

## 特集 最新の画像診断法とその応用～機器メーカーによる最新情報～

### 1. 最新のMR撮像技術による小児心臓MRI

武村 濃, 諏訪 亨, 勝又康友, 松本光代, 飯沼賢事

株式会社フィリップスエレクトロニクスジャパン

#### Pediatric cardiac MR imaging with current MR technology

Atsushi Takemura, Akira Suwa, Yasutomo Katsumata, Mitsuyo Matsumoto, Kenji Iinuma

Application Specialist-MR, Application Support Group, CS&Operations, Healthcare, Philips Electronics Japan, Ltd.

#### Abstract

The non-invasive pediatric cardiac MRI study without radiation or contrast agents has been of much interest recently.

But as for the pediatric or infant patients, it has been very difficult to obtain satisfactory MRI images due to their higher heart rate (about 100bpm) and small heart size.

We can provide many kinds of receiver coils, so that the best coils for pediatric or infant patients are available.

As a result we can obtain the best image quality with high signals and high special resolution.

In the future we shall contribute to the common usage of pediatric cardiology by means of the outstanding technological advances of receiver coils and other specialized applications of pediatric cardiac MRI.

**Keywords :** *Pediatric cardiac MRI, Pediatric's surface coil, 3D volume data, Functional imaging, Flow velocity analysis*

#### はじめに

心臓は心拍動と呼吸により様々な方向に常に動いている臓器である。従来、MRIは動きに対して弱い撮像装置であったが、心拍動と呼吸に対する正確な同期法<sup>1)</sup>、またパラレルイメージング<sup>2)</sup>による高速撮像法や血液信号を高信号に描出する新しい撮像シーケンス等の進歩に伴い、現在、心臓領域のMRIは多くの施設で普及しつつある。その中でも、小児の心臓検査においては、被ばくや造影剤の観点から非侵襲的なMRIで撮像したいとの要望が高まっている。乳幼児の小さい心臓と体型、100回/分前後の高心拍数により、従来のMRI装置では明瞭な画像を得ることは困難であったが、最新のMRI装置では豊富な受信コイルのライン

ナップにより、体型に応じた最適なコイルを選択することで、高い信号強度を確保することができ、高空間分解能画像を実現できる。さらに高心拍数に対しても自由度の高いパラメータ群を適時、最適化することで、小児心臓MRIを確実に施行することが可能となる<sup>3)</sup>。今回は、小児心臓MRIに対する撮像技術の紹介を行う。

#### 受信コイル

乳幼児を対象とした場合には、局所的に感度の高い受信コイルが望まれるため、コイル径の小さい受信コイルを選択することが重要となる。パラレルイメージング対応の受信専用フェーズドアレイコイルとして、1エレメントのコイルが11cm & 14cm径の2チャンネルフェーズドアレイコイルと



9cm径の32チャンネルフェーズドアレイコイルがある。小さい体型に合った適正な受信コイルを装着することで、鮮明な心臓MRI画像を得ることができる。また、2チャンネルのフェーズドアレイコイルではパラレルイメージング使用時、最大2倍速までの設定となるが、32チャンネルコイルでは、4倍以上の設定が可能となる。さらに、新しく小児専用コイルとして8チャンネルコイルが登場した。小児を対象としてシミュレートされたコイル設計により、更なる高い受信感度と高速化を実現した(Fig.1)。

### 呼吸同期法

Navigator Echoを用いて横隔膜の動きをリアルタイムにモニタリングする呼吸同期機能は、通常呼吸下にて呼気時のみデータ収集を行う技術である。最適なデータ収集タイミングに対して詳細に設定することが可能であり、横隔膜の動く振幅が浅い小児に対しては吸気と呼気時相を正確にモニタリングし、呼気時のみをデータ収集することで、睡眠状態で呼吸停止不可能な乳幼児に対しても、呼吸動に依存しない鮮明な画像を得ることができる。

### 心電図同期法

静磁場内で安定した心電図波形を得るためにはベクトル心電図を用いることで心臓の電気的な動作をベクトルとして表し、様々な電気的動作の周期を把握することでQRSループとアーチファクトのループを区別し、正確な心電図同期を得ることを可能としている。それにより、90～130回/分と高心拍に対してもシネMRIなどで動きを正確に画像化し、また冠動脈撮像(MRCA)などの静止画像では、トリガー時間やデータ収集時間、R波を感知するウィンドウ設定や不整脈除去などの詳細設定が行えることで明瞭な画像を得られる。

