



マルチモダリティによる

Cardiac Imaging 2019

技術編

個別化循環器診療のフロンティア：
進化し続ける心臓画像診断

企画協力

町田 治彦 杏林大学医学部放射線医学教室准教授

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：

心臓CTの最新動向と今後の展望
北川寛也(三重大学)

1. 心臓領域におけるCTの包括検査の現状と展望
松田卓也/城戸輝仁(愛媛大学)
2. Fast kV switching方式デュアルエネルギーCTの心臓領域での適応
太田靖利(国立循環器病研究センター)
3. 2層検出器搭載CTによる心臓領域でのデュアルエネルギーCTの現状と展望
望月純二(みなみ野循環器病院)
4. 心臓領域における超高精細CTの有用性
千葉工弥(岩手医科大学附属病院)
5. SHDインターベンションにおけるCTの位置づけ
山田祥岳(慶應義塾大学)
6. FFR_{CT}による虚血評価と今後の展望
松尾仁司(岐阜ハートセンター)
7. Revolution CTによる心臓検査の実際
松崎静信(小倉記念病院)
8. カルシウムスコアリングおよび非侵襲的虚血評価の実際
吉田守克(天草地域医療センター)

II MRIのベネフィット&ポテンシャル

●イントロダクション：

心臓MRIの最新動向と今後の展望
長尾充展(東京女子医科大学)

1. MRIによる心アミロイドーシス診断の現状と展望
—T1 mappingを含めて
尾田清太郎(熊本大学)
2. 先天性心疾患における心臓MRIの位置づけ
—4D flow MRIも含めて
稲毛章郎(榊原記念病院)
3. 圧縮センシングを用いた心臓MRIの実際
城戸倫之/中村壮志(愛媛大学)
4. MRIでの心筋虚血評価の有用性と将来展望
石田正樹(三重大学)

III USのベネフィット&ポテンシャル

●イントロダクション：

心エコー検査の最新動向と今後の展望
瀬尾由広(筑波大学)

1. SHDインターベンションにおけるUSの位置づけ
出雲昌樹(聖マリアンナ医科大学)
2. 心臓領域におけるフュージョンイメージングの有用性
高谷陽一(岡山大学)

IV DAのベネフィット&ポテンシャル

●イントロダクション：

心臓領域のインターベンションにおけるハード・ソフトウェアの最新動向と今後の展望
福田哲也(国立循環器病研究センター)

1. SHDインターベンションで求められる血管撮影装置の現状と将来展望
林田健太郎(慶應義塾大学)

2. 末梢血管形成術で求められる血管撮影装置とその使用経験
宮下裕介(長野赤十字病院)

V 核医学診断装置のベネフィット&ポテンシャル

●イントロダクション：

心臓核医学検査の最新動向と今後の展望
福島賢慈(埼玉医科大学国際医療センター)

1. 半導体検出器搭載SPECTによる心筋虚血評価の実際
蟹沢 充/井口信雄(榊原記念病院)

