

# 心臓シネ MRI に出現する flow void の大きさから弁逆流量および短絡血流量を定量的に推定できるか？ — 流水ファントムによる検討 —

岡村正博<sup>1</sup>, 安野泰史<sup>2</sup>, 近藤 武<sup>2</sup>, 坂倉一義<sup>1</sup>,  
瓜谷富三<sup>2</sup>, 山口弘次郎<sup>3</sup>, 安野直子<sup>1</sup>, 黒川 洋<sup>1</sup>,  
菱田 仁<sup>1</sup>, 渡辺佳彦<sup>1</sup>, 水野 康<sup>1</sup>, 片田和廣<sup>2</sup>,  
古賀佑彦<sup>3</sup>, 杉石宗隆<sup>4</sup>

<sup>1</sup>藤田保健衛生大学医学部内科  
<sup>2</sup>同 医学部放射線科

<sup>3</sup>同 衛生学部診療放射線技術学科  
<sup>4</sup>杉石病院内科

## はじめに

近年, gradient field echo (FE) 法の開発により高速イメージングが可能となりシネ画像も撮像できるようになった<sup>1)</sup>. この FE 法では心血管内の血液は高信号領域として描画されるが, 弁逆流もしくは短絡血流のようなジェット状の激しい乱流部分は低信号領域 (flow void) として描出される<sup>2),3)</sup>. この flow void の到達距離, 面積, 体積などから弁逆流量, 短絡量を定量的もしくは半定量的に評価できるとの報告<sup>4)~7)</sup>がある. しかし, flow void の大きさには種々の因子の関与が考えられ, この様な定量評価には問題があると思われる. そこで, flow void の体積と orifice を通過する流量との関係を明らかにするために定常流による流水ファントム実験をおこなった.

## 方 法

### (1)流水ファントム

塩化ビニール製の流水ファントムは内径 72 mm,

長さ 300 mm の円筒で入口部に直径  $\phi = 1.5, 2, 4, 6, 13$  mm の orifice をもうけ (図 1), 電動ポンプにより流量が 3 ~ 118 ml/s の各段階の定常流を作成し, それぞれの段階における定常流が orifice を通過する際に発生する flow void の体積について検討した.

### (2) MRI の撮像

MRI の撮像は 0.5 T 超電導型 MRI 装置 (東

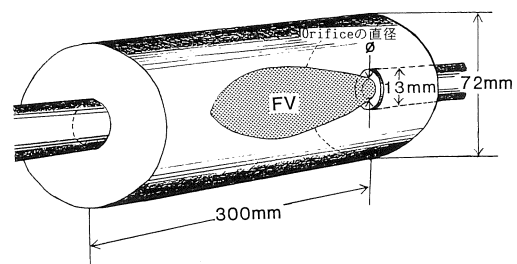


図 1. 流水ファントム

内径 72 mm, 長さ 300 mm の円筒で, 入口部に直径  $\phi = 1.5, 2, 4, 6, 13$  mm の orifice をもうけた. 定常流が orifice を通過する際に発生した flow void (FV) の体積を算出した.

キーワード cardiac field echo cine MRI, valvular regurgitation, shunt flow, quantitative estimation, stream phantom study

芝 MRI-50 A) を用いた。パルス系列は TE=22 ms, TR=50 ms, flip angle 30 度の FE 法で、マトリックスサイズ 128×128, スライス幅 10 mm, 加算回数 4 回で心電図非同期法で flow void の長軸を通る直交二断面を撮像した。

