

厚生科学研究費補助金

高度先端医療研究事業

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究

平成12年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 高野 久輝

平成13（2001）年4月

厚生科学研究費補助金

高度先端医療研究事業

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究

平成12年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 高野 久輝

平成13（2001）年4月

目 次

I. 総括研究報告

次世代型心肺補助システムの開発に関する重点的研究

高野久輝

II. 分担研究報告

1. 四次元試作装置の in vitro 実験による性能評価

高野久輝

2. ガス交換膜のガス透過性能向上に関する検討

巽 英介

3. 生体適合性、抗血栓性の向上を目指した医用材料表面処理技術の開発と人工肺、遠心ポンプ、血液回路に対する応用

笹子佳門

4. ディフューザ部の形状変更と in vitro 性能試験

妙中義之

5. 数値流体力学 (CFD) による流動解析

築谷朋典

6. 四次試作装置の設計・製作および基本性能評価

酒井一成

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

IV. 研究成果の刊行物・別刷り

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究
—平成12年度研究事業の総括—

主任研究者 高野久輝 国立循環器病センター研究所副所長

次世代型心肺補助システムの開発に関して、充填滅菌保存の可能性、ヘパリンコーティング処理法の効果と安定性、細径化中空糸膜の有用性、三次試作装置の基本性能、および静動脈バイパス施行時の循環動態への影響について検討し、十分な成果を上げることができた。

高野久輝・国立循環器病センター研究所副所長
巽 英介・国立循環器病センター研究所人工臓器部長
笹子佳門・国立循環器病センター心臓血管外科医長
妙中義之・国立循環器病センター研究所人工臓器部部长
築谷朋典・国立循環器病センター研究所人工臓器部室員
酒井一成・大日本インキ化学工業(株)新事業推進本部SS
膜技術製造部課長

A. 研究目的

本研究の目的は、容易かつ迅速に適用可能で長期間安全に使用できる超小型心肺補助システムの開発を行うことである。

B. 研究方法

本事業初年度は、各要素技術の発展を図って四次試作装置を開発した。1)ガス透過性を向上させた中空糸ガス交換膜を新たに開発し、テスト用人工肺を試作して評価した(巽)。2)ディフューザ形状の変更による内部流動の変化、圧力性能、血球破壊量に関する検討を行った(妙中)。3)装置内で発生する溶血に甚大な影響を与え得るディフューザ羽根枚数および流路幅の影響について、CFD解析を行った(築谷)。4)四次試作装置を製作・評価した(酒井、高野)。外寸は高さ71mm×直径130mm、ガス交換膜面積は1.48m²、ガス交換膜バンドルは積層厚を薄く(22→15.5mm)高さを高く(26.5→40mm)して中空糸本数を減らし(84000→52300本)、圧力損失の低減とともにガス側圧力増大による均一なガス流分布とガス交換性能の向上を目指した。圧力損失を開放型模擬循環回路を用いた水試験で評価し、さらにポンプ性能、ガス交換性能を牛血を用いたin vitro試験で評価した。5)優れた抗血栓性と長期耐久性を有する新規ヘパリンコーティング(TNC)を開発し、静動脈バイパス回路を用いたの慢性動物実験で、抗凝血療法を行わずに長期生体内評価を行った(笹子)。

