

動圧軸受を用いた軸流血液ポンプの開発

北海道大学大学院情報科学研究科 ○北村正和、迫田大輔、高橋伸夫、三田村好矩
東京医科歯科大学大学院歯学総合研究科 木戸和幸

要旨

軸流型補助人工心臓の開発を行っている。従来の軸流血液ポンプには玉軸受を使用していたが、動圧軸受に代替しシャフトと軸受の機械的接触をなくした。また新たに設計・製作したポンプを対象にポンプ特性測定試験、パイパス模擬試験によって性能を評価した結果、左心室補助人工心臓として十分な性能を持つことが分かった。よって、ポンプの長期耐久性・信頼性を向上させることができたと思われる。

1. 背景

現在心疾患は日本人における死亡原因の第2位となっている。重症心不全患者に対する治療には心臓移植が最も効果的だが、臓器提供者の不足が深刻である。現在72名が心臓移植を待機しているが、日本では1997年から2005年6月現在までに27例しか行われていない。そのため、小型で長期使用可能な人工心臓の早期開発が期待されている。人工心臓には拍動流ポンプと連続流ポンプがある。拍動流ポンプは大型で日本人のような小柄な体型に植え込むのは困難であるが、連続流ポンプは非容積形のため小型にできる。そこで我々は左心室補助の軸流型人工心臓 ValvoPump の開発を行っている(図1)。

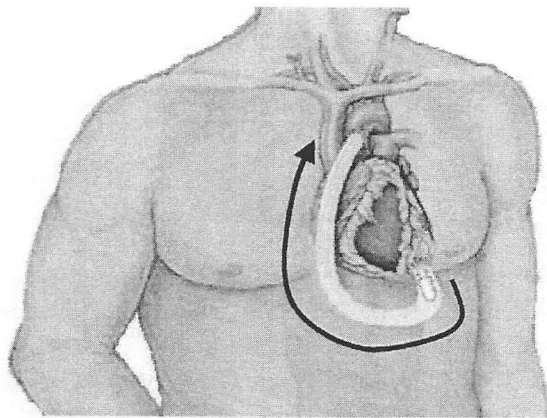


図1 ValvoPump

2. 目的

我々が開発を行ってきた従来の血液ポンプにはラジアル玉軸受を使用しており、機械的接触による磨耗や発熱が危惧されていた。そこで本研究では回転軸を非接触に支持する動圧軸受に代替することにより、信頼性や長

期耐久性をもたせることを目的とした。

3. 動圧軸受—設計法と軸振れ測定結果

動圧軸受の仕様を決定するために、軸受にかかる軸方向のスラスト荷重と半径方向のラジアル荷重を求めた。スラスト荷重は従来のポンプを対象に数値流体力学解析(CFD解析)を解析ソフトCFX-5.7(ANSYS社、USA)を用いて行い、インペラにおける圧力データから計算し3.91[N]とした。ラジアル荷重はレーザー式変位センサを用いて軸振れを測定して偏心量を求め、遠心力による0.0285[N]をラジアル荷重とした。また軸受使用時の回転数は大循環系を維持するのに必要な圧流量が十分得られる7500[rpm]とした。以上の軸受使用条件を考慮して、軸受の仕様を決定し製作した。

製作した動圧軸受を用いて再度軸振れ測定を行った結果、半径方向に関して軸偏心量は最大3[μm]、軸方向に関しては1[μm]以下であった。開発した動圧軸受の剛性およびギャップより、ポンプ作動時にシャフトと軸受の機械的接触はなく、摩擦による磨耗や発熱は発生しないことが示された。

4. 動圧軸受を用いた血液ポンプの開発

4-1. 構造

動圧軸受を内蔵するにあたり、シャフト、インペラ、ベアリングホルダ、モータケースの形状を改良設計した。またモータの磁気吸引力を測定することにより、モータステータを設置する適切な位置を得た。図2に新たに設計したValvoPumpを示す。回転軸との接触部位は血液の内部への流入を防ぐシール、軸を保持する軸受、モー

タの3箇所であり、現在シールには磁性流体シール、モータにはブラシレスDCモータを採用している。そして今回軸受を動圧軸受に変更したことによって、回転軸との機械的接触をなくすことができた。

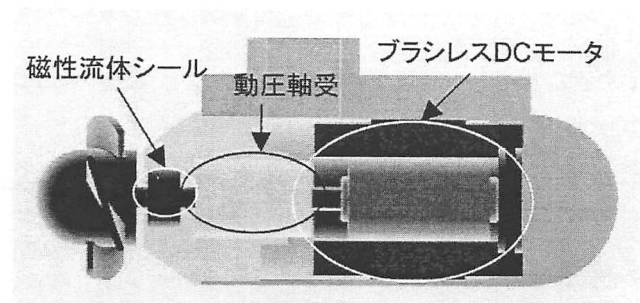


図2 新たに設計した ValvoPump 構成図

4-2. 圧流量特性

新たに製作したポンプに対して圧流量特性を測定した。測定には血液の粘性を模擬した37%グリセリン溶液を用い、ポンプと貯蔵バックをシリコンチューブで接続した模擬循環回路に圧力計と電磁流量計を取り付けて行った。その結果、インペラ回転数7500[rpm]、差圧約100[mmHg]において流量約5[L/min]が得られ、大循環系を維持するのに十分な特性を持つことが示された。

