

11) 冷温水槽 (周辺機器)

人工肺に内蔵された熱交換器に任意の温度で設定された水を送る装置である。冷却は冷媒ガスとコンプレッサーを使用し電力で冷やすタイプと、水を入れて冷やすタイプがある。加温のためのヒーターは非常に多くの電力を消費するので、使用する部屋の電力容量に注意する。

1.2. 付録 (各種特性)

- 1) カニューレサイズと流量
- 2) 遠心ポンプ特性
- 3) 各メーカーの PCPS
- 4) PCPS に関する用語

PI: Perfusion Index (灌流指数) 患者体表面積 (m²)当たりの体外循環流量(L/min)

V/Q(比): 血流量 (L/min) に対する人工肺のガス流量 (L/min) の比率

P/F(比): 肺の酸素化効率 (PaO₂/FiO₂)

ACT: 活性血液凝固時間

遠心型血液ポンプ 比較表

製造元	泉工医科工業	メイトロニック ハイオメデिकास	サーンズ	テルモ	京セラ	ヨストラ	ジェイエムエス	コープカーデバイオハスキュラ
販売元	泉工医科工業	日本メイトロニック	テルモ	テルモ	日本メイトロニック	ヨストラジャパン	ジェイエムエス	ソーリン
名称	遠心型血液ポンプ HPMシリーズ	バイオポンププラス	セントラルカールポンプ	キャセックス	シャイロポンプ	ローアローポンプ	JK-MFP10C JK-MFP06C	COBEレボリューションポンプ
外径 (mm)	HPM-15 66	BPX-80 100	164275 80	CX-SP45 90	G1E3 86	RF-32(F) 85	JK-MFP10C JK-MFP06C 58	050-300-000
インナー径 (mm)	53	80	64	78	65	50		
PV (ml)	25	80 48	48	45	40	32	20 18	57
質量 (g)	145	290 220	120	255	124	60	42 40	
流入出 ポート径 (インチ)	3/8	3/8 1/4	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8 1/4	3/8
材質	ポリカーボネイト	ポリカーボネイト アクリル樹脂	ポリカーボネイト アクリル樹脂	ポリカーボネイト アクリル樹脂	ポリカーボネイト	ポリカーボネイト		ポリカーボネイト
原理	羽根の回転	円錐コーンの回転 (羽根なし)	羽根の回転	直線流路 (直線流路)	羽根の回転	流路の回転 (曲線流路)	羽根の回転	羽根の回転
ヘパリンコート	有 (Duraflo II G) (*)	有 (カメーダ)	有	有	無	有 ハイオライコート RF-32F	有	無

: フローフロー 無

(*) エドワーズライフサイエンス

テルモ<キャピオックス経皮カテーテルキット(HP)>

【送血用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
13.5Fr	3/8ストレート	4.5mm	15cm	CX-EB13ASH
	3/8ロック			CX-EB13ALH
15Fr	3/8ストレート	5.0mm		CX-EB13ASH
	3/8ロック			CX-EB13ALH
16.5Fr	3/8ストレート	5.5mm		CX-EB13ASH
	3/8ロック			CX-EB13ALH

【脱血用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
18Fr	3/8ストレート	6.0mm	50cm	CX-EB18VSH
	3/8ロック			CX-EB18VLH
19.5Fr	3/8ストレート	6.5mm		CX-EB19VSH
	3/8ロック			CX-EB19VLH
21Fr	3/8ストレート	7.0mm		CX-EB21VSH
	3/8ロック			CX-EB21VLH

Medtronic<Bio-Medicus cannulae キット>

【動脈用】CBはヘパリンコーティング

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
15Fr	3/8ストレート	5.0mm	18cm	CB96535-015
17Fr	3/8ストレート	5.7mm		CB96535-017
19Fr	3/8ストレート	6.3mm		CB96535-019
21Fr	3/8ストレート	7.0mm		CB96535-021

【静脈用】CBはヘパリンコーティング

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
15Fr	3/8ストレート	5.0mm	50cm	CB96605-015
17Fr	3/8ストレート	5.7mm		CB96605-017
19Fr	3/8ストレート	6.3mm		CB96605-019
21Fr	3/8ストレート	7.0mm		CB96605-021
23Fr	3/8ストレート	7.7mm		CB96605-023

【動脈用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
15Fr	3/8ストレート	5.0mm	18cm	96530-015
17Fr	3/8ストレート	5.7mm		96530-017
19Fr	3/8ストレート	6.3mm		96530-019
21Fr	3/8ストレート	7.0mm		96530-021

【静脈用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
15Fr	3/8ストレート	5.0mm	50cm	96600-015
17Fr	3/8ストレート	5.7mm		96600-017
19Fr	3/8ストレート	6.3mm		96600-019
21Fr	3/8ストレート	7.0mm		96600-021

Stockert-cannulae<経皮的挿入用カニューレ>

【静脈用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
22Fr	3/8or1/2	22Fr	70cm	V172-22
28Fr		28Fr	90cm	V172-28

エドワーズ<フェモラルカニューレ>

【動脈用】<フェモラル動脈送血カニューレ>

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
16Fr	3/8Tコネクタ	5.3mm	15cm	FEM II O16A
18Fr	3/8Tコネクタ	6.0mm	15cm	FEM II O18A
20Fr	3/8Tコネクタ	6.7mm	15cm	FEM II O20A

【静脈用】<フェモラル静脈脱血カニューレ>

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
18Fr	3/8コネクタ	6.0mm	55cm	VFEM018
20Fr	3/8コネクタ	6.7mm	55cm	VFEM020
22Fr	3/8コネクタ	7.3mm	55cm	VFEM022
22Fr	3/8コネクタ	7.3mm	65cm	VFEM022L
24Fr	3/8コネクタ	8.0mm	65cm	VFEM024
28Fr	3/8コネクタ	9.3mm	65cm	VFEM028

TOYOBO Flexmate<経皮的挿入用カニューレ>

【送血用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
14Fr	3/8コネクタ	4.7mm	15cm	PCKC-A-14
16Fr	3/8コネクタ	5.3mm	15cm	PCKC-A-16
18Fr	3/8コネクタ	6.0mm	15cm	PCKC-A-18
20Fr	3/8コネクタ	6.7mm	15cm	PCKC-A-20

【脱血用】

サイズ	接続タイプ(コネクタ)	外径	有効長(挿入部)	コード番号
18Fr	3/8コネクタ	6.0mm	52cm	PCKC-V-18
20Fr	3/8コネクタ	6.7mm	52cm	PCKC-V-20
24Fr	3/8コネクタ	8.0mm	52cm	PCKC-V-24

2 PCPS 操作マニュアル

2.1. はじめに

心肺機能を体外循環により代行させる人工心肺は、ブラッドアクセスとして経皮的カニューレが開発されたことにより、開心術だけに留まらず緊急時に対応できる生命維持手段としての期待が持たれるようになった。特に本邦においては小型人工肺や遠心ポンプの応用に加え、巧妙な充填方法や回路の簡素化と共に、PCPS(percutaneous cardiopulmonary support; 経皮的な心肺補助法)として普及した。PCPS用の回路はEBS (Emergency Bypass System, キャピオックス, テルモ)が1995年よりキット商品として市販され、多くの施設で採用されると共にその普及に貢献した。機能面など部材を選択し、オリジナルの回路構成で行っている施設もあるが、基本原理や操作に関しては共通する部分が多い。本稿では、EBSを例にしたシステムの原理と使用方法に関して概説するものである。詳しくは専門書¹⁾等を参考にされたい。

