

IAB を一定間隔で駆動させなければならず、INTERNAL 同期の主な使用目的は血栓形成防止である。また PCPS をはじめとした定常流による補助循環装置を使用する際に、拍動流を形成する目的で使用されることもある。

#### C.5.4.5. IABP の適応禁忌

下記疾患に関しては IABP の禁忌とされている。

- 1) 重篤な大動脈弁閉鎖不全
- 2) 腹部大動脈瘤または胸腹部大動脈瘤
- 3) 大動脈から腸骨動脈にかけて重篤な石灰化を伴う症例または末梢血管疾患

重篤な大動脈弁閉鎖不全に対しては、IAB 拡張時、心室への血液逆流量が増加し、仕事量の軽減は期待できず、むしろ悪化させる要因となる。

腹部大動脈瘤または胸腹部大動脈瘤に対しては大動脈瘤破裂の危険性を増大させる。また壁在血栓を剥離させて血栓塞栓を招く危険がある。

大動脈から腸骨動脈にかけて重篤な石灰化を伴う症例または末梢血管疾患においては、末梢循環不全の危険が高くなる。また石灰化によりカテーテル損傷の可能性がある。

#### C.5.4.6. IAB の合併症

- 1) 感染
- 2) 血管損傷（主に挿入時）
- 3) 血小板減少

IAB による物理的要因で血小板数の減少を伴うことがある。5 万個/mm<sup>3</sup> 以下になるようであれば全身性の出血傾向に注意し、血小板輸血を考慮する。ヘパリン投与時は HIT（ヘパリン起因性血小板減少症）との鑑別が必要である。

- 4) 血栓症

IAB 単独使用下での通常抗凝固療法はヘパリンを投与し、ACT150 秒を目標にコントロールすることが多い。

- 5) 挿入部の出血
- 6) 下肢の虚血
- 7) IAB ガスリーク  
などがあげられる。

#### C.5.4.7. IAB の異常

カテーテルキンク（折れ曲がり）や大きなヘリウムガスリークは、IAB 内圧が特徴的な波形を示す（図 7）。カテーテルがキンクした状態ではアップシュート・ダウンシュートが無くなり、ショルダー部がなだらかな波形となり、鈍ったような波形となる。IAB のピンホールリークなどでヘリウムガスが漏れ出す状況ではベースラインに戻らない波形となる。

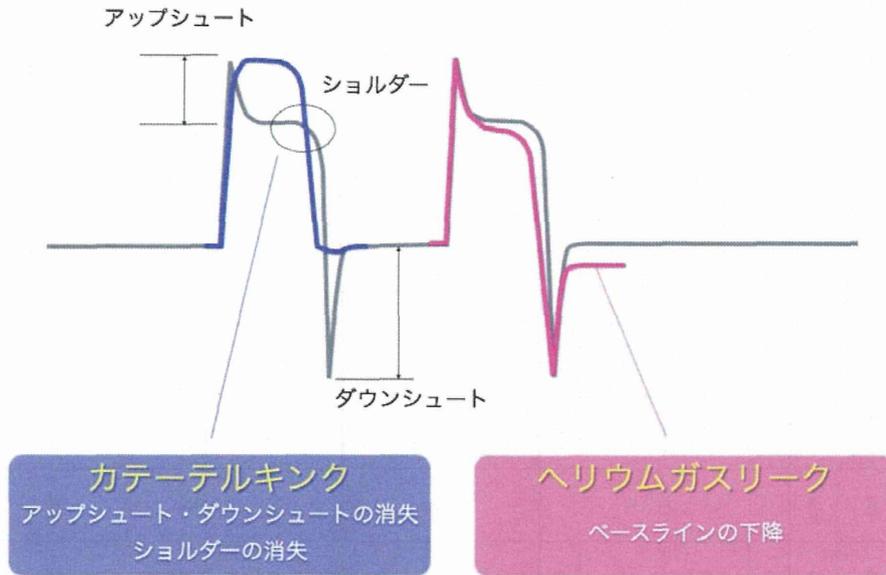


図 7 駆動圧波形

### C.5.5. まとめ

PCPS に対する IABP の意義と IABP の原理に関して概説した。経皮的操作で素早く血行動態の補助を行い得ることに関して共通し、それぞれは実用的な治療補助手段である。双方が使用される治療は救急の現場においては最強の補助循環であり、それぞれの特性を理解し、最善の補助効果を発揮させることが必要である。

### 参考文献

- 1) 岡田昌義, 安田慶秀: 大動脈バルーン・パンピング(IABP), 21 世紀への人工臓器, 先端医療技術研究所, 1998.
- 2) Sauren LD, Reesink KD, Selder JL, Beghi C, van der Veen FH, Maessen JG.: The acute effect of intra-aortic balloon counterpulsation during extracorporeal life support : an experimental study. *Artif Organs* 31(1) : 31-38, 2007.
- 3) Lazar HL, Treanor P, Yang XM, Rivers S, Bernard S, Shemin RJ: Enhanced recovery of ischemic myocardium by combining percutaneous bypass with intraaortic balloon pump support. *The Annals of Thoracic Surgery*, Vol 57, 663-667: 1994
- 4) 山崎隆文. ICU における IABP 留置時の患者管理 - IABP 駆動タイミング. *CIRCULATION Up-to-Date* 3(2): 80-89, 2008
- 5) 坂本徹. 大動脈 IAB (IAB) の収縮時相の変化による IABP 効果増大とその理論. *循環器科*, 41: 207-208, 1997
- 6) Sakamoto T. Effects of timing on ventriculoarterial coupling and mechanical efficiency during intra-aortic balloon pumping. *ASAIO J*, 41: M580-M583, 1995
- 7) 荒井裕国. 大動脈内 IAB パンピング IABP テクノロジーの進歩と今後の展望. *体外循環技術* 31(2), 2004, 121-132.

