

表 2. 年間院外心肺停止数、ECPR 適応患者の年間予測数

	全年齢層	年齢 20～74 歳			
	総人口 (注 1)	年齢 20～74 歳 人口(注 2)	心肺停止 発生予測数	心原性心肺停止 発生予測数 (注 3)	ECPR 適応患者 予測数(注 4)
全国(参考)	128,057,352	90,141,918	52,182	29,801	2,139
北海道	5,506,419	3,911,589	2,361	1,348	97
四国 徳島	785,742	532,708	330	188	14
香川	995,712	670,238	409	233	17
愛媛	1,431,230	97 を 5	601	343	25
高知	764,323	510,159	324	185	13
小計	3,977,007	2,684,300	1,663	950	68
九州 福岡	5,070,752	3,540,504	2,023	1,155	83
佐賀	852,613	568,522	338	193	14
長崎	1,425,921	956,313	592	338	24
熊本	1,816,957	1,211,931	731	418	30
大分	1,196,450	808,913	499	285	20
宮崎	1,135,574	760,211	469	268	19
鹿児島	1,705,692	1,128,327	691	395	28
小計	13,203,959	8,974,721	5,343	3,052	219
12 県合計	22,687,385	15,570,610	9,367	5,350	384

注 1) 総人口：平成 22 年国政調査メッシュ統計における総人口

注 2) 年齢 20～74 歳：平成 22 年度国勢調査第三次メッシュデータにおいて、年齢 20～74 歳と判明している人口

注 3) 院外心肺停止発生予測数に、心原性の割合 57.1%を乗じた

注 4) 院外心肺停止数に、SAVE-J 研究の院外心肺停止例の ECPR 施行割合、4.0%を乗じた

表 3. 覚知から病着 45 分以内の患者割合（カバー割合）

都道府県	救命センター数	ヘリ運航施設数	予測患者数				覚知から病着 45 分以内(カバー圏内)割合		
			心原性 院外心肺停止 予測数(注1)	覚知から病着 45 分以内		46 分以上	救急車	ドクターヘリ	合計
				救急車	ドクターヘリ				
北海道	11	3	1,348	885	73	390	65.7%	5.4%	71.1%
四国 徳島	3	1	188	161	12	15	85.8%	6.2%	92.0%
香川	3	0	233	198	3	32	85.0%	1.4%	86.4%
愛媛	3	0	343	245	0	98	71.5%	0.1%	71.5%
高知	3	1	185	117	16	52	63.2%	8.8%	72.1%
四国小計	12	2	950	722	31	196	76.0%	3.3%	79.3%
九州 福岡	8	1	1,155	1,087	22	47	94.0%	1.9%	96.0%
佐賀	4	1	193	188	3	3	97.2%	1.4%	98.5%
長崎	3	1	338	243	25	70	71.9%	7.3%	79.2%
熊本	3	1	418	249	55	113	59.7%	13.3%	72.9%
大分	4	1	285	164	51	70	57.5%	18.0%	75.4%
宮崎	3	1	268	153	48	66	57.0%	18.1%	75.2%
鹿児島	1	1	395	152	85	158	38.5%	21.5%	60.0%
九州小計	26	7	3,052	2,235	289	527	73.2%	9.5%	82.7%
12 県合計	49	12	5,350	3,843	394	1,113	71.8%	7.4%	79.2%
中央値							68.6%	6.7%	75.3%
最小値							38.5%	0.1%	60.0%
最大値							97.2%	21.5%	98.5%

注 1) 年齢 20～74 歳の心原性の院外心肺停止予測数

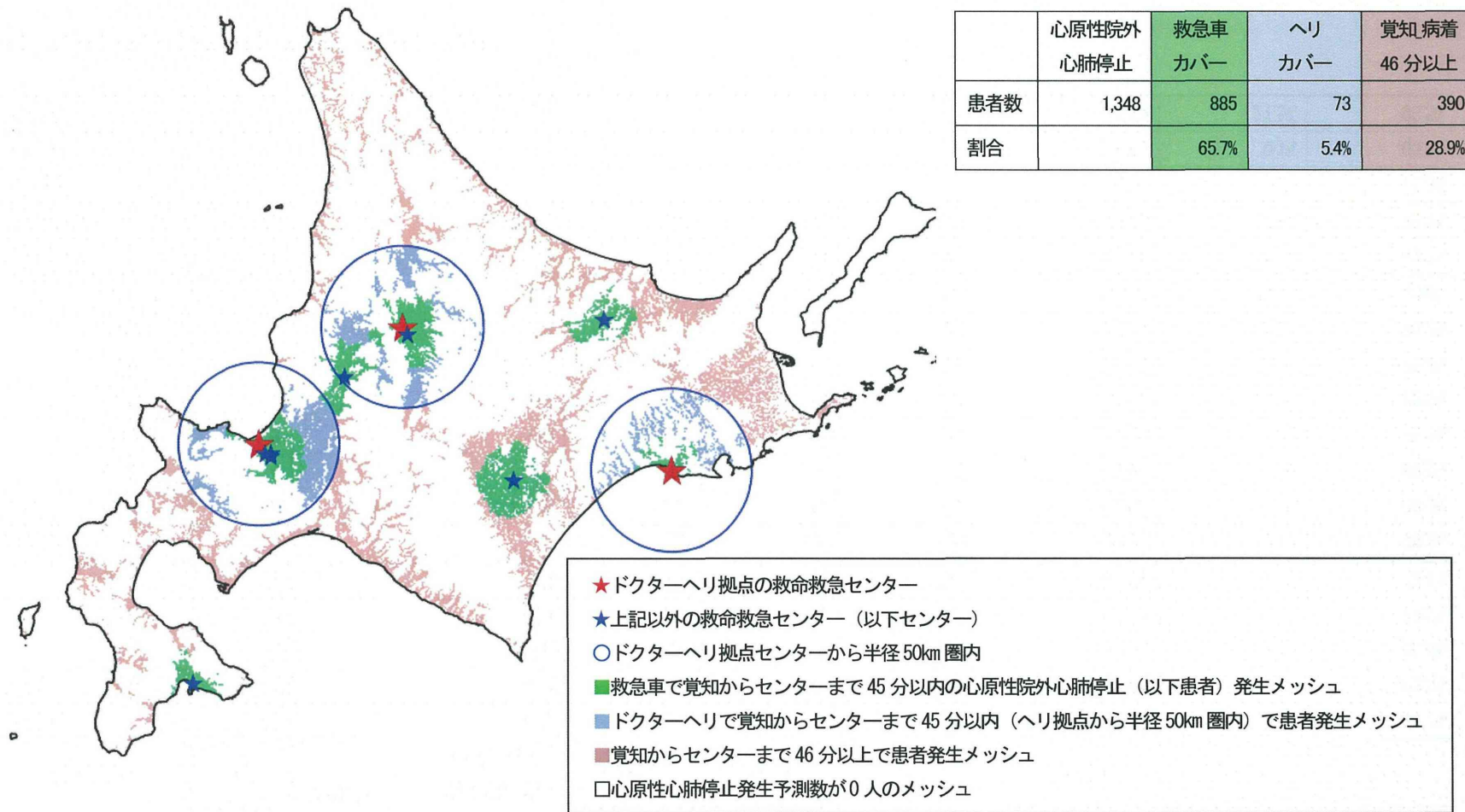
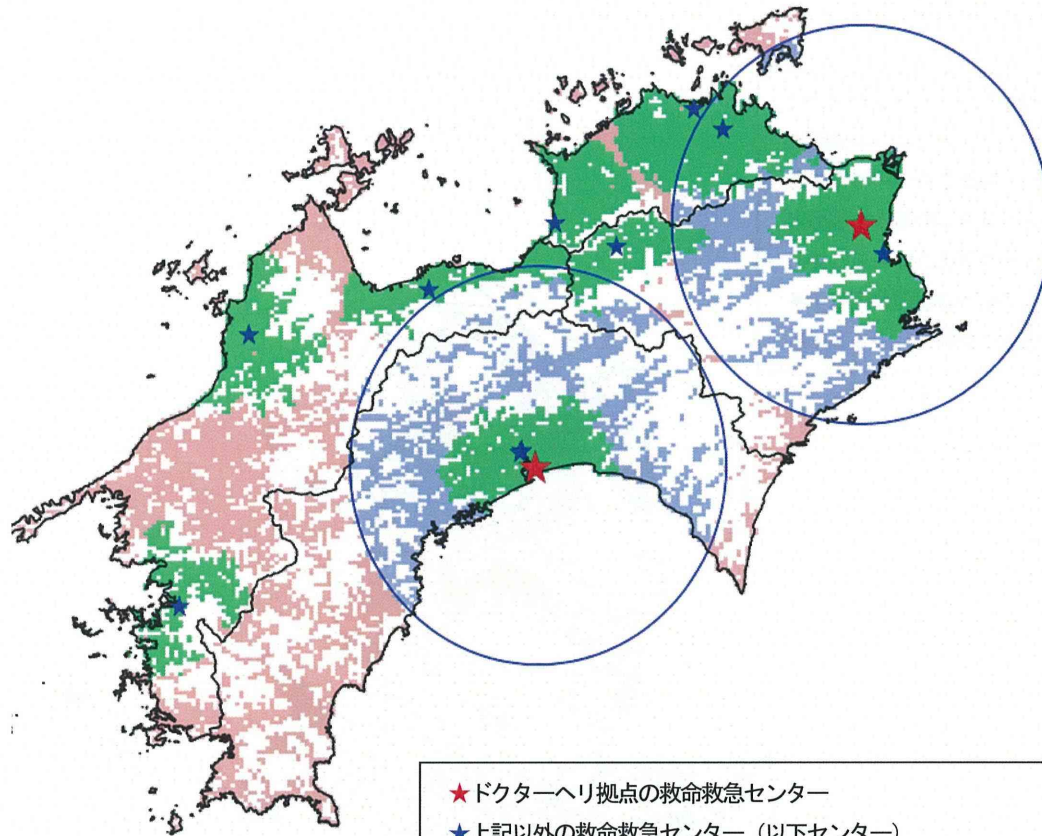


