

遠心型血液ポンプにおけるインペラ形状の影響

Influence of design of impeller in centrifugal blood pump

○ 富田和彦 , 瀧浦晃基

○ Kazuhiko TOMITA , Koki TAKIURA

山形大学

Yamagata University

キーワード : 遠心型血液ポンプ (centrifugal blood pump), インペラ (impeller)

連絡先 : 〒992-8510 米沢市城南 4-3-16 山形大学大学院 理工学研究科

瀧浦晃基, Tel&Fax:0238-26-3192, E-mail: takiura@yz.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

人工心臓には全置換型人工心臓と補助人工心臓がある。全置換型人工心臓は心臓を切除して埋め込まれるが、補助人工心臓は心臓を残したままで心臓の機能を一部補うものである。人工心臓に使われるポンプの一種である遠心型血液ポンプは、インペラの回転数を変化させることによって、ポンプ室容積と無関係に流量が出せるため、小型化に適しており、遠心ポンプを用いた完全埋込型人工心臓の実現化が期待されている。定常流の生体適合性については検討の段階だが、ヤギを用いた補助人工心臓の実験で約2年3ヶ月の生存が報告されている⁽¹⁾。さらに、稼動部品を回転軸一つに限定できることで、機械としての信頼度を高められることなどの長所が認められる。しかし、流れの淀みや高速流が生じやすいため、流れによる血栓および溶血が生じないように特別な技術開発を必要とすることが短所として挙げられる。

本研究では、血液ポンプのインペラ形状がポンプの性能や溶血性能に影響を与えることを踏まえて、特にベーン(羽根)の形状と出口角に着目して10種類のインペラを作製し、

血液を用いる試験の前段階としてインペラごとのポンプの性能を、水道水を用いた試験により測定・評価する。また、工業用ポンプのインペラに関する理論が血液ポンプに通用するかどうかを検討する。

2. 試験装置

今回試験に用いる循環回路 Fig.1 では、インペラの回転数と流路抵抗の二つの入力によって、揚程(流入口と流出口の圧力差)と流量の二つの出力を制御する。ポンプ本体は遠心型血液ポンプ HPM-15(泉工医科工業、プライミング量 25mL)を用い、これに作製したインペラを取り付けて試験を行う。ポンプの揚程と流量についての性能試験として圧力-流量特性(HQカーブ)を取得した。求めたHQカーブを元にして、いくつかの動作点におけるインペラの周速度を求め、溶血に対するインペラ形状の影響の検討を試みた。

3. インペラ

アクリルを材料として、ベーンの形状(直線及びカーブの2種類, Fig.2)と出口角を変化させたインペラを製作した。製作したインペラのベーン以外の部分は全て同じ形状で

ある。作成した CAD データを三次元切削加工機 (Roland, MDX-20) で切削し, ジクロロメタンによって表面処理を施した。この処理により表面が溶けて滑らかになり, 摩擦抵抗が減少してポンプの性能が向上する。Fig.3 に, あるインペラの表面処理の処理前後の HQ カーブを示す。製作したインペラは Table1 に挙げる通りであり, これらのインペラを次の 2 グループに分ける。

グループ 1 (直線型ベーンにおける出口角の影響を比較するグループ) (I1~I3), グループ 2 (カーブ型ベーンにおける出口角の影響を比較するグループ) (I4~I9)。

standard は HPM-15 の純正インペラのウォッシュアウトホールをエポキシで埋めたものである。製作したインペラに standard と同様のウォッシュアウトホールを空けることが難しいので, 本研究ではウォッシュアウトホールを空けないことに統一した。

4. ベーン の 出口 角 関 係 揚 水 理 論

ベーン の 出口 角 β 関 係, ポンプ が 実 際 に 出 し 得 る 水 頭 H は 実 験 的 に Fig.4 に 示 す 様 に な る⁽²⁾。 β が 小 さ い ほど HQ カーブ は 下 降 曲 線 に な る。 一 般 に β が 大 き く な る と 速

