

計算流体力学による破裂脳動脈瘤に関する検討： DISTURBED FLOW の観点から

下権谷 祐児*, 福田 俊一**

* 東北大学 学際科学フロンティア研究所 [〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3]

**国立病院機構京都医療センター 脳神経外科

1. 緒言

脳動脈瘤破裂は、致死的な疾患であるクモ膜下出血の主原因である。その一方で、脳動脈瘤の平均年間破裂率は1%にも満たない¹⁾。したがって、破裂する可能性の高い瘤を選択的に治療することが望ましいが、破裂の危険因子に関する情報は未だ不十分である。

脳動脈瘤破裂の危険因子の候補として我々が注目しているのは、心臓の拍動と血管形状の複雑さに起因する、局所血流刺激（特に wall shear stress; WSS）の時間的・空間的な「乱れ」である²⁾。本研究ではこうした disturbed flow の観点から、AVED CFD 2016 の2つの課題において破裂瘤の識別を試みる。

2. 方法

血管形状

提供された STL ファイルを使用した。3-matic (Materialise, Leuven, Belgium) を用いて形状の編集を適宜行った。また、血流計算の際に流れを十分に発達させる目的で、流入部および流出部に直円管状の助走区間を設けた。

計算格子

格子生成ソフトウェア MEGG3D³⁾を用いて、四面体格子とプリズム格子を混合したハイブリッド格子を生成した。血管壁近傍の境界層においては、流れの急峻な速度変化を捉えるためにプリズム型の層状格子を5層配置し、それ以外の領域では四面体格子を配置した。

計算

血液は密度 $1,050 \text{ kg/m}^3$ 、粘性係数 $0.0035 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の Newton 流体、血管壁は剛体と仮定した。非圧縮 Navier-Stokes 方程式に従う拍動流を、CFD ソフトウェア ANSYS-CFX 16.2 (ANSYS, PA, USA) により計算した。

境界条件

健康成人の総頸動脈、外頸動脈、内頸動脈、椎骨動脈における peak systolic velocity および end-diastolic velocity のリファレンスデータが Scheel らによって報告されている⁴⁾。その中から

対象課題の部位に応じた流速データを選択し、その値に合致するようにヒトの典型的な拍動波形をスケールリングすることで、流入境界における拍動条件を設定した。また血管分岐部における流量分配を各血管径の3乗に比例する形で推定し⁵⁾、その値に基づいて流出境界条件を設定した。ただし、複数本ある流出血管のうち的一本において圧力固定の境界条件を与えることで、計算領域内の流体の質量保存が自然に満たされるようにした。

ポストプロセッシング

拍動流計算により得られた速度場データから、TAWSS (time-averaged WSS), TAWSSG (time-averaged WSS gradient), OSI (oscillatory shear index), GON (gradient oscillatory number), transWSS (transverse WSS)⁶⁾、および NtransWSS (normalized transWSS)²⁾を算出する。

3. 結果および考察

結果の詳細および破裂瘤の識別に関しては、当日の AVEC CFD 2016 で報告する。WSS の時間的・空間的な「乱れ」に注目して考察する予定である。

文 献

- 1) UCAS Japan Investigators: The natural course of unruptured cerebral aneurysms in a Japanese cohort. *New Engl. J. Med.*, **366**, 2474-2482, 2012.
- 2) Fukuda, S., et al.: Hemodynamic localizations in anterior communicating artery aneurysms in comparison with middle cerebral artery aneurysms with computational fluid dynamics analysis. *Stroke*, **47** (Suppl 1), AWP88, 2016.
- 3) Ito, Y., et al.: Multiple marching direction approach to generate high quality hybrid meshes. *AIAA J.*, **45**, 162-167, 2007.
- 4) Scheel, P., et al.: Flow velocity and flow volume measurements in the extracranial carotid and vertebral arteries in healthy adults: reference data and the effects of age. *Ultrasound Med. Biol.*, **26**, 1261-1266, 2000.
- 5) Murray, CD.: The physiological principle of minimum work: I. the vascular system and the cost of blood volume. *PNAS*, **12**, 207-214, 1926.
- 6) Peiffer, V., et al.: Computation in the rabbit aorta of a new metric - the transverse wall shear stress - to quantify the multidirectional character of disturbed blood flow. *J. Biomech.*, **46**, 2651-2658, 2013.