C. 研究結果

1)新規膜ではガス透過性能は $40 \times 10^{-5} \rightarrow 120 \times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}/\text{cmHg}$ へと増加し、空孔率は約5ポイント(32.5→27.4%)、平均孔半径は約14%(223→266Å)増大した。また、耐血漿漏出性試験では蛋白漏出は認めず、耐血漿漏出性を損なうことなくガス透過性能を向上させ得た。2)ディフューザ内の流動は7枚羽根の場合には旋回失速の状態にあったが、羽根枚数を5枚に、また3mmの流路幅を2mmに変更したところ、旋回失速の抑制と発生圧力の増加に成功した。溶血試験では、溶血指数は約17%低下した。3)発生圧300mmHgの条件でみたところ、最大せん断応力はディフューザ5枚で約1400Pa、7枚で1600Paとなり、また流路幅を3mmから2mmに変更することで最大せん断応力は1700MPaから1300MPaに減少した。CFDによる流れ解析による性能予測は開発期間の短縮に非常に有用であった。4)四次試作装置のデフューザ出口からデバイス出口までの圧力損失は5l/minで60mmHgとなった。回転数5000rpmでは350mmHg前後の揚程で8L/minの駆出量が得られた。また、血流量4L/minで酸素移動量は257mL/min、炭酸ガス移動量は175mL/minであり、三次試作装置と比較して圧力損失、駆出性能、ガス交換性能の全てで性能の向上を得た。5)抗凝血療法なしで21, 35, 36, 41, 65日間の連続運転が可能であった。血漿漏出は全認めず、ガス交換機能も良好に維持され、新規TNCコーティングの強力な抗血栓性および長期耐久性が示された。

D. 結論

超小型一体型心肺補助装置の要素技術を洗練し、その成果を反映させた四次試作装置は良好な駆出性能およびガス交換性能を示した。また、TNCの強力な抗血栓性・長期耐久性が示された。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究 —四次試作装置の *in vitro* 実験による性能評価—

分担研究者 高野久輝

国立循環器病センター研究所副所長

開発を行っている次世代型心肺補助システムの四次試作装置の酸素添加能、炭酸ガス除去能およびポンプ特性を新鮮牛血を用いた *in vitro* 実験にて評価し、三次試作装置と比較した。四次試作装置のガス交換性能については、血流量 4 L/min で酸素移動量は三次試作装置の 269 mL/min から 257 mL/min とほぼ維持されており、炭酸ガス移動量は三次試作装置の 148 mL/min から 175 mL/min へと増加した。四次試作装置のポンプ特性については、回転数 4000 rpm で揚程 350 mmHg において三次試作装置の 5 L/min から 8 L/min に血流量が増加した。

A. 研究目的

本研究の目的は、次世代型人工心肺補助システムの溶血を減らすべくディフーザ枚数を7枚から5枚に減らし、人工肺部分の圧力損失を低減すべく中空糸束部分および血流路形状の改良を図るとともに、高透過性中空糸膜を採用した四次試作装置の性能評価を行い三次試作装置との比較を行うこととした。

B. 研究方法

新鮮牛血を用いて *in vitro* にて、四次試作装置の酸素添加能、炭酸ガス除去能を血液ガス流量比=1、血流量 1~6 L/min で検定するとともに、ポンプ特性を評価し、三次試作装置と比較した。

C. 研究結果

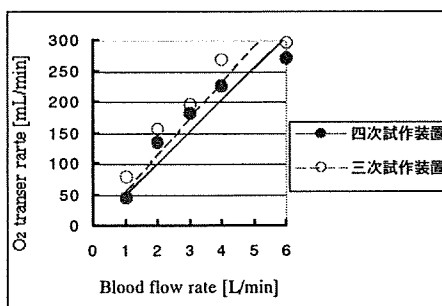


図 1 試作装置の酸素添加能

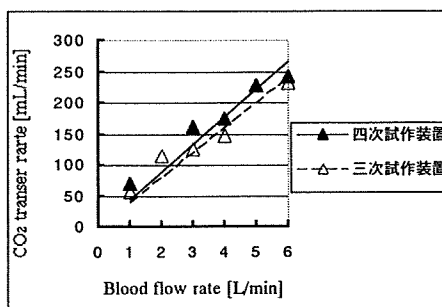


図 2 試作装置の炭酸ガス除去能

1. 酸素添加能 四次試作装置の酸素移動量は、血流量の増加に伴い増加し、血流量 4 L/min で 257 mL/min であった(図 1)。
2. 炭酸ガス除去能 四次試作装置の炭酸ガス移動量は、血流量の増加に伴い増加し、血流量 4 L/min で 175 mL/min であった(図 2)。

