

特集

# マルチモダリティによる Cardiac Imaging 2017

企画協力

高瀬 圭

東北大学大学院医学系研究科  
放射線診断学分野教授

心機能と形態の  
包括評価が  
臨床を変える

特集2 5月号【臨床編】予告

## I CTのストラテジー & アウトカム

### ●イントロダクション：

- 心臓CTの最新動向と今後の展望  
東 将浩 (大阪医療センター)
- CTによる心臓の包括検査の実際  
北川寛也 (三重大学)
  - CTで心筋虚血を見る：FFR、ECV定量  
評価法  
後藤義崇 (三重大学)
  - FFR-CTに基づくPCI戦略  
藤本進一郎 (順天堂大学)
  - 超高精細CTの展望  
高木英誠 (岩手医科大学附属病院)
  - ADCTによるワンストップ心臓CT  
山口隆義 (華岡青洲記念心臓血管クリニック)
  - 高速kVp Switching法デュアルエナジー  
GSIに対する心臓領域の臨床的有用性  
太田靖利 (鳥取大学)
  - 循環器領域におけるハイエンドDSCTの  
臨床的有用性  
堀井陽祐 (新潟大学)
  - 心臓CTにおけるフィリップス社製装置の  
使用経験  
片平和博 (熊本中央病院)

## II MRIのストラテジー & アウトカム

### ●イントロダクション：

- 心臓MRIの最新動向と今後の展望  
天野康雄 (日本大学)
- MRIによる心臓の包括検査の実際  
城戸倫之 (愛媛大学)
  - MRIによる心筋血流評価  
石田正樹 (三重大学)
  - CMR parametric mappingによる心筋性状評価  
尾田清太郎 (熊本大学)
  - 心臓特化型イメージングセンターにおける  
MRI検査と診断の実際  
寺島正浩 (心臓画像クリニック飯田橋)
  - 心筋症におけるMRIの有用性  
寺岡邦彦 (榊原記念クリニック)

## III DAのストラテジー & アウトカム

### ●イントロダクション：

- 心臓CT・MRI時代の血管造影  
中田 充 (東北大学病院)
- 肺動脈IVRのためのDA戦略  
大下亮介 (東北大学病院)
  - 最新血管撮影装置を用いた循環器領域の  
検査と治療の実際  
千葉 健 (しらかぎクリニックハートセンター)
  - 島津血管撮影システムTriniasの使用経験  
坂上祐司 (東住吉森本病院)

## IV PET/CTとSPECT/CTの ストラテジー & アウトカム

### ●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  
玉木長良 (北海道大学)
- 心臓専用SPECT：心臓核医学の新しい時代  
松本直也 (日本大学)
  - PET/CTによる心筋性状診断  
真鍋 治 (北海道大学)
  - 心筋SPECT検査による心機能の定量解析  
宮川正男 (愛媛大学)
  - 心臓領域におけるIQ・SPECTの有用性  
奥田光一 (金沢医科大学) / 中嶋憲一 (金沢大学)
  - 最新SPECTを用いた循環器診療の実際  
血井正義 (藤田保健衛生大学)

## V USのストラテジー & アウトカム

### ●イントロダクション：

- 心臓超音波検査の最新動向と今後の展望  
中谷 敏 (大阪大学)
- 循環器診療における東芝メディカル  
システムズ社製超音波診断装置の使用経験  
渡辺修久 (岡山大学病院)
  - 心臓疾患におけるフィリップス社製  
超音波診断装置の使用経験  
赤木禎治 (岡山大学)

