

資料

磁気共鳴映像法

飯 沼 武 (放射線医学総合研究所臨床研究部) 池 平 博 夫 (同)

要 旨

本論文は米国 NIH でよく行われる合意形成会議といわれるものの1つで、新しい診断手法として登場した磁気共鳴映像法 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) の臨床的有効性に関して専門家の合意を得るための会議の結論である。極めて重要な内容を含んでいるので、本誌の読者にも広く知って頂きたいと思い全訳した。

しかし、内容的には一部古くなっている所もあるので、筆者らの独断で注釈をつけた所もある。日本でもこの種の合意形成会議が開かれ、国の公式な意見として出されることが望ましい。

緒 言

核磁気共鳴映像法 (MRI) は多数の断面の解剖学的画像と組織特性に関する情報を提供する新しく、革新的な技術である。最初の核磁気共鳴像は 1973 年、Lauterbur によって発表された。その時以来、技術的な進歩とともに臨床的な調査研究の発展が装置の開発に伴っておこり、人間に適用され、病態生理の評価に潜在的な利益をもたらした。

核磁気共鳴像は患者または撮像したい身体部分を強力で、高度に均一な静磁場内に配置することによって得られる。この磁場内で患者体内の磁化された陽子 (水素の原子核) は小型の磁石のように整列する。一方、ラジオ周波数 (RF) パルスが加えられ、主磁場に垂直な方向に回転磁場を生ずる。原子核 (今の場合、陽子) はそれからエネルギーを吸収し、静磁場における整

列がくずれ、励起状態となる。原子核が励起状態から平衡状態にもどる際に、核磁化による信号が受信コイルに誘導され、それを処理することにより診断用の画像に作り上げる。異なる組織特性にもとづく画像がパルス RF 磁場の時系列を変えることによって得られ、組織の緩和特性が利用される。

核磁気共鳴像は X 線による画像とは異なる。X 線像は X 線エネルギーの吸収によって作られるが、MR 像は陽子密度と陽子の緩和機構によって作られる。MR 像は検査している組織によって変わり、その物理的および化学的性質を反映する。

MRI の安全性と有効性に関する問題を解決するために、Warren Grant Magnuson Clinical Center と NIH の Office of Medical Applications of Research は 1987 年 10 月 26, 27, 28 日の 3 日間、MRI に関する合意会議 (consensus conference) を開催した。この会議は以下の各

施設が共催した。NIH の Division of Reserach Resources, National Cancer Institute, National Hearo, Lung and Blood Insitute, Naional Institute on Aging, National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Stroke および Food and Drug Administration (FDA) と National Institute of Mental Health.

NIH における合意形成会議 (consensus development conference) は生物医学研究者、臨床研究者、実地医師、消費者および関心あるグループを一同に集めて、薬剤、装置、方法に関する技術の科学的評価を行い、安全性および有効性についての合意を求めるものである。

会合の最初の 1 日半の間に合意形成のパネリストおよび聴衆は以下の質問に対する証言を聞く。

- MRI には禁忌または危険があるか？
- MRI の技術的な利点や限界 (欠点) は何か？
- MRI の臨床適応は何か？他の診断法と比較してどうか？
- MRI の将来の研究にどのようなものがあるか？

パネルのメンバーには内科学、臨床免疫、外科学の代表、法律学者および病院管理者含まれていた。

招待講演者には物理学者、生物医学研究者、生殖学研究者 (reproductive scientists) および多くの領域にわたって MRI の深い経験をもつ放射線科医が含まれていた。

質問 1 : MRI には禁忌または危険 (risk) があるか？

MRI は FDA が認可した動作条件のもとで用いている限り、一般には安全である。危険は MRI

で使われている静磁場および変動磁場に主として関係してくる。これらの磁場は非常に高い曝露条件では生物学的な副作用をもたらし得るが、現在臨床レベルで使われている条件ではその作用は観測されていない。

最も重要だと考えられる危険は発射物効果 (projectile effect) といわれるものである。これは強磁性体の物体が磁石に強力に引きつけられることである。そのため、患者の体内に埋めこまれた強磁性体、例えば弾丸やペースメーカの電線が存在する場合には注意が必要である。MRI は心臓ペースメーカや動脈瘤のクリップをもつ患者には施行してはならない。

静磁場は心電図における T 波の上昇や磁気流体力学的効果 (magnetohydrodynamic flow effect) などの生物学的影響を生ずるが、これらは一過性のものである。これまでになされた短期間の研究では、2 テスラ以下の磁場では有害な効果はないようである。磁場にさらされている男性労働者による予備的な症例対象研究では曝露量と効果の関係を示す傾向は見いだし得なかったが、症例数が少なく、追跡期間も短いので確実な結論ではない。急速に変動する傾斜磁場は導電性の組織に電流を誘導する。最近の研究によると、2~7 テスラでは心機能や神経伝導に障害はおこらない。FDA が認可した曝露レベルは神経筋 (neuromuscular) 興奮をおこすレベルより小さく、安全面から十分な余裕があると信じられている。