2.2. PCPS システム概要

PCPSシステムの回路構成は、血液を引き込むた

めの脱血カニューレ、遠心ポンプ、人工肺、送血カニューレからなり、血液を引き込む力と押し込む力は遠心ポンプで発生する圧力を利用している。システムの機能は右心房に回帰した静脈血に対してガス交換（炭酸ガス排出、酸素添加）を行い動脈系に戻すことにより、心臓のポンプ機能と呼吸の代行を行うことである。つまり全身の循環を助け、ガス交換を代行する装置である。心臓に対する補助効果は冠血流の維持と酸素供給、右心室前負荷の軽減である。左心室に対しては後負荷の増大を招き、左心機能が低下している場合は肺鬱血を助長させる場合もある。現在のPCPSシステムは強力な循環補助手段ではあるが、装備の簡略化により機動性が高い反面、異常に対する装置の制御や、危険を示すためのアラーム機能に関しては未だ問題を残している。維持管理においては血液損傷や低酸素血症、空気塞栓、血栓塞栓等を起こさないために、装置や構成部材の特性を理解した上で使用することはいうまでもなく、工夫を凝らした安全管理を行っていく必要がある。

1) 患者接続時の回路内圧力

図1はEBSの回路内圧力を示したグラフである。PCPS管理下の患者で、静脈圧が10 mmHg、

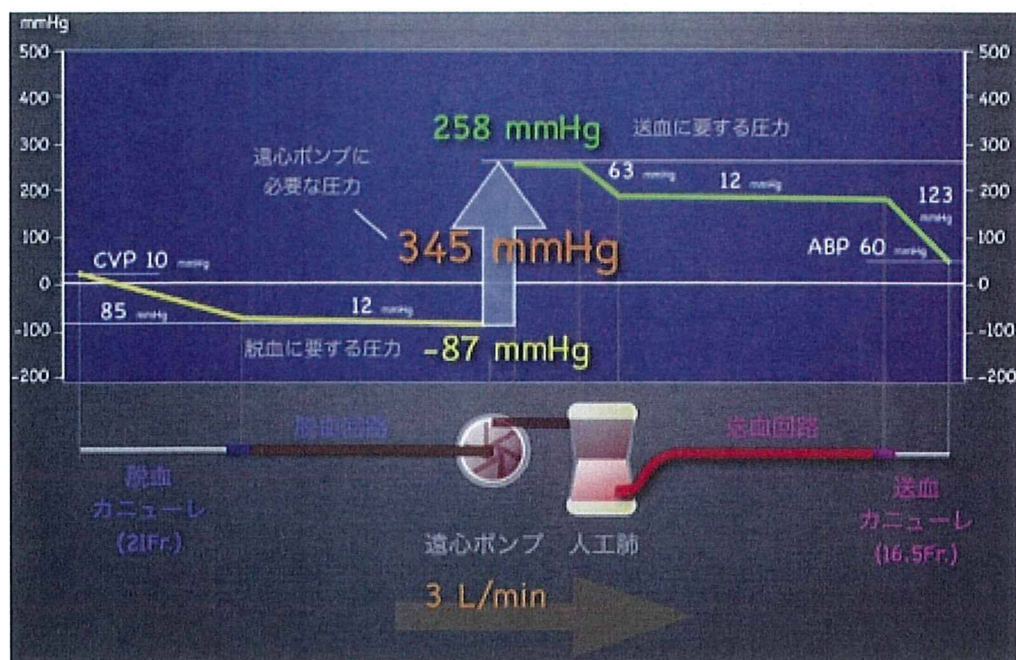


図1 送血16.5Fr、脱血21Fr.を選択した場合の回路内圧力

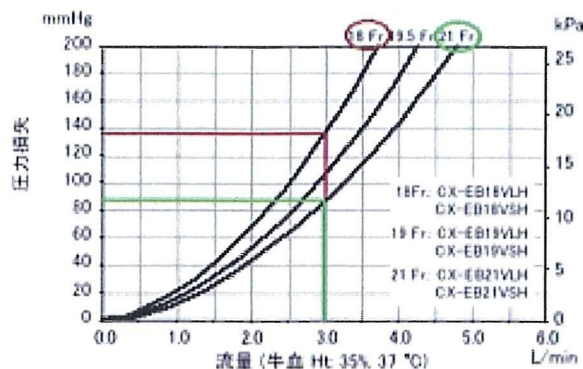


図2 脱血カニューレの圧力損失（テルモ, キャピオックス経皮的カニューレ；脱血）

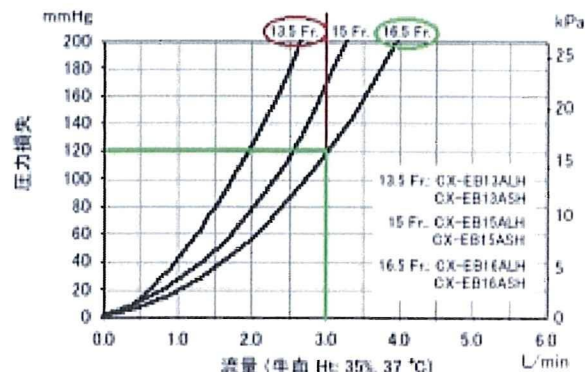


図3 送血カニューレの圧力損失（テルモ, キャピオックス経皮的カニューレ；送血）

平均動脈圧が60 mmHgの場合を想定し、PCPS回路内の圧力を考えた。標準的に用いられているカニューレサイズ（送血16.5Fr., 脱血21Fr.）を使用し、回路内を3 L/minの血流が流れていると仮定する。

2) 脱血側

まず図2に示す脱血カニューレの流量-圧力損失特性をみると、3L/minではおよそ85mmHgであり、圧力が低い状況であることがわかる。静脈圧が10mmHgの右心房から脱血カニューレ接続部で発生している圧力はマイナス75mmHgとなる。遠心ポンプ入り口までは3/8インチのチューブで接続されているが、ここでも圧力損失があり、仮に1.5 mの長さであるならば図5より12mmHg程度である。脱血カニューレの接続部からさらに12mmHg低い圧力、即ちマイナス87mmHgであることが推定できる。

3) 送血側

送血側は生体の平均動脈圧60mmHgに抗して血液を拍出させている。送血カニューレの圧力損失は図3より約120mmHgであり、脱血側と同様1.5mのチューブで接続されているなら12mmHg、人工肺の圧力損失は図4から約63mmHg、これらの合計が遠心ポンプ出口部の圧力であり、258 mmHgであることが推定できる。

