

## 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の時間分解能が 磁気共鳴流体力学解析と計算流体力学解析に与える影響

水野 崇<sup>1)</sup>, 磯田 治夫<sup>2), 1)</sup>, 小杉 崇文<sup>3)</sup>, 福山 篤司<sup>1)</sup>, 小森 芳秋<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学大学院医学系研究科 [〒461-8673 名古屋市東区大幸南 1-1-20],

<sup>2)</sup>名古屋大学脳とこころの研究センター, <sup>3)</sup>株式会社アールテック, <sup>4)</sup>シーメンスヘルスケア株式会社

### 1. 緒言

脳動脈瘤の発生には壁剪断応力 (Wall Shear Stress, WSS) が影響する。血流動態解析の手法として、三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法 (3D cine Phase Contrast [PC] Magnetic Resonance [MR]) を用いた磁気共鳴流体力学 (MR Fluid Dynamics, MRFD) 解析や、計算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 解析がある。MRFD 解析は短時間で解析が行えるが、精度が低い<sup>1)</sup>。CFD 解析は 3D cine PC MR から得られた流速情報を境界条件として、コンピュータ計算により解析を行う。計算に時間がかかるが、高空間・時間分解能で解析を行うことができる。本研究の目的は、3D cine PC MR の時間分解能が MRFD 解析及び CFD 解析に与える影響を検討することである。

### 2. 実験方法

本研究は本学生命倫理委員会の承認を得た [承認番号: 15-305]。また、全被験者からインフォームド・コンセントを取得した。3T MR 装置 (MAGNETOM Verio 3T, 12ch Head Matrix Coil) を用いて健常ボランティア 6 名の脳血管に 3D Time of Flight (TOF) MR angiography (MRA), 3D cine PC MR を撮像した。3D cine PC MR の時間分解能は Number of Segment (NOS) の変更によって平均 31ms, 63ms, 93ms の 3 通りで撮像した。MRFD 解析では血流解析ソフト (Flow Visualization and Analysis, Flova) を使用して、3D TOF MRA から血管形状を作成し、3D cine PC MR から流速情報を得た。各ボランティアの内頸動脈 (ICA), 前大脳動脈 (ACA), 中大脳動脈 (MCA) の流量, 断面平均流速, 断面最高流速を取得し, WSS を算出した。CFD 解析では血管形状を, メッシュ作成ソフト (ICEM CFD v. 14. 5) を用いて非構造メッシュに分割した。3D cine PC MR から得られた流速情報を境界条件とし, 汎用熱流体解析ソフト (CFX v. 14. 5) で計算を行い, WSS を求めた。流量, 断面平均流速, 断面最高流速では, NOS1 の値を基準値とし, NOS1 に対する NOS2, 3 の相対誤差を算出した。WSS の解析対象は両解析とも ICA の C2 領域とした。NOS1 での WSS の最高値を基準値とし, NOS1 に対する NOS2, 3 の相対誤差を算出した。

### 3. 実験結果

ボランティア 1 の右 ICA の流量の MRFD 解析の結果を図 1 に示す。

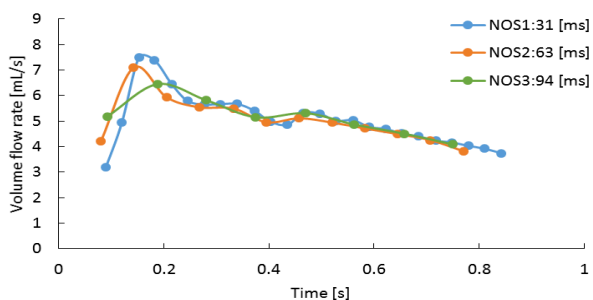


Fig.1 Temporal volume flow rate of right ICA obtained by MRFD analysis (volunteer1)

MRFD 解析での NOS2 の収縮期の相対誤差は流量 8.2%, 断面平均流速 8.5%, 断面最高流速 9.6%程度であった。NOS3 でのそれらは 18%, 14%, 17%程度であった。WSS の結果は, MRFD 解析より CFD 解析の方が NOS2, NOS3 とともに相対誤差が低かった。

### 4. 考察

時間分解能が低いと平滑化の影響を受けやすくなり, 収縮期で流量, 断面平均流速, 断面最高流速, WSS が過小評価されたと考えられた。両解析の WSS の結果比較では, CFD 解析の方が高空間・時間分解能で解析できるため, MRFD 解析より相対誤差が低くなったと考えられた。

### 5. 結言

3D cine PC MR の時間分解能を低くすると収縮期の流量, 断面平均流速, 断面最高流速, WSS が低下するが, MRFD 解析, CFD 解析ともに NOS2 は NOS3 より影響が少ないことが分かった。

### 文献

1) Lotz J, Meier C, Leppert A, and Galanski M. Cardiovascular flow measurement with phase-contrast MR imaging: basic facts and implementation. Radiographics. 2002; 22 (3): 651-71.