組織内における加熱は RF コイルに流れる電流による抵抗損失の結果を生ずる。高磁場の映像装置は低磁場のものよりも温度上昇を生じ易いと考えられる。FDA が認可した吸収率では何の副作用も見つかっていないが、体温調節のできない患者や発熱中の (hyperpyrexia) 人では注

意が必要である。RFパルス系列は、とくに温かく湿度の多い環境のもとでは過剰な熱の蓄積がなされないよう修正すべきである。

幼児、生命維持装置を付けた患者、妊娠している患者のMRI検査には注意が必要である。何故なら、MRIに関連する磁場や電場が入間の発達に影響するという証拠はないけれども、インビトロの研究や理論的予測は胚芽期から出生までの発生の時期に、曝露が危険性をもつかも知れないという問題を提起している。従って、MRIも、全ての妊娠時の検査と同様に、初期の3ヶ月以内に用いられる場合は明確な医学的適応があり、他の検査法よりも明白な利益をもたらす時に限られるべきである。

質問2.

MRIの技術的利点と限界(欠点)は何か?

利点

MRIは他の画像診断装置とは異なる情報を提供する。主な技術的利点は組織の物理的および生化学的特性(水、鉄、脂肪、血管外血液とその変性血液を用いて、組織を識別できることにある。血流、脳脊髄液流および臓器の収縮(contraction)や弛緩(relaxation)は、それらが生理的であれ、病的であれ、MRIによって観察できる。カルシウムはスピネコー像では全く信号を出さないで、後頭蓋窩や脊柱のような骨に囲まれた組織を映像化でき、ビームハードニングによるアーチファクトが避けられる。MRIは患者を動かさずにどの方向にも等しい分解能の断面像を作る。多重断面像を得ることのできる能力はMRIの融通性と診断的有効性を増し、放射線治療や外科手術の計画に際し、とくに利点をもたらす。解剖学的構造の見事な描出はMRIのコントラスト分解能が本質的に高いレベルにあることに起因する。

常磁性体や超常磁性体(superparamagnetic)の造影剤は比較的毒性が低いようであり、米国

でも間もなく使用可能となるであろう。これらの造影剤は血液脳関門、細網内皮系や細胞外腔(extracellular space)などが正常かどうか(integrity)の評価に役立つであろう。

核磁気共鳴像の取得は電離放射線を必要としないし、ヨード系造影剤も不要である。患者の前処置もほとんど必要とせず無侵襲であるため、患者の許容度(patient acceptability)は高い。欠点

撮像時間が比較的遅いことから様々な生物学的(生理学的)な動きによるアーチファクトが生ずる。その動きには心臓、血管、脳脊髄液の拍動、呼吸性移動や消化管のぜん動(peristalsis)などが含まれる。最近の技術的進歩、例えば、シネMRI、表面コイルの改善、呼吸法、心電同期法および末梢脈波同期法(peripheral gating)、化学シフト映像法、高速撮像法(傾斜磁場エコー法)などが上記の動きによるアーチファクトを解決するであろう。感る患者、とくに激痛疾患の患者は静止することができず、動きによるアーチファクトがでる。患者の1人当たりの検査時間が他の診断装置に比して多くかかる。

磁石の口径が小さいため、或る患者は閉所恐怖症(claustrophobia)におそわれ、検査中に協力できなくなる。肥満の患者は小さい口径のため検査できない。

強力な静磁場が加わるため、生命維持装置の正常動作を妨げることがあり、磁石の口径が小さいため、重症患者の一部を検査することが困難であったり不可能であることがある。ベースメーカーや強磁性体の器具をつけている患者は検査できない。MRI装置は注意深い配置とシールドを必要とする。

カルシウムの存在が無信号となることは或る面では利点となるが、一方で、軟部組織や腫瘍の病的石灰化を検出する能力を制限するし、骨皮質(cortical bone)における病的変化はよく描出されない。他のパルス系列を用いると、こ

これらの病変のいくつかは描出可能となることがある。

現在、核磁気共鳴像を増強するための造影剤は米国では一般の使用が認可されていない。MRIの利用は他の画像診断法よりもっと深い技術的知識を必要とする。上記の要因はMRIの現時点での利用を制限している。