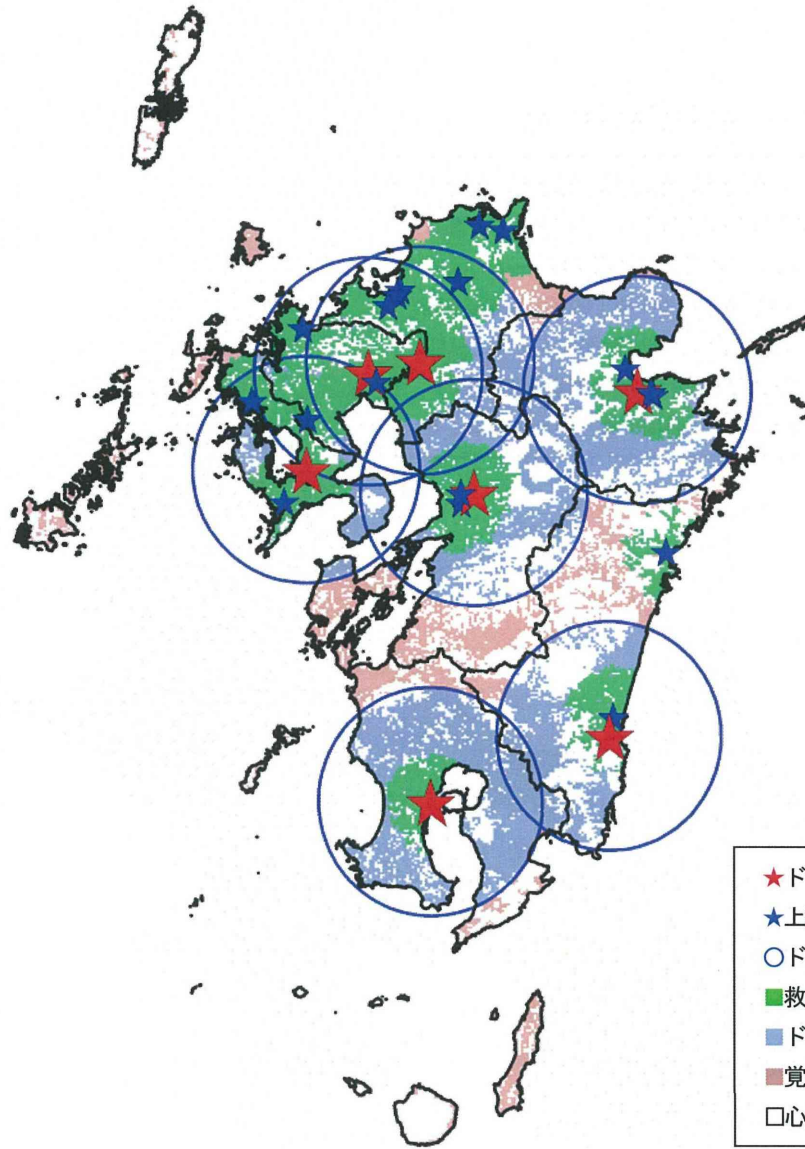
図2. 救命救急センターによる心原性院外心肺停止カバーマップ（北海道）



- ★ドクターヘリ拠点の救命救急センター
- ★上記以外の救命救急センター（以下センター）
- ドクターヘリ拠点から半径50km圏内
- 救急車で覚知からセンターまで45分以内の心原性院外心肺停止（以下患者）発生メッシュ
- ドクターヘリで覚知からセンターまで45分以内（ヘリ拠点から半径50km圏内）で患者発生メッシュ
- 覚知からセンターまで46分以上で患者発生メッシュ
- 心原性心肺停止発生予測数が0人のメッシュ

		心原性院外 心肺停止	救急車 カバー	ヘリ カバー	覚知病着 46分以上
徳島	患者数	188	161	12	15
	割合		85.8%	6.2%	8.0%
香川	患者数	233	198	3	32
	割合		85.0%	1.4%	13.6%
愛媛	患者数	343	245	0	98
	割合		71.5%	0.1%	28.5%
高知	患者数	185	117	16	52
	割合		63.2%	8.8%	27.9%
合計	患者数	950	722	31	196
	割合		76.0%	3.3%	20.7%