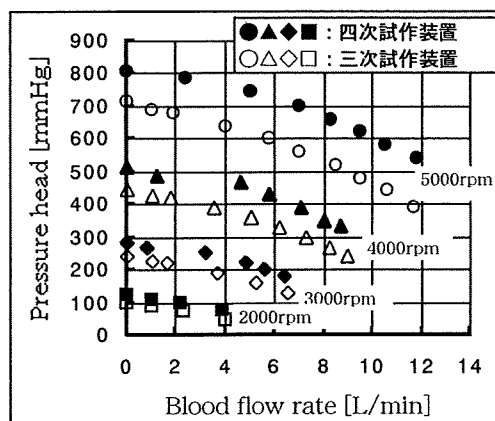


図 3 試作装置のポンプ特性

3. ポンプ特性 ポンプ駆出血流量は、インペラの回転数の増加に伴い段階的に増加し、また揚程の減少に伴って増加した。回転数 5000 rpm における四次試作装置の締め切り揚程は三次試作装置の 710 mmHg から 810 mmHg に増加し、350 mmHg 前後の揚程の場合には 8 L/min の駆出量が得られた(図 3)。

D. 考案および結論

四次試作装置は、ディフーザの枚数を三次試作装置の 7 枚から 5 枚へと減らしたが、高透過性中空糸膜を採用し、中空糸束部分のデザインの改良を行ったことにより、酸素添加能はほぼ同程度を維持しており、炭酸ガス除去能は増加がみられた。また、四次試作装置のポンプ特性は圧力損失の低減を図ったことにより三次試作装置のそれより向上していた。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究
ーガス交換膜のガス透過性能向上に関する検討ー

分担研究者 巽 英介

国立循環器病センター研究所 人工臓器部室長

開発を行っている次世代型心肺補助システムについて、前年度までに採用していたガス交換膜では、抗血栓性を付与するためのヘパリンコーティングの影響により、ガス交換性能が低下することが予想された。そこで、膜材料の製造工程中の結晶化工程の最適化を検討したところ、従来までの耐血漿漏出性を損なうことなくガス透過性能を向上させることができた。

A.研究目的

開発を行っている次世代型心肺補助システムについて、抗血栓性処理に伴うガス交換性能の低下を見越し、耐血漿漏出性を維持しつつガス透過性能を向上させることである。

B.研究方法

1.試作

結晶化を最適化するため、従来条件に対して結晶化処理時間を約40%長くしたガス交換膜を試作した。耐血漿漏出性を評価するため、膜面積1.3m²の人工肺を試作した。

2.評価

2.1 ガス透過性能は、酸素がガス交換膜を透過する量から求めた。

2.2 ガス交換膜の外表面を走査型電子顕微鏡にて観察した。

2.3 孔径、空孔率は水銀圧入式ポロシメータにて測定した。

2.4 耐血漿漏出性の評価は、アルブミン漏出試験により行った。試験液は5%アルブミンと0.15%のリン脂質を含む生理食塩液で、灌流量3 L/min、灌流圧500 mmHgとし、24時間灌流した。

