

●特集

マルチモダリティによる

Abdominal Imaging

2018

特集

1

【技術編】

それぞれの技術の到達点

Radiomics時代を支える最新診断技術

企画協力：五島 聡 岐阜大学医学部附属病院放射線部准教授

特集

2

5月号【臨床編】予告

I CTのベネフィット&ポテンシャル

- イントロダクション：Dual Energy CTの最新動向と今後の展望
兵頭朋子 (近畿大学)
- 1. Dual Energy CTによる肝疾患診断への挑戦
中村優子 (広島大学)
- 2. 脾領域におけるDual Energy CTによる診断の可能性
野田佳史 (岐阜大学)
- 3. 超高精細CTによる腹部CT検査の展望
曾根美雪 (国立がん研究センター中央病院)

II MRIのベネフィット&ポテンシャル

- イントロダクション：超高速撮像時代の動向と今後の展望
本杉宇太郎 (山梨大学)
- 1. ここまで進化したMR Elastography
市川新太郎 (山梨大学)
- 2. 圧縮センシングを用いた肝ダイナミックMRI
藤永康成 (信州大学)
- 3. MRIを用いたRadiomics
石松慶祐 (九州大学)

III USのベネフィット&ポテンシャル

- 1. USによる肝線維化診断最前線
豊田秀徳 (大垣市民病院)
- 2. USによる肝疾患診療の進歩と今後の展望
飯島尋子 (兵庫医科大学)

IV IVRのベネフィット&ポテンシャル

- 1. 自動血管追跡システムの臨床的位置づけ
棚橋裕吉 (岐阜大学)
- 2. 肝細胞がんに対するTACEの現状
佐藤洋造 (愛知県がんセンター中央病院)
- 3. 治療戦略におけるCT・MR画像とIVRの融合
下平政史 (名古屋市立大学)

V PET/CTとSPECT/CTのベネフィット&ポテンシャル

- 1. PET/CTとSPECT/CTにおける腹部腫瘍診断の最前線
巽 光朗 (大阪大学)

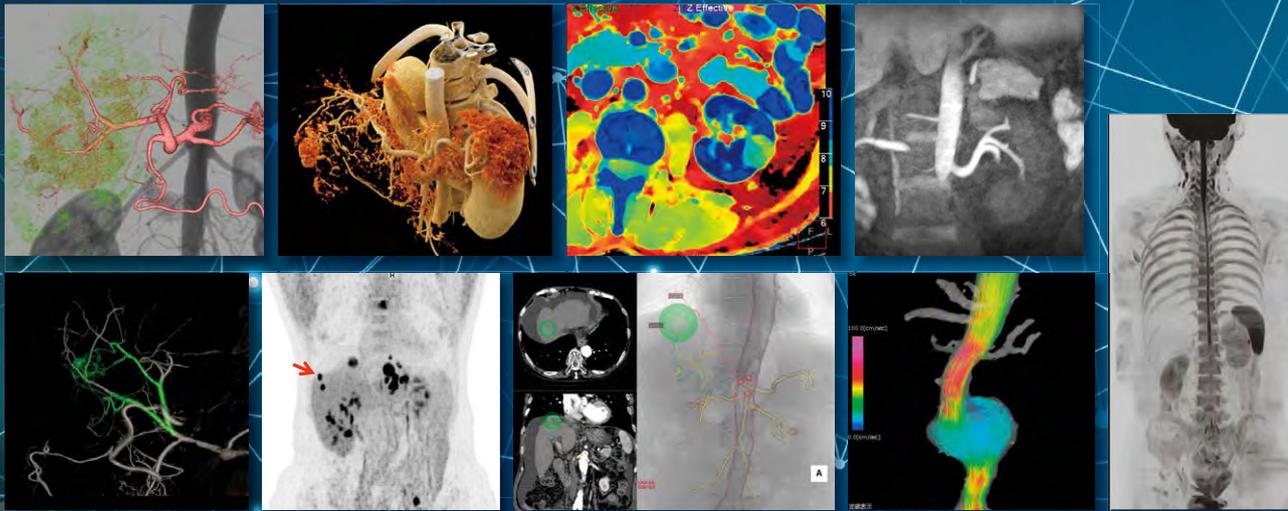
VI ITのベネフィット&ポテンシャル

- 1. 肝Perfusion Imagingの位置づけと最近の動向
山田 哲 (信州大学)
- 2. 腹部画像診断領域におけるDeep Learningの応用
中浦 猛 (熊本大学)

