

## 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を用いた脳動脈瘤の血流動態解析（計算流体力学との比較）

石黒 健太<sup>(1)</sup>, 磯田 治夫<sup>(2)(1)</sup>, 竹原 康雄<sup>(3)</sup>, 寺田 理希<sup>(4)</sup>, 内藤 丈裕<sup>(5)</sup>  
田ノ井 千春<sup>(6)</sup>, 小杉 崇文<sup>(7)</sup>, 大西 有希<sup>(8)</sup>, 福山 篤司<sup>(1)</sup>, Marcus Alley<sup>(9)</sup>  
<sup>(1)</sup>名古屋大学 大学院医学系研究科 [〒461-8673 愛知県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>浜松医科大学 医学部附属病院 放射線部  
<sup>(4)</sup>磐田市立総合病院 第 1 放射診断科, <sup>(5)</sup>春日井市民病院 脳神経外科  
<sup>(6)</sup>磐田市立総合病院 脳神経外科, <sup>(7)</sup>株式会社アールテック, <sup>(8)</sup>東京工業大学  
情報理工学研究科 情報環境学専攻, <sup>(9)</sup>スタンフォード大学 医学部放射線科

### 1. 緒言

血流動態は動脈瘤の発生, 成長, 破裂に関係していると言われており, 血流動態を正確に評価することは重要である. 血流動態を評価する方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] MR imaging [MRI]) を用いた磁気共鳴流体力学 (Magnetic Resonance Fluid Dynamics, MRFD)<sup>1)</sup> が注目されている. 本研究の目的は MRFD の臨床応用を目指し, MRFD と計算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 解析から得られた結果を比較し, MRFD の精度を検討することである.

### 2. 方法

本研究は本学の生命倫理委員会の承認を得ており (承認番号: 15-302), 全ての症例からインフォームドコンセントを得た. 対象は 3T MR 装置を用いて 3D Time of Flight (TOF) MR Angiography (MRA) 及び 3D cine PC MRI を施行した 7 症例, 7 動脈瘤を対象とした. 得られた 3D TOF MRA のデータをアールテック社製血流解析ソフト (Flow Visualization and Analysis, Flova) を用いて MRFD を行った. また, Flova より CFD 解析を行うための血管形状を得た.

得られた血管形状を ANSYS 社製メッシュ作成ソフト ICEM CFD を用いて非構造のテトラメッシュに分割し, 同社製汎用熱流体解析ソフト CFX を用い, CFD 解析を行った. 境界条件は Flova より得られた症例固有の拍動波形の流量を流入, 流出境界条件ともに設定した.

定性的な評価として, 各症例の収縮期時の MRFD と CFD 解析結果の Wall Shear Stress (WSS) 分布図, 流線図の評価を行った. また, 動脈瘤内における血流の流れ方, 親動脈から動脈瘤への血流の入り方, 渦流の頂点の位置や数, 渦流に伴う低 WSS 領域を MRFD と CFD 解析結果で比較した. 定量的な評価として, MRFD と CFD 解析結果の前

大脳動脈, 中大脳動脈, 内頸動脈, 動脈瘤の収縮期の速度ベクトルと WSS の相関解析と Bland-Altman 解析を行った.

### 3. 結果

定性的な評価では 7/7 例で瘤内の流れ方, 親動脈から動脈瘤への血流の入り方が一致し, 6/7 例で流線図や WSS 分布図, 渦流の位置や数, 渦流に伴う低 WSS 領域が一致した.

速度ベクトルは相関係数が 0.5 以上となり, 比較的良い相関を示した. WSS は前大脳動脈, 動脈瘤は 0.2~0.4 程度と弱または中程度の相関となり, 内頸動脈は 0.4~0.5 程度, 中大脳動脈は 0.5 以上となった. Bland-Altman 解析では速度ベクトルは扇状の分布, WSS は右肩上がりの分布を示し, MRFD と CFD 解析の差の平均は 0 とはならなかった.

### 4. 考察

MRFD と CFD 解析結果の WSS が定量的に一致しなかったのは, WSS の算出方法が MRFD と CFD 解析で異なることや, 前大脳動脈と動脈瘤では MRFD の空間分解能が不十分であったためと考えられた. MRFD と CFD 解析結果で得られた内頸動脈の速度ベクトル, WSS の相関係数が高い値を示したのは, 内頸動脈は相対的に径が太く, MRFD を用いて流速や WSS を算出するのに相対的に十分な空間分解能があったと考えられた.

### 5. 結言

WSS 分布図や流線図の定性的な評価は, MRFD と CFD 解析結果で良く似ていたことから, 臨床現場において, MRFD は定性的評価に応用できると考えられた.

### 6. 参考文献

1) Naito T, Miyachi S, Matsubara N, et al.: Magnetic resonance fluid dynamics for intracranial aneurysms comparison with computed fluid dynamics. Acta Neurochir (Wien). 154,993-1001, 2012.