C.研究結果

2.1 ガス透過性能

従来条件に比べ、結晶化処理時間を長くすることで、3倍のガス透過性能が得られた。

	ガス透過性能(cm ³ /cm ² s/cmHg)
高透過膜	120×10 ⁻⁵
従来膜	40×10 ⁻⁵

高透過膜：結晶化処理時間を長くしたガス交換膜

2.2 電子顕微鏡写真

ガス交換膜の外表面には顕著な差は見られなかった。

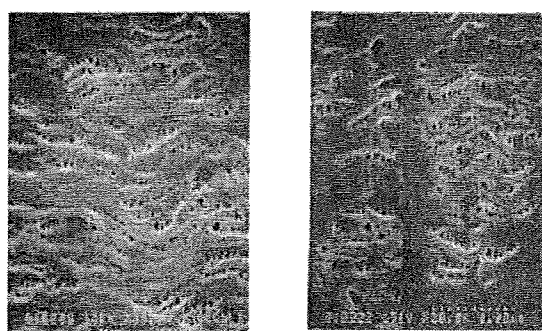


図1 ガス交換膜の外表面の電子顕微鏡写真(3万倍)
左が従来膜、右が高透過膜

2.3 孔系、空孔率

高透過膜では、従来膜に比べ、空孔率が約5ポイント、平均孔径が約14%だけ大きくなっていた。

	空孔率(%)	平均孔径(A)
高透過膜	32.5	266
従来膜	27.4	223

2.4 耐血漿漏出性

試作人工肺のO₂ガスアウトポートから出てくる凝集水を採取し、尿蛋白試験紙により漏出してくるアルブミンを検出する方法をとったが、高透過膜、従来膜ともに24時間にわたって試験紙は陰性を示し、アルブミンは検出されなかった。

D.考察および結論

結晶化処理時間を約40%長くすることで、耐血漿漏出性を損なうことなくガス透過性能を向上させることができた。これは、従来までの不均質膜構造を維持しながら、結晶化処理時間が長くなり結晶化がより進行したことで、空孔率、平均孔径を大きくすることができたためであると考えられる。

今後はヘパリンコーティング人工肺を試作し、ガス交換性能や長期の耐血漿漏出性の検討が必要である。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化に関する重点的研究
—生体適合性、抗血栓性の向上を目指した医用材料表面処理技術の開発と
人工肺、遠心ポンプ、血液回路に対する応用—

分担研究者 笹子佳門

国立循環器病センター心臓血管外科医長

生体適合性、抗血栓性の向上を目的に、極めて高性能な医用材料表面処理技術の開発を行い、人工肺、遠心ポンプ血液回路に対する応用を試み、その有効性について検討した。

A.研究目的

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のためには、極めて高い生体適合性を有する医用材料表面処理技術の開発が必須である。すなわち、抗血栓性に極めて優れ、可及的に抗凝血療法を抑制することが可能であり、血液やその他生体のさまざまな機能に対する影響が極めて軽微とすることが可能な技術の開発が求められる。従来の抗血栓性表面処理技術は製品化されているものも多く存在するが、未だにヘパリン投与は必須であり、また長期耐久性にも問題がある。本問題を解決すべく、長期使用が可能で全身ヘパリン投与を最少化、または不要化できる携帯使用が可能な超小型心肺補助システムを実現すべく、優れた抗血栓性と長期耐久性を有する TOYOBO-NCVC コーティング (TNC)を開発し、本技術の有効性について慢性動物実験にて長期生体内評価を行った。

B.研究方法

遠心ポンプには軸をシールレスにして耐久性を高めたポンプを用いた。人工肺には、極めて薄い緻密層 ($< 0.2 \mu\text{m}$)によって血液/ガスの直接接触を回避することにより長期耐久性を高めた特殊ポリオレフィン膜使用の人工肺(M型: priming volume 160ml, surface area 0.8 m^2 , L型: priming volume 240ml, surface area 1.3 m^2)を用いた。人工肺、遠心ポンプ他全回路にTNCを行ったシステムを用いて、成山羊5頭に対して右房脱血、頸動脈送血にて静動脈バイパスを作成した。開始後はヘパリン、ワーファリン、抗血小板剤等の抗凝血療法は行わなかった。血液流量は 1.5-3.0 l/min、酸素血流量比 1.0 で維持した。

