

NMR人体画像撮影技術 (NMR-CT MRI) 開発史 (メモ) 島津OB 喜利 元貞

1973年 オクラ (野菜の) の断層写真が、NMR (核磁気共鳴) 信号で描き出されて
ネイチャー誌の表紙を飾った

1975年、英国 エリザベス女王が日本を訪問

1979年 X線CTを発明したEMI社の技術者 Godfrey N. Hounsfield氏は、
アメリカでその理論面を研究していたAllan M. Cormack氏とともに、
ノーベル賞 (医学・生理学部門) を授けられた。

1981年10月1~3日、アメリカ南部の小さな町にあるボーマングレイ医科大学で、
国際シンポジウムが開かれた。 欧米の第一線研究者がすべて集まって、
報告と討論が展開された。

International Symposium on NMR Imaging
Wake Forest Univ. Winston-Salem / North Carolina

'80.8.21 島津製作所に中央研究所 発足。画像処理技術をフーリエ変換技術を中心に研究。

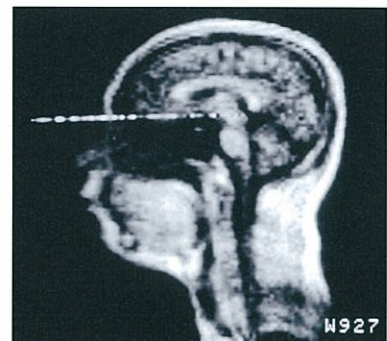
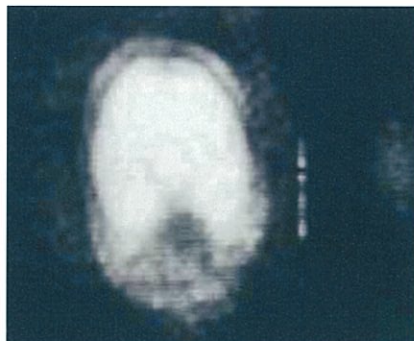
'81. 2月 NMR-CT技術を米英に調査 川口 1月27日~2月22日

'81. 4. 8 英 Oxford Magnet社 Wood社長 来社 マグネット購入交渉 納期 設定・9月20日

10月1~3日 NMRイメージング国際シンポジウム (喜利 参加)

11月2日 0.05T (500ガウス) 磁界にて、初FID (Free Induction Decay=水素核共鳴信号) 検出

12月28日 水入りバイアル瓶の画像を描出 (ウイスキー瓶1本か2本かをクイズにした)



1982年：装置改良に明け暮れる。

7月15日 5MHz(0.117T)にて初頭画像を描出、拍手しきり。

7月9日 医用画像シンポジウム Kaufman (サンフランシスコ大) 講演、各社説明

7月23日 NMR医学研究会 画像を提示 (脊椎をよく表現と声あり)

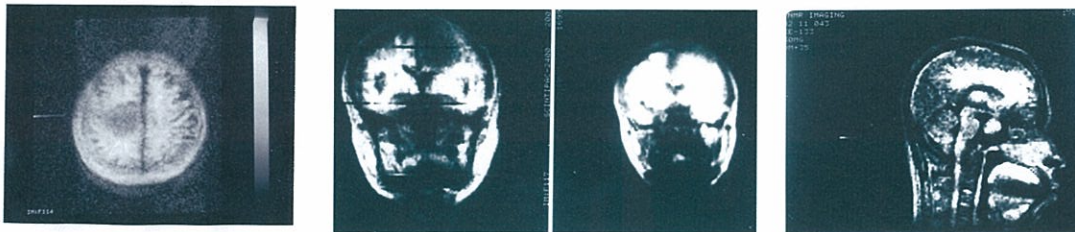
8月6日 画像医学総合開発研究会/経団連会館 Mullard (アバデーン大) 講演
各社発表 島津：腎臓T1像発表 (腎着色像は映写できず)

1982年11月8日 症例を初撮影

脳腫瘍、髄膜腫（京大病院 安里 令人 先生のご好意による）

意外と良好な画像となって驚く／ノートに。

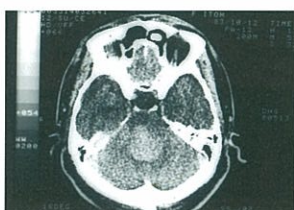
12月10日は4患者を受け入れるも装置不調にて撮影できず（ADC入力過大）



1983年2月22日 京都府立医大（平川教授）脳腫瘍3例

1例(F.M)は小脳腫瘍を検出、手術を決意に至る

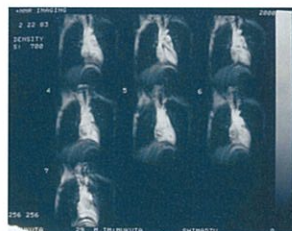
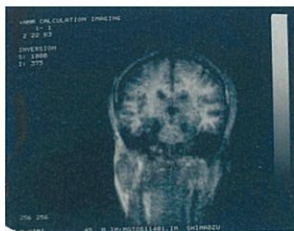
X線CT像（2月16日撮影）では腫瘍は不明であった。摘出手術の画像を頂いた



【伊藤文昭/京府立医大】小脳腫瘍 2023年2月22日 MRI撮影にて腫瘍を検出できず、手術に至った。MRIで診断できなかった。

（肝心のMRI画像が行方不明）

同日、心電同期画像なども撮影



1983年3～12月、東大病院に持込み、臨床試験

厚生省に治験完了申請、しかしデータの価値を認められず

1984年4月13日 三条工場内に『附属診療所・第二診療室』を開設、

4月16～26日の10日間は先生方と患者さんがひっきりなしに通ってこられ、たちまち50を越す症例を取得、厚生省へ申請書を再提出 [症例：10～14, 18～23] (添付)

1984年9月、0.2T-常電導MRIの薬事法認可を取得した

0.5T超伝導マグネットの第二世代MRI試作機もほぼ完成していたので、この体制をそのまま続け、9月には0.5T機の治験も完了 [症例：1～9, 15～17, 24] (添付)

1984年7月26,27日 筑波市で、日本磁気共鳴医学会の年次大会が開催された

症状を顕著に示した20症例の画像などを発表

1984年9月 『島津評論』誌にNMR-CT画像集を掲載、治験症例より24症例を紹介した。

NMR-CT画像集

核磁気共鳴現象を利用して体内の状態を描き出すNMR-CTは、いままでの装置で得られなかった有益な診断情報を与えるものとして医学界から期待されている。NMR-CTを用いた診断技術が早期に確立されるべく、島津製作所は試作した常電導マグネット式装置(0.2テスラ)および超電導マ

グネット式装置(0.5テスラ)を当社附属診療室に設置し、医療研究機関と協力して臨床活用法の研究を展開しており、興味深くまた医療上効果的な知見が集積されつつある。そのなかからいくつかを各研究機関のご好意を得てここに紹介する。

1. NMR-CTの特長(X線CTと比較して)

- (1)水素原子の分布とその信号緩和時間(原子の結合の強さを反映)に対応した濃度の画像が得られるので、組織の性質の差異に応じた濃淡を呈し、組織の違いを診断しやすい。
- (2)骨による信号の吸収がないので、骨に囲まれた部位(頭蓋内、脊髄など)や骨のすぐそばの病変を診断しやすい。
- (3)横断像だけでなく、サジタル(矢状断)、コロナル(冠状断)、さらに任意傾斜断面の画像が直接に撮影できるので、対象の形状や周囲との関係を把握しやすい。
- (4)撮影時間は1回に数分を要するが、同時に隣接並行した多断面の像が撮影できるので、疾患部位を探し出す能力は高い。
- (5)人体に害がないので、広範囲に活用できる。



図1 常電導式撮像装置(磁界強度:0.2テスラ)装置外観
(1984年10月から販売開始予定)