MRI装置は購入価格も高く、維持費や運搬費も高い。ハードウェア、ソフトウェアとも盛んに改良が進められている最中である。

質問3：MRIの臨床適応は何か？他の診断法との比較はどうか？

MRIは大規模に将来の事を考慮して慎重に計画され施行された研究というより、多くの場合個々の経験的な研究の積み重ねによって進歩しつつある技術である。ここで我々が行なったMRIと他の画像診断技術との比較評価は、必ずしも厳密なものではない。MRIに適応が有るのは侵襲的な診断法に頼っていた分野が中心であって、現在適応が考えられる領域でも今後さらに良い検査法が考察されるかもしれない。さらに他のコストの高い侵襲的な検査法が将来開発された時には、先ず臨床的諸問題、制度上の問題、評価の時期、専門的解釈及びその様な評価の為の財源等を考慮しなければならない。合意形成会議は上記の検討を行なうのに好都合な組織といえる。

MRIが競合する他の診断法と比べてどの様な適応が有るかと言う事が現在もっとも大事な点である。MRIによる診断情報がどの程度有効性が有るかを判定するための臨床研究では患者の管理や検査費用等に対するMRIの効果を直ちに判定することは出来ない。最後に本論文は臨床的評価であって、費用については全く考慮していない事を強調しておく。

池平註、本論文は1987年における考えであるので、現状に必ずしも合致しない点が見受けられる、ここではコスト面について言及されてい

るが、現在ではスルーットを考慮しても、MRIが他の診断法に比べて特にコストの高くつく検査法であるとは言えなくなっている。

1. 脳

1) 脳腫瘍

MRIは脳腫瘍検査にとって素晴らしい方法である、と言うのはコントラスト分解能が優れている事、簡単に多断層画像が出来る事とアーティファクトが少ない事等の点である。MRIとCTはおおざっぱに言って、大部分の脳腫瘍の検出能に差は無い、しかしCTで見られる様な骨のアーティファクトがMRIでは無いと言うことで、頭頂部、後頭蓋窩、中頭蓋窩の壁近傍、頭蓋底あるいは眼窩の診断に優れている。一方CTは造影剤を使えば硬膜腫(meningioma)の検出に優れている。MRIの利用価値も造影剤の応用が進めばさらに拡大するだろう。

a. 神経膠腫(glioma)と転移

テント上の神経膠腫と転移巣については、CT、MRIいずれでも捉えられる。また腫瘍による二次的影響、即ちヘルニア(herniation)、水頭症(hydrocephalus)、周囲組織への浸潤等はCTでもMRIでも良く捉えられるが、更に詳細な解剖学的情報はMRIの多断層画像が利用出来る。神経膠腫や転移巣の境界は浮腫によって分かりにくい事が多い。造影CTが現状では造影しないMRIよりも腫瘍と周囲の浮腫を区別するには優れている、またいずれにしても組織診断の確立には至っていない。石灰化の診断はCTが良い、造影CTはクモ膜下に浸潤する悪性腫瘍も良く描出出来る。MRIはテント下の腫瘍に対して絶対的に優れている。

b. 硬膜腫

CTでは造影下での特徴的な高いCT値と骨に沿った骨過形成が認められる。MRIでは腫瘍周囲組織への影響について、より多くの情報が得られる。

c. 聴神経腫瘍 (acoustic neuroma)

MRIはCTより小さい腫瘍の描出が出来る、しかも空気等の造影剤を必要としない、しかし大きい腫瘍についてはCTもMRIも良く描出出来る。

d. 下垂体腫瘍 (pituitary tumor)

MRIと造影CTはいずれも下垂体腫瘍の検出に有効である、しかしMRIは腫瘍の正確な進展範囲や隣接組織に対する影響をより良く把握出来る。MRIが登場した初期から、MRIはトルコ鞍内微小腫瘍検出に優れていると考えられていた、またMRIは多断層画像が撮れる事と骨のアーティファクトが無い事によって、トルコ鞍上の腫瘍の診断にも有効と考えられる。

e. 再検査 (reexamination)

MRIやCTを病巣検出に使用出来る事は、また経過観察にも適応が有ると言う事になる。

2) 非腫瘍性病変 (nonneoplastic disease)

MRIでは、正常脳組織の中で生じた水分含量やミエリン (myelin) の変化が異常な信号強度として捉えられる、したがってMRIは脳組織に影響を及ぼす様々な非腫瘍性病変に対する検出感度が良い。この点において多くの例でMRIはCTを凌駕している。

a. 虚血 (ischemia)

CTでは造影をしたとしても、また脳梗塞 (cerebral infarction) 発生後1日から2日たってもしばしば正常範囲か、わずかにあやしいくらいにしか捉えられない局所性脳梗塞巣が、MRIでは梗塞発生後わずか数時間で捉える事が出来る。一方亜急性もしくは慢性期の梗塞巣については、MRIとCTの有効性はほぼ等しいと言える。

b. 脳出血 (hemorrhage)