### 撮像シーケンス

心臓検査においては、冠動脈の形態情報や心筋の機能情報、また血流評価など様々な評価を必要である。評価方法にはそれぞれに対して適切な撮像シーケンスが必要となり、撮像シーケンスと解析方法を紹介する。

MRCAは造影剤を用いることなく血液を高信号に描出するSteady State Free Precession (SSFP)法、血流を抑制し低信号に冠動脈を描出するBlack

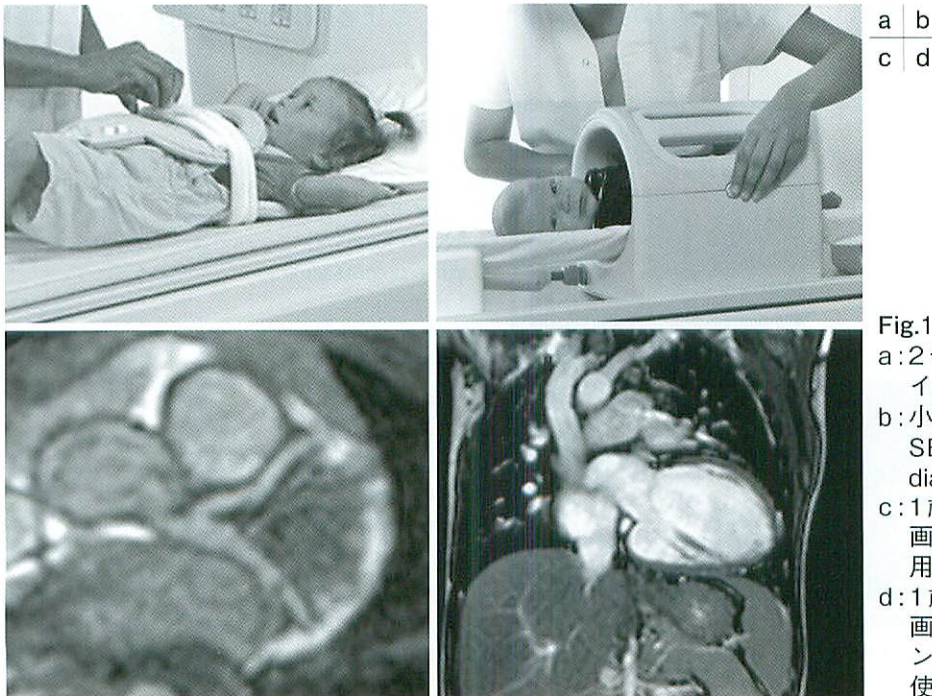


Fig.1

- a: 2チャンネルFlex-Mコイル装着状況
- b: 小児専用8チャンネルSENSE Torso/Cardiacコイル装着状況
- c: 1歳児非造影左冠動脈画像(Flex-Mコイル使用)
- d: 1歳時左心室シネMRI画像(小児専用8チャンネルCardiacコイル使用)



Blood (BB) 法などがある。SSFPシーケンスのMRCAはWhole Heart Imaging法<sup>4)</sup>を用いることで心臓全体を3次元ボリュームデータで取得し、3次元再構成装置などで冠動脈画像形態評価を行う。BB法では冠動脈の長軸断面や短軸断面を撮像することで冠動脈血管壁を描出し、瘤内血栓や内膜肥厚評価を可能としている。

心機能評価を行う代表的なものは、シネMRI、パフュージョンMRI、遅延造影MRIの3つがある。シネMRI、パフュージョンMRIはSSFPシーケンスを用い、シネMRIでは左心室の短軸、長軸、4腔断面など、あらゆる角度設定が可能であり壁運動評価や血流評価を行う (Fig.2)。パフュージョンMRIは造影剤を併用したダイナミックスキャンを行うことで心筋の灌流評価を行い、遅延造影MRIはグラディエントエコー系T1強調画像に心筋を抑制するプリパルスを用いたシーケンスで、造影剤が取り込まれた領域を観察することで心筋梗塞の進捗度評価を行う (Fig.3c, d)。

血流評価は造影剤併用法では高時間分解能3Dダイナミックシーケンスを用いることで、撮像開始と同時に造影剤を急速静注し、リアルタイムに肺動静脈などの血流評価をMR-DSA (digital subtraction angiography) として行える (Fig.4)。また、phase contrast法を用いて、目的血管に直交