図3. 救命救急センターによる心原性院外心肺停止カバーマップ（四国）



		心原性院外 心肺停止	救急車 カバー	ヘリカバー	覚知病着 46分以上
福岡	患者数	1,155	1,087	22	47
	割合		94.0%	1.9%	4.0%
佐賀	患者数	193	188	3	3
	割合		97.2%	1.4%	1.5%
長崎	患者数	338	243	25	70
	割合		71.9%	7.3%	20.8%
熊本	患者数	418	249	55	113
	割合		59.7%	13.3%	27.1%
大分	患者数	285	164	51	70
	割合		57.5%	18.0%	24.6%
宮崎	患者数	268	153	48	66
	割合		57.0%	18.1%	24.8%
鹿児島	患者数	395	152	85	158
	割合		38.5%	21.5%	40.0%
合計	患者数	3,052	2,235	289	527
	割合		73.2%	9.5%	17.3%

- ★ドクターヘリ拠点の救命救急センター
- ★上記以外の救命救急センター（以下センター）
- ドクターヘリ拠点から半径50km圏内
- 救急車で覚知からセンターまで45分以内の心原性院外心肺停止（以下患者）発生メッシュ
- ドクターヘリで覚知からセンターまで45分以内（ヘリ拠点から半径50km圏内）で患者発生メッシュ
- 覚知からセンターまで46分以上で患者発生メッシュ
- 心原性心肺停止発生予測数が0人のメッシュ

図4. 救命救急センターによる心原性院外心肺停止カバーマップ（九州）

表 4. 救命救急センターへの ECPR 導入の臨床的効果

都道府県	覚知から病着 45 分以内の 心原性心肺停止予測数(注 1)		内)ECPR 適応患者数(注 2)		内)入院 1 ヶ月 CPC 良好例(注 3、4)		
	救急車	ドクターヘリ	救急車	ドクターヘリ	救急車	ドクターヘリ	合計
北海道	885	73	64	5	9	1	9
四国							
徳島	161	12	12	1	2	0	2
香川	198	3	14	0	2	0	2
愛媛	245	0	18	0	2	0	2
高知	117	16	8	1	1	0	1
四国小計	722	31	52	2	7	0	7
九州							
福岡	1,087	22	78	2	11	0	11
佐賀	188	3	13	0	2	0	2
長崎	243	25	17	2	2	0	3
熊本	249	55	18	4	2	1	3
大分	164	51	12	4	2	0	2
宮崎	153	48	11	3	1	0	2
鹿児島	152	85	11	6	1	1	2
九州小計	2,235	289	160	21	22	3	25
12 県合計	3,843	394	276	28	38	4	42

注 1) 年齢 20～74 歳の心原性の院外心肺停止予測数

注 2) 院外心肺停止数に、SAVE-J 研究の院外心肺停止例の ECPR 施行割合、4.0%を乗じた

注 3) 院外心肺停止数に、SAVE-J 研究の ECPR 群の入院 1 ヶ月 CPC1-2 の割合、13.7%を乗じた

注 4) 小数点以下は表示していないため、表に表示した合計数と合致しない場合がある。

平成 25 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）
『循環器疾患等の救命率向上に資する効果的な救急蘇生法の普及啓発に関する研究』
分担研究報告書

経皮的心肺補助装置（PCPS）に関する研究；
心肺蘇生時の PCPS カニューレションに関するアンケート調査

研究分担者 長谷 守 札幌医科大学救急医学講座 講師
研究協力者 上村 修二 札幌医科大学救急医学講座 助教
 國分 宣明 札幌医科大学循環器・腎臓・代謝内分泌内科学講座 助教

研究要旨

昨年度までに行った心肺蘇生時の PCPS カニューレション方法のアンケート調査を、症例経験数 1～20：L 群、21～40：M 群、41 以上：H 群に分け、エックス線透視使用の有無という観点から再解析を行った。L、M 群は非透視使用で脱血管挿入困難が多く、透視使用で PCPS 開始目標時間、最短時間が短縮。特に比較的経験数が少ない術者で透視使用の恩恵が得られていた。「75%以上の症例で 20 分以内カニューレション可能」は、H 群非透視使用 33%、透視使用 82%と大きな差があり、治療の確実性向上という観点からも、エックス線透視使用の重要性を議論する必要があると考えられた。

A. 研究目的

近年、心拍再開困難症例に行われている心肺蘇生時の PCPS カニューレション方法の実態を把握し、その問題点を明らかにする。

B. 研究方法

本研究 SAVE-J に PCPS 群で参加している 26 施設に所属し、心肺蘇生時の PCPS カニューレションを担当している医師（1 施設最大 5 名）を対象にアンケート調査。回答は複数の選択肢の中から該当するものを選択。症例経験数 1～20：L 群、21～40：M 群、41 以上：H 群に分け、透視使用の有(+)無(-)という観点から再解析を行った。

（倫理面への配慮）

ヘルシンキ宣言および疫学研究に関する倫理指針を遵守して実施。

C. 研究結果

各群の医師数は L(+)⁹、L(-)²¹、M(+)⁶、M(-)¹⁸、H(+)¹¹、H(-)⁶ 名。各群透視使用

医師が血管確保を行う場所は、約 5 割が血管造影室、約 3 割が透視使用可能な救急処置室内、約 2 割が検査室内であった。穿刺時動静脈判別方法で「血液色」を選択は、L(-)^{47%}、L(+)^{44%}は同等。M(-)^{93%}、M(+)^{17%}、H(-)^{67%}、H(+)^{18%}は非透視使用で多かった。

PCPS カニューレションで最も苦勞する点は、各群ともに「動静脈穿刺作業」の回答が最多で、透視使用者の約 8 割、非透視使用者の約 5 割であった。「静脈側脱血管挿入」の回答は L(-)、M(-)がともに 33%で、L(+)^{11%}、M(+)^{0%}に比して多く認めた。穿刺開始から PCPS ポンプ作動までの目標時間(分)は、L(-)^{17.3±8.4}、L(+)^{12.5±2.7}、M(-)^{14.6±5.8}、M(+)^{11.7±2.9}で、透視使用者で短かった。また H(-)^{10.0±0}、

H(+) 9.8 ± 3.9 は同等であった。穿刺開始から PCPS ポンプ作動までの最短時間 (分) は、L(-) 12.3 ± 5.5 、L(+) 8.4 ± 1.4 で、透視使用者で短かった。M(-) 10.8 ± 4.3 、M(+) 9.6 ± 3.6 は同等。H(-) 6.7 ± 1.4 、H(+) 6.3 ± 1.6 は同等であった。「75%以上の症例で穿刺開始後 20 分以内に PCPS ポンプを作動できる」と回答したのは、L(-)11%、L(+) 33% 、M(-)21%、M(+) 33% 、H(-)33%、H(+) 82% であった。

D. 考察

前回の解析結果では、約 7 割の医師が非透視下で PCPS カニューレーションを行っていた。今回の解析では、各医師の治療経験数で 3 群に分類し、それぞれの熟練度で、非透視下の手技がどのような影響を与えているかを考察した。透視使用者では各群ともに約 5 割の医師が血管造影室で血管確保を行っていたが、その多くは循環器学会に所属しており、冠動脈造影の経験者であった。心停止症例の多くは急性冠症候群が原因であるが、その診断・治療にカテーテル検査が必要な事や、医師の研修段階で循環補助装置装着を血管造影室で行うように教育されている事が背景にあると推定された。

