シンポジウム

MRI の臨床

Clinical Usefulness of MRI (Magnetic Resonance Imaging)

第453回新潟医学会

日　時　平成元年11月18日（土）午後2時から
会　場　新潟大学医学部研究棟　第II講義室

司　会　酒井邦夫教授（放射線科）
演　者　岡本浩一郎（歯学部歯科放射線科），本間隆夫（整形外科），笹川康夫（第一内科），武田敬子（放射線科），荒木　力（山梨医大放射線科）
発言者　木村元政（放射線科），伊藤　猛（放射線科）

司会　新潟医学会では，昭和60年3月に「NMR の医学的応用―基礎と臨床―」と題するシンポジウムが薬理学の今井教授の司会で行われております．このときは，新潟県内では臨床用の MRI 装置がまだ稼動していなかったために，基礎の方々の発表が中心でした．

しかしその後の数年間で MRI は急速に進歩いたしまして，県内においても既に多くの病院に導入され，稼動致しております．新潟大学でも，1.5テスラーの超電動 MRI が導入されて約1年半が経過しております．そこで，MRI の臨床上の有用性と問題点を整理いたしまして，今後の展望を考えてみるのにちょうど良い時期ではないかと考えまして，ここに『MRI の臨床』と題するシンポジウムを取り上げることになった次第です．

此の度のシンポジストは，各領域の第一線の臨床で活躍されている学内の若い方々が主体ですが，MRI 全体を総括していただくために，この分野で非常に造詣の深い山梨医科大学の荒木先生に，特別にご参加を頂いております．それではプログラムに従いまして，早速シンポジストの方々にご発表を頂きたいと思います．

1) 脳の MRI 診断

新潟大学歯学部歯科放射線科 岡 本 浩一郎

The Diagnosis of Brain by MRI

Kouichirou OKAMOTO

Department of Radiology, Niigata University, School of Dentistry
(Director: Prof. Jusuke ITO)

Magnetic resonance imaging (MRI) has been comming to be one of the most important modalities in the diagnosis of the brain. MRI has many remarkable characteristics; (1) MRI does not utilize X-ray but magnetism for making images. Sequentially MRI does not contain deterious effect of X-ray. MRI provides us with new beneficial information which we are not able to take through X-ray CT. (2) Three parameters (i.e. T1 and T2 relaxation times and proton density) are available in MRI. (3) MRI shows high contrast resolution. (4) Scanning direction is freely selected. (5) Flow-imaging is also available. But MRI has also some controversial aspects. For example, it consume much time to make multi-directional and/or multi-sequential images. Many kinds of artifacts are seen in the images. These characteristics of MRI were evaluated in this paper.

Key words: Brain, Diagnostic imaging, MRI
脳, 画像診断, 磁気共鳴画像

はじめに

1945年に Purcell, Bloch らにより NMR (nuclear magnetic resonance) 現象が発見され, 1970年代には NMR 現像を用いた画像化が可能となった[1]. 以来僅か十数年の間に急速な MRI (磁気共鳴画像法) の進歩が成し遂げられ, 今日の画像診断の中において重要な位置を占めるに至った. この間 MRI 装置の多様化もあり, それぞれの施設や病院の実状により機種が選ばれている[2)3)]. 新潟大学では1988年8月から高性能高磁場装置である SIEMENS 社製 MAGNETOM H15 (1.5T) を臨床に応用しており, この経験をもとに今回のシンポジウムの目的であるX線 CT との対比を中心としながら MRI の現況について述べてみたい.

神経放射線学的検査法としての MRI

あらゆる領域の画像診断法は電離放射線 (X線) を用いたものが主流であり, そこに超音波を利用した Ultrasonography が現在では重要な画像診断法として加わっている. しかし脊髄は脊椎管という骨に囲まれた狭い部位の中に存在するため従来のX線 CT や超音波などでは検査が充分にあるいは容易には行えない部位であった. このため骨の影響を受けない MRI の登場はまさに画期的であったといえる. 脳も同様であり後頭蓋窩内や硬膜など骨に接する部位, 更には小さい骨構造内に位置する下垂体や聴神経などは通常のX線 CT 検査では診断の困難な領域として残されていた. MRI はこれらの領

Reprint requests to: Kouichirou OKAMOTO, Department of Radiology, Niigata University, School of Dentistry, Asahimachi-Dori 1, Niigata City, 951, JAPAN.

