

マルチモダリティによる Abdominal Imaging

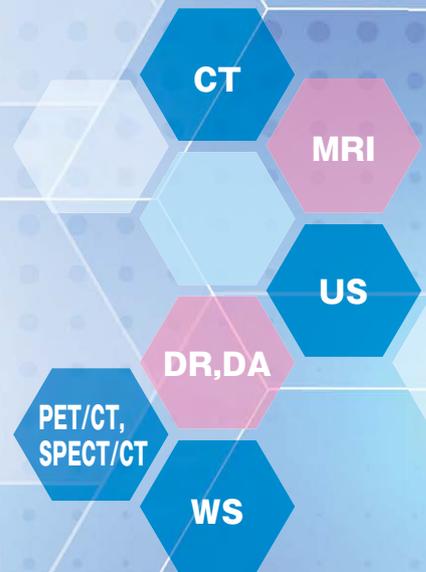
企画協力：蒲田敏文 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科放射線科学教授/
金沢大学附属病院病院長

特集1 【技術編】それぞれの技術の到達点

4月号・5月号恒例のマルチモダリティ特集では今回、腹部領域を対象に、「日常臨床における代表的疾患の画像診断のコツ」と題し、4月号で「技術編」、5月号で「臨床編」を掲載します。

腹部領域では近年、モダリティの技術革新が従来の検査法、診断法、治療法に大きな影響を与えています。そこで、4月号「技術編」では、モダリティ別に各社製品の技術の到達点を取り上げ、5月号「臨床編」では、代表的疾患の診断のコツをはじめ新しい技術や診断法の臨床応用の実際について焦点を当てます。

(各モダリティ別にメーカー名50音順掲載：用語表記はメーカー規定に準ず)



特集2 5月号【臨床編】〈予告〉

I 肝

1. 肝細胞がんの診断
鶴崎正勝 (近畿大学)
2. 早期肝細胞がんの診断
本杉宇太郎 (山梨大学)
3. 肝内胆管がんと肝転移の診断
藤田展宏 / 西江昭弘 (九州大学)
4. 肝良性腫瘍の診断
小林 聡 (金沢大学)
5. 肝細胞がんのIVR治療
宮山士朗 (福井県済生会病院)

II 胆道

1. 胆道炎症性疾患の診断
小坂一斗 (金沢大学)
2. 胆道良性腫瘍の診断
五島 聡 (岐阜大学)
3. 胆道悪性腫瘍の診断
牛尾貴輔 / 竹原康雄 (浜松医科大学)

III 膵臓

1. 膵悪性腫瘍の診断
望月健太郎 (富山県立中央病院)
2. 膵良性腫瘍の診断
戸島史仁 (芳珠記念病院)
3. 膵嚢胞性腫瘍の診断
入江裕之 (佐賀大学)

4. 急性膵炎の診断
佐野勝廣 (埼玉医科大学国際医療センター)
5. 慢性膵炎 (自己免疫性膵炎を含む) の診断
藤永康成 (信州大学)

IV 腎・副腎

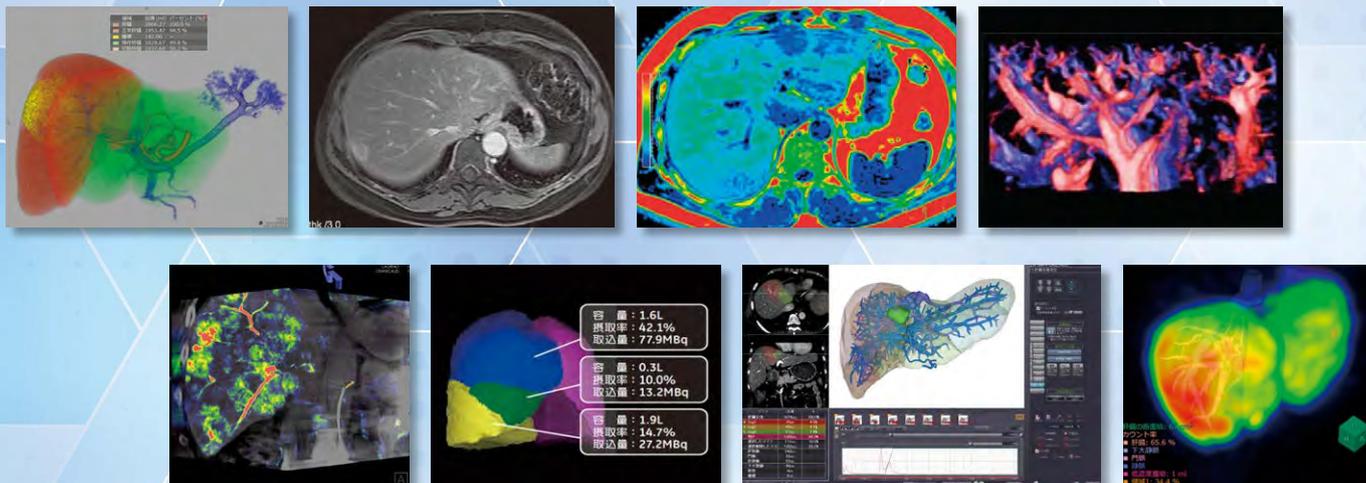
1. 悪性腎腫瘍の診断
秋田大宇 (慶應義塾大学)
2. 良性腎腫瘍および炎症性疾患の診断
吉田耕太郎 (金沢大学)