経験数に関わらず非透視使用者では、動静脈の判別を血液色という不確かな方法に頼る割合が多く、安全性という観点では問題があると考えられた。

カニューレーションの律速段階に関しては、多くの医師が心停止下での血管確保を上げているが、非透視使用者で脱血管挿入を上げる割合が透視使用者に比して多かった。この結果からは透視を使用する事で、脱血管挿入が容易になっている可能性が示唆された。穿刺から PCPS ポンプ作動までの目標時間は、治療経験数が増えるのに比例して短くなっていくが、透視使用の有無で比較すると L 群で約 5 分、M 群で約 3 分透視使用者で短縮されていたが、H 群では透視使用の有無で差はなかった。また PCPS 作動最短時間は、L 群

で透視使用者が非使用者に比し約 4 分短かったが、他の群では透視使用の有無で差を認めなかった。以上から比較的経験数の少ない医師では透視を使用することで、PCPS 開始時間を短縮することが可能と考えられた。

一方、治療の確実性という観点では、一般的には 20 分以内にカニューレーション完了するのが理想的と考えられるが、41 例以上と比較的多くの経験を有する医師でも非透視使用では 33%に留まり、透視使用医師の 88%と大きな差を認めた。ECPR が一般的な治療として普及するためには、「治療の確実性」が重要な評価項目であり、透視下カニューレーションの更なる普及が必要と考えられた。しかし非透視下カニューレーションの大部分は、施設の事情で救急処置室から血管造影室への移動に時間を要するために、止む無く救急処置室内で行っている状況にあり、簡単には改善できないのが現状である。今回の検討で明らかになった問題点、課題を更に検討していくことで、治療成績向上の可能性を追求すると同時に、今後の救命センター設計に際して、エックス線透視可能となるように設備投資していくことが重要と考えられた。

E. 研究発表

1. 論文発表

1. 長谷守：心停止後症候群 (PCAS) における神経集中治療. 黒田泰弘編、総合医学社、2014.

2. 学会発表

特になし

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

特になし

2. 実用新案登録

特になし

3. その他

特になし

平成 25 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）
『循環器疾患等の救命率向上に資する効果的な救急蘇生法の普及啓発に関する研究』
分担研究報告書

経皮的心肺補助装置（PCPS）に関する研究；
臨床工学技士業務に関連した調査研究—各種マニュアルの改訂—

研究分担者 長谷 守 札幌医科大学救急医学講座 講師
研究協力者 奈良 理 手稲溪仁会病院救急科 部長
田原 良雄 横浜市立大学附属市民総合医療センター 心臓血管センター

研究要旨

昨年度から継続している ECPR の普及を目指す観点から、書籍化に向けての準備作業を行った。平成 19~21 年度に SAVE-J 臨床工学技士部会を中心に作成した ECPR における PCPS に関してのマニュアル、解説とガイドラインについて再検討を行い、新しく得られた知見やデバイスなど内容を追加する更新計画をたてた。今後もタイトルや位置付け、内容検討などを行い、より良い ECPR での PCPS の施行を目指していく。

A. 研究目的

平成 19~21 年度は基本的事項を中心に、「デバイスマニュアル」、「操作マニュアル」、「安全管理マニュアル」を作成し、また「PCPS 合併症」、「PCPS 中の IABP について」、「デバイスの選択基準」、「周辺機器」、「次世代 PCPS が備えるべき機能」などの解説を行った。平成 22 年度は「ECPR における PCPS ガイドライン」を作成し、平成 23 年度は作成したガイドラインの改訂を行った。平成 24 年度はマニュアルや解説、ガイドラインの再検討を行った。今回の目的は、各マニュアルや解説にさらなる検討を行い、新しく得られた知見やデバイスの追加と参考文献や解説を加えて、より標準化された分かり易い内容を目指す。

B. 研究方法

近年、国内外で発表された PCPS（ECMO 含む）に関する文献や書籍、ガイドラインと、SAVE-J で作成したマニュアル、解説、ガイドラインの内容を比較・再検討を行い、更新作業を計画し、その普及方法を検討する。

C. 研究結果

各マニュアルについて、新しく発売されたデバイス（遠心ポンプ、人工肺、カニューレ、IABP など）や、いくつかの点において得られた新しい知見（低体温療法での冷却・復温方法、IABP 使用時の注意点など）、があり、更新作業が必要であった。各種マニュアル（デバイス、操作、安全管理、合併症）や次世代 PCPS が備える機能、ガイドラインについて、参考文献や解説を加え、コンセンサスも含めて更新作業を行った。

D. 考察

ECPR での PCPS の迅速な実施と質の向上を目指すため、マニュアル、解説、ガイドラインの内容検討の継続、普及方法の検討は重要である。さらに、文言の統一について、ECPR と PCPS の位置付けに関して確認を行った。読者対象は研修医や救急医と看護師にターゲットを絞り、ECPR に特化した内容にし解説が載るような形で検討する。

E. 結論

ECPR における PCPS に関して、今までに作成したマニュアル、解説、ガイドラインの内容を再検討し、更新計画をたてた。これら内容を公表し、安全で確実な ECPR での PCPS の施行を目指していく。

F. 学会発表

1. 発表論文

- 1) 玉城聡、川崎義隆、澤村成史、大嶽浩司、坂本哲也：当院における体外循環式心肺蘇生の現状—SAVE-J スタディにおける検証—。日本臨床工学技士会誌 2013 ; 49 : 32-35

2. 学会発表

- 1) 三木隆弘、長尾建、二藤部英治、渡邊和宏、岡本一彦、坂本哲也：シンポジウム「PCPS を用いた低体温療法」ガイドライン 2015 に向けた心停止患者に対する PCPS の動向。第 24 回 PCPS 研究会、松本、2013.3
- 2) 三木隆弘：ECPR における PCPS の集学的管理。3rd YAMANASHI CEHCC、甲府、2013.6
- 3) 三木隆弘：ECPR における PCPS の管理方法。第 17 回日本心不全学会学術集会、大宮、2013.11
- 4) 三木隆弘、二藤部英治、江口友英、岡本一

彦：ECPR における PCPS の集学的管理。第 23 回日本臨床工学会、山形、2013.5

- 5) 三木隆弘、長尾建、二藤部英治、広瀬晴美、渡邊和宏、岡本一彦：PCPS を用いた低体温療法。第 24 回日本経皮的心肺補助 (PCPS) 研究会、京都、2014.3

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
特になし
2. 実用新案登録
特になし
3. その他
特になし

ECPRにおけるPCPSの概要 SAVE-J

SAVE-Jの目的は、通常の救命処置に反応しない院外心肺停止症例に対して病院収容後に経皮的な心肺補助(PCPS)を使用した心肺蘇生(ECPR)の効果を明らかにすることである。本邦では欧米諸国と比較し、蘇生手段としてのPCPSの使用が普及しつつあり¹⁾。しかし、導入基準や管理基準など各施設独自に実施されているのが現状であり、ECPRにおいてPCPSを安全、確実にを行うための統一基準の作成が急務であった。SAVE-J 技士部会ではこの点に対応すべく、「デバイスマニュアル」、「操作マニュアル」、「安全管理マニュアル」を作成した。今回は、作成したマニュアルなどを中心に、国内外で発表されているPCPS (ECMO含む)に関するガイドライン、関連する文献や書籍、国内20施設、海外2施設のマニュアルなどを参考に、SAVE-Jのメンバー(医師、臨床工学技士)で検討し、PCPSの安全管理基準を提示することを目的に、ECPRにおけるPCPSの概要の作成を行った。