(3) Flow void の計測

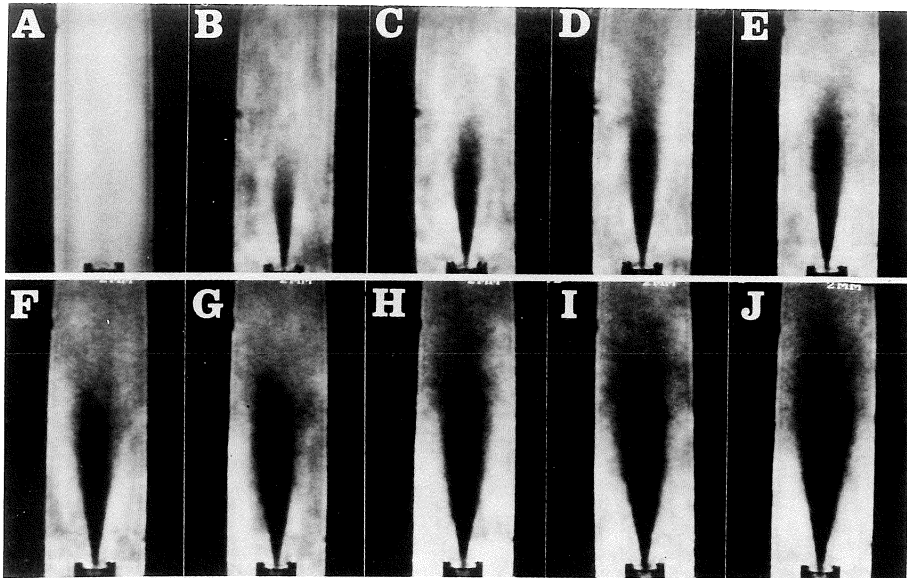
Flow void の計測において直交二断面のうち flow void の断面積の大きい方を採用し、window level, window width は常に同一条件とした。Flow void の外縁の決定は flow void の長軸と短軸の信号強度のプロフィールカーブを表示してその最大値と最小値の中間値を示す部位とし、そこをトレースして arealength 法を用い

て flow void の体積を算出した。

結 果

(1) 実例の提示

Orifice の直径を 2 mm に固定して流量を 0~20.8 ml/s まで段階的に変化させた時の flow void の大きさの変化を図 2 に示す。Orifice を通過する流量の増加と共に flow void も大きくなった。図 3 には、流量を約 10 ml/s に固定し、orifice の直径を 1.5, 2, 4 mm に変化させた場合の flow void の大きさの変化を示す。Orifice の直径が小さくなるほど flow void は大きくなった。



Orificeの直径 $\phi = 2\text{ mm}$										
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
流 量 (ml/sec)	5.8	7.0	8.8	10.2	11.8	13.3	16.7	19.3	20.8	
流 速 (cm/sec)	185.8	222.9	281.3	323.8	376.9	424.6	530.8	615.7	663.5	
FVの到達距離 (cm)	6.0	8.0	10.0	10.3	11.0	12.5	13.5	14.0	15.5	
FVの最大面積 (cm <sup>2</sup> )	4.9	6.9	11.4	13.9	15.2	19.6	24.7	28.6	30.7	
FVの体 積 (cm <sup>3</sup> )	3.4	5.1	11.0	15.9	17.8	26.1	38.4	49.6	51.6	

(FV = flow void)

図 2. Orifice の直径 ( $\phi = 2\text{ mm}$ ) が一定の場合の流量と flow void (FV) の大きさの関係

A は流量 0 ml/s の場合で、flow void は認められない。Orifice の直径 ( $\phi = 2\text{ mm}$ ) が一定ならば orifice を通過する流量および流速が大きくなるにしたがって flow void の体積は大きくなった。

1991年1月28日 1991年5月10日改訂

別刷請求先 〒470-11 豊明市沓掛町田楽ヶ窪1-98 藤田保健衛生大学医学部内科 岡村正博

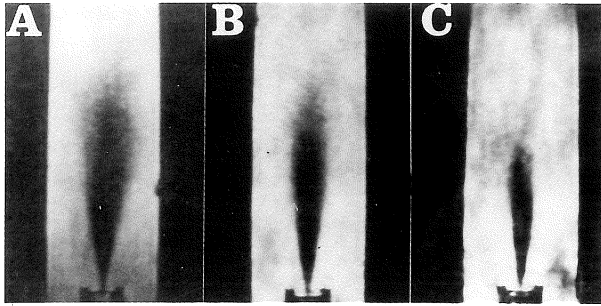


図3. Orificeを通過する流量が一定の時の orifice の直径と flow void (FV) の大きさの関係

Orificeを通過する流量がほぼ一定(約10 ml/s)でも, orificeの直径(A:  $\phi=1.5$  mm, B:  $\phi=2$  mm, C:  $\phi=4$  mm)が異なると flow voidの体積は異なり, 直径が小さくなるにしたがって flow voidは大きくなった。

	A	B	C
Orificeの直径 $\phi$ (mm)	1.5	2	4
流 量 (ml/sec)	10.3	10.2	12.7
流 速 (cm/sec)	583.8	323.8	97.4
FVの到達距離 (cm)	11.3	10.3	7.0
FVの最大面積 (cm <sup>2</sup> )	19.0	13.9	5.7
FVの体 積 (cm <sup>3</sup> )	27.1	15.9	3.9

(FV = flow void)