V 先進技術・診断法の臨床応用の実際

1. IVR-ADCTの臨床応用
佐藤 豊 (静岡県立静岡がんセンター)
2. DynaPBVの使用経験
鈴木信昭 (NTT東日本札幌病院)
3. 腹部領域でのSupria Grandeの使用経験
井上幸平 (大村病院)
4. 腹部における3T MRIの有用性
伊東克能 (川崎医科大学)
5. 腹部領域における4D-View Sharingの有用性
祖父江慶太郎 (神戸大学)
6. 肝臓機能のMRIによる定量評価
福倉良彦 (鹿児島大学)

7. DA (血管撮影システム) の使用経験
板野 哲 (久留米中央病院)
8. 胆膵内視鏡治療におけるCアームX線システムの使用経験
奥野のぞみ / 原 和生 (愛知県がんセンター中央病院)
9. 腹部インターベンションにおけるInnova IGS 630の使用経験
小泉 淳 (東海大学)
10. 腹部造影PET・CTの臨床的有用性
岩淵 雄 (慶應義塾大学)
11. 肝臓におけるアシアロシングラフィの合成を中心とした臨床的有用性
高本健史 (日本赤十字社医療センター)
12. 肝臓におけるエラストグラフィの臨床的有用性
矢田典久 (近畿大学)
13. 腹部における超音波診断の有用性
小川真広 (日本大学)
14. 腹部におけるAuto Registrationの有用性
黒田英克 (岩手医科大学)
15. 腹部におけるsyngo.viaを用いた読影フローのメリット
堀越浩幸 (群馬県立がんセンター)
16. 腹部におけるWSを用いた画像処理
石塚瞬一 / 夏目俊之 (船橋市立医療センター)
17. 腹部におけるWSを用いた画像処理
片平和博 (熊本中央病院)

2016 日常臨床における 代表的疾患の画像診断のコツ



総論

腹部領域における 画像診断の現状と展望

蒲田 敏文 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科放射線科学

形態診断から質的診断へ

腹部画像診断の基本は、Bモードの超音波およびCTによる形態診断である。しかし、病変の検出能向上あるいは病変の質的診断において、マルチモダリティ、換言するならばマルチパラメトリックイメージングによる形態診断とは別のベクトルのさまざまな情報を駆使することが

必要不可欠である。現在はさまざまな画像パラメータを駆使し、病変の質的診断のみならず、治療効果予測、判定への応用が進められている。

例えば、古典的な膵がんの診断法は、超音波Bモード（低エコー）、ダイナミックCT（造影早期で周囲膵より低吸収、病変部は緩徐に染まってくるという血流情報）により診断できる。ところが、腫瘤形成性膵炎やそのほかの膵腫瘍（内分