メーカー名	品名	適応身長(推奨) (cm)	バルーン				カテーテル				シース		ガイドワイヤー				ダイレクター (Fr)	保険償還						
			容量 (cc)	長さ (mm)	外径 (mm)	材質	外径 (Fr)	長さ (mm)	材質	内径 (Fr)	長さ (mm)	直径 (inch)		長さ (mm)										
												バルーン用	シース用	バルーン用	シース用									
MAQUET	YAMATO	140~155	30	178	16.0	ポリウレタン	7.5	672	高分子ポリマー	7.5	155	0.025	0.035	1450	550	7.5	一般用末梢循環温存型							
		155~165	35	203				698																
		165~180	40	229				723																
	TRANS-RAY	152~162	34	221	15.0	7.0	723	7.0	155	0.018	0.035	1450	550	7.0	一般用センサー内蔵型									
162~		40	258																					
ゼオンメディカル	ゼメックスIABPバルーン プラス 6Frタイプ	155~	30	245	12.7	高強度・抗血栓性 ポリウレタン	6.0	777	ナイロン (抗血栓性ポリウレタンコー ティング)	6.0	175	0.014	0.035	1800	800	6.0	一般用末梢循環温存型							
		~150	25	180	14.1			7.0										651						
		150~165	30	210														681						
	ゼメックスIABPバルーン プラス 7Frタイプ	165~	35	243	14.1		7.0	714																
		~155	30	210				15.1		8.0	695													
		155~165	35	214							700													
	ゼメックスIABPバルーン プラス 8Frタイプ	165~	40	243	15.1		8.0	725																
		155~165	35	214				700																
ゼメックスIABPバルーン プラス 8Frショートタイプ	145~	35	162	17.1	8.0	682																		
	145~	35	162	17.1		682																		
泉工医科工業	A2	140~155	28	200	14.5	ポリウレタン (シリコン コーティング)	7.0	690	ポリウレタン (セントラルチューブは PEEK材)	7.0	110	0.025	0.035	1450	450	7.0	一般用標準型							
		155~	36	250													一般用センサー内蔵型							
	センサーバルーンP2	140~155	28	200	14.5		7.0	690		7.0		110	0.021		0.035	1450	450	7.0	一般用センサー内蔵型					
		155~	36	250															一般用センサー内蔵型					
	センサーバルーンP2	145~155	30	195	15.0		8.0	690		8.0		110	0.021		0.035	1450	450	8.0	一般用センサー内蔵型					
		155~165	35	225															一般用センサー内蔵型					
165~	40	245	15.0	690	8.0	110	0.021	0.035	1450	450	8.0	一般用センサー内蔵型												
テレフレックスメディカル ジャパン	Fiber Optix 8 (販売休止中)	147~162	30	230	13.9	Cardiothane II	8.0	643	シリコン化ポリウレタン / ステンレススチール	8.0	150	0.025	0.025	1750	8.0	8.0	一般用センサー内蔵型							
		162~182	40	260				693																
	Ultra Flex	147~162	30	230	13.9		7.5	643		ステンレススチール (ポリウレタンコーティング)							8.0	150	0.025	0.025	1750	8.0	8.0	一般用末梢循環温存型
		162~	40	260				693																
TOKAI MEDICAL PRODUCTS	TOKAI 7Fr-Long	155~	M (35)	225	14.5	ポリウレタン	7.0	850	ポリウレタン	7.0	70	0.021	0.025	2400	450	7.0	一般用標準型							
	TOKAI 7Fr-Clear	~145	SS (20)	170	13.5												7.0	700						
		~145	S (25)	180																				
		145~155	MS (30)	195																				
		155~165	M (35)	225																				
	TOKAI 7Fr-TAU	165~	L (40)	255	14.5		7.0	700																
		男性	30	180						16.0	7.0	675												
		女性											140~160											
		男性	150~165	35						205	16.5	7.0	700											
	女性	160~																						
男性	165~	40	220	16.5	7.0	715																		
女性	165~																							
TOKAI 8Fr	140~160	MS (30)	185	15.5	8.0	700																		
	140~160	M (35)	195																					
	160~	L (40)	225																					