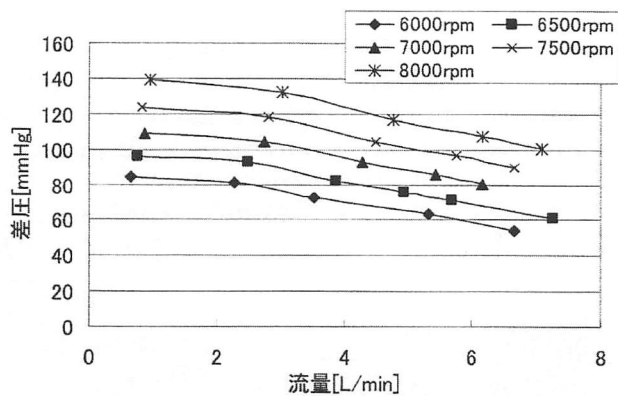


図3 圧流量特性

4-3. バイパス模擬試験

さらにバイパス模擬試験を行った。この試験では不全心臓の模擬として拍動ポンプを使用した。実験装置を図4に、モータ回転数7000[rpm]における結果を図5に示す。インペラは一定回転数で駆動していたが、流量は拍動に同期して変化した。ポンプ流量が全流量を上回っている期間があるのは、その時に大動脈弁を模擬した弁から作動流体の生理食塩水が逆流したためだと考えられ

る。結果より大動脈圧が100[mmHg]に達し流量も約5[L/min]を得られたことから、新しく設計・製作したポンプが左心室補助人工心臓としての性能を十分もつことが示唆された。

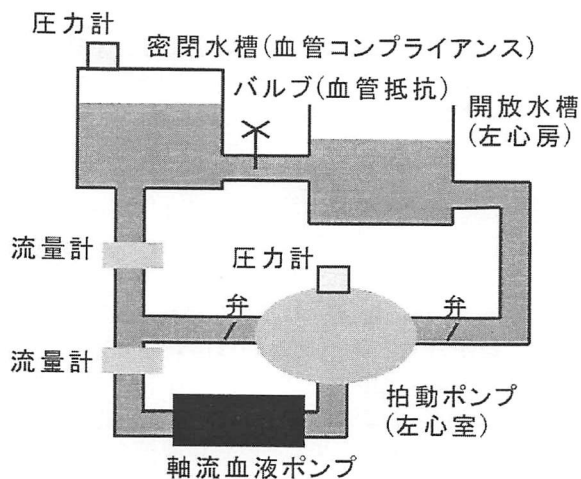


図4 バイパス模擬試験装置

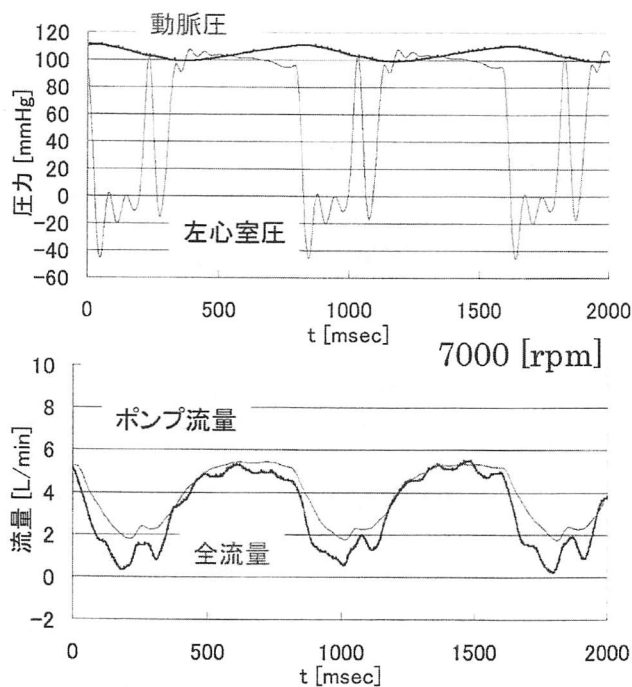


図5 バイパス模擬試験結果

【結論】

動圧軸受を用いることにより、軸流血液ポンプの回転部分と固定部分との接触を除去することができた。従って、ポンプの長期耐久性および信頼性向上が見込まれる。また、動圧軸受を用いた軸流血液ポンプは左心室補助人工心臓として十分な圧流量特性、バイパス性能を達成することができた。