

## 原 著

## ICU における緊急 Cardiopulmonary bypass (CPB) 症例の検討

棚橋 貞哉\* 間 渕 則 文\* 伊 藤 彰 師\*  
 高 須 宏 江\* 山 田 悌 士\*\* 藺 田 誠\*\*  
 大 堀 久\*\*\* 津 田 喬 子\*\*\*

## 要 旨

呼吸循環動態が危機的状況に陥り、従来の治療法によっては生命維持が困難と判断された ICU 入室患者 7 症例に対して、Cardiopulmonary bypass (以下 CPB) を適用し一時的に心肺機能の補助を試みた。その結果、心肺蘇生法施行中から CPB を開始した 2 例を含めた全例において、CPB 開始直後から危機的呼吸循環動態を脱することに成功し、3 例が CPB を離脱し、そのうち 2 例は全く後遺症を残さずに回復した。緊急 CPB はこれまで救命できなかった症例の有力な治療手段となり得るが、ICU における緊急 CPB の対象症例は、蘇生患者を含め瀕死の症例が多く、必要な場合には一刻も早く CPB を開始できる技術と体制を ICU に整備してゆくことが、救命率を向上させる上で肝要である。

## はじめに

現在までに、開心術中に人工肺と血液ポンプを用いて一時的に心肺機能を代替する技術は、ほぼ確立したものとなっている。さらに近年、通常の治療に抵抗する重症呼吸不全や循環不全あるいは心肺蘇生患者にたいしても、同様の装置を用いて一時的に心肺機能を補助する試みがなされるようになってきた。我々の ICU でも 1990 年 4 月以降

現在までに 7 例の緊急 Cardiopulmonary bypass (以下 CPB) を経験し 2 例の救命に成功した。ICU における CPB 症例の特殊性、施行上の問題点などを含め報告する。

## 対象と方法

## 1. 対象患者

1990 年 4 月から 1991 年 5 月までに名古屋第二赤十字病院 ICU に収容された 685 症例のうち重症呼吸不全、循環不全あるいはその両者を合併した患者で、通常の方法では生命維持が困難と判断され、かつ病態が可逆性であると思われた 7 症例を対象とした (Table 1)。対象患者の年齢は 6 才から 56 才で中央値は 31 才であった。原疾患は肺塞栓症 2 例、急性心筋梗塞、気管支喘息大発作、その他であった。呼吸不全が CPB 適用の主な理由であったものは 2 例 (Pt1, 4)、循環不全が主な理由であったものは 1 例 (Pt2)、残る 4 例は呼吸循環ともに危機的状態であった。2 例 (Pt5, 6) は心肺蘇生法施行中から CPB を開始した。

CPB の施行を決断した時点で家族が当院に到着していなかった 2 例 (Pt4, 5) を除いて、全例の家族に CPB による生命維持の必要性和出血や四肢の虚血あるいは血栓、空気による塞栓症などの考える合併症について口頭で説明し、同意を得た。さらに上記 2 症例についても、CPB 施行後、家族の到着を待って承諾を得た。