別刷請求先 〒951 新潟市学校町通り2番町5274 新潟大学歯学部歯科放射線科 岡本浩一郎

域の診断を可能としてくれるばかりではなく，任意の断面像が得られるなどその他の点でもX線 CT などでは得られない数多くの情報を提供してくれるようになった（図 1）．本論文ではこのような MRI のもつ特徴を挙げ，実際に MRI 検査を担当する放射線科医の立場から脳の MRI 診断に関し現時点での分析評価を試みた．MRI の非常な利点と考えられる項目には◎印を，利点には○印を，MRI の欠点と考えられる項目や今後の改善が強く望まれるものには●印を付してみた．また現時点では評価が困難と考えられる項目には？印をつけた．MRI の特徴のうち脳の診断のみに関わるようなものはないので総論的な項目もかなり含めてある．また MRI とは直接関係ないもので派生的に生じた項目も含めてあるが，これらの項目でも参考になれば幸いである．

MRI の特徴

MRI の特徴は**表 1** で示した通りであるが，磁気を利用した画像診断法であるということに尽き，全ての利点欠点はこれに起因する．

1） 電離放射線（X線）を用いず磁気を利用する

（A） 電離放射線を用いない

◎電離放射線を用いない検査の場合には放射線被曝の心配が無いという大きな利点がある：上述したように電離放射線を用いずかつ重要な画像診断法として現在超音波診断法があげられるが，胎児期や新生児—乳児期などを除き骨で囲まれた脳や脊髄は良い対象とはならない．MRI 以外では現在電離放射線を用いない脳の画像診断は無いと云ってよい．

表 1 MRI の特徴＝磁気を利用した画像

1）電離放射線（X線）を用いない
2）複数のパラメータ(T1,T2,Proton density)が利用できる
3）コントラスト分解能に優れている
4）任意の撮像面が得られる
5）造影剤を用いずに“流れ”の情報が画像化できる

（B） 磁気を利用して画像を得る

●磁場環境の中に患者を入れるため，心臓ペースメーカーや磁性体性の脳動脈瘤クリップなどを体内に有する患者では禁忌となる．また救急蘇生機器を必要とするような状況にある患者も対象とはなりにくい．

●歯冠物やシャントチューブコネクターなどの磁性体性のものが強いアーチファクトを生じる：X線 CT とは異なり撮像面の角度を変えたりして磁性体を撮像範囲から外したりしても避けることはできず，脳とは離れた部位のものでも磁場の乱れが強い場合には影響されてしまう．

●RF パスルによる大きな断続性の音がする：MRI は 4）で述べるように，中枢神経系の奇形診断などのように脳構造の詳細かつ立体的な観察を必要とする場合には最も有力な検査法であり小児が検査対象となることも比較的多い．小児などでは検査のために sedation を行って入眠状態にさせておいても，検査開始の際や各撮像毎に発せられる RF パルス音により覚醒してしまうことがあり予定の撮像方法による画像を得られないまま検査を中断しなければならないことがある．

◎X線 CT と似た非侵襲的検査である．

◎X線 CT とは異なった情報が得られる．

①骨，石灰化は無信号となる：◎骨に囲まれた狭い部分（後頭蓋窩，下垂体，内耳道などの神経管内など）や骨内（骨髄），骨に接する部位（硬膜付近など）でも骨に影響されることなく観察できるためX線 CT では充分検索できなかった部位でも評価可能となる．●骨，石灰化が無信号となってしまうため骨自体の微妙な変化や小さな骨化・石灰化は検出できず，空気と接する部位の骨（トルコ鞍底，副鼻腔の骨など）は描出困難となる．

②化学シフトが生ずる[4]：○化学シフトを利用して水画像，脂肪画像を別々に描出できる．●高磁場装置では化学シフトが大きくなるため脂肪によるアーチファクトが問題となってくる．○高磁場装置では chemical shift imaging が ^{1}H 以外の核種（^{31}P, ^{13}C, ^{23}Na, ^{19}F など）で得ることができ，代謝情報も得られる[5]．

③ MRI では緩和時間の差が画像に反映される[6]：◎コントラスト分解能が非常に良い→3）．◎周囲のプロトン緩和時間に影響を与える常磁性物質が造影剤として作用する[7]：現在既に Gd-DTPA が MRI 用造影剤として利用できる．