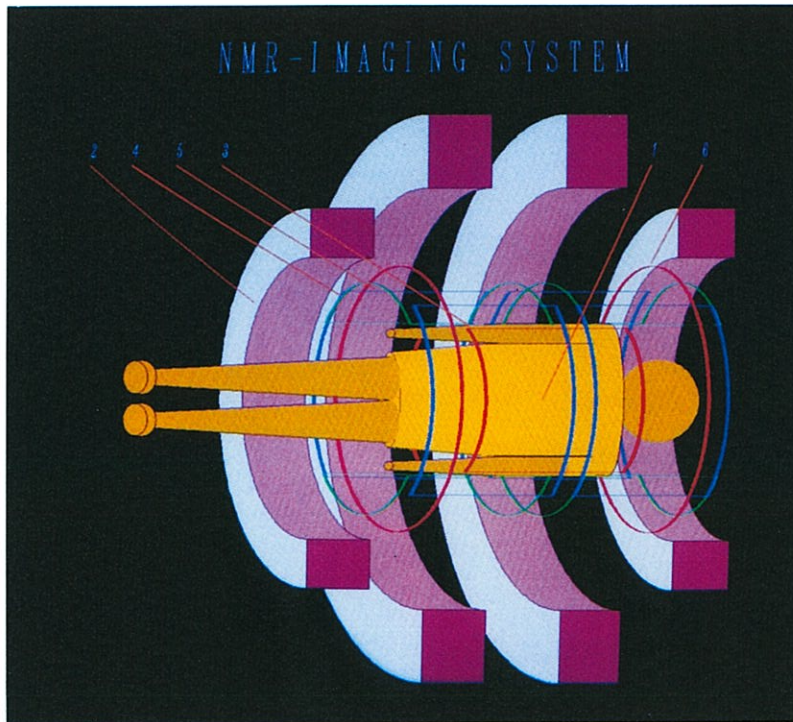


図2 NMR-CT原理図

2. NMR-CTの原理・構造

- 静磁界……外側の大きな4個のコイル②はその微妙な組み合わせで内部に均一な磁界を作り、測定対象①中の水素原子核のスピンの配向性を与える。
- 信号系……アンテナコイル③は、高周波を発生して対象中の原子核を励起し、ついで、生じた原子核のスピンの共鳴信号を検出する。
- 変調系……X、Y、Zの3組の傾斜コイルを備え、Zコイル⑥は励起時に磁界強度をZ方向に傾斜させて共鳴面を限定し、Yコイル⑤は直後に短時間の傾斜を加えて共鳴信号にY座標に比例した位相変調を加え、Xコイル④は続いてデータ採取時に傾斜を加えて、共鳴信号にX座標に比例した周波数変調を与える。
- 画像計算…付設したコンピュータは、まず、励起信号を繰り返し与えつつ共鳴信号を測定し、ついで、1回目のフーリエ変換計算により共鳴の周波数をX座標に還元し、2回目のフーリエ変換でY座標を還元して画像を得、ディスプレイに表示する。
- 安全性……人体に加える静磁界、高周波、磁界変化は、生体組織や分子に影響を与えるレベルよりはるかに微弱なので、悪影響は生じない。

測定条件の表記

SR像: SR / 繰り返し間隔 T_R / 測定遅延時間 T_E (単位: ms)

IR像: IR / 繰り返し間隔 T_R / 反転回復時間 T_D / 測定遅延時間 T_E (単位: ms)

装置: 0.2T: 常電導式撮像装置(磁界強度: 0.2 テスラ)

0.5T: 超電導式撮像装置(磁界強度: 0.5 テスラ)

※研究機関の名称は一部略しております(京大病院: 京都大学医学部附属病院, 京都府立医大病院: 京都府立医科大学附属病院, 国立宇多野病院: 国立療養所宇多野病院)。

3. T₁値計算像

条件を変えて測定した2枚(以上)の画像から、画素ごとの緩和時間T₁値を計算して求めた画像は、組織ごとの組成の違いをよく示し、組織診断にきわめて有用である。

右の画像をいづれどる色彩は緩和時間の長さを表わし、赤褐色の部分は骨髄ないし軟骨などT₁の短い部位、褐色は白質や脳梁など脂質に富んだ組織、黄色は灰白質など細胞質の多い組織、青は液状の部分、というように、組織が変わっていくにつれて緩和時間が伸びていく様子が現わされている。

図3は後のページにも掲げた脊髄変位症(症例16)のT₁像で、正常例と比較すると、青色で示される脳脊髄液をたたえた脊髓腔の中を、中央部の脳幹から下方に延びる脊髓が、軟骨様の突出物で圧迫され変形しているのがよくわかる。



図3 脊髄変位症のT₁像

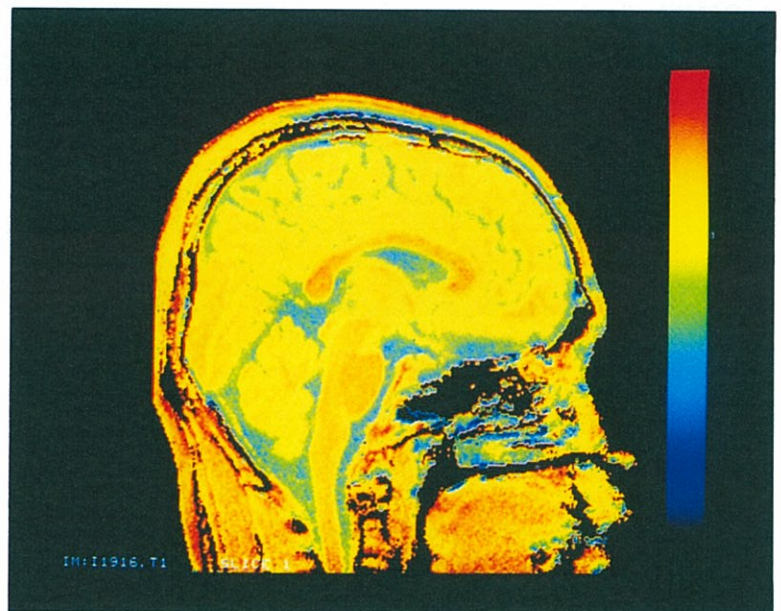


図4 正常例のT₁像

言葉の説明

緩和時間：核磁気共鳴信号の持続時間。共鳴は原子間の相互作用により減弱し、緩和状態に戻る。緩和時定数をT₁とT₂に分けるが、いずれも分子の状態によって異なる値となる。一般に、液体では長く固体は短く、生体組織はその中間の種々の値を示す。腫瘍組織はその正常組織に比べて緩和時間が長くなることが多く、これがNMR-CTの腫瘍に対する特異な検出能力が期待されるゆえんである。

飽和回復(SR)像：共鳴の緩和を十分に待たないで励起繰り返し時間T_Rを短くして撮影した画像。緩和時間の長い部分が飽和して低信号になり、緩和時間の差異が画像の濃淡を強調する。

反転回復(IR)像：共鳴を反転させた後、T_D時間待って励起することを繰り返して撮影した画像。緩和時間T₁がT_D付近にある部位が低信号になって画像の濃淡が強調され、また対象組織の緩和時間値が推定できる。

遅延エコー像：励起後の共鳴信号を時間T_Eをおいて測定して作成した画像。緩和時間T₂の短い部分が低信号になって濃淡が強調される。

T₁像, T₂像：複数の異なった条件で撮影した画像から計算によって各点の緩和時間を求め、その値を濃淡として表示した画像。組織の性質の違いをよく描き出す。

4. 臨床データ例

(1) 視床 星細胞腫 50才 女性

大きな腫瘍。脳の星細胞から発生した比較的良性的腫瘍であるが、頭蓋内では他の組織を圧迫し障害を与えるから、いずれの腫瘍といえども臨床的には悪性となる。良性の神経膠細胞腫はX線CTでは造影剤を入れてもコントラストがつかない。NMR-CTでは本例のようにきわめて美しく示される。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

