

Step up MRI 2015

— 臨床応用のためのMRI技術の現在と未来 —

企画協力：黒田 輝

東海大学大学院工学研究科情報理工学専攻教授 /
千葉大学フロンティア医工学センター特別研究教授

I 総論

Step up
MRI
2015

臨床応用のためのMRI技術の 現在と未来

黒田 輝 東海大学大学院工学研究科情報理工学専攻 /
千葉大学フロンティア医工学センター

ハードウェアの高磁場化・多チャネル化とともに、撮像の高速化・多様化といった技術開発が進み、それらが実機に搭載され、臨床利用が広がっていくという流れの中で、それらの技術の本質的な問題点が置き去りにされていくことがある。あるいは、逆に本質的な利点が忘れられたまま、臨床の中で技術交代が進むこともある。臨床系読者の多い本誌に、筆者のような基礎系の者が果たす役割があるとすれば、急速に進化するMRI技術を基礎学問に照らし合わせて、本質的に重要な点を顕在化させること、ならびに、そのことによってより有効にMRIを使っていた

多くヒントを提供することだと考えた。そこで、「臨床応用のためのMRI技術の現在と未来」をテーマとし、自身の無知浅学は顧みず、たくさんのすばらしい先生方にご協力を仰ぎ、注目すべきトピックスをまとめさせていただいた。

注目したいトピックス

1. 臨床応用のための撮像技術

1) 拡散MRIにおける統計学的モデル
拡散MRIは、虚血性脳疾患や脳・体幹部における腫瘍の診断で必要不可欠

な技術となっているが、組織における水分子の拡散そのもののメカニズムやそれを反映した画像のコントラストのメカニズムには、いまだ不明な点が多い。自由拡散に対して、細胞膜や高分子といった拡散の障壁がある場合は、制限拡散と呼ばれる。病変検出を臨床安定して行うためには、この制限拡散をモデル化することが重要となる。

2) fMRIの検出原理と脳機能解釈

fMRIでは現在、脳活動に由来する血液酸素飽和度の変化をT2*強調画像の変化としてとらえるblood oxygenation level dependent (BOLD)法が主として用いら

れている。本法では神経活動を間接的にとらえるため、観測される「脳機能」のうち、検出原理に依存した部分とそうでない部分を分離・解釈する必要がある。

3) パラレルイメージングにおけるノイズ

パラレルイメージングとして代表的に使われているのはSENSE (sensitivity encoding) であるが、この方法では各コイルの受信信号に付随するノイズが相関する。すなわち、各コイルの空間的な感度領域は独立ではなく、それに伴って各コイルチャンネルにおけるノイズも独立ではなくなるため、ノイズの空間分布の指標である geometry factor (g-factor) が、k空間の間引き割合の逆数に当たる reduction factor とともにSNRを決定する。臨床利用においてはこのメカニズムを知っておく必要がある。

4) 7T MRI装置の現状と将来展望

3Tを超える高磁場の臨床上的必要性と期待値ならびに安全性の問題は、MRIの今後の動向を探る上で避けては通れない。すでに7T装置がFDAに申請されており、臨床機として現れる日がそう遠くない状況にある。研究目的ではすでに多くの施設で使われ、高精細な脳画像が得られている一方、組織の比誘電率が支配要因となって決まる短い波長(12cm程度)に起因するB1+の不均一性や、安全性には課題が残っている。

5) Synthetic MRIとMR fingerprinting

あるコントラスト(T1強調, T2強調など)を目標として、あらかじめTR, TE, フリップ角などの撮像パラメータを決めて撮像を行う従来のMRIとは違い、ランダムに、あるいは何らかの規則に沿って撮像パラメータを変化させて一連の画像を取得し、それらを基にT1, T2あるいはプロトン密度といった量をマッピングする方法、Synthetic MRIが注目されつつある。データベースを用いて定量を行うMR fingerprintingが最近よく知られるようになったが、方法はそれだけではない。Synthetic MRIの方法論や実用性を知ることは、今後の臨床診断技術の動向を探る上で重要である。