断面を設定し心周期に同期させて撮像することで、血流の定量フロー測定を行うことが可能となる。得られた画像から目的血管に関心領域を設定することで平均速度 (cm/s)、最大速度 (cm/s) などの血流に関する結果を数値化できる (Fig.5)。この手法を用いることで、先天性心疾患による血管形態異常部位の流速変化、手術前後での経過観察に形態評価のみでなく定量評価を可能としている。

### 症例提示

#### 右冠動脈閉塞瘤による心内膜下梗塞例

4歳男児川崎病で右巨大冠動脈瘤内に血栓ができ閉塞瘤となった症例である (Fig.3a, b 白矢印)。造影剤併用パフュージョンMRIで、左心室下壁に灌流欠損と遅延造影MRIで灌流欠損部位に一致したlate enhanceを認め、右冠動脈閉塞による左心室下壁心内膜下梗塞を確認できる (Fig.3c, d 黒三角)。

#### 肺動脈術後例

7歳女児で肺動脈弁閉鎖と心室中隔欠損でGlenn術と左B-Tシャントの術後症例である。少量の造影剤注入で3D MR-DSAシーケンスを用い、肺動脈血流による右上肺野領域と左肺野領域の血流異常が把握でき (Fig.4a 黒三角)、3Dデータでは再

