

マルチモダリティによる Abdominal Imaging

— 腹部画像診断の動向と臨床現場の 現状・展望

兼松 雅之 岐阜大学医学部附属病院放射線部

本特集では「マルチモダリティによる Abdominal Imaging」と題して、肝胆膵の画像診断・IVRに焦点を当て、4月号で「技術編：それぞれの技術の到達点」、5月号で「臨床編：注目の診断技術は日常診療を変えるか？」というテーマのもと、各分野で先端の臨床知見を有する先生方から玉稿をいただくことにした。

日常、われわれは肝胆膵における悪性腫瘍、感染症、外傷、肉芽腫疾患、自己免疫性疾患、先天異常などの疾患に対し、CT、MRI、超音波検査、核医学検査を柱とする画像診断を展開している。これらのモダリティにおいては、技術開発が絶え間なく行われてきた経緯があり、一見、最新と思われる技術も、実はずいぶん昔にコンセプトの端を発するものも多く、演算処理能力の向上やシステム構成部品の低コスト化により商用化にこぎ着けたものもある。本誌の読者には、放射線科医、消化器科医、診療放射線技師、臨床検査技師、放射線医学および技術研究者などが含まれると思うが、みな、新しい技術や製品の登場に際して、これらの技術をいかに臨床応用するか、撮像プロトコルの最適化が必要ではないか、鳴り物入りでの登場だが本当に有用なのか、臨床や研究に用いたいがどの装置を導入すべきかなど、さまざまな疑問に直面していることだろう。

CT

CTに関して短中期でめざすゴールはいろいろあるが、日常臨床で直面する課題として、第1に低被ばく撮影が挙げられる。大容量のX線管球が搭載されたことで、管電流を上げての低電圧撮影が可能となり、逐次近似法の併用も相まって、より低線量での造影CT検査に期待が寄せられている。ヨードのX線吸収特性は、電子対生成、コンプトン散乱、光電効果などの影響を受けるが、CT撮影に用いられるX線エネルギー帯域では光電効果の影響が大きく、33keVにおけるヨードのk吸収端に向けて管電圧を80kVp程度まで下げること、ヨードの吸収係数は急峻に上昇する。低電圧撮影では、ヨードの増強効果が向上するため、造影剤の減量も可能になる。Nakauraらは、80kVp撮影では、ヨード性造影剤を60%程度まで減量しても、従来と同等の増強効果を得られると報告している¹⁾。

低電圧撮影の今後の展開には衆目が集まる。従来は、身体が小さく管電圧を下げてノイズの増加が顕著でなく、ヨード性造影剤の輝度も稼げる小児CT撮影で頻用されてきた。成人は、小児に比べ身体が大きいので、管電圧を下げるとノイズが顕著となり実用的ではなかったが、600~700mA程度まで管電流を上げることができる新型CT装置の登場により、にわかに現実的となった。Marinらの報告では、140kVp、385mA撮影

では実効線量が17.5mSv、80kVp、675mA撮影では5.1mSvと、実効線量はほぼ1/3にまで低下し、なおかつ、低電圧撮影ではヨード性造影剤の増強効果が顕著に増加している²⁾。

Marinら、Nakauraらの臨床研究で特筆すべきなのは、低電圧撮影で生じた画像ノイズを逐次近似法を用いて低減し、従来と遜色のない画質を担保したことである^{1), 2)}。逐次近似法は、生データから繰り返し計算する過程で、ノイズやアーチファクトを不規則データとして抽出し除去する画像再構成アルゴリズムであり、画素数の少ない核医学検査では頻用されてきた。今日の計算機の演算処理速度の大幅な向上が、逐次近似法のCTへの応用を可能にした。例えば、60mAで得られた低線量CT画像も、filtered back projection (FBP) による再構成では見るに堪えない高ノイズであるが、逐次近似法の適用で格段に高画質となる。逐次近似法の適用度は百分率で表されることが多いが、過度の適用は人工的な画像テクスチャを作り出してしまい、診断の妨げになりうることを示されており、その最適化が急がれる。逐次近似法は、間違いなくCTにおける画像再構成法の標準となり、低被ばくCT検査の普及に拍車を掛けるであろう。

管電圧変調が可能なdual energy CTを用いれば、X線吸収特性の差異を利用したヨード強調像の再構成、石灰化に惑わされない血管狭窄評価、胆石の成分分析などが可能になる。技術的には、2管球CTの登場以来、2層検出器や管

電圧スイッチングなどの異なる機構による装置が考案され実用化に至っている。しかし、dual energy撮影での被ばくの増加や日常臨床での検査画質の担保、また、XY軸方向の撮影範囲(FOV)の制限、管電圧スイッチングのタイミングと生体の動きによる画素のズレなどの技術的問題に加え、dual energy撮影でいったい何を診断するのが定まりきらない印象がある。これまでに、胆道結石の成分分析、肝の脂肪定量、再構成コード画像、仮想単純CTなどの応用が見られるが、dual energy CTが診断に必須であるとするには至らず、インパクトが十分とは言えない。生データの再計算によりさまざまなコントラストの画像が排出されるので、放射線科診断医としては、その取り扱いに苦慮するかもしれない。欧米では、被ばくを考慮して単純CTを省き、造影CTのみを行う施設が多い。単純CTで診断医が見たい情報は、脂肪沈着、石灰化、血腫、血栓が主であるから、これらの情報を得られる画質が担保されれば、仮想単純CTには期待できる。