1. 準備^{2),3),4)}

(1) PCPS使用物品

- ① コーティングされたカニューレ、回路、遠心ポンプ、膜型人工肺を使用する。
- ② 回路、遠心ポンプ、膜型人工肺がプレコネクタされたシステムを使用する。
- ③ 熱交換器付膜型人工肺を使用する。

<解説>

ヘパリンや高分子ポリマー系のコーティング材料を使用することは、血球や血漿タンパクの吸着および変性、血小板活性化を抑制することにより、抗血栓性にすぐれた体外循環を行う

ために必要である⁵⁾。また、迅速にPCPSを準備するために、回路、遠心ポンプ、膜型人工肺がプレコネクタされたシステムを使用する。

院外心肺停止患者の心拍再開後の低体温療法は脳保護効果が期待できAHAガイドライン2010においてクラスIであり⁶⁾、ECPRにおいては、熱交換器付膜型人工肺を使用することで体温管理が容易となり、速やかな低体温療法への移行が可能である。

(2) PCPSの準備

- ① PCPSの導入指示から充填終了までを10分以内で行う。
- ② 日常より、機器、資材の点検整備を行う。
- ③ 充填の手順を確立する。

<解説>

心停止からPCPSによる循環補助が開始されるまでの時間が遅延すればするほど、神経学的予後の改善が困難となるため、心停止から45~60分以内にPCPSを開始することが望ましい⁷⁾。我が国の医療体制では、119番通報から病院到着までに約30分の時間を有しているため^{8),9)}、PCPSの導入指示から充填終了までを10分以内で行えるような準備が必要である。

ECPRに関わる医療従事者は、PCPS装置、材料などの場所を熟知し、指示系統やスタッフ間での役割分担を明確にする必要がある。PCPSの速やかな準備・導入を行うためには、機器や資材の保管場所を明確にし、装置や周辺機器、資材、薬品などの定期的な点検が必要である。

(3) 準備するもの：機器など

- ① PCPS装置本体
- ② 冷温水槽
- ③ 酸素ブレンダー
- ④ 酸素ポンプ

- ⑤ ACT 装置
- ⑥ ハンドクランク
- ⑦ その他

<解説>

特に PCPS 装置本体のバッテリー駆動時間の確認、酸素ポンプ残量確認、ハンドクランク設置は重要である。

(4) 準備するもの：資材など

- ① プレコネクト回路（回路、遠心ポンプ、人工肺）、充填液
- ② 各種カニューレ（ダイレータ、ガイドワイヤー含む）
- ③ チューブ鉗子（滅菌された鉗子含む）
- ④ その他

<解説>

各資材の滅菌期限日を必ず確認する。

(5) マニュアル・チェックリスト

- ① 機器・資材チェックリスト
- ② 始業時点検チェックリスト
- ③ 経過表、管理マニュアル
- ④ トラブル対処マニュアル
- ⑤ その他

<解説>

各種マニュアル、チェックリストを作成し、また、定期的に改訂を行う。

2. PCPS の実際^{2),3)}

(1) 開始直前の確認

① カニューレと回路が正しく接続されているか確認する。

- ② 回路内に気泡がないか確認する。

<解説>

開始直前に装置や回路の確認を行う。カニューレ

レと回路を接続する際には、送血カニューレと送血回路、脱血カニューレと脱血回路が正しく接続されているかを必ず確認する。また回路内、特にカニューレと回路の接続部分に気泡がないことを確認する。

(2) 開始直後の確認

- ① 酸素ガスの吹送
- ② 十分な血流量の確認

<解説>

PCPS 開始直後、膜型人工肺に酸素ガスが吹送されていることを確認する。

十分な血流量を得るには、循環血液量の把握、送脱血カニューレの位置、回路の屈曲などを確認する必要がある。また、遠心ポンプの回転数と血流量の関係を把握しておくことが重要である。

(3) PCPS の血流量²⁾

- ① 導入時は最大流量で補助を行う
- ② 補助循環中は循環動態を連続観察し、適宜、血流量を調節する

<解説>

PCPS 導入時は、血流量が 60mL/kg/min 以上で SvO₂ が 70% 以上になるよう最大流量で補助を行う。心拍再開後は、循環動態を連続観察し、SvO₂ が 70% 以上になるよう適宜、血流量を調節する。

(4) IABP の使用

- ① ACS 症例では IABP を使用する¹⁰⁾

<解説>

PCPS により自己心拍再開した ACS 症例では、IABP により冠灌量の補助、左室後負荷軽減が行え、また、IABP の使用は PCPS からの離脱には有用であることから早期に導入する。

(5) PCPS 中の目標血圧

① IABP を挿入している場合：

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 つをみたしていること

② IABP を挿入していない場合：

平均血圧が 60mmHg 以上

(6) 脳保護

① 低体温療法を併用する

(7) 低体温療法^{2), 6)}

① 目標温度：32-34 °C

② 持続時間：12-24 時間

③ 復温時間：12 時間で 0.5°C

<解説>

院外心肺停止患者に対する低体温療法は神経学的予後を改善する唯一の治療であり、心停止後の生存に大きな影響を与える。そのためには急速な冷却と安定した低体温の維持、緩徐な復温が重要である。また、AHA ガイドライン 2010 では、院外心停止の成人患者に対しては、12 時間から 24 時間、32°C~34°C に冷却すべきであるとの記載がある。

(8) 心電図、血圧以外のモニタ

① SpO₂' (右手)

② SvO₂ (肺動脈カテーテル)

③ ETCO₂ (人工呼吸器回路)

<解説>

右手で SpO₂ を測定することは、血流量および酸素化の状態を確認するため重要である。自己心からの拍出がある場合は、冠状動脈や脳に十分に酸素化されていない血液が灌流することもあるので、自己心の拍出する血液と PCPS から送血される血液との mixing point を考慮し SpO₂ は

必ず右手で測定する。

SvO₂ は、組織に十分な酸素が届いているか(血流量が適正か)の指標となる。SvO₂ が 40% 以下になると組織では嫌気性代謝となるため、血流量を増加させる、輸血によりヘモグロビン量を増加させるなどの対策が必要である。

ETCO₂ は、患者の肺循環に血流があるか(自己心の拍出があるか)の指標となる。自己心の回復に伴い肺循環が再開する。この時、ETCO₂ の数値の変化だけではなく、カプノグラフの波形の変化にも注意が必要である。

(9) 尿量

① 補助循環中は尿量を確認する。

<解説>

尿量は循環動態の良い指標となる。尿量が低下した場合、その原因をつきとめ、改善しなければならない。また、CHDF などの血液浄化法の導入も検討しなければならない。

(10) 血液浄化法

① PCPS 回路に血液浄化の回路を接続する場合は十分注意する。

<解説>

PCPS 回路に血液浄化の回路を接続した場合、血液浄化のトラブルで PCPS が停止する可能性があり、非常に危険である。特に PCPS の脱血回路に血液浄化の回路を接続した場合、何らかのトラブルで PCPS 回路に空気を引き込む可能性がある。基本的には、別の部位にバスキュラーアクセスラインを確保し、血液浄化を行う。

(11) PCPS 管理のポイント

① 送血流量と遠心ポンプの回転数

② 酸素ガスの流量と濃度

③ PCPS 回路の観察

④ 出血の有無

<解説>

血流量と遠心ポンプの回転数は必ずしも比例せず、送血側の抵抗が高かったり、脱血不良状態になったりすると、血流量が低下するが、この状態で遠心ポンプの回転数を上げて血流量は上がらず、血液は溶血する。使用している遠心ポンプの回転数と血流量の関係を把握する事が重要である。

