

D207

小型 Falling Needle Rheometer を用いた血液の流動解析システムの開発

(関西大環境都市工)○(学)廣實佑樹・岩成賢治・(正)山本秀樹*

1. 緒言

近年、血液疾患の予防に対して血液の粘度との因果関係に関する研究が注目されている。血液サンプル量が約 4cm³ で粘度が測定可能な小型落針式レオメータ (Falling Needle Rheometer (以下、FNR)) を試作し、抗凝固剤を用いないヒト血液の粘度測定および測定精度について検討した。

2. 実験装置および解析理論

実験装置の概略図を Fig.1 に、写真を Fig.2 に示す。測定セル内に満たされた流体に両端に半球を持つ長さ 20mm、直径 2mm の円柱形のニードルを落下させることにより流動特性の測定を行った。装置にはニードルの落下速度計測用の通過センサーを設置した。

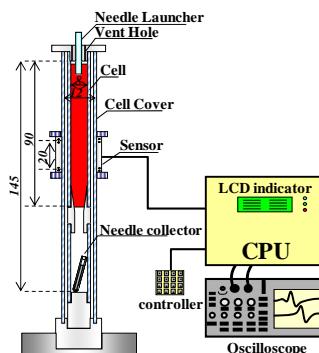


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus



Fig.2 Picture of FNR

半径 R の円筒容器内を半径 kR、長さ L のニードルが終末速度で自由落下している。内半径 r、外半径 r+dr、長さ L の微少円柱殻を流体要素とすると、この円柱殻に作用する力学的関係の釣り合いの式から、(1)式が導かれる。

$$\frac{1}{r} \frac{d(r\tau)}{dr} = \frac{(P_1 - P_2)}{L} \quad (1)$$

終末速度で落下するニードルに対しては上下面の圧力、重力、浮力およびニードル壁面では上向きの剪断応力が働いており、これらの力の釣り合いから(2)式が得られる。

$$(\rho_s - \rho_f) g \pi (kR)^2 L + \pi (kR)^2 \Delta P = 2 \pi k R L \tau_{(r=kR)} \quad (2)$$

ニードル壁面と円管内壁面の間の環状流路を移動する流体量および境界条件を(3)式および(4)式に示す。

$$Q = \pi (kR)^2 U_t \quad (3)$$

$$\begin{cases} u_{(r=kR)} = -U_t \\ u_{(r=R)} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

上記の(1)、(2)、(3)および(4)式が流動解析の基礎式となる。これらの式に測定を行う流体に対応する構成方程式を連立させることによりニードル表面における剪断応力と剪断速

度の解析が可能となる。

3. 実験結果および考察

標準粘度液を用いた試験結果を Fig.3 に示す。標準粘度計における物性値に対する実験結果より、本 FNR の測定精度が確認された。

実際にヒト血液を用いた測定を行った。被験者から約 10cm³採血し、約 4cm³を測定セルに入れ FNR に設置し凝固が開始する前の 3 分以内に測定を行った。密度の異なるニードルを 8 本落下させそれぞれの落下速度を算出し流動解析を行った。血液の密度は、ポーダブル密度比重計 DA-130(京都電子工業株)を用いて測定した。採取した血液の一部は抗凝固剤(EDTA-2Na)を添加した後同様に実験を行い、結果を比較した。

抗凝固剤を添加していないものと抗凝固剤を添加したものにおける男性血液の流動曲線を Fig.3,4 に示す。Figure 3,4 に示した流動曲線から、非ニュートン流体 (Casson 流体)的挙動を示す領域 (I) 並びにニュートン流体的挙動を示す領域 (II) および遷移域 (III) の 3 種類の流動特性を持つ事が示唆された。

剪断速度に対する見かけ粘度の関係を Fig.6 に示す。剪断速度が約 200s⁻¹ 以上の領域において平均見かけ粘度を求めるとき生血液が 6.84mPa·s、抗凝固剤を添加した血液は 6.32mPa·s であり、生血液と抗凝固剤を添加した血液との間に有意な差が確認された。

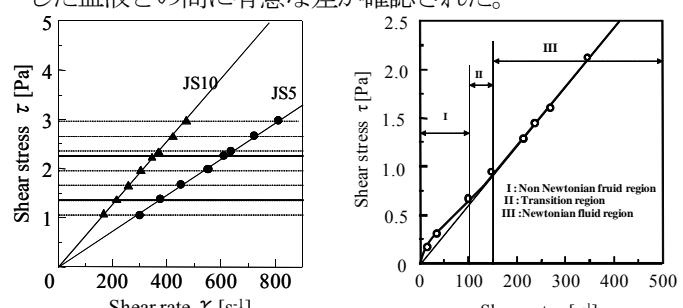


Fig.3 Flow curve of standard solution (JS5,10)

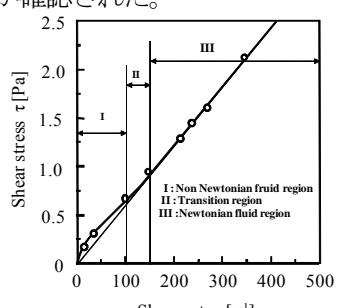


Fig.4 Flow curve of fresh human blood for male without anticoagulant at 310K

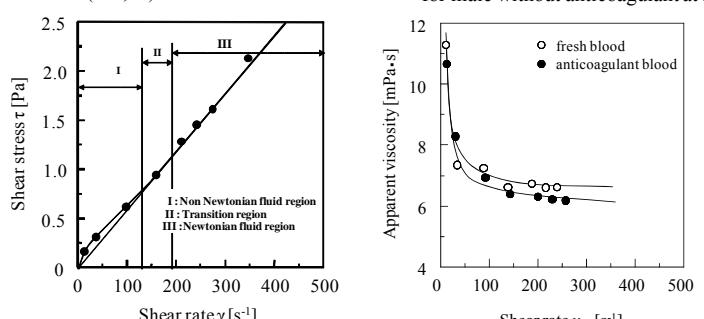


Fig.5 Flow curve of fresh human blood for male with anticoagulant at 310K

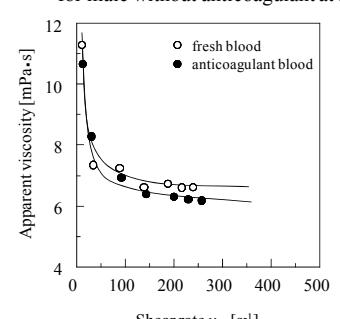


Fig.6 Relationship between apparent viscosity and shear rate of human blood

*e-mail: yhideki@kansai-u.ac.jp Tel:06-6368-0972