

Title	数値流体力学による重複大動脈瘤の治療前評価に関する研究
Author(s)	大拙, 陽介
Citation	
Issue Date	2014-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	none
URL	http://hdl.handle.net/10119/12104
Rights	
Description	Supervisor: 松澤 照男, 情報科学研究科, 博士

氏名	大 拙 陽 介		
学位の種類	博士(情報科学)		
学位記番号	博情第 296 号		
学位授与年月日	平成 26 年 3 月 24 日		
論文題目	数値流体力学による重複大動脈瘤の治療前評価に関する研究		
論文審査委員	主査 松澤 照男	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	党 建武	同	教授
	井口 寧	同	教授
	前園 涼	同	准教授
	太田 信	東北大学流体科学研究所	准教授

論文の内容の要旨

本研究は重複大動脈瘤の手術手順に関する数値流体解析を用いた研究である。大動脈は左心室から全身に酸素を含んだ血液を送り出す循環系である。大動脈壁面に膨らみが形成されることがあり、これを大動脈瘤と呼称する。瘤が破裂した場合高い確率で死に至ることが知られている。瘤の生成、成長そして破裂の原因は特定されていない。しかし、生物分子学の分野からの証拠、臨床と血流学からの状況証拠から発生と成長には壁剪断応力が密接に関わっていることが有力な仮説されている。大動脈瘤は高齢者に発症する 경우가多く、破裂するまで自覚症状がないため手遅れになりやすい。臨床現場の統計から、大動脈瘤は大動脈弓部分と腹部大動脈に発症しやすいことが報告されている。大動脈瘤の大きさが治療基準に達した場合、外科的手術によって治療が行われる。大動脈瘤が 2 つ以上形成される場合、重複大動脈瘤という。重複大動脈瘤を治療する場合成功率の高さから、一度の手術で個々の瘤を治療する多期的な手術が採用するが多い。この場合腹部の大動脈瘤が優先して治療されるが多い。しかし、この方法が最も適した治療手順であるという立証されていない。さらに腹部大動脈瘤を治療した後に胸部大動脈瘤が破裂したケースが報告されている。そこで本研究では、破裂に関して重要な関連性を持つとされている壁剪断応力と圧力について計算を行い、治療後の破裂の危険性について評価した。

計算には、単純形状を組み合わせたモデル形状と CT データから再構成した形状を用いた。モデル形状は 7 形状作成した。モデル形状は、治療基準となる胸部と腹部の大動脈瘤の大きさを元に 3 形状、加えて瘤の大きさによる残留瘤への影響を調べるために 4 形状作成した。CT 再構築形状は重複大動脈瘤形状と、腹部瘤治療後と胸部瘤治療後の 3 つの形状を用意した。支配方程式は定温状態、非圧縮性と外力は働いていないと仮定し Navier-Stokes 方程式を解いた。境界条件は、定常と非定常の計算条件ともに流量と圧力差による境界条件を使用した。流入口に於ける圧力波形は、流量による計算が収束した 5 周期目から流入面に於ける圧力の平均値を計算

し圧力固定の境界条件として使用した。非定常の計算では時間的に波形を収束させるために 5 周期計算を繰り返した。これら 2 つの境界条件は壁せん断応力と圧力を分析するために、関係する変数を境界面に於いて固定するために与えた。

CT から再構成したモデルは、上行大動脈と腹部大動脈において、他の数値解析と生体内から計測された圧力波形とほぼ同じ波形と大きさを示した。壁せん断応力と圧力を分析した結果、モデル形状と CT データを再構築した形状に於いて、残留胸部大動脈瘤における圧力の上昇を圧力のピーク付近に於いて確認した。

残留胸部大動脈瘤の圧力の上昇は、治療後の胸部瘤内部の流れが減速していたことから、腹部大動脈瘤治療による剪断力の増加によって引き起こされたと考えられる。残留腹部動脈瘤では圧力がピーク時に減少した。この現象は、胸部瘤内部に存在した高い圧力領域が治療によって消えたためと推測される。一方、胸部大動脈瘤における壁剪断応力は、瘤の上流に近い外側壁において治療後に上昇が確認できた。しかし、胸部大動脈の下流部に位置する外側壁瘤に於いて、瘤の成長に関して密接な関係があると考えられている低い壁剪断応力の領域の治療後の変化は確認出来なかった。これらの結果から胸部大動脈瘤を先に治療したほうが破裂の危険性は低くなるのではないかと推測する。

論文審査の結果の要旨

大動脈瘤はサイレントキラーと呼ばれ、本人の自覚症状がほとんど無く進展し、瘤の破裂より検出され緊急治療が行われるが、非常に致死率の高い疾病である。しかし、何らかの自覚症状あるいは他の目的で検査が行われた時にたまたま検出される場合があり、その場合の多くは 1 つの瘤だけではなく、2 つ以上の瘤が同時に検出される場合が少なくない。これは重複大動脈瘤と呼ばれ、全ての瘤を 1 回で治療を行う 1 期的治療と患者の負担が少ない多期的治療が行われる。本論文は多期的治療に注目し、数値流体力学的な検討により治療手順を明確化することを目的としている。

本論文では、胸部と腹部に動脈瘤をもつ重複大動脈モデルを作成し、数値流体力学的な検討を行った。血管壁への流体力学的な影響は、流れの圧力および壁剪断応力に限られることから、圧力の検討は、中枢側の圧力波形と抹消側の圧力波形を同一にした境界条件、壁剪断応力は壁での速度勾配が依存することから、中枢側の流量波形と抹消側の圧力波形を同一にした境界条件で比較検討をした。中枢側の流量波形はポアズイユ流れを仮定した境界条件とし、中枢側の圧力波形は抹消側に圧力波形を与えることにより中枢側の圧力波形を求めた。この結果、重複大動脈モデルと胸部および腹部の瘤を除去したモデルの比較をすると、腹部瘤を除去した場合の胸部瘤内は重複大動脈に比べ約 150 Pascal の圧力上昇がみられ、逆に胸部流を除去した場合の腹部瘤内は約 250 Pascal の減少が見られた。さらに壁剪断応力を比較すると、腹部瘤を除去すると胸部瘤に壁剪断応力の上昇が見られ、胸部瘤を除去すると腹部瘤ではピークでは殆ど差異はないが、流

量が再加速する位相において大きな上昇がみられたが、絶対壁剪断応力が小さい領域での上昇であり瘤への影響は少ない。以上の検討から、数値流体力学的には胸部瘤の治療を優先すべきであることが示唆された。

さらに、胸部と腹部に瘤をもつ重複大動脈瘤患者の CT 画像から血管形状を再構築し、数値流体力学的な検討をした。さらに、再構築した血管から Ford et al. の方法を用いて瘤の除去および血管の再構成を行った。その結果、重複大動脈瘤モデルで得られた結果と同様な傾向を示し、胸部瘤の治療を優先すべきであることが示唆された。

以上、本論文は、重複大動脈瘤について数値流体力学的な検討をして治療指針を示したものであり、臨床的にも有用であり学術的にも貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。