## VI ITのストラテジー & アウトカム

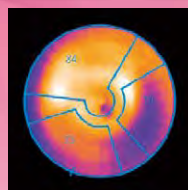
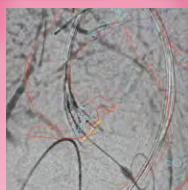
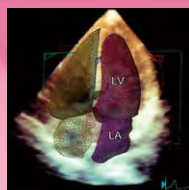
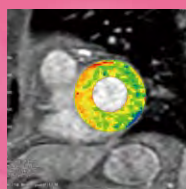
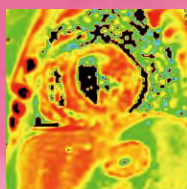
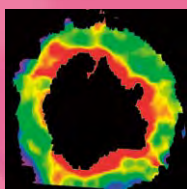
- 冠動脈MMARからの機能画像診断  
(心筋SPECT, 心筋perfusion)の実際  
城戸輝仁 (愛媛大学)
- 循環器診療における最新ワークステーション  
の活用  
望月純二 (みなみ野循環器病院)
- 循環器診療における動画ネットワーク  
システムの使用経験  
松尾仁司 / 谷垣 徹 (岐阜ハートセンター)
- TAVR術後評価におけるZiostation2の  
使用経験  
林田健太郎 (慶應義塾大学)

2017年4月号・5月号のマルチモダリティ特集では、「心機能と形態の包括評価が臨床を変える」をテーマに、心臓領域に焦点を当てます。

心臓領域の画像診断は、モダリティのハードウェア・ソフトウェア技術の進歩により、従来の形態情報だけでなく、機能を解析し、それらの情報を組み合わせた包括的な評価が行われるようになっていきます。

そこで、4月号では、モダリティごとに技術の到達点を取り上げます。また、5月号では、新技術や診断法がどのように臨床応用され、どのように診断・治療に影響を与えている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

# 心臓画像発展の歴史と 今後への期待

高瀬 圭 東北大学大学院医学系研究科放射線診断学分野

毎年恒例となった、「マルチモダリティによる画像診断特集(技術編・臨床編)」であるが、2017年4月号・5月号では、心臓領域に焦点を当て、「マルチモダリティによるCardiac Imaging 2017」と題して企画し、4月号で【技術編】、5月号で【臨床編】を取り上げることとした。

心臓領域の画像技術と臨床についての巻頭言として、その歴史と各モダリティの概観を述べさせていただく。

## 歴史

心臓領域のカテーテル検査は、かなり歴史を遡ることができる。ドイツの医師であったWerner Forssmannは、心臓には直接カテーテルを到達できるはずで、造影をしたり、圧を測ったり、薬剤を注入したりすることが可能であると考えた。当時は、こんなことをすれば致死的事態に至ると考えられていたにもかかわらず、

Forssmannは1929年に教授の了解を得ずに、看護師の協力の下に自らの腕を切開して尿道用のカテーテルを自らの右心房に挿入し、さらには自分で歩いて階段を降りて放射線室に行き、透視下に右心室までカテーテルを進め、さらには、実際にカテーテルが右心房内にあることをX線撮影にて記録したとされている<sup>1)</sup>。1904年の生まれなので、25歳時のことと思われる。その後、筆者も留学していたベルリンのシャリテ病院を追われるな



どの事態もあったようだが、この業績により1956年のノーベル医学生理学賞を受賞している。自らの命を危険にさらしながらの本研究に始まってから、すでに90年近くの歴史があることになる。右心系は、静脈からの到達が可能な第一の臓器であったことも、カテーテル検査・治療の歴史が心臓から始まった理由かもしれない。

これに対して、動きのある心臓を撮像する心臓CT・MRIは、最も技術的に難しい部位であり、正確な血管描出においては、心電図同期技術の成熟を待たねばならない領域であった。三次元血管描出は、撮像範囲の限られる頭蓋内のMRAや頸部から始まり、腹部臓器、大動脈、下肢などへと発展し、MDCT、MRIの高速化とともに評価範囲が急速に拡大していった。冠動脈についても、電子ビームCTやMRIにより、1990年代から果敢に描出への挑戦が試みられたが、真の実用化は64列MDCT以降と考えられる。