急性頭蓋内出血 (acute intracranial hemorrhage), 即ちクモ膜下出血 (subarachnoid hemorrhage), 脳実質内出血 (intraparenchymal hemorrhage) あるいは硬膜下出血 (subdural

hemorrhage)の初期、つまり発生後1日から2日では、MRIでは捉え難く、CTの方が信頼性が高い。10日から20日経過した亜急性期の血腫はMRIで比較的簡単に検出出来るので、CTの利用価値は小さい。この様にCTとMRIは出血巣の検出には、CTは急性期の病巣にMRIは亜急性期の病巣検出にという様に相補的な役割を持っている。単純CTは出血巣の確認の為に脳卒中 (stroke) の症例に対して先ず行なわれる検査である。

池平註、急性期の出血巣に対してもMRIの適応は高く、特に骨のアーティファクトが無い事などのために、頭蓋下の出血に対する適応が有る。

c. 動静脈奇形 (arteriovenous malformation)

MRIは血流に非常に敏感なので、時には血管撮影でも検出出来ない血管奇形の様なものに対しても、その検出や局在診断に有効である。しかし血管造影は症状のある血管奇形の治療前の検査としてやはり必要である。

3) 外傷 (trauma)

脳外傷に対してMRIは出血性挫傷 (hemorrhagic contusion) や裂傷 (shearing injury) を含めたあらゆる種類の頭蓋内出血の診断に有効である。しかし受傷後1日から3日の間の検査としてはCTの方が検査時間が短かく、早期では描出されやすいので、CTが優れている。

4) ミエリン形成障害 (disorders of myelination)

脱髄 (demyelination) や異ミエリン症 (dysmyelination) 等によって生じる疾病はMRIで容易に捉えられる、MRIは多発性硬化症 (MS, multiple sclerosis) の診断に最も感度の高い画像診断法として推奨されている、しかし明らかな臨床症状が認められない時には、MRIだけでは診断は出来ない。またMRIは放射線障害 (radiation injury) の診断についてもCTより優れている、ところが放射線あるいは化学療法後

の経過観察における障害と悪性頭蓋内腫瘍の再発の鑑別は、CTもMRIも困難である。

池平註、放射線治療やその他の治療によって生じた障害、あるいは腫瘍の再発の診断には、前者にはMRS, PETが、後者にはPETが現在の診断技術としては適応が考えられる。

5) 痴呆 (dementia)

痴呆の診断には臨床神経学的評価が必要である、また痴呆の程度評価にはMRIとCTいずれも治療の参考にしうる。MRIは多発性梗塞例で生じた痴呆の診断にはCTより多くの情報を提供するが、痴呆の無い高齢者について、MRIではしばしばT₂強調像で臨床的に症状を表わさない病変が高信号域として白質内に見られる事がある。

6) 感染症 (infection)

MRIはCTと同じように脳炎 (cerebritis) や膿瘍 (abscess) 形成が捉える事が出来る、炎症によって引き起こされる白質の浮腫 (edema) は簡単に見出されるので例えば単純性ヘルペス (herpes simplex) で生じる脳炎の際には治療の参考になることや多い。

2. 頭頸部 (head and neck)

頭頸部における腫瘍の局在診断や治療計画には、MRIがCTに比べて多断層画像や、組織鑑別診断あるいは歯等の骨のアーティファクトが無いなどによって優れている。MRIはまた血管とリンパ節の鑑別が可能であるし、眼窩内組織の描出にも優れている。

3. 脊椎 (spine)

脊椎の検査には表面コイルが有効である。

1) 腫瘍

MRIはミエログラフィー (myelography) よりも脊髄に関してただ境界が良く分かると言うより、直接非侵襲的に観察出来るという点において優れている。MRIは全脊髄の観察、実質性腫瘍と嚢胞 (cyst) の鑑別が容易に出来る。従ってミエログラフィーの適応は現在明らかに減少

して来ているし、将来は高画質MRIの登場によってすたれたものに成るだろう。この良い例が急性脊髄圧迫 (acute spinal cord compression) の局在診断に対する適応である。硬膜下髄外腫瘍 (intradural extramedullary tumor) の診断はMRI, ミエログラフィーとも良い適応である。

2) 脊髄空洞症 (syringomyelia)

MRIはCTとミエログラフィーなどよりも本疾患の診断には優れた適応が有ると考えられている。

3) 椎間板変性症 (degenerative disc disease)