## 2. CPB の方法

心肺補助装置は膜型人工肺、ローラーポンプ、ポンプコントローラー、ガスブレンダー、熱交換

\*名古屋第二赤十字病院 ICU

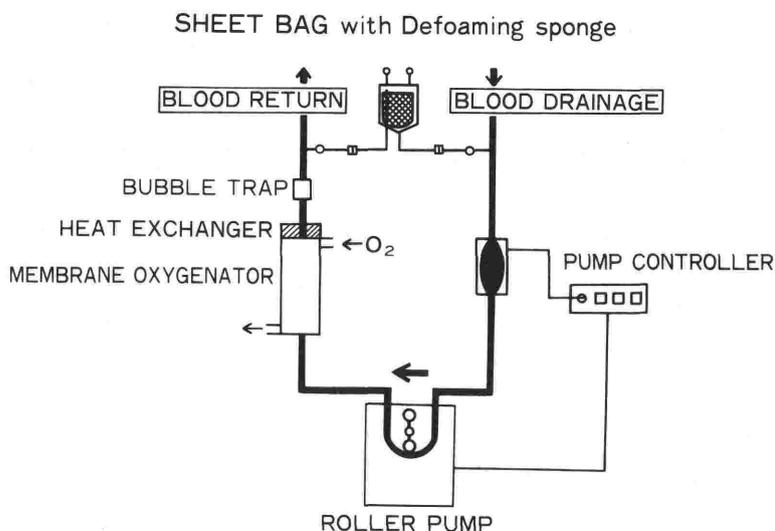
\*\*同 ME 部

\*\*\*名古屋市立大学医学部麻酔・蘇生学教室

**Table 1** Demographic data and indications for CPB.

Patient	Age	Sex	Disease	Indication for CPB	
				respiratory failure	circulatory failure
1	31	F	pulmonary hemorrhage	○	—
2	6	F	postoperation for ECD	—	○
3	56	F	pulmonary embolism	○	○
4	7	M	traumatic bronchial rupture	○	—
5	20	M	status asthmaticus	○	○*
6	37	F	acute myocardial infarction	○	○*
7	43	F	pulmonary embolism	○	○

\* CPB was started during cardiopulmonary resuscitation.



**Fig. 1** CPB circuit schema.

器などからなり、脱血チャンバー内の陰圧によりポンプの回転数を自動制御できるようにした (Fig. 1)。回路は内径3/8インチのポリ塩化ビニル製 MT チューブ™ (泉工医科工業, 東京) を用いた簡便な閉鎖式回路で、人工肺をのぞいた回路内の充填容量は約 430 ml である。脱・送血回路シャント部分に組み込んだ除泡網入りソフトバッグを用いて人工肺・回路の充填、気泡抜きが簡単かつ短時間にできるように工夫し、さらに万一の気泡混入に対応するため、送血管側に bubble trap を挿入した。

CPB は全例 veno-arterial bypass extracorporeal lung assist, extracorporeal lung and heart

assist (V-A ECLA, ECLHA) で、小児症例 (Pt2, 4) を除いて脱・送血管はすべて経皮的穿刺法で挿入した。

人工肺は、成人症例では主にコイル型膜型肺 SciMed II model SM25™ (SciMed Life Systems Inc., Minneapolis, MN) を用いたが、Pt7 ではヘパリン結合中空糸外部灌流型人工肺 (MAXIMA™ hollow fiber oxygenator with Carmeda™ bioactive surface: Medtronic Blood Systems Inc., Anaheim, CA, 以下 MAXIMA 肺) の入手が可能となり、これを使用した (Table 2)。

抗凝固薬はヘパリンを持続点滴で使い ac-

**Table 2** Blood access and artificial lung information.

Patient	Insertion	Blood drainage		Blood return		Artificial lung
		Location	Catheter	Location	Catheter	
1	percutaneous	femoral vein	Cook (18Fr.)	femoral artery	Cook (16Fr.)	SciMed 0800-2A™
2	surgical	right atrium	Shiley (18Fr.) Shiley (20Fr.)	ascending aorta	Argyle (14Fr.)	MERASILOX HSO-2.5™
3	percutaneous	internal jugular vein	Medikit (18Fr.)	femoral artery	Medikit (16Fr.)	SciMed II SM25™
4	surgical	femoral vein	Shiley (16Fr.)	femoral artery axillar artery	USCI (14Fr.) USCI (10Fr.)	SciMed 0800-2A™
5	percutaneous	femoral vein internal jugular vein	Medikit (16Fr.) Medikit (16Fr.)	femoral artery	Medikit (16Fr.)	SciMed II SM25™
6	percutaneous	femoral vein	Medikit (22Fr.)	femoral artery	Medikit (16Fr.)	SciMed II SM25™
7	percutaneous	femoral vein	Medikit (22Fr.)	femoral artery	Medikit (16Fr.)	MAXIMA™*