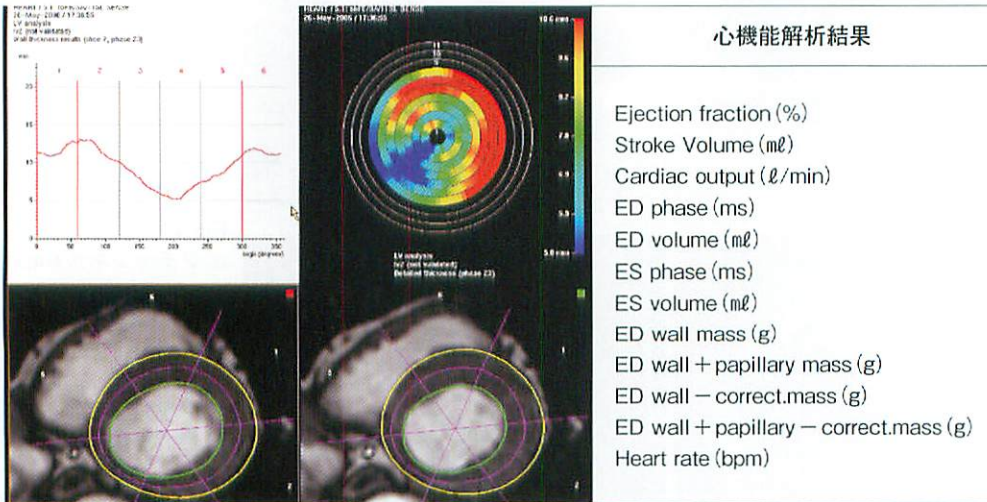


Fig.2 左心室心機能解析例  
図ではSimpson法による左心室測定例を示しているがArea length法や右室機能解析も可能。

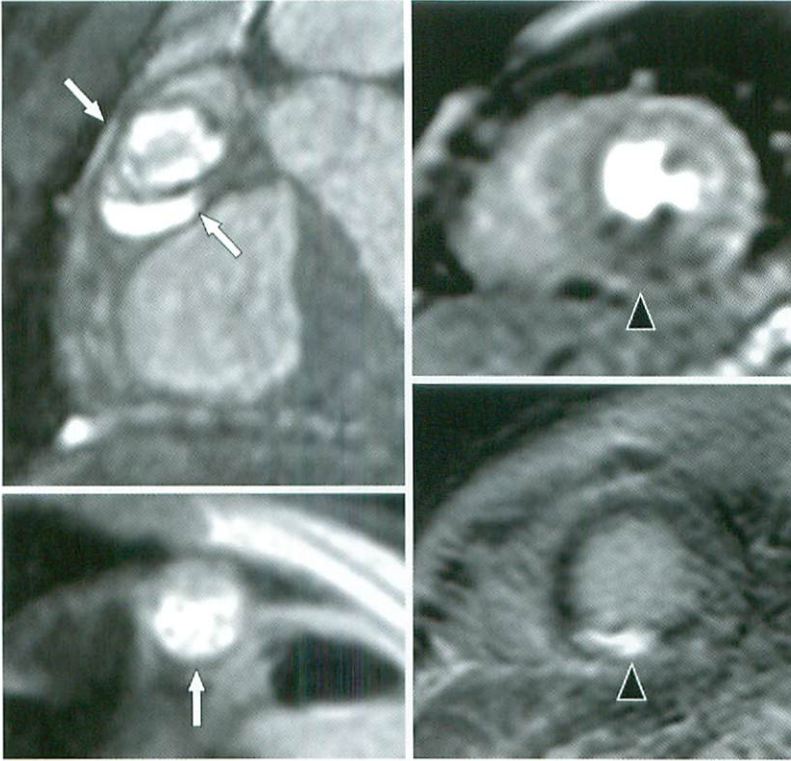


Fig.3 4歳児右冠動脈閉塞瘤を伴う左心室下壁心内膜下梗塞

- a: バランスドシーケンスによる非造影冠動脈画像  
 b: 脂肪抑制併用BBシーケンスによる巨大冠動脈血栓画像  
 c: 造影剤併用パフュージョンMRIによる灌流欠損画像  
 d: 造影剤併用遅延造影MRIによる心内膜下梗塞画像

a	c
b	d

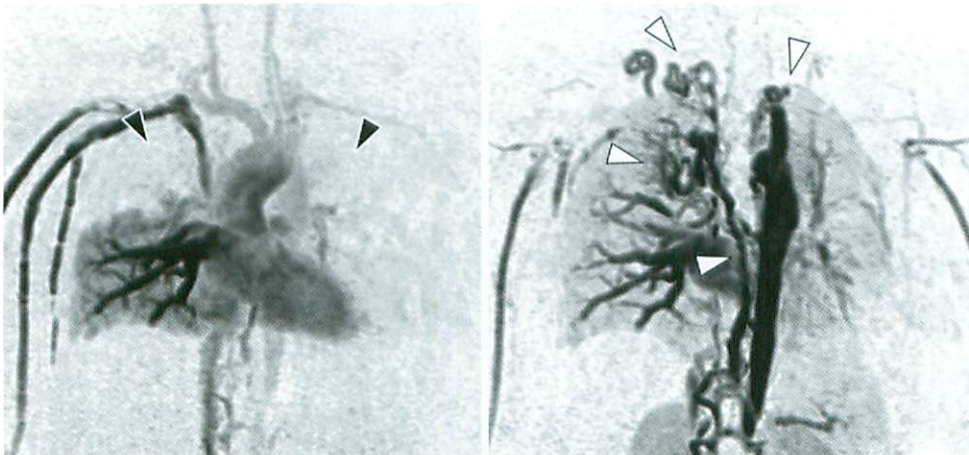


Fig.4 7歳児 Glenn術と左B-Tシャント術後症例

少量の造影剤注入で肺動脈血流による右上肺野領域と左肺野領域の血流異常(a黒三角)、背部側副血行路(b白三角)の血流評価と形状評価が可能。

a	b
---	---



構成処理により表示スライス厚を調整し選択的に背部の側副血行路(Fig.4b白三角)の血流評価と形状評価が可能となる。

単一冠動脈例

3歳男児単一冠動脈例で心エコーにて単一冠動

脈が疑われMRCAを施行した症例である。Whole-heart coronary MRA (WHCA)で右冠動脈が通常の大動脈からの位置ではなく、左冠動脈の起始部から出ており、右冠動脈は大動脈と肺動脈の間を走行していることが非造影で確認できる(Fig.6)。

