

【目的】 我々の研究グループでは呼吸時の鼻腔・口腔・咽頭気流の渦、摩擦、流れの剥離の発生等による吸気流れの抵抗についてヒトデータからシミュレーション力学モデルを作製してきた。こうした研究結果を発展させる形で、バイオメカニクス的手法を利用して鼻腔から肺胞までの気道全長に渡ってシミュレーション力学モデルを作製し、作製した力学モデルを利用して種々の呼吸器領域の各種課題に応用していくことを最終目標としたいと考えている。今回は、ヒトのデータを利用してバイオメカニクスの技術を利用して気道シミュレーションモデルを構築し、その力学シミュレーションから速やかな肺虚脱を得られる胸腔内陽圧の条件を検討することでそのモデルの妥当性を検証するとともに、妥当性を向上するための適切なパラメータの設定を試みた。

【方法】 ブタ肺でのモデル化と同様なプロセスでヒト肺データを用いた気管支肺モデル化を進めた。まず 1D+3D modeling の解析領域と形状モデルを検討した。すなわち、全体を 1 次元気管支気道モデルとし、中枢部分のみ 3D モデルを作製する方針とした。3D 構造解析では、気管支壁は軟骨と平滑筋の 2 部材でモデル化を実施して適切な条件を検索した。また、1D モデルでは気管支気道内面を円筒に近似した。3 次元 CFD モデルでは実形状を使用した。抽出した気管支の STL データを作成し、格子生成プログラムで読み取れることを確認した。格子生成プログラムで解析範囲の内部気道に格子を生成した。解析範囲外の気管支流れの 1 次元計算と CFD の境界条件の設定を行った。妥当性のある条件設定が整ったところで、胸腔陽圧を実施した 2 症例の術前 CT 画像データからモデルを作製し、CFD 解析結果を比較した。気管支閉塞が認識できた部位を中心にその特徴を解析し、一般化を図った。

【結果】 気管支閉塞の原因検索において、先行研究結果を参考に、主気管支から 2 分岐までの領域を描出するようにして、細かい分枝に注目した。さらに、気管支壁の内側がより正確に描出される条件を設定した。加えて、画像の粗さのために壁が抜けてしまう部分を補充するため、データの平滑化により可能な限り細かい分枝を再現するボリュームレンダリング手法を導入した。胸腔陽圧を用いた際に気道閉塞を確認できた 2 症例について、CFD 解析を実施しいずれの症例においても閉塞が確認された部位に相当する領域において、周囲と比較して突出して静的圧力の低下を認めていた。この結果から、臨床で経験した気道閉塞を確認でき、本法で作製したモデルでの CFD 解析には妥当性があるものと考えられた。当該分枝が比較的中枢に近いところに存在することで負圧効果が強くなりやすい可能性、更にリング状軟骨による気管支内部気道の凹凸によって流速が増減することで圧力低下部の負圧が増長される可能性等が示唆された。

胸腔陽圧時に気道閉塞をきたした症例での流体力学 3 次元解析結果

