

[課程-2]

審査の結果の要旨

氏名 石井 耕平

本研究は完全人工心臓(TAH)による治療を心臓移植に代わる治療として確立することを目標として、生体心と置換可能な大きさという形状的制約の中で、高いポンプ性能、耐久性、拍動性能、血液適合性や解剖学的適合性などを満たす血液ポンプを実現するため、まったく新しい原理と構造を持つ血液ポンプである螺旋流血液ポンプ(HFP)の基本特性の解析を行い、その成果を基にしたTAH用HFPの開発を行ったものであり、下記の結果を得ている。

1. 基礎特性の解析より HFP は低回転高揚程型のポンプであることが示され、拍動流の生成に関して有利な特性を持っていることがわかった。また、圧流量特性の傾きが大きいことから後負荷変動に対する流量変化が小さい特性を持っていることがわかった。ベーン枚数に関しては、ベーン枚数 24 枚が、圧流量特性、ポンプ効率および加工性の観点から適切であると考えられた。ベーン枚数 24 枚の実験結果では、流量 5 L/min および揚程 100 mmHg の条件は、1250 rpm から 1500 rpm の回転数において達成でき、水力効率は最高 17.9%であった。
2. 動物実験に使用可能なレベルまで完成度を高めた TAH 左心用 HFP と右心用 HFP を開発しての特性解析では、揚程 100 mmHg に対して、左心用は最高 19.97 L/min、右心用は 13.6 L/min の連続流々量が得られた。システム効率は、左心用および右心用 HFP において、それぞれ最高で 10.8%および 8.35%であった。拍動流性能試験では、平均流量 5 L/min において回転数変動を±500 rpm とすることにより、拍動数 60、90 および 120 bpm のいずれの条件においても完全拍動流を得ることが可能であった。溶血試験では、現状の溶血量は市販の遠心ポンプ (BPX-80) の 1.95~8.07 倍であり、動物実験に使用可能な水準であることが示された。
3. 左心用 HFP を左心バイパスとして用いた動物実験を 4 頭に行い、2 頭の生存が得られた。生存が得られた 2 頭とも術後に溶血が発生し、それに伴いヘマトクリットが低下した。溶血の原因は、術後の血漿総タンパク質の低下により血液の粘度が低下し、動圧軸受けが不安定になったためであると考えられた。溶血は 2 週間程度で治まり、1 頭は 208

日間実験を継続できた。しかし、2 頭目は、23 日目に動圧軸受けが破綻し実験を終了した。実験結果より、動圧軸受けの安定性を改善する必要があることがわかったが、208 日間生存したヤギのポンプ内に血栓は見られなかったため、抗血栓性に関しては良好である見通しが得られた。

4. 左心用 HFP と右心用 HFP により構成した HFTAH の動物実験では、6 頭のヤギに埋め込みを行い、2 頭の生存が得られた。いずれの実験でも、解剖学的適合性は良好であった。TAH の動物実験では、動圧軸受けの浮上力を向上させたことが効果的であったと思われるが、溶血は発生しなかった。しかし、1 例は 8 日目に左心 HFP の動圧軸受けが破綻し、またもう 1 例は 12 日目に右心 HFP の動圧軸受けが破綻した。動圧軸受けが破綻した原因としては、サッキングが考えられた。サッキングの発生により負荷が瞬時かつ急激に変動した場合に、動圧軸受けが真円軸に接触する可能性が考えられた。したがって、動圧軸受けの安定性のさらなる向上が今後の課題である。

以上、本論文において開発した TAH 用 HFP は動圧軸受けによるインペラーの非接触支持を実現し、生体の心機能を十分に代替することが可能な性能を持っていること、完全拍動流を生成することが可能であることを示した。また、ヤギを用いて左心バイパスおよび TAH の動物実験を行った結果、左心バイパスの動物実験では抗血栓性に関して良好である見通しが得られ、また TAH の動物実験では解剖学的適合性に関して良好であることがわかったことから、これまで開発された完全人工心臓用血液ポンプが実現することのできなかつた、高いポンプ性能、耐久性、拍動性能、血液適合性や解剖学的適合性などを、形状的制約の中で満たす血液ポンプを実現できる見込みが得られた。したがって次世代の完全人工心臓の実用化に重要な貢献をなすと言えることから、学位の授与に値するものと考えられる。