

2023年度東京慈恵会科大学大学間共同プロジェクト研究費成果概要

報告日 2024 年 4 月 17 日

部署名	脳神経外科
研究代表者 氏名	加藤直樹

1. 共同研究テーマ名	数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics:CFD) を用いた未破裂
2. 共同研究の連携先機関名	東京理科大学

研究成果の概要

(研究手法) : 本研究では、前大脳動脈及び中大脳動脈における脳動脈瘤のうち2009年8月から2021年4月に開頭クリッピング術が施された未破裂の囊状脳動脈瘤109症例を解析対象とした。血管造影画像から脳血管の三次元形状を再構成し、計算格子を生成した後にCFD解析を行うことで、脳動脈瘤壁面における無次元圧力差 (Pressure Difference : PD*)、無次元壁面せん断応力 (Wall Shear Stress : WSS*)、無次元量の壁面せん断応力の発散 (Wall Shear Stress Divergence : WSSD*) をそれぞれ算出した。加えて、術中の顕微鏡画像に対する画像解析から、画像中における赤みを評価する指標であるcR値を評価した。脳動脈瘤全体のうち、cR値が最大の点を最大菲薄点、上位25%の領域を菲薄領域、下位25%の領域を脳動脈瘤壁厚が比較的厚い肥厚領域と定義した。ここで、解析した109例のうち予測式作成用の89症例において、血管造影画像から再構成した三次元血管形状と術中画像を重ね合わせ、三次元形状中における菲薄領域と肥厚領域を抽出した。それぞれの領域における血行力学的パラメータを算出し、多変量ロジスティック回帰分析を行い、菲薄予測式を導出した。実用性検証用症例に対して、菲薄予測式を用いて菲薄領域を予測し、予測正解率と予測内包率 (Inclusion Rate) を用いて予測式の実用性を評価した。

(研究結果) : 多変量ロジスティクス回帰分析により導出された予測式からは、PD*、WSSD*が高い領域は菲薄領域のリスクが高いことが示された。脳動脈瘤部における術中画像とCFD解析結果を比較すると、脳動脈瘤内に流入する血液が高い速度を保ちながら衝突することで高いPD*を示しており、菲薄領域と一致した。また、血流衝突による噴流により、流れが発散することで高いWSSD*をとった場所も菲薄領域と一致した。脳動脈瘤壁面における圧力と引張力の負荷による内皮細胞の損傷が菲薄化に関与している可能性が示された。また、PD*とWSSD*の両者を同時考慮した予測式を実用性検証用症例に適用したところ、予測正解率は65.0% (13/20症例)、平均予測内包率は77.9%であった。これは、脳動脈瘤の菲薄化している箇所をCFD解析の結果より予測できる可能性を示すものである。この結果を活用することで、菲薄領域を術前に把握し、より安全な外科的治療が行える可能性がある。

今後の展望、成果発表の計画について

(今後の展望) :

本研究では第三年度までに、CFD解析の結果を元に菲薄部を予測できる可能性を上記研究成果の概要の通り明らかにした。今後はこれまでに開発してきた予測手法を、開頭クリッピングを行う症例において術前に適用することで、予測性能の前向き評価を行うとともに、予測の実用性検証をより詳細に行う予定である。また、これまでに開発してきた予測手法では、菲薄部における具体的な壁厚を予測できない点が課題である。今後は、脳動脈瘤の瘤壁を採取し、クリオスタットを用いて実際の厚さ計測し、壁厚と赤みの相関を評価することで、菲薄部だけでなく壁厚を算出可能にすることを目指して研究を実施する。

(研究成果の発表) :

上記の研究結果は以下の学会において成果報告を行った。

- ・ X International Conference on Computational Bioengineering (ICCB 2023) @Vienna
- ・ 第39回NPO法人 日本脳神経血管内治療学会学術総会 @京都

また、当研究チームの増田和範 (東京理科大学工学研究科機械工学専攻) の修士論文として発表した。本年度は以下の学会での成果発表を予定しているほか、英文学術雑誌に対する研究成果の論文投稿を目指す。

- ・ 発表予定学会 : 第40回日本脳神経血管内治療学会学術総会 @京都
- ・ 投稿予定学術雑誌 : Journal of Neurointerventional Surgery