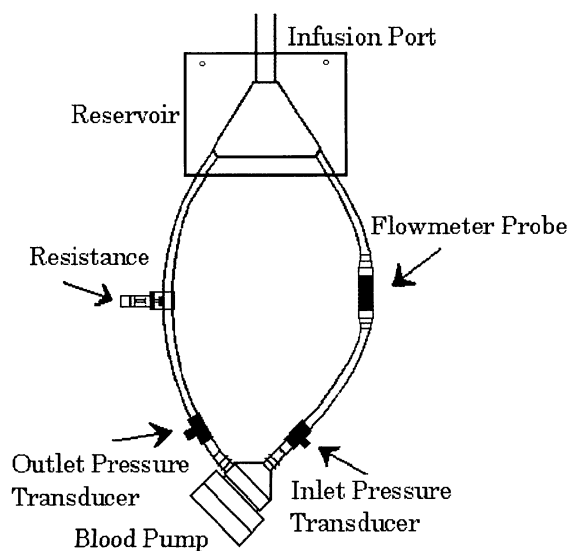


Fig.1 Mock circuit for HQ curve acquisition

度水頭が大きくなり, これは圧力水頭に変換する際に多くの損失を伴う。また, β が小さいほどインペラ内経路が長く摩擦損失が大きくなる上, 同じ揚程に対して周速度を大きくしなければならないので円板摩擦も大きくなる。これらの理由から, 工業用ポンプは $\beta = 20^\circ \sim 25^\circ$ にとるのが良いとされる^{(2)~(4)}。

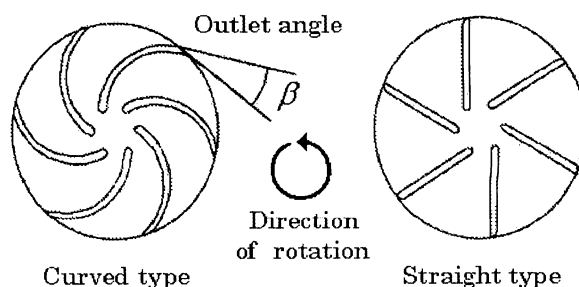


Fig.2 The shape of vanes

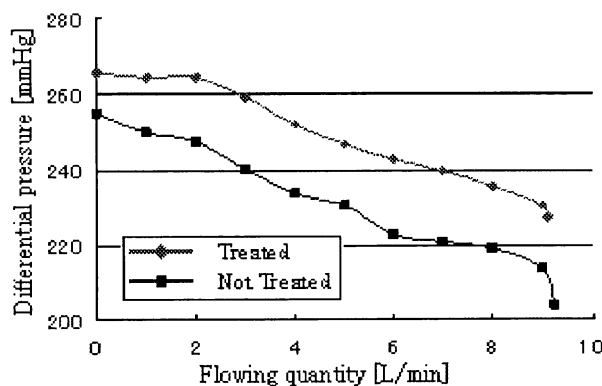


Fig.3 Effect of surface treatment

Table1 Impellers tested in this study

Item	Vane Type	Outlet Angle [degree]	Axial Gap [mm]	Radial Gap [mm]
standard	straight	83	2.4	3.2
11	straight	83	1.45	4.0
12	straight	90	1.45	4.0
13	straight	97	1.45	4.0
14	curved	10	1.3	3.0
15	curved	22.3	1.3	3.0
16	curved	45	1.3	3.0
17	curved	135	1.3	3.0
18	curved	157.7	1.3	3.0
19	curved	170	1.3	3.0

5. 試験方法及びその結果

5.1 HQカーブ

ポンプの性能試験として、水道水を用いて各インペラのHQカーブを取得した。インペラの回転数が3000rpmの場合についての試験結果を、グループ1 (Fig.5), グループ2 (Fig.6)に分けて示す。比較基準としてstandardをそれぞれに加えた。

5.2 動作点におけるインペラの周速度

溶血に対するインペラ形状の影響の検討として、水道水を用いて3つの動作点を想定し、それを実現するインペラの回転数を実験的に求めた。動作点は、流量が5L/minに対して揚程が120mmHg, 200mmHg, 300mmHgの3点である。測定した回転数をインペラの周速度に変換したものがTable2である。