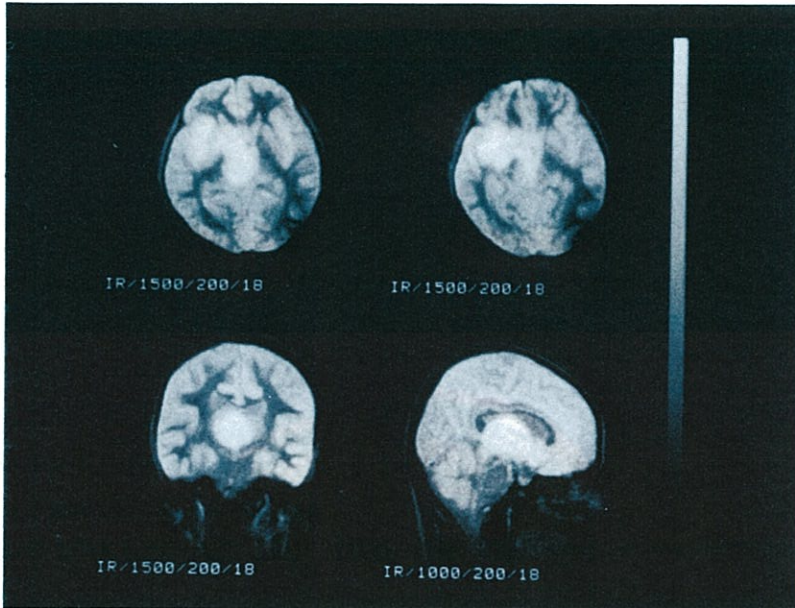


図5 NMR-CT像

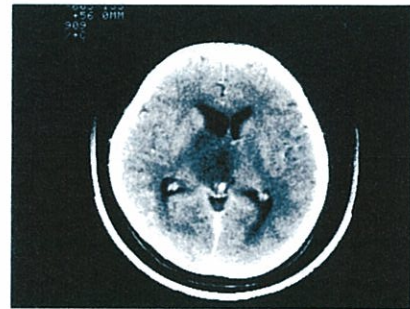


図6 X線CT像(造影後)

(2) 多形膠芽腫 77才 男性

NMR-CTによる本症の典型的画像。長いT₁の腫瘍部と周囲のT₁のやや延びている浮腫の部分がT₁値像でよく示されている。脳神経から発生する成人ではもっとも悪性な腫瘍である。

(京都府立医大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

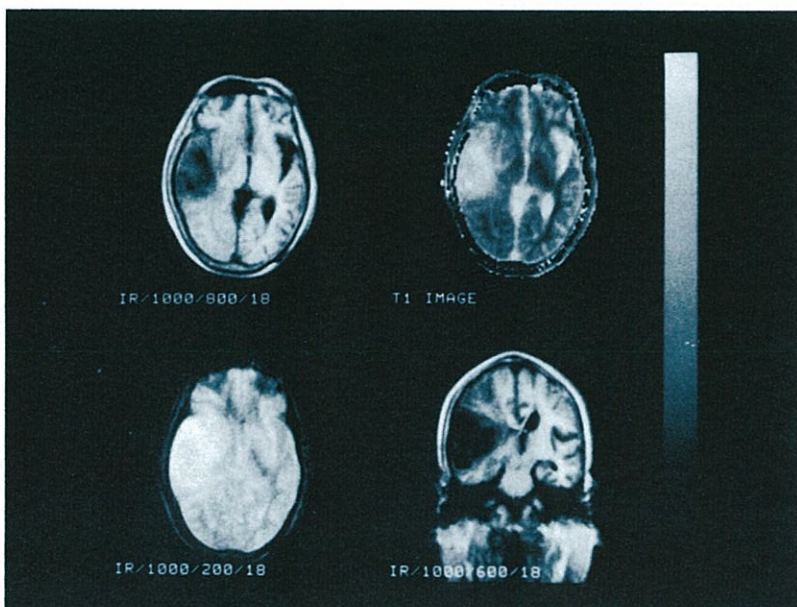


図7 NMR-CT像

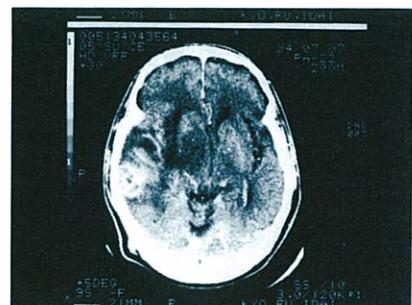


図8 X線CT像(造影後)

(3)多形膠芽腫 68才 男性

脳腫瘍外部のシスト(嚢胞)はX線CTでは確定的な診断が難しいが、NMR-CTの緩和時間T₁は診断の指標となり得る。この例では腫瘍内にT₁のきわめて長い部分があり、CSF(脳脊髄液)に近い性状の液体貯留が考えられる。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

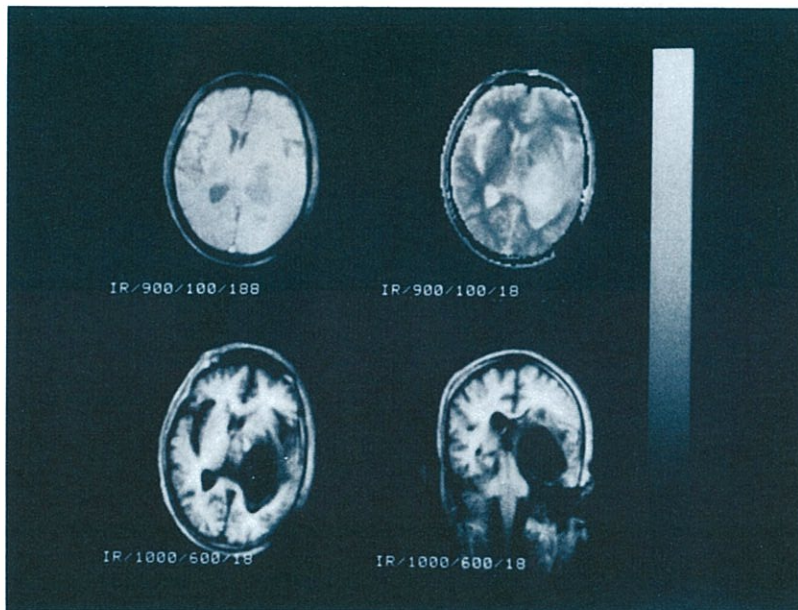


図9 NMR-CT像

(4)多形膠芽腫 49才 女性

境界の不明瞭な浸潤性に成長する悪性の腫瘍である。IR像にて腫瘍内シストと腫瘍の浸潤部位とが区別されている。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

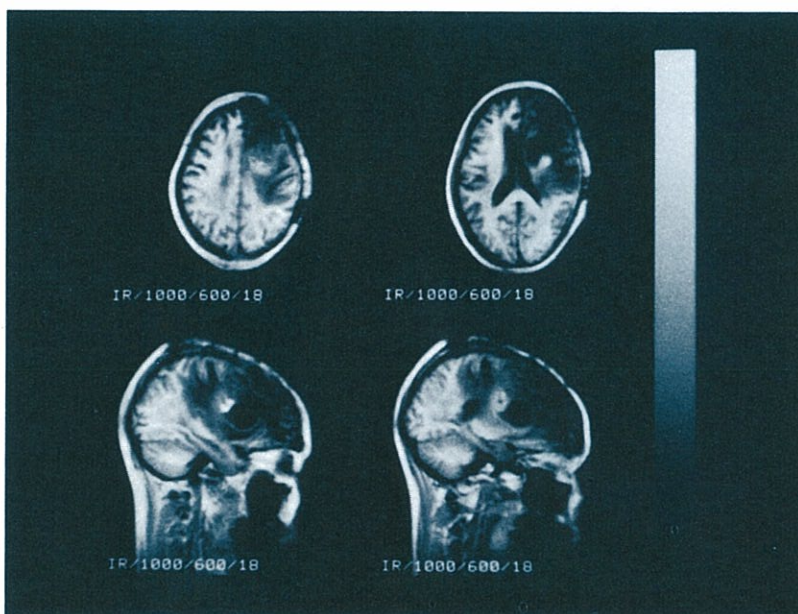


図10 NMR-CT像

(5) 髄膜腫 65才 女性

小脳の下部に切れ込む大孔腫瘍が冠状断IR像で明瞭に見える。浮腫が上方へ伸びているのもよく判る。X線CTでは周囲をかこむ骨の強いアーティファクトのために、大孔部にできた腫瘍の診断はひじょうに難しい。

