

回転せん断負荷装置内流れの数値解析

CFD analysis of the flow in a rotational shear stressor

- 西田 正浩, 産総研, つくば市並木 1-2-1, E-mail: masahiro.nishida@aist.go.jp
 山根 隆志, 産総研, つくば市並木 1-2-1, E-mail: yamane.t@aist.go.jp
 丸山 修, 産総研, つくば市並木 1-2-1, E-mail: osamu.maruyama@aist.go.jp
 増澤 徹, 茨大, 日立市中成沢町 4-12-1, E-mail: masuzawa@mech.ibaraki.ac.jp
 大島 郁也, 茨大, 日立市中成沢町 4-12-1, E-mail: oshima@mech.ibaraki.ac.jp
 Masahiro Nishida, AIST, 1-2-1 Namiki, Tsukuba
 Takashi Yamane, AIST, 1-2-1 Namiki, Tsukuba
 Osamu Maruyama, AIST, 1-2-1 Namiki, Tsukuba
 Toru Masuzawa, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi
 Ikuya Oshima, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi

A rotational shear stressor was produced to evaluate the characteristics of hemolysis in blood pumps which could load an average shearing velocity of from 0 to 15,000 /s. To grasp the flow behavior in the stressor, the velocity and the shear stress was quantified by the computational fluid dynamic analysis. As a result, the wall shear stress is fairly larger than the averaged shear stress at the large radial position in the hollow and convex cone area of the stressor because the flow has separated boundary layers when the rotational speed is set to be large.

1. 緒言

血液ポンプの溶血特性は、壁近傍の高せん断に密接に関係する。そのため、 $0\sim 15,000\text{ s}^{-1}$ 程度の平均せん断速度（全てクエット流れと仮定したときの理想値）を血液に負荷できる装置を作製し、せん断応力が溶血量に与える影響について、定量的な関係の把握を試みている⁽¹⁾⁽²⁾。本報では、作製した回転せん断負荷装置内の流動状態を把握するために、数値解析を用いて、装置内の速度およびせん断応力それぞれの分布を定量化した。

2. 解析方法

回転せん断負荷装置は、垂直軸を回転軸とした静止する内筒と、 $0\sim 4,000\text{ rpm}$ の回転が可能な同心の外筒からなり、血液を円筒間隙間に充填して、血液にせん断を負荷する装置である。血液が飛散しないように、円筒部の上下端は、凹凸円錐部がほぼ上下対称になるように接続されている。円筒部においては平均半径位置 30 mm 、隙間幅 0.85 mm 、凹凸円錐部においては隙間と回転面がなす平均角 10° を設計値とした。回転せん断負荷装置の円筒間隙間の流れについて、市販コードの有有限体積法による数値解析を行った。数値解析条件として、外筒回転数 $1,000\sim 4,000\text{ rpm}$ ($3,700\sim 15,000\text{ s}^{-1}$ の平均せん断速度) について調べた。

3. 解析結果

図1に、平均せん断応力と無次元化した壁せん断応力の内外筒表面の分布を示す。凹凸円錐部の内筒壁における無次元化した壁せん断応力は、半径が小さい領域 ($r<15\text{ mm}$) ではほぼ1であったが、半径が大きくなるにつれて急激に増大した。設定回転数によって、その増大のしかたは異なり、回転数 $1,000\text{ rpm}$ では $r=25\text{ mm}$ の位置から急激に増大したが、回転数 $4,000\text{ rpm}$ では $r=16\text{ mm}$ の位置から増大した。凹凸円錐部と円筒部との間のエッジ部 ($r=30\text{ mm}$) では共に最大 $6.5\sim 8$ 程度に達した。凹凸円錐部の外筒壁における無次元化した壁せん断応力も同様に、半径が小さい領域 ($r<5\text{ mm}$) ではほぼ1であったが、半径が大きくなるにつれて増大し、エッジ部では急激に減少した。最大は、回転数 $1,000\text{ rpm}$ では2.5程度であったが、回転数 $4,000\text{ rpm}$ では5に達した。

凹凸円錐部においては、無次元化した壁せん断応力は、半径が大きい領域では、1 よりもかなり大きな値をとった。半径が小さい領域では、遠心力の影響が小さいため、クエット流れもしくはクエット流れに近い流れ (merged boundary layers) であったが、半径が大きい領域では、遠心力の影響が大きくなり、境界層が出現する流れ (separated boundary layers) に推移し、壁せん断応力が増加したと考えられる。

溶血量は、一定のせん断以上において著しく増加することが報告されている。したがって、本装置におけるせん断負荷の条件は、平均せん断で議論するのではなく、局所的なせん断応力とせん断時間との積のヒストグラムをもって、溶血量と関連づけるべきであることが結論づけられる。

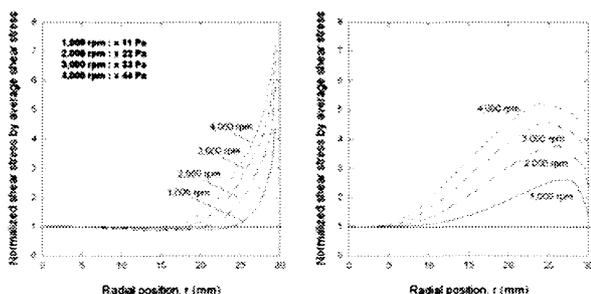
5. 結論
 本回転せん断負荷装置における凹凸円錐部では、外筒の設定回転数が大きいとき、特に円筒部との間のエッジ部付近における半径が大きい位置で、壁せん断応力の平均せん断応力に対する比は著しく大きい。

5. 結論

本回転せん断負荷装置における凹凸円錐部では、外筒の設定回転数が大きいとき、特に円筒部との間のエッジ部付近における半径が大きい位置で、壁せん断応力の平均せん断応力に対する比は著しく大きい。

参考文献

- (1) 岩崎, 増澤, 山根, 西田, 丸山, 塚本, “遠心血液ポンプの設計指標の確立”, 第16回ライフサポート学会大会講演予稿集, (2000-8), pp.31.
- (2) 西田, 山根, 丸山, 増澤, 大島, “回転せん断負荷装置内の流れの可視化解析”, 第33回可視化情報シンポジウム講演論文集, (2005-7), pp.99.



(a) Inner surface (b) Outer surface
 Fig. 1 Wall shear stress distribution in the cone area