	MAQUET		ゼオンメディカル	泉工医科工業株式会社	テレフレックスメディカルジャパン	テレフレックスメディカルジャパン
	CS300	CARDIOSAVE	ゼメックスIABPコンソール 908	corart BP21-T	AutoCAT2WAVE	AutoCAT2
販売会社	MAQUET	MAQUET	ゼオンメディカル	泉工医科工業株式会社	テレフレックスメディカルジャパン フクダ電子株式会社	テレフレックスメディカルジャパン フクダ電子株式会社
所要電源	AC100V±10%、50/60Hz±3Hz	AC100~240V±10%(自動レンジ切替) 50/60Hz±3Hz	AC100V 50/60Hz	AC100V 50/60Hz	AC100V 50/60Hz	AC100V 50/60Hz
定格電流 or 消費電流	180VA(公称値)、400VA(最大)	180VA(公称値)、420VA(最大)	190VA(標準時) / 250VA(最大)	最大3A (300VA)	平均245W(最大480W)	平均245W(最大480W)
バッテリー駆動	約2時間	約3時間	内部:60分/パック:30分	内部:60分/外部:60分	内蔵:約1.5時間 (オプションバッテリー使用時3時間)	内蔵:約1.5時間 (オプションバッテリー使用時3時間)
駆動方式	コンプレッサー	スクロールコンプレッサー	ダイヤフラムディスク方式	コンプレッサー	ステッピングモーターによる ペロウズ駆動方式	ステッピングモーターによる ペロウズ駆動方式
使用ガスポンペ	ヘリウム(再充填可)	ヘリウム(再充填可)	ヘリウムガスカートリッジ (再充填不可)	ヘリウム(再充填可)	高純度ヘリウムガス(再充填可)	高純度ヘリウムガス(再充填可)
外寸(cm) 重量(kg)	高さ:109×幅42.7×奥行56.6 重量:本体 84.2kg 搬送用モード 61.5kg	高さ:111.8×幅68.6×奥行55.9 重量:本体 51.8kg 搬送用モード 24.1kg	高さ106×幅35×奥行62.5 重量:本体35kg、カート12kg	高さ84×幅34×奥行61 重量:本体35kg、カート4.5kg 外部バッテリー6kg	駆動部本体:高さ71×幅30.5×奥行51 重量:44.7kg モニター:高さ23.5×幅35×奥行5	駆動部本体:高さ71×幅30.5×奥行51 重量:44.0kg モニター:高さ23.5×幅35×奥行5
操作モード	フルオート/オート/マニュアル	フルオート/オート	マニュアル	センサーオート・EGG・血圧・インターナル	オートパイロットモード(自動) オペレーターモード(手動)	オートパイロットモード(自動) オペレーターモード(手動)
トリガーモード	ECG(パターン・R波) 動脈圧(トランスデューサー/光センサー) A-Vベージング Aベージング Vベージング インターナル(40~120/5bpm間隔)	ECG(パターン・R波) 動脈圧(トランスデューサー/光センサー) A-Vベージング Aベージング Vベージング インターナル(40~120/5bpm間隔)	心電図(QRS・R波) 動脈圧 Vベージング A-Vベージング ベージングバルス除去 インターナル(40~150/5bpm間隔)	ECG(パターン・ピーク・Vベース) 動脈圧 インターナル(60、90、120)	ECG(パターン・ピーク・af) 動脈圧 Aベージング Vベージング インターナル(40~120/5bpm間隔)	ECG(パターン・ピーク・af) 動脈圧 Aベージング Vベージング インターナル(40~120/5bpm間隔)
駆動容量設定	自動	自動	手動	自動	自動	自動
ウィニング機能 (アシスト比)	1:1、1:2、1:3	1:1、1:2、1:3	1:1、2:3、1:2、1:3、1:4、1:8	1:1、1:2、1:3、1:4	1:1、1:2、1:4、1:8	1:1、1:2、1:4、1:8
ウィニング機能 (ボリューム)	マニュアル	マニュアル	マニュアル	オート(センサーオート時に限り、設定時間をかけてバルーンボリュームを自動で減少)	マニュアル	マニュアル
記録	内蔵 アラーム時プリントあり	内蔵 アラーム時プリントあり	内蔵 アラーム時プリントあり	内蔵 アラーム時プリントあり	内蔵 アラーム時プリントあり	内蔵 アラーム時プリントあり
モニター	TFTカラー液晶 (10.4インチ)	カラー液晶ディスプレイ(LCD) (12.1インチ)	TFTカラー液晶 (10.4インチ)	TFTカラー液晶 (10.4インチ)	カラーLCD (10.4インチ)	カラーLCD (10.4インチ)
備考	ヘルプスクリーン トリガーバックアップ機能 ディスプレイ分割可 自動R波収縮機能 小児対応 光センサーIAB対応 ドップラー血流計(標準付属品)	ヘルプスクリーン トリガーバックアップ機能 ディスプレイ分割可 自動R波収縮機能 血圧情報出力機能 光センサーIAB対応 ドップラー血流計(標準付属品)	ディスプレイタッチパネル 小型(95mL)使い捨てHeガスカートリッジ 2MB SRAMメモリーカード使用可 カート分割可能 外部バッテリー交換可能	ヘルプスクリーン 小児モード トリガーバックアップ機能 内部+外部バッテリー搭載 センサーカテテル対応(半導体)	自動最適信号選択(ECG/AP相互監視) 自動トリガー選択 自動駆動タイミング調整 ディスプレイ分割可 光センサーIAB対応 リアルタイム・アルゴリズム (WAVE)タイミング・ソフトウェア)	自動最適信号選択(ECG/AP相互監視) 自動トリガー選択 自動駆動タイミング調整 ディスプレイ分割可 光センサーIAB非対応
オプション	システムトレーナー	システムトレーナー 充電装置 ポータブル電源 ヘリウム充填装置 搬送用マウンティングプレート		外部バッテリー IABP操作トレーニングキット	IABシミュレーター IAB用信号シミュレーター ローレベルAPケーブル	IABシミュレーター IAB用信号シミュレーター ローレベルAPケーブル

## C.6.ECPR 安全マニュアル

### C.6.1. 準備

#### 1) ECPR に使用する機器

- ① ECPR に使用する機器（PCPS 装置、IABP 装置、除細動器、体温維持装置、冷温水装置（熱交換器付人工肺使用時）、自動心臓マッサージ器など）は、使用する部署にて保管することが望ましい\*1。
- ② バッテリー駆動が可能な機器は、必ず充電された状態で保管する。

-注意-

メーカーによっては電源プラグを差し込んだ状態で充電できる装置と、電源をONにしないと充電できない装置があるので確認をする。

- 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、装置の所在を明確にすること。また保管場所は可能な限り使用部署近くに確保し、保管方法は上記に準じる。
- ④ ECPR に使用する機器類は、適切な保守点検を実施する。
- ⑤ PCPS 装置には、突然の停電時やバッテリーの劣化、ポンプの故障等に備え、ハンドクランクシステムを備えなければならない。
- ⑥ 移動時等に使用する、酸素ポンベの残量早見表を備えることが望ましい。（参考資料参照）
- ⑦ トラブル時の対処を記した表を装置に備えること。

#### 2) ECPR に使用する材料

- ① ECPR に使用する材料（PCPS、IABP

等）は、装置と同じ場所、あるいは同じ部署内にて管理することが望ましい。

- ② ECPR に使用する材料（PCPS 回路、脱血・送血カニューレ等）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、使用頻度を考慮し、適切な在庫管理を行うこと。
- ③ ECPR に使用する材料は、定期的に使用期限を確認すること。



図1 ECPRに使用する機器・材料の保管

#### 3) 使用物品

- ① 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・管理することが望ましい。
- ② 誤接続などを防止するため、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）。



図2 カラー鉗子

#### 4) 組立・充填

- ①組立・充填は、操作マニュアルに準じておこなうこと。

### C.6.2. 開始時

- 1) 組立・充填が、操作マニュアルに準じて確実に行われたことを確認すること。
- 2) ECPRに必要なモニター機器は、確実に装着すること。
- 3) 回路とカニューレとの接続は、操作マニュアルに準じて行うこと。
- 4) PCPS開始時の各種操作・調整は、操作マニュアルならびに管理マニュアルに準じて行うこと。
- 5) 電源の入れ忘れ、ガスの吹送忘れに注意。
- 6) 循環血液量補充目的によるPCPS回路からの輸液・輸血の投与は、空気混入に十分な注意が必要である。また中心静脈ライン(CV)からの輸液・輸血であっても、空気混入には十分注意を払って行われなければならない。

