

各種せん断流れでの壁面付着血栓形成の生成と観察

Generation and Observation of Thrombus Formation on Wall in Various Flows

○玉川雅章 (九工大) 吉川貴則 (九工大院, 福岡市こども病院) Shi Weiwei (九工大)

Masaaki TAMAGAWA, Kyushu Institute of Technology
Takanori YOSHIKAWA, Kyushu Institute of Technology, Fukuoka Children's Hospital
Shi Weiwei, Kyushu Institute of Technology

Abstract: This paper describes visualization of thrombus formation process on wall surface of the tube. The aim is to investigate the effects of shear stress or shear rate on the thrombus formation or thrombus formation rate, especially white and red thrombus. In this investigation, by visualization of the thrombus formation in blood plasma flow, it was found that the flow rate and shear rate has large effects of the thrombus formation of white and red thrombus formation rate. The thrombus formation rate in the quette flow was also obtained by special double cylindrical test lig.

Key Words: Thrombus formation, Shear flow, Quette Flow

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予測法の確立が急務となっている。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おり、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、流動機器の最適設計に役立てることである。

これまで、オリフィス管内流れでの壁面付着血栓の成長速度をレーザーシート光により可視化し、そのせん断速度の関係について調べてきたが⁽²⁾、本報では、これまでの結果に加えて、(1)オリフィス管壁面上に付着する赤色・白色血栓の観察、(2)クエット流れを用いた血栓生成速度のせん断速度依存性などについて調べることにする。

2. 血栓の可視化実験と血栓形成評価(オリフィス管)

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

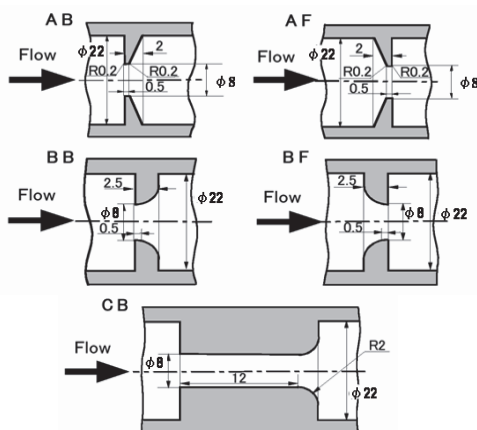


Fig.1 Orifice geometries for observation of thrombus formation on plasma flows

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2-5[l/min]である。

血栓可視化観察の方法については、上部から高速度CCDカメラを用いてオリフィス管表面上の血栓形成過程を観察する方法(Fig.2)で行う。観察のタイミングについては、一定時間の後、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て、流動機器の管内の壁面を模擬することができるようにしている。

2.2 血栓形成速度評価

この可視化においては、既報⁽²⁾と同じように白色血栓、赤色血栓および透明な液体の3つの領域が得られる。RGB分解した画素について、それぞれのしきい値を求め、カラーの画像処理を行い色分けし、3つの領域を分離して、各領域についての面積の時間変化を求めた。ここでは示さないが、それぞれの血栓生成面積 S の時間履歴を用いて、各流量における血栓形成の速度を定量的に捉えるため、これまでの輝度変化の初期勾配と同様に、血栓生成面積の勾配の最大値をそれぞれの血栓生成速度 R_s と定義する。

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

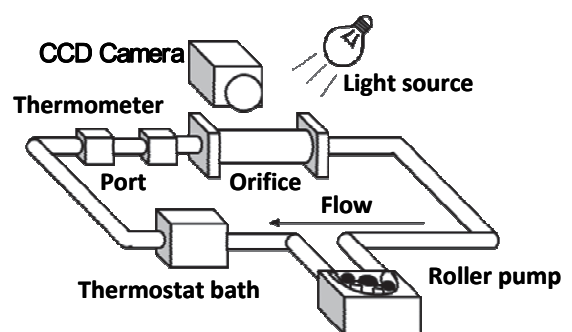


Fig.2 Typical circuit to observe thrombus formation process on the wall surface directly