泌腫瘍など）などの鑑別は必ずしも容易ではない。その場合にそのほかの情報、すなわちMRIを撮像することでT1緩和、T2緩和という、CTや超音波とはまったく別のパラメータを得ることができる。膵管がんはT1強調画像で低信号、T2強調画像で等～高信号を示す¹⁾。また、T2強調画像では主膵管の描出が優れているため、尾側膵管拡張も明瞭に確認できる。拡散というパラメータでは、

diffusion weighted image (以下, DWI) が腹部領域においてルーチンで撮像されるシーケンスの一つとなっている。ADC 値 (見かけの拡散係数) は, さまざまな臓器の腫瘍性病変の良悪の鑑別に有用であるとされてきたが, 近年はさらに発展してきている。intravoxel incoherent motion (IVIM) は多数の b factor を設定することで, 灌流成分と拡散成分というパラメータを算出できる。前者は毛細血管内のプロトンの運動を, 後者は細胞内や細胞外間質のプロトンの拡散を反映したパラメータと考えられ, これらを用いて ADC 値以上に優れた病変の良悪の鑑別が期待されている²⁾。

経静注ダイナミックスタディによる血流画像はさらに発展し, 3D の高速グラディエント撮像法による空間分解能の向上, さらにエコーシェアリング技術を使った時間分解能の向上がめざましい。特に, 前者では CT に迫る空間分解能を有し, 後者ではダイナミック CT を凌駕している。例えば, 肝細胞がんのドレナージはコロナ濃染として知られているが, これは動注ダイナミック CTHA による優れた時間分解能, 濃度分解能により鮮明に描出することができる。これに近い画像が, このエコーシェアリング技術を駆使して画像化可能となっているのである。

再び超音波に目を移すと, 超音波における血流評価はドプラ超音波あるいはソナゾイド造影超音波でなされていた。この技術にブレークスルーが起こっている。すなわち低流速血流を表示する技術革新により, より微細な血管を映し出すことが可能となっている。さらに, 造影超音波を併用することで, われわれが見たことがないような微細な血管構築が映し出されている。加えて, ソナゾイド (第一三共社製) では網内系機能の評価ができ, これは SPIO 造影 MRI とともに, 重要な機能画像である。

Gd-EOB-DTPA (プリモビスト: バイエル薬品社製) を用いた EOB 造影 MRI の肝細胞相では, 肝細胞膜に存在するトランスポータの機能を反映した画像を得ることができる。また, 組織内に存在する鉄や脂肪の分別能では, MRI によるケミカルシフトイメージングをベースとし

た mDIXON 法で脂肪画像, 鉄画像を得ることができ, また脂肪沈着量, 鉄沈着量の定量化もできる。これは, 肝臓領域ではメタボリックシンドロームに代表される脂肪肝を理解する上で大変重要なパラメータである。

組織硬度の定量化も近年発達した新たなパラメータである。「Fibroscan」(Echosens 社製) に始まり, 超音波エラストグラフィ, MR エラストグラフィで確実にその立場を確立し, 進歩が著しい。肝臓分野では慢性肝疾患の線維化診断に使われることが多いが, より深い深度の膵臓領域での応用が期待される³⁾。

¹⁸F-FDG-PET 検査は組織の糖代謝を画像化した検査であり, PET/CT を組み合わせることで形態情報を得ることができる。さらに, 近年では PET/MRI が市販化され, その有用性の報告が相次いでいる。これは PET の機能画像に加え, MRI で得られる複数の情報が一度の検査で同時に得られ, 治療効果判定に大変役立つモダリティとなるポテンシャルを十分に秘めている。

超音波

血流診断では, “Superb Micro-vascular Imaging (SMI)” (東芝メディカルシステムズ社製) はモーションアーチファクトの特徴を解析することで, これに埋もれた低流速の血流を分離し表示させる新しいドプラ法であり, 従来のドプラ法と比べて, より高感度に血流が表示される。われわれが特に注目しているのは, 肝臓領域では慢性肝疾患の進展度, すなわち肝硬変に伴い門脈圧が亢進し, 代償性に肝動脈血流が増加する状態を画像化することで, 線維化の程度の判定および肝被膜や肝門部における肝動脈ネットワークなどの正常な微細血管網の観察, AP shunt の詳細な観察などである。胆嚢や胆管の乳頭状病変の内部を走行する線維血管芯内の血流の可視化も期待される。さらに, ソナゾイド造影超音波では, 肝腫瘍の血行動態解析による分化度診断, 門脈腫瘍栓診断が可能とされているが⁴⁾, SMI を併用することにより, より詳細な肝腫瘍の血行動態解析が可能と思われる。造影 CT や

