

課題名 (タイトル) :

脳血管内治療検討予測手法確立の為の血流計算

利用者氏名 : 深作 和明

理研での所属研究室名 :

社会知創成事業 次世代計算科学研究開発プログラム

次世代生命体統合シミュレーション研究推進グループ 臓器全身スケール研究開発チーム

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

脳動脈瘤は従来、頭蓋骨を開き、脳のしわを開いて動脈瘤頸部クリッピングで治療されてきましたが、最近では血管内治療の一つである瘤内コイルングで治療されるようになってきました。機能予後に関しては、コイルングの方が優れると言う大規模臨床試験の結果が出ており、近年急速にコイルングで治療される場合が増加してきています。さらに、ヨーロッパを中心として、ステントと呼ばれるメッシュ状の金属の筒を母血管内に設置し、動脈瘤内への流れの制御を試みる治療が開始され、臨床的に好成績がえられています。一方で、稀な破裂の報告もあり、未解決な問題となっています。従来検討してきた破裂のリスクの点から、非常に複雑な構造をもったステントを含めた計算が必要となりました。さらに、コイルを留置した状態での血流評価が求められて来ているため、そちらに対応することとしました。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究でもちいる数値流体解析プログラムは、「ものづくり情報技術統合化研究プログラム」で整備された、V-FLOW-VOF3D をベースとしています。V-FLOW-VOF3D は三次元非定常 Navier-Stokes 方程式に有限体積法を適用した計算プログラムであり、計算に用いる血管形状の表現に CAD 等の固体表面幾何情報 (ポリゴン) を必要とせず、空間に占める流体の割合 (VOF: Volume Of Fluid) を用いる点、計算格子として構造格子を用いているため、有限要素法で通常使用される非構造格子 (通称 FEM 格子) より 1 格子当たりのメモリ使用量が約 1/5 程度であり、メモリ当たりの空間解像度が高い

と言った点で特徴的です。特に、CT, MRI, 3D DSA などの医用画像から領域抽出等を全く要せずに閾値の調節程度のみで直接計算を行えます。これは、作業時間の限られた医療現場での応用を考えた場合には非常に有用であり、また、研究目的での利用の観点でも、境界が厳密に決まらないもの、まさに生体など、を対象とした計算での有用性が期待されます。臨床的に得られた脳血管の三次元形状に CG で作成したステントをはめ込み、計算しました。また、動脈瘤内にランダムな点を配し、様々な塞栓率を再現、瘤内流れに及ぼす影響を検討することとしました。加えて、脳動脈瘤の多発領域であるウイリスの動脈輪には、四つの流入血管がリング状の構造を形成して、虚血に備えている訳ですが、流入条件が複雑になるため、これまではあまり検討されて来ていませんでした。今回は、ウイリスリングを保った状態での計算を遂行し、動脈瘤の位置による流れの特性を検討しました。

3. 結果

本年も、情報基盤センターの野田茂穂研究員とともに計算を進めました。ステントを設置した流れに関しては、VOF 法ではなく FEM を用いた他の施設からも類似した報告が出始めました。我々の検討と一致して、ステント留置により流速の低下、圧の上昇が見られています (図 1)。塞栓率の変化に伴う流入の現象に関しては、動脈瘤のタイプによる相違を検討できました。(図 2) ウイリス動脈林全体を扱った計算も時間はかかり、安定性に欠けるものの可能で、対象とした脳底動脈瘤の治療の困難さが痛感できました。

4. まとめ

脳血管内治療の多くを占める脳動脈瘤に対する血管内治療の分野で、離脱式コイルの流れに及

ばす影響、ステントの整流効果とその瘤内への影響、複雑な解剖などで、計算機流体力学的な検討を行った。

5. 今後の計画・展望

Flow diverting stent に関しては、実物が入手できており、計算モデル作成と合わせて、詳細な検討を進めて行く。コイル留置後の瘤内流れの変化は、これまでは、仮想的に瘤内にドットを打つことや、ステンレス製のコイルの代用品を用いることで検討してきたが、最近、臨床でも使われるプラチナコイルのイメージングに成功しました。このモデルでの検討を進めて行きたい。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

Flow diverter に関しては、従来 CAD で作成したモデルで検討されてきたが、実物が入手できたことで、より詳細な立体構造を検討に含めることが可能となる。コイル留置後の検討も、イメージングの進歩により、実際のコイルでの検討が可能となったので、より現実に近いシミュレーションが可能となるものと期待できる。いずれも、従来よりも更に大規模な計算が必要となると見込まれます。特に、flow diverting stent に関しては、構成する一本一本のワイヤーを考慮することになると見込まれるため、計算量の増加が懸念されます。

7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

8. 利用研究成果が無かった場合の理由



図 1



図 2

平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

【国際会議などの予稿集、proceeding】

【国際会議、学会などでの口頭発表】

WFITN

World Federation of Interentional and Therapeutic Neuroradiology

2011.11.8 - 12 Cape Town

Simulation for the effect of volume embolization ratio in clinical aneurysms

Fukasaku K, Noda S, Takagi S, Himeno R, Konishi Y, Nara I and Negoro M

第 34 回バイオレオロジー学会年会

2011.6.3 - 4., 吹田

Flow Diverting Stent の流れに及ぼす影響

深作和明、根来真、小西善史、野田茂穂、奈良一成、高木周、姫野龍太郎

離脱式コイルの流れに及ぼす影響

深作和明、根来真、小西善史、野田茂穂、高木周

バイパス手術における血管吻合角度の血流への影響

姫野雅子、野田茂穂、深作和明、姫野龍太郎

東京労災病院主催脳神経外科研究会 “脳動脈瘤のバイオレオロジー”

2012.12.2 東京

脳動脈瘤の破裂リスクの検討

-計算機流体解析と DSA を用いて

深作和明

【その他】

WFITN

World Federation of Interentional and Therapeutic Neuroradiology

2011.11.8 - 12 Cape Town

Numeric simulation for flow diverting stent

平成 23 年度 RICC 利用報告書

Fukasaku K, Noda S, Takagi S, Himeno R, Konishi Y, Nara I and Negoro M

第 27 回日本脳神経血管内治療学会

2011. 11. 24 - 26

離脱式コイルの血流パターンに及ぼす影響

深作 和明, 根來 眞, 小西 善史, 野田 茂穂, 高木 周, 姫野 龍太郎, 奈良 一成