？磁気の人体に対する安全性：磁場の生体に対する影響は現在のところまだ十分には解明されておらず，勧告や一定の基準が設けられている[8][9]．

？ Gd-DTPA の安全性[10]：MRI 用造影剤である Gd-DTPA にはヨード成分が含まれていないためX線用造影剤で生じることのある（ヨード）過敏症に関しては問題とならないが，その他の成分に関しては他の薬剤と同様と考えられる．

●X線 CT のガントリーとは異なり，患者のはいる MRI のマグネットは狭く奥行きの深いトンネル様構造のため被検者に心理的圧迫感を与える：閉所恐怖症の患者の場合には検査を施行しえないことがある．また装置によってはマグネットの中がやや暗いこともあり高磁場 MRI 装置のようにマグネットが大型の場合，高齢者には MRI のマグネットが火葬場のカマを連想させることが多いなど今までの医療機器では経験されなかったことに対する配慮も必要である．

● MRI 設置条件には制約がある[3]：画質に直接影響を与える磁場の均一性を保つための電波シールド，漏洩磁場を防ぐための磁気シールドやある程度の空間などが必要となり，既存の建物や限られた場所に MRI 装置を設置する際には条件に制約がある．

●経済性の問題がある：MRI 装置の価格・維持費と，検査点数，検査可能件数などに問題がある．

●検査が増え，患者の負担が増える：MRI を行うことによりX線 CT などの他の検査が省略できれば良いのであるが現在のところX線 CT との対比が必要であったりと必ずしも従来の検査を省略することができないため，患者の負担が MRI 検査の分増えていることが多い．

2)　複数のパラメータ（T1・T2 緩和時間，プロトン密度）が利用できる[6]

血腫など，組成の変化により複雑な経時的変化を示す[11]：○ aging の情報が得られる

●単純には理解しにくい

検査時間が TR（繰り返し時間）・マトリックス数・加算回数などにより規定される：●現在最も汎用されているスピンエコー法では T2 強調画像を得ようとすると TR を充分長く設定しなければならず検査時間が必然的に長くなる．

組合せにより情報の細かい分析が可能となる：○X線 CT ではX線透過性で決まる density が唯一の情報であるが，MRI では T1・T2 緩和時間，プロトン密度の3つのパラメータが画像に反映され，各々の成分を強調した画像を得ることができる[6)12)]．またこれらのデータから各種パラメータの計算画像も作ることができる．●種々のパラメータを強調した画像を得ようとすれば TR を変えたパルス系列で撮像しなければならず検査時間はその分延長する．実際には撮像に先だって一定の条件のパルス系列を装置に設定するための時間や効率よく MR 信号を受診するためのチューニングが必要であり，撮像のためにパルスをかけている時間，更に撮像したデータを画像にするためにコンピュータが計算処理する時間など種々の時間がこれに加わる．これらを合わせると TR＝600msec での T1 強調画像を1方向得るためには2回の加算回数で約10分間，TR＝2500～3000msec に設定して T2 強調画像を1方向得ようとすると加算回数1回で約20分間を要する．●各パラメータを組み合わせてみても，組織特異性は十分高いとはいえない．

●撮像条件の規格化が困難：MR 信号強度は TR や TE のみならず装置のもつ静磁場によっても大きく異なるため，磁場強度の異なる装置では同様の TR や TE（エコー時間）を設定して撮像しても異なった画像が得られるなど，規格化が困難である．

3)　コントラスト分解能に優れている

（元来 1) 2) と直接関連している項目ではあるがここでは分けて取り上げた．）

◎存在診断に優れている：X線 CT では検出しえないような小さな病変や軽度の変化でも検出できることがある．また（high dose）delayed CT などの特殊な手技を用いなければ描出できなかった病変（たとえばある種の炎症性，脱髄性病変や海綿状血管腫など）[13]でも通常の MRI 検査で描出ができるようになった．●このためX線 CT を行っても更に MRI を施行してみないと病変の評価（病変の有無や病変の数など）が定められなくなった．もちろん全ての病変や異常が MRI で検出できるとは限らないのであるが……．

4)　任意の撮像面が得られる

◎立体的把握の容易化：脳の諸構造や病変の広がりなどが立体的に容易に把握でき，小児の中枢神経系の奇形診断や外科的アプローチの決定などに際し有用な情報を提供しうる（**図 1**）．