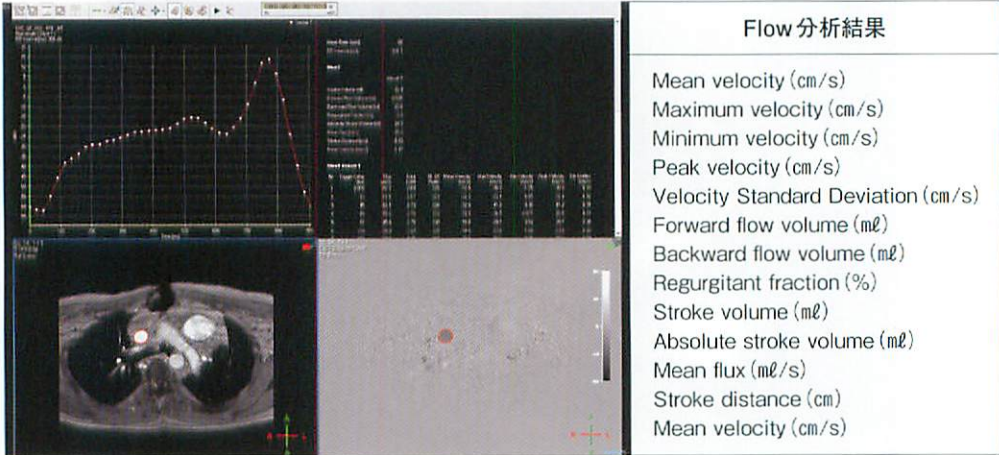


Fig.5 血流解析例  
目的血管に対してROIを設定することで血流結果を数値化可能。

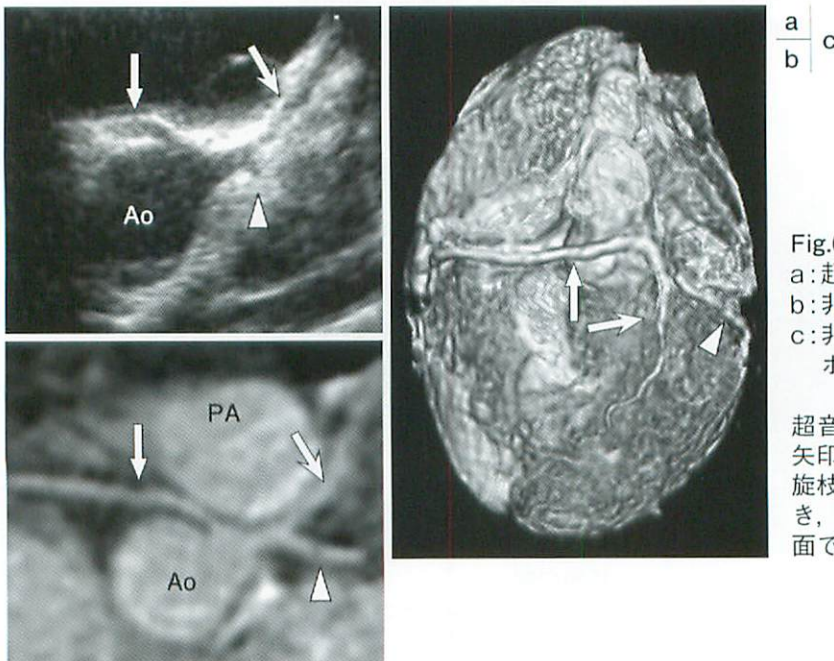


Fig.6 3歳児単一冠動脈例  
a: 超音波画像  
b: 非造影MR冠動脈画像  
c: 非造影MRIによる3D再構成ボリュームレンダリング画像

超音波画像同様に右冠動脈(白矢印)、左前下行枝(白矢頭)、回旋枝(白三角)がMRIでも描出でき、再構成画像処理により1断面で末梢血管まで確認できる。

## 小児心臓MRIの現状と展望

心臓のように常に動いている臓器を明瞭に描出するには、患者毎に確実な同期設定をパラメータ調整しながら行うことが必須となる。さらに小児心臓MRIでは、年齢や体型に応じた最適なコイルの選択も明瞭な画像を得るためには重要な因子となる。MRI装置におけるソフト&ハードの充実が先天性心疾患における複雑な形態と流速に対し、高分解能3次元データや2次元による任意断面像設定などの定量フロー解析を高画質に得ることを可能とする。現在、小児心臓MRIは検査時間が最低でも30分は必要とし、小児では検査を施行するために睡眠剤を必要とする。完全な睡眠下でないとMRI装置特有の大きな騒音で目が覚める場合もある。

今後、受信コイルや心臓専用アプリケーションの更なる技術進歩により、検査時間の短縮や問題

点を改善することで、医療被ばくを伴わない小児患者の経過観察の負担を最小限に抑えた小児心臓MRIの普及に努めていきたいと考える。

### ●文献

- 1) Van Cauwenbergh M, 小原 真: 心臓検査における動きのコントロール法. INNEVISION 2002 ; 17 : 50-52.
- 2) Prussmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, et al : SENSE : sensitivity encoding for fast MRI. Magn Reson Med 42 : 952-962, 1999.
- 3) Takemura A, Suzuki A, Inaba R, et al : Utility of coronary MR angiography in children with Kawasaki disease. AJR Am J Roentgenol 2007 ; 188 : w534-539.
- 4) Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al : Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. Circulation 1999 ; 100 : 1992-2002.