

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) 肺微小循環における血流解析モデル開発に関する研究

(構成員)

教授 早瀬 敏幸、准教授 白井 敦、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

2次元超音波計測融合(2D-UMI)血流解析システムは、超音波カラードプラデータ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。臨床における超音波計測データには計測誤差の一つであるエイリアシングを含み、UMIシミュレーションはエイリアシングを逆流として再現してしまう。本研究では、2D-UMI血流解析システムにより正確な血流場を得るため、エイリアシングと逆流を判別し、補正する方法を提案し、その有効性を逆流とエイリアシングを含む計測データに対する検証実験により検討した。従来手法では、エイリアシングを含む場合に上流断面平均流速を正しく推定することが困難であった。本研究では、ドプラ速度の符号によって評価領域を設定して上流端流速を推定することにより、エイリアシングの検出と補正を行う手法を新たに提案した。総頸動脈分岐部付近の逆流部を含む流れによる検証実験を行った結果、本手法によりエイリアシングと逆流を正しく判別し補正できることが確認され、提案手法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、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模擬した。流体は有限差分法、赤血球膜はスペクトル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。赤血球膜の曲げ剛性に関して、曲げ剛性ありとなしの2種類の計算を実施した。しかし、両計算ともに数値誤差によって長時間の計算が難しかったため、平衡状態に至るまでの結果を得た。曲げ剛性ありの赤血球の場合には赤血球は初期の両凹盤形状からほとんど変形せず、流体と傾斜遠心力の力のモーメントの不釣り合いのため、平衡状態を取らない結果となった。一方、曲げ剛性なしの赤血球の場合には赤血球底面が平坦となり、赤血球上部後方が大きくくぼむ変形を示した。また、時間とともに赤血球の回転角が小さくなり、平衡状態の実現を示唆する結果となった。

- (3) 肺微小循環における血流解析モデル開発に関する研究

肺における血行動態を数値的に再現するために、実際の肺毛細血管網を模擬した、三次元でランダムな配向の毛細血管網モデルの構築手法を提案してきた。本手法は、有限要素法におけるメッシュ生成手法の一つであるバブルメッシュ法を改良したもので、領域に充填する節点のサイズに一定のばらつきを与え、節点を結ぶDelaunay三角形の加重重心を繋ぐ線を血管とすることで、各血管の長さおよび配向にランダム性を与える。そして、本手法を用いて、複数の肺泡で構成される肺胞嚢に対して毛細血管網を構築することに成功した。