VI ITのベネフィット&ポテンシャル

●イントロダクション：

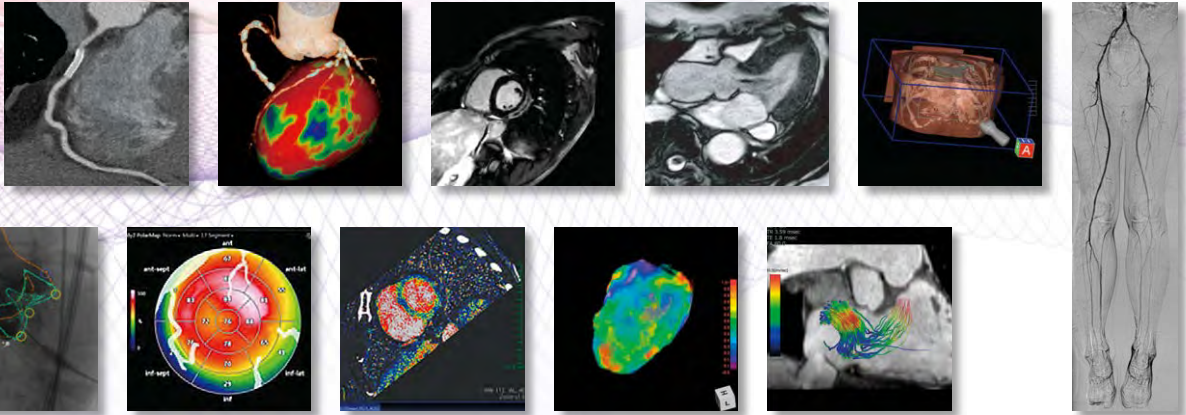
心臓領域におけるITおよびAI技術の最新動向と今後の展望

- 小林泰之(聖マリアンナ医科大学)
1. 心臓領域におけるディープラーニングの動向と展望
木藤雅文(熊本大学)
2. 血管造影画像をベースとした機能的虚血評価(QFR解析)の有用性
江守裕紀(和歌山県立医科大学)
3. TAVIにおける術前シミュレーションソフトウェアの使用経験
鳥飼 慶(獨協医科大学埼玉医療センター)
4. 心筋パーフュージョンCTにおける撮影および画像処理の実際
富澤信夫(新東京病院)

インナービジョン4月号と5月号恒例のマルチモダリティ特集。2019年は、「個別化循環器診療のフロンティア：進化し続ける心臓画像診断」をテーマに、心臓領域を取り上げます。ゲノム解析などの技術革新により個別化医療が進むなか、画像診断においても人工知能(AI)の開発やradiomicsの研究など、個別化医療に向けた動きが加速しています。心臓領域では、形態だけでなく機能情報を組み合わせた検査・診断技術が広がりを見せており、その歩みはとどまることを知りません。

そこで、4月号は、モダリティ別に技術進歩の最新動向を取り上げます。さらに、5月号では、それらの技術が臨床の場で、どのように活用されているのかをご報告いただきます。

(各モダリティ別にメーカー名五十音順掲載：用語表記はメーカー規定に準ず)



総論

マルチモダリティによる 心臓画像診断のトレンド ——非侵襲的にどこまで迫れるか

町田 治彦 杏林大学医学部放射線医学教室

個別化医療の概念は、医療ビッグデータ時代の到来により、第96回北米放射線学会(RSNA 2010)のテーマでもあった「Personalized Medicine」から「Precision Medicine」に拡張され、がんの分野を中心に普及してきている。個別化ないしは層別化された個人に対する精密医療の実践において、循環器領域ではマルチモダリティによる心臓画像診断の役割は非常に大きいと思われる。

前回(2017年)の本誌におけるマルチモダリティによる心臓画像診断特集では、「心機能と形態の包括評価が臨床を変える」をテーマとして、ハード・ソフト両面における最先端技術とその臨床応用が詳細に解説されている。今回、2019年4月号・5月号の特集では、「個別化循環器診療のフロンティア：進化し続ける心臓画像診断」をテーマとして、4月号で「技術編」、5月号で「臨床編」の構成となっている。最近、

心臓を含む画像診断でも人工知能(AI)の臨床応用が空前のブームを迎え、ホットな話題となっている。今回の特集では、特に同分野の急速な発展を実感できるであろう。その他の分野でも心臓画像診断は絶えず進化し続けており、新たに登場した最先端技術も少なくない。今回はまだ研究の意味合いが強かった最先端技術も、この2年間でかなり成熟し、臨床に深く根差してきている。

本稿では、臨床におけるマルチモダリティによる非侵襲的な心臓画像診断の最近のトレンドを概説し、本特集の導入としたい。

検査数の傾向

「循環器疾患診療実態調査報告書(2017年度実施・公表)」(http://www.j-circ.or.jp/jittai_chosa/jittai_chosa_2016web.pdf)によると、本邦における2017年度の心臓CT、MRI、超音波、血管造影、核医学検査の全国合計数は、それぞれ約47万件、4万件、550万件、80万件、23万件に上る。血管造影を除く非侵襲的な心臓画像診断として、被ばくや造影剤が不要で、安価かつ簡便にベッドサイドで施行できる超音波が最多であるのは納得できるが、CTがそれに次ぐ形となっており、核医学の倍に及ぶのは驚きである。MRIは被ばくなく包括的心臓検査が可能であるが、特に長い検査時間がネックとなり、CTの約1/10にとどまっている。直近5年間でCTとMRIは増加傾向にあり、その他の検査はほぼ横ばいである。診療報酬体系における冠動脈CTや心臓MRI加算の下支えも一部影響しているかもしれないが、心臓CT・MRIの急速な技術的進歩には特に目を見張るものがある。