(京都府立医大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

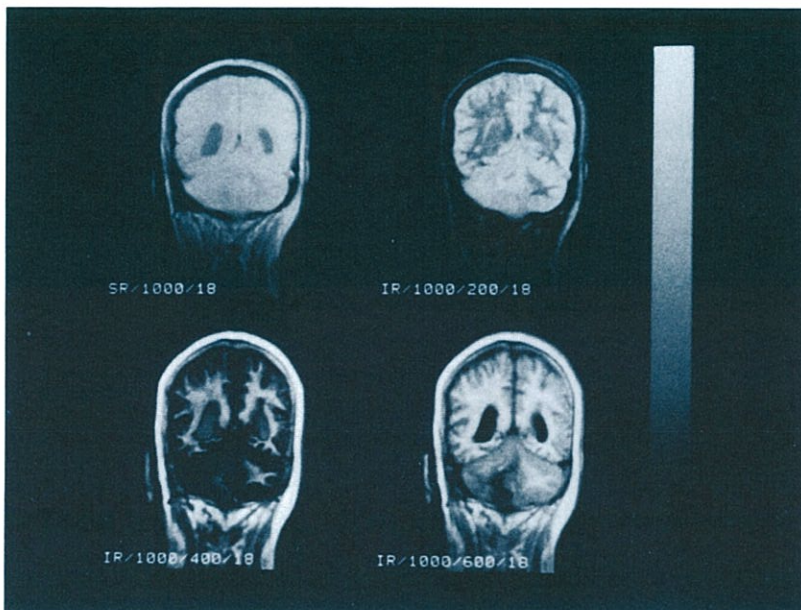


図11 NMR-CT像

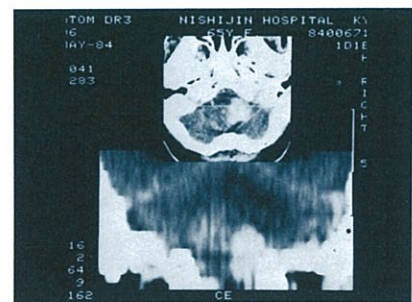


図12 X線CT像

造影後、長時間を費やして多数の再構成像を撮影し、病巣を検索して得たもの。再構成像はNMR-CTの右下像に対応するが、左右が反転している。

(6) 髄膜腫 49才 女性

小脳の右に広がる髄膜腫。矢状断で大きさ、広がりが明確となり、また同時に脳室の拡大も描出されている。腫瘍部分のT1値は延長している。X線CTではアーティファクトのために診断は難しい。

(京都府立医大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

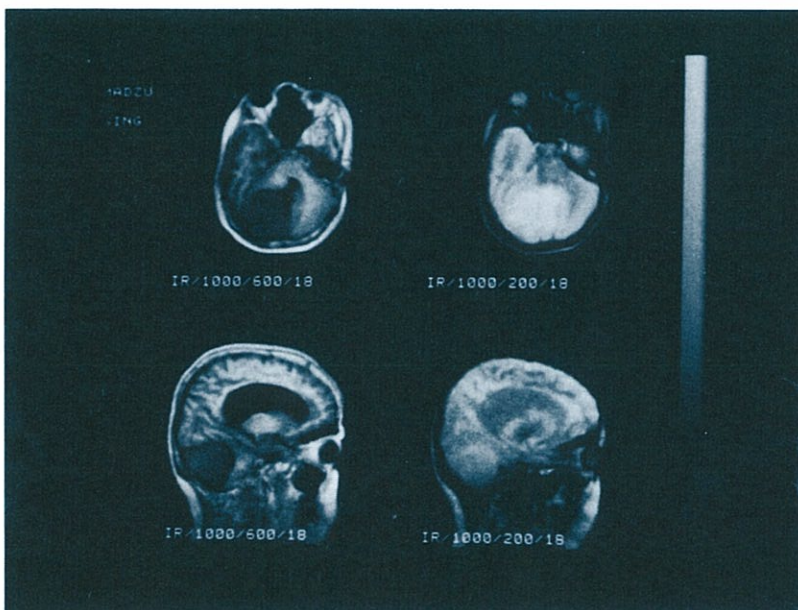


図13 NMR-CT像

(7)橋 神経膠腫 55才 男性

X線CTでは脳幹部病変は骨に囲まれてコントラストがつきにくい。NMR-CTでは本例のように、左右小脳半球を連ねる橋部の腫瘍が、多方向の断層像によって広がりを含めてよく判る。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

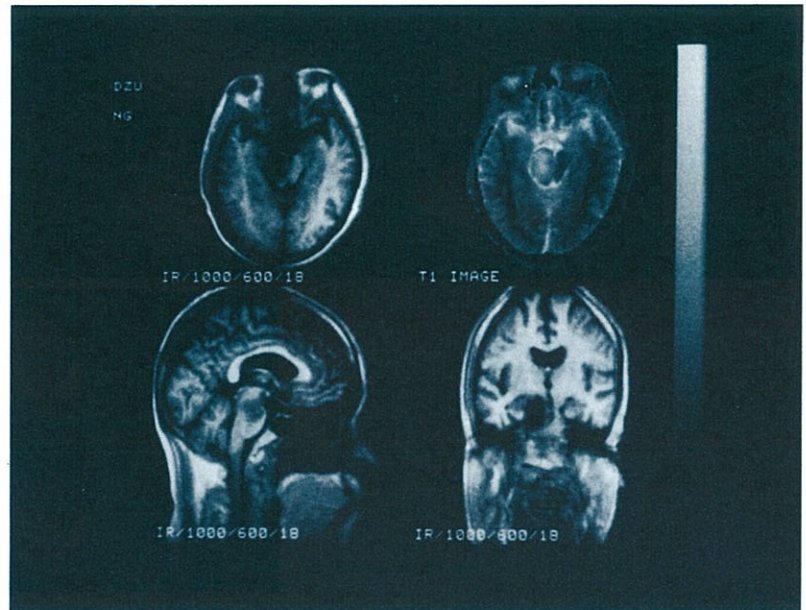


図14 NMR-CT像

(8)聴神経腫瘍 57才 女性

後頭蓋窩は骨に囲まれていてアーティファクトがでやすく、X線CTで良い画像を得にくい。本例では、腫瘍、脳幹部、小脳が美しく描き出されている。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

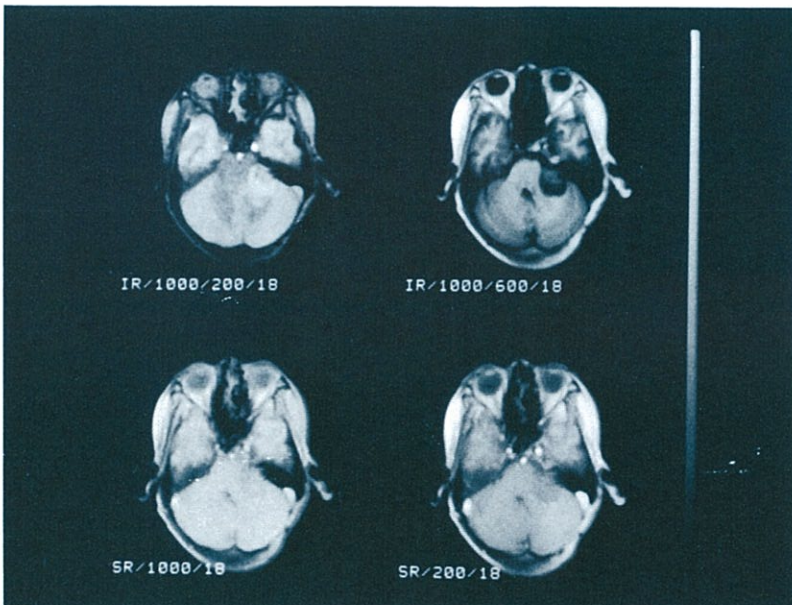


図15 NMR-CT像

(9)巨大脳動脈瘤 56才 女性

斜台背側から橋、中脳を圧排して球形のmassが存在する。T1は短く、血腫ないし器質化した血腫と考えられる。mass周囲の低信号部は血流が保たれている部分と考えられる。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.5T)

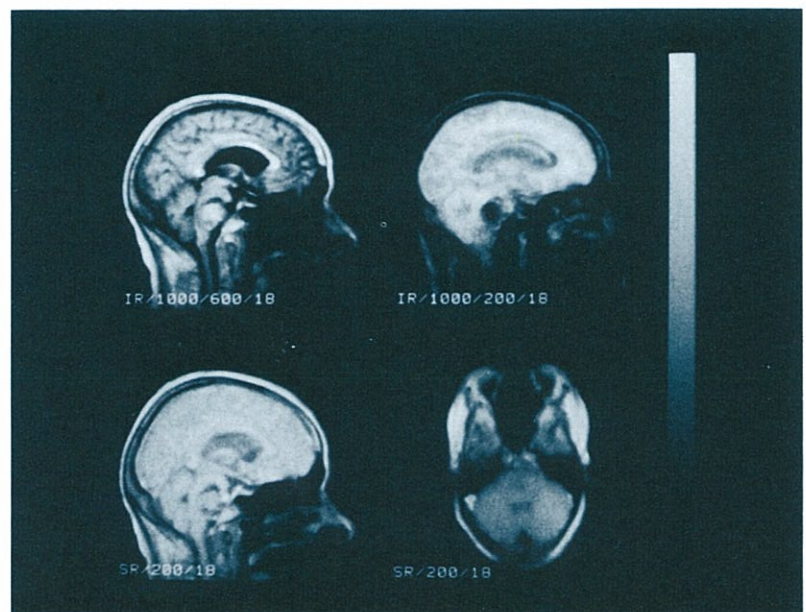


図16 NMR-CT像

(10) 星細胞腫 26才 男性

SR像, IR像いずれにも同じ大きさで左前頭葉に球形の腫瘍が描出され, ほとんど浮腫がないものと思われる。X線CTではこの種の腫瘍は明瞭に描出されないことが多い。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.2T)