#### 【解説】

循環血液量が不十分であると、PCPSは脱血不良を生じて適切な補助が行えない。そのため、循環血液量補充目的で輸液や輸血が行われることがある。ECPR開始時には、PCPS回路以外の輸液ルートが確保されていないこともあるため、PCPS回路からの輸液・輸血投与を考慮せざるを得ないことがある。

PCPS回路の遠心ポンプから送血カニューレ側(送血回路)は極めて高い

300mmHg以上の陽圧環境であるため輸液ルートとしては使用できない。一方、脱血カニューレから遠心ポンプまでの間(脱血回路)は陰圧環境であるため、輸液類の投与が可能ではあるが、脱血回路の陰圧は極めて強く、一般的に気泡除去フィルターが無いPCPS回路は、誤って空気が混入されれば、直ちに患者体内へ空気が送られ、空気塞栓を起こす可能性が高く非常に危険である。

したがって、PCPS回路以外に投与ルートがあるならば、PCPS回路からの輸液・輸血の投与は極力避けるべきであろう。

また中心静脈ライン(CVC)や肺動脈カテーテル(PAC)からの輸液・輸血であっても、脱血カテーテル付近は高度な陰圧であるため、投与ポートが脱血カテーテルに近い場合には、空気混入のおそれがある。したがって、これらへの接続時や、エアークリップを使用する製剤、三方活栓の取り扱いは、十分な注意を払って行われなければならない。

- 7) トラブル対処は、トラブルシューティング表を参照(C.6.7. トラブルシューティング)。

### C.6.3. 搬送

- 1) 搬送時に使用する機器は、必要最小限とすること。
- 2) 搬送時に使用する機器のバッテリー動作とバッテリー残量の確認を、搬送前に必ず実施すること。
- 3) 移動時に使用する医療ガス(酸素・へ

リウム)の残量を確認すること。

- 4) 患者搬送は安全かつ円滑に行われなければならない。そのため、PCPSの架台は、軽量・コンパクト、スムーズな動作、転倒しづらい構造であることが求められる。



図3 PCPS装置架台の工夫

- 5) PCPS装置には、万一のバッテリー停止の事態に備え、ハンドクランクシステムが備わっていることを必ず確認すること。
- 6) 各種装置の回路やケーブル類が、絡まったり屈曲したりしないよう、事前にこれらの整理を確実に行うこと。
- 7) 患者搬送は、必ず複数のスタッフで行うこと。また必要と考えられる人員の確保に努めること。
- 8) 移動経路や段差等の確認、万一の事態への各人の対応について、あらかじめ搬送に携わる全スタッフにて協議・確認すること。
- 9) 速やかで安全な搬送のために、移動経路の安全確保はあらかじめ確認しておくことが望ましい(可能ならば、そのための人員を確保すること)。
- 10) 周辺環境に配慮し、患者プライバシーの厳守を徹底すること。
- 11) 患者搬送中は、回路・ケーブル類の屈

曲・過伸展・外れが起こらないよう常に確認し、また機器の転倒防止に努めること。

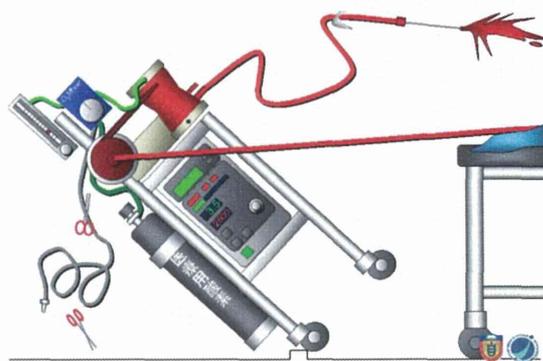


図4 搬送中の転倒予防

- 12) 患者搬送中、PCPS装置が正しく駆動していること、ガスがきちんと吹送されていることを常に確認すること。
- 13) 搬送に関わるスタッフは、互いの動きに注意を払い、声掛け等によって、搬送が安全かつ円滑に行われるように努めること。
- 14) ICU入室後、速やかに各種モニター類や人工呼吸器は搬送用からICU用へ、PCPS、IABP装置等の電源はAC電源へ、PCPSの医療ガスは、酸素ボンベから、酸素・圧縮空気の中央配管へと確実に接続し、各医療機器の動作および患者のバイタルサインの変化を確認する。

#### C.6.4. 管理・維持

- 1) 管理・維持期における各種操作・調整は、操作マニュアルに準じて行うこと。(参照：C.4.PCPS操作マニュアル)

- 2) 電源とガス供給が確実に行われていることを、定期的に確認すること。
- 3) 合併症の予防に努めること。
- 4) 下肢虚血の有無の評価を常に行うこと。超音波ドップラー血流計を用いて下肢の血流を確認する。血流が確認できない場合、下肢送血を考慮する。(参照:C.7.2.合併症マニュアル 下肢虚血)
- 5) 循環血液量補充目的による輸液・輸血の PCPS 回路からの投与は、その他の輸液ルートが確保できない場合を除き、原則的には避けるべきである。また CVC や PAC からの輸液・輸血であっても、空気混入に対して十分な注意を払って行われなければならない。

#### 【解説】

原則禁忌とする主な理由は前述の「C.6.2.6) 【解説】」に記載されたとおりであるが、とくに施行中においては、別途輸液ルートが確保されている可能性が高く、原則的にはそちらを使用することが望ましい。