4) 遠心ポンプ

遠心ポンプで発生させる圧力は脱血と送血に必要な圧力の総和であり、およそ350 mmHgの圧力を発生させている。図6は遠心ポンプの発生圧力

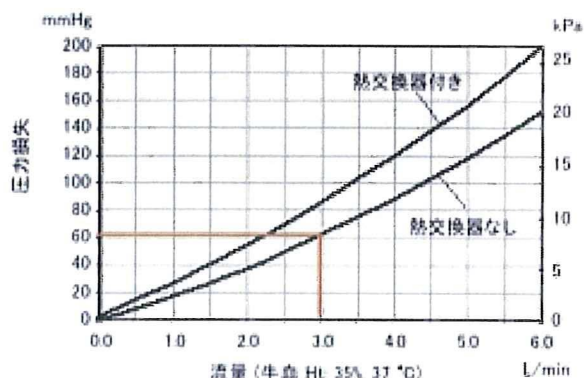


図4 人工肺の圧力損失（テルモ, キャピオックス人工肺）

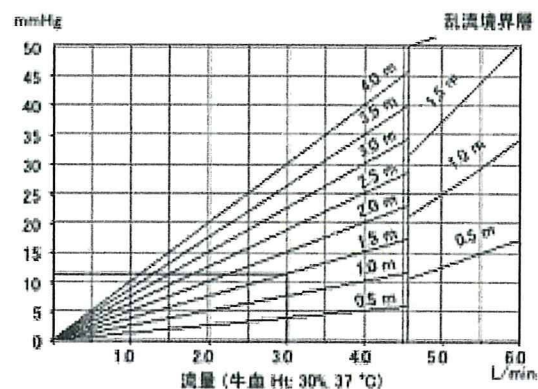


図5 3/8インチチューブの圧力損失（理論値）

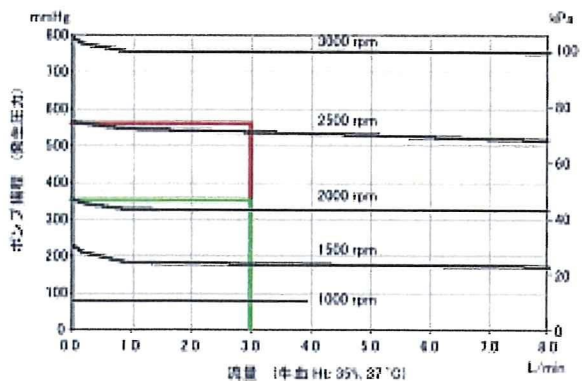


図6 遠心ポンプの特性（テルモ, キャピオックス遠心ポンプ, SP45）

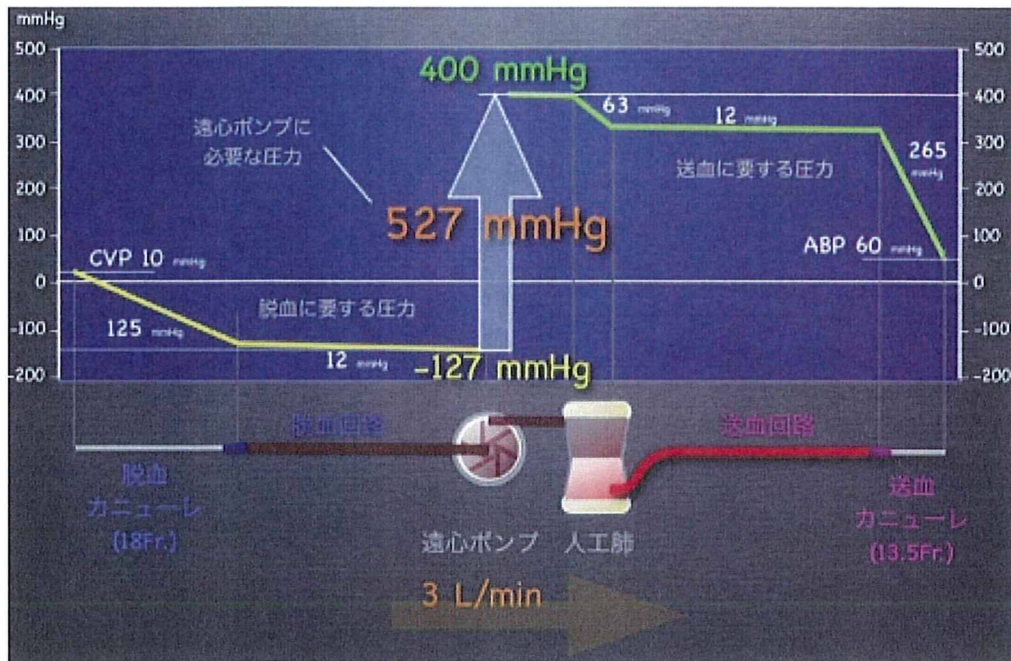


図7 送血13.5Fr. 脱血18Fr. を選択した場合の回路内圧

と回転数、流量の関係を表したものであるが、350mmHg, 3L/minの交点付近は2050 rpm(回転毎分)前後であることが推測される。ちなみにこのポンプ(SP45)の特徴は流量によらず、発生圧力はほぼ回転数に依存している。図7は送脱血カニューレにそれぞれより細いサイズを選択した場合を想定している(決して現実的な想定でない)。同じ流量を得るためには500mmHg以上の圧力が必要となる。高い圧力が必要となる環境では、血液損傷が多くなることはin vitroの実験からも明らか²⁾であり、1日以上なお流量補助が必要な場合はカニューレの交換、追加を考慮する。

5) 知っておくべき知識

回路内圧を見ると、脱血側はカニューレ内部ですでに大気圧よりも低い状態であり、脱血回路の取り扱いに慎重な配慮が必要である。回転数に依存した圧力から、現在の流量が予測される妥当な値であるか判断できる。予測される以上の流量は出ない。大きくはずれている場合はその原因がある。むやみに回転数を上げても流量は増加しない。PCPSは以上の性質を持つ循環補助装置であることを念頭に置き以下項に留意してほしい。

2.3. 準備

1) デバイス側

- ・キャピオックスSXカスタムパック(PCPS回路)
- ・ガスラインチューブ(φ6mm); フィルター機能付が望ましい。清潔なものを使用すること。
- ・キャピオックス経皮カテーテルキット
- ・送血カニューレ, 脱血カニューレ
- ・チューブクランプ鉗子
- ・滅菌鉗子2本, 未滅菌鉗子2本(必要本数)
- ・プライミング液: 細胞外液補充液
- ・ヘパリン
- ・超音波ゲル



図8 キャピオックスSXカスタムパック(左)と送血・脱血カニューレ(右)

2) 機械側

- ・ キャピオックス遠心ポンプコントローラー (SP-101) 一式
- ・ コントローラー本体, ドライブモーター
- ・ 流量センサー
- ・ ハンドクランク
- ・ 専用ホルダー
- ・ ガスブレンダー (必要に応じて用意する)
- ・ ACT測定装置, 温度モニター
- ・ 酸素ポンベ

2.4. 組立

(キャピオックス®カスタムパック;EBS®心肺キット, 熱交換器なし)

アルコール, エーテルなどの有機溶剤は使用しない。また, 人工肺は, 患者より低い位置に設置することが望ましい。

- 1) EBS心肺キットを箱から取り出し外袋を開ける。
- 2) 滅菌袋内の送血ライン(赤), 脱血ライン(青)のクレンメの開放を確認。術野側の滅菌袋は破らないように気をつける。
- 3) ホルダーカバーを引き上げ, 人工肺部の底面をはめ込み, カバーをしっかりと降ろす(図9)。

- 4) 人工肺上部とホルダーの密着を確認。



図9

- 5) コントローラーの回転数が「0」の状態を確認。

- 6) ドライブモーターのカバーをはずす。

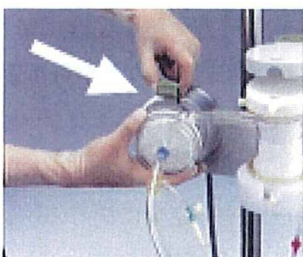


図10

- 7) ドライブモーター下側の溝に, 遠心ポンプの底辺をはめ込む。

- 8) スライドフック

を引き上げてドライブモーターと密着させスライドフックをしっかりと戻す(図10)。

- 9) 人工肺送血側にある1/4ポートの赤いキャップを確実に閉める(図11)。



図11

- 10) 人工肺上部の黄色いキャップ

を確実に閉める(図11)。

- 11) ガスラインを人工肺上部のガスポート(GAS IN)に接続。必ず接続前に酸素が流れることを確認する。

2.5. 充填

プライミング液として, 細胞外液組成もしくは等張性晶質液で行う。(晶質液によるプライミングは回路内の気泡除去を容易にする。血液製剤や血漿分画製剤の使用は避ける。)