MRIは頸椎、胸椎の椎間板ヘルニア (disc herniation) の診断に関してCTミエログラフィーに等しいがミエログラフィーより優れている。腰椎では、MRIはCTと同じか優れている、しかしミエログラフィーよりははるかに良い。脊椎管閉塞 (spinal stenosis) についてはCTと同じ程度の情報がえられ、ミエログラフィーより非侵襲的検査である。CTは椎体の過形成変性 (hypertrophic degenerative change) による、頸部の神経根症 (radiculopathy) の診断には有効である。

池平註、MRIは縦断像による診断価値は高いが、横断像についてはCTと同じかCTの方が優れているように思われる。

4) 外傷 (trauma)

患者の状態によっては、MRIは椎体と椎間板、脊髄、神経根との関係の描出に優れている。脊椎の安定性とファセット関節 (articular facets) の状態については、CTや従来のX線診断に及ばない。

5) 先天性疾患 (congenital disorders)

先天的な脊椎癒合不全 (spinal dysraphism) に伴う脊髄の異常はMRIによる検索が有効である。

6) 感染症

MRI及び核医学検査が初期の骨髄炎 (osteomyelitis) の診断には感度が高い。

MRIやCTはいずれも脊椎の解剖学的変化を正確に表現し得るので、臨床医師にとって有用である、特に患者の訴えに対応した変化や、治療効果の観察に有効である。

4. 心血管系 (cardiovascular system)

MRIは血流の信号を捉える事が出来るので、心臓、大血管の診断に好都合である。従って心室、心房あるいは大血管の内腔の観察に造影剤を必要としない、また心機能評価には心電同期MRIによるシネMRIが必要である。

1) 虚血性心疾患 (ischemic heart disease)

現段階ではMRIは虚血性心疾患に対して応用の限界が有る、冠状動脈 (coronary artery) の診断に対して、冠状動脈造影 (coronary arteriography) のかわりに使用出来ない、しかし梗塞巣の輪郭と隣接する健常心筋の描出には有効である。造影剤を使用する事によって、急性期の虚血巣を描出出来る事もある。心電同期MRIによって、陳旧性梗塞巣 (previous infarction) の瘢痕組織 (scarring)、心室瘤 (ventricular aneurysm) あるいは心腔内血栓 (chamber thrombi) を描出出来る。

2) 心筋症 (cardiomyopathy)

心電同期MRIは心外膜 (epicardium)、心内膜 (endocardium) の描出が出来るので、心室壁および心室中隔の厚さ (mural and septal thickness)、心室容量 (ventricular volume) あるいはその動きなどの評価が出来る。二次元エコーカルディオグラフィと核医学によってもMRIと同じような情報を得る事が出来る。

3) 心弁膜疾患 (valvular heart disease)

最近開発されたシネMRIは心臓の早い動きの観察を可能にし、従って心室の動きや弁逆流の重症度を評価することを可能にした。二次元ドップラー超音波映像法あるいはその他の非侵襲的検査法とシネMRIとの相対的位置づけはこれからの課題である。

池平註、心疾患に対して、シネMRIは空間分

解能、再現性と流れの情報を捉えられる等の点において超音波よりすぐれていると考えられる。

4) 心嚢疾患 (pericardial disease)

心電同期MRIは心嚢疾患に有効である、しかし超音波診断法も費用が安い事、持ち運びやすい事またその有用性などの点においてなお有用である。

5) 心内心外腫瘍 (intracardiac and paracardiac masses)

MRIは心嚢、心腔、壁、縦隔内大血管を描出出来る、心内外の腫瘍検索にはCTより優れていると思われる、ただし超音波検査は心内腫瘍のスクリーニング診断にはまだ利用価値が有る。

6) 先天性心疾患 (congenital heart disease)

MRIは心腔、大血管や血流パターンを描出出来るので、先天性心疾患の診断には役立つ検査法である。MRIは時間のかかる検査法なので、心電同期MRIあるいはシネMRIは検査時間の適正化を行なうことが重要である。心電同期MRIでは、多くの心腔あるいは大血管などの奇形の診断を下すことが出来る、即ち大血管転移 (transposition) や肺動脈閉塞 (pulmonary atresia) などである。二次元パルスドップラー超音波映像法は、最初のスクリーニング手段として心血管系の形態診断のみならず、血圧や血流の情報を与えてくれるので重要である。

7) 大動脈 (aorta)

CTは大動脈解離 (aortic dissection) においてスクリーニングに用いられるが、外科的には血管造影によって形態所見が必要とされる。MRIは大動脈起始部 (aortic root) の描出が出来、壁内出血 (intramural hemorrhage)、壁解離 (wall separation) 及び壁内のフラップ (intimal flap) などの描出も可能である、確かにある種の症例のスクリーニングには有効であるが、将来血管造影が必要でなくなるかどうか確定していない。胸部、腹部大動脈における解離 (dissection) と動脈瘤 (aneurysm) の鑑別は可能である。と