また長時間使用していない側枝には血栓が形成されている可能性が高く、血栓を遠心ポンプ、人工肺、患者体内へ送る可能性もあるため十分に注意すること。

- 6) 血液浄化療法の併用は十分な注意を払って行うこと。また血液浄化療法は、PCPS に対する十分な知識と技術を持った者によって行われなければならない。

#### 【解説】

PCPS 施行中に血液浄化を行う場合、

バスキュラーアクセスにはいくつかの選択肢がある。別途アクセスを確保する場合と、PCPS 回路を利用する、または両者を併用するというパターンとなる。

PCPS 回路に血液浄化回路を接続する場合、両者は互いに干渉し合うため、どちらか一方にトラブルが生じると、もう一方にもなんらかの影響が生じ、最悪は装置の停止という事態に陥る。とくに血液浄化回路から PCPS 回路への空気混入や PCPS 装置が停止に至る状況は回避しなければならないため、原則的には別途バスキュラーアクセスを確保すべきである。

PCPS 回路を利用する場合、PCPS と血液浄化について（両者の相互作用について）の十分な知識を持った者が常に対応できる状況で行われなければならない。

- 7) トラブルの対処は、トラブルシューティング表を参照すること (C.6.7.トラブルシューティング)。

注1 各種モニタリングパラメータの目標値、送血流量調整などについては、「管理マニュアル（仮称）」として独立させ、その内容は次年度以降の検討項目とする。

### C.6.5. 回路交換

- 1) 遠心ポンプ、人工肺のいずれか、または両者に治療の継続が困難と判断される機能障害が認められた場合、回路交換（ポンプ・人工肺交換を含む）を考慮する。

- 2) 上記 1) の事態となったとき、PCPS からの離脱、治療の中止を含め、回路交換の必要性を十分に検討する。
- 3) 回路交換を行うことが決定したならば、必要人員の確保、各スタッフの配置と役割、必要物品の確保、手順、非常事態への対処、について、チーム内で十分な協議・確認を行うこと。
- 4) 回路交換手順は、操作マニュアルにしたがって行うこと。(参照：C4.11.操作マニュアル 回路交換)

### C.6.6. 離脱ならびに治療の終了

- 1) 離脱手順は、操作マニュアルにしたがって行うこと。(参照：C4.10.操作マニュアル 離脱)
- 2) ON/OFF テストを行う際、操作マニュアルを参照に自施設のマニュアルにしたがって行うこと。(参照：C4.10.⑤操作マニュアル 離脱)
- 3) 治療の終了に際し、必要人員ならびに物品の確保、各スタッフの配置と役割、手順、非常事態への対処について、チーム内で十分な協議・確認を行うこと。
- 4) 離脱・終了は、各モニタリングパラメータ等に十分な注意を払ったうえで行うこと。

### C.6.7.トラブルシューティング

#### 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
<b>&lt;事例 1&gt; 血流量がほとんど出せない</b>	
① 血管を損傷している	カニューレシヨンの確認をする
② 回路を逆に接続している	回路接続の確認をする
③ 回路の閉塞	回路の閉塞有無確認
④ フローセンサーの不適切な使用	フローセンサーの接続及びゼリーの塗布確認 フローセンサーの交換
<b>&lt;事例 2&gt; 目的の血流量が出せない</b>	
① 回路を逆に接続している	回路接続の確認をする
② 循環血液量が不足している	補液・輸血を行う
③ 血管抵抗の増加	送血抵抗・回路キックの確認、血圧の確認
<b>&lt;事例 3&gt; 循環動態が改善しない</b>	
① V-V または A-A バイパスになっている	回路の色調を確認、レントゲンでカニューレ位置確認

<事例4> 脱血が赤い（送血と差がない）	
① V-V または A-A バイパスになっている	血液ガスの評価、レントゲンでカニューレ位置確認
<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
② 酸素チューブのはずれ	酸素チューブの接続確認
<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
<b>2. PCPS 施行中のトラブルシューティング</b>	
<事例1> 脱血回路が震える	
① 循環血液量が不足している	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 循環血液量が不足している	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
③ 酸素消費量の増大	静脈血酸素飽和度確認、シバリングなど酸素消費量増加の原因検索
<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
③ 酸素ラインの外れ	酸素ラインの接続確認
<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
② 遠心ポンプの軸に血栓形成	
<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
② 遠心ポンプの軸に血栓形成	
③ 回転数過多	適正回転数に変更
<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> SvO2 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> PaO2 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

参考資料

内容積3.4Lの場合（ガス容量：500Lの場合）



※ 使用時間が残り 30分 (赤色の欄) になったら酸素ポンベを交換してください。

酸素残量早見表 (小池メディカル)

<http://www.koike-medical.co.jp/checkpoint2.pdf>

## C.7. 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<sup>1)</sup>。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。

### C.7.1. カニューレ刺入部位の出血

PCPS における合併症のひとつとして出血が挙げられるが<sup>2)</sup>、その出血の多くはカニューレ刺入に起因する。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）を投与し、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血小板機能低下等、出血傾向をきたす<sup>3)</sup>。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。

### C.7.2. 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ことが必要である。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<sup>4)</sup>。

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おこなう（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るため皮膚の色調変化やドップラー

による経時的な下肢観察が必要である。またモニタリングに NIRS（Near Intra-Red Spectroscopy）を用いて下肢血流評価を行ったとの報告もある<sup>5)</sup>。連続的な観察が可能である。



図1 下肢色調観察



図3 足背動脈からの逆行性送血



図2 大腿動脈からの順行性送血

### C.7.3. 尿異常（量および色調について）

#### 1) 尿量について

合併症とは異なるが、尿量は PCPS 施行中の患者病態や管理の重要な指標となる。一般的に補助流量の指標や腎機能の評価に用いるため、経時的な観察を必要とする。尿の異常には大別して、2つのパターンが存在する。

- ① 尿崩症による尿量の増加：尿量が過剰となり、循環血液量が減少し、PCPSの流量が不安定となる。体液量評価を

おこない、輸液で補正することが望ましい。

- ② 急性腎傷害（AKI）などによる尿量の減少：原因として心肺停止による急性腎傷害の発症<sup>6)</sup>や腎血流量不足が考えられる。PCPSの流量を増加させるか、利尿薬の投与・血液浄化療法の施行などを検討する。