院外心肺停止症例では、PaCO₂濃度が上昇していることがあるため、PCPS開始時の吹送ガス流量は血流量と同じ流量で開始し、適宜調整する。PaO₂の値が低い場合は、酸素濃度を上げる。PaCO₂の値が高い場合には、酸素流量を上げる。

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。安定したPCPS管理を行う上でカニューレ挿入部位の出血の確認・対処は重要な事項となる。

(12) PCPS 回路の観察

- ① 送脱血回路に色調の差はあるか
- ② 回路の屈曲はないか
- ③ 脱血回路の揺れはないか
- ④ 遠心ポンプからの異音、発熱はないか
- ⑤ 人工肺からの血漿漏出はないか

<解説>

人工肺で確実なガス交換がされていれば、送脱血回路に色調の差が生じる。送脱血回路に色調の差がない場合、酸素ガスが吹送されていない、人工肺のガス交換能の低下などが考えられる。

回路が屈曲した場合、血流量の低下や脱血回路の揺れが生じる。体位変換や清拭などの処置を行った場合は、回路に屈曲がないか注意する。

長時間遠心ポンプを使用していると異音や発熱を生じる。これにより溶血が発生する可能性が

あるため、注意が必要である。

(13) 脱血回路の揺れ

- ① 脱血回路の揺れは、脱血不良のサインである。

<解説>

脱血は静脈の血液量に依存するため hypovolemia になると脱血カニューレが血管壁に吸い付き、血流量が低下し、脱血回路は揺れる。この時、遠心ポンプの回転数を上げて血流量は増加せず、脱血回路内は強い陰圧が発生し、溶血の原因となる。輸液や輸血など、循環血液量の補充などが必要である。

(14) 循環血液量の補充

- ① PCPS 回路のプライミングラインより補充を行う場合、注意が必要である。

<解説>

PCPS 回路のプライミングラインからは、輸液や輸血などの急速な補充が可能である。しかし、PCPS の脱血回路は陰圧になっているため、プライミングラインより補充を行う場合、気泡を引き込まないように注意が必要である。また、同じように CVP ラインからも気泡を引き込む可能性があるため、カテーテルの位置や、CVP ラインや肺動脈カテーテルなどの三方活栓は大気開放にしないなど、十分な注意が必要である。

(15) ACT 値³⁾

- ① ACT 値 = 160 ~ 180 秒

<解説>

術後の補助循環で行う PCPS では ACT 値は 200 秒前後で管理されており、救命救急の領域では ACT 値は 160 ~ 180 秒で管理している施設も多い。厳密な ACT 値管理が必要である。

(16) 下肢虚血

- ① 補助循環中は下肢虚血に注意する。

<解説>

補助循環中は下肢虚血に注意する。基本的に毎時間、超音波ドプラを用いて下肢の血流を確認する。他に下肢虚血の評価方法として、色調の観察、足背動脈・膝窩動脈の触知などがある。血流が確認出来ない場合は、すぐに末梢側へ送血を開始する。下肢血流バイパスの方法として、大腿動脈にシースや留置針を挿入し PCPS の送血側の側管より順行性に送血する。もう一つは、足背動脈へ留置針を挿入し送血側の側管より逆行性に送血する方法がある。

(17) 人工肺の交換基準

- ① 血漿漏出、酸素加能低下が確認された場合は交換する。
- ② 出来る限り人工肺の性能が維持出来るように努力する。

<解説>

人工肺や遠心ポンプの交換には技術と熟練が必要である。プレコネクトされた PCPS システムを用いると短時間で交換でき、患者への負担も少ない。しかし、交換により患者の血液が喪失され、その代わりにプライミング液が体内に送られるため、一時的に血圧が低下する可能性がある。十分な循環管理を必要とするため、輸血用の血液や循環作動薬などの準備を行う。

人工肺の結露を予防するため、定期的にガスフラッシュを行う（例えば、2 時間毎にガス流量 10L/min で 2～3 分間）。ただし、ガスフラッシュを長時間行うと血中 CO₂濃度が低下するため、必ず音が出るタイマーを使用する。

(18) 心機能の評価

- ① PCPS 中は心機能の評価を行う。

<解説>

PCPS 中は心機能の評価を常に行う。心機能改善の指標として、心拍出量係数 >2.0L/min/m²、壁運動の改善、ETCO₂≒PaCO₂ などがある。心機能の改善が認められれば、血流量を徐々に下げ、離脱を考慮する。

(19) PCPS からの離脱準備

- ① 心機能の改善が認められれば、PCPS からの離脱準備を行う。

<解説>

心機能改善は認められれば補助流量を 0.3-0.5L/min で減量する。このとき、循環不全が生じた場合には速やかに流量を増量する。循環動態が安定したら、可及的に流量の減量を試みる。

(20) 循環不全の指標

- ① SvO₂ が 60%以下である
- ② 乳酸値が高値である
- ③ 動脈血液ガス分析でアシドーシスがある
- ④ 生化学検査で異常値がある
- ⑤ 尿量が減少または無尿になる

<解説>

PCPS の補助流量を減量して、上記の症状が発生した場合は循環不全である。逆に、PCPS の補助流量を減量しても、SvO₂ が 60%以上、乳酸値が正常、動脈血液ガス分析でアシドーシスがない、生化学検査で臓器障害が進行していない、尿量が保たれている場合は、更に補助流量の減量が可能で、PCPS からの離脱を考慮する。

(21) PCPS からの離脱

- ① 心機能および循環不全の指標に問題がなければ、PCPS からの離脱を行う。

<解説>

補助流量を 1.0L/min 程度まで減量し、心機能

および循環不全の指標に問題がなければ、ON-OFF テストで評価を行い、PCPS からの離脱を行う。この時も厳密な ACT 値管理が必要である。また、離脱後、再度 PCPS が必要になる事もあるため、その準備をしておく。

参考・引用文献

- 1) 日本人工臓器学会臨床研究推進委員会, PCPS.人工臓器のレジストリー, 人工臓器 35(Supp): 49-54. 2004.
- 2) Extracorporeal Life Support Organization (ELSO): General Guidelines for all ECLS Cases. <http://www.else.org/>
- 3) 鹿野恒:心肺停止症例と人工心肺(PCPS), 人工臓器 37(1), 38-43, 2008.
- 4) 小山富生:PCPS の実際(原理と工夫).新版 経皮的心配補助法-PCPS の最前線. 松田暉監修. 秀潤社, 東京, 2004, 49-60
- 5) 桑名克之: 人工肺. 人工臓器 41(3) : 191-193, 2012.
- 6) American Heart Association. 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science. Circulation, 122(3), S640-S656, 2010
- 7) Nagao K, Kikushima K, Watanabe K, et al : Early induction of hypothermia during cardiac arrest improves neurological outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest who undergo emergency cardiopulmonary bypass and percutaneous coronary intervention. Circ J 74: 77-85, 2010.
- 8) SOS-KANTO Committee . Incidence of ventricular fibrillation (VF) in patients

with out-of-hospital cardiac arrest in Japan: survey of survivors after out-of-hospital cardiac arrest in Kanto area (SOS-KANTO). Circ J 2005;69:1157-1162