\* MAXIMA hollow fiber oxygenator with Carmeda™ bioactive surface

**Table 3** Data for functional parameters before and during CPB.

Patient	Cardiopulmonary bypass			mBP	Circulatory conditions				Respiratory conditions			
	Preparation time	Total CPB time	CPB flow rate		before CPB	during CPB	lactate	lactate				
				HR	UV	lactate	mBP	HR	UV	lactate		
1	35	33	2.00	73	140	40	80	80	120	100	78	not reduced
2	60	213	2.50	30	200	6	72	70	160	15	13	partially reduced
3	40	7	1.40	45	150	140	155	95	130	150	182	partially reduced
4	80	15	2.10	55	150	120	—	67	160	150	67	total lung rest
5	40	36	3.60	0	0	0	60	87	125	250	48	total lung rest
6	30	24	2.89	0	0	0	202	87	130	150	53	total lung rest
7	35	24	2.27	55	58	5	67	83	108	500	23	partially reduced

Preparation time: From decision to perform CPB to starting the operation (minutes), mBP: mean blood pressure (mmHg), HR: heart rate (beat/min), UV: urinary volume (ml/hr), Total CPB time (hours), CPB flow rate (l/min) lactate: blood lactate concentration (mg/dl)

tivated coagulation time (以下 ACT) を200秒前後に維持した。症例7では ACT 170秒を目標とした。

### 3. 統計学的検討

統計処理には、Mann-Whitney のU検定を用い、危険率5%を以て有意とした。

## 結 果

CPB 施行を決断してから実際に CPB を開始するまでに要した時間は、脱・送血管を経皮的に挿入した成人症例 (Pt1, 3, 5, 6, 7) では30分から40分と比較的短時間であったが、外科的に挿入した小児症例 (Pt2, 4) では60分から80分と、より長時間を要した。CPB を施行した時間は、7時間から213時間、中央値33時間であった (Table 3)。

対象とした7症例とも、CPB 開始直後から危

機の呼吸循環動態を脱することに成功した。CPB 中の呼吸条件は3例で total lung rest の状態を達成し (Pt4, 5, 6), 3例で満足すべきレベルまで呼吸条件を緩和することが可能であった (Pt2, 3, 7) (Table 3)。同じく CPB 中の循環動態については、平均動脈圧、時間尿量が有意に増大し、血中乳酸値も低下傾向を示した (Table 3, Fig. 2)。さらに CPB 開始とともに、カテコラミン投与量を減じることができた (Table 4)。

心肺蘇生法施行中から CPB を開始した2症例 (Pt5, 6) は、CPB 開始まで Pt5 では30分間、Pt6 では40分間、通常の方法による心肺蘇生を試みていたにもかかわらず心拍は再開しなかったが、両症例とも CPB 開始直後に心拍が再開し、心マッサージを中止する事ができた。