○検査の死角を減少させることが可能となる：X線 CT では死角となりやすい延髄脊髄移行部付近や頭頂部付近も，MRI で矢状面像や前額面像を撮影することにより検査部位に含めることができる．

●撮像方向を増やせば増やすほど検査時間は延長してゆく．例えば我々は下垂体関連疾患では T1 強調画像3方向，T2 強調画像1方向（主に冠状断）に加え Gd-DTPA を用いた造影後 T1 強調画像3方向を標準撮像法としているが，上述したように T1 強調画像1方向あたりに10分，T2 強調画像1方向あたり20分を要するのでこれに要する時間は約80分となる．これは患者が我慢できる限界と考えられる．

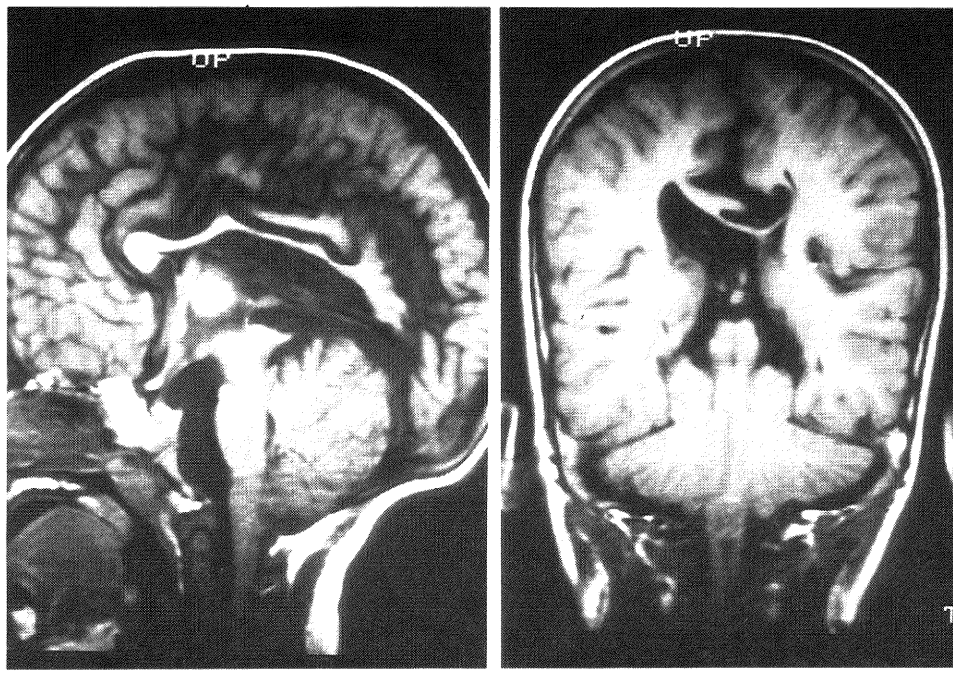


図 1　Chiari malformation（type Ⅱ）
正中矢状面像（左）：脳梁の形成異常とこれに伴う脳回，脳溝の放射状配列が polymicrogyria と共に認められる。開大した velum interpositum, tectal beaking, 斜台・後頭蓋窩の変形，第4脳室の変形なども良く観察される．
冠状面像（右）：大脳鎌の欠損とこれに伴う脳回の interdigitation が認められ，大脳縦裂は変形している．小脳テントは低位であり，小脳は上方への herniation を示している．Supracerebellar cistern の拡大も見られる．

5)　造影剤を用いずに“流れ”の情報が画像化できる

MRI は動きのあるものに対して非常に敏感である：○このことがある程度，血流の評価を可能としておりmm単位の血管も描出可能となっている．●しかし小さな動脈瘤などは必ずしも描出できるわけではなく，狭窄があった場合その程度によっては狭窄部位の血流が描出されないこともあり[14]，血流の定量的評価などと共に今後の課題として残されている．

● MRI は動きのあるものに対して非常に敏感であるために，動きを示すものがアーチファクトを生じてしまう[15]：頭部は胸腹部などとは異なり元来呼吸性移動の影響の少ない部位ではあるが，脳内には常に血流やCSFなど動きのあるものが存在し，血管の拍動などによる二次的な CSF の動きなども存在する．そしてこれらが様々なアーチファクトを作り出し，画像の解釈を複雑にしたり困難にしたりしている．