CT

心臓CTは2000年代中頃に64列CTが登場すると、瞬く間に広く日常臨床に普及していった。2000年代後半には2管球CT、面検出器CT、高分解能CTなど、メーカー独自の長を有するハードウェアが出現し、しばらく多方向性に開発が進んだが、近年ではそれも収束に向かいつつある¹⁾。こうして、心臓全体を同時相かつ高時間・空間分解能で撮影することで、容易に良好な冠動脈イメージングが可能となっている。冠動脈CT判定困難の原因の一つとして問題となる高度石灰化に対しては、高精度サブトラクション技術やデュアルエネルギーCTによる石灰化除去、超高精細CTによるブルーミングアーチファクト低減などの応用が試みられている。同時に逐次近似再構成などによる被ばく低減技術

の開発も進み、心臓CT検査のハードルはかなり下がっている。こうして、心臓CTの検査数は増加の一途をたどっている。

一般的に、CTはMRIと比べて形態的評価に優れるが、コントラスト分解能が低く、機能的評価では劣る。デュアルエネルギーCTは2管球方式、高速管電圧スイッチング方式、2層検出器方式などで2種類のX線エネルギーのデータを取得することにより、さまざまな仮想単色X線画像や物質弁別画像などを作成でき、冠動脈や心筋などのコントラスト分解能の改善にも期待が寄せられている¹⁾。従来、心臓MRIで包括的検査として行われてきた心筋灌流の評価や遅延造影効果に基づく心筋梗塞・線維化などの評価も、心臓CTで十分実現可能となってきている。実際、まだ一部の施設ではあるが、ルーチンとしてCTによる包括的心臓検査が施行され、心筋血流量や細胞外液分画(以下、ECV)などの定量評価も行われている。

2018年度の診療報酬改定により、安定冠動脈疾患に対して待機的に施行する経皮的冠動脈インターベンション(以下、PCI)について、原則として、冠血流予備量比(以下、FFR)測定などの術前検査により機能的虚血の存在が示されていることを算定要件とされた。近年、ハートフロー社は、冠動脈CTの三次元形態データに基づく流体力学解析により非侵襲的にFFRを算出する方法“ハートフローFFR_{CT}”を開発した。2018年12月1日よりこのハートフローFFR_{CT}が本邦で保険適用となり、心臓CTで機能的虚血を評価することが今後は標準的になっていくであろう。ただし、日本循環器学会の「FFR_{CT}の適正使用指針」(http://www.j-circ.or.jp/topics/FFRCT_tekisei_shishin.pdf)などを参考にして、このFFR_{CT}を適切に活用されることが望まれる。ハートフローFFR_{CT}は、PCIや冠動脈バイパス術のシミュレーションによる治療効果予測にも期待が寄せられている²⁾。

近年、大動脈弁狭窄や僧房弁閉鎖不全などの弁膜症をはじめとする構造的な心疾患(structural heart disease: SHD)に対するインターベンションが脚光を浴

びてきている。その治療支援として心臓超音波の有用性が確立しているが、CT・MRIの需要も増加してきている。特に、経カテーテル大動脈弁留置術(TAVI)においては、治療前後でのCT評価が不可欠と言えよう。

MRI

心臓MRIは、シネ画像、T2強調画像、心筋灌流画像、遅延造影画像、冠動脈MRAなどを撮像することにより包括的心臓検査が可能であり、その臨床的有用性は確立している。一方、心臓MRIはCTと比べて検査が煩雑で時間が長くなるため、その臨床における普及は十分とは言えない現状である。最近、オペレータ支援システムや圧縮センシングを含む高速撮像技術などの普及が進んできており、心臓MRI検査のハードルが下がり、その有用性をより多くの患者が享受できるようになることが望まれている。

本邦において、心臓MRIは遅延造影画像などによる心筋性状評価目的で施行されることが多く、各種心筋疾患の鑑別診断や予後予測などに有用である。従来、この評価は相対的で定量性に欠け、遅延造影画像では造影剤が必要である。これらの弱点を克服する技術として、心筋T1マッピングやECVの定量評価が急速に普及してきており、心筋T2、T2*、T1 ρ マッピングの臨床応用も期待されている³⁾。こうして、1回の検査で多様な心筋障害のバイオマーカーを取得可能となっている。