(2)流量と flow void の体積との関係

図4に orifice の直径が1.5, 2, 4, 6, 13 mmのそれぞれの場合の流量(横軸)と flow void の体積(縦軸)との関係を示す. それぞれの直径において正相関を認め, orifice の直径が小さいほど回帰直線の勾配は大きくなり, orifice の直径が異なる場合は flow void の体積が同一であっても流量は異なった。

考 按

Flow void の到達距離や面積<sup>4),5)</sup>, もしくは flow void の面積を足し合わせた $\Sigma$ 面積<sup>6),7)</sup>から弁逆流量, 短絡量の定量的もしくは半定量的評価が可能との報告がある. しかし, flow void の大きさには①レイノルズ数 ( $N_{Re}$ ), ②撮像条件(装置の磁場強度, パルス系列, rephasingの有無<sup>4),8)~10)</sup>, ③表示条件(window level, window width)などの種々の因子が関与すると考えられる。

$N_{Re}$  と flow void に関して, Evansらは orifice を有する流水ファントム実験<sup>3)</sup>を行い, レイノルズ数 ( $N_{Re}$ ) が1100以上では  $N_{Re}$  と flow

void の面積との間に高い正相関 ( $r=0.96$ ) を認めたと報告した. また, 彼らは  $N_{Re}$  と信号強度との間にも高い負の相関 ( $r=-0.97$ ) を認め, 逆流性弁膜疾患の臨床的評価における有用性を示唆している. しかし,  $N_{Re}$  を臨床的に算出するには流体の密度, 粘性係数, 平均流速, 逆流弁口面積などの計測が必要で, 現時点ではこれらを非観血的に計測することは困難である。

我々の実験では②, ③の条件を一定とし, orifice の直径と流量を変化させて flow void の体積の変化を観察した. その結果, orifice の直径が一定ならば flow void の体積と流量は正相関を示した. したがって, 対象症例の逆流弁口面積がある限られた範囲内であれば, flow void の大きさと弁逆流量は有意な正相関を示さかもしれない. しかし, 個々の症例で逆流弁口面積が大きく異なる可能性があり flow void の体積と流量は正相関を示さないかもしれない. 事実, 本研究においても orifice の直径が小さいほど flow void の体積と流量の回帰直線の傾きは大きくなり, orifice の直径を無視して flow void の体積だけから流量を定量的に評価することはできなかった。

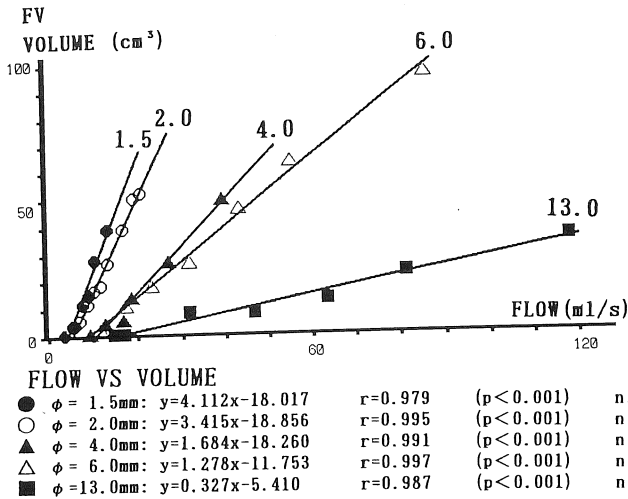


図4. Orificeを通過した流量とflow voidの体積との関係

横軸に1秒あたりの流量(FLOW)を、縦軸にflow voidの体積(FV VOLUME)を示す。Orificeの直径が一定ならば、流量とflow voidの体積は正の有意な相関関係を示したが、orificeの直径が小さくなればなるほどその回帰直線の傾きは大きくなった。したがって、flow voidの体積が同じでも流量は異なった。

### 結 語

流水ファントム実験の結果、orificeの直径が一定ならば流量とflow voidの体積との間に正の相関関係が認められた。しかし、orificeの直径が異なる場合、直径が小さいほど回帰直線の勾配は大きくなる傾向を示し、flow voidの大きさが同一であっても流量は異なることが示された。したがって、orificeの大きさを無視してflow voidの大きさだけから流量を定量的に評価することには問題があると考えられた。

