

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) 鍼治療における血行動態変化の数値解析に関する研究

（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

臨床現場において血流動態の情報が簡便に取得できる、2次元超音波計測融合（2D-UMI）血流解析システムにおける非定常上流端流速推定手法の研究、および上流境界速度条件の影響の研究を行った。非定常上流端流速推定手法の研究では、従来手法の系統的な検証を行い、2次元血管内血流場を対象とした多様な流れ場に対して高精度な上流端流速推定手法を確立した。上流境界速度条件の影響の研究では、頸動脈の臨床データを基に4種類の上流境界速度条件を与えて通常のシミュレーションと2D-UMIシミュレーションを実行し、計算精度を比較した結果、正確な上流端速度分布を与えて行う通常のシミュレーションに対し、上流端速度分布が必ずしも正確でない場合の2D-UMIシミュレーションの優位性が明らかとなった。

- (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、内皮細胞表面に存在する糖鎖（グリコカリックス）と赤血球の相互作用について、複数のモデルを仮定して3次元流動数値解析を行った。その結果、接触力が距離に反比例する単純な相互作用モデルにより、実験の摩擦特性を定性的に説明できることが明らかとなった。

傾斜遠心力場において基板上を移動する赤血球の挙動に関して、赤血球を弾性を持つ2次元円形カプセルとしてモデリングし、流体構造連成解析を行うことにより基板上におけるカプセルの挙動を調査した。その結果、先行研究で用いた仮定（赤血球底部の平坦な形状、進行方向に対する迎角）と同様の傾向を示すことがわかり、その仮定の妥当性を裏付ける結果を得た。また、タンクトレディング運動の有無や、膜の弾性がある変形形状に与える影響などを明らかにした。

血管内皮表面の凹凸を模擬した基板上におけるHL-60細胞の挙動に関して、軸集中した赤血球からの押し付け力の影響を解析した。その結果、押しつけ力の増加とともに、基板の凹部を通過する血球の割合が増えることが確認された。好中球のローリングに寄与するP-selectinは血管内皮細胞の辺縁部に局在することから、本結果は、血管内皮表面の幾何形状に加えて、赤血球と好中球の機械的な相互作用が、好中球のP-selectinとの結合を促進することを示唆する。

- (3) 鍼治療における血行動態変化の数値解析に関する研究

これまでの研究で構築した全身動脈系の集中定数血流モデルを用いて、足三里(ST-36)への鍼刺激による血行動態変化の数値的再現を試みた。その結果、血行動態変化の定量的な再現のためには、過去の実験計測において統計的に有意な差のなかった心拍出量の変化を考慮することが必要であることが示された。