MRI で乏血性と判断された腫瘍の血行動態の確認あるいは新発見が注目される。

三次元超音波検査は, 1 回のスキャンで得られた多数の断層画像を再構成技術により立体的に表示する手法である。これを用いて, 管腔内を 3D 画像として表示することも可能である。

超音波エラストグラフィは非侵襲的な組織硬度測定技術であり, 組織に一定の圧を加えたときに生じる strain elastography と, 組織の中を剪断波が伝播する速度を見る shear wave elastography の 2 つがある。肝臓領域においては肝線維化診断のゴールドスタンダードである肝生検に取って代わろうとしている⁵⁾。しかしながら, これらで得られたデータには信憑性が常に問題となる。そうした中で開発された日立アロカ社の “Shear Wave Measurement (SWM)” は, 測定された剪断波伝播測定ポイントを多数設け, 複数回測定を行った上で, 誤検出と思われるデータを棄却, 残ったデータを基にヒストグラムを作成し, これが正規分布している場合は, 測定結果が適切であると判断できるアプリケーションである。

フュージョン技術としては, 日立アロカ社が開発した “3D Sim-Navigator” が注目に値する。これはフュージョン技術を応用した超音波ガイド下ラジオ波焼灼術の術前シミュレーションおよびナビゲーションシステムである。基本画面構成は, 観察中の超音波画像, その同一断面の MPR 画像, C-plane 画像, 3D 画像である。この C-plane 画像および 3D 画像で, 特に複数本の電極針を使用する場合の三次元的な穿刺針と腫瘍の位置関係認識が容易となり, 正確な治療に有用である。

CT

被ばく低減技術は, Image Gently という小児 CT における診断能を損なわない範囲で, できるかぎり被ばく線量を低減するキャンペーンでも示されるように, CT における必定の命題であり, 各社のしのぎを削った技術開発が日進月歩続いている。例えば, シーメンス社の開発した検出器に用いられる高感度素子

“UFC (Ultra Fast Ceramic)”は、優れた発光特性、残光特性を有し、微弱な光子を確実に検出し、高速回転時においても収集データの重複がないなど、空間分解能向上にも貢献していると言われている。被ばく線量と画質に影響する主なパラメータは管電圧、管電流、ピッチであり、さらに逐次近似再構成 (iterative reconstruction : IR) 法により従来の filtered back projection (FBP) 法と比較して、画像のノイズが大幅に低減できる。被ばく線量の目安は dose length product (DLP [mGy · cm]) で定量化できる。ただし、ここで注意しなければならないことは、やみくもに被ばく低減した結果、有益な情報 (画質) が損なわれる可能性があるということである。Goshimaらは、転移性肝がんの検出に、低電圧撮影 (80kVp) において肝実質が50HU以上造影されるために必要な造影剤量は体重あたり0.28gI/kgあるいはbody surface area (BSA) あたり9.6gI/m²であり、従来の管電圧120kVp撮影より少ない量であることを報告している⁶⁾。この低電圧撮影での造影コントラストを向上させ、造影剤使用量を抑えるという方向性に加え、従来どうしても低電圧化では十分なSNRが得られなかった問題を解決すべく、管電流パワーを上げたX線管の開発が進んでいる。しかし、最終的に検査目的に合致した、診断に耐えうる十分な画質が担保されているかどうかの判断は、放射線科医の重要な役目であることは言うまでもない。

また、東芝メディカルシステムズ社製のArea Detector CT (以下、ADCT) は0.5mmの検出器を320列並べ、管球が1回転することで16cmの幅をカバーすることができる面検出CTである。2015年のRSNAでは、このADCTを組み合わせたIVR-CTシステムが国外で初めて紹介され、話題になった。IVR-CTにADCTを搭載することで、血管造影下CTにおける3D-CT撮影、あるいはそれに時間軸を加えた4D-CT撮影が可能となる。また、16cmの検出幅は肝臓や膵臓、腎臓などの腹部臓器のパーフォー

ジョンイメージが容易に得られるため、新たな知見が期待される。特に注目しているのは、肝細胞がんでのドレナージ域である。肝細胞がんのドレナージ域は局所再発に重要な部位であり、ラジオ波焼灼術においてはドレナージ域を含めた焼灼が望ましいと考えられている。ADCTを用いた4D-CT撮影では血行動態を任意の方向から確認できるため、治療計画に役立つと考えられる。