- 1) 装置前面の「電源」スイッチを入れる。背面のサーキットブレーカーの「ON」を確認する(図12)。

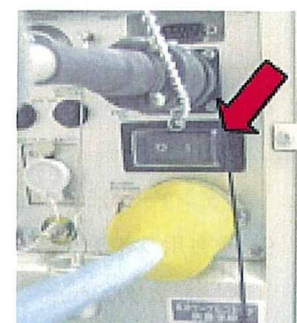


図12

- 2) プライミングラインにプライミング液のバックをつなぎ, 三方活栓を開ける。

クレンメを開きプライミングバック内の空気を追い出した後, 落差で回路内を満たしていく。時間を短縮する目的で落差を十分にとるか, 加圧バッグなどを用い圧力をかけても良い。

- 3) プライミング液がほぼ充填されたら, コントローラーの表示が「READY」であることを確認



図13

し, 「AUTO-PRIMING」スイッチ(図13, 白

いボタン) を押す。

【注意】プライミング液を充填しない状態で遠心ポンプ部を作動させないこと。遠心ポンプ破損を招く。オートプライミングの前に回路を十分満たすこと

4) 回路内および人工肺接続部にエアが残っている場合は、完全に取り除く。

5) 「AUTO-PRIMING」スイッチを押し、プライミングを一時終了。

6) 人工肺出口のサンプリングラインの三方活栓を開放しサンプリングラインのエア抜きを行なう。三方活栓のキャップのうち通気性のあるものは、通気性のないものに交換する。

7) 遠心ポンプをドライブモーターからはずし、遠心ポンプの裏側も完全にプライミングされていることを確認し、再度セットする。遠心ポンプ部を脱着するときは、必ずコントローラーの回転数表示が「0」の状態で行うこと。エアが残っているときは再度エア抜きを行なう。

8) コントローラーのモーター回転数が「0」であることを確認し、「START」スイッチ（緑ボタン）を0.5秒以上押す。

9) 送血用ライン(赤)を鉗子でクランプして、最大回転数3000rpmで約30秒間回転させ、漏れなどの異常がないかを確認する。この際送血ライン(赤)をクランプしたままの状態を続けないこと。

【注意】送血用ライン(赤)をクランプしたままで長時間遠心ポンプを回転させないこと。プライミング液の温度が上昇しプライミング液変性や遠心ポンプの破損などの可能性あり。

10) 確認終了後、送血用ライン(赤)の鉗子はずす。

11) 回転数を「0」にして、「STOP」スイッチを1秒以上押し回転を止める。

12) 滅菌袋の上から送血ライン(赤)と脱血ライン(青)のクレンメを閉じる(図14)。

13) 開始までに必ずプライミングラインのクレンメおよび三方活栓を完全に閉じる。



図 14



図 15

クレンメおよび三方活栓を閉じないまま循環を開始すると、送血回路内にエアが混入する可能性があるため、確実に閉じること(図15)。

他のPCPS回路、人工肺(熱交換器付人工肺を含む)のプライミングは各メーカー取扱説明書に従うこと。

2.6. 充填後の確認

1) 滅菌袋内の送血ライン(赤)と脱血ライン(青)のロックコネクターが締まっている(図16)。



図 16

2) 送血ライン、脱血ライン側枝にある三方活栓を完全に閉じる。

3) 滅菌袋の上から送血ライン(赤)と脱血ライン(青)のクレンメを閉じる。

4) プライミングラインのクレンメおよび三方活栓を完全に閉じる。

5) 人工肺出口部のサンプリングラインの三方活栓を完全に閉じる。

6) ガスラインが人工肺上部のガスポート(GAS IN)に接続されていることを確認する。

7) サーミスタプローブと温度モニターケーブルを接続。

8) 流量コネクタの窓に超音波ゲルを塗布し、矢印と血液の流れる方向を合わせて「カチッ」と音がするまでしっかり装着する (図17)。



図17

9) 送血側を鉗子でクランプする。

2.7. 開始手順

- 1) 人工肺出口側を鉗子でクランプする。
- 2) 滅菌袋の中に入った回路部分を、注意して開封し術者に渡す。
- 3) 術者が清潔部分をつかんだら、袋を全て外す。
- 4) 術者に術野側の送血、脱血回路を鉗子でクランプしてもらう。
- 5) 術者に、A・Vコネクタ間の接続チューブを外してもらい (図18)、回路の送血側 (赤ライン)と送血カニューラ、脱血側 (青ライン)と脱血カニューラを接続してもらう。

【注意】送血カニューレに送血回路、脱血カニューレに脱血回路が接続されていることを確認する。

- 6) 接続後、術者側の鉗子を開放する。接続時には、エアが入らないように接続する。
- 7) 残存エアがある場合は、送血・脱血にある側枝からシリンジ (ロック付きが望ましい) にてカニューレ側よりエア抜きを行う。

【注意】人工肺から気泡を吸い込む可能性があるため、送脱血のクレンメは絶対に解放しないこと。

- 8) 酸素を吹送する。(例として、酸素濃度100%・酸素流量 3L/min)
- 9) 「Start」スイッチ (緑ボタン) を0.5秒以上押す。
- 10) 遠心ポンプ回転数をおおよそ1000rpmに調節する。

11) 送血側の鉗子をゆっくり開けていきながら、回転ダイヤルを回して目標の流量まで上げて行く。

12) 酸素濃度、酸素流量、血液流量、遠心ポンプの回転数、時間等を確認する。

13) 送脱血回路の色を目視し酸素加されていることを確認する。また、回路の震えや屈曲が無いことを確認する。

14) 記録表に必要事項を記載する。

2.8. 熱交換器付き(EBS®心肺キット熱交換機付き：CX-ESM)の組立、充填

EBS心肺キット熱交換器付きの組立、充填に関して、その方法とポイントを述べる。なお、熱交換器なしのタイプと重複する項目は、そちらを参照していただきたい。

1) ドライブモーター下側の溝に、遠心ポンプの底辺をはめ込む (図19)。

・遠心ポンプに破損、汚れ等はないか。

・上下の溝にはまっているか。

・冷温水槽は消費電力が大きいため、単独で使用できる電源コンセントの位置を確認しておく。



図19

2) 人工肺/熱交換器をホルダーに固定する。各接続部の増し締めを行う (図20)。

・人工肺に破損、汚れ等はないか

・熱交換器に破損、汚れ等はないか。

・しっかりとホルダーに固定されるか

・各接続部で緩みがないか



図20

3) 人工肺/熱交換器を上下逆に装着する (図21)。

・上下逆にホルダーへ装着してもしっかりとホル



図 21



図 22



図 23



図 24



図 25



図 26



図 27



図 28



図 29



図 30

- ダーに固定されているか。
- 4) プライミングラインのクランプを閉じる(図 22)。
 - ・ 一方のプライミングラインをプライミング液に接続し、クランプを開きエアを抜く。
 - ・ 他方のクランプを開き、プライミングラインのエアを抜き、クランプする。
 - 5) 遠心ポンプ入口側とプライミングラインの間を鉗子にて閉じる(図 23)。
 - ・ 最初に脱血側からエアを入れないようにプライミングしていく。
 - ・ エアブロックが生じたり、気泡飛散したりしないように注意する。
 - 6) 回路を上を持ち上げ、プライミングラインの三方活栓を開き、脱血側から落差で満たしていく(図 24)。
 - 7) 脱血カニューレ側の分岐ラインを満たし、三方活栓を閉じる(図 25)。
 - ・ エアが残っていないか。
 - ・ 袋が破れていないか。
 - ・ 三方活栓が閉じているか。斜めではないか。
 - 8) ロック部分もエアがないことをしっかり確認する。
 - 9) 送血カニューレ側の分岐ラインを満たし、三