ところでCTは大動脈の大きさや、動脈瘤の大きさまた動脈瘤出血などを良く捉えるが、MRIもほぼ同程度の感度と考えられる。

5. 胸郭 (thorax)

1) 気管支由来の癌の病期診断 (staging of bronchogenic carcinoma)

MRIは縦隔腺症 (mediastinal adenopathy) の診断においてはCTは同様である、今のところ結節の大きさの分類についてはCTの判定基準が使用されている。MRIは非造影CTよりすぐれている、しかしCTは肺や腹部の検査の一部として縦隔や上腹部の評価が出来る、今のところ気管支由来の癌の病期診断に応用されている。

2) 縦隔腫瘍 (mediastinal masses) の評価

MRIはCTでは評価が困難な縦隔腫瘍と大血管との関係の解剖学的評価に、多断層画像を撮ることが出来るということですすぐれている。

3) 肺実質 (parenchyma) 及び肺門部 (hilum) の評価

CTはMRIに比べ、孤立性の肺結節 (pulmonary nodule) の良性かどうかの診断に優れているので、肺結節の診断に利用される。しかし、MRIは血流を画像化出来るので非造影CTに比べて実質あるいは肺門部腫瘍 (hilar or parenchymal mass) が実質性か血管性 (solid or vascular) かの鑑別には有効である。

6. 肝臓 (liver)

MRIは転移性肝腫瘍 (metastases) の検出に関しては造影CTとほぼ同様であるが、MRIではヨード系造影剤などを使用し無くても良い可能性があり、嚢胞と血管腫 (hemangioma) という二大良性疾患についてはMRIのほうがよりその特徴を表現出来る。

7. 膵臓と脾臓 (pancreas and spleen)

膵臓と脾臓の病変についてはCTの方がMRIより優れている。

池平註、現在ではすでに石灰化病変以外につ

いては、MRIとCTの間の診断能の差はほとんど無いと思われる。

8. 腎臓 (kidney)

1) 腎臓腫瘍 (りゅう) (renal mass)

腎臓の腫瘍 (りゅう) 性病変の診断はMRI、CTともほぼ同様である、たとえば嚢胞や血管脂肪腫 (angiomyolipoma) などはCTで良く分かり、複雑な嚢胞とか出血を伴っていてもCTで捉えられる。良性腫瘍も捉えられるが、良性悪性の鑑別は困難である。

悪性腫瘍の検出と病期判定はCTで行なわれるが、MRIでは石灰化や小さい腫瘍の検出が出来ないという弱点がある、しかしMRIは血管浸潤の検出には優れている。

この様にMRIは、CTではつきりしない病変やヨード造影剤禁忌の症例に対して施行されるようになるかも知れない。

2) 移植腎 (renal transplant)

MRIでは正常腎の皮質髄質 (corticomedullary) の境界の描出が可能である、皮髄の境界が不明瞭に成ることが移植腎の拒否反応を示していると考えられる。MRIは有用であるが、超音波の方が感受性と特異性が高い。

9. 副腎 (adrenal gland)

MRIはCTと同じように空間分解能が良いので、正常のみならず以下のような疾患に有効である、過形成 (hyperplasia)、腺腫 (hyperplasia)、腺腫 (adenoma)、アルドステロン分泌腫瘍 (aldosteronoma)、褐色細胞腫 (pheochromocytoma)、原発性癌 (primary carcinoma)、転移腫瘍などである。褐色細胞腫はMRIで特徴的に描出され、造影剤に過敏症の有る患者には有効であろう、しかしその他の病変については明らかな特異性は無い。

10. 女性骨盤 (female pelvis)

婦人科領域の診断へのMRIの応用は初期診断として行なわれるが、三次元的に解剖所見を描出出来る事から腫瘍の病期診断や治療計画に

利用出来る可能性がある,しかしMRIはスクリーニング手段にならないし,組織診断の特異性も無い。

危険因子が大きい産科学的なMRIの応用には,さらに研究が必要である。

1) 子宮内膜癌 (carcinoma of endometrium)

MRIは臨床所見やCTなどと比較して,病期決定に有効と考えられる。治療方針は,腫瘍の大きさ,場所,筋層への浸潤 (myometrial invasion) などにより決定されるが,これらはいずれもMRIで良く描出される。

2) 子宮頸癌 (cercinoma of the cervix)

MRIは頸癌自体を良く描出し,その腫瘍体積の測定が可能で隣接臓器への浸潤をはっきりと描出出来るために,その病期決定に利用出来る。ある種の病期決定には有効であるが,リンパ節転移の診断はCTに及ばない。