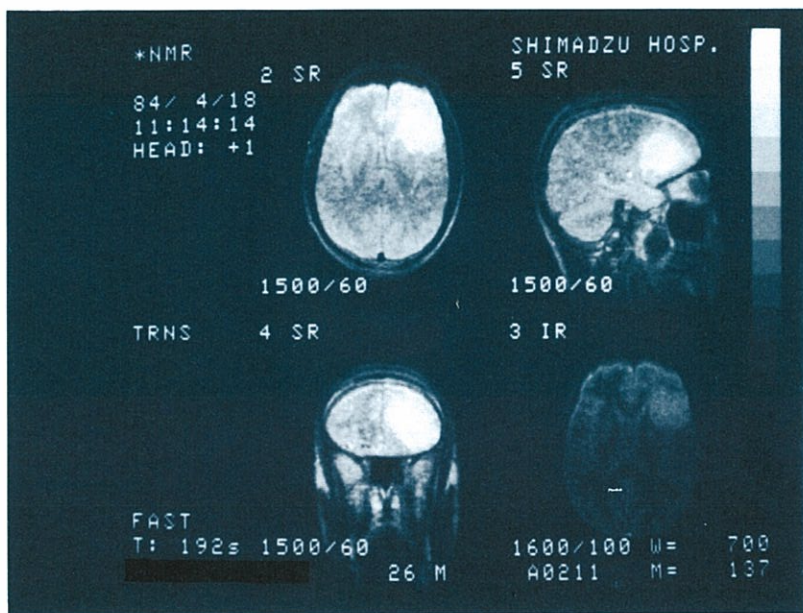


図17 NMR-CT像

(11) 乏突起膠腫 46才 女性

脳の神経細胞から発生した比較的良性的な腫瘍。右頭頂葉, 後頭葉に広がっており, さらに反対側の脳梁後部への浸潤が疑われる。X線CTでは境界が不明瞭で判定が難しい。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.2T)

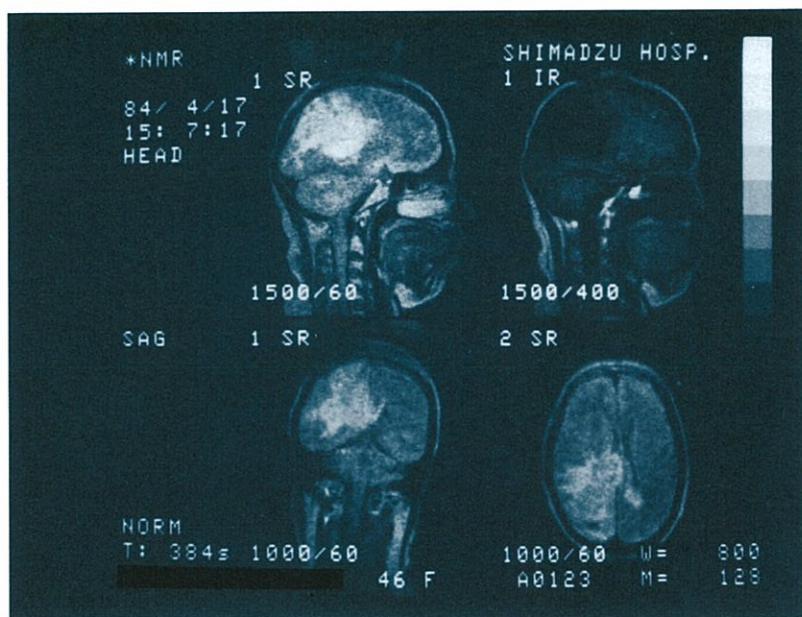


図18 NMR-CT像

(12) 乏突起膠腫 40才 女性

SR像で右頭頂葉内側面の高濃度の腫瘍が、IR像では低濃度となっている。SRにおける腫瘍の方がIRより大きいのが、手術所見はSRで認められる広がりとも一致。IRで見える部分は壊死に陥りかかった部分と思われる。NMRの3方向撮影は腫瘍の全形をよく把握できて手術に役立つ。
(京大病院・脳神経外科, 装置:0.2T)

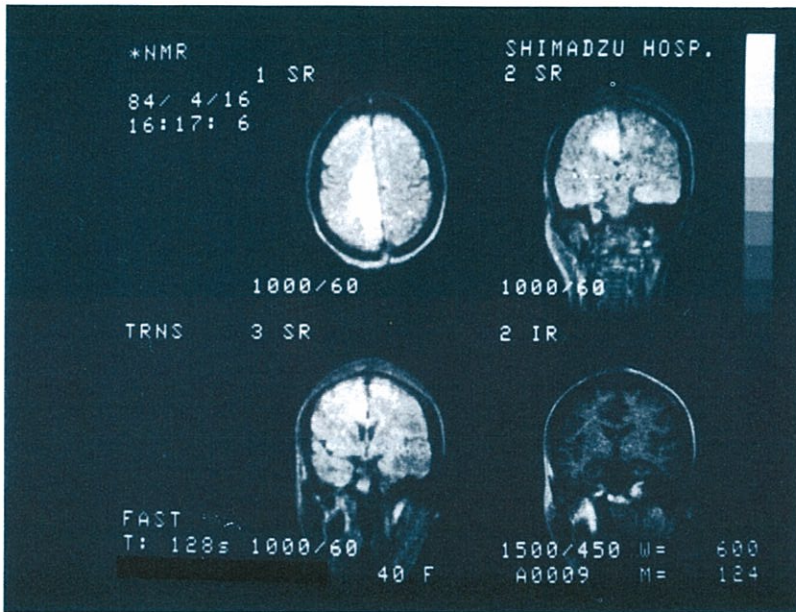


図19 NMR-CT像

(13) 鞍上部腫瘍 16才 女性

矢状断で鞍上部腫瘍は下垂体と明瞭に区別され、下垂体腫瘍は否定される。SR (T₂強調), IR (T₁強調) 像ともに腫瘍は高濃度であり、脂肪成分を伴う先天性腫瘍と思われる、視神経膠腫は考えにくい。
(京大病院・脳神経外科, 装置:0.2T)

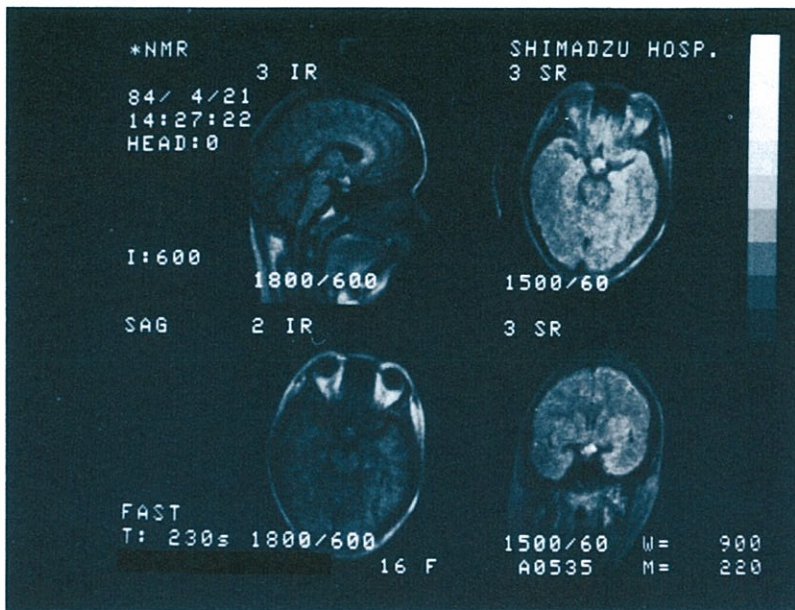


図20 NMR-CT像

NMR-CT 画像集

(14)下垂体腺腫 54才 女性

主に前下方へ進展し、蝶形骨洞を充滿する脳下垂体から発生した腺腫。
矢状断で中脳方向への発育はないことが判る。

(京大病院・脳神経外科, 装置:0.2T)