- 方活栓を閉じる(図 26)。
- 10) 人工肺近くまで満たしたら液面より下の液体側で鉗子を閉じる(図 27)。
- 11) 人工肺までプライミング液が先に達してしまうと遠心ポンプ側からのエア抜きに時間がかかる。
- 12) 遠心ポンプ入口側とプライミングライン間の鉗子を開く(図 28)。
 - ・ 遠心ポンプ出口側が上に向いているか。
- 13) 遠心ポンプの送血チューブを上に向け、遠心ポンプ内を満たしていく(図 29)。
- 14) 遠心ポンプ出口側を10°ほどまで満たしたら、一旦遠心ポンプ出口側を鉗子で閉じる。
- 15) 人工肺/熱交換器を熱交換器入口側が下へ、出口側が上へ向くように水平に保持する(図 30)。
- 16) 遠心ポンプと熱交換器間の鉗子のクランプを



図 31



図 32



図 33



図 34



図 35



図 36

解除し、熱交換器部のプライミングを行う。

- 17) 熱交換器の先端を下に下げないように保持し、熱交換器部分のエアを除去する(図 31)。
- 18) 熱交換器出口側が満たされたら、熱交換器出口から人工肺へとつながる部分のエアが抜けるように左上逆にする (図 32)。
- 19) 人工肺入口部分のエアを抜く (図 33)。
- 20) エアが残っていないか。
 - ・ 三方活栓が閉じているか。斜めではないか。
 - ・ 三方活栓の蓋が閉まっているか。
- 21) 人工肺/熱交換器部分でエアがないのを確認したら、すべての鉗子を外す。
- 22) PCPSの電源を入れ、オートプライミングを開始する(図 34)。
 - ・ エラーメッセージは出していないか。
 - ・ 遠心ポンプ部分がエアで空回しになっていないか。
- 23) オートプライミングにて回路内のエアが完全になくなったのを確認し、プライミングラインをクランプ、三方活栓、鉗子にて閉じる (図 33)。
- 24) もう一度プライミングライン接続部の増し締めを行う (図 35)。

25) 人工肺/熱交換器を正しいマウントに戻す (図 36)。

26) プライミング終了後、もう一度各接続部に緩みがないか、エアの有無を点検する。

2.9. チェックリスト

使用開始前、カニューレ接続時およびPCPS開始時におけるチェックリストを示す (表 1 ; 次頁)。

2.10. PCPS 維持

- 1) PCPS 灌流中の操作・条件の変更は、医師と協議の上、行うこと。なお、緊急時は、適切な処置後、医師に報告すること。
- 2) 脱血カニューレから遠心ポンプまでは、血液回路内に高い陰圧がかかっているため、採血時などは、エアの流入に十分注意すること。
- 3) 遠心ポンプで出口から、送血カニューレまでは、血液回路内に高い陽圧がかかっているため、血液の流出には注意すること (図 37)。
- 4) 灌流中は回路テンションに注意すること。特に、体位変換時などは不用意に回路が引っぱられることがあるため、十分に回路長をとつ

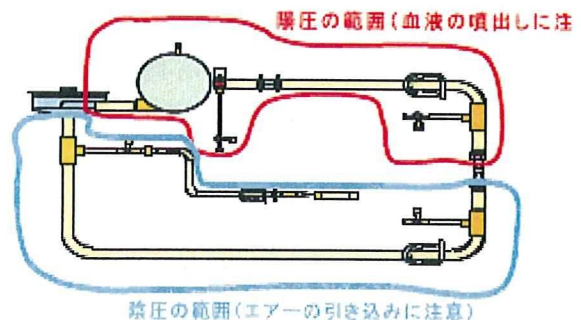


図 37 圧力の影響

表1 PCPS 開始時のチェックリスト

チェック項目	解 説
1 開始前	
<input type="checkbox"/> 回路のクレンメが閉まっているか確認	回路開放時のエア入りを防止する
<input type="checkbox"/> プライミングラインの確認	除去するか輸液ラインとして使用する際はエア除去後の輸液バックを接続する
<input type="checkbox"/> 側枝の三方活栓が閉じていることを確認	運転時のエア混入・血液の漏出を防ぐ
<input type="checkbox"/> 人工肺出口に鉗子をする	PCPS には逆流防止機構がないため動脈側からの逆流を防ぐ
<input type="checkbox"/> 抗凝固剤の有無を確認する。	必要に応じて投与する
2 カニューレ接続	
<input type="checkbox"/> 確実にエア抜きがなされているか確認	誤接続に注意する
3 開始	
<input type="checkbox"/> 回路クレンメを開放しているか確認	脱血側回路閉鎖によって陰圧になりエアが発生することを防ぐ
<input type="checkbox"/> 遠心ポンプの回転数を 1000rpm にする	鉗子開放時、確実に V → A に流れるよう回転数を上げておく
<input type="checkbox"/> 酸素濃度 100%, 酸素流量 3L/min に設定	開始直後から確実に酸素血を送るため酸素の吹送をしておく
<input type="checkbox"/> 人工肺出口部の鉗子をゆっくり開ける	脱血・送血の状態を確認する
<input type="checkbox"/> 脱血・送血の色を比較し違いがあることを確認	確実に酸素加された血液が送血されているか確認する
<input type="checkbox"/> 送脱血に問題なければ血流量を目標値に上る	目標量が確保できるかを確認する
<input type="checkbox"/> 回路のふるえがないか脱血回路に触れてみる	脱血が不良であれば回路が振動するので触ってみる
<input type="checkbox"/> 遠心ポンプの状態を確認	異音や振動が無いことを確認する
<input type="checkbox"/> 血液リークがないか確認	目標量が循環している状態で回路・人工肺に血液リークがないかことを確認
<input type="checkbox"/> 回路の固定を行う	回路の屈曲や脱落を防止する
<input type="checkbox"/> 人工肺出口部の側枝から採血し血液ガスを確認	人工肺の酸素加能を評価する

て行うこと。また、患者処置中はPCPSの流量を確認しながら行うようにし、流量が変化した場合には、かならず回路の折れなどを確認すること。IABP 併用中は、PCPS 回路同様に IABP 回路に注意を払うこと。

5) PCPSの電源は出来る限り瞬時特別非常用電源から取ることが望ましい。また、同一系統のコンセントに、超音波診断装置などの電源を接続しないこと。(電源容量がオーバーしてブレーカーが落ちる可能性があるため) また、バッテリーで作動していないか確認するとともに、常に A C 電源を確保しておくこと。また非常時に備えハンドクランクを準備しておくこと。

