

● 心臓疾患 心筋症・心筋梗塞・不整脈など

慶應義塾大学医学部 放射線科(診断) | 奥田茂男

弁膜症以外にも様々な心疾患に対して4D Flow MRIの応用が試みられている。心室内の血流は複雑だが、4つのコンポーネントに分けた説明や解析が行われる。流線に加えて、運動エネルギー(KE)、乱流運動エネルギー(TKE)などのパラメータが用いられる。閉塞性肥大型心筋症(HOCM)では、アルコール中隔アブレーション(ASA)治療前後の血流やKEの変化が観察されている。拡張型心筋症(DCM)の拡張障害に対しては、心エコーで観察される流波に準じて、TKEの変化がみられることも報告されている。不整脈症例では血栓形成から脳梗塞などの塞栓症が起こる危険があり、これまでは左心耳の形態でリスク分類がされていたが、4D Flow MRIを用いた左房血流解析で滞留血液の状態を見る報告がある。その他、心房内血流や、心筋梗塞への応用などの報告もみられる。心内腔の血流評価の新たな評価方法として4D Flow MRIの研究・開発が進んでいる。

The 4D Flow MRI has been applied to the various cardiac disease. The blood flow is complicated in the cardiac chamber. The four-component model is proposed to simplify the complex environment. In addition to the streamline, KE and TKE are adopted for analyzing flow dynamics. For example, the change of streamline has been observed after the ablation to HOCM patients. Left ventricular diastolic dysfunction can be evaluated with 4D Flow MRI in DCM patients. TKE can evaluate the diastolic ventricular dysfunction in DCM patients. The flow analysis is useful in classification of risks of embolism in patients with arrhythmia. The 4D Flow MRI is opening a new frontier in the flow analysis in the cardiac chamber.

● はじめに

4D Flow MRIを「筒」の形状をした脈管内の血流評価に用いる場合は、層流を基本とする背景から、螺旋流や渦流などの乱流を「異常流」として認識することは直感的にも受け入れやすい。これに対して、心臓のポンプという「壺」の構造内の血流は複雑であるが(図1)、標題に挙げられている心筋症、心筋梗塞、不整脈疾患に対する応用も報告されている。また、streamlineやpathlineなどの流線評価のみならず、energy loss(EL: エネル

ギー損失)、kinetic energy(KE: 運動エネルギー)、turbulent kinetic energy(TKE: 乱流運動エネルギー)をもちいた評価も試みられている。本稿ではさまざまな心臓疾患に対する4D Flow MRIの研究状況を概観してみたい。

● 4D flowコンセンサス・ステートメントから見て

2015年に出版された、コンセンサス・ステートメントに挙げられている臨床適応例として、以下の4つのカテゴリーが挙げられている¹⁾。

①弁膜症(狭窄、閉鎖不全)

②シャントや側副路(心房中隔欠損、心室中隔欠損、瘻孔)

③複雑心奇形(例: 単心室、フォンタン循環、ファロー4徴症など)

④大動脈疾患(動脈瘤、大動脈縮窄症)

