

### 3. 1. 3 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

光電容積脈波センサと2次元超音波計測融合シミュレーションによる血圧と血流の同時解析が可能なシステムを構築し、頸動脈における解析を行ってWave intensity (WI)により特定された進行波と後退波に対応する時相における血流場の特徴を明らかにした。Water hammer 理論の結果との比較により、本システムは誤差10 ms以内の精度で血圧と血流の同時解析が可能であることが示された。本システムによりヒト左総頸動脈の血圧と血流の同時解析を行なって、WIにより特定された進行波と後退波に対応する2次元非定常流動場の特徴を調べた結果、従来可能性が指摘されていた逆流に伴うストップ流れが再現された。血管下壁での平均壁せん断応力(WSS)の最大値は約5 Pであることが示された。WIの結果から、後退波優勢のときWSSが最大となることが明らかとなり、頸動脈内の波動伝播が血管内皮細胞に与える影響の評価に関して有益な知見が得られた。

- (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、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次元流動数値解析および過去の研究で圧縮性多孔質モデルによる2次元潤滑理論解析を行った。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、圧縮性多孔質モデルによる2次元潤滑理論解析では定性的に実験と異なる結果が得られることが明らかとなった。

傾斜遠心力を受ける流体中の赤血球の基板近傍での挙動に関して、弾性円形カプセルの2次元流体構造連成解析を行い、膜の弾性が基板近傍のカプセルの挙動に与える影響について調査した。その結果、平衡状態のカプセルは、膜が柔らかいほど進行方向の前方が丸く、後方が尖った形状になることがわかった。そして、膜が柔軟であるほどカプセルは基板から離れた位置で平衡状態となり、基板との摩擦力は小さくなることが明らかとなった。

- (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は、実際に模擬した、三次元でランダムな配向の肺毛細血管網モデルの構築が不可欠である。そのため、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モデル構築手法を提案した。本手法は、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ことに成功した。また、節点サイズのばらつきを大きくすることで血管長分布を制御できることを示し、計測された血管長分布を再現した。