VII 先端技術の臨床応用の実際

- 1. GE社製CTによる腹部領域のDual Energy CTの使用経験
町田 幹 (日本医科大学)
- 2. 急性膵炎におけるシーメンス社製CTによるPerfusion CTとDual Energy CTの有用性
山宮 知 (昭和大学)

- 3. 日常のルーチン検査におけるフィリップス社製スペクトラルCTの有用性
村上敦史 (公立八鹿病院)
- 4. 腹部領域におけるキヤノンメディカルシステムズ社製MRIの使用経験
濱本耕平 (自治医科大学附属さいたま医療センター)
- 5. GE社製MRIによるCompressed Sensingと局所撮像技術の腹部領域での臨床応用
片山元之 (総合病院聖隷浜松病院)
- 6. 腹部領域における3T MRI「TRILLIUM OVAL」の臨床的有用性
中村優子 (広島大学)
- 7. 腹部領域における「Aplio i」シリーズの使用経験
畠 二郎 (川崎医科大学)
- 8. キヤノンメディカルシステムズ社製アンギオシステムの腹部領域における有用性
横山博典 (国立循環器病研究センター)
- 9. GE社製血管撮影装置を用いた腹部IVRの実際
小泉 淳 (東海大学)
- 10. 腹部領域における「Ziostation2」の使用経験
仲西一真 (上尾中央総合病院)
- 11. 肝がんのRFAにおける「SYNAPSE VINCENT」の有用性
小川 力 (高松赤十字病院)



2018年4月号・5月号では、「Radiomics時代を支える最新診断技術」をテーマに、腹部領域におけるマルチモダリティの技術と診断の最新動向を特集します。近年、多岐にわたる大量の情報を組み合わせて診療に役立てる“Radiomics”が注目を集め、腹部領域においても、それに向けた技術開発と臨床応用が進んでいます。そこで、4月号【技術編】では、モダリティ別にRadiomics時代の最新技術の現状に焦点を当てます。さらに、5月号【臨床編】では、新しい技術および診断法が日常診療にどのような影響を与え、どのような変化をもたらすのかを臨床現場から報告します。

(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)

マルチモダリティによる
Abdominal Imaging 2018
特集1 【技術編】
それぞれの技術の到達点
総論

放射線科医に求められる 最新技術と臨床の融合

五島 聡 岐阜大学医学部附属病院放射線部

Radiomics/radiogenomics 時代の到来

画像診断学は急速な発展を遂げ、多くの領域で成熟した診断アルゴリズムやガイドラインが確立されている。その中で、2014年に開催された北米放射線学会でradiomics/radiogenomicsというキーワードが取り上げられ、さらに翌年の大

会ではいくつかのセッションが設けられ大々的な注目を集めた^{1), 2)}。radiomics/radiogenomicsは、放射線医療機器から生じる臨床画像から多くの定量値を抽出し、情報解析科学に基づくアルゴリズムを用いて、タンパク質、代謝、遺伝子などの情報を反映した総合的な解析を行うことを目的とした新たな分野としてとらえられており、われわれ放射線科医はその中心にいるべき職種の一つで

あると考えられる。すでに幅広い領域において、画像定量値から治療効果や予後の判定・予測に及ぶ多くの初期研究結果が報告されている。われわれが用いるモダリティとしては、CT、MRI、超音波、核医学、血管造影などが挙げられるが、いずれにおいても技術の進歩は著しい。従来から取り組まれている画質改善、低被ばく、造影剤減量、再現性向上などに加え、定量値に関してもより