### 文 献

- 1) A. Haase, J. Frahm, D. Mattaei, et al. : FLASH imaging. Rapid imaging using low flip angle pulses. J Magn Reson, 67 : 258-266, 1986.
- 2) U. Sechtem, P. W. Pflugfelder, R. D. White, et al. : Cine MR imaging. Potential for the evaluation of cardiovascular function. AJR, 148 : 239-246, 1987.
- 3) A. J. Evans, R. A. Blinder, R. J. Herfkens, et al. : Effects of turbulence on signal intensity in gradient echo images. Invest Radiol, 23 : 512-518, 1988.
- 4) 大西修作, 福井須賀男, 守田瑠璃子, 他 : シネMRI法における位相補正の意義. 弁逆流疾患における検討. 日磁医誌, 9 : 175-180, 1989.
- 5) T. Nishimura, N. Yamada, A. Itoh, et al. : Cine MR imaging in mitral regurgitation. Comparison with color Doppler flow imaging. AJR, 153 : 721-724, 1989.
- 6) P. W. Pflugfelder, U. P. Sechtem, R. D. White, et al. : Noninvasive evaluation of mitral regurgitation by analysis of left atrial signal loss in cine magnetic resonance. Am Heart J, 117 : 1113-1119, 1989.
- 7) P. W. Pflugfelder, J. S. Landzerg, M. M. Cassidy, et al. : Comparison of cine MR imaging with Doppler echocardiography for the evaluation of aortic regurgitation. AJR, 152 : 729-735, 1989.
- 8) L. Axel, : Blood flow effects in magnetic resonance imaging. AJR, 143 : 1157-1166, 1984.
- 9) M. Deimling, E. Mueller, G. Lenz, et al. : Description of flow phenomena in magnetic resonance imaging. Diagn Imag Clin Med, 55 : 37-51, 1986.
- 10) F. Stahlberg, O. Henriksen, C. Thomson, et al. : Determination of flow velocities from magnetic resonance multiple spin-echo images. A phantom study. Acta Radiol, 28 : 643-648, 1987.

**Is It Possible to Quantitate the Valvular Regurgitation and  
Shunt Flow by the Extent of Flow Void on Cardiac Cine MRI ?  
— A Phantom Study —**

Masahiro OKAMURA<sup>1</sup>, Hirofumi ANNO<sup>2</sup>, Takeshi KONDO<sup>2</sup>,  
Kazuyoshi SAKAKURA<sup>1</sup>, Tomizo URITANI<sup>2</sup>, Koujiro YAMAGUCHI<sup>3</sup>,  
Naoko ANNO<sup>1</sup>, Hiroshi KUROKAWA<sup>1</sup>, Hitoshi HISHIDA<sup>1</sup>,  
Yoshihiko WATANABE<sup>1</sup>, Yasushi MIZUNO<sup>1</sup>, Kazuhiro KATADA<sup>2</sup>,  
Sukehiko KOGA<sup>3</sup>, Munetaka SUGIISHI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Internal Medicine, Fujita Health University, School of Medicine  
1-98 Dengakugakubo, Kutsukake, Toyoake, Aichi 470-11*

<sup>2</sup>*Department of Radiological Technology, Fujita Health University, School of Health Science*

<sup>3</sup>*Department of Radiology, Fujita Health University School of Medicine*

<sup>4</sup>*Sugiishi Hospital*

Magnetic resonance imaging (MRI) that uses low flip angle, short repetition time, and field echoes (FE) results in multiple images throughout the cardiac cycle in which the blood pool has high signal intensity. In cine MRI, disturbed blood flow produces a loss of signal intensity (flow void) within the intracavitary blood pool. Some papers described that it was possible to evaluate the regurgitant or shunt flow quantitatively by extent of flow void. But many factors including orifice area, orifice shape, pressure gradient, Reynold's number and etc must affect the extent of flow void.

To clarify the relation between the extent of flow void and valvular regurgitant or shunt flow, We performed the steady stream phantom study. The phantom consists of a chamber which was connected with vinyl tube and electric motor pump. The each with various orifices ( $\phi=1.5, 2, 4, 6, \text{ or } 13 \text{ mm}$ ) was placed at the connecting site.

MRI was acquired by 0.5 MRI equipment (MRT-50A) using FE method (low flip angles of  $30^\circ$ , a TE of 22 ms, and a TR of 50 ms). The volume of flow void was calculated by area-length method. Various sizes of flow void were produced by changing the flow velocity or orifice size.

There is a linear correlation between flow (ml/s) through the orifice and the volume of flow void when orifice diameter is fixed, but the slope of this line becomes steeper as orifice diameter shorter.

In conclusion, it is necessary to consider the orifice diameter to estimate the regurgitant or shunt flow quantitatively by extent of flow void on FE cine MRI.