#### 2) 尿の色調（溶血）について

PCPS 施行中は、尿量観察と同時に色調（溶血の有無）を観察することも重要である。



図 4



図 5



図 6

溶血は赤血球の細胞膜破壊によって起きる現象であり、物理的、化学的、生物学的などさまざまな要因によって発生する。PCPS 施行中は体外循環による圧力や遠心力、その他各種の機械的なストレスが原因として挙げられる<sup>7)</sup>。血球破壊により生じた遊離ヘモグロビンは尿細管で再吸収され、尿細管上皮細胞でグロビンとヘム鉄に分解され、ヘム鉄が蓄積されると尿細管上皮細胞が障害を受け機能障害が出現する。临床上は、尿の赤色化（ヘモグロビン尿）や血漿成分の赤色化が認められる。溶血を認めた際には、ハプトグロビンを投与し速やかに改善を図る<sup>8)</sup>。

具体例を提示する。

高回転数（2950rpm）にて PCPS を開始し、開始 1 時間後に溶血を認めたためハプトグロビンを 4000 単位投与した（図 4）。

投与から 1 時間後の尿色調は正常化した（図 5）。

その後、回転数 2643rpm で維持したが、6 時間後も溶血は認められなかった（図 6）。

#### C.7.4. 人工肺に起因する合併症（異常）

人工肺に生じる合併症（異常）には、ウェットラング・血漿リークによるガス交換異常や血栓形成が挙げられる。临床上、血液ガス分析、 $SpO_2$  などの異常を認めた場合、人工肺の異常を疑い、患者の状態を判断し交換を考慮する必要がある。

##### 1) ウェットラング

人工肺ファイバー内に結露が生じる現象によりガス交換能が低下する。予防対策として、定期的なフラッシュ（ガス流量 10L/min）や送気ガスの加温（図 7）がある<sup>9)</sup>。

##### 2) 血漿リーク（プラズマリーク）

人工肺の材料である多孔質膜のポアの表面張力が破綻し、血漿成分が漏出してくる現象である。予防対策として、リークを起こしにくいシリコンコーティング膜や SS(Surface Skin)膜・特殊ポリオレフィン膜・非対称膜などの長期型人工肺の選択をおこなう<sup>10)</sup>。

##### 3) 血栓形成

長期使用により血栓を形成し（図 8・9）、結果的に動脈内血栓塞栓をきたす危険性がある。そのため適切な抗凝固療法をおこなう必要があり、定期的な ACT 測定および肉眼的観察を必要とする。



図 7 送気ガスの加温例



図 8 人工肺の血栓形成例

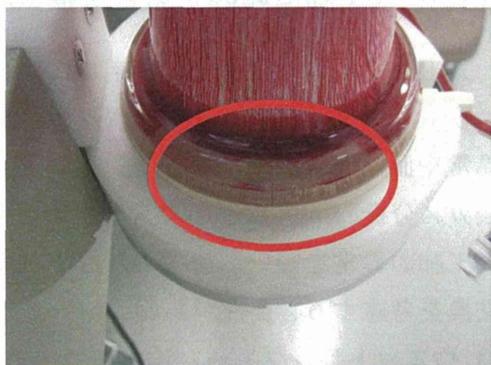


図 9 白色血栓形成



図 10 軸部の血栓

### C.7.5. 遠心ポンプに起因する合併症

遠心ポンプに起因する合併症には下記の項目が挙げられる。遠心ポンプは PCPS 装置の心臓部であるため異常をきたした場合、早急な対処が必要となる。

#### 1) 軸受けベアリング磨耗および軸部への血栓形成

遠心ポンプ駆動部とポンプヘッドの装着が確実におこなわれていない場合（斜めに装着されているなど）、異音が発生し、軸受けベアリングの磨耗が早期に起こる。軸受け、ベアリングの磨耗、もしくは軸部への血栓形成（図 9）による異常音が生じた場合、遠心ポンプヘッドの交換となるが、遠心ポンプヘッドのみの交換は困難であるため、PCPS 回路全ての交換となる。予防策

としては、駆動部と遠心ポンプヘッドの装着を確実におこない、異常音や振動などを観察する。

#### 2) 流量特性による流量変動

遠心ポンプは、たとえ回転数が一定に保たれていても、前負荷や後負荷の変動に伴い流量も変動する特性をもつため、経時的に回転数と流量を確認する必要がある。

流量低下には送血抵抗の増加によるものと脱血不良による 2つの原因が挙げられる。

回転数は変化していないにもかかわらず、流量が低下した場合、

- ① 回路・カニューレなどの屈曲を確認する。
- ② CVP や PAP など前負荷の低下や脱血回路の振動が認められた場合、輸液による循環血液量の増加を図る。

などの対処をおこなう。

- \* 留意点として、脱血不良による流量低下時に、突然回転数を上げることでキャビテーションを起こす可能性がある。さらに、流量低下が遷延することで低血圧や組織低還流による組織障害を惹起するため、低流量アラームを確実に設定し、原因を検索し早急かつ慎重に対処をおこなうべきである。

### 3) 逆流

遠心ポンプには逆流防止機能が搭載されておらず、ポンプ回転数を低下（1000rpm以下）させた場合、送血側より逆流する可能性もある<sup>11)</sup>。そのため流量センサーを設置すること、およびポンプを停止時、送・脱血回路に鉗子をかけることを厳守する。

### 4) 装置の安全確認・不具合・故障

遠心ポンプの駆動装置に関しては電源の確認、回転数をコントロールするつまみの固定、各アラームは設定されているかを確認する必要がある。駆動装置が故障し、遠心ポンプが停止した場合には、送血回路をクランプし逆流を防止する。速やかに人員を確保し、ハンドクランクを用い回転させた後、送血側クランプを解除し、補助を再開する。

## C.7.6.酸素ブレンダに起因する合併症

酸素ブレンダは人工肺へ酸素を供給するための医療機器である。合併症としては人工肺の酸素化に関連する事例が多いが、ここでは機器の不良・操作ミスに関連した合併症を述べるに留まりたい。

酸素ブレンダ自体は電気を必要とせず、機械工学的構成で設計されているため、機

器自体が故障し合併症に繋がることは稀有であるが、操作方法や使用方法によっては重大な合併症を引き起こす可能性がある。下記に代表的な酸素ブレンダ関連の合併症を挙げる。