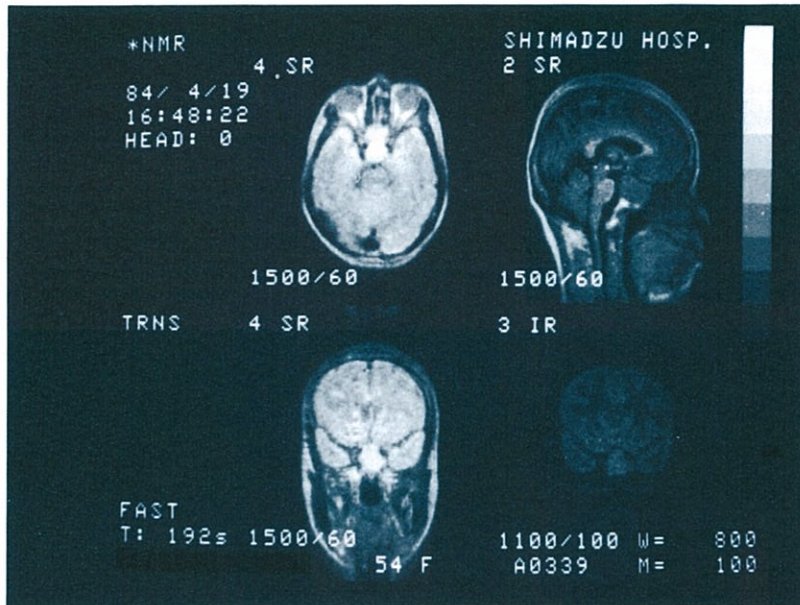


図21 NMR-CT像

(15)下垂体微小腺腫 30才 女性

拡大撮影, 5 mm厚スライス像でトルコ鞍近傍の構造をよく示している。微小腺腫と思われる下垂体先端, トルコ鞍内の部位が認められる。200msくりかえしのSR像が矢状断の構造を描出するのにとくに有効である。下垂体腫瘍はホルモン分泌異常から発育不全などをもたらしたりするが, 早期ならば手術成績はよいので, NMR検査の普及が期待される。(京都府立医大病院・脳神経外科, 装置0.5T)

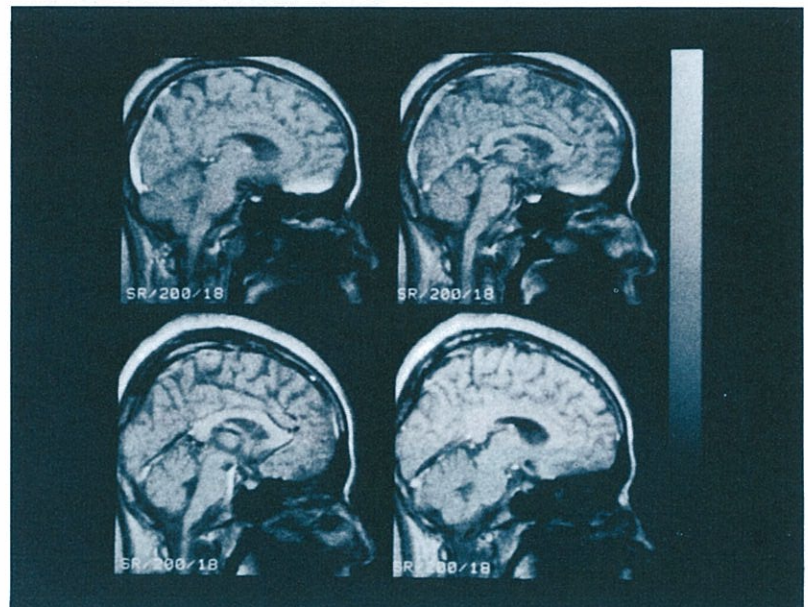


図22 NMR-CT像

多数枚の撮影から再構成した矢状断像より, 練達した医師の目によってかろうじて認められる。
(NMR-CT像とは左右反転している)



図23 X線CT像

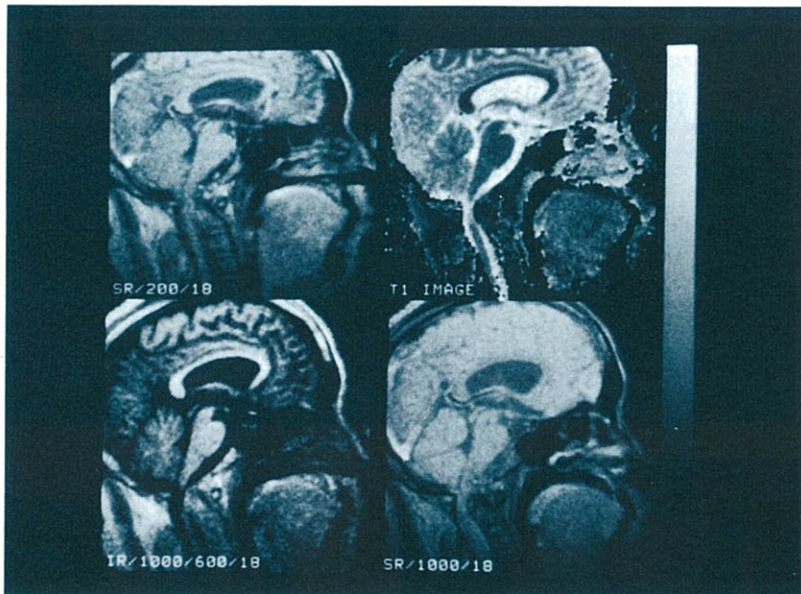


図24 NMR-CT像(手術前)

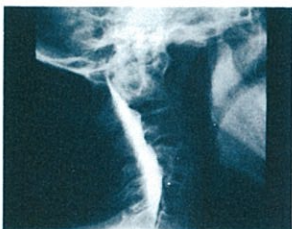


図25 ミエログラム
(脊椎造影X線撮影)

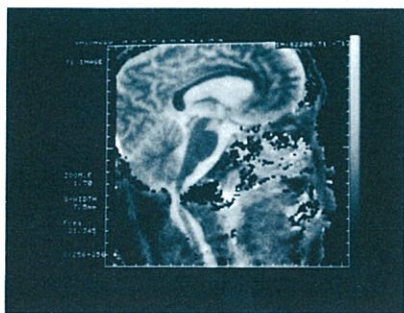


図26 NMR-CT T₁像(手術後)

(16) 脊髄変位 35才 男性

〈カラーページの図3に本例のT₁値像を示す〉

四肢のしびれ感が徐々に悪化し、頭蓋底陥入症の疑いで脊髄を精査した。脊髄を後方に圧迫しているのはIHの多くない組織であろう。T₁値像(右上)の白い部分は脊髄液の存在する形状をあざやかに示しており、後に実施したミエログラム(脊椎造影撮影)よりも有効であった。

(京都府立医大病院・脳神経科, 装置: 0.5T)

第1, 第2頸椎の圧迫は取り除かれたが、脊髄腔の狭窄はまだ回復していない。

(17) 脳幹部 梗塞 65才 男性

脳幹部を栄養する脳底動脈の分枝の閉塞による橋部の梗塞である。X線CT像では脳幹右前の低濃度域として見えているが、周囲の骨によるアーティファクトの多い領域であり、鑑別は難しい。ここに示したX線CT像(右上のNMR像に対応)はよく見えている稀な例である。

NMR像ではIR像において、橋(中央のいびつな円形の部分)の右半に数個の低信号域が見える。X線CTに比べて大きさ、位置が明らかであり、さらにX線CTでは得られない冠状断、矢状断の画像により形状がよく把握できる。

(京大病院・放射線科, 神経内科, 装置: 0.5T)