そのほか、心筋ストレイン解析による心機能評価は、臨床において有効活用が進んでいる。CTでは困難な4Dフローによる血流可視化技術も成熟しつつあり、これは詳細な血行動態の評価に有益である。先天性心疾患の機能評価にも、被ばくがなく、造影剤が必須でないため、心臓超音波とともにMRIの位置づけがますます高まってきている。

US

心臓超音波は、ほかのモダリティと比べて非侵襲性、簡便性、携帯性、経済

性、リアルタイム性に優れ、循環器診療において最も普及し、施行頻度は高く、その適応も多岐にわたる。心臓の形態・機能評価に基づくスクリーニング、診断、経過観察のみならず、近年、SHDに対するインターベンションの普及が進むにつれて、術中ガイドとしての役割も重要性が増してきている。

SHDの治療支援としては、3D・4D超音波技術や経食道超音波とX線透視画像とのフュージョン技術が発達してきている。そのほか、心臓超音波でもCTやMRIとのフュージョン技術や血流可視化技術などの臨床応用が期待されている。また、スペックルトラッキング法によるストレイン解析に基づく心機能評価も注目を集めてきている。

核医学

心臓核医学は、優れた客観性・定量性に基づく豊富なエビデンスの蓄積があり、虚血性心疾患を中心に診断、重症度判定、治療戦略、予後予測に不可欠な検査と言える。近年、高感度、高空間分解能、高エネルギー分解能を特長とする半導体検出器搭載心臓専用SPECTが臨床において浸透してきている。これは検査時間の短縮、被ばくの低減、診断能の向上につながるだけでなく、PETでないと困難であった心筋血流予備能などの絶対値による定量評価も可能としている⁴⁾。

PETは多彩なトレーサーを用いて、臓器・病変に関する生理的・生化学的な機能情報を視覚化でき、定量性にも優れるという特長を有する。PETでは、心筋血流評価、心筋代謝評価、交感神経イメージングなどが可能であるだけでなく、心サルコイドーシスや高安動脈炎などの大型血管炎における活動性炎症の診断にも有用であり、保険適用も拡大してきている。

また、SPECTやPETでは得られない詳細な解剖学的情報を補うため、CTのような形態画像とのフュージョン技術もかなり発達してきている。心臓核医学の診断においてAI活用の試みも進んでいる⁵⁾。

一方、温故知新というべきは、ピロリン酸心筋シンチグラフィを用いた心アミロイドーシスの診断であろう。従来、本検査は心筋梗塞の診断に使用されてきたが、ほかの画像診断の進歩や優れた血清マーカーの登場により、その適応はいったん激減した。近年、心アミロイドーシスの治療法が発達し、心臓MRIとともにピロリン酸心筋シンチグラフィによる本症の早期診断・病型診断が注目を集めている。

◎

これらのモダリティはそれぞれの長所を増強し、短所を克服すべく、絶えず進化している。ハード・ソフト両面の改良・開発は着実に前進し、ほかのモダリティとの協調・融合も行われている。こ

うして誕生した技術は臨床に大きなインパクトをもたらし、それが新たな技術革新に拍車をかけるという形で、技術と臨床が互いに良い触媒となり、心臓画像診断は急速な進歩を遂げている。最近では、特にIT・AI技術の発展も目覚ましく、心臓画像診断がフロンティアとなり、循環器領域における「Precision Medicine」の実践が促進されていくことが期待される。

●参考文献

- 1) Machida, H., Tanaka, I., Fukui, R., et al. : Current and Novel Imaging Techniques in Coronary CT. *Radiographics*, **35**, 991 ~ 1010, 2015.
- 2) Feldmann, K., Cami, E., Safian, R.D. : Planning percutaneous coronary interventions using computed tomography angiography and fractional flow reserve-derived from computed tomography ; A state-of-the-art review. *Catheter. Cardiovasc. Interv.*, **93**, 298 ~ 304, 2019.
- 3) Messroghli, D.R., Moon, J.C., Ferreira, V.M., et al. : Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume ; A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*, **19**, 75, 2017.
- 4) Ben-Haim, S., Murthy, V.L., Breault, C., et al. : Quantification of myocardial perfusion reserve using dynamic SPECT imaging in humans ; A feasibility study. *J. Nucl. Med.*, **54**, 873 ~ 879, 2013.
- 5) Nakajima, K., Kudo, T., Nakata, T., et al. : Diagnostic accuracy of an artificial neural network compared with statistical quantitation of myocardial perfusion images ; A Japanese multicenter study. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, **44**, 2280 ~ 2289, 2017.