CPB 施行中に出血性病巣を伴っていたのは、

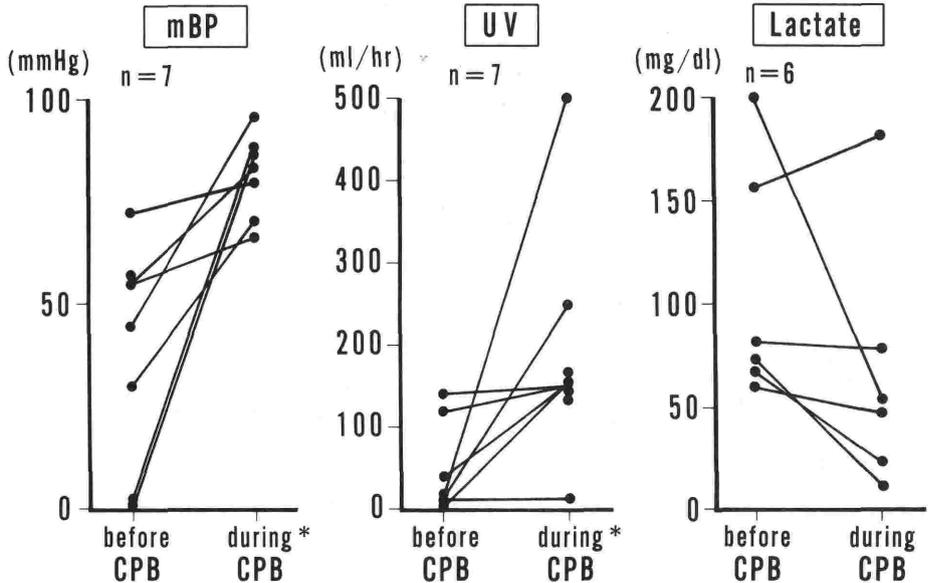


Fig. 2 Data for functional circulatory parameters before and during CPB.  
 mBP: mean blood pressure, UV: urinary volume, lactate: blood lactate concentration.  
 \*p<0.05, Mann-Whitney U-test.

Table 4 Catecholamine infused before and during CPB.

Patient		before CPB	during CPB
1	NA	4.2	—
	DOA	10	3.3
2	Ad	1.8	—
	DOA	21	7.1
3	Ad	1.2	0.4
	NA	0.7	—
	DOA	9.5	3.6
4	DOA	27	33
5	Ad	1.4	0.1
6	Ad	0.7	—
	NA	1.9	0.2
	DOA	15	7.4
7	NA	0.9	—
	DOA	13	8.9
	DOB	13	8.9

(microgram/kg/min)

Ad : adrenaline, NA : noradrenaline  
 DOA : dopamine, DOB : dobutamine

肺出血を呈していた Pt1, 多発外傷の Pt4, 気胸に対して胸腔穿刺を施行した Pt6 の3例であったが, 血小板を輸注したにもかかわらず出血のコントロールは困難であった. Pt4 では止血を期待して呼吸循環とも十分な回復を見ないままに CPB を離脱したが, その後全身状態は急速に悪化し患者は死亡した.

最終的に CPB を離脱し, ICU を退室したのは2症例 (Pt5, 7) であったが, これらの症例は全く後遺症を残さずに回復した.

### 考 察

1970年代から, 人工心肺を成人の呼吸不全の治療に応用する試みがなされてきたが, 当初の治療成績は満足すべきものではなく<sup>1)</sup>, 以来 CPB による呼吸不全の治療は新生児の extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) が中心となってきた<sup>2)3)4)</sup>. しかし最近, 成人の可逆性の重症呼吸循環不全に対して, CPB を適用して一時的な呼吸循環補助を行う治療が再度試みられるようになり, 少なからず救命例も報告されるようになってきており<sup>5)6)7)8)</sup>, さらに心肺蘇生時にも応用されるようになってきている<sup>9)10)11)</sup>. わが国では新生児で

ECMO の適応となる症例は思いのほか少なく<sup>12)</sup>、今後はむしろ成人症例が数多く緊急 CPB の適応となると考えられ、ICU においても、これまで救命できなかった呼吸循環不全症例や蘇生症例の有力な治療手段になり得ると考えられる。

ICU における CPB の適応疾患は、開心術後のポンプ不全に対する、いわゆる人工心肺を利用した循環補助もそのひとつであるが、開心術後以外では、たとえば心不全の合併が軽度の慢性呼吸不全急性増悪期 acute on chronic のような呼吸補助のみを要する病態や、呼吸不全が軽度の急性心筋梗塞のように循環補助のみを要する病態、さらに呼吸循環の両方を機械的に補助する必要のある病態が考えられる。ICU で CPB を必要とする患者は、最後にあげた呼吸、循環の両因子が危機的状態である場合が多く、今回報告した7例のうち4例 (Pt3, 5, 6, 7) に対しては、呼吸、循環の両方を補助する目的で CPB を開始した。かかる状況では患者は瀕死の危機にさらされており、CPB の導入は一刻を争う場合が多い。我々の症例においても2例 (Pt6, 7) で心肺蘇生法施行に並行して CPB を導入した。このような場合には、いかに短時間で CPB を開始できるかが要点であり、そのためには1) 簡便で充填し易い回路を使用する、2) 脱・送血管の挿入時間を短縮する、この2点が最も重要である。我々は回路の組立時間を短縮するために、一本のU字型回路を基本とした簡便な回路を用い、さらに脱・送血回路のシャント部分の除泡網入りソフトバッグにより気泡抜きがより短時間で可能となるように工夫した。さらに、緊急な回路の組み上げに際して、万一の気泡混入に対応するため回路の送血側に bubble trap を装着した。