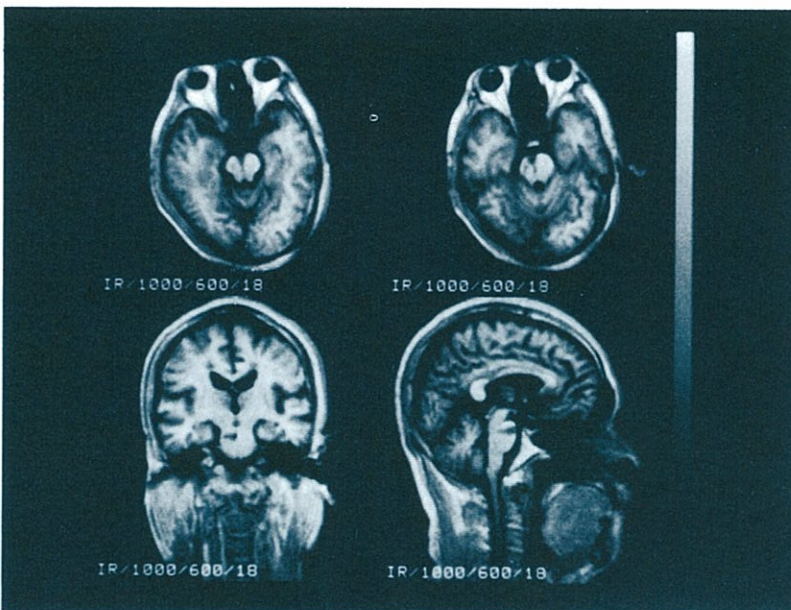


図27 NMR-CT像

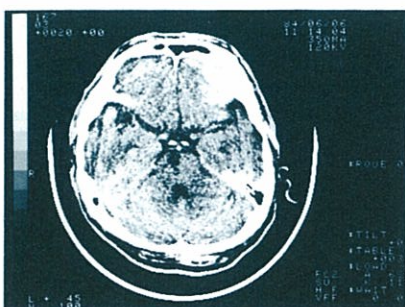


図28 X線CT像

(18) 脳内出血 48才 男性

左の視床出血後20日である。X線CTではすでに等吸収域となって検出できない時期であるが、出血巣のおそらく延長したT₂によりSR像で高濃度域として認められる。

(京都府立医大病院・脳神経外科, 装置: 0.2T)

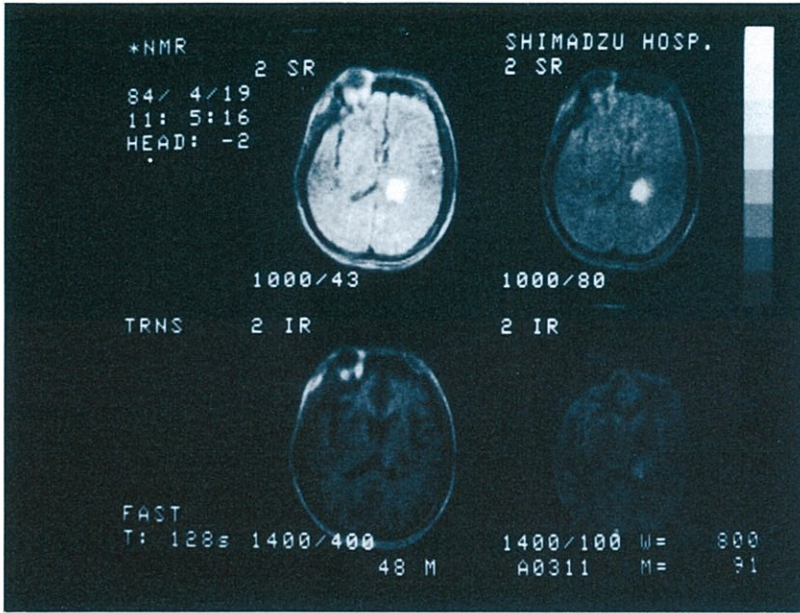


図29 NMR-CT像

(19) 多発性脳梗塞 27才 女性

前・中・後大脳動脈の分水嶺領域の高濃度で示される脳梗塞。動脈の各所が閉塞して多発している。冠状断で右の上・中頭回の梗塞などが明らかである。

(京大病院・脳神経外科, 装置: 0.2T)

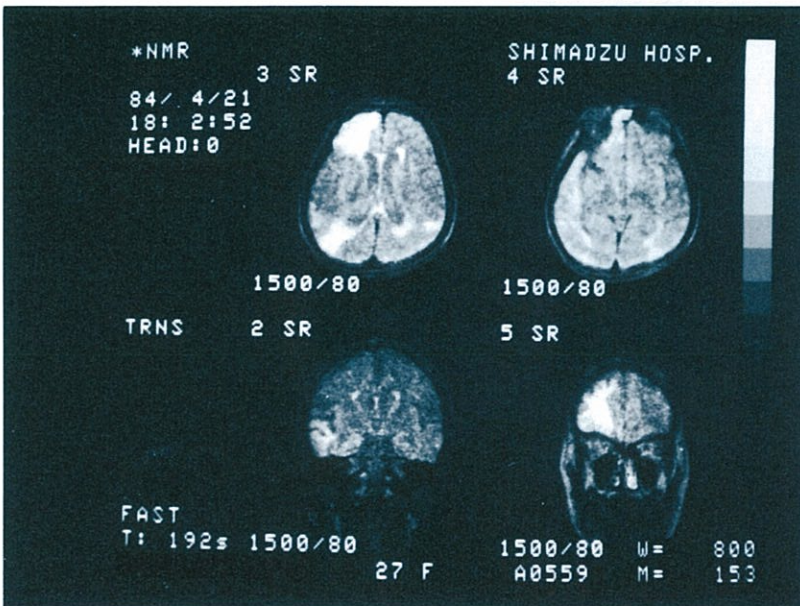


図30 NMR-CT像

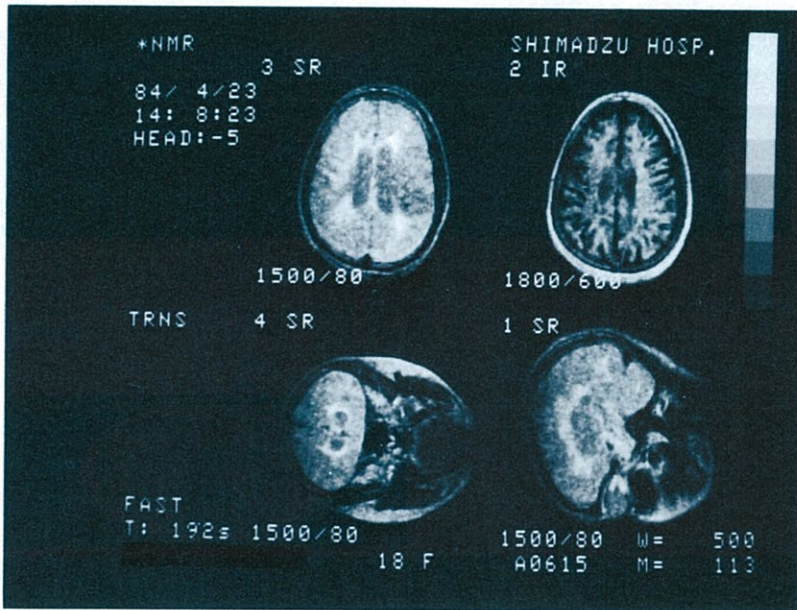


図31 NMR-CT像

(20)多発性硬化症 18才 女性

日本では比較的めずらしい病気だが、症状、所見が一定せず、診断がむずかしい。脳から脊髄にいたる中枢神経系に脱髄病巣が多発的にかつ反復して発生し、髄鞘が著しく破壊されてアストログリアの増殖を中心とした硬化病巣に変わる。

本例では脳室を取り巻いてT₂の延長した病巣が、スピンエコー発生時間を遅らせたSR(飽和回復)像で強信号域としてあざやかに描出されている。X線CTではこのような病巣はまったく検出されない。

(国立宇多野病院・神経内科、装置：0.2T)



図32 X線CT像

(21)神経ベーチェット病 50才 男性

原因のよくわかっていない難病であるが、本例でみると多発性硬化症によく似た側脳室の拡大と側脳室周囲の白質のT₂延長による強信号帯が認められる。血管炎による白質の脱髄が疑われる。

(国立宇多野病院・神経内科、装置：0.2T)

