

血液せん断流れ場における壁面付着血栓成長速度

Thrombus Formation Rate at the Wall on Blood Shear Flows

○ 玉川雅章 (九工大), 元岡亮輔 (九工大工)

Masaaki TAMAGAWA, Kyushu Institute of Technology
Ryosuke MOTOOKA, Kyushu Institute of Technology

Abstract: This paper describes visualization of thrombus formation on orifice flows by laser sheet beam. The aim is to investigate the effects of shear stress or shear rate on the thrombus formation or thrombus formation rate. In this investigation, by visualization of the thrombus formation in blood plasma flow, it was found that the pressure loss and high shear rate region of the flow has large effects of the thrombus formation.

Key Words: Blood flow, Shear rate, Thrombus formation

1. はじめに

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。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⁽¹⁾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、血栓形成のマクロ的な挙動の解明、すなわち血栓形成の可視化が必要となっている。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、これまでの可視化結果によって得られた輝度値分布と流量の違い(圧力損失の違い)と血栓形成面積増加率の相関を調べることにする。

2. 血栓の可視化実験と血栓形成評価

2.1 血栓の可視化実験装置

これまでの実験と同様に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、オリフィス管(アクリル製)、流量計、ローラーポンプ、温度計、ウォーターバスからなる回路を用いた。回路内の長さは総計 5[m]で流量は

1-5[1/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。上部から高速度 CCD カメラを用いてオリフィス管内の血栓形成過程を撮影し観察を行う。また、同時に流れの可視化(PIV)が可能となる。このとき、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。

2.2 血栓形成速度評価

Fig.3に可視化実験により得られたデジタル画像の壁面近傍領域での平均輝度値の時間履歴を示す(5L/min)。ここで輝度値はレーザーシート光の散乱光強度を示しており、一定以上の輝度変化を血栓としその面積を求めた。Fig.4に血栓生成面積 S の時間履歴を示す。各流量における血栓形成の速度を定量的に捉えるため、輝度変化の初期勾配の範囲における血栓生成面積の勾配の最大値を血栓生成速度 R_s と定義する。

$$R_s = (dS / dt)_{max} \tag{1}$$

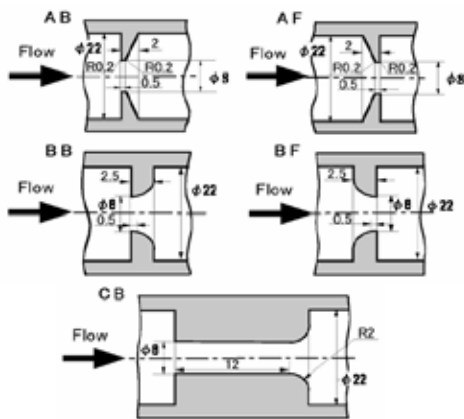


Fig.1 Orifice geometries for observation of thrombus formation on plasma flows

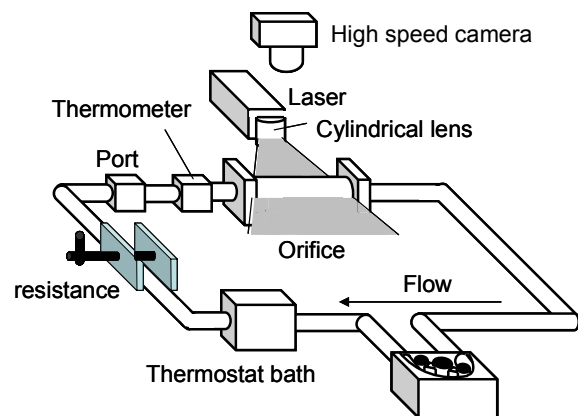


Fig.2 Typical circuit to observe thrombus formation process

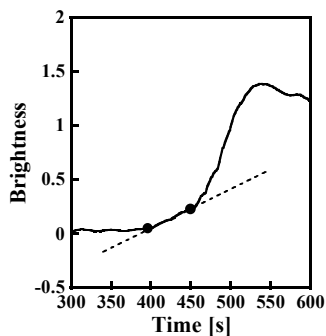


Fig.3 Brightness history near the wall

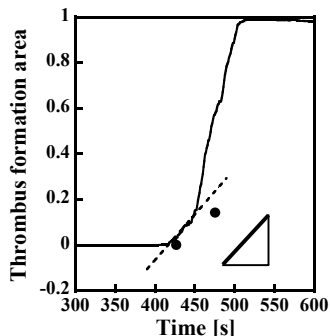


Fig.4 Thrombus formation area history near the wall

参考文献

- (1) Masaaki TAMAGAWA, Hiroaki KANEDA, Sho NAGAHAMA, Miki HIRAMOTO, Artificial Organs, Vol.33, No.8, pp.604-610, 2009

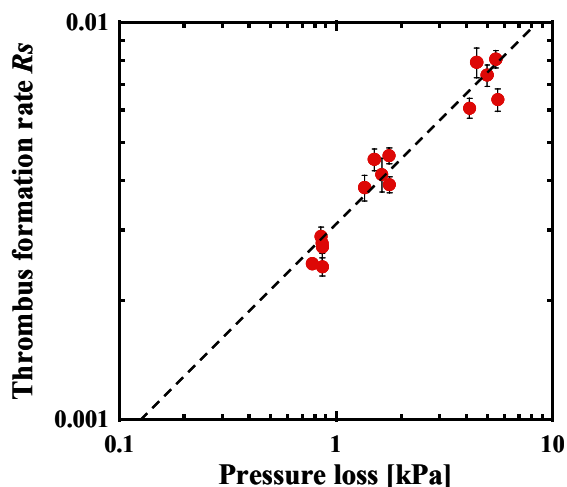


Fig.5 Thrombus formation rate with pressure loss

これまでの過去の研究では、各種形状での最大せん断速度が大きくなるとこの生成速度も変化することや流量が大きくなるとせん断速度が高くなるため、血栓生成速度が上昇することがわかっている。ここでは、これまでの各種形状のデータと流量を変化させたときのデータを統合して、圧力損失と血栓形成速度の関係を調べる。ここでは、可視化実験で流量を変化させたときのそれぞれの圧力損失を算出し、Fig.5に各形状の R_s と圧力損失の相関を示す。ここでは、各形状の具体的なせん断速度分布は示さないが、平均的なせん断速度場（圧力損失）が血栓形成に影響を及ぼしていることが考えられる。その機構として推測されるのは、せん断応力によって反応する血小板や血漿水中のタンパク質が活性化されやすくなっているためと考えられる。

また、この Fig.5 のグラフが両対数グラフであることから勾配が 0.5 程度あり、血栓形成速度がおおよそ圧力損失の 0.5 乗に比例していることがわかる。

3. まとめ

本研究では、これまでの形状の違いに加えて、流量の変化による血栓形成の違いを実験により明らかにし、圧力損失と血栓形成速度の相関性を得ることができ、形成速度は圧力損失の 0.5 乗に比例することがわかった。