CT検出器の多列化競争がどこまで続くのかは予想がつかないが、現時点では、面検出が可能な320列CTが単独トップを走る。Goshimaらは、臍臓の造影CTに関して、320列CTによる面撮影とヘリカル撮影を比較した³⁾。面撮影においては、体軸方向16cmの検出器幅により、臍臓全体を包含し0.5秒で撮影が完了するため、ヘリカル撮影の半分近い線量で撮影が可能である。面撮影では、ヘリカル撮影に比べ、光子量の絶対的不足と散乱線の悪影響がノイズの増加をもたらすが、ノイズに関しては、逐次近似法を適用すれば改善が見込める。また、CTAの再構成を目的とした場合は、面撮影には目立った遜色がない。今後、面検出器CTに期待されるのは、体軸方向の撮影範囲の拡大、コーンビーム効果の軽減、逐次近似法の適用による画質改善、低電圧撮影やdual energy撮影による低被ばく低コード検査、仮想単純CT、成分分析などになるだろう。

小児医療の充実は、先進国の証である。日本医学放射線学会は2005年、『小児CTガイドライン—被ばく低減のため

に一』をホームページ上に掲載し⁴⁾、小児の放射線感受性の高さ、成人撮影条件での臓器被ばくの増加、厳格なCT適応と小児プロトコルの適用、CT装置の品質管理、医師による説明の重要性などに関するガイドラインを示している。低電圧撮影や逐次近似法の普及により、小児CT撮影における被ばく低減、画質維持または向上、造影剤負荷の最適化をめざした具体的な提言が必要になろう。

MRI

さて、話はMRIに移る。米国では、抗ウイルス治療の普及によりC型肝炎による慢性肝障害の脅威が若干収束する一方、非アルコール性脂肪肝炎(NASH)の患者が増加し、NASHを背景として肝細胞がんを発生する症例を重要視しつつある。このため、従来の肝形態や肝腫瘍の診断のみでなく、肝実質の脂肪化、線維化、炎症活動性、鉄沈着など、びまん性変化の評価が重要となりつつある。このような背景のもと、“びまん性肝疾患MRI診断パッケージ”が注目されるに至った。

第1には、MR relaxometryによる緩和時間マッピングである。MRIは、元来NMRであり、検体の緩和時間計測に端を発する。緩和時間の長短を明暗として表示したのが、T1およびT2強調像であり、今日われわれはこれに見慣れている。MRI黎明期の放射線科医らは、緩和時間を用いた鑑別診断に関する研究を盛んに行った。しかし、長い撮像時間やマッピング技術が未熟であったことから定着しなかった。しかし、Look-Lockerシーケンス⁵⁾の導入により短時間でT1 mappingが得られるようになったことから、造影剤濃度定量などへの応用が現実的となってきた⁶⁾。欧米では、非アルコール性脂肪肝(NAFLD)の診断に関心が集まり、MRIによる脂肪定量技術に衆目が集まっている。Dixon法を利用した水画像、脂肪画像の分離撮像は、1980年代に提唱され、ほかにもchemical shift imagingやMR spectroscopyを用いた脂肪定量が研究されてきた。2000年代半ばに紹介された3-point Dixon法による水脂肪分離撮像

法では、領域形成法と逐次法を用いた磁場不均一の補正が可能になり、1回の息止め撮像でより正確な水画像、脂肪画像の再構成が可能になった⁷⁾。慢性肝障害では、肝への鉄沈着が発がんリスクになることが知られている。T2*mapでは、鉄沈着によるT2*減衰領域を視覚的に表し、R2*による鉄濃度の定量的評価も可能になる。また、3-point Dixon法はT2*補正が可能であり、肝の鉄沈着の影響を回避して、より正確に脂肪定量を行うことが可能となる。

腫瘍の良悪性の鑑別には“硬さ”という要素がある。理学的診断に“弾性硬”や“弾性軟”といった表記が用いられ、悪性腫瘍が硬い傾向があることは知られている。しかし、体表から直接触れることができる部位は皮膚、乳腺、前立腺などに限られ、身体の奥深くに存在する病変の硬度を知るすべはなかった。1995年、*Science*誌にMRIを用いた硬度計測法がMR elastography (MRE)として紹介され⁸⁾、その後10年を経て臨床的有用性の報告が相次いだ⁹⁾。現時点では、MREを日常的に施行できる環境は国内に整っていないが、近々普及するだろう。呼吸停止下や造影後の撮像も可能であり、検査時間を大きく延長することなく、新たな診断パラメータが加わり、肝腫瘍の鑑別、肝線維化の病期診断以外にも、乳腺腫瘍、前立腺腫瘍、骨軟部腫瘍などの診断に応用されるだろう。一方、「FibroScan」をはじめとする超音波による硬度診断も臨床導入されつつあり¹⁰⁾、今後は精度とコストの両面で、MRIと超音波を用いた硬度診断が評価され選択されるだろう。

パラレルイメージング技術の導入に伴い、腹部領域の拡散強調画像(DWI)の画質は大きく改善し、多くの施設が腹部MRI診断プロトコルに拡散強調画像を追加した。読影医の中には、あまたあるMRIシーケンスの中、強いコントラストを放つ拡散強調画像から読影を始める者も多い。空気と接する部位の信号低下や歪み、適正なb値の選択、見かけの拡散係数(ADC)の真正性、良悪性での信号やADCのオーバーラップ、T2 shine-throughによる偽陽性などの問題を残すが、拡散強調画像は確実に臨床