#### ① 酸素送吹忘れ

酸素ブレンダの流量調節つまみをゼロにしたまま PCPS を開始してしまうなどが挙げられる。PCPS は緊急性が高く、導入時・移動時に起こりがちな操作ミスであり、合併症として低酸素血症を招く。

#### ② 酸素ボンベからの切替忘れ

検査等の移動後、酸素ブレンダからの酸素供給に切替えるのを忘れ、酸素ボンベが空になり、合併症として低酸素血症を招く。

#### ③ 酸素濃度の低設定

人工肺の場合、送吹酸素濃度を 30% 以下とすると、十分な酸素付加が出来ない。

#### ④ 酸素チューブの脱落

酸素ブレンダに接続された酸素チューブが外れ、人工肺への酸素供給が停止し、合併症として低酸素血症を招く。

なお、酸素ブレンダはそれ自体にアラーム機構が無く、目視にて PCPS 回路動脈側の酸素化血の色調変化に気付く以外、何れの場合も低酸素血症を引き起こし、SpO<sub>2</sub> が低下し、はじめて発見に至るケースが多い。そのため、人工肺への酸素供給ラインに酸素濃度計を設ける方法もあり、有用な手段の一つである。

## 参考文献

- 1) 中谷武嗣：レジストリー．新版 経皮的人工心肺補助法：PCPS の最前線．松田暉監修，秀潤社，東京，2004
- 2) Cheng R, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: A meta-analysis of 1,866 adult patients. *Ann Thorac Surg.* 2014; 97 :610-6
- 3) 木下浩作，他．頭部外傷に対する Therapeutic Hypothermia 中の全身管理と合併症対策．*ICU と CCU.* 2012;36:91-8
- 4) 佐藤政弥，他．急性循環不全に対する緊急 PCPS 導入後の下肢虚血に対する検討. *人工臓器*, 2000;29(2):6345-50
- 5) Schachner T, et al. Near infrared spectroscopy for controlling the quality of distal leg perfusion in remote access cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008; 34(6): 1253-4
- 6) Hang CC, et al. Acute kidney injury after cardiac arrest of ventricular fibrillation and asphyxiation swine model. *Am J Emerg Med.* 2013. in press
- 7) Jonathan B, et al. Hemolysis during cardiac extracorporeal membrane oxygenation: A case-control comparison of roller pumps and centrifugal pumps in a pediatric population. *ASAIO J.* 2011;57(5):456-61
- 8) 野村耕司,他.体外循環時の溶血による腎障害とハプトグロビン投与効果,日心外会誌.1993;22(5):404-8
- 9) 山村晃生, 他. PCPS の長期使用における人工肺結露による酸素化能低下防止策の一考案, 体外循環医学, 2005;32(1):50-2
- 10) 安達秀雄, 百瀬直樹: 人工心肺ハンドブック 改訂 2 版, 中外医学社, 東京, 2009
- 11) 矢野洋: 大動脈バルーンパンピングと補助循環. 最新人工心肺: 理論と実際. 阿部稔雄, 上田修一編, 名古屋大学出版, 名古屋, 209-32

## 次世代 PCPS が備えるべき機能

PCPS は生命の基本となる血液循環とガス交換を代行する究極的な生命維持装置である。したがってトラブルは致命的なものとなりかねない。元々PCPS は手術室にて僅か数時間、体外循環の専門の技術者が管理操作する人工心肺のために開発された人工肺やポンプシステムを流用したシステムであるが、装着したまま移動し、週間レベルから場合によっては月単位と長期にわたり使用され、体外循環システムの専門家が管理するとは限らないため、リスクが高い。にもかかわらず、安全装置が不完全で安全性は低く、耐久性にも問題を抱えている。

将来の PCPS は誰でも安全かつ確実な導入と管理、そして離脱できるシステムであるべきと考える。ここでは今後の PCPS に備えるべき機能について考察すると共に、海外で開発、販売されている PCPS 関連装置についても解説を加える。

### 1. 空気の誤送に対する安全策

PCPS の使用に当たって回路を充填液で満たし、内部の空気を除去してから生体と接続する。この時、気泡が残っていると患者に送られる可能性がある。また、PCPS は閉鎖回路であるため体外循環流量が多い場合には脱血回路は陰圧となる。脱血回路には脱血カニューレとの接続部、接続部の気泡抜きライン、充填液ラインに隙間や開放部分があると空気が流入し、遠心ポンプを経て人工肺、送血回路を経て患者に送られる。充填液ラインの閉め忘れによってバッグ内の空気が回路に流入する例もある。患者の動脈に空気が送られた場合、例え大

腿動脈送血であっても心機能が低下していれば脳を含む全身の組織で空気塞栓症を起こす。

#### 1) 気泡検出器の装備

気泡の検出は回路の外側から超音波にて検出できるため抗血栓性を維持でき、低コストにて実現可能である。遠心ポンプに流入する前に空気を検出して止めたいが、PCPS では人工肺の手前で検出し人工肺で吸収できない量であればポンプを停止させる必要がある。送血回路（人工肺先の患者側）で検出する場合には、僅かな気泡でも検出したら直ちに送血を停止させる。現在人工心肺用として使用されている製品を PCPS に応用できるが、誤動作で循環が止まるので、誤動作しないような工夫が必要になる。

充填液バッグの空気の流入の防止策として充填液ラインに気泡検出器を取り付け、気泡を検出したら充填液ラインを閉めることで、空気流入を防止する方法もあるが、緊急時のセットアップに手間がかかるようでは意味がない。

#### 2) 回路上の枝回路やループを無くす（減らす）

多くの場合、人工心肺用の膜型人工肺が用いられるが、採血ラインなどが存在することもある。これらは血栓を形成させたり、外れて失血あるいは空気の流入の原因となる。特に陰圧となる脱血回路に枝回路を付けない工夫が必要になる。カニューレとの接続時に気泡が残らない工夫をすればカニューレとの接続部の気泡抜きの枝は不要となる。充填液ラインは陽圧側回路では急速

