

各種せん断流れ場での血栓形成の可視化

Visualization of thrombus formation for various shear flows

○ 玉川 雅章 (九工大) 守屋 良治 (九工大)

Masaaki TAMAGAWA, Kyushu Institute of Technology
Ryoji MORIYA, Kyushu Institute of Technology

Key Words: Thrombus formation, Orifice flow

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⁽¹⁾、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。しかし、これまで行ってきたCFDによる血栓形成予測モデル⁽²⁾⁽³⁾では、凝集や固着のパラメータが必要となっている。そこで、これらのパラメータの同定のため、実験による血栓形成の実験、すなわち血栓形成の可視化が必要である。本研究で目的とするのは、各種のせん断流れ場での人工壁面での血栓の付着の観察を行い、付着箇所やせん断速度場との相関性を調べることである。本報では、形状の違い（せん断速度の違い）による血栓形成のパターンやPIV計測による速度に着目して血栓の可視化観察を行う。

2 血栓の可視化実験

上流下流の変化を含め5種類の形状のオリフィス管(Fig. 1)を用い、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、ウォータバスからなり、

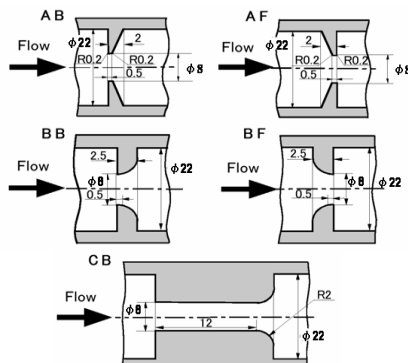


Fig.1 Orifice geometries for observation of thrombus formation on plasma flows

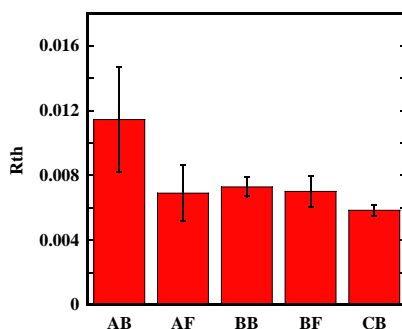


Fig.2 Comparison of Thrombus formation rate

回路内の長さは総計5[m]で流量は5[l/min]である。また、可視化およびPIV計測のための光源は、シート厚さ約1mmのレーザーシート光を作り、オリフィス管中心軸に照射する。これにより、血栓形成の可視化ならびに流れの可視化(PIV)が可能となる。血漿水の凝固能を戻すために、硫酸プロタミンを注入してその固着過程を観察する。また、アクリル表面上に各種の親水性コーティングを行い、壁での血栓吸着力を変化させることができるようになっている。

3 血栓可視化結果とまとめ

血栓形成の成長を各形状で定量的に捕らえる方法を考える。空間平均化された輝度分布の時間履歴を算出し、輝度の最高値を B_{max} としたとき血栓形成の速度 $R_{th} = (dB/dt)/B_{max}$ が、Fig.2である。サンプル数は $n=4\sim 14$ であり、ばらつき傾向はあるものの一定の傾向を示していることがわかる。特に、流れ上流部の角部でのRが小さい傾向のABおよびBBを比較しても、差があることがわかる。これから、局所的なせん断応力やせん断速度場が影響を及ぼしていることが考えられる。

次に、PIV計測の結果については、紙面の関係上ここでは、周期平均のせん断速度のみを表す。Fig.3には、上記のAB形状とBB形状でのせん断速度のコンターを示す。解析できる領域は限られるものの、AB形状の方が、BB形状に比べて高せん断速度領域が大きいことがわかる。

これらから、2つの形状比較に限定されているが、血栓形成速度は、高せん断速度場の領域が大きいほうが大きくなる傾向にあることが推測される。その機構として推測されるのは、壁での血栓付着力に及ぼす血小板や血漿水中のせん断応力によって反応するタンパク質(VWFやフィブリノーゲン等)が活性化されやすくなっているためと考えられる。今後、他の形状でのせん断速度分布との対比を行う予定である。

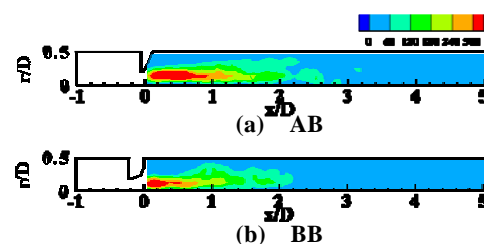


Fig.3 Shear rate contour by using velocity in the PIV measurements