

課題名 (タイトル) :

脳動脈瘤の壁面成長シミュレーション

利用者氏名 : 才之神隆介

所属 : 社会知創成事業 次世代計算科学研究開発プログラム
生体力学シミュレーション研究チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

脳動脈瘤は脳動脈にできる瘤状の疾病であり、これが破裂すると蜘蛛膜下出血を引き起こす。この蜘蛛膜下出血を引き起こすと、約 30%の死亡率と約 35%の後遺症を引き起こし、約 25%しか完全社会復帰ができない重篤な疾病であり、蜘蛛膜下出血のうち約 70%が脳動脈瘤の破裂により引き起こされる。脳動脈瘤が破裂する確率は約 1%と低く、脳動脈瘤は保有しているだけで破裂しない限り人体にほとんど悪影響はない。一方で、脳動脈瘤の外科的治療には約 3%の治療リスクが存在する。このため、全ての脳動脈瘤を治療する必要はなく、治療の必要性が高い脳動脈瘤のみを治療する必要がある。脳動脈瘤は成長すればするほど破裂する可能性が高まるとされているため、脳動脈瘤が成長するかどうかの判断基準作成が必要となる。

従来研究より、脳動脈瘤成長に対するリスク評価として脳動脈瘤内の血行動態、とりわけ WSS (Wall Shear Stress : 壁面剪断応力) が注目されている。WSS による力学的要因とこれに起因する組織の脆弱化 (退行変性) が脳動脈瘤成長を助長していると考えられているが、WSS と退行変性の関係は明確になっていない。これは従来研究における血行動態を調べる研究だけでは脳動脈瘤成長部位における特異的な血行動態を調べることはできても、脳動脈瘤成長の過程を追うことはできないためである。

WSS と退行変性の関係を明確にするため、脳動脈瘤成長シミュレーションを行った。脳動脈瘤成長シミュレーションは Watton らによって考案されたものであり、脳動脈瘤内の血行動態に基づいて、脳動脈瘤壁面を変形させることで、血行動態

をベースに脳動脈瘤成長後の形状を予想するものである。このような脳動脈瘤成長シミュレーションは従来でも行われているが、対象の脳動脈瘤自体が理想モデルであることや、患者の症例を使用しても成長予想後の解析結果が実際の患者のデータと比較できていないため、シミュレーションの妥当性が得られず、血行動態と壁面成長の相互関係を明らかにできていない。そこで、本研究では数段階に渡って成長が確認された患者の前交通動脈瘤データをもとに、壁面成長シミュレーションを行い、解析結果と患者の成長後のデータを比較して、シミュレーションの妥当性を得ると同時に、血行動態と壁面成長の相互関係を明らかにすることを目的とした。

2. 具体的な利用内容、計算方法

脳動脈瘤成長シミュレーションを実施するにあたり、Fig.1 で示すようなフローを実施した。実際の患者の CT 連続断面画像を基にモデルを再構築し、この 3D 復元データを基に流体解析を行った。この流体解析で得られた血行動態を基に動脈壁退行変性をモデル化し、局所的に材料特性を変化させた。その後、内圧を負荷することでどのような成長が見られるかを観察した。

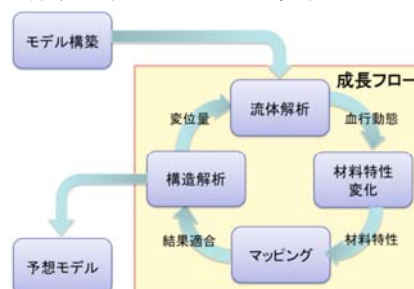


Fig.1 脳動脈瘤成長シミュレーションのフロー

この脳動脈瘤成長シミュレーションのフローにおいて、RICC を利用したのは流体解析のフローであるため、流体解析のみの解析方法を以下に

示す。

作成した 3D 復元データを用いて、V-Xgen と V-Xpp により STL データをボクセル化し、V-Sphere で流体解析を行った。この演算として RICC を用いた。解析条件としては、流入をヒト前交通動脈拍動波形近似式より算出した最高速度 0.84[m/s]でポワズイユ流れを適応した。また、流出は自由流出で、壁面は剛壁、すべり無し条件を適応した。流れは NS 方程式に支配されており、解析精度向上のため、VOF 法を使用した。

その後、流体解析で得られた WSS の結果を基に、退行変性モデリングを行った。この退行変性モデリングと構造解析の手法は RICC を利用していないこと、また論文を投稿する意思があるため、記載できない。

3. 結果

患者の第 1 段階における脳動脈瘤頭頂部を含む断面での流体解析の結果を Fig. 2 に示す。ここで、WSS はスカラー量として扱っており、distance はこの面の脳動脈瘤部分の壁面に沿った心臓側の neck からの距離を指す。また、Fig. 2 中で矢印で示されている部位は、実際の患者データにおいて顕著に成長が確認された部位を示している。この成長部位において、低 WSS が確認された。これは血行動態に注目している他の従来研究の結果と一致しており、低 WSS により脳動脈瘤成長が助長されている可能性が極めて高いことを示している。

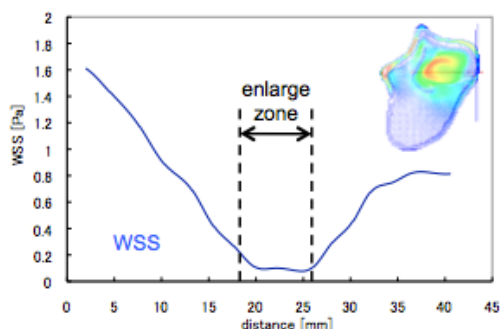


Fig. 2 脳動脈瘤頭頂部断面の血行動態

これより、本研究では低 WSS に基づいた退行変性モデリングを行い、脳動脈瘤成長シミュレーションを実施した。この結果、脳動脈瘤の予測形状と実際の患者の成長の成長傾向（成長部位と成長

量）はほとんど一致しており、低 WSS による退行変性が行われている可能性が極めて高いことを示せた。

4. まとめ

本研究では血行動態に基づく脳動脈瘤成長シミュレーションを行うために、RICC を利用し流体解析の結果を得た。これより、脳動脈瘤成長部位において顕著に低 WSS 領域が表れていた。これを基に低 WSS に基づく退行変性モデリングを行い、脳動脈瘤成長シミュレーションを行った。これにより、得られた予測形状と実際の患者の成長傾向が極めて一致しており、低 WSS が脳動脈瘤成長を助長している可能性が得られた。

5. 今後の計画・展望

本研究で得られた結果は、シミュレーションの一例に過ぎず、結果を類似させるためのパラメータフィッティングを行っている。このため、低 WSS と脳動脈瘤成長の関係性をより明らかにするため、他の脳動脈瘤モデルを用いて研究を行わなくてはならない。

また、本研究では低 WSS にのみ着目したが、WSS の勾配である WSSG も脳動脈瘤成長に関与している可能性があるといわれている。より詳細な血行動態や動脈壁モデリングを考慮することで、より脳動脈瘤成長と血行動態の関係性が明らかになるだろう。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

才之神隆介，脳動脈瘤における壁面成長シミュレーション，社会法人日本機械学会第 23 回バイオエンジニアリング講演会，2011 年 1 月 9 日，熊本大学

【その他】

才之神隆介，血行動態における脳動脈瘤成長シミュレーション，慶応義塾大学大学院理工学研究科修士論文