

# ICU における患者アセスメント

## 重症呼吸不全に対する VV ECMO 管理と 患者アセスメント

日本医科大学付属病院 ME 部

佐藤 望 SATO, Nozomi



### 概要

VV ECMO は重症呼吸不全における最も強力な呼吸補助装置である。ECMO 管理は長期に及び患者とかわる治療であり、その管理のなかで多くの判断が必要となる。ICU スタッフの知識と技術を集結させ、ECMO チームで協力して行わなければならない。



### Key Word

lung rest 酸素需給バランス ECMO チーム

### 1

#### はじめに

VV ECMO は、重症呼吸不全に対して行う、酸素化や二酸化炭素の排出を目的とした体外循

環法である。重症呼吸不全に対する呼吸を代替でき、十分な酸素供給による全身状態の安定化を図り人工呼吸器により発生する VALI を防ぎつつ、原疾患の治療時間を稼ぐことができる。2009 年に CESAR study で ECMO の有用性が示唆された<sup>1)</sup>ことを境に本邦でも普及し、件

A/C: assist/control  
 ACT: activated coagulation time  
 ADL: activities of daily living  
 AOI: age-adjusted oxygenation index  
 APPS: age plateau PaO<sub>2</sub>/F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> score  
 APTT: activated partial thromboplastin time  
 ARDS: acute respiratory distress syndrome  
 ATⅢ: antithrombin Ⅲ  
 CO: cardiac output  
 CPAP: continuous positive airway pressure  
 CRRT: continuous renal replacement therapy  
 ECMO: extracorporeal membrane oxygenation  
 ECPR: extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

ELSO: Extracorporeal Life Support Organization  
 Hb: hemoglobin  
 HIT: heparin-induced thrombocytopenia  
 ICU: intensive care unit  
 NPPV: non-invasive positive pressure ventilation  
 PEEP: positive end-expiratory pressure  
 PT: prothrombin time  
 SBT: spontaneous breathing trial  
 TAT: thrombin-antithrombin complex  
 VALI: ventilator-associated lung injuries  
 VA: veno-arterial  
 VV: veno-venous

表1 ECMO 導入基準<sup>3)</sup>

1	低酸素性呼吸不全(1次性・2次性)で、死亡の危険性が50%以上あれば、ECMOの導入を考慮すべきである。また、死亡の危険性が80%以上あれば導入の適応である。	
	死亡率50%	(1) $F_iO_2 > 0.9$ にて $PaO_2/F_iO_2 < 150$ かつ、または Murray Lung Injury Score 2-3, (2) AOI score 60
	死亡率80%	6時間以内の最適な治療を施行したにもかかわらず、(1) $F_iO_2 > 0.9$ にて $PaO_2/F_iO_2 < 100$ かつ、または Murray Lung Injury Score 3-4, (2) AOI > 80, (3) APPS score 8
2	非代償性高二酸化炭素血症 人工呼吸器設定 ( $P_{plat} > 30 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) にもかかわらず $CO_2$ が貯留する	
3	重度の air leak syndromes	
4	肺移植待機患者で気管挿管が必要な患者	
5	心・肺機能の突然の破綻	

数が年々増加している<sup>2)</sup>。ECMO 管理では肺を休めて (lung rest) 患者の回復を長期的に待つこともしばしばあるが、侵襲は人工呼吸器よりも大きいことより導入は慎重に検討され、ECMO 管理は ECMO チームで協力し計画的かつ安全に行わなければならない。

## 2

### 導入と準備

前述したように、ECMO は長期にわたり使用する可能性があり、侵襲も大きい。また ECMO 自体は治療ではなく、あくまで肺の治療を行う間の補助でしかない。

人工呼吸器を使用しても生命維持が困難であるという理由だけでは ECMO の適応とはならない。肺の回復が見込めるかも考慮する必要がある。ELSO のガイドライン<sup>3)</sup>に記載されている導入基準を表1に示す。ECMO の絶対的な除外基準こそないが、基礎疾患や合併症のリスクなどを踏まえ、リスクとベネフィットをよく検討し導入する必要がある。その際、臨床工学技士も医師や看護師などの ICU スタッフとともに患者の状態を理解し、協議しておくべきである。原疾患や重症度はもちろんのこと、元々の ADL や患者本人と家族とのかかわりも把握

しておく事項である。なぜならば、VV ECMO の場合、長期での管理が想定されるため精神的サポートは重要な項目となり、看護師だけでなく ICU スタッフ全員によるサポートが必要となるからである。さらに ICU という特殊な環境下では、我々医療スタッフの力だけで患者のストレスを軽減することは限界があり、患者家族のサポートも必要不可欠となる。VV ECMO では ECPR や VA ECMO とは異なり若干の時間的猶予があるため、かかわるすべてのスタッフが前もって理解しておくことも ECMO 管理において重要である。