- 9) Cardiopulmonary resuscitation by bystanders with chest compression only (SOS-KANTO): an observational study. Lancet 2007;369:920-926
- 10) Circ J 2002; 66(Suppl.IV)

参考マニュアル

- ・ 自治医科大学附属大宮医療センター臨床工学部 : 体外循環マニュアル http://www.jichi.ac.jp/center/c_kogaku/manual_8.pdf

C.1. PCPS デバイスマニュアル

C.1.1. PCPS システム

基本的な PCPS システムの回路は、貯血槽を持たない閉鎖回路である (図 1)。血液回路は脱血カニューレ、脱血回路、送血ポンプ、ポンプ回路、人工肺、送血回路、送血カニューレで構成される。基本的な回路構成の他に、人工肺や遠心ポンプを交換しやすいようにバイパス回路を設けたり、そのまま手術にて人工心肺として使用できるように回路を工夫したりしている施設もある。

ここでは最も基本的な回路構成の PCPS システムについて述べる。PCPS システムは血液回路とポンプドライバー、酸素ブレンダー、酸素流量計、これらをまとめて載せる専用台車で構成された PCPS システムとして循環の補助を行う (図 2)。温度調節を行う場合には冷温水槽などが追加される。

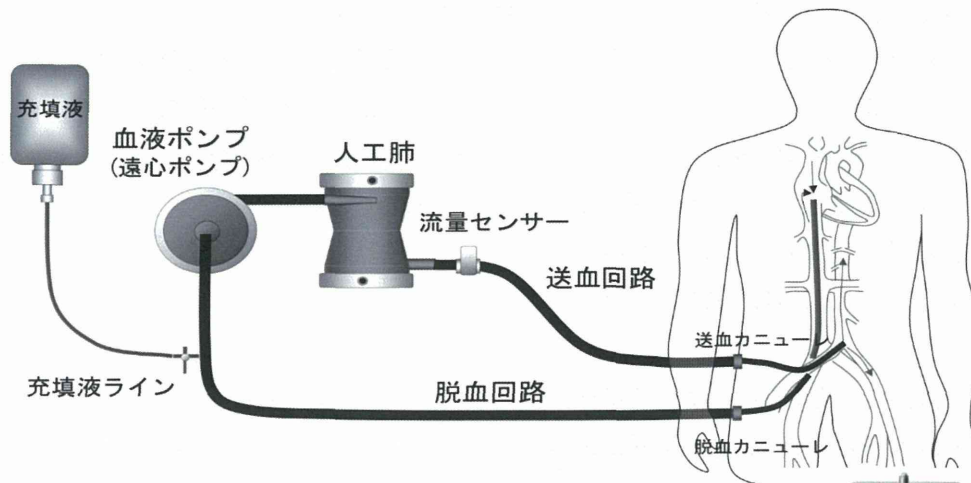


図1 PCPS の基本回路



図 2 PCPS 回路と PCPS システム



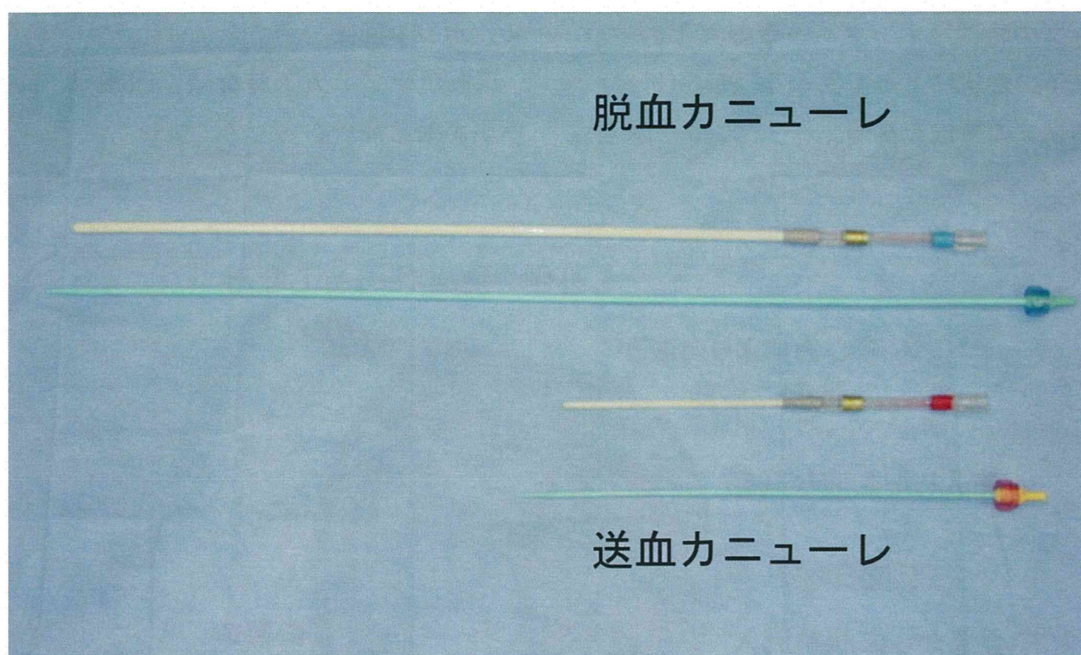


図3 PCPS 用カニューレ

1) 脱血カニューレ (静脈カニューレ)

(図3)

脱血カニューレは血液を体外に導き出すためのカニューレで、通常セルジンガー法による穿刺で挿入するタイプを用い、大腿静脈から挿入して先端を右心房付近に留置する。カニューレサイズがPCPSの最大補助流量を決定する因子となり、細いと脱血抵抗が上昇し、脱血流量が確保できず、脱血圧は過度の陰圧になる。過度の陰圧は、脱血回路内あるいは遠心ポンプ内でのキャビテーションを誘発し、血球が破壊されて溶血する。

参考までに、カニューレのサイズと流量の関係を付録に示した。

2) 脱血回路 (静脈回路)

脱血回路は脱血カニューレから血液ポンプ入り口までであり、充填液を注入する充填液ラインが取り付けられている。PCPSが、停止もしくは低流量の状態では陽圧で

あるが、流量が増加すると大気圧より低くなる。この状態で充填液ラインなどが開いていると脱血回路に空気を引き込み、結果的に患者に空気を送り込む事故につながる。また、脱血不良で、過度の陰圧になると血液中の溶存ガスが気化して気泡が発生する

3) 送血ポンプ

PCPSでは送血ポンプに遠心ポンプを用いる。ポンプヘッド内部に高速回転する回転子があり、その回転子が中央部の流入ポートから流入した血液を回転する。回転した血液には遠心力が発生してポンプヘッドの外側へと移動し、外側の流出ポートから送り出される(図4)。ポンプの回転数と流量は必ずしも比例せず、ポンプの停止状態あるいは低回転では送血側から脱血側に逆流する。送血回路の抵抗が大きい場合や、脱血の状態が悪い場合に流量が低下する。この状態でポンプの回転数を無理に上げると、血液はポンプ内で損傷して溶血する。