6) 灌流中は、適宜採血を行い、人工肺のガス交換能、灌流条件のチェックを行うこと。(混合静脈血酸素飽和度 60～65%以上) なお、採血

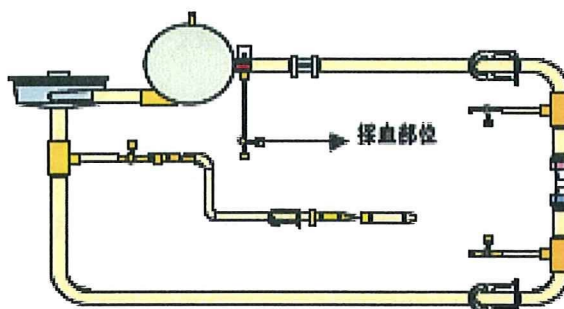


図 38 採血部位

時は可能な限りロックシリンジを使用し、空気混入、出血の防止策をとること。

7) 人工肺を評価する場合は、人工肺出口部のサンプリングラインから採血して行うこと (図 16⑤, 図 38)。

8) 運転中は必要に応じて、血液ガス・電解質をチェックすること。

9) ACTは 180～200sec を維持すること。

- 10) 人工肺の酸素フラッシュを定期的に行い、ガス交換能の維持と血漿リークを予防すること。
- 11) 血液浄化装置 (CHF, CHDF) の接続は、出来る限りバスキュラアクセスカテーテルから行うこと。
- 12) PCPS の最低流量は、血栓の形成を考慮し 1L/min 以上を維持すること。

2.11. 離脱

体外循環補助下で心機能や呼吸機能が安定し、離脱に向けた治療が開始されると、遠心ポンプの補助流量の減少とともに人工肺のガス設定の変更を行う。補助流量を減少することで、より厳密な ACT チェックが必要になるとともに、血液ガス分析値や各種バイタルサインチェック、尿量の確認が重要となる。自己心から肺への血流が増えると、喀痰の量も多くなるため、気管内吸引も頻繁に必要になる。送血カニューレの留置部位を考慮した酸素化能の評価を始めとした心機能の回復を総合的に評価しながら、補助流量と自己心血流量のバランスを決定することが肝要である。

1) 離脱時の操作手順

- ① 自己心機能の回復の評価は、心エコー、ETCO₂、尿量、サーモダイリユーションカテーテルなどより得られる各種パラメーターにより行う。
- ② 全身の循環不全徴候がなければ、数時間毎に補助流量を徐々に減少させ、目標の循環動態

の維持が図られることを確認しながら 1.0L/min 程度まで補助流量を減ずる。

【注意】全身状態を確認しながら人工呼吸器の調整を行う。

- ③ 補助流量を 1.0L/min 以下まで減少させても循環不全徴候がなければ離脱を考慮する。#
 - ④ 輸液ルートの確認、血液製剤の準備、急速輸液・輸血ラインの準備、予備回路の準備を行う。
 - ⑤ PCPS からの離脱の可否を最終的に判断するために、on/off テストを行う。
送脱血回路を鉗子で遮断し各種パラメーターより循環動態の変化を注意深くみる。
- 【注意】ACT150sec 以下の場合は、回路内血栓防止のため、ヘパリン投与を考慮する。
- ⑥ 患者の状態を注意深く監視し、緊急時に対応できるように備える。

参考・引用文献

- 1) 松田 暉：新版 経皮的心肺補助法 PCPS の最前線，秀潤社，2004
- 2) 荒木賢二，妙中義之，増澤 徹，脇坂佳成，中谷武嗣，赤城治彦，馬場雄造，松尾義昭，榊雅之，渡正伸，Young Hwan Park，高野久輝：遠心ポンプにおける in-vitro 性能評価. 人工臓器 23 (3): 898, 1994
- 3) テルモ株式会社：キャピオックス EBS の使い方
- 4) EBS 心肺キット取扱説明書

3. PCPS 安全管理マニュアル

3.1 PCPS 施行に際しての前準備確認

(チェックリスト1：準備)

1) 使用する装置の確認を行う。

①PCPS装置、IABP装置、除細動器などを使用する場所(救命センター、救急外来など)に、緊急使用に備え充電した状態で設置する。その他、自動心臓マッサージ器や、熱交換器付き人工肺を使用する際は冷温水装置を準備する*1。

②使用する装置は使用する部署にて保管することが望ましい。

③使用する部署以外にて保管する場合(例；手術室や血管造影室等)は装置の所在を分かるようにすること。また保管方法は上記に準じること。

2) 使用する器材の確認を行う。

①器材はPCPS装置、IABP装置と同じ場所、あるいは同じ部署内にて管理し、使用に備えることが望ましい。

②器材は各装置1台につき2セット以上在庫を保管することが望ましいが使用頻度を考慮する。

③定期的に滅菌期限を確認する。

④脳低体温療法を併用する場合は、冷却したブライミング液を使用することで、速やかな体温低下が得られるため、あらかじめ冷却しておくことが望ましい*2。

3) 使用する鉗子等の確認を行う。

鉗子・血管切開セット等は滅菌期限の管理が必要なため、使用する部署にて保管することが望ましい。

①誤接続防止などのため、カラー鉗子を使用することが望ましい(例；送血側：赤 脱血側：青)*3。

3.2. PCPS 開始に際しての確認

(チェックリスト2：開始時)

1) 組立・充填が操作マニュアル(2.4.組立, 2.5. 充填)に準じ行われたかを確認する。

2) 回路との接続が操作マニュアルに準じ行われたかを確認する。

3.3. PCPS 移動に際しての確認

(チェックリスト3：移動時)

1) 患者監視装置(心電図モニター、動脈圧、パルスオキシメーター等)の準備およびバッテリー残量を確認を行う。

2) 移動の際、エレベーターなど段差がある場合、転倒防止に努めスムーズな移動が出来るよう準備を行う*4。

3) 周辺環境に配慮し患者のプライバシーを厳守されていることの確認を行う。

4) バッテリー動作が可能であることを確認し、またバッテリー残量を確認を行う。

5) 医療ガス(酸素・ヘリウム)の残量を確認する。

6) ハンドクランクが備わっているか確認する。

7) 移動時には常に酸素の接続や回路の屈曲・過伸展等を確認する*5。

(注；体制として複数のスタッフにて移動を行うのが望ましい)

3.4. PCPS 管理に際しての確認

(チェックリスト4：管理時)

1) 入室後または帰室後、迅速に心電図モニター、人工呼吸器、IABP、PCPS装置等のAC電源や酸素、圧縮空気などを接続し、正常動作の確認と患者のバイタルを確認する。

2) 患者管理においては環境整備につとめ、必要なモニタリングを装着し動作の確認を行う。

①以下に列挙するモニタリング装置を用いて管理を行うことが望ましい。

患者管理と機器安全管理の両面から検討し管理を行う。

・ Thermo Dilution Catheter :肺動脈圧(PAP), 中心静脈圧(CVP), 肺動脈血液温。

・ EtCO₂ :人工呼吸器の設定と自己肺機能の

評価に用いる。

・ PCPS 中の目標血圧

IABP 挿入している場合；IABP のオーグメンテーション圧が 90mmHg 以上，平均血圧が 60mmHg 以上，この 2 つを満たしていること。IABP を挿入していない場合：平均血圧が 60mmHg 以上。

・ SpO₂；自己肺の酸素化の状態を確認するため，パルスオキシセンサーは右手に装着。

・ TEE：経食道心エコーまたは経胸壁心エコーによる心機能評価。

②以下に列挙する検査結果から管理を行う。

・ 血液ガス分析：

pH：正常範囲 7.35～7.45

極端なアシドーシスは避ける

：カテコラミン感受性低下 (ex. >7.25)

極端なアルカローシスは避ける

：溶血防止 (ex. <7.60)

PCO₂：正常範囲 35～45mmHg

過換気による呼吸性アルカローシスは，ヘモグロビン酸素乖離曲線の左方変異により，組織での酸素受給が低下し，嫌気性代謝となるため酸素を過送吹しない。

pH が許容できる範囲の PCO₂ 上昇は，あまり気にしない。(循環血液量が少ないときは，組織への酸素受給を考慮すると，アシデミアが良い場合もある。)