理論的かつ効率的な抽出法が採用されることで再現性や正確性が向上している。先の北米放射線学会でも、「診断画像は写真や絵画ではなく、患者データである」と強調されている。さらに、「近い将来、画像診断医は単なる読影医ではなくなる。コンピュータ支援システムによる診断や予後予測精度を改善していくための定量的、形態的データの専門家であり管理者となるであろう」とも述べられている。一昔前までは映画の中の話であった人工知能がさまざまな分野に投入され、また、血液1滴からがんのスクリーニングを行うような現代において、われわれ放射線科医はどのように医療にかかわり貢献していくのかを真摯に考える時期なのではないだろうか。

本特集「マルチモダリティによる Abdominal Imaging 2018」では、4月号【技術編】にてモダリティ別に各社製品が誇る最新技術の到達点について紹介していただき、5月号【臨床編】では「Radiomics時代を支える最新診断技術」と題して、新たな技術および診断法の最新臨床応用について、各モダリティのエキスパートの先生方から玉稿をいただくこととした。この総論では、各モダリティの歴史を少しだけ振り返ることで現在の技術が定着するに至る過程と意義を考え、少し先の未来をうかがいたい。

CT

近年の医療現場において、CT装置は必要不可欠な画像モダリティであり、主要臓器および血管の評価に重要な画像診断情報をもたらす。特に、経静脈性造影CTは空間、時間、コントラスト共に優れた分解能を兼ね備えており、微小な血管性病変の検出や腫瘍の血流診断、および他臓器浸潤の判定など活躍の場は広い。

CT装置におけるX線管球の熱容量や検出器の品質は徐々に向上し、従来の120kVp管電圧を用いた撮影から80～100kVp程度での低管電圧撮影に加え、2種類の異なる管電圧を用いるdual energy撮影へと発展を遂げている。CT装置の歴史は40年以上に上り、1972年にGodfrey Newbold Hounsfieldにより

世界初のX線CTスキャナが発表されたことに始まる。dual energy撮影の歴史も古く、その原理はすでに1974年に論文発表されている³⁾。現代のCT装置に搭載されているdual energy撮影技術の根幹となる3つの手法、すなわちdual-photon absorptiometryなどのphoton-counting法、multi-layer detectorによるsandwich detector法、dual energy X-ray absorptiometryに代表されるkV-switching法などの技術も、1987～1990年にかけて次々と報告されている。本邦においても2000年代初頭にmulti-detector-row CT (MDCT)が急速に普及し、各社が多列化を競い、多列CTの究極とも言われた64列CTに至る。64列CTの登場以降は、各社独自のコンセプトにより大きく3つの方向に開発が進んだ。その一つはさらなる多列化であり、320列CTに代表されるような面検出器型CTがいち早く臨床に定着、主にperfusion解析や心臓CT解析が加速した。同時期にdual energy撮影も臨床応用されdual source CTなどが登場したが、被ばくの問題や適応症例が確立されず、臨床への定着には時間を要した。2016年にフィリップス社から2層検出器型CTが発売されると、これらの問題が解決され、臨床現場で普及することになった。満を持して2017年に登場したのが超高精細CTである。うかがうところによると、2001年から東芝メディカルシステムズ社(現・キヤノンメディカルシステムズ社)と国立がん研究センターでプロジェクトが始まり、16年をかけて製品化に至り、「Aquilion Precision」として登場した。0.25mm×1792チャンネルを有する、まさに超高精細画像が取得できる装置であると言える。これらの技術革新の、いわば究極版による今後の臨床応用に期待が高まる。

MRI

高速撮像と高空間分解能を長所とするCTに対して、MRIにおける利点は高いコントラスト分解能とX線被ばくがないことと言える。MRIの歴史はCTのそれよりも複雑で、NMR信号の発見、マグネットの開発、静磁場、傾斜磁場、