ポンプの特性はポンプヘッドの大きさや、回転子の形状によって異なる。後述(付録)のポンプの特性を参照。

4) ポンプ回路

送血ポンプと人工肺を結ぶ回路で、回路内圧が最も高い。

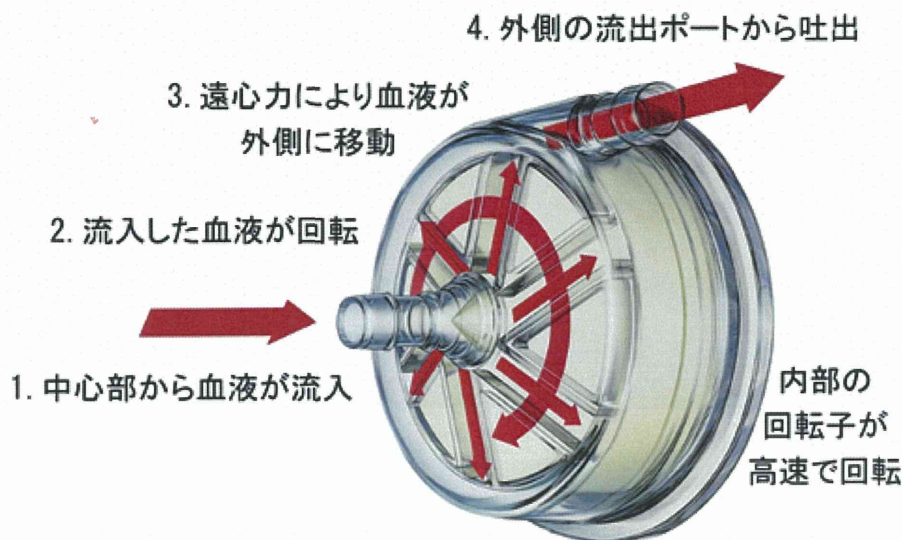


図4 遠心ポンプの原理

5) 人工肺

人工肺は静脈血中の炭酸ガスを排出し、酸素を加えることで動脈血化するものである。PCPS では必ずしも熱交換器を必要としないので、熱交換器の無い人工肺を用いる施設も多いが、熱交換器一体型では、流入した血液は熱交換器で温度調節された後、ガス交換膜でガス交換される(図5)。ガス交換膜の形状はストロー状のファイバーになっており、内部を酸素と空気の混合ガスが流れ、外部を血液が流れる外部灌流型である(図6)。ガス交換膜は、長時間の使用で血漿が漏れる(プラズマリーク)によりガス交換能が落ちないような素材が主流となっており、微細孔の血液側が塞がれている非対称膜(ポリメチルペンテン)や、多孔質膜をシリコンでコーティングした複

合膜などが使用されている。プラズマリークとは別に、血液相の水分が水蒸気として膜を通過しガス相で冷えて結露し、ガス交換膜のガス相を塞ぐウェットラングが発生する。このような結露によるウェットラングでもガス交換能の低下は起こり得るが、ガス流量を一時的に上げるなどして結露水を排出すればガス交換能が戻ることが多い。プラズマリークと結露によるウェットラングの区別は、人工肺のガス排出ポートから泡あるいは黄色い泡が滴るか、透明の水が滴るかで見分けできる(図7)。人工肺の炭酸ガスの除去は人工肺に吹送するガス流量に依存する。酸素加能は人工肺に吹送する酸素濃度(F_{iO_2})が大きく関係する。

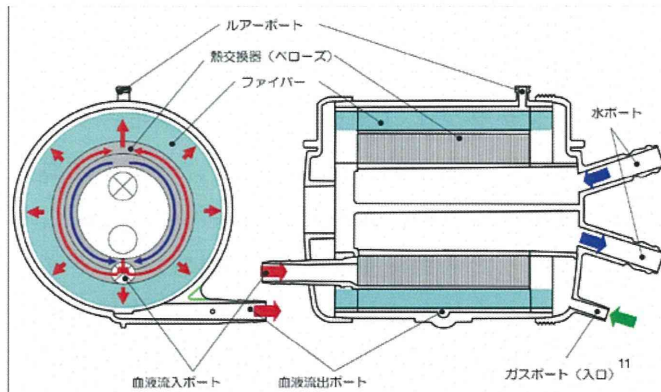


図5 人工肺の構造

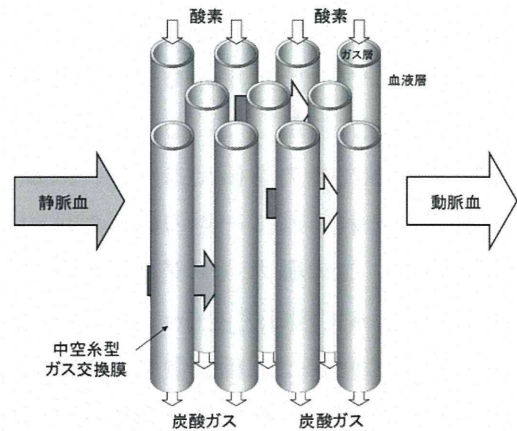
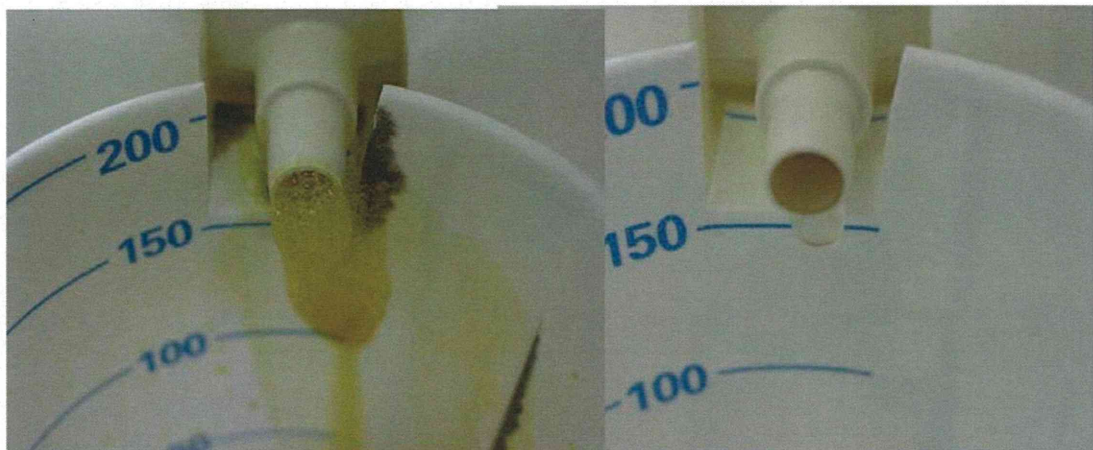


図6 人工肺のガス交換膜



プラズマリークは黄色の泡

結露は透明の水滴

図7 人工肺のプラズマリークと結露

6) 送血回路 (動脈回路)

送血回路は人工肺出口から送血カニューレまでの回路で、採血ポートや空気抜きのための枝回路がある。送血回路に充填時の気泡の残留や体外循環中に血栓が形成されると体内に送られるので注意が必要である

7) 送血カニューレ (動脈カニューレ)

(図3)

体外循環した血液を体内に送り込むためのカニューレで、通常は脱血同様、穿刺で

挿入するタイプを用いて大腿動脈に挿入する。PCPSの血液回路中で最も内径が細く、送血抵抗がもっとも大きい最大補助流量を決定する最大因子となる。細いサイズを選択した場合には、流量を確保するために遠心ポンプを高回転にせざるを得ず、前述したように溶血の要因となる。一方、カニューレサイズが太ければ流量は確保しやすいが、挿入した動脈の末梢側への血流が維持できず、下肢の虚血を引き起こす可能