

肺動脈のモデリング

Rob Woolhouse, Fluent Europe Ltd.

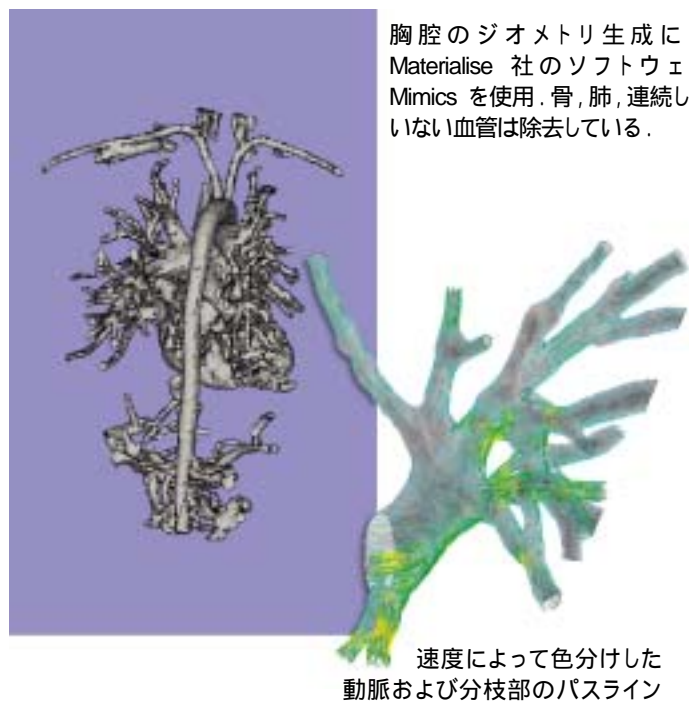


FLUENT 6 のメッシュを使用した肺動脈

従来とは異なる新しい分野においても、CFDがますます利用されています。極めて興味深い新分野の一つが、人体内の複雑な生理的流路のシミュレーションです。これは、コンピューターモデリングと磁気共鳴画像(MRI: Magnetic Resonance Imaging)技術を組み合わせて行います。こうした用途にCFDを使用する長所の一つは、複数の試験や実験により臨床研究を最小限にとどめられるということです。もう一つは、手術前のパッチャルシミュレーションにより手術をより円滑に進行させ、成功率のより高い結果を得られるということです。

このような有望で新しい可能性の例として、最近、肺動脈内の流れの研究が実施されました。結果は、凝固部または動脈瘤が発生しそうな領域を特定するために

使用されます。凝固は、低流体せん断と長い滞留時間が認められる低速でよんだ流れの領域に発生します。高い表面圧力、高せん断応力、急勾配などの条件を満たす領域では、血管壁が外側に隆起して袋状のこぶを形成し、動脈瘤となります。大動脈の修復には、通常、血管を安定させるためにステントを挿入する外科的処置がとられます。CFDの利用により、術前にステントの位置とデザインをモデル化して最適なサイズと方向を決定し、不意の損傷のリスクや手術時間を減らすことができます。



胸腔のジオメトリ生成には Materialise 社のソフトウェア Mimics を使用。骨、肺、連続していない血管は除去している。

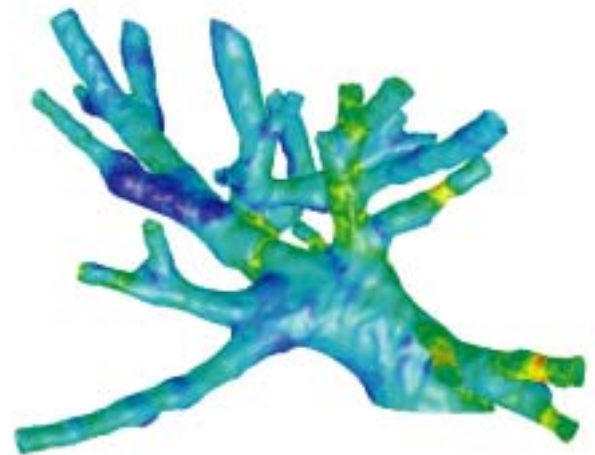
速度によって色分けした動脈および分枝部のパスライン

患者のデータを適切なCFDジオメトリに変換する処理は、実際にはかなり複雑です。多くのステップが必要になりますが、肺動脈プロジェクトでは、その中のいくつかのステップでMaterialise社(本社: Belgium Leuven)

の協力を得て、同社の登録ソフトウェアMimicsおよびMagicsを使用しました。MimicsはMRIのスライスを3次元ソリッドモデルに変換し、STL(Stereolithography)のようなCADと互換性のある様々なファイル形式でエクスポートします。Magicsは包括的なサーフェス修復ツールを備えた専用のSTL編集ソフトです。

肺動脈プロジェクトでは、シェフィールド大学のMRI室から胸腔のMRIスキャンデータの提供を受けました。MRIスキャンのスライスは、通常、グレースケールでピクセル化したDICOM形式で生成されます。これを3次元ソリッドモデル作成のために合成しました。対象とする血管に繋がっていない血管は、骨や他の組織と同様に除去しました。それから、3次元ソリッドモデルをSTL形式で3次元サーフェスとしてエクスポートしました。さらに編集を行い、CFDモデルのための肺動脈と主要な分枝部分のみを残して、それ以外の必要ない箇所はすべて除去しました。こうしてできあがった滑らかな動脈のジオメトリをGAMBITに読み込み、テトラ(4面体)メッシュ用のサーフェスマッシュを生成しました。モデルが複雑なため、TGridでさらにサーフェスマッシュを調整し、ボリュームメッシュを生成しました。

過去数年間、体内の血流に関する物理現象は多数の研究で注目されており、現在のモデルにもそこから多くの知見が取り込まれました。例えば肺動脈は、(比較的)高圧の状態では心臓から直接流れ込む大量の血液を運んでいけるように厚い血管壁でできているため、流体と構造体の相互作用は無視できます。また、初期のチェックで流れの状態が層流だと確認されました。血液は非ニュートン流体なので、粘度に対するせん断力の影響を考慮する必要があります。ユーザー定義関数(UDF)でCarreau-Yasudaモデルを作成しました。一箇所ある大きな流入口に、心臓から供給される流れを反映する非定常の周期プロファイルを持つ速度境界を適用しました。複数あるモデルの流出口には圧力出口境界条件(等圧)を適用しました。流れが分岐していく状態は血管のジオメトリによって決まります。



動脈および分枝の表面の壁面せん断応力

健康な成人のスキャンデータであるため、予想通り、速度ベクトルのプロットは動脈内またはその主な分枝部分に循環領域やよどんだ領域が無いことを示しています。壁面せん断応力の表面コンター図は、いくつかの血管の狭くなった部分で増加を示しています。しかし、これらの領域での流れは直接表面に向かっていないので、恐らく、動脈瘤が発生することはないでしょう。

全般的に見て、この最新技術は非侵襲性のツールを使用して個人に特有の重要な情報を提供できるため、今後の医学処置に明るい見通しをもたらすでしょう。

本プロジェクトにご協力いただいたシェフィールド大学MRI室に感謝いたします。