子宮内膜癌と頸癌いずれについても,MRIが骨盤腔内の随伴所見を捉える事が出来る事がその有効性に加えられる。

11. 男性骨盤 (male pelvis)

1) 前立腺 (prostate)

前立腺の良性腫瘍と癌との鑑別が困難であるにもかかわらず,MRIは前立腺のカプセル外への癌の浸潤の診断が可能でこの点においてCTとほぼ同じ有効性であろう。局所リンパ節への転移はCTとMRIは同程度に評価されている。

2) 膀胱 (bladder)

膀胱癌の病期診断にはMRIは粘膜浸潤 (mucosal lesion) と表層筋層への浸潤 (superficial muscular invasion) の鑑別は出来ないが,深部筋層 (deep muscle layer) や周囲の脂肪組織,隣接臓器,リンパ節への浸潤の有る場合の病期診断には効果的である。MRIとCTのプロスペクティブな比較検討がそれほど為されているわけでは無いが,腫瘍の病期診断に関してはMRIがCTと同じくらい精度が高いように思われる。

3) 陰囊 (scrotum)

陰囊においては,MRIは睾丸内病変を睾丸外病変から区別出来るが,特に痛みの有る症例のほかは,超音波診断と比べて診断能が良いとは言い難い。

4) 直腸 (rectum)

直腸腫瘍の病期診断と直腸壁の線維化部位からの再発の鑑別に関する有効性の判断にはさらに検討を要する。

12. 骨格筋 (musculoskeletal system)

表面コイルが大部分の骨格筋の検査に必要である。

13. 関節 (joint)

MRIでは隣接する筋肉や腱と同じく関節軟骨が描出出来る,MRIは非侵的検査法なので関節造影や関節鏡などより膝の検査には望ましいかもしれない。顎関節の検査にも同じく有効であろう。その他の関節の検査についての有効性はさらに検討を要する。

14. 骨髓腔 (marrow space)

MRIは原発性腫瘍や感染によって生じた骨髓腔の変化を捉える事が出来る,さらに骨原発の腫瘍の局所進展の病期診断もRIで可能である。転移性骨腫瘍は明らかにRIよりMRIの方が感度良く描出出来る。

15. 骨の無菌性壊死 (aseptic necrosis bone)

MRIは初期変化の検出に関してRIより優れた描出能を有する,これまでの結果ではCTよりMRIの方が優れているようである。

16. 軟部組織腫瘍 (soft tissue tumor)

MRIは悪性軟部組織腫瘍の筋肉,神経あるいは血管への浸潤や取り込み (entrapment) などに関して重要な情報を与える。手術後の基本的なMRI検査は術後に生じる再発の評価を行なう際の参考にし得る。

17. 外傷

MRIは非常に軟部組織のコントラスト分解能が良いので,筋肉や靭帯の断裂や血腫を良好に

描出する、従ってこの事はこのような病変の経過進展の観察に有用であろう。

18. MRI の造影剤

MRI 造影剤は現在研究所や臨床での研究段階にある、これらの薬剤は組織が本来持っている磁場に対する反応性を変化させる事によって病変部の検出感度を上げあるいはその性状診断を可能にする。

造影剤は次の 2 種類に分類される

常磁性体 (paramagnetic material) 造影剤はヨード系造影剤に類似した特性を持っており、超常磁性体 (superparamagnetic material) 造影剤はさらに広い範囲に影響力を持っている。Gd-DTPA はヨード系造影剤より安全性が高いようである。静注された Gd-DTPA は脳血液関門の障害部位を T₁強調像で描出し、その画像によって腫瘍や膿瘍あるいは梗塞の領域をおおよそ表示出来る。脳外の領域について MRI の造影剤の利用は、炎症やその他外傷あるいは腫瘍の進展によって血流の変化が生じている領域の診断への応用が考えられる。

池平註、MRI 用の造影剤は Gd-DTPA はマグネシオの商品名で臨床に使用されており、中枢神経系では脳血液関門が有るために健常部が造影されず病変部の描出が良好で臨床的に有用である。脳以外の領域に関しても周囲の組織も病変部とともに造影される事を理解しておれば、臨床的に有効に利用出来ると考えられる。

質問 4 : MRI の今後の研究動向について ?

