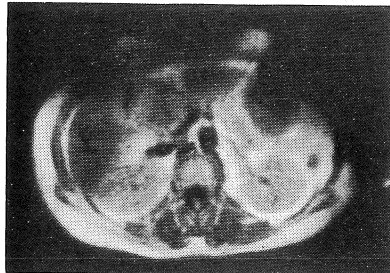
PTC



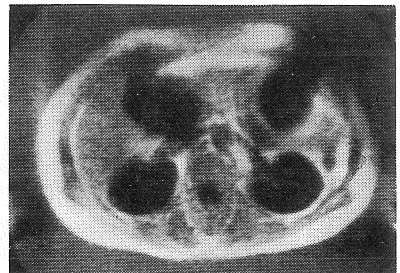
angiogram



X-CT

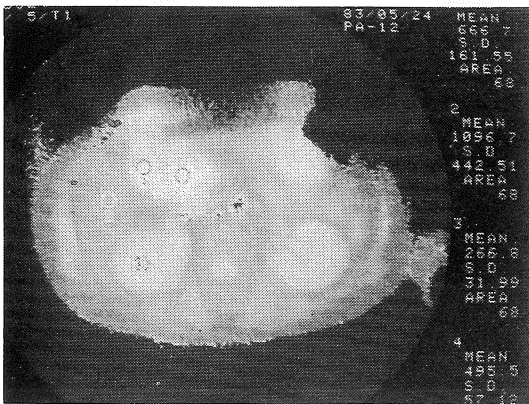


SR 0.75

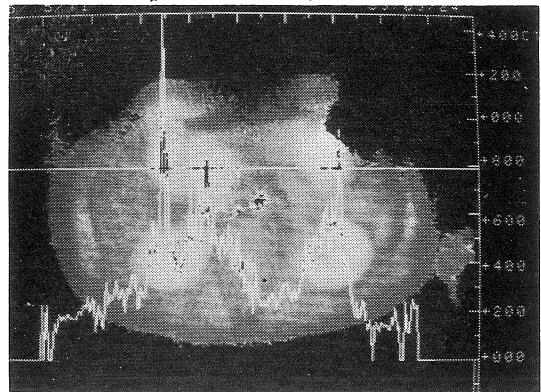


IR 0.25/0.75

図 9 a 症例 9-a M.M. 58 y. f.

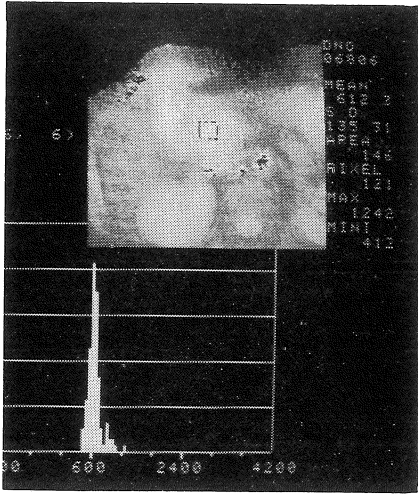


T_1 -calculated



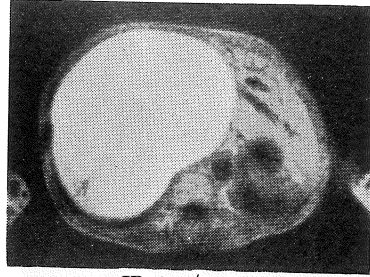
T_1 -profile

図 9 d (つづく)

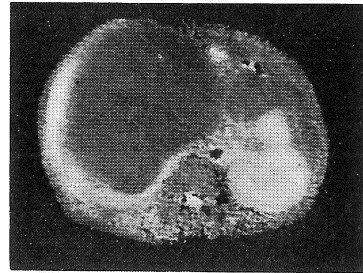


T_1 -histogram

図9b (つづき) 症例 9-b M.M. 58y.f.

