はく離・再付着流れでの血栓形成について

Instructions for Preparation of Manuscripts

○玉川雅章¹, 前田暁¹

1. 九州工業大学

○Masaaki TAMAGAWA¹ and Akira MAEDA¹

1. Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

近年、遠心血液ポンプをはじめとする人工臓器の開発が盛んに行われているが、その開発において血栓が大きな問題となっており、医用流体機器の代表である人工臓器やステントの開発にあたり血栓形成の工学的な予測法の確立が急務となっている。そこで、本研究では単純な流れ場形状であるバックステップ流れを用いて血栓の予測法の開発を行ってきた。これまでに著者らは、流れ場のせん断速度と壁の材質による吸着を考慮した血栓形成予測として、格子ボルツマン法(LBM)⁽¹⁾を用い、単相流におけるバックステップ流れの解析を行い、計算精度が差分法と同程度であることを示し⁽²⁾、さらには、界面張力のメカニズムを考慮した格子ボルツマン法を用い、物体同士の界面張力による血小板や血球成分の凝集、各相の挙動を解析してきた。これらの計算モデルにおける凝集や固着のパラメータを同定する必要がある。

本研究では、これらの数値計算予測法におけるパラメータ同定のため、血栓の可視化実験の確立を目的とする。

2. 血栓の可視化実験

2.1 実験装置と回路

回路内にはオリフィス管(アクリル製)、流量計、ローラーポンプ、温度計、ポートからなり、回路内の長さは5[m]である。オリフィス管は、管直径 $D=22[\text{mm}]$ 、収縮部直径 $d=8[\text{mm}]$ である。光源には、スペクトラフィジックス社製水冷 Ar イオンレーザー Stabilite2017(出力:2[W]、波長:514.5[μm])を用い、シリンドリカルレンズにてレーザーシート(シート厚さ:1mm)を作り、オリフィス管中心軸に照射する。

ヘパリンで凝固を抑えた血漿水で回路内を満たし、血栓形成過程を2次元的に観察する。血漿水の抗凝固能を戻すために、回路内のポートよりヘパリンの中和剤である硫酸プロタミンを注入する。撮影はオリフィス管上部より、日本ローパー製の高速 CCD カメラ MotionPro HS-4 を用いて行う。流量は5[l/min]とする。

2.2 壁面コーティングの影響

本報では、特に壁面吸着力の影響を調べるために、アクリル表面上に親水性コーティングを行い、血栓吸着力の影響を調べる。コーティングはオリフィスより後方の円管内面のみに行った。このコーティングより期待できることは、アクリル表面の場合は、血小板粒子が固着しにくかったものが、親水性コーティングを行うことで、血小板の固着を起きやすくすることである。これらを総合すれば、物理的には壁面固着力を増加させたことに相当すると考えられる。

3. 結果とまとめ

また、Fig.2 はオリフィスの形状 AB において、実験により得られた白黒のデジタル画像を濃度値に変化し、画像化したものである。この図は濃度値が血漿タンパクの析出の程度を示している。場所としては、再付着点に強い固着を興していることが明らかにわかる。この結果と過去の結果⁽²⁾と比較すると、壁面固着力が弱い場合には、せん断応力による凝集の効果の方が大きいことがわかる。

これらの結果から、壁面コーティングを行うことで壁面の固着力が強い場合には、血栓の固着の位置が顕著に表れ、再付着点近傍であることがわかり、弱い場合には、凝集の発生箇所が広範囲であることがわかった。

今後は、この壁面吸着力の変化とこれまでのCFDを用いた血栓予測法の結果を比較して、吸着力および凝集力のパラメータ同定を行う予定である。

4. 参考文献

- (1) Guy.R.McNamara and Gianluigi Zanetti:Use of Boltzmann Equation to Simulate Lattice-Gas Automata. Physical Review Letters, 61 (1988), pp.2332-2335
- (2) Masaaki TAMAGAWA, CFD Study of Thrombus Formation on Shear Blood Flows by using Modified Lattice Boltzmann Method and Thrombus Observation, Proc. of ASME SBC 2008

Fig. 1 Experimental apparatus for visualization of the thrombus formation in plasma flow

Fig.2 Continuous image of brightness contour in the orifice area