

## 「21世紀の診断と治療に関わる画像技術，次の10年の進歩は？」

### MRIについて

宮地 利明

金沢大学医薬保健研究域保健学系

#### 1. はじめに

磁気共鳴画像 (MRI: magnetic resonance imaging) 技術の進歩は，他の画像技術同様に常に一定の傾きで右肩上がりではなくプラトーとブレイクスルーの繰り返しであった。おそらく今後も同様であろう。ここでは装置と撮像・データ解析技術に関して，21世紀に入ってから10年後の現在までを振り返りながら今後10年の進歩について占うことにする。そして，最後に研究成果の最高榮譽の一つであるノーベル賞とMRIについて述べる。

#### 2. 装置関連

##### 2.1 静磁場強度

MRIのハードウェアにおいてこの10年間で大きく変わったのは，やはり静磁場強度であろう。10年前には3テスラの臨床用MRIは超高磁場と呼ばれて僅か数台であったが，どんどん増加して，4年前の時点ですでに日本に3テスラMRIが80台以上設置されていた。現在にいたっては，3テスラMRI装置はそれほど珍しくなくなり，最近演題の中に「3T-MRI」と付け加えることも減ってきた。さらに，2010年のIECの新規格では，静磁場強度の上限値が通常操作モードで2Tから3Tに改訂された。そういった意味で現在3テスラMRIは完全に市民権を得たといってよい。さらに，7テスラの装置も確実に増加している。

静磁場強度に関して今後の10年を予想すると，3テスラ以上の高磁場強度のMRIが普及していくのは間違いのないが，20年前の中低磁場から1.5テスラへの移行時と同様に，大部分が3テスラ以上の装置に置き換わることはない。と断言する。3テスラの装置だからこそ実現できた技術は幾つかあるが，それとは別に3テスラでなくても信号送受信システムや傾斜磁場コイルなど，他のハードウェアが確実に進歩して画質は向上していく。その状況下で，経済性や装置管理を含めると全医療施設において3テスラ以上の装置を設置する必然性を満たさないからである。余談であるが，理論的には地磁場でもMR信号は得られる。したがって究極のMRIは超低磁場装置かもしれない。

##### 2.2 RF送受信系

この10年間で目に見えない部分でCPUを含めてMRI装置の電子機器の性能は格段に向上してきたが，最も印象的なのは後述するparallel MRIの実用化に伴ってアレイコイルがより多チャンネル化したことであろう。また，3テスラのMRI装置の普及に伴って，しばしば問題になるRFの不均一性を根本から改善するMulti Transmitが最近注目されている。Multi Transmitとは，複数のRFの振幅，位相などを患者ごとに最適に調整し，大幅に信号ムラを改善する技術である。併せてMulti Transmitは，局所SARを低減できるため，SARの制限のために撮像できなかった

シーケンスが使用可能になる。これからどんどん普及するであろう。さらに，もっと高い磁場で有効となる画期的なRF励起技術 (travelling-wave NMR) をチューリッヒ工科大のPruessmann博士のグループが開発したが (Nature, 2008年)，今後7テスラ以上のMRI装置において実用化されて行くであろう。

#### 3. 撮像・データ解析技術

##### 3.1 高速イメージング

まず高速イメージングについて考えると，ここ10年で最も普及したブレイクスルーの技術は，前述のPruessmann博士が開発したSENSEに象徴されるparallel imagingである。これはマルチレシーバーを有するアレイコイル中の各コイルデータを利用し位相エンコード数を削減することで，撮像時間を高速化する手法である。基本的にどのパルスシーケンスにも適用できる。そのため汎用性が極めて高く，色々な手法と組み合わせて利用されている。また，parallel imagingはEPI系列の画像のぼけおよび歪みを改善するので，diffusion MRIの画質改善にも大きく寄与している。今後の10年においてparallel imagingを凌駕するブレイクスルーの高速イメージング技術が出てくる可能性は少なく，しばらくはparallel imagingを突き詰めることになりそうだ。もちろんこのparallel imagingの進化は，アレイコイルの技術的進歩をなしにしては成り立たない。

##### 3.2 MRアンギオグラフィと血流解析手法

MRアンギオグラフィにおいては，非造影の手法がこの10年で飛躍的に進歩した。特に完全に定常状態を実現してデータ収集する手法は，造影剤を使用しないで極めて明瞭に血管を描出できるので広く普及した。今後はさらに血管の描出能力が向上すると同時に，取得した血管データを使用して，装置本体やワークステーションに装備された数値流体力学的解析プログラムによって，各種治療のシミュレーションを行うことが普及していくかもしれない。

一方，脳の血流解析手法においては，現在でも造影剤を注入しながらデータ収集を行うdynamic susceptibility contrast enhanced MRI (DSC-MRI)は，解析法も含めてこの10年で十分成熟した。現在もDSC-MRIは主流であるが，ここ1年で造影剤を注入しないarterial spin labelingの画質と解析精度が格段に向上して，5分以内で脳全体の局所脳血流量を定量解析できるようになっている。ただし，現段階では高いSNRを有する3テスラMRI装置の使用が不可欠である。今後の10年で完全非侵襲的なこの手法が臨床の場に広まっていくのは間違いなく，いずれDSC-MRIに置き換わるかもしれない。