C.研究結果

全例において良好な全身状態を維持したまま 21, 35, 36, 41, 65 日間のデバイス無交換連続運転が可能であった。ACT は生理的範囲内で推移した(1, 3, 5, 7, 9 週目にて $121 \pm 12, 120 \pm 6, 121 \pm 10, 118, 118$ 秒)。人工肺には血漿の漏出は全く認めず、酸素添加量、二酸化炭素除去量といったガス交換機能も良好に維持された(M型, 1, 3, 5, 7, 9 週目にて、酸素添加量: $147 \pm 30, 116 \pm 45, 99 \pm 18, 86, 84 \text{ ml/min}$ 二酸化炭素除去量: $41 \pm 10, 48 \pm 14, 43 \pm 10, 64, 47 \text{ ml/min}$, L型, 1, 3, 5 週目にて、酸素添加量: $119 \pm 45, 154 \pm 68, 106 \text{ ml/min}$ 二酸化炭素除去量: $84 \pm 0, 100 \pm 9, 86 \text{ ml/min}$)。ヘモグロビン、血漿遊離ヘモグロビン、血小板数は軽度の変化にとどまった。(1, 3, 5, 7, 9 週目にて、ヘモグロビン: $9.2 \pm 1.3, 9.5 \pm 1.7, 8.9 \pm 1.3, 8.0, 7.7 \text{ g/dl}$, 血漿遊離ヘモグロビン: $11.7 \pm 10.2, 17.8 \pm 7.8, 16.5 \pm 4.8, 15.0, 14.8 \text{ mg/dl}$, 血小板数: $51.8 \pm 12.0, 44.8 \pm 18.0, 37.1 \pm 17.6, 33.0, 41.0 \times 10^4 /\text{mm}^3$)。実験終了後の所見では、送脱血管、回路には血栓の形成は認めず、人工肺の血栓形成も血流が鬱滞すると考えられるケーシング辺縁部に少量認めた以外は軽微であった。遠心ポンプ内には、肉眼的血栓形成を認めなかった。

D.考察および結論

TNC は抗血栓性と長期耐久性に極めて優れ、本技術を携帯使用が可能な超小型心肺補助システムに応用することによって、無抗凝血療法下に長期連続使用しうる極めて高い生体適合性を持ったシステムを開発しうると考えられる。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究

— ディフューザ部の形状変更と in vitro 性能試験 —

研究分担者 妙中義之 国立循環器病センター研究所人工臓器部

人工肺部分に均一な血流分布を実現するためにもうけた翼型ディフューザ部分の性能向上と血液適合性の最適化のため、ディフューザ翼形状の設計変更を行った。羽根枚数を7枚から5枚に変更することで

1. 研究目的

本研究の目的は、一体型人工肺の水力学的性能向上ならびに溶血量低減を実現するために、主にディフューザ流路の設計変更を行い、その水力学的性能ならびに溶血性能を評価することである。

2. 研究方法

円筒形に配系した膜型人工肺部分と遠心ポンプの間に配置した翼型ディフューザ部の最適化のため、中空糸膜部分を省略したポンプ部分モデルを作成した。このポンプ部分モデルを用いて、ディフューザ形状の変更による内部流動の変化、圧力性能、血球破壊量に関する検討を行った。ディフューザの形状については、従来7枚であった羽根枚数と3mmであった流路幅についてそれぞれ5枚、2mmと変更したものについて比較検討した。流路内での流動については、レーザシート光と高速度ビデオを用いた粒子トレース法にて流れを可視化し、特にインペラとディフューザの干渉によって生じる流れ場の急激な変化に注目した。また、各形状について、ポンプ部分モデルの発生圧力の比較を行った。さらに、血液適合性試験として、ヤギ新鮮血を用いた溶血試験を行い、各形状が溶血量に及ぼす影響についても検討した。

3. 研究結果

設計の変更によるディフューザ内の流動の変化を可視化により検討した結果、形状変更前の7枚羽根の場合には、7個あるディフューザ流路の一部を流体が逆流し、その位置が次の流路へと順次移動しながら回転するいわゆる旋回失速の状態にあることが判明した。図1に旋回失速発生時の流路内流れを示す。旋回失速状態は効率低下のみならず装置内での血液の再循環量増加による溶血の増大を招く可能性がある。この現象はディフューザ翼と流れの方向が一致していない場合に起こる現象である。羽根枚数を5枚にすること、また3mmであった流路の幅を2mmにすることでこの旋回失速の発生限界を著しく低下させることに成功した。このように形状を変更した