これらの協議を踏まえ ECMO 導入となる場合は、実際の使用物品や回路構成、導入後 CRRT の施行などを話し合わなければならない。特に導入の際の回路構成は要検討項目である。患者の体格に合ったガス交換を達成するため、人工肺を2つ使用する場合もあれば、CRRT の導入を検討しているが透析用のカテーテル挿入が困難で止むを得ず ECMO 回路にコネクタを組み込まなければならないこともある。このような手技は ECMO 導入後では一時体外循環を停止させて行う必要があるが容易にはできないため、医師と臨床工学技士でしっかりと話し合っておく必要がある。

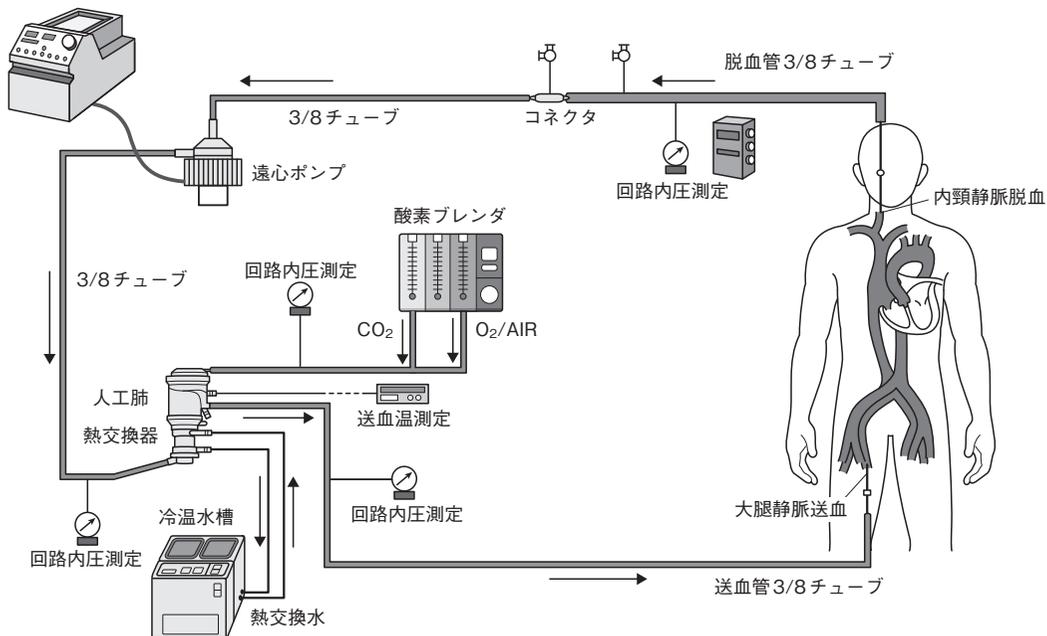


図1 日本医科大学付属病院の ECMO 回路図

3

ECMO 中の管理

3-1 機器・回路の管理

ECMO は、血液を体外から引き出すための血液ポンプとガス交換を行う人工肺、ポンプの駆動源となるコンソールで構成されている。回路には、血液流量を把握するための流量計と回路内圧をモニタリングするための圧モニタを装着している。図1に当院のECMO回路を示す。圧モニタは血液ポンプ前の回路圧を脱血圧、人工肺前後の回路圧をそれぞれ肺前圧と肺後圧、送気ガスラインの圧をガス圧として常時モニタリングしておりリアルタイムの表示が可能であるため、経時的変化を捉えることができる。血液流量と、圧モニタで測定した圧力変化を用いて回路の評価が可能となり、回路に生じるさま

ざまなトラブルを発見することができる。表2に想定されるトラブルと流量・圧力の変化を示す。

この変化は1点だけをサンプリングして評価しても意味はなく、必ず経時的に評価しなければならない。例外として、患者の咳嗽や体位などにより一時的または瞬間的に大きな変化を認めることがあるが、通常、血栓などによる変化は緩やかであることが多いため、施設ごとのチェックリストを作成し、少なくとも1時間ないしは2時間ごとに変化を追う必要がある。図2に当院のECMOチェックリストを示す。

しかし、数値だけでの評価を過信せず、定期的な回路の確認を怠ってはならない。ECMOの合併症とその頻度は、感染症や創部出血に次いで回路内血栓や人工肺不全がトラブルとして多いことが報告されている<sup>4)</sup>。血栓やエア、接続部の緩みやリークなどがいないかをカニューレ部より丁寧に複数の目で観察し、少しでも異常を感じた場合はECMOチームへの相談を行

表2 トラブルにおける流量と圧力変化

	ECMO 流量	脱血圧	肺前圧	肺後圧	ガス圧	考えられる原因
脱血不良	減少	低下	低下	低下	—	脱血カニューレ血栓・位置不良、 脱血回路キックなど
送血不良	減少	上昇	上昇	上昇	—	送血カニューレ血栓・位置不良、 送血回路キックなど
ポンプ不全	減少	上昇	低下	低下	—	血液ポンプ内血栓、血液ポンプ異常
人工肺不全	減少	上昇	上昇	低下	—	人工肺血栓
送気ガス不全	—	—	—	—	低下	供給ガス残量不足、供給ガス停止、 ガス接続部の脱落