今回観察された赤色血栓・白色血栓についての壁面に付着した表面での成長について流量を変化させて調べた. Fig.3

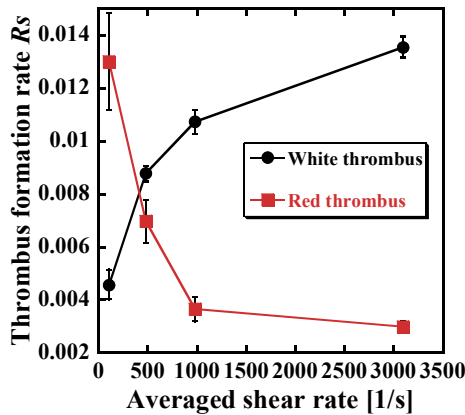


Fig.3 Thrombus formation rate with averaged shear rate in the orifice flow

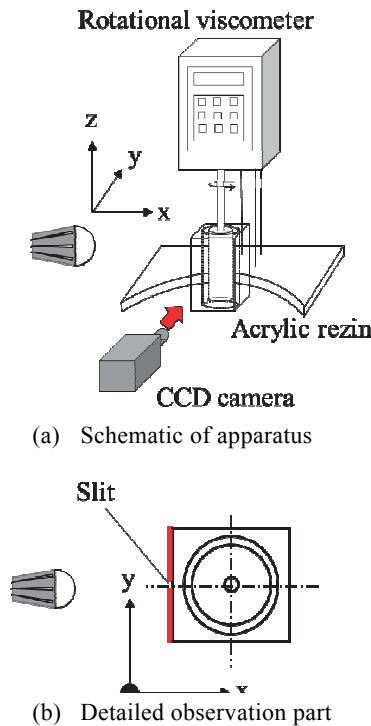


Fig.4 Optical system for observing the thrombus formation on Couette flow for perpendicular to the flow

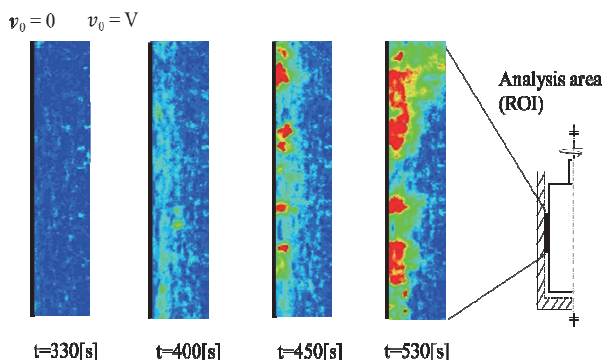


Fig. 5 Sequential image of thrombus formation process at shear rate 800[1/s]

には、赤色および白色血栓の成長率 R_s と圧力損失から得た平均せん断速度の関係を示す. この結果から、それぞれの血栓成長速度はせん断速度に対して異なる挙動を示す. 赤色血栓についてみると、100[1/s]から減少していき、逆に、白色血栓については上昇していくことがわかる. これらから、管路内の平均せん断速度が上昇すると、血小板については、しきい値以上のせん断速度暴露により、白色血栓の上昇につながっていることが予測される. また、赤色血栓については、せん断速度が低いほうが、速く凝固するためと考えられる.

3.血栓の可視化実験と血栓形成評価(クエット流れ)

3.1 血栓の可視化実験装置

クエット流れでの可視化については、内径 20[mm]の亚克力製のケーシングに、外径 18.8[mm]の亚克力性ローターを挿入した内筒回転型の流路幅 0.6[mm]の 2 重円筒で行った. (Fig. 4) ローターは攪拌器 (IKA 社製 EUROSTAR20 digital) を用いた. 光強度の関係で、レーザーシート光の代わりに LED 光源をシート状にして用いた. この光は回転軸を通る平面を照らす.

3.2 血栓の可視化結果

Fig. 5 は、800[1/s]のせん断速度における典型的なクエット流れの血栓形成分布の時間変化を示したものである. なお、流れは紙面垂直向きであることに留意されたい. この方向からの血栓の成長率 R_s を 2 と同様にして求めて、せん断速度との関係を示したものが Fig.6 である. この結果から、途中変曲点はあるものの、400-500[1/s]以上では、一定の勾配となっていることがわかる.

4. まとめ

本研究では、リフイス流れでのせん断速度の変化による赤色および白色血栓形成の違いを実験により明らかにし、それぞれの血栓形成速度のせん断速度の依存関係を得ることができた. また、クエット流れの装置を開発し、これを用いて、同様に白色血栓の形成速度のせん断速度依存関係を得た. 今後は、CFD データとの比較・分析から、より精度の高い血栓成長の予測精度の向上を図る予定である.

参考文献

- (1) Masaaki TAMAGAWA, Hiroaki KANEDA, Sho NAGAHAMA, Miki HIRAMOTO, Artificial Organs, Vol.33, No.8, pp.604-610, 2009
- (2) 玉川雅章, 元岡亮輔, LIFE2013 講演論文集

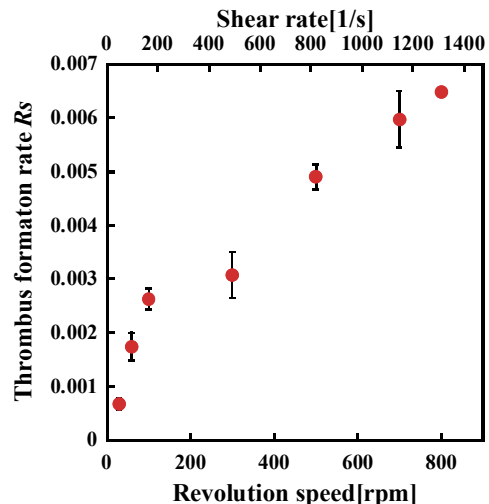


Fig. 6 Thrombus formation rate with shear rate in the Couette flow