結果、図2に示すように、ポンプ部分モデルによる発生圧力の増加に成功した。また、溶血試験では、5枚羽根による溶血指数0.015は7枚羽根の0.018と比較して約17%低い結果を得た。この形状変更により、血液適合性を向上することに成功した。



図1 ディフューザ入口における旋回失速の発生

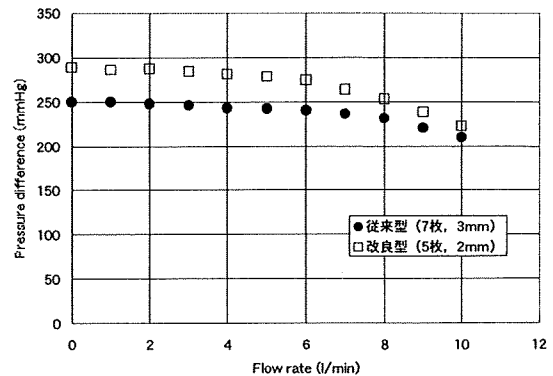


図2 ポンプ部分モデル発生圧力

4. 考察

ディフューザ部分の流れに関して、可視化により得られた情報に基づき、流路の形状変更を行い、発生圧力・溶血性能ともに向上させることに成功した。これにより一体型人工肺としての所要回転数を減らすことができ、さらなる溶血性能の向上が期待できると考えられた。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究

一 数値流体力学(CFD)による流動解析 一

研究分担者

築谷朋典

国立循環器病センター研究所人工臓器部

一体化した人工肺内部における均等な流量分配を実現するために採用された翼型ディフューザについて、血液適合性の高い形状を達成するために数値流体力学(CFD)を用いて流れの解析を行なった。溶血量の最小化を主たる目的としてせん断応力をもって評価を行ない、本モジュールに最適であると考えられる形状を選択することが可能となった。

1. 研究目的

本研究の目的は、人工肺部分における均一な血流分配を実現するために採用したディフューザ部近傍における流動場を数値流体力学(CFD)によって解析し、ディフューザ羽根の最適枚数、ならびに形状を探ることである。

2. 研究方法

本人工肺のディフューザ部分では、その入口部近傍においてインペラ翼端が高速で通過するため、非常に高いせん断応力が血液に作用すると考えられる。したがってディフューザ形状は装置内で発生する溶血に甚大な影響を与えると考えられる。ここでは、血液適合性の高い最適ディフューザ形状を探るために、ディフューザ羽根枚数（5枚、7枚）、ディフューザ流路幅（3mm、2mm）について検討を行った。CFD解析はポンプ出口からディフューザを経て人工肺入口部に至る領域を対象にして行った。用いた手法は、有限体積法、標準k-ε乱流モデルである。対象とする流れ場は定常と仮定した。必要とされる発生圧レベルから、高回転時の溶血が懸念されたため、ディフューザ部に発生する最大せん断応力によって各形状の評価を行った。

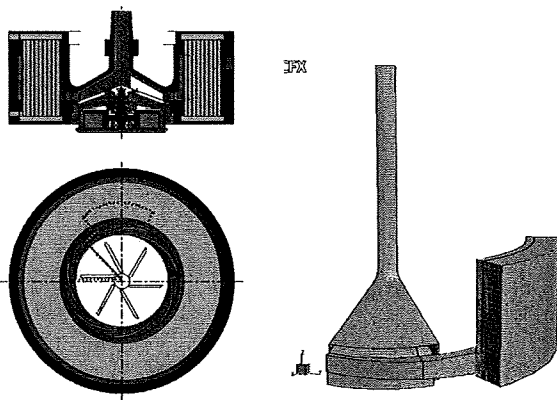


図1 計算対象部位(左)と計算グリッド(右)

