

MR を用いた脳血管の患者固有計算流体力学解析にセグメンテーションによる血管径の大きさと流量の変化が与える影響

石黒 健太⁽¹⁾, 磯田 治夫⁽²⁾⁽¹⁾, 渡辺 智哉⁽¹⁾, 竹原 康雄⁽³⁾, 寺田 理希⁽⁴⁾
小杉 崇文⁽⁵⁾, 大西 有希⁽⁶⁾, 小森 芳秋⁽⁷⁾

⁽¹⁾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]

⁽²⁾名古屋大学脳とこころの研究センター, ⁽³⁾浜松医科大学 医学部附属病院 放射線部

⁽⁴⁾磐田市立総合病院 第 1 放射診断科, ⁽⁵⁾株式会社アールテック

⁽⁶⁾東京工業大学 情報理工学研究科 情報環境学専攻, ⁽⁷⁾シーメンスヘルスケア株式会社

1. 緒言

動脈瘤の発生, 成長, 破裂に血流動態が関係していると考えられている. 血流動態を評価する方法として 3D Time of Flight (TOF) MR Angiography (MRA) データを血管形状, 3D cine Phase-Contrast (PC) MRI で得られた流速情報を基に磁気共鳴流体力学(Magnetic Resonance Fluid Dynamics, MRFD)を行い, MRFD から得られた流量を境界条件に用いた MR-based Computational Fluid Dynamics (CFD) 解析¹⁾がある. MRFD で流量を取得する際に, セグメンテーション時の血管径の大きさの変動により, 得られる流量が変化し, これを境界条件とする CFD 解析の結果が変動する可能性がある. 本研究の目的は, MRFD の血管のセグメンテーションの条件による流量の変化がこれを境界条件とする MR-based CFD 解析結果に与える影響を脳血管ファントムを用いて検証することである.

2. 方法

本研究は本学の生命倫理委員会の承認を得ている(承認番号: 14-305). 内頸動脈後交通動脈分岐部に動脈瘤を持つ 70 歳代女性の 3D TOF MRA からアールテック社製血流解析ソフト (Flow Visualization and Analysis, Flova) を使用して血管形状を作成し, シリコーン製脳血管ファントムを作成した. 作成したファントムを用いて閉鎖流路を組み, ヒトの収縮期の流量を定常流で循環させながら 3T MR 装置を用いてファントムの 3D TOF MRA, 3D cine PC MRI を撮像した. MIP 像を参考に得られた 3D TOF MRA データを Flova を用いて Region Growing 法でセグメンテーションし, Marching Cube 法で血管形状を作成した. セグメンテーションの閾値を Pixel 値 125, 150, 175, 200, 225 に変化させ, 対象領域の抽出をした. 解析者は Pixel 値 175 が最適であると判断した. 得られた各 Pixel 値の形状を CD-adapco 社製汎用熱流体解析プログラム STAR CCM+を用いてメッシュの作成や CFD 解析を行った. CFD 解析の境界条件は

MRFD で次のように取得した. 流入境界条件は各 Pixel 値の形状から取得した流速, 流出境界条件は各 Pixel 値の形状から取得した流出流量の分配比を設定した. 定性的な評価として各 Pixel 値の CFD 解析結果の流線図, Wall Shear Stress (WSS) 分布図を Pixel 値 175 の CFD 解析結果と比較した. 定量的な評価として前大脳動脈, 中大脳動脈, 内頸動脈, 動脈瘤の空間平均 WSS を算出し, Pixel 値 175 の CFD 解析結果との誤差率を算出した.

3. 結果

MRFD の血管形状決定時の Pixel 値に関わらず, CFD 解析結果の流線図, WSS 分布図は, 解析者が最適であると判断した Pixel 値 175 の MRFD の流量を用いた CFD 解析結果と似た分布を示した. また, 各部位の空間平均 WSS と Pixel 値 175 の CFD 解析結果との誤差は約 10%以下となった.

4. 考察

MRFD のセグメンテーションの条件の違いによる血管形状の変化があっても, これを用いた MR-based CFD の流線図や WSS 分布図, 空間平均 WSS に大きな変化がなかったのは, セグメンテーションの条件の変化に応じて, 流量が変化し, CFD 解析の形状に適した境界条件になったと考えられた.

5. 結言

MR-based CFD は境界条件を求める MRFD の血管形状の変化があっても, 形状ごとに適切な境界条件が得られるため, CFD 解析結果に及ぼす影響は小さいと考えられた. このことから解析者が異なっても, 結果に及ぼす影響は小さいと考えられた.

6. 参考文献

- 1) Isoda H, Takehara Y, et al. MR-based computational fluid dynamics with patient-specific boundary conditions for the initiation of a sidewall aneurysm of a basilar artery. MagnReson Med Sci. 14, 39-144, 2015.