

赤血球の毛細血管内流れの可視化

知能流体力学研究室 大賀信太郎

1. 緒言

現在、日本人の死亡原因において心疾患や脳血管疾患が大きな割合を占めている。これらの疾患の発症には、血液中の有形成分が毛細血管壁および血流に与える影響が関わっていると考えられている。血液は細胞成分 45%、液体成分 55%から構成されており、有形成分は、赤血球、白血球、血小板からなり、液体成分は血漿である。赤血球は有形成分の約 95%を占めており⁽¹⁾、その変形挙動が毛細血管内の血液流動に与える影響は極めて大きい。しかし生体内での血液流動の実験は困難であるため、数値シミュレーションを用いた解析が有効な手段である。

本研究では、マイクロピペット内の赤血球の流動実験結果と赤血球変形挙動の数値シミュレーション結果を比較し、数値シミュレーションの信頼性を確認する。

2. 実験方法

疑似毛細血管をマイクロピペット製作器およびマイクロフォーシを用いて、内径 0.6mm のガラス管から作成する。本研究では直管、および狭窄管の 2 種類のマイクロピペットを用いた。直管は内径 3.4 μm 、また狭窄管は最大内径約 12.2 μm 、最小内径約 4.0 μm 、最大最小内径間の距離約 325 μm である。次に倒立顕微鏡下でマイクロマニピュレータ、マイクロインジェクタを用いてマイクロピペット内に赤血球を吸引および流動させ、その様子を観察する。また、全血の観察では赤血球濃度が高く赤血球の変形挙動が観察しにくいいため、生理食塩水で希釈した後、観察する。また直管、狭窄管において赤血球流動速度はそれぞれ約 15.0 $\mu\text{m}/\text{s}$ 、約 24.0 $\mu\text{m}/\text{s}$ である。

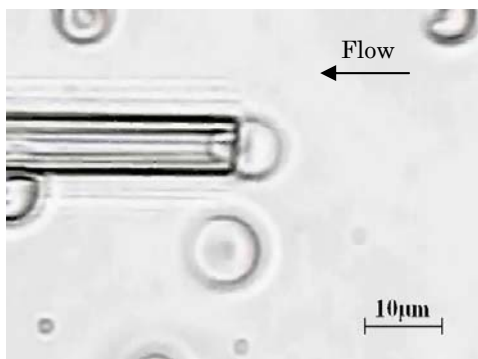


Fig.1 Experiment(Straight capillary)

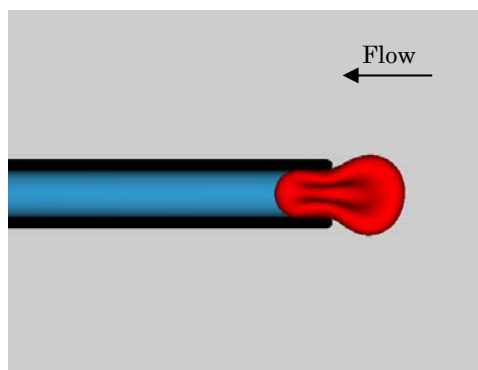


Fig.2 Simulation(Straight capillary)

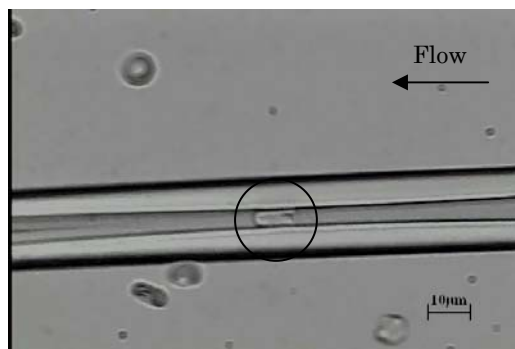


Fig.3 Experiment(Capillary with stenosis)

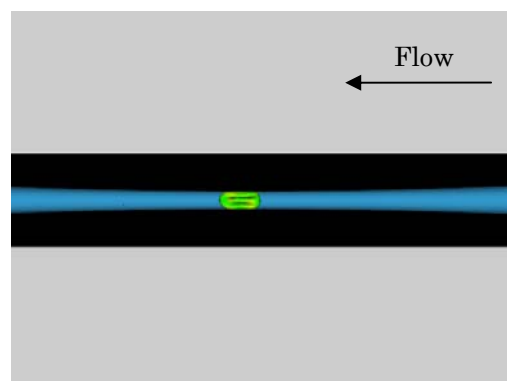


Fig.4 Simulation(Capillary with stenosis)

3. 結果と考察

図 1 と図 2 はそれぞれ直管の顕微鏡画像と数値シミュレーション結果の画像を示し、図 3 と図 4 はそれぞれ狭窄管の顕微鏡画像と数値シミュレーション結果の画像を示す。直管のマイクロピペットでは、ヒト赤血球が管流入時に折り畳まれるように大変形し、数値シミュレーション結果のモデル赤血球と変形が酷似した結果が得られた。狭窄管の狭窄部への流動においても実験結果と数値シミュレーション結果の変形挙動は酷似した。

4. 結言

本研究は数値シミュレーション結果の信頼性を確認するため、直管、狭窄管のマイクロピペットによる赤血球吸引および流動実験と赤血球変形挙動の数値シミュレーションについて比較を行った。その結果、シミュレーション結果の信頼性を確認した。

参考文献

- (1) 山田幸生・棚澤一郎・横山真太郎・谷下一夫, からだと熱と流れの科学, オーム社, (1998).
- (2) 和田成生・小林 亮, 膨潤赤血球の体積変化に伴う形状変化の数値シミュレーション, 日本機械学会論文集, 69A(677), (2003), 14-21.