3. 研究結果

図2に、流量 5(l/min)、発生圧 300(mmHg) の条件で羽根枚数がそれぞれ5枚と7枚の場合について、せん断応力が 500(MPa)を超えている領域の分布を示す。最大せん断応力は5枚で約 1400 (Pa)、7枚で 1600(Pa)であり、5枚の方が低い結果となった。また、ディフューザ流路幅に関しては、3mm から 2mm に変更することで、最大せん断応力の値が 1700(MPa)から 1300(MPa)に減少することが示された。

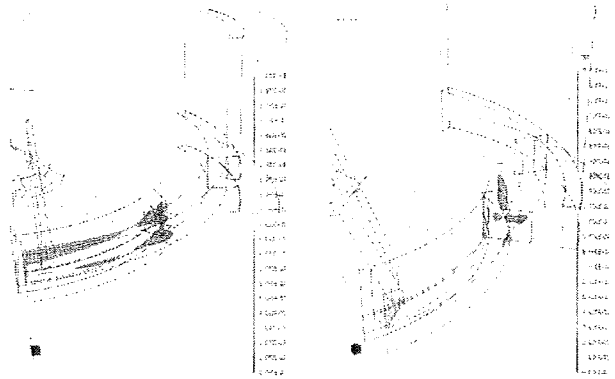


図2 せん断応力 500Mpa 以上の領域分布(左:7枚羽根, 右:5枚羽根)

4. 考察

ディフューザ内流れに着目して一体型人工肺の流れ解析を行った結果、ディフューザの羽根枚数、流路幅という基本パラメータによって、装置内部に発生する最大せん断応力に著しい差が生じることが示され、溶血量の最小化にはこれら設計パラメータに関する詳細な検討の必要性が示された。CFDによる流れ解析は、実機を試作することなく必要な性能の予測を可能にするため、開発期間の短縮に非常に有用であった。また、これらの結果は別分担研究者により行われた新鮮動物血を用いた溶血量測定の結果とも定性的に一致しており、CFDによる血液適合性予測の有用性も確認することができた。

携帯使用が可能な超小型心肺補助システムの臨床応用と製品化のための研究
—四次試作装置の設計・製作および基本性能評価—

分担研究者 酒井一成

大日本インキ化学工業(株) 新事業推進本部

開発を行っている次世代型心肺補助システムについて、前年度までの三次試作装置の基本性能データを基に、四次試作装置を製作し、水を用いて基本性能を評価した。四次試作装置では、圧力損失の低減、炭酸ガス除去性能の向上、プライミング時の気泡抜け性能向上の3点に重点を置き設計を行った。外寸は、高さ71mm×直径130mm、充填液量は165ml、ガス交換膜の膜面積は1.48m²と、三次試作装置と同じ充填容量、ガス交換膜面積を維持しながら、ガス交換膜の充填部（膜積層厚と高さ）及び血液流路形状の最適化により、圧力損失低減し、炭酸ガス除去性能および気泡抜け性能が向上した。

A. 研究目的

開発を行っている次世代型心肺補助システムについて、前年度までに実施した三次試作装置の基本性能の検定結果を基に、ガス交換膜の充填部及び血液流路形状の最適化により性能向上を目指した四次試作装置を製作し、性能向上を把握することである。

B. 研究方法

1. 設計・製作 四次試作装置は、ポンプ吐出口を5ヶ所、外寸を高さ71mm×直径130mm、ガス交換膜面積を1.48m²、ガス交換膜の配置を円周に対し垂直方向、膜積層厚を14.5mm、積層部高さ（糸1本の有効長さ）を40mmとした。血液流路の設計にはCFDを用いて形状の最適化を行った。遠心ポンプは三次試作装置と同じHPM-15を採用した。

