

課題名(タイトル):

データ同化血流シミュレーションの研究開発

利用者氏名:

○伊井 仁志(1)

理研における所属研究室名:

(1)光量子工学研究センター 画像情報処理研究チーム

1. 本課題の研究背景、目的、関係プロジェクト
 血流場は血管の形状や生理学的条件に強く影響されるため、患者ごとに大きく異なり、臨床現場での介入を実施するためには患者個別の理解が重要である。このため、計測速度データと数値流体解析 (CFD: Computational Fluid Dynamics) をデータ同化させることで患者個別の血流解析がなされているが、データ同化時の位置合わせによる誤差や計測モダリティの違いによる誤差が発生することが、先行研究で指摘されている。これに関して、血管形状を高解像度撮影することができる MRA-TOF (MR Angiography Time Of Flight) から構築した血管モデルと脳血流情報を取得できる PC-MRI (Phase Contrast Magnetic Resonance Imaging) のマグニチュード画像から構築した血管モデルの形状および血流解析に与える影響は十分に検討されていない。本研究では PC-MRI のマグニチュード画像から構築した血管モデルと MRA-TOF から構築した血管モデル形状の違いを議論し、流れ場に与える影響を推察する。

2. 具体的な利用内容、計算方法

医用画像から血管形状モデル作成に関して、医用画像からの関心領域の理解や形状抽出に 3D 医用画像処理ソフトウェア Mimics (Materialise NV, Belgium), 抽出した形状モデルの整形とポリゴンモデル作成に 3D モデリングソフトウェア Meshmixer (Autodesk 社, アメリカ合衆国) を用いた。流れ場は非圧縮性 Navier-Stokes 方程式により支配されるとする。血管壁は固定された剛体壁とし速度 0 の no-slip 条件を課す。血流解析ソルバーとして直交格子を用いた CFD 解析手法を用い、任意形状を扱うため BDI 法 (Weymouth, Yue, 2011, J Comput Phys) を用いる。解析プログラムは独自開発であり、領域分割に基づいて OpenMP と MPI のハイブリッド並列を用いた計算実行が可能である。

3. 結果

脳動脈瘤を持つ同一患者に PC-MRI および MRA-TOF に

より取得した医用画像から血管形状モデルを作成した。複数の症例について、どちらから取得した医用画像からも同様の血管モデルを作成することができた。一方で、PC-MRI 画像に基づく血管モデルは、スライス幅の大きさや撮影技法の特徴から、ノイズや不要な分岐血管等が多く含まれ整形に多くの作業が必要であった。また、二値化処理におけるしきい値を上げると MRA-TOF で取得したような血管形状は取得できず、しきい値を下げると不必要なノイズも取得してしまう取得困難な例もあった。両モデルの流入血管と流出血管の血管径を比較すると PC-MRI モデルが全ての症例において大きくなった。

4. まとめ

PC-MRI に基づく血管形状は MRA-TOF に比べ形状取得の精度が低かった。患者個別の脳動脈瘤の血流解析においては、PC-MRI 撮影から得た血流情報を用いるデータ同化が行われるため、形状モデルも同撮影画像から構築するのが望ましい。しかしながら、PC-MRI 画像の低解像度がもたらす血流場への影響は症例によっては無視できないため、MRA-TOF 画像との併用が必要と考えられる。

5. 今後の計画・展望

構築した形状を用いてデータ同化血流解析を行い、計測モダリティに起因する血管形状の違いが血行力学因子に与える影響を定量化する計画である。

謝辞

本研究遂行に当たり、宇野新氏(東京都立大学システムデザイン学部知能機械システム学部4年生)の協力を得た。

6. 利用がなかった場合の理由

本年度は血管形状の構築を主に行ったため。次年度以降、数値流体解析に計算機を使用する予定である。