脱・送血管の挿入に要する時間は、外科的に行うよりもセルジンガー法によって経皮的に挿入した方がより短時間に行うことができ有利である<sup>13)</sup>。確かに外科的に脱・送血管を挿入すれば、より太いカテーテルを用いることによって確実に大量の bypass flow を得ることができ、二重管を挿入すれば1本のカテーテルによって V-V ECLA を行うことが可能であるなどの利点もある<sup>14)</sup>。しかし我々の症例でも、CPB 適用を決断してから CPB が開始されるまでの時間は経皮的に脱・送血管を挿入した症例の方が短く、経験あ

る外科チームがいなくても素早い挿入が可能であること、心肺蘇生中であっても大腿動静脈から容易に挿入できること、今回使用した脱・送血管で十分な bypass flow を得ることができたこと等を考え合わせると、セルジンガー法に習熟した ICU 専従医の管理する ICU では、まず経皮的脱・送血管の挿入を行うべきであろう。

CPB に伴う最も大きな合併症は抗凝固薬の使用による出血と、太いカテーテルを動脈に挿入することによる末梢の循環障害である。出血については、あらかじめ出血病巣がある場合は言うまでもなく、脱・送血管挿入部位、各種カテーテル挿入部位の出血には十分注意し、CPB 開始以後には可能な限り観血的処置を避けることが重要である。我々も、CPB 開始後に気胸を発見し胸腔穿刺を行ったところ刺入部からの止血が困難となったことを経験したので (Pt6)、緊張性でない気胸は保存的に経過を観察すべきであったと反省している。しかし現在では、Pt7 に用いたヘパリン結合人工肺 (MAXIMA 肺) が入手可能となり、今後ヘパリン結合回路の市販も開始されれば抗凝固薬の使用量は極端に節減でき、出血性病巣を持つ症例での CPB が容易になると期待される<sup>15)</sup>。

残る問題点としての末梢の虚血であるが、カテーテル挿入によって、その部位より末梢側の循環が悪化することは当然予想される。適切なカヌーラサイズの選択と留置後の十分な観察を必要とする。今回の症例は、すべて V-A ECLA で各症例とも動脈にカニューレションを行ったにもかかわらず、それに伴う四肢の虚血は幸いにも観察されなかった。

最後に、緊急 CPB には臨床工学技士を含めたチーム医療が不可欠であり、必要な場合は昼夜を問わず直ちに CPB を開始でき、さらに長時間にわたる体外循環を管理できる体制を ICU に整備することが何よりも重要であることを強調したい。

