

3.1.2 融合計算医工学研究分野

(研究目的)

融合計算医工学研究分野では、細胞レベルから循環器系までの生体内流動現象を対象として、先端生体計測、大規模数値計算、およびそれらを一体化した計測融合シミュレーションにより、循環器系疾病の機序の解明と次世代医療機器の創成に関する研究を行っている。

(研究課題)

- (1) 循環系の計測融合シミュレーションに関する研究
- (2) 微小循環系におけるマイクロ生体流動現象に関する研究
- (3) 左心室内血流に関する研究

(構成員)

教授 早瀬 敏幸、助教 宮内 優、技術職員 井上 浩介

(研究の概要と成果)

- (1) 循環系の計測融合シミュレーションに関する研究

磁気共鳴画像計測融合 (MR-MI) 血流解析システムは、MRI で計測された流速分布を数値計算にフィードバックすることにより、生体内の血流動態を詳細に再現する。本研究では、動脈瘤の好発部位である上行大動脈を対象にして、MR-MI シミュレーションの有効性を明らかにするために、MR-MI シミュレーションと通常のシミュレーションを実施し、MRI 計測データの結果と比較、検討を行った。流体解析には商用ソフトの Fluent を使用し、フィードバック力を算出するコードを Fluent に組み込む事によって MR-MI シミュレーションを行った。解析にはバルサルバ洞拡大患者から取得された大動脈形状を使用し、拡大部は削除した。MRI 計測データの速度分布は上行大動脈の曲率に対して外側に偏向した流れであったが、通常のシミュレーションでは速度分布は一様であり、外側に偏向した再現できなかった。一方で、MRI 計測データをフィードバックした MR-MI シミュレーションでは外側に偏向した流れを再現でき、その有効性が示された。

- (2) 微小循環系におけるマイクロ生体流動現象に関する研究

赤血球と内皮細胞の力学的相互作用は、微小血管内の血流動態や、内皮表面の損傷などに関係する重要な問題である。相互作用解明の基礎データである傾斜遠心力下での培養内皮細胞上の赤血球の非線形摩擦特性の機序を明らかにするため、その基礎的検討として平らな基板上を移動する流体中の赤血球挙動の 3 次元流体構造連成解析を行った。血漿はニュートン流体、赤血球膜は Skalak モデルを適用し、赤血球内部の流体にのみ傾斜遠心力を加えることによって、傾斜遠心力場の赤血球を再現した。流体は有限差分法、赤血球膜は有限要素法によって離散化し、流体と赤血球の連成には immersed boundary method を使用した。解析により、膜の弾性を考慮した赤血球モデルは前後非対称形状で、底部は平坦となり、進行方向に対して正の迎角をもつ状態で平衡状態となることがわかった。得られた赤血球モデルの摩擦特性は実験での値と良い一致を示しており、本シミュレーション結果の妥当性を示す結果となった。

- (3) 左心室内血流に関する研究

一般に左心室内の血流はその速度が大きいため、左心室内で血栓が生じないと考えられているが、乳頭筋や肉柱などの左心室内の複雑な内部構造によって血流は停滞し、血栓形成を引き起こす可能性がある。本研究では、左心室内の内部構造とねじれ運動が左心室内の血流場に与える影響の解明を目的として、肉柱と乳頭筋を模擬した単純形状の内部構造をもつ左心室を用いて非定常血流解析を実施した。解析に使用する左心室モデルは MRI 画像をもとに構築した。左心室壁の動きは体積と、心尖-僧帽弁間の関数として定義した。内部構造の影響を調べるために、内部構造ありの左心室モデルと内部構造なしの左心室モデルの解析結果を比較した。解析によって肉柱構造により心尖部の壁せん断応力が低下し、血流停滞の可能性が増加すること、乳頭筋構造により乳頭筋近傍での血流場に局所的に影響を与えることが明らかになった。また、一定のねじれ角を持つ左心室の心尖において血流停滞の度合いが高まる可能性があることがわかった。