

B135

送血用遠心ポンプのウォッシュアウトホール流れの可視化解析

Flow Visualization of the Flow through the Washout Hole in a Centrifugal Blood Pump

○西田正浩 (機技研), 山根隆志 (機技研), A. Aouidef (機技研), 塚本雄貴 (日機装), 小西義昭 (日機装)
伊藤和之 (日機装), 増澤 徹 (茨城大), 築谷朋典 (国循研), 妙中義之 (国循研)

Masahiro NISHIDA, Mechanical Engineering Laboratory, Namiki 1-2, Tsukuba, Ibaraki

Takashi YAMANE, Ahmed AOUIDEF, Mechanical Engineering Laboratory

Yuki TSUKAMOTO, Yoshiaki KONISHI, Kazuyuki ITO, Nikkiso Co., Ltd

Toru MASUZAWA, Ibaraki University

Tomonori TSUKIYA, Yoshiyuki TAENAKA, National Cardiovascular Center

Quantitative flow visualization analysis was performed to remove the origin of thrombogenesis to obtain the suitable design criteria. Particular attention was paid to the relationship between the geometry of the washout hole and thrombus formation which might be related to the stagnation. As a result, washout hole flow rate was quantified which is related to the stagnation around the shaft, and the flow through the washout hole depends on the position and size of the washout hole.

1. 緒論

送血用遠心ポンプを設計する上で抗血栓性を得ることは重要である。ポンプ内で最も抗血栓性を得にくい箇所の一つは、可動部である羽根車と非可動部であるケーシングとの接合部である。ここでは、血流が淀み易いため、血栓が生じる可能性がある。

一方、送血用遠心ポンプでは、上記接合部の抗血栓性を得るために、ウォッシュアウトホールと呼ばれる羽根車の貫通孔を設ける場合がある。これは、ホール貫流に伴う灌流による接合部の洗浄効果をねらうものである。

本研究では、送血用遠心ポンプにおけるホール形状を様々に変え、洗浄効果の基となるホール貫流がどのように変化するかを流れの可視化解析より検討した。

2. 実験方法

Fig. 1に供試ポンプの概略図を示す。供試ポンプは日機装HPM-15を原形とした。ウォッシュアウトホールの形状に関し、Model 4 (市販品に準じたモデル)、Model 6 (小孔モデル)、Model 7 (大孔モデル)、Model 8 (内孔モデル)、Model 9 (外孔モデル)を比較した。各モデルの2.5倍の拡大相似模型を作成し、ケーシングは同一とした。

拡大相似模型を閉回路に接続し、作動流体には64wt%よう化ナトリウム水溶液、トレーサには粒径 $150\mu\text{m}$ の SiO_2 粒子、照明には7W Ar-ionレーザライトシート、撮影には毎秒最速 $256 \times 256 \text{ pixel} \times 4,500$ コマ撮影可能な高速ビデオカメラを用いた。粒子画像流速測定アルゴリズムにはバネモデル法および4時刻粒子追跡法を用いた。ここでは、ホール貫流を回転軸に対して垂直な方向から拡大撮影による可視化を行った。可視化画像は、ホール中心を中心とした回転角 $\pm 2^\circ$ とし、およそ100周期分の流速ベクトルを加算平均した。ホール内の流れ領域を径方向に10分割、軸方向に3分割し、それぞれの領域についてホール軸方向速度の平均値を求め、これよりホール貫流量を類推した。

実験条件は、発生圧300 mmHg、吐出量5 l/minとした

3. 実験結果

Fig. 2にModel 4の羽根後面隙間の二次流れ分布を示す。ホールの存在により、ホール貫流が生じ、灌流効果により羽根車軸付近を洗浄していることがわかる。

Fig. 3にModel 4のホール内流れの分布を示す。Fig. 5(a)にはバネモデル法による解析結果、Fig. 5(b)には4時刻粒子追跡法による解析結果を示す。比較すると、バネモデル法による解析結果の方が低流速にみえる。

日本流体力学会年会 2000 講演論文集 (2000-7)

Fig. 4に、Model 4のホール内の2領域について両解析手法から得られた軸方向流速の度数分布を示す。Fig. 6(a)(b)には高流速の領域について、Fig. 6(c)(d)には低流速の領域について、それぞれバネモデル法((a), (c))と4時刻粒子追跡法((b), (d))による解析結果を示す。両解析手法を比較すると、バネモデル法の度数は4時刻粒子追跡法の300倍程度であることが分かる。この理由には、4時刻粒子追跡法では4時刻の粒子を追跡するのに対し、バネモデル法では2時刻の粒子しか追跡しないことや、本可視化実験では流れがレーザシートに垂直であるため4時刻の間に粒子画像が消滅しやすいたことが考えられる。しかしながらその一方で、バネモデル法から得られた速度の度数分布は広い速度範囲に存在し、2時刻の粒子の追跡であるために誤差が大きいことがわかる。