極度の代謝性アシドーシスの補正のため，過換気にすべきではない。

PO₂：全身血の目標値 150mmHg

通常であれば，正常値は 80～100 mmHg であるが，PCPS 下では低体温管理，循環血液量の変化，自己心の拍出量の変化などを考慮し，安全域で管理すべきである。

脳への酸素供給を確認するために，可能であれば右橈骨動脈からの採血にて確認する。

HCO₃⁻：正常範囲 20～24mEq/l

蘇生直後の場合，低値を示すが極端な代謝性アシドーシス (ex. pH<7.00) でなければ重炭酸ナトリウムによる補正の必要はない。

計算による 2 次測定値のため，この値のみで評価すべきではない。

Lactate 目標値 20mg/dL 以下 (正常値：4.5～14.4mg/dL)

蘇生直後は循環不全により高値となるが，循環再開により，徐々に低下する。

Lactate 値を下げることに固執することはないが，適正な循環血液量の目安となる。

循環血液量を増加させても低下しない場合，何らかの原因 (ex. 腸間膜動脈閉塞等) を考慮すべきである。

SVO₂：目標範囲 60～80%

40% 以下であれば，組織では嫌気性代謝となる。

対策として，設定流量増加，輸血などによる循環血液量の増加，送吹酸素濃度上昇，代謝抑制などを考慮すべきである。

・ 血算

ヘマトクリット(Hct)，ヘモグロビン(Hb)，赤血球(RBC)

<正常値>

ヘマトクリット(Hct)：38～45%

ヘモグロビン(Hb)：12～17g/dL

赤血球(RBC)：380～560 万 / μ L

ヘモグロビンは酸素と二酸化炭素のガス交換で重要な役割を行っている。また，細胞に酸素を供給し，血液の pH を維持している。PCPS 中の安全限界は Hct20%，Hb7g/dL と言われている。ただし，高齢者では Hct25%，Hb8g/dL 以上で管理を行う。

血小板(Plt)

<正常値>

血小板数(Plt)：13～40 万 / μ L

PCPS 中は異物との接触などで，低値になることがある。3 万 / μ L 以下では，血小板輸血を行う。現在の PCPS システムはヘパリンがコーティングされているため，PCPS 中の血小板数は 10 万 / μ L 程度で管理される。

白血球(WBC)

<正常値>

白血球(WBC): 3500 ~ 9800/ μ L

PCPS中に感染などが起こると、白血球数は減少する。これは好中球が減少するからである。

・血液生化学検査

Na(ナトリウム)

体外循環では血中Na値は一般に低下し、低Na血症では腎の浸透圧利尿作用は抑制される。

低Na血症 134mEq/ L 以下

高Na血症 151mEq/ L 以上

K (カリウム)

体外循環では血中K値は低下し、低カリウム血症になることがある。送血カニューレが逆行性循環のため腎血流量の増加に伴い尿量が増えるのも原因として挙げられる。また、低体温の状態ではカリウムの細胞内シフトが促進される。

正常域 3.5 ~ 5.0mEq/L 体外循環中は、血漿浸透圧、腎機能、酸塩基平衡などの影響を受ける。

Cl(クロール)

正常域 96 ~ 108mEq/L HCO₃濃度に影響されるので酸塩基平衡の指標にもなる。

Ca(カルシウム)

心筋の収縮および骨格筋の活動に関連する。希釈体外循環では低下することが知られている。

血漿総カルシウム 8.8 ~ 10.4mg/dL

BS(血糖値)

体外循環では高血糖、低インスリンの状態である。高血糖は不十分な末梢循環により細胞での糖の利用が妨げられる。それと、インスリン分泌能の低下は、臍組織血流の低下が起因している。

BUN(血液尿素窒素)

腸管出血により急激な上昇がみられることがあるので、腎臓の機能や障害の程度を正確に反映するものではない。正常域 10 ~ 15mg/dL

Cr(クレアチニン)

心不全、ショック、脱水などで、血清濃度が高くなる。

正常域 0.4 ~ 1.4mg/dL

AST(アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ)

心臓や肝臓、筋肉をはじめほとんどの組織や細胞に存在する。心停止後は肝酵素は著しく上昇することがある。

正常域 14 ~ 32 IU/L

ALT(アラニンアミノトランスフェラーゼ)

ALTは肝臓に多く含まれており、肝臓になんらかの異常があつて細胞が壊れると血中の酵素が上昇する。

正常域 9 ~ 45 IU/L

③その他の管理項目

- ・ACT: 150 ~ 180sec
- ・尿量及び色調: 循環評価, 溶血評価
溶血の原因: 過陰圧, 軸血栓など
- ・下肢虚血評価: 超音波ドップラー血流計を用いて血流を確認する。血流を確認できない場合は、直ちに下肢送血を検討する*7。
- ・カニューレ刺入部の確認: 出血有無の確認, 感染評価
- ・酸素ブレンダ: 人工肺に対する設定酸素濃度と酸素流量の確認*8
- ・人工肺の性能評価
人工肺の経時的変化の観察について、血液ガス分析やEtCO₂, SpO₂などのモニタリングから定期的に評価を行う。また、血栓の付着や送脱血ラインの色調変化等の確認を行う。
人工肺交換基準: plasma leakage, 酸素加能低下が確認された場合は交換する。
- ・遠心ポンプ: 遠心ポンプから発生する異音や発熱, 血栓の付着などを確認する。
- ・遠心ポンプ駆動装置: 動作状態を確認する。
- ・体温維持装置

3) 管理時におけるトラブルシューティング*9

3.5. PCPS 離脱に際しての確認

(チェックリスト 5：離脱時)

- 1) 各患者パラメーターの確認を行う。
- 2) on/offテストを行う場合、離脱マニュアル(2.11. 離脱)に沿って施行しているか確認する。
- 3) 人工呼吸器の設定を確認する。
- 4) 離脱マニュアルに沿い離脱後の確認を行う。

*注釈解説

*¹熱交換器付き人工肺を使用する際は、冷温水装置を準備する(図1)。



図1 実際の冷温水槽使用例

*²冷却したプライミング液を使用することで、速やかな体温低下が得られる。

体温管理のテクニックとして

- 1) 保冷庫には必ず冷却されたリンゲル液を常時準備しておく
- 2) 速やかな体温低下を得るために、病院到着直後から補液にも冷却されたリンゲル液などを使用する。



図2 色分けした鉗子



図3 台車(例)

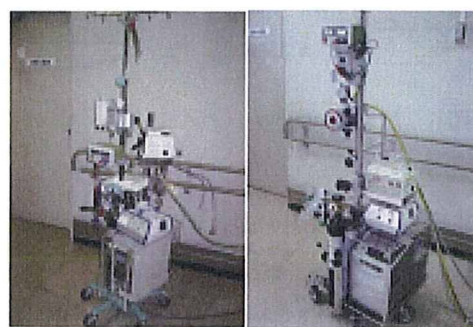


図4 装置セッティングの工夫

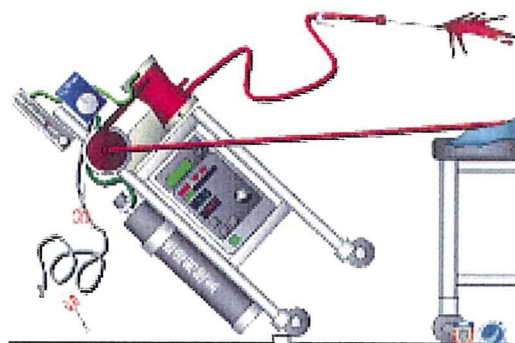


図5 移送や検査台のスライドによる装置転倒

*³鉗子は色による識別を考慮し、送血・脱血側を色分けして使用する(図2)。

*⁴装置の取り回しのよい架台(コンパクトで軽量)を選択することが望ましい(図3)。

*⁵各装置をポールクランプに接続し、テンションがかからない様に工夫する方法もある。(図4)また、回路の折れ曲がり防止のため補強を施す。移送や検査台のスライドによる装置の転倒を回避する(図5)。