患者管理における MRI の役割りを明確にする必要がある。MRI は現存している診断手法のうち何を置き換えられるか？どの手法と相補的なのか？例えば、CT、超音波や血管撮影の必要性が減るか？得られる情報によって診断、病期診断(staging)、治療および予後などが変わり得るか？これらの質問に対する解答はよく計画され、実行された実験的研究によってのみなされ、現

存する診断法と MRI の臨床的有効度が比較されねばならない。

ポジトロン断層法 (PET) は代謝過程の映像化を可能とする。MRI は PH、血流、血液量、酸素やぶどう糖の代謝などに関連して、PET と類似の機能をどの位満たせるか？同じように、PET は神経伝達物質 (neurotransmitter) やその受容体 (receptor) の研究に用いられているが、MRI が同じ目的で中枢神経系のみならず、他の臓器の膜受容体 (membrane receptor) に応用可能か？

画像診断には検出 (detection)、局在 (localization)、組織特性 (tissue characterization) の 3 つの局面がある。MRI は 3 つの全てに有効であることが示されているが、とくに組織特性に有望である。MRI の将来の可能性は³¹P や²³Na などのプロトン以外の映像化にある。映像化と局所的インビボ分光法 (localized in vivo spectroscopy) の組み合わせは或る特定の臓器や病変の代謝に関する基本的な情報を与えるであろう。例をあげれば、P の代謝産物の濃度が心筋や腫瘍の酸化の状態の反映として測定され得るのである。インビトロ分光法 (in vitro spectroscopy) は間質液 (tissue fluid)、病理組織および培養細胞 (culture cell) などの様々な生物学的材料を調べる方法として使われる。

血管系への MRI の応用の可能性をもっと追求することが要求される。これは末梢静脈疾患 (peripheral venous disease) を非侵襲的に評価する手段として有望であるように思われる。

MRI 装置は相当に進歩したけれども、ハードウェアおよびソフトウェアともっと進歩させるチャンスがありそうである。MRI の技術的改善には次のような事項が考えられる。磁石のエネルギーの適切な選択、使用時の磁場強度の最適化、高率のよい表面コイルの製作、新しいパルス系列の評価、計算機ソフトウェアの開発などである。これらは MRI から得られるデータの

より豊かな利用につながる。

Gd-DTPA は MRI の造影剤として有望である。それ以外の造影剤についても活発な探求や評価がなされるべきである。常磁性物質で標識された薬剤や単クローン抗体は解剖学的、生理的および薬理的な情報を得るのに新しい機会を提供する。例えば、受容体の局在の異常が定性的にも定量的にも生ずると発生する疾患があり、これらの疾患は上記の造影剤を用いて研究される。

MRI は安全な映像法であるようである。しかし、組織の局所的加熱のような 2 次的作用の調査は今後も継続して行われねばならない。このような研究は磁場強度がより大きくなり、高速映像法がより広く用いられるようになる程必要である。磁場の潜在的な身体および遺伝影響の長期にわたる研究が望まれる。これは患者に対してのみならず、職業的に曝露される人に対しても必要である。

結 論

MRI は身体の多数の異なる断面の像を提供する革新的技術であり、我々の診断手法に極めて重要な附加となった。生成される画像は検査しようとする組織によって変化し、組織の物理・化学的性質を反映する。MRI は無侵襲で、臨床応用の範囲で比較的無害のようであり、電離放射線を用いていない。

いまだ、使用が開始されて期間が短いにも係わらず、MRI は中枢神経系、骨筋肉系および血管系の疾患の検出、局在、範囲や性状の評価に極めて有用であることがわかった。例えば、脳においては或る種の腫瘍や多発性硬化症 (multiple sclerosis) のプラーク (plaque) を描出するのに他の診断法では不可能な明確な能力があることが証明された。他の臓器の検査では MRI は競合する方法である。MRI が有望そうだが、正

確な役割りが決まっていない領域では今後、MRI と他の診断法とを比較するための prospective study (前向き研究) が絶対に必要である。この合意形成会議は小児患者への MRI の応用に関することは一切含まれていない。このことは別の考慮が必要である。

MRI は造影剤なしでも使用できるが、それが生む情報は近く導入される造影剤によって更に強化されるであろう。

MRI の全ての潜在的可能性は探求されていない。装置、造影剤、ソフトウェアの継続的な改善が期待される。より高い磁場強度と高速映像法が研究されると同時に、磁場の長期にわたる生体影響に関する一層の調査研究が必要である。

合意形成パネルのメンバー Members of the Consensus Development Panel were:

Herbert L. Abrams, M.D., M.A.
Panel and Conference Chairperson
Professor of Radiology
Stanford University School of Medicine
Philip H. Cook Professor of Radiology, Emeritus
Harvard Medical School
Clinical Professor of Radiology
University of California School of Medicine
at San Francisco
Stanford University School of Medicine
Stanford, California

Alfred S. Berne, M.D.
Director
Department of Medical Imaging
Crouse Irving Memorial Hospital