CTの発明は、放射線関係者であればよく知っているとおおり、Godfrey Hounsfieldの1972年の発表によるものであり、当初は脳のCTによる発表であったが、1975年には全身用の装置が開発されている。先の心臓カテーテルの43年後であるが、こちらは1979年にノーベル医学生理学賞を受賞している。心臓の評価への熱意は当時から大きかったと思われ、CT発明のわずか4年後の1976年には、正常および心筋梗塞のCT評価についての論文が、Adamsらにより“Computed tomography of the normal and infarcted myocardium”と題して*American Journal of Roentgenology*に発表されている<sup>2)</sup>。この時点ではスキャン速度ももちろん遅いため、イヌの摘出心臓による評価であるが、血液を生理食塩水で置換後に心内腔と心筋や乳頭筋が描出されることを示しており、また、造影剤注入5分後にイヌを犠牲死させた後のCTにて、血液腔に加えて心筋が造影されることを示している。さらには、心筋虚血モデルが作成され、やはり犠牲死の後の撮影ではあるが、造影CTによる心筋虚血のCT評価が造影不良域として描出されることまでも報告されている。

この論文では、心筋梗塞の2日後に梗塞部心筋のCT値が上昇することも述べられているが、心筋の状態を断層画像にて評価しようとする試みは、この時代にまで遡るようである。

さらに歴史を紐解くと、筆者の属する東北大学放射線医学教室(当時)の出身であり、当時の東北帝国大学卒の高橋信次博士が、1950年代に「X線廻転断層撮影法」の研究に従事し、1954年には廻転横断撮影による肺結核症の診断を行い、1957年には、“Rotation Radiology.”と題した論文を、*Japan Society for the Promotion of Science*に発表している<sup>3)</sup>。当時は、コンピュータがまだ発達していなかったため、アナログでの断層画像であったが、この論文中でも右心房、右心室、肺動脈を含めた心臓断面のスキャンが提示されている。HounsfieldのCT発明の15年前に、こうした研究と開発がわが国で行われていたことは、誇るべきことであると考えられる。その後も、電子ビームCTを用いた心筋虚血描出の臨床研究が、1990年代前半に、国立循環器病センター(当時)の内藤博昭先生や齋藤春夫先生により行われ、虚血部位の“early defect, late enhancement”が提唱され、現在の心筋評価へとつながっている。

心臓の超音波検査については、これも本学のことを取り上げて恐縮ではあるが、東北大学の田中元直名誉教授が、内科学大学院時代から取り組んだ研究により、1964年には世界で最初の「超音波心拍同期心臓断層法」、1965年の「経胸壁超音波心臓断層法」が、超音波心臓病学の始まりであろう。その後も、ドプラ血流計測法の開発と応用や、東北大学工学部との共同研究による組織音響特性の研究が行われた<sup>4)</sup>。1970年代からは、リアルタイム二次元心エコー装置が普及し始め、Mモード画像の「雲のような図形」と批判されることもあった時代から断層画像を目にするに至り、心臓診断の革命となり今日への発展に至っている。

## CT

MDCTによる冠動脈評価は急速に普及し、検査件数の急激な増加が続いて

いる。大学病院や心臓専門病院のみならず、一般的な病院でのルーチン検査の段階にまで普及したが、その適切な使用と被ばく管理には課題が残っている印象である。診療報酬との関連もあり、わが国ではMDCTの多くが64列以上となり、多くの病院でハードウェア的に心臓CTが可能な状況であることも、普及に貢献していると思われる。CTは、エリアディテクタCT(ADCT)やdual source CT(DSCT)などが普及し、デュアルエナジーイメージング、被ばく低減などのアプリケーションの開発も進んできた。日本の診療放射線技師は非常に優秀であり、被ばく低減のための撮影法や少量造影剤での心臓CT撮影に対応し、良質の画像診断の支えとなっている。

