

多発性脳動脈瘤症例のくも膜下出血時における破裂瘤の特定

藤村 宗一郎*, 高尾 洋之**, 高山 翔*, 鈴木 貴士*, 市川 千尋*, 神谷 薫*, 川上 拓海***, 守裕也***, 福島 直哉***, 元祐 昌廣***, 石橋 敏寛**, 山本 誠***, 村山 雄一**

* 東京理科大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 [〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1]

**東京慈恵会医科大学 脳神経外科 [〒105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8]

***東京理科大学 工学部 機械工学科 [〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1]

1. 緒言

脳動脈瘤の破裂には血行動態学的要因が深く関わっていると考えられており、近年ではその解明に数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics)を用いる試みが広く行われている。CFDを用いた未破裂脳動脈瘤の破裂予測が可能となれば、治療方針決定に大きな一助となることが期待される。

本研究では多発性脳動脈瘤でくも膜下出血を発生した2患者の5つの脳動脈瘤に対するCFD解析とレオロジー観点から破裂した脳動脈瘤の識別を行うことを目的とした。

尚、本研究は東京理科大学 工学部と東京慈恵会医科大学 脳神経外科の共同研究により行われたものである。

2. 方法

2.1 解析手法 汎用3D可視化ソフト Amira 5.6 (FEI/VSF-division, Bordeaux, France)を用いて血管のモデリングを行った。三次元脳血管撮影の画像をDICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine)データ形式で抽出し、閾値を半値幅より決定し、形状の抽出を行った。解析対象は内頸動脈から脳動脈瘤の発生箇所までとし、不要部分の血管に対してトリミングを施した。出力した血管形状を ANSYS ICEM CFD 15.0 (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA)に取り込み、計算格子の生成を行った。格子は非構造格子で、壁近傍に7層のプリズムメッシュ、その他の領域にテトラメッシュを配置した。平均格子サイズを0.5mmとして、要素点数は約140万~260万点であった。流れの剥離や曲りによる影響を考慮し、流入・流出口に75mmの延長管を接続した。血管内の流れ場を三次元非圧縮性層流場、血液は密度 $\rho = 1,100 \text{ kg/m}^3$ 、粘性係数 $\mu = 0.0036 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ のニュートン流体と仮定した。血管壁を剛体と仮定し、壁面にすべりなし条件を与えた。出口端面は静圧平均0 Paを課す。流入境界として成人の内頸動脈における平均質量流量を2拍動分与えた。ソルバーには汎用熱流体解

析ソフトウェア ANSYS CFX 15.0 (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA)を用いた。

2.2 評価パラメータ 脳動脈瘤壁の菲薄部を推定する血行動態学的パラメータである PD (Pressure difference)を破裂・未破裂の判断に用いる。

$$PD = \frac{P_{\max} - P_{\text{ave}}}{\frac{1}{2}\rho v_{\text{in}}^2} \quad (2.1)$$

ρ は密度、 v は流速、 P_{\max} 、 P_{ave} は、それぞれ脳動脈瘤域における最大圧力と平均圧力である。

3 結果・考察

それぞれの Case にて定性的かつ定量的に評価を行う。先行研究では高 PD 値と脳動脈瘤の菲薄箇所的一致が示されており¹⁾、破裂後脳動脈瘤においても PD の値が相対的に高くなることが予想される。Case1 の2動脈瘤では前大脳動脈瘤が脳底動脈瘤と比較して最大 PD 値が大きく、脳動脈瘤の広範囲に渡って高 PD 域が分布していた。よって、前大脳動脈瘤が破裂した症例である可能性がある。一方、Case2 の3動脈瘤では中大脳動脈瘤と後交通脳動脈瘤の PD 値が大脳動脈起始部瘤と比較して大きかった。しかし、後交通脳動脈瘤の PD の分布を見ると、最大値は動脈瘤の根元付近にあり、破裂しやすいとされる bleb における分布は均一的なものであった。よって、破裂症例は中大脳動脈瘤である可能性がある。さらに、中大脳動脈瘤のサイズは他の2症例と比較して大きく、相対的に破裂しやすい状態であったと思われる。

4. 結言

CFD 解析を行った結果、以下の脳動脈瘤が破裂したものと予測した。

・ Case1 前大脳動脈瘤 ・ Case2 中大脳動脈瘤

文 献

- 1) Suzuki, T., Takao, H., Suzuki, T., Kambayashi, Y., Watanabe, M., Sakamoto, H., Kan, I., Nishimura, K., Kaku, S., Ishibashi, T., Ikeuchi, S., Yamamoto, M., Fujii, Y. and Murayama, Y.: Determining the presence of thin-walled regions at high-pressure areas in unruptured cerebral aneurysms by using computational fluid dynamics. *Neurosurgery*, **29**, 2016.