2. 性能評価 圧力損失、ポンプ性能およびガス除去性能は開放型模擬循環回路を用いた水試験にて評価した。圧力損失は流量を1から9l/minで測定した。ポンプ性能は2,000rpmから5,000rpmの回転数で揚程を変えて吐出流量を測定した。ガス除去性能はctCO₂=2.2~2.4mol/l、PO₂=130±5mmHgに調整した純水を循環（1~8l/min）させ、人工肺気相側を50torrに減圧し、人工肺前後の純水中のガス濃度を測定してガスの除去量を算出し評価した。

C. 研究結果

四次試作装置では、有効膜面積を三次試作装置と同面積とし、ガス交換膜の積層厚を薄くし（22→15.5mm）、高さを高くし（26.5→40mm）ガス交換膜中空糸本数を減らした（84000→52300本）。これは、圧力損失の低減に有効であると同時に、糸本数が減ることでガス側の圧力が大きくなり糸全体に均一なガス流をもたらしガス交換性能の向上にも有効である。さらに、血液滞留及びデバイス出口での圧力損失低減のために、ガス交換膜積層部の外周側は流れの集中するデバイス出口部に向けて流路が広がっていく構造とした。プライミング時の気泡抜け性能向上は、デフューザー出口とガス交換膜積層部間

の空隙の幅を下から上に向かって傾斜（下3mm～上1mm）をとることで性能向上をはかった。

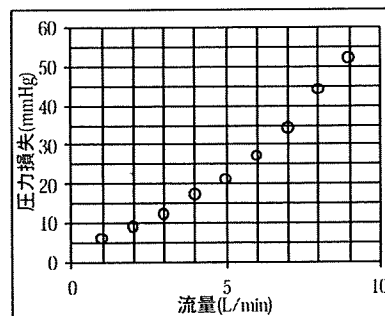


図1. 圧力損失

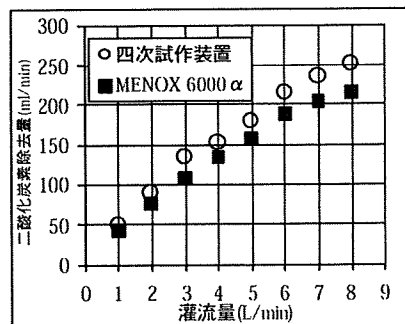


図2. ガス除去性能

デフューザー出口からデバイス出口までの圧力損失は5l/minで60mmHg(血液換算)となった(図1)。ガス除去性能は市販の成人用人工肺(MENOX6000 α)と同等以上の値を示した(図2)。プライミング時のガス抜けも良好であった。駆出性能はHPM-15単体と同等の性能を示した。

D. 考察および結論

四次試作装置は三次試作装置と同様の充填容量(165ml)と有効膜面積(1.48m²)を維持し、圧力損失、駆出性能、ガス交換性能、プライミング時の気泡抜け性能の全てにおいて性能が向上していることを確認した。

研究成果の刊行に関する一覧表

雑 誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Tatsumi E. Taenaka Y. Takano H. Nishinaka T. Nishimura T. Katagiri N. Yoda T. Kotake M. Wakui H	Preprimed artificial lung for emargency use.	Artificial Organs	24(2)	108-113	2000
片桐伸将 巽 英介 築谷朋典 西中知博 妙中義之 高野久輝 高武正義 和田 徹 酒井一成	中空系の細径化が膜型人工肺のガス交換性能に与える影響の検討	平成11年度第28回膜型人工肺研究会報告書	23	42-46	2000
巽 英介	人工肺—この一年の進歩	人工臓器	29(5)	598-599	2001
片桐伸将 巽 英介 築谷朋典 西中知博 妙中義之 高野久輝 酒井一成 松田智昌	中空系膜が外部灌流方式人工肺の性能に及ぼす影響の検討	ライフサポート	13(1)	in press	2001

20000482

以降は雑誌/図書等に掲載された論文となりますので、
前ページの「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。

