

## 1. 画質を極める

# 2) VFMの原理と臨床応用 ——超音波による血流可視化技術が 循環器診療にもたらす新たな視点

板谷 慶一<sup>\*, \*\*</sup> / 小野 稔<sup>\*\*</sup> / 岡田 孝<sup>\*\*\*</sup> / 関 佳徳<sup>\*\*\*</sup>  
竹中 克<sup>\*\*\*\*</sup>

\* 東京都健康長寿医療センター心臓外科 \*\* 東京大学医学部心臓外科 \*\*\* 日立アロカメディカル(株) \*\*\*\* 東京大学医学部検査部

従来のカラードプラでは、血流の流速を青と赤の濃淡で超音波ビーム方向の速度を表示するのみであったが、近年開発されたVFM (vector flow mapping) では血流をベクトルで表示することにより、心室内の渦流など、血流の詳細な様相がとらえられるようになった。このような技術は、循環器臨床に新たな視点をもたらしうる革新的なものであるが、その原理は流体力学の法則に基づくもので、数学的に難解である。また、心臓内での血流の分布が表示され、特定の疾患で渦流などのパターンが変化することがわかるようになったとして、そこから疾患の重症度や病態をどのように把握すればよいのかという新たな議論が生じうる。

本稿では、近年の血流可視化技術の進歩を紹介した後に、超音波VFMの原理とその位置づけを説明し、今後の臨床応用への可能性を議論する。

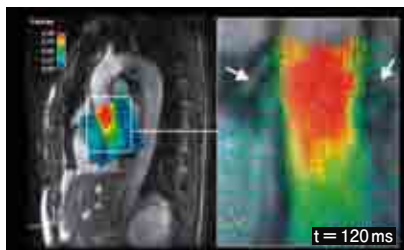
## 心臓、血管内における 血流の様相をとらえる ——近年の血流可視化 技術と超音波

近年のコンピュータ技術と画像診断技

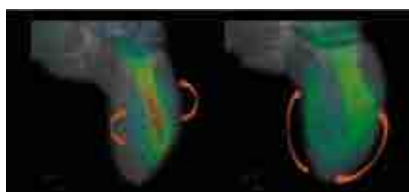
術の目覚ましい進歩に伴い、心臓や血管内の血流の詳細がとらえられるようになってきた(図1)。例えば、MRIを用いたphase velocity mappingでは、プロトンのスピン歳差運動の位相差が血流速度に比例するという原理に基づき、心臓、血管内の血流の流速をベクトル表示することが可能になり、拡張期にバルサルバ洞で大動脈弁が閉鎖する時相にて、なだらかに渦流が発生している様相がとらえられるなどの報告がある<sup>1)</sup>(図1 a)。また、コンピュータを用いた流体シミュレーション (computational fluid dynamics : CFD) は、これまで航空業界や自動車業界などで工業的に広く設計に使用されていたが、人工弁の設計などにおける血流のシミュレーションにも適用されるようになってきており<sup>2)</sup>、4D-CT画像をもとに心筋壁運動を追跡し、心腔内の血流をシミュレーションすることも可能になってきている<sup>3)</sup>。その結果、例えば、拡張流入期には僧帽弁周囲に渦流が発生して、滑らかに弁を閉鎖し、また、拡張末期に左室内に大きな渦流が形成される様子などがとらえられるようになってきている<sup>3)</sup>(図1 b)。

このように、流れを計測空間内の各点でベクトル表示することを“流れの可視化”と言い、血流を詳細にわたるまで一望することが可能になるが、この新しい可視化技術は、これまで見ることはできなかった画像を提示することで、正常な心臓・血管内の血流動態についても、われわれに新たな知見をもたらすものとなった<sup>1)~3)</sup>。一方、われわれ循環器診療にかかわる臨床医にとって興味があるのは、弁膜症や心不全、虚血心で血流がどのように変化し、病態の把握や治療効果の判定に際して有用な手段になりうるかどうかといった臨床応用であるが、現状、MRI phase velocity mappingでは撮像時間などの制限上、現在でも健常ボランティア症例の報告にとどまるものが多く、また、CFDもモデル作成のプロセスが技術的に高度であるため、健常者モデルの作成にとどまるものが多く、まだまだ臨床への実用は遠い道のりのように感じられる<sup>1), 3)</sup>。

近年、超音波を用いて、カラードプラと心筋壁のスペクトルトラッキング法から心臓血管内の血流を可視化する方法が開発された<sup>3), 4)</sup>。ベクトルにより血流の分布を知ることができるため、VFM (vector flow mapping) と呼ばれる。この技術は、すでに日常診療で用いられている技術の範囲内で行うことが可能なため、容易に患者データを集めることができ、疾患ごとの心室内血流パターンを見ることが可能になりうる。しかしながら、VFMは、流体力学上の法則に基づいてカラードプラデータに数学的处理を施すことで可視化して



a : MRI phase velocity mapping



b : 心臓CFD

図1 近年の血流可視化技術 (参考文献1), 3) より引用)