お わ り に

MRI は磁器を利用した画期的ともいえる画像診断法であるが，MRI のもつ5つの特徴を挙げて検査を担当する放射線科医の立場で各々の項目について現時点の評価をしてみた．磁気を利用するという点，従来のX線を用いた画像診断法では得られない有用な情報が得られるようになるなど多くの可能性が秘められている[16]．反面装置が大きく設置に際しても条件に制約があるなどの問題があり，実際に臨床に応用してみると検査時間が長い，多種のアーチファクトが生じるなど，MRI が最も（M: mottomo）利用価値の高い（R: riyou-kati no takai）医療機器（I: iryou-kiki）＝M.R.I. としての位置を確立するためには今後解決してゆかなければならない点もまだまだ残されている．これらの問題点が順次解決され更に新たな進歩が加わってゆくことにより，MRI は画

像診断には欠くことのできない most reliable instrument (M.R.I.) として更に多くの施設や病院で多用されるようになってゆくと考えられる.

参考文献

1) **有水 昇**: NMR 医学の沿革. 核磁気共鳴医学研究会篇, NMR 医学. p 1～6, 丸善, 東京, 1984.
2) **映像情報 MEDICAL 編集部**: 各種 MRI 装置のソフトウェア, ハードウェア例・各社の MRI 装置仕様一覧・NMR 装置設置病院一覧. 映像情報 MEDICAL, **19**: 89～142, 143～151 and 152～155, 1987.
3) **映像情報 MEDICAL 編集部**: MRI 導入の手引き・MRI 装置設置病院一覧・各社の MRI 装置仕様一覧. 映像情報 MEDICAL, **20**: 97～148, 154～158 and 159～168, 1988.
4) **石井正博, 助川和也, 斉藤雅伸, 佐藤 巌**: 磁場強度による診断能と高機能化への期待. 映像情報 MEDICAL, **20**(24): 52～53, 1988.
5) **朝倉哲彦, 笹平正廣, 内村公一**: Chemical shift imaging. 画像診断, **9**: 942～952, 1988.
6) **荒木 力**: MRI における信号強度—これから MRI を始める人のために—. 大沢忠, 多田信平編「臨床 MRI 入門」画像診断別冊6, 9～20, 秀潤社. 東京, 1989.
7) **中川英彦**: 核磁気共鳴法を用いた画像診断と造影剤の進歩. 日獨医報, **32**: 453～475, 1987.
8) **舘野之男**: 核磁気共鳴臨床映像法における被曝. 画像診断, **1**: 215～221, 1981.
9) **舘野之男**: 法規 (安全性). MRI 入門講座テキスト (第2版), 407～419, 日本磁気共鳴医学会講習会実行委員会編集, 1988.
10) **酉永こずえ, 中川英彦**: MRI 用造影剤ガドペンテト酸メグルミンの一般薬理作用Ⅳ. 補体系, α_2-Pl, 血液凝固系および肥満細胞からのヒスタミン遊離に及ぼす影響. 日獨医報, **32**: 581～587, 1987.
11) **Gomori, J.M., Grossman, R.I., Goldberg, H.I., Zimmerman, R.A. and Bilaniuk, L.T.**: Intracranial hematomas: Imaging by high-field MR. Radiology, **157**: 87～93, 1986.
12) **Villafana, T.**: Physics and instrumentation: CT and MRI. (In) Lee SH, Rao KCVG ed: Cranial computed tomography and MRI. 2nd ed. 1～69, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983.
13) **登木口進, 安藤和夫, 土屋俊明, 伊藤寿介**: Adrenoleukodystrophy (ADL) における high-dose delayed CT (HDD-CT) の応用. CT 研究, **7**: 165～168, 1985.
14) **大内敏宏**: MR Angiography. 画像診断, **9**: 918～926, 1989.
15) **吉川宏起**: MRI の artifact. 大澤忠, 多田信平編「臨床 MRI 入門」画像診断別冊6, 221～230, 秀潤社. 東京, 1989.
16) **滝沢 修**: Society Magnetic Resonance in Medicine (SMRM) のトピックス. 映像情報 MEDICAL, **20**: 89～92, 1988.