MRI

腹部領域で特に注目されるのはエコーシェアリング型の3Dダイナミック撮像 [TWIST-VIBE (シーメンス社製), DISCO (GE社製)] である。従来の高速3D撮像法に加え、エコーシェアリング型の信号収集を加えることで、さらに高い時間分解能を得ることができる。例えば、多血性肝細胞がんの早期濃染を正しく画像化するためには至適タイミングでの撮像が必要不可欠である。このスイートスポットを逃すと、多血性肝細胞がんを乏血性肝腫瘍と見誤ることが生じるが、このエコーシェアリング技術を用いることで、2.5～3秒の時間分解能での多相画像を生成し、かつ画質を損ねることなく的確に血流の多寡の評価が可能である⁷⁾。

また、“StarVIBE” (シーメンス社製) では、従来の高速3D撮像法では画質が乱れて評価ができない息止め不良例において、良好な画質を得ることができる⁸⁾。まさに呼吸同期や横隔膜同期などのない自由呼吸下での撮像が可能となったシーケンスであり、検査の失敗が激減することが期待される。フィリップス社の7ピークファットモデルというアルゴリズムを採用した“mDIXON XD”は従来より正確な水脂肪分離を可能とし、さらに高い脂肪抑制効果が期待できる撮像法である。

DWIも各社で技術革新が続いている。シーメンス社は“syngo RESOLVE” (k-spaceのリードアウト方向にセグメント収集を行うことで、画像の歪みや位置ズレを軽減するとともにTEを短縮し、

高いSNRを実現)、GE社は“FOCUS” (局所励起によって有効視野をかなり狭くして撮像、そのため空間分解能が高く、組織や病変の辺縁が明瞭に識別できるようになる) などがある。

◎

個々のモダリティに備わった既存のパラメータはますます発展、進歩し、さらに安全で確実なものとなっていくであろう。そして、このような多岐にわたるパラメータの意味するもの、有効性を認知し、使いこなし、より良い医療画像を提供することが、われわれ画像診断に携わるものの宿命である。

●参考文献

- 1) Gabata, T., Matsui, O., Kadoya, M., et al. : Small pancreatic adenocarcinomas ; Efficacy of MR imaging with fat suppression and gadolinium enhancement. *Radiology*, **193** · 3, 683 ~ 688, 1994.
- 2) Kang, K.M., Lee, J.M., Yoon, J.H., et al. : Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging for characterization of focal pancreatic lesions. *Radiology*, **270** · 2, 444 ~ 453, 2014.
- 3) Shi, Y., Glaser, K.J., Venkatesh, S.K., et al. : Feasibility of using 3D MR elastography to determine pancreatic stiffness in healthy volunteers. *J. Magn. Reson. Imaging*, **41** · 2, 369 ~ 375, 2015.
- 4) Tanaka, H., Iijima, H., Higashiura, A., et al. : New malignant grading system for hepatocellular carcinoma using the Sonazoid contrast agent for ultrasonography. *J. Gastroenterol.*, **49** · 4, 755 ~ 763, 2014.
- 5) Kudo, M., Shiina, T., Moriyasu, F., et al. : JSUM ultrasound elastography practice guidelines ; Liver. *J. Med. Ultrasonics*, **40** · 4, 325 ~ 357, 2013.
- 6) Goshima, S., Kanematsu, M., Noda, Y., et al. : Determination of optimal intravenous contrast agent iodine dose for the detection of liver metastasis at 80-kVp CT. *Eur. Radiol.*, **24** · 8, 1853 ~ 1859, 2014.
- 7) Fujinaga, Y., Ohya, A., Tokoro, H., et al. : Radial volumetric imaging breath-hold examination (VIBE) with k-space weighted image contrast (KWIC) for dynamic gadoteric acid (Gd-EOB-DTPA)-enhanced MRI of the liver ; Advantages over Cartesian VIBE in the arterial phase. *Eur. Radiol.*, **24** · 6, 1290 ~ 1299, 2014.
- 8) Fujinaga, Y., Kitou, Y., Ohya, A., et al. : Advantages of radial volumetric breath-hold examination (VIBE) with k-space weighted image contrast reconstruction (KWIC) over Cartesian VIBE in liver imaging of volunteers simulating inadequate or no breath-holding ability. *Eur. Radiol.*, 2015 (Epub ahead of print).