## ま と め

1. ICU における緊急 CPB は、蘇生中の症例や従来の治療では救命できない危機的な呼吸循環不全症例の有力な治療手段と考えられる。
2. CPB の施行・管理技術の習熟はもちろん、迅速に CPB を施行できる体制の整備が肝要である。

本稿の要旨は第12回日本循環制御医学会総会で発表した。

稿を終えるにあたり、ご校閲をいただきました名古屋市立大学医学部麻酔・蘇生学教室勝屋弘忠教授に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Zapol, W. M., Snider, M. T., Hill, J. D., et al.: Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. *JAMA.* 242: 2193~2196, 1979.
- 2) Bartlett, R. H., Gazzaniga, A. B., Huxtable, R. F., et al.: Extracorporeal circulation (ECMO) in neonatal respiratory failure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 74:826~833, 1977.
- 3) Bartlett, R. H., Gazzaniga, A. B., Fong, S. W., et al.: Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 73:375~386, 1977.
- 4) Bartlett, R. H., Andrews, A. F., Toomasian, J. M., et al.: Extracorporeal membrane oxygenation for newborn respiratory failure: Forty-five cases. *Surgery* 92:425~433, 1982.
- 5) 森岡 享, 寺崎秀則: ECMO (ECLA). *救急医学* 12: 1721~1728, 1988.
- 6) 竹下次郎, 矢野敏之, 津野恭司ほか: ECLA により救命しえた重症肺炎の1例. *日本胸部臨床* 47: 770~775, 1988.
- 7) Phillips, S. J., Zeff, R. H., Kongtahworn, C., et al.: Percutaneous cardiopulmonary bypass: Application and indication for use. *Ann. Thorac. Surg.* 47:121~123, 1989.
- 8) Shawl, F. A., Domanski, M. J., Hernandez, T. J., et al.: Emergency percutaneous cardiopulmonary bypass support in cardiogenic shock from acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiology* 64: 967~970, 1989.
- 9) 加納龍彦, 志茂田治, 江崎公明ほか: 緊急心肺バイパスによる CPR. *麻酔* 38: 932~940, 1989.
- 10) Reichman, R. T., Joyo, C. I., Dembitsky, W. P., et al.: Improved patient survival after cardiac arrest using a cardiopulmonary support system. *Ann. Thorac. Surg.*, 49:101~105, 1990.
- 11) 金子正光, 氏家良人, 伊藤 靖: 搬入時心停止 (DOA) 症例に対する人工心肺スタンバイ方式の可能性. *医学のあゆみ* 154: 172~175, 1990.
- 12) 小口弘毅: 膜型人工肺. *小児医学* 23: 281~299, 1990.
- 13) Phillips, S. J., Ballentine, B., Slonine, D., et al.: Percutaneous initiation of cardiopulmonary bypass. *Ann. Thorac. Surg.* 36:223~225, 1983.
- 14) 寺崎秀則: ECLA の現状と今後の課題. *ICU と CCU* 13: 795~802, 1989.
- 15) 寺崎秀則, 竹下次郎, 江崎公明ほか: ヘパリン結合 MAXIMA 人工肺と回路による extracorporeal lung and heart assist の急性重症心肺不全治療への応用. *膜型肺* 13: 91~97, 1990.

## Emergency Cardiopulmonary Bypass in the ICU.

Sadaya Tanahashi\*, Norifumi Mabuchi\*, Shoji Ito\*  
Hiroe Takasu\*, Teiji Yamada\*\*, Makoto Sonoda\*\*  
Hisashi Ohori\*\*\* and Takako Tsuda\*\*\*

\*Division of intensive care,  
Nagoya Daini Red Cross Hospital, Nagoya 466

\*\*Division of clinical engineering,  
Nagoya Daini Red Cross Hospital, Nagoya 466

\*\*\*Department of anesthesiology & resuscitology,  
Nagoya City University Medical School, Nagoya 467

We put seven ICU patients on emergency cardiopulmonary bypass (CPB), because their respiratory and/or circulatory failures were so severe that their lives were threatened even with maximal conventional therapies. In all patients, including two instituting CPB during cardiopulmonary resuscitation, respiratory or circulatory conditions improved immediately and dramatically after establishing the bypass. Of these seven patients, three could subsequently be weaned from CPB, and two of these three

recovered without any sequela.

These results suggest that CPB can be used as an emergency life-saving measure in ICU when conventional treatments or resuscitation fail. However, since patients are all in dying condition, rapidity and safety of the procedure are mandatory. To obtain better survival rate, it is essential to have skillful emergency CPB team that is ready to start bypass procedure immediately upon request at any time.

**Key words:** cardiopulmonary bypass (CPB), extracorporeal lung assist (ECLA), extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), artificial lung, cardiopulmonary resuscitation (CPR)