高周波磁場、撮像シーケンスの開発、ガドリニウム造影剤など複数の科学分野における発展のたまものと言える。1971年に、Raymond Vahan Damadianにより悪性腫瘍ではプロトンのT1およびT2緩和時間が延長する⁴⁾と報告され、人体の画像撮像に成功したのが1978年とされる。1980年代から各大学や企業による臨床機の開発が始まり、永久磁石や低磁場電磁石などの技術革新が進み、高磁場装置の登場を待つこととなる。同時期に撮像シーケンスの開発も進んだ。マルチエコー法、高速グラディエントエコー法、ケミカルシフトイメージング、MRアンギオグラフィなど、現在でも第一線で使用されているシーケンスもこの頃に開発された。強力な傾斜磁場の高速スイッチングや静磁場の均質化などの問題が解決されたのが1990年初頭であり、echo planer imaging (以下、EPI)が誕生した。

この特集で取り上げる Abdominal Imagingに目を向けると、高速スピネコー法により全肝の高解像度撮像が可能となり、高速グラディエントエコー法によりダイナミック撮像が可能となったことが、腹部領域におけるMRI診断の始まりと言えよう。2000年代初頭では、“SENSE”(フィリップス社)に代表される複数のRFコイルを使用したパラレルイメージングが一世を風靡する。SENSEは、k空間における位相エンコード方向のデータサンプリングを間引くことで生じる折り返しアーチファクトを複数のコイルによる感度分布を用いて補正する技術であり、特に腹部の拡散強調画像においてEPI特有の雑音部分を効率的に消去し、撮像時間の短縮とSNRの向上を実現した。最近では、圧縮センシング技術が臨床現場に登場し、学会などでも大きく取り上げられている。パラレルイメージング技術の後に登場した画期的な高速撮像技術であり、今後しばらくは圧縮センシングが臨床研究の中心となることが予測される。この技術により、MRIの当面の課題であった時間分解能は大きく向上し、検査のスループットも改善するため、従来の撮像に加えて、今後注目される定量化画像撮像もルーチンベースで取り入れることが可

能となるだろう。

MR信号には、いわゆる絶対値は存在しない。T1値やT2値を直接計測する手法は時間的制限が大きいため、実際は信号比などを半定量値として用いることが多かった。2000年頃に報告されたlook-locker法は、現在では広く定着し、短時間でT1 mappingを得ることができるようになった⁵⁾。Dixon法の応用では、T2*値、脂肪、水の比率を計測可能となり⁶⁾、1995年に登場したMR elastographyでは肝の硬度計測を可能とした⁷⁾。拡散強調画像からは多くの定量値に関する報告が散見される。拡散強調画像における信号減衰曲線はbi-exponential modelによく当てはまるため、この解析からはサンプルするb値の密度により灌流情報、真の拡散情報⁸⁾、拡散尖度情報⁹⁾の3つに分けることが可能で、すでに腹部領域での解析にも応用されている。さらに最近では、膝軟骨で応用されていたT1ρ (spin-lattice relaxation in the rotating frame)を肝の線維化診断に応用した報告も見られる¹⁰⁾。

超音波

超音波診断装置は、組織によるエコーインピーダンスの違いを用いて画像化しているが、リアルタイムの形態診断に加えてドプラエコーによる血流情報など、CTやMRIとは異なる動的な情報も併せ持つ。局所解像度に優れる超音波検査では、造影超音波検査を併用することで腫瘍の血行動態を詳細に観察することが可能である。MRIではelastographyによる肝の線維化診断が加速したが、超音波においてもshear wave法やstrain imaging法などの新たな定量手法が登場しており、肝の線維化診断に臨床応用されている。CTやMRIと比べると超音波診断装置は小型で比較的安価であり、検査の簡便性からも肝に代表される多くの領域における第一選択とされるモダリティとなっている。そのため、臨床データの蓄積も早く、最新の患者情報を反映した臨床知見が得られるのも特徴である。

IVR

interventional radiology (以下、IVR)という言葉が世に普及する契機となったのは、1976年にSidney Wallaceにより発表された“Interventional Radiology”という総説とされている¹¹⁾。当初は露出血管や直接穿刺による造影が行われていたが、1950年代に入り、Sven Ivar Seldingerにより経皮的血管内カテーテル挿入法が報告されると¹²⁾、現代における大腿動脈経由のセルジンガー法による選択的動脈造影法が開始された。ガイドワイヤ、カテーテル、塞栓物質、バルーンなどのデバイスの進歩とともに、画像診断装置の発展により、低侵襲かつ高精度な治療として適応が大きく拡大している。IVR-CTの登場や“Real-time Virtual Sonography” (日立社)などの新技術もすでに臨床に取り入れられており、IVR治療は新たな時代を迎えている。