本稿で扱う心臓疾患は未だ含まれておらず、研究利用が主体であるといえる。

● 健常者における心室内のFlow Component

心室のポンプ作用で、拡張期には血流が心房から流入し、収縮期には心室から流出する。収縮末期でも内腔の血液がゼロになるわけではないので、一定の「滞

留血液」が存在することになる。これは4種類のコンポーネントに分けて説明されている(図2)²⁻⁵⁾。概念的には理解しやすいが、健常者対象の検査にも、報告

されている数値にはばらつきがみられる(表1、図3)。これが健常者の個体差なのか、あるいは撮像・解析法による違いの差であるのかはいまだ定かではない。研

究ごとに、病態に対するコントロールとしての健常者測定が含まれているはずなので、方法が統一された中で、病態と正常を比較する必要があると考えられる。

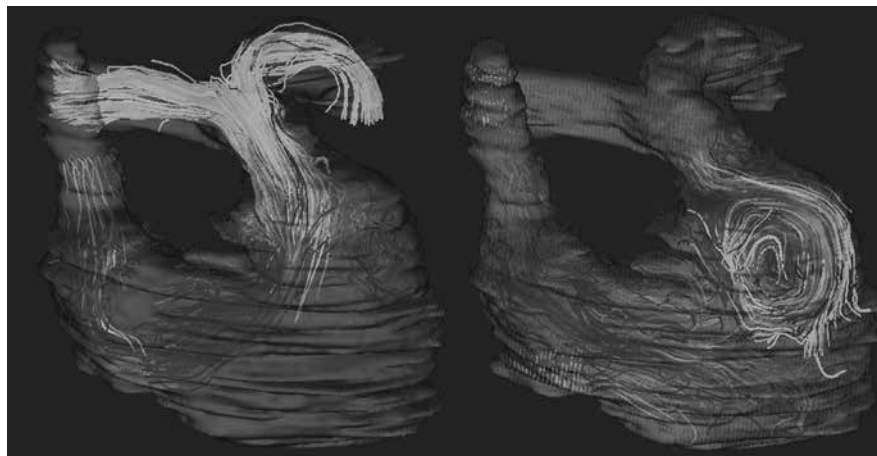


図1 肺動脈弁逆流を有する場合の右室内血流

a 収縮期
b 拡張期

拡張期には右室内を逆流する血流により生じる渦流が観察される。このように、心腔内の血流は様々な要因により複雑となる。

a | b

→巻頭カラー参照

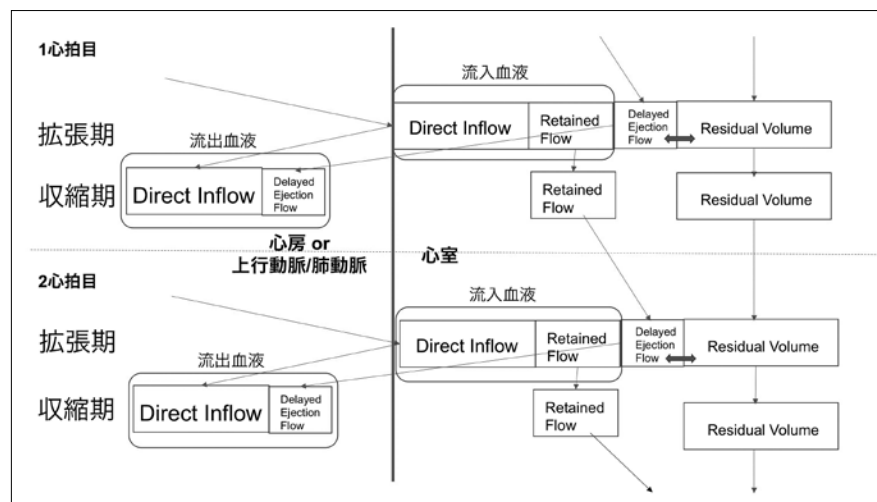


図2 心腔内血流の4つのコンポーネント

表1 4つのコンポーネントの既報における割合

	左室	右室 ⁵⁾	報告C ⁴⁾	右室 ⁵⁾
	報告A ²⁾	報告B ³⁾		
Direct Flow	35 ± 6	58 ± 11	39 ± 8	44 ± 6
Retained Inflow	17 ± 4	15 ± 6	23 ± 7	17 ± 3
Delayed Ejection Flow	15 ± 3	16 ± 6	27 ± 6	15 ± 3
Residual Flow	33 ± 4	7 ± 6	12 ± 5	23 ± 6

いずれも(%)

肥大型心筋症における血流動態

左室壁が肥厚する病態は多数あるが、心筋外に原因がある二次性心筋症を除いた疾患が、肥大型心筋症(hypertrophic cardiomyopathy : HCM)である。左室壁厚が15mmを超えた場合、壁肥厚と定義されている⁶⁾(ただし、HCMの家族歴がある場合は13mmを超える場合)。HCMにもさまざまな形態があるが、その中で、左室流出路が肥厚して流出路狭窄を生じる閉塞性肥大型心筋症(hypertrophic obstructive cardiomyopathy : HOCM)では、収縮期に血流が狭窄部を通過するため高速血流(ジェット流)が生じ、閉塞部より遠位に乱流を生じる。Allenらは、4D Flow MRIで観察される上行大動脈内の螺旋流をグレード分けして、健常者に対してHCM、特にHOCMで螺旋流が強くなることを報告した⁷⁾。

HOCMにおいて、左室流出路の肥厚を減少させるため、カテーテル経路でアルコールを注入して心筋壊死を惹起し、限局的な心筋組織容積を減少させる治療法(アルコール中隔アブレーション(alcoholic septal ablation (ASA)))がある。Daiらは、ASA治療後のエネルギー損失の減少を、Suwaらは流線図を用いて、ASA治療後に上行大動脈内の渦流が減少、逆に左室内の拡張期の渦流が増加することを観察している^{8,9)}。また、GuptaらはKEを用いて、HOCMの左室流出路閉塞の程度や、それに関連する僧帽弁逆流の程度評価を試みて報告している¹⁰⁾。