に充填ができないので、送血回路と脱血回路の接続部の再循環回路部分に充填液ラインを付けることで脱血回路の枝回路を無くすることはでき得る。

### 3) 空気の無い充填液

充填液バッグの残留空気の流入の防止策として、充填液バッグに空気の入っていない商品が望ましい。PCPS 回路システムと同一に梱包されている必要がある。

### 4) 人工肺の除泡機能の向上

人工肺のガス交換膜はガス透過性が高いので、圧力の高い液相にある気泡がガス交換膜に触れると気相に瞬時に移動するため人工肺は気泡除去能力を有している。充填時の気泡の除去はこれによって行われているが、体外循環中に PCPS 回路に空気が流入しても人工肺の気泡除去能力が高ければ、流入した気泡は人工肺で除去することができる。センサーで気泡を検出しても閉鎖回路の PCPS では気泡を抜く部分がないので、人工肺の気泡除去能力は最も効果的に機能するはずである。

### 5) エアトラップ

人工心肺に用いられるように、送血回路にエアトラップや送血フィルターを用いて流入した空気をトラップすることは有効とも考えられる。しかし、PCPS は低ヘパリンで管理されるため、エアトラップの血液の停滞部で血栓を形成しやすくなる。エアトラップに血液停滞部が無いようにエアトラップ自体を小さくするとトラップできる量が小さくなり、意味をなさない。また、トラップした空気を自動的にどのように抜くかが問題となる。

## 2. 補助流量の低下や溶血に対する安全対策

遠心ポンプは回転を一定に保っていても回路の折れ曲がりや脱血不良で補助流量が低下する。また、遠心ポンプは低揚程では溶血が少ない。しかし送血抵抗の上昇や脱血不良に伴い流量が低下した状態で、流量を回復しようと回転数を上昇させると遠心ポンプ内部でキャビテーションを生じて溶血する。また、回路の屈曲部などでも溶血を起こす。遠心ポンプの発熱によっても溶血を起こす。高度の溶血は腎不全の原因となり多臓器不全へと移行する危険が大きい。

### 1) ポンプ揚程と人工肺の圧力損失の表示

揚程の上昇は血圧の上昇、送血回路の折れ曲がり、脱血回路の折れ曲がりやボリューム低下による脱血不良で発生する。多くの場合、ボリューム低下による脱血不良である。これを検出するには、揚程は送血圧と脱血圧の差であるので、ポンプ前後に圧力センサーを取り付ければ測定できる。しかし、人工心肺のような圧ラインを設けると血栓を生じるので、回路に直接圧力センサーを取り付ける必要がある。陰圧になる脱血回路にルアコネクターなどを設けることは気泡を吸い込む危険があるので圧ラインの取り付けを避けるべきである。回路内部に圧力センサーを内蔵されるのが理想的である。ポンプの揚程（ポンプ前後の圧）のみならず、人工肺での圧力損失も測定できるのが望ましい。

### 2) 脱血不良モニター

先に述べたように、脱血不良は補助流量を低下させるだけでなく、溶血の原因ともなる。また発生頻度も高い。送血圧と流量から揚程は換算できるので、例え脱血回路

に圧力計がなくとも脱血圧は推定できる。揚程上昇時にその原因が送血側にあるのか脱血不良なのかを表示する機能が必要である。

### 3) 発熱しない遠心ポンプ

遠心ポンプにおける発熱は軸部と高揚程では血液同士の摩擦あるいはインペラーと血液の摩擦などで発生し、血液は溶血する。特に軸部の熱は問題になる。軸部の問題については「7.遠心ポンプの耐久性の向上」で後述する。

### 4) 過回転防止機構

遠心ポンプの回転つまみに不用意に触れたり、何か当たったりして過回転すると溶血の原因となる。PCPS のポンプ流量は常に変えるものではないので、つまみを押し込まないと回らないようにしたり、つまみにカバーを付けるなどの工夫が必要である。溶血するほど高い揚程になると回転数が上がらないような機構があると良い。

## 3. 逆流の対策

遠心ポンプは血液の回転運動によって血液を吐出するので、ポンプが低回転になったり停止すると動脈圧によって血液が PCPS 回路を逆流する。体外循環が停止するばかりか、動脈から静脈へのシャントがおこれば、心不全の状態では致命的である。

### 1) 逆流防止クランプ

血流量計が血液の逆流をとらえた時に回路を自動的に遮断して逆流を抑える機構は既に人工心肺用としては販売されている。逆流アラームが誤動作しないような工夫があれば PCPS にも応用できる。

### 2) 回転維持装置

ポンプの回転つまみに不用意に触れたり、

コード類などが当たりポンプの回転が落ちることがある。PCPS のポンプ流量は常に変えるものではないので、つまみを押し込まないと回らないようにしたり、つまみにカバーを付ける、一定回転より下げるにはノブを押しながらでないと下がらないような工夫があるとよい。また、逆流しはじめるとポンプの回転を自然に保つ機能があってもよいが、ポンプが故障で停止した場合にはこの機能では意味がない。

### 3) 逆流防止弁

回路に逆止弁を取り付けて逆流を防ぐことも可能である。しかし、この部分での血栓や溶血の可能性もあるので現在の市販の逆止弁を PCPS に取り付けるのは現実的ではない。

## 4. 換気異常の予防策

人工肺には酸素と空気の混合ガスを確実に送る必要があるが、酸素吹送を忘れて PCPS を開始しても、補助循環中に酸素流量計と人工肺を結ぶ酸素チューブが折れ曲がったり外れても今の PCPS では何らアラームが出ない。換気のトラブルは致命的な事故につながるので何らかの安全装置が必要である。

### 1) 血液ガスモニター

既に人工心肺用のガスモニターを PCPS に応用すれば回路の血液のガス分圧、あるいは酸素飽和度を光学的なセンサーで非侵襲的に連続測定することができる。送血側のガスモニターは人工肺の酸素加能を評価できるし、脱血側の酸素飽和度モニターは人工肺の酸素加能のみならず、生体側の心機能と肺機能、補助循環の異常も察知できる。ただし、ガスモニターに血液を分流さ