

# 論文の内容の要旨

論文提出者氏名	佐々木 哲郎
論文審査担当者	主査 多田 剛 副査 佐々木 克典・関島 良樹
論文題目	Numerical analysis of bifurcation angles and branch patterns in intracranial aneurysm formation (脳動脈瘤発生における分岐角と分枝パターンの数値解析)
(論文の内容の要旨)	<p>〔背景と目的〕 脳動脈瘤は血管分岐部に発生しやすく、この分岐部で壁面せん断応力 (WSS) の上昇が観察されることから、脳動脈瘤の発生には WSS が大きく関わると考えられている。血管分岐における分岐角と分枝径が脳動脈瘤発生の関連因子であるとした報告があるが、分岐形態と WSS の関連性を詳細に分析した文献はない。そこで我々は、多数の血管分岐パターンを持つ血管モデルに対して数値流体力学 (CFD) を用いて WSS を計算し、分岐形態と脳動脈瘤発生との関連性を解析した。</p> <p>〔方法〕 3次元 CAD ソフトウェアを用い、分枝角を 30 度毎に変化させて分岐角 (2 つの分岐角の和) を 60 度から 180 度まで設定し、2 分枝の血管径が等しいタイプ A の 8 モデルと、左分枝径が細いタイプ B の 13 モデルを作成した。流体解析には汎用熱流解析ソフトウェアを用い、ヒト血液に近似した密度と粘性係数を与え、壁面を剛体と見做した滑りなし条件とした。入口境界条件として内頸動脈平均速度の定常流を与え、左右分枝の出口境界条件は流速比と分枝断面積比が等しくなるよう設定した。各モデルの CFD 解析で得られた WSS から、WSS の最大値 (<math>WSS_{MAX}</math>) と、15 Pa 以上の高い WSS が計測された壁面積 (AREA) と、その面積における WSS の総和 (<math>F_w</math>) を計算し、これらの WSS パラメータと分岐角・分枝角との関連性を線形回帰分析で検討した。</p> <p>〔結果〕 タイプ A モデルにおいて、<math>WSS_{MAX}</math> は分岐角が狭い場合と分岐角が広い場合で有意に上昇し、AREA と <math>F_w</math> は分岐角・分枝角が広い場合で有意に上昇した。タイプ B モデルにおいて、<math>WSS_{MAX}</math> は細い分枝側で高くなる傾向があり、細い分枝の <math>WSS_{MAX}</math> は分岐角が狭くなるにつれて上昇した。AREA と <math>F_w</math> は分岐角・分枝角と正の相関がみられた。以上から、<math>WSS_{MAX}</math> は分岐角が狭いか分枝径が細いと上昇し、AREA と <math>F_w</math> は分岐角または分枝角が広いと上昇することが分かった。</p> <p>〔考察〕 過去の文献で分岐角が広いことが脳動脈瘤発生の危険因子であるとされているのに対し、本研究では分岐角が狭くなるにつれて <math>WSS_{MAX}</math> が上昇する傾向がみられた。この反発する結果から、<math>WSS_{MAX}</math> のほかに脳動脈瘤発生に関わるパラメータが存在する可能性が考えられる。本研究では分岐角・分枝角が広くなると AREA と <math>F_w</math> は有意に上昇した。AREA や <math>F_w</math> が高いことは長年に広い範囲で高い WSS が生じている状態と捉えれば、AREA と <math>F_w</math> は分岐角が広いと脳動脈瘤発生の危険性が高まるという事実を支持するパラメータとなるかもしれない。本研究では、分岐形態と WSS パラメータとの関連性を解析するために単純血管モデルで様々な分岐パターンを作成したが、実際の脳血管は複雑な構造をしており、CFD シミュレーションの技術的な制限も考慮すると、本研究の結果がヒト血管に必ずしも当てはまるとは限らない。そのため、今後さらに複雑な分岐形態モデルや多数の患者固有モデルを用いた研究により、分岐形態と脳動脈瘤発生の関連性を深く解析するべきである。</p> <p>〔結語〕 WSS の変化は血管分岐形態に強く関連し、WSS は分岐角が狭い場合と分枝径が細い場合で高くなり、高い WSS が生じる壁面積は分岐角や分枝角が広いほど大きくなる。高い WSS に加え、高い WSS が生じる壁面積とその面積にかかる WSS の総和が、脳動脈瘤発生に関与すると考えられる。分岐形態の観察は脳動脈瘤発生の予測に結びつく可能性があり、広い分枝角と細い分枝は脳動脈瘤発生の危険因子となり得る。</p>