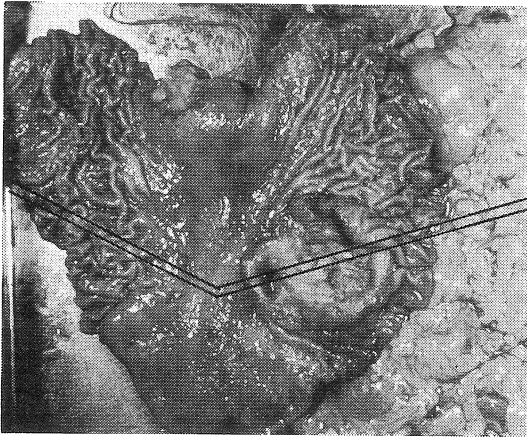


IR 0.4/1.6

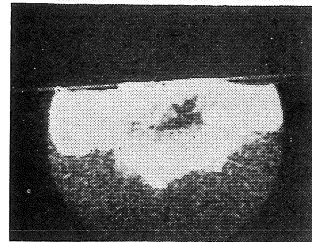


T_1

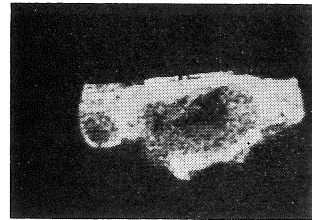
図 10 症例 10 S.M.f.



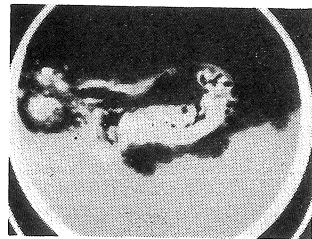
切除標本



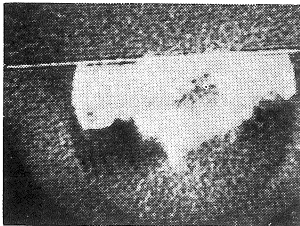
SR 0.6



SR 0.4



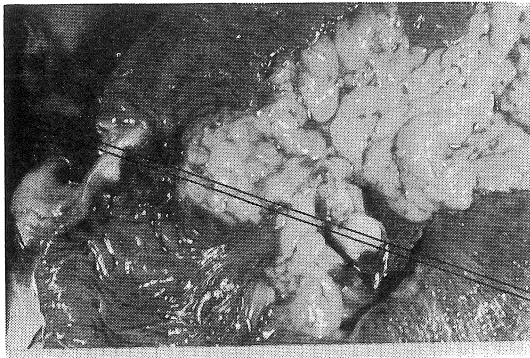
SR 0.2



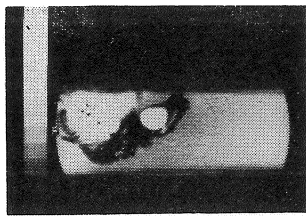
X-CT

図 11 症例 11 A.N. 58y.m.

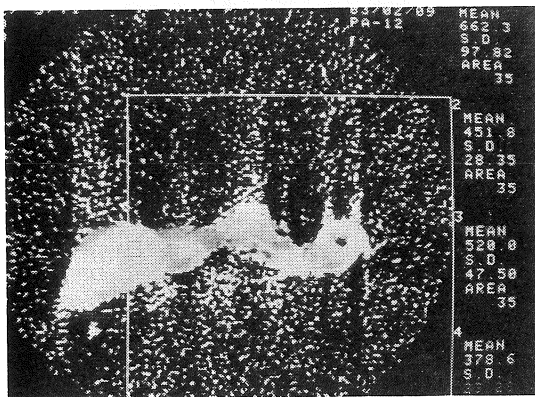
NMR 医学 Vol. 3 No.1 (1983)



切除標本



X-CT



T_1 -calculated

図 12 症例 12 A.C. 67y.f.

って、系統的な検討にすむ予定であるが、現段階では個々の症例の供覧にとどまる。腹部においては、撮像時間の長い NMR imaging は、臓器の呼吸性移動と、消化管蠕動のため、不鮮明な画像となり、且つ小病変の描出発見は困難である。実際、得られた腹部 NMR 画像を、X線 CT 像と比較してみて、少なからず失望する臨床医もい

ることであろう。而して X線 CT 像ほどの画像の粒状性を得るためには、静磁場の強さをたかめ、projection 数や average 数を多くするなど、撮影時間にも関連する問題に当面するが、たとえ X線 CT と同質の画像が得られたとしても、それは必ずしも NMR imaging の特色を生かすことにはなっていない。

NMR imaging は X線 CT にくらべ、明らかに contrast resolution にすぐれ、切除標本の画像からみて、悪性病変の描出能が高いということが出来る。脂肪組織や血管内腔に対する特異的な描出能と、 T_1 値によるプロトンないし組織水分に関する情報によって、病変の性質を、非侵襲的に判断することも出来る。少くも存在を知ることのできる病変については、プロトン密度強調像 (SR 像)、 T_1 強調像 (IR 像)、 T_1 像の三種の標準画像の比較検討により、これらパラメーターに関する情報が得られる。既にプロトン NMR-CT 像を構成する画素に表現される NMR 信号の強さは、プロトン密度が高いほど、またスピン・スピン緩和時間 (T_2) が長いほど強くなり、観測面を通過するプロトンの速度がはやいほど、そしてスピン・格子緩和時間 (T_1) が長いほど弱くなるといった関係にあり、NMR 信号が強いほど、プロトン密度が高いほど、グレイスケール上では白く表現され、NMR 信号が弱いほど、 T_1 値が長いほど、黒く表現される。脂肪組織は、プロトン密度の高い代表格で、且つ T_1 値も短いため、SR 像と IR 像では白く描出され、X線 CT 像と逆である。骨 (皮質) はプロトン密度の低い代表格で、且つ T_1 値が短いため、SR 像でも IR 像でも T_1 像でも黒く表示され、X線 CT 像と逆であり、体内の石灰化巣や結石、体内に埋没された金属製人工材料も、同様の信号を呈する。血管内を流れ去る血液や、空気やガスは、無信号に近いので、SR 像も IR 像も T_1 像も、等しく黒くみえる。水は最も T_1 値が長く、SR 像と IR 像で黒く、 T_1 像で白く表現され、髄液、尿、胆汁、

嚢胞内容なども、水と殆んど同様に描出される。かくして生体を構成する諸組織からの NMR 信号が、pulse sequence によって多様に変化することから、私共は NMR-CT 像による tissue characterization という考えに到達することになる。

現段階では、生体内のプロトンと T_1 値との関係について、私共は、組織における自由水の比率が大きいほど T_1 値が長くなり、結合水の比率が大きいほど T_1 値が短くなり、R. Damadian らが指摘するところの悪性腫瘍における T_1 値の延長傾向は、悪性組織内ではプロトンが比較的動き易い状態つまり悪性組織は水分が多い——といった程度の認識にとどまっている。私共は T_1 像において、digital で表示される。関心領域の T_1 値から、肉眼的に識別困難な T_1 値の差をよみとり、ピクセル毎の T_1 値をプロットするプロフィール像から、病変部から正常部分までの T_1 値の推移を連続的に観察することができ、且つヒストグラムをみることにより、組織中の T_1 の構成を知ることができるようになった。多種多様に分化し機能している組織内において、プロトンは、或は細胞を構成する高分子蛋白や膜脂質の構造の中に結合束縛され、或は有機無機の物質を溶解する細胞内液や外液の中で動きつつ、NMR 現象を受け、信号を出すわけであり、NMR-CT 像を構成する画素の一つ一つには、多岐多様な環境に存在する無数のプロトンからの信号が集積されている。こういった分子レベルの NMR 現象と、細胞レベルの病理組織学的判断とが、NMR-CT 画像の中で結びついて、正常か異常かを NMR で判断できる時が、既に到来しつつあるように見える。私共はなお多くの臨床経験を重ね、あわせて理論的裏付けを急ぎ、NMR 画像診断の適応をひろげ、限界に挑戦していきたいと考えるが、本論文では腹部外科手術症例における、NMR-CT 画像を供覧し、若干の考察を加えるにとどまる。

5 結 論

1) 腹部外科手術症例における、NMR-CT 画像を供覧し、すぐれた軟部組織の contrast resolution と、 T_1 値に関する情報が得られることを示した。

2) 嚢胞や胆嚢は、水に近い信号を示し、胆石は、骨に近い信号を呈した。

3) 悪性腫瘍は T_1 値の延長を示す画像を呈した。

4) 関心領域において、 T_1 値を digital で表示することにより、コントラストの差を計量的に認識することができる。プロフィール像からは、 T_1 値の推移を連続的に観察できる。

ヒストグラムからは、組織における T_1 値を解析することができる。

5) 脂肪組織や血管は、NMR-CT 画像を読影する上で、よい示標になる。しかし X 線 CT 像で、よい示標となった石灰化巣は、NMR では価値が少なかった。

6) 一般に腹部 NMR-CT 画像は、呼吸や蠕動や拍動の影響で、鮮明さを求め難いので、小病変の発見という点では、第一選択の診断法とはいえない。しかし悪性を疑う占拠性病変が存在する場合には、 T_1 値に関する情報が tissue characterization に有用である。

文 献

- 1) Damadian, R.: Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science*, 171: 1151~1153, 1971.
- 2) Goldsmith, M., Koutcher, J. A. and Damadian, R.: Application of NMR malignancy index to human gastro-intestinal tumors. *Cancer*, 41: 183~191, 1978.
- 3) Smith, F. W., Mallard, J. R., Reid, A. and Hutchison, J. M. S.: Nuclear magnetic resonance