20 年 月 日 (ECMO日数: ) 名前: 年齢: 性別: 身長: cm ドライウエイト: kg 体表面積: m <sup>2</sup>		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ECMO設定	ECMO総時間 [hr]																								
	O <sub>2</sub> /Air 流量 [L/min]																								
	FiO <sub>2</sub> [%]																								
	CO <sub>2</sub> 流量 [ml/min]																								
	熱交換器設定温度 [°C]																								
	ポンプ回転数 [rpm] / (C)																								
	ECMO 流量 [L/min] / TOTAL																								
	ECMO 流量 [L/min] / V																								
	ECMO 流量 [L/min] / A																								
	P1 脱血圧 (ゼロバランス: + mmHg) / P <sub>Ven</sub>																								
P2 肺前圧 (ゼロバランス: + mmHg) / P <sub>Pre</sub>																									
P2 肺後圧 (ゼロバランス: + mmHg) / P <sub>Art</sub>																									
P4 ガス圧 (ゼロバランス: + mmHg)																									
肺前後圧較差 / ΔP [圧較差]																									
T <sub>Ven</sub> /T <sub>art</sub> [°C]																									
Hb [g/dl] / Hct [%]																									
(脱血回路) cSvO <sub>2</sub> [%] / SvO <sub>2</sub>																									
脱血不良 (C=チャタリング・S=サックダウン)																									
バイタルサイン	平均動脈圧 [mmHg]																								
	CVP [mmHg]																								
	SAT [%] (部位 )																								
	BIS																								
	足底温 [°C] 右																								
足底温 [°C] 左																									
薬物	抗凝固 ( ) 流量 [ml/hr]																								
	ACT [sec]																								
	APTT [sec]																								
	O <sub>2</sub> フラッシュ																								
	CO <sub>2</sub> ポンベ残量 2次側(左)/1次側(右)																								
1日3回確認 (NS)	1 (深夜)	9 (日勤)	17 (準夜)																						
	刺入部の固定																								
	刺入部の出血の有無																								
	熱交換器水位確認																								
	コントロールモード																								
	電源確認 (AC電源作動)																								
	ペーパンの確認 [本]																								
サイン																									
3点血ガス確認 (MED)	(基本9時)	P	V	OX																					
	PH																								
	pCO <sub>2</sub>																								
	pO <sub>2</sub>																								
	BE																								
ルアー・電極・酸素 (MED)	(基本9時)	チェック																							
	P1 flush/ 零点確認																								
	P2 flush/ 零点確認																								
	P3 flush/ 零点確認																								
	CHDF ライン flush (戻/送)																								
回路確認 (MED)	(基本9時)	チェック																							
	回路チェック																								
	肺チェック																								
	ポンプチェック																								
	熱交換器チェック																								

図2 日本医科大学付属病院のECMOチェックリスト

う。特に回路内血栓の場合、回路交換や人工肺交換などの緊急対応が求められることもある。血液データも確認し、凝固線溶系の異常がないかは見逃してはいけない。

### 3-2 抗凝固管理

ELSOの抗凝固ガイドライン<sup>5)</sup>では、抗凝固療法の必要性や導入時の未分画ヘパリン投与量などが記載されているが、ECMO管理中の目標となるものはACT 180~220秒との記載があるのみで、明確な文献による根拠は記されて

いない。ECMO 管理中の出血や血栓予防のための至適量は、各施設において医師の経験に基づき決定されている施設が多いだろう。当院では、導入時の初回ヘパリン投与量を 3000～5000 単位としている。また、持続投与量は 1000 単位/hr とし、ACT や APTT を測定しながら調節を行う。延長または短縮しているのであれば 100 単位/hr ずつ増減させる。4 時間ごとに ACT 測定を実施し、180～200 秒程度で管理している。導入直後や値が安定しない場合は、1 時間ごと、もしくはさらに頻回の測定を実施している。また、1 日 4 回血液データを測定し、APTT 50～80 秒程度を目標に調節しているが、出血の有無や回路内血栓の状態を確認し、ACT・APTT は、患者ごとに管理方法を変えている。

HIT があればアルガトロパンを用いた抗凝固療法への変更も考慮しなければならない。その他の検査項目として、PT や ATⅢ、TAT、D ダイマーなども確認している。たとえば回路内に血栓があり、人工肺前後の圧較差が増大していないとしても、フィブリノーゲンの低下や D ダイマーの持続的な上昇を認めた場合は、早期の回路交換も検討しなければならない。その際に、緊急で回路交換や人工肺交換ができるように、物品準備と、安全に施行できるようマニュアル整備やトレーニングを積んでおかななくてはならない。

### 3