*⁶高度体外循環用血液学的パラメータモニター(CDI)を動・静脈側に接続し血液ガスを持続的に測定することで採血回数を減らすことが可能である。

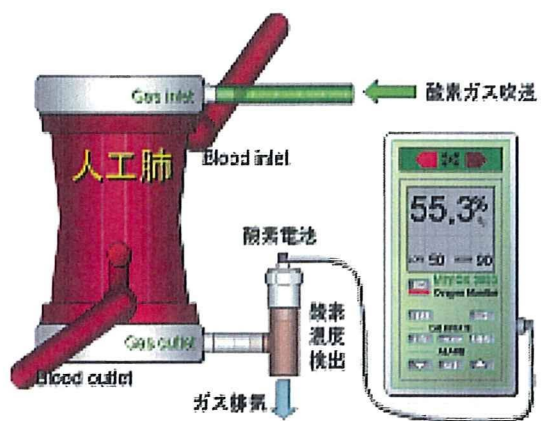


図6 酸素濃度計



図7 カプノメータ

- *7 下肢バイパス用の送血回路を準備する。
- *8 人工肺の結露 (Wet lung) の予防目的にガスフラッシュは定期的におこなう。(例 2時間毎 10L/2~3分) ただし、ガスフラッシュを長時間行くと、血中CO2分圧が低下するため危険である。必ず音の出るタイマーを使用する。
- *9 酸素濃度計やカプノメータなどにより安全に管理を行うことができる (図6, 7)。

3.6. トラブルシューティング

起こりえるトラブルに対する考えや確認方法について、次頁表にまとめた。

1. PCPS 開始時のトラブルシューティング

現象	考え方と確認すべき事項
<事例1> 血流量がほとんど出せない	
①血管を損傷している	カニューレシオンの確認をする
②回路を逆に接続している	回路接続の確認をする
<事例2> 目的の血流量が出せない	
①回路を逆に接続している	回路接続の確認をする
②循環血流量が不足している	補液・輸血を行う
<事例3> 循環動態が改善しない	
①V-VまたはA-Aバイパスになっている	回路接続の確認をする
<事例4> 脱血が赤い(送血と差がない)	
①V-VまたはA-Aバイパスになっている	回路接続の確認をする
<事例5> 送血回路の色が黒い	
①酸素が流れていない	酸素流量計の確認をする
<事例6> 脱血回路の色が黒い	
①血流量が不足している	血流量を増加させる
2. PCPS 施行中のトラブルシューティング	
<事例1> 脱血回路が震える	
①循環血流量が不足している	補液・輸血を行う 遠心ポンプの回転数を下げる
<事例2> 時々血流量が下がる	
①循環血流量が不足している	遠心ポンプの回転数を下げる 補液・輸血を行う
<事例3> 脱血回路の色が黒い	
①血流量が不足している	血流量を増加させる
②人工肺の性能が落ちている	酸素濃度を上げる 人工肺交換を検討する
<事例4> 送血回路の色が黒い	
①酸素濃度が低い	酸素濃度の確認
②人工肺の性能が落ちている	酸素濃度を上げる 人工肺交換を検討する
<事例5> 遠心ポンプが発熱, または異音がする	
①遠心ポンプの故障	遠心ポンプの交換
<事例6> 尿が溶血している	
①遠心ポンプの故障	遠心ポンプの交換
<事例7> 人工肺より泡がでる	
①人工肺の劣化	人工肺の交換
<事例8> SvO ₂ が低い	
①血流量が不足している	血流量を増加させる
②人工肺の性能が落ちている	酸素濃度を上げる 人工肺交換を検討する
<事例9> PaO ₂ が低い	
①酸素濃度が低い	酸素濃度の確認
②人工肺の性能が落ちている	酸素濃度を上げる 人工肺交換を検討する

4. PCPS 合併症

PCPS 施行時における合併症の発生頻度は 32～40% で、その内訳として、カニューレ挿入に関する穿刺部や後腹膜からの出血、血管損傷、下肢虚血など手技的合併症が 65～77%、次に脳・呼吸器・消化管出血が 16～25%、血栓塞栓が 7～13% と報告されている¹⁾。侵襲的な体外循環を用いるため、生体に発症する合併症と、機械的な合併症（異常）が多く認められる。

そこで本項では PCPS 施行による合併症を中心に評価方法と対策について述べる。

4.1. カニューレ刺入部位の出血

PCPS における最大の合併症として出血が挙げられるが、その出血の多くはカニューレ挿入に起因する。出血による体外への血液損失は「PCPS 血流量維持の破綻＝循環維持の破綻」に直結するため、安定した PCPS 管理を行う上でカニューレ刺入部位の出血の確認・対処は重要な事項となる。

院外心肺停止症例におけるカニューレ挿入部位は、大腿動・静脈からのアプローチが大半を占め、セルジンガー法により経皮的に挿入することが多い。出血の原因としては

- ①カニューレ挿入時に大腿動静脈近傍の小血管を裂いてしまった場合
- ②血管を探るためにベユーラ針等の試験穿刺針により何度も血管を抜き刺してしまった場合、
- ③患者移動時や不意な体動（カニューレ刺入側の下肢屈曲）等によりカニューレと血管の密着が緩んだ場合

などが挙げられる。出血に対しては輸液や輸血（濃厚赤血球・新鮮凍結血漿）を施行し、流量の安定化を図る。さらに大量な出血を認める場合は、原因を特定するため刺入部位の外科的処置をおこなうことが望ましく、出血をコントロールする上で最も確実な方法でもある。

また、PCPS 管理下では様々な要因による凝固線溶系異常、抗凝固療法による ACT の延長、脳低温療法等による易出血傾向をきたす。PCPS 開始時に

出血は認められなくても経過中に出血をきたす場合もあるため、カニューレ固定を確実におこない、体位変換や清拭などの際には、刺入部位の下肢屈曲に十分注意し慎重におこなうべきである。

刺入部位からの出血がコントロールできない場合には抗凝固療法を中止して、ACT の正常化も考慮する必要がある。

4.2. 下肢虚血

PCPS は経皮的に大腿動脈より送血カニューレを挿入するが、カニューレ径が太く、下肢虚血が生じるケースがある。下肢虚血の評価方法は色調の観察（図 1）、足背動脈・内顆動脈・膝窩動脈などの触知または超音波ドップラーによる聴取をおこなう必要がある。血流が認められないと判断した場合は、下肢血流バイパスをおこなうことが望ましい。

バイパスの方法として、

- ①順行性送血：カットダウンで大腿動脈にシースまたは留置針などを挿入し、PCPS 送血側の側管より耐圧チューブ等を用いて順行性に送血する（図 2）。
- ②逆行性送血：足背動脈へ留置針を挿入し、送血回路の側管より耐圧チューブ等を用いて逆行性に送血する（図 3）。

バイパス後、ドップラー等による血流確認を行う（定常流であるため音に注意）。

留意点として、流量を低下させた場合にバイパス回路への血流も低下し凝固が発生することがあ



図 1 下肢色調観察