

血管狭窄形態における数値流体力学 CFD (Computational Fluid Dynamics) による解析

立石 実

東京女子医科大学 女性医師・研究者支援センター

東京女子医科大学 心臓血管外科

略歴

2000年 熊本大学 卒業
東京女子医科大学 日本心臓血管研究所 心臓血管外科 入局

2004年 日本外科学会認定医取得

2007年 日本心臓血管外科専門医、日本循環器専門医取得

2011年 東京女子医科大学 女性医師・研究者支援センター 特任助教兼心臓血管外科 助教（現在に至る）

【目的】

近年、様々な科学技術分野でコンピュータ解析による流体の解析（数値流体力学 Computational Fluid Dynamics、以下 CFD と略）が活用されている。生体内においては、血管や気管内など限られた空間内を血液や気体が移動するため CFD 解析が可能である。この CFD を臨床に活かすためには、理論上の解析と臨床像との相関を段階的に証明していくことが必要である。本研究は、コンピュータ支援設計 (Computer Aided Design、以下 CAD と略) によって作成した、血管狭窄の単純化モデルを CFD 解析することによって、狭窄形態によって変化する、圧損失、エネルギー損失、壁せん断応力などシミュレートし、狭窄部での局所血流の可視化を行うことで、その原因を解明する。

【方法】

CAD で 1) Tubular type、2) Taper type、3) Tubular + Taper type の 3 タイプの血管狭窄の単純モデルを作成。血管径 10mm に対して、30%、50%、70%狭窄、狭窄長は 1mm、5mm、10mm、20mm のモデルを作成した。血流の流速は 0.3m/秒として、CFD 解析はソフトウェア ANSYS FLUENT を用いて行った。また、実際の臨床像との比較として、心臓カテーテル検査で造影検査および圧較差の計測を行った右室流出路狭窄の症例を 30 例抽出し、造影での狭窄形態が最も近い単純化モデルと相応させて、理論上の圧較差の結果と、実際のカテーテルでの圧較差の計測値とを比較した。

【結果】

1) Tubular type では、狭窄長が 1mm の場合の圧損失が大きく、5mm で一旦これらが低下するが、その後 10mm、20mm において再度上昇する。狭窄率が 70% と 50% では、狭窄長 1mm において、圧損失に 10 倍以上の差を認めた。2) Taper type では、狭窄長が 1mm の場合に最も圧較差が大きく、その後狭窄長が長くなる程、圧損失は現象する結果だった。

【考察】

1)、2) の両タイプにおいて、共に狭窄長の短い限局性狭窄のタイプで圧損失が非常に大きいことは、狭窄後の「流れの剥離」に伴うエネルギー損失が原因と考えられた。また、2) のタイプにおいて狭窄長が長くなるほど圧損失が小さくなるのは、「流れの剥離」が減少するため考えられた。1) のタイプで、狭窄長 5mm において圧損失が低下するのは「圧回復減少 pressure recovery」に基づくものと考えられた。

【結論】

血管の狭窄形態や狭窄長によって圧損失が大きく異なる。特に限局性の狭窄は圧損失が大きく、狭窄率だけで治療介入の決定をすべきではないことが示唆された。今後、様々な血管単純モデルを作成して検討を進める予定である。