PET/CT

FDG-PETは1977年に開発され、国内では1982年に国立大学初のPET装置が京都大学に設置された。1998年に世界初のPET/CTが米国ピッツバーグ大学に設置され、臨床研究にも応用され始めた。2010年に国内での保険適用疾患が「早期胃癌を除くすべての悪性腫瘍」へと拡大され、FDG-PET/CTの検査件数は全国的に増加した。現在ではてんかん、心疾患、悪性腫瘍に対して臨床現場で広く使用されており、ほかのモダリティとはまったく異なる糖代謝能という機能画像情報を得ることができる。腹部領域においては、肝細胞がんや腎細胞がんへのFDG集積が弱いことや、CTやMRIと比較して空間分解能に劣る点でルーチン検査とならない場合も多い。しかしながら、新たな核種の開発や定量法などにより、診断画像から機能画像へといち早く発展を遂げている分野であり、今後は広い領域で画像診断と核医学診断/治療の融合が訪れるであろう。



腹部領域に関連する画像診断技術の簡単な歴史と現状における総論を述べた。詳細な個々の最新技術については各稿を楽しみにしたい。また、これら画像診断技術の融合における鍵となっているIT技術についても、今後の人工知能時代を見据えた現時点でのdeep learningの状況などを踏まえてエキスパートに解説をお願いしている。さまざまな科学分野における日進月歩の開発と製品化に至る多くの努力、放射線医学診療の発展を支えるすべての方々に感謝したい。

●参考文献

- 1) Latour, P. : Radiomics Could Change Role of Radiologists. <http://www.rsna.org/NewsDetail.aspx?id=14704>
- 2) Daher, N.M. : Radiomics Come of Age at RSNA 2015. <http://www.diagnosticsimaging.com/rsna-2015/radiomics-come-age-rsna-2015>
- 3) Roos, B.O., Sköldbörn, H. : Dual photon absorptiometry in lumbar vertebrae. I. Theory and method. *Acta Radiol. Ther. Phys. Biol.*, **13**・3, 266 ~ 280, 1974.
- 4) Damadian, R. : Tumor Detection by Nuclear Magnetic Resonance. *Science*, **171**, 1151 ~ 1153, 1971.
- 5) Deichmann, R., Hahn, D., Haase, A. : Fast T1 mapping on a whole-body scanner. *Magn. Reson. Med.*, **42**, 206 ~ 209, 1999.
- 6) Yu, H., McKenzie, C.A., Shimakawa, A., et al. : Multiecho reconstruction for simultaneous water-fat decomposition and T2* estimation. *J. Magn. Reson. Imaging*, **26**, 1153 ~ 1161, 2007.
- 7) Muthupillai, R., Lomas, D.J., Rossman, P.J., et al. : Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves. *Science*, **269**, 1854 ~ 1857, 1995.
- 8) Ichikawa, S., Motosugi, U., Ichikawa, T., et al. : Intravoxel incoherent motion imaging of focal hepatic lesions. *J. Magn. Reson. Imaging*, **37**, 1371 ~ 1376, 2013.
- 9) Goshima, S., Kanematsu, M., Noda, Y., et al. : Diffusion kurtosis imaging to assess response to treatment in hypervascular hepatocellular carcinoma. *Am. J. Roentgenol.*, **204**, W543 ~ W549, 2015.
- 10) Takayama, Y., Nishie, A., Asayama, Y., et al. : T1ρ Relaxation of the liver ; A potential biomarker of liver function. *J. Magn. Reson. Imaging*, **42**, 188 ~ 195, 2015.
- 11) Wallace, S. : Interventional Radiology. *Cancer*, **37**, 517 ~ 531, 1976.
- 12) Seldinger, S.I. : Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography ; A new technique. *Acta Radiol.*, **39**, 368 ~ 376, 1953.