また、高流速域では、4時刻粒子追跡法の度数分布の幅が小さく、測定精度が高いと考えられる一方で、速度が0付近の低流速域では、4時刻粒子追跡法では度数が正規分布を成さず、比較して、バネモデル法が正規分布状の度数分布を形成するため、測定度数が高いと考えられる。本ホール内流れは、ホール軸方向の速度成分より羽根車回転方向の速度成分が大きいため、0付近の低流速域が多い。したがって、本解析にはバネモデル法を用いた。

Fig. 5に各モデルの流速ベクトル図を示す。Model 6は、同圧差に対してホール径が小さいため流速が大きい。Model 7は、ホール径が大きすぎるためホール流れの一部に逆流が生じる。Model 8は、ホールが内側に位置するため、羽根前面のホール出口圧が低下し、流速が大きい。Model 9は、ホールが外側に位置するため、流速が小さい。

Fig. 6にFig. 5より類推した各モデルのホール貫流量を示す。ホール貫流量 Q_w は、吐出量のおよそ20%付近である。本比較では、 Q_w はホールの大きさに依存しない。ホールが大きい場合、上述ホール流れの一部に逆流が生じ、 Q_w がそれほど増大しないためである。一方、 Q_w はホールが内側に位置すると増大する。

4. 結論

供試ポンプのウォッシュアウトホール流量は、ホール径によりそれほど変化しないが、ホール位置に依存し、ホールが内側にすると流量は増大する。

参考文献

1. Nishida, et al., Artificial Organs, 22, 1998, 386.
2. 西田ら, 日本流体力学会年会'99, 1999, 41.
3. 西田ら, 機講論 (関東), 000-1, 2000, 167.