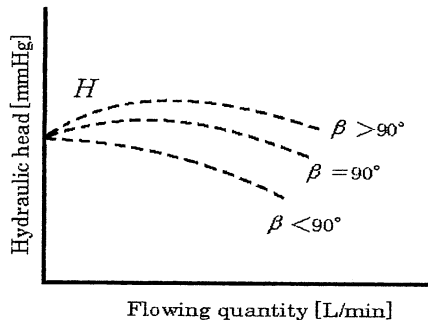


Fig.4 The hydraulic head's change due to the outlet angle

Table2 Tangential speed at the tip of the impeller

	5[L/min] 120[mmHg]	5[L/min] 200[mmHg]	5[L/min] 300[mmHg]
	[m/s]	[m/s]	[m/s]
standard	10.8	13.5	16.2
I1	11.0	13.7	16.4
I2	10.6	13.8	16.5
I3	10.8	13.5	16.3
I4	11.6	14.4	17.2
I5	11.4	13.9	16.8
I6	10.7	13.2	15.6
I7	10.4	13.0	15.5
I8	10.9	13.7	16.2
I9	11.4	14.0	16.6

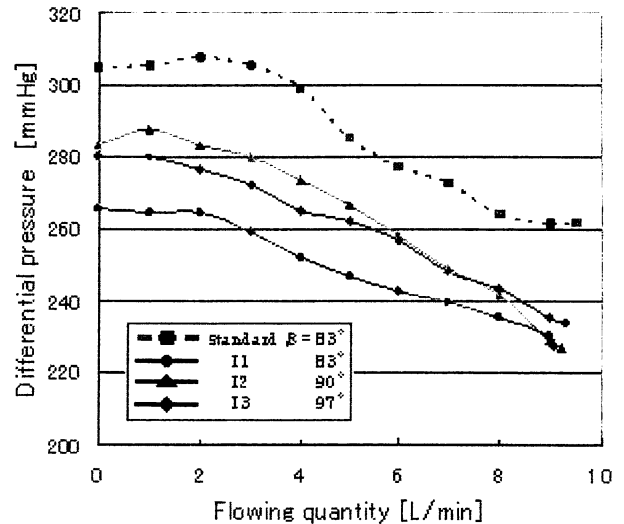


Fig.5 HQ curve of Group1

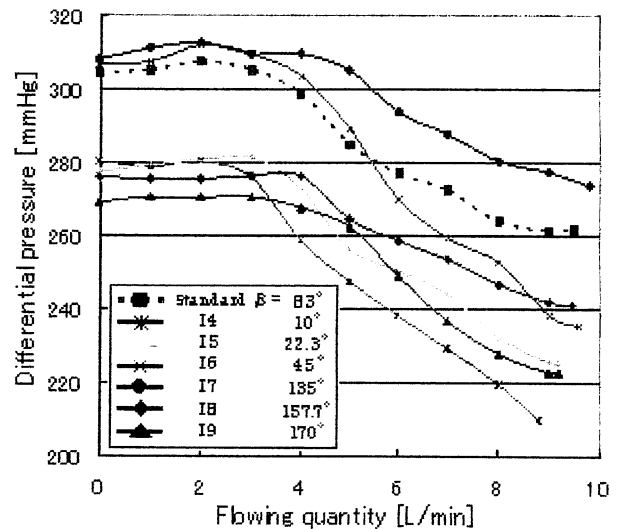


Fig.6 HQ curve of Group2

6. 考察

6.1 HQカーブ

結果としてベーンの出口角に関する工業用ポンプの揚水理論は、適合しない部分があった。以下に、その詳細をグループごとに検討していく。

グループ1のHQカーブについて検討すると、出口角が大きいほど揚程も大きいという理論に適合せず、I2の揚程が最も大きくなっている。また、 β が大きいほどHQカーブが下降曲線になっている点でも、Fig.4に示した工業用ポンプの実験結果に反する。