心筋血流については、核医学による長い評価の歴史から、エビデンスのある心筋シンチグラフィを中心に行われてきた後に、MRIによる心筋血流評価が注目されてきたが、最近では被ばく低減技術や再構成法の改善により、CTによる心筋perfusionや遅延造影の評価の研究へと進んできており、従来MRIで行われてきた評価法を、CTでも可能にしようとする流れがある。MRIのお家芸であった心臓包括評価もCTで可能となりつつある。さらには、冠血流予備能比(以下、FFR)による心臓インターベンションの適応決定がなされる時代となった中で、低侵襲のFFR-CTにより、経皮的冠動脈形成術(PCI)戦略を行うための評価技術開発とその評価の研究が進んできている。技術的には、冠動脈CTの限界の原因となる石灰化や分解能の制限をサブトラクション法やデュアルエナジー、超高精細CTで克服する挑戦も続いている。

## MRI

MRIでは、シネ画像や遅延造影を含む評価の中に、空間分解能の関係からCTには及ばないものの冠動脈の評価も加えられ、包括評価がなされるようになっていく。MRIも、高速撮像技術や位置決め自動化などの実用化が進み、撮像技術の標準化、簡便化が行われ、より施行しやすい検査となってくることが

期待される。T1値計測により、造影剤を使用しない心筋性状評価も可能となり、心筋症のみならず、各種疾患への応用も期待される。

## DA

歴史の長い心血管造影ではあるが、IVRの多様化と進歩に伴い、より安全なIVR施行のために、ほかのモダリティとの連携によるIVR支援が進んでいる。筆者も複雑な心血管系IVRを行う立場として、適切なマッピングがなされているか、術中に三次元的血管解剖を迅速に把握しやすい状態で画像観察が可能かが、IVRの成否を握る場面も少なからずあり、この領域の発展が期待される。また、ハイブリッド手術に対応したハードウェアやソフトウェアの充実も、最近の特徴である。

## 核医学

長い歴史と多くの研究により、血流評価や予後予測の最も信頼できるモダリティであるが、心臓CT、MRIの普及により、適切な使い分けが求められるよう

になってきている。核医学自体の新たな進歩として、心臓専用SPECTやPETによる心筋性状診断、定量解析などの新しい技術が開発され、また、解剖学的画像とのフュージョン画像による診断と治療方針決定法の進歩も見られ、今回はこれらを紹介していただく。

## US

最も普及している画像診断装置であるが、計測の簡便化や解析ソフトウェアの進歩、ワークステーションでの解析やレポートシステムシステムの改善などの進歩が続いており、血流可視化技術、スペックトラッキングなど諸技術のさらなる発展が期待される。

## IT

マルチモダリティ技術が発展するとともに、それらを統合的に解析、保管して診療に役立てるITは重要性を増し、CT、MRIなどの解剖学的画像と核医学を主体とする機能画像の融合により、多種類の検査を統合的に観察して診療に役立て、また、解析に要する労力を可能な

限り低減し、標準化する試みが今後も続くと思われる、それらのup-to-dateな部分を紹介していただく。

◎

心臓の画像診断は、長い歴史を有し、各種モダリティが切磋琢磨しながら、時に競合し、時に協調しながら大きく発展してきた。臨床の立場としては、個々のモダリティの特徴と最新の技術的進歩に常に注意を払って、診療の最適化を行うとともに、臨床的ニーズを模索して技術的發展につなげていくことが重要である。本特集にて技術的、臨床的進歩をupdateして、今後の診療に役立てていただきたい。

### ●参考文献

- 1) Forssmann, W.G., Hirsch, J.R. : 50 years Nobel Prize : Werner Forssmann and the issue of commemorative stamps. *Eur. J. Med. Res.*, **11**, 406 ~ 408, 2006.
- 2) Adams, D.F., Hessel, S.J., Judy, P.F., et al. : Computed tomography of the normal and infarcted myocardium. *Am. J. Roentgenol.*, **126**, 786 ~ 791, 1976.
- 3) Takahashi, S. : Rotation Radiography. *Japan Society for the Promotion of Science*. 1957.
- 4) Ultrasound prize of Japan Society of Ultrasonics in Medicine. *J. Med. Ultrasonics*, **27**, 1281 ~ 1283, 2000.