##### 3.3 その他

沢山の撮像技術が過去に生まれては消えていったが，上記以外のイメージング手法で最初に頭に浮かぶのは，ここ

10年でdiffusion MRIが普通に急性期脳梗塞、腫瘍性病変の診断などに使用されるようになったことである。さらに、神経線維や軸索による水分子の拡散異方性をテンソル解析して、神経路を描出することも行われるようになってきた。これには、上述の高速イメージング撮像法の開発に加えて、短時間で非常に強い拡散傾斜磁場を加えられるようにハードウェアが格段に進歩したこと、画像解析プログラムが一般化したことが大きい。これからの10年でさらにdiffusion MRIは、撮像法と解析法ともに進歩して技術開発の中心的な位置付けにあることは間違いない。手前味噌ながらその中にわれわれが開発した揺動MRIも加わっていることを願う。

一方、歴史のフィルタの当落線上にあるのが磁化率強調画像である。撮像手法や臨床適用範囲を色々検討されているが、今後の10年で生き残るか否かは、磁化率強調画像が決定的な臨床有用性を持つかどうかによって決まるであろう。また、Muthupillai博士が開発した組織弾性の可視化手法であるMR elastography (Science, 1995年)は、長い間臨床有用性に懐疑的な意見が多かったが、肝組織の繊維化を正確に評価可能であることを実証されてから、にわかに注目されて商品化されている。今後どのように普及していくか注目したい。

MRスペクトロスコーピーにおいては、さまざまなデータ収集・解析手法が開発されて、 $^1\text{H}$ 、 $^{31}\text{P}$ 以外の核種やGABAなど新たな代謝物質の取得や、脳以外の部位の臨床実用化などが試みられてきた。またMRスペクトロスコーピーの画像化技術(CSI)も進歩して短時間で施行できるようになった。さらに脳賦活を行いながら乳酸などの代謝物を局所的に測定できるfCSIも可能になってきた。しかし、MRスペクトロスコーピーが今後の10年で臨床の場で広く使用されるようになるかというとなかなか難しい気がする。

### 3.4 分解能

MRIの空間分解能に注目すると、読み取り方向のマトリクス数はこの10年で2倍近くになっているが、位相エンコード方向はそれほど向上していない。今後の10年においても、分解能の向上は信号雑音比の大幅な低下を伴うので、マトリクス数の増加はなかなか難しいであろう。むしろ、分解能を飛躍的に向上させるためには、別の視点からの技術革新が必要であろう。その候補の一つが、Q-space解析でありミクロン単位の構造解析が可能であるが、90年に開発された手法にもかかわらず未だに臨床でほとんど

利用されていない。もう一つの手法は、Gleich博士が開発した磁気粒子の非線形応答を利用した撮像法で(Nature, 2005年)、装置そのものがまったく新しい。今後この装置が進化して分解能がどこまで向上するか大変興味深い、臨床実用にはまだまだ時間がかかりそうだ。

## 4. ノーベル賞とMRI

以上、MRIの技術に関して21世紀に入って現在までの10年を振り返りながら今後の10年を占った。

この10年間でMRIに関係する研究でノーベル賞を受賞した科学者は3人いる(ちなみにMRI関連の研究で計7名がノーベル賞を受賞)。1人はKurt Wuthrich博士(チューリッヒ工科大学)で、2002年に田中耕一氏(島津製作所)とともにノーベル化学賞を「多次元核磁気共鳴(NMR: nuclear magnetic resonance)によるタンパク質の構造解析の研究」で受賞した。残りはPeter Mansfield博士(ノッティンガム大学)と故Paul C. Lauterbur博士(イリノイ大学)で、2人とも2003年にノーベル医学生理学賞を受賞し、「NMR信号の画像化の研究(まさしくMRIそのもの)」に対して受賞しており、MRIが実際に臨床で大変役立っていることが受賞の大きな根拠になっていることは明らかである。彼ら3人は受賞の時から20~30年前の研究成果を評価されてノーベル賞を受賞した。さらにもう少しだけ時代をさかのぼってみると、1990年代にはRichard R. Ernst(チューリッヒ工科大学)がその20数年前の「フーリエ変換NMRの研究」でノーベル化学賞を受賞している。これらの傾向を現在に当てはめると、今後10年以内に20~30年前の研究成果で1人はノーベル賞を受賞することになる。そう言った意味で約20年前に小川誠二博士はfMRIの手法を生み出したが、近いうちに受賞する可能性は高い。事実、極めて有力なノーベル賞候補者として昨年も挙がっていた。もしかしたら、この原稿が掲載されるころに受賞の吉報があるかもしれない。またこれ以外にも気付いていないだけで、ここ10年に開発されたMRIに関係する技術の中には、10~20年後にはノーベル賞を受賞するものがあるかもしれない。

このように常にホットであり続ける領域において、今後MRIの技術がどうなっているか楽しみである。良い意味で予想を大きく上回る革新的技術が沢山生まれていることを心から祈念するしだいである。