2. 臨床応用の拡大に向けた撮像技術

phase contrast (PC) 法に基づく

4-dimensional velocity mapping (4D-VM) は、定量的な速度測定を行えるPC法の特徴を生かして動きの時系列データを定量する技術であり、血流はもちろん脳脊髄液(cerebrospinal fluid: CSF)の動態解析において臨床上有用な情報を提供しつつある。また、motion probing gradient (MPG) が微視的な拡散だけでなく、巨視的な液体の動きにも感受性を持つことを積極的に利用したmotion-sensitized driven-equilibrium (MSDE) 法はblack blood技術として有効であるだけでなく、動きによる信号低下を用いた液体の動態可視化の可能性が示されている。さらに、arterial spin labeling (ASL) に基礎を置くTime-Spatial Labeling Inversion Pulse (Time-SLIP) 法は、血液あるいはCSFの体積の一部が、どのように動いていくかを可視化する有用な技術である。これら3つの異なる原理に基づく動きのイメージングの臨床応用がどのように拡大していくか、興味が尽きない。

3. 臨床応用に向けた技術開発

MRIによる細胞標識は、プロトンに対する常磁性効果による陽性造影を可能にするガドリニウムやマンガン造影剤、自由水と特定の化合物の間のプロトンの交換を使う常磁性CEST造影剤、主として磁化率効果を使う酸化鉄微粒子、あるいはフッ素(^{19}F)などの他核種を用いる方法などがある。導電率イメージングは、SARの正確な推定を通して安全性評価に有用であるだけでなく、温熱療法や神経系の刺激下における体内の電磁界の振る舞いを知る上でも重要である。また、MRIのみならず画像診断におけるデータの増大は日常診療において問題となるところであるが、画像データの量はいわゆるビッグデータと呼ばれる範ちゅうに入ってきている。この点から医療におけるビッグデータの取り扱いは今後重要になろう。

4. MRIガイド下治療

治療支援のためのMRIの活用は、インターベンショナルMRIとして90年代後半に広がった。導入や運用コストの点から、急激な普及はしていないが、技術

としての有用性は疑いのないところである。そこで、今回は、手術の支援、集束超音波療法、ならびにロボティクスなどの観点から、現状における臨床的有用性と、今後の展望を論じていただくことにした。

5. 体内埋め込み型医療機器が変える安全性の概念

心臓ペースメーカー、脳深部刺激装置などの体内埋め込み型医療機器に関して、条件付きMRI対応製品の普及が進む中、臨床現場ではこういった機器を有する患者に対するMRI検査の機会が目に見えて増えている。各医療機器が対応するMRI装置のハードウェアや撮像の条件の確認が、現場の業務を複雑化している一方で、これまでMRI検査を受けることができなかった患者にとって、検査機会を得られることは大きな利益となっている。現場から見たこのような現状ならびに新たな撮像条件として、しばしば現れるようになった B_{1+RMS} というパラメータとそのSARとの関係は、今知っておくべき重要な事柄であろう。

6. 国内・国際学会動向

以上の内容に加えて、第43回日本磁気共鳴医学会大会の抱負を大会長の青木茂樹先生から述べていただく。さらに、「ISMRMから読み解くMRIの最新動向」として、臨床視点では頭頸部領域、腹部領域、骨軟部領域をそれぞれご専門の先生方に論じていただいた。また、技術的視点あるいは基礎的な研究開発の視点からは、エキスパートの先生方にレビューしていただいた。

◎

以上のような内容を含む本特集は、すばらしい執筆陣に支えられて非常に有益かつ内容豊富なものとなったと確信する。一方で、これだけの内容を持ってしてもMRIの広く深い世界は到底網羅できるものではなく、それだけにまた臨床上有用な未知のリソースに満ちているように思われる。本特集が読者諸氏にとって、不明な点の解明や未知のリソースの発見に役立てば幸いです。

〈謝辞〉

本特集においてご執筆の労をいただきました先生方に、改めまして心よりお礼申し上げます。