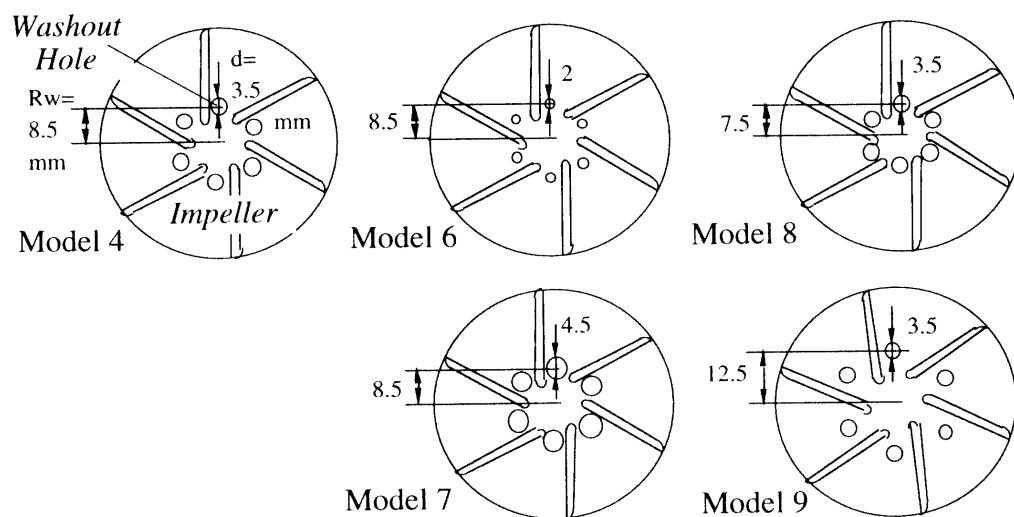


Fig. 1 Geometry parameters of models

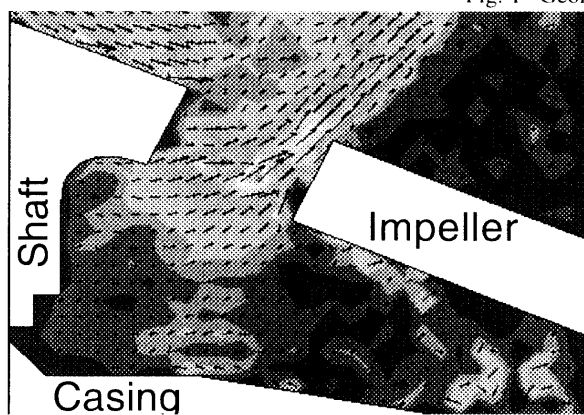


Fig. 2 Flow vector map behind the impeller

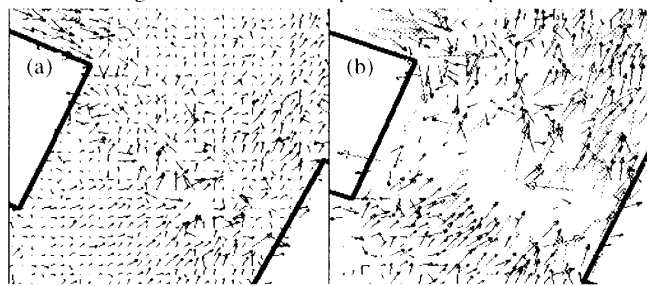


Fig. 3 Flow through in the washout hole; (a) Spring, (b) 4-time

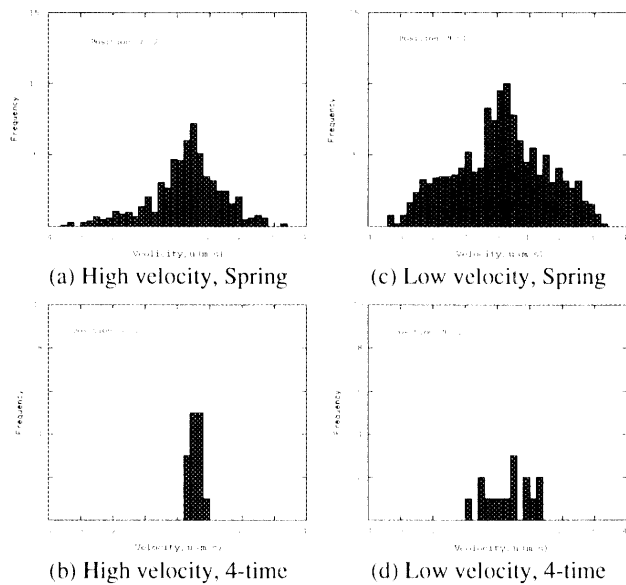


Fig. 4 Flow rate through the washout holes

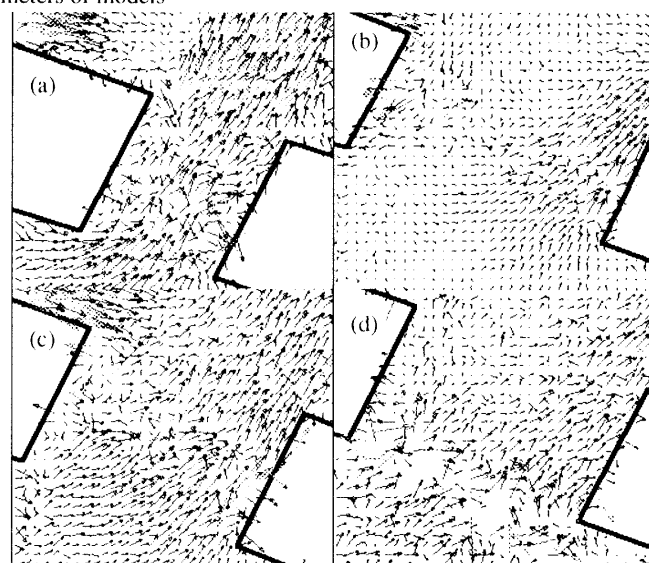


Fig. 5 Flow through in the washout hole; Models (a) 6, (b) 7, (c) 8, (d) 9

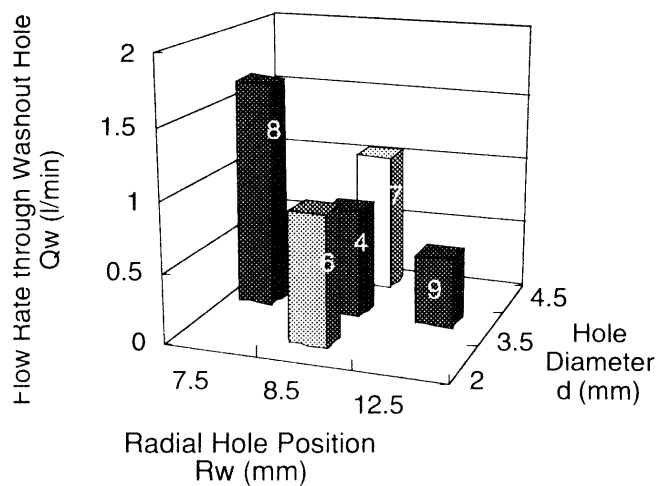


Fig. 6 Flow rate through the washout holes