2125 オープンインペラ遠心式人工心臓の可視化解析

Flow visualization analysis for a centrifugal artificial heart with an open impeller

宮本祐介[○] (東京理科大学大学院), 山根隆志 (産業技術総合研究所),

田島功規 (サンメディカル技術研究所), 山崎健二 (東京女子医科大学),

河村洋 (東京理科大学)

MIYAMOTO Yusuke, YAMANE Takashi, TAJIMA Koki, YAMAZAKI Kenji, KAWAMURA Hiroshi

Keywords: Particle tracking velocimetry, Centrifugal blood pump

1. 緒言

これまで人工心臓といえば、サイズの大きな拍動型しか製品がなかったが、近年ベッドに拘束されない小型埋込み回転型の人工心臓の臨床応用が開始された。

遠心血液ポンプでは、剥離境界や狭い隙間での高い剪断が溶血(血球破壊)の原因となり、淀みでの低剪断が血栓(血液凝固)の原因となる場合があり、これら流体力学的原因は設計段階で除去する必要がある。本研究では、体内埋込みをめざしたオープンインペラ型遠心血液ポンプについて、流体力学的及び血液適合性の観点から、流れを可視化し粒子画像流速追跡法を用いて解析した。

2. 実験方法

実験装置は、(株)サンメディカル技術研究所開発の補助人工心臓 EVAHEART プロトタイプのアクリル製3倍模型 (Fig.1)、高速ビデオカメラ(毎秒4500コマ)、Arイオンレーザライトシート(出力4[W])、四時刻粒子追跡法・パステル法解析ソフトからなる。

作動流体には安定剤としてチオ硫酸ナトリウムを0.1wt%添加した64wt%ヨウ化ナトリウム水溶液を使用した。この溶液はポンプ材料であるアクリルと屈折率が等しく、壁面でレーザが屈折しないようになっている。トレーサには作動流体と比重の等しい

(比重1.9) 平均粒径 $150\mu\text{m}$ の二酸化ケイ素粒子を使用した。この系に対して、レーザシートを任意の断面に対して照射し、高速ビデオカメラで撮影し、解析する。

本研究では3倍拡大模型と動粘度が血液の0.6倍の液体を使用しているため、流れの相似則に従って回転数を実寸血液ポンプの1/15にし、流量は1.8倍に設定している。

3. 実験結果

3.1 インペラ水平断面 (Fig.2)

まず、インペラを輪切りにした断面の結果を示す。ポンプ主要部の遠心羽根部、インペラは軸流羽根の形状をしているインデューサ部、及び中間で切り欠きを有する過渡形状部の3つに分けた。3つのうち、特徴的な2つについて説明する。

①遠心羽根部 (Fig.3)

この断面ではオープンインペラであるが流れは羽根の曲線に良く沿い、剥離がほとんど観察されない。最大剪断速度も溶血判定の経験的基準値 10万 s^{-1} ($\text{NIH}=0.01$ に相当)に対して十分に余裕があった。

②過渡形状部 (Fig.4)

軸周りでは流体は静止状態になる。そのため、切り欠きが存在するために回転壁である軸に対しては静止流を、静止壁であるケーシングに対しては回転流を与え、血栓現象を防いでいることが理解できる。剪断速度評価でも軸周りでは十分な剪断を持っていることが確認できた。

3.2 中央垂直断面 (Fig.5)

ポンプ内の軸方向速度分布を調べるために、垂直断面を観察した。インデューサ部分には大きな軸方向速度があり、流れは軸まわりを洗って、下部ケーシングまで到達している。これは、羽根が通過する際に、羽根に強くおされるためである。その後、流れはそのまま渦を形成しながら出口に向かう。インペラと上部ケーシングとの隙間では、入口・出口間の差圧によるわずかな逆流が観察された。

Fig.1 Visualized Pump Model