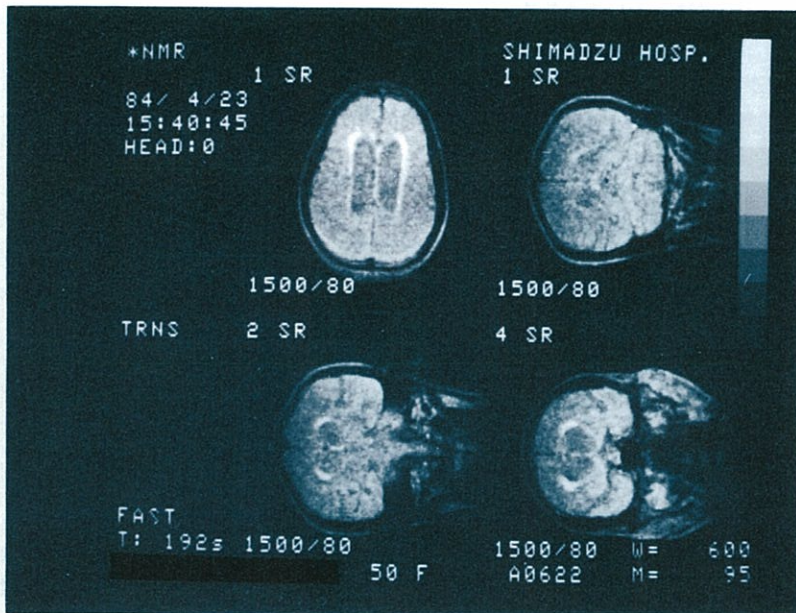


図33 NMR-CT像

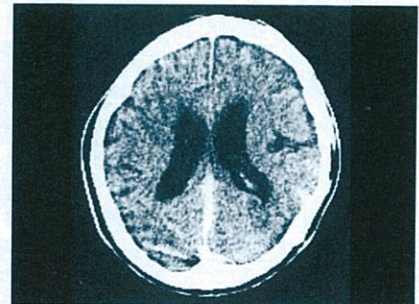


図34 X線CT像

NMR-CT 画像集

(22)膀胱癌 48才 男性

膀胱右壁から発生した癌。T₂が長いのでSR像で明瞭に抽出されるが、T₁も長くIR像では不明瞭になる。冠状断で膀胱上壁、下壁との関連がよくわかる。X線CTでは得られない情報である。

(京大病院・放射線科, 泌尿器科, 装置: 0.2T)

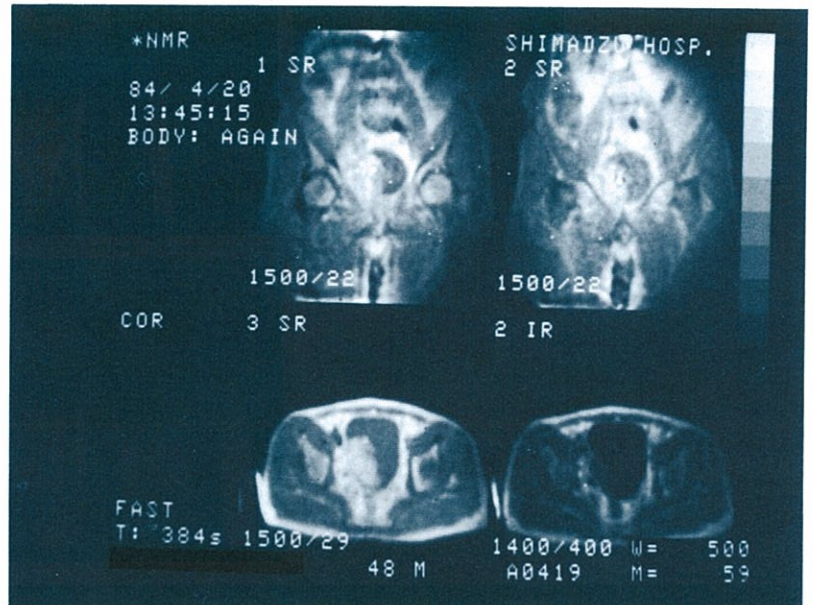


図35 NMR-CT像

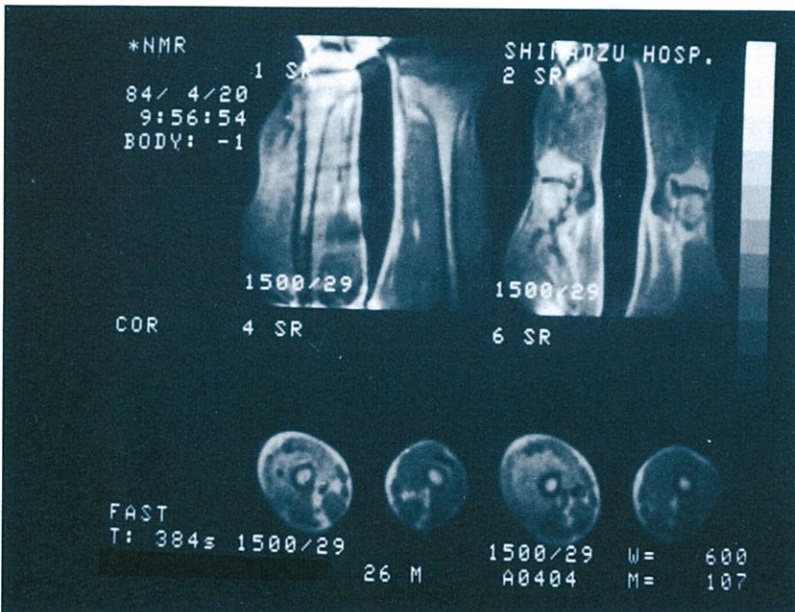


図36 NMR-CT像

(23)大腿部軟部腫瘍 26才 男性

T₂の延長した腫瘍が大腿部を取り巻いているのがよく判る。筋肉部の濃度がびまん性に(広範囲に境界がはっきりせず)高く、浸潤型の進展を示している。また拡張した静脈の像(暗い小円)もよく抽出されている。

(京大病院・放射線科, 整形外科, 装置: 0.2T)

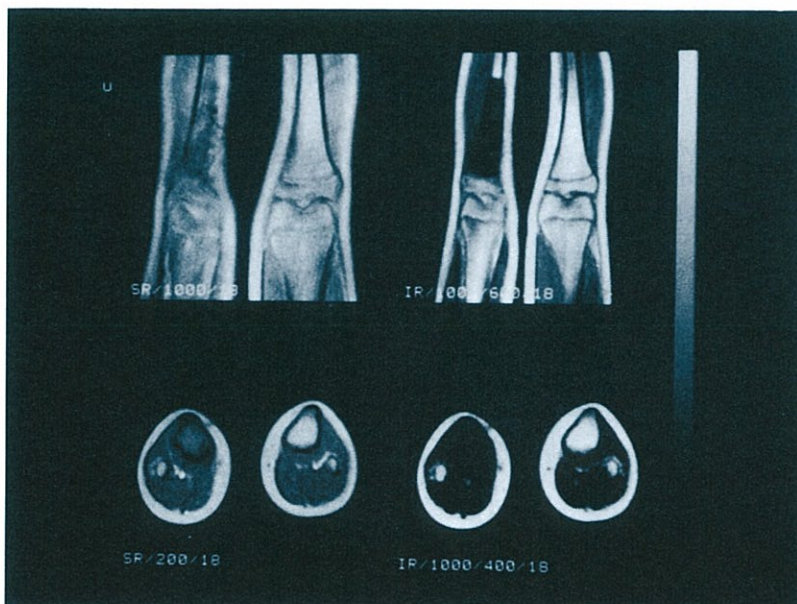


図37 NMR-CT像

(24)骨肉腫 12才 女性

左脛骨の骨幹端から発生した骨肉腫。骨を造る細胞が悪性化し正常でない骨を形成する病気で、全身に転移することが多い。X線写真では左下肢膝下に硬化像が認められるが、骨破壊、造骨性変化は著明でなく、本例はふつうの骨肉腫に比べて造骨性変化が少なく骨肉腫としての診断が困難であった。

NMR像では、病変組織は緩和時間T₁が延びていることを利用して、IR(反転回復)像で



低信号域として明瞭に抽出でき、正常組織と区別できる。(NMR-CT像は足先が上向きに示されている。)(京大病院・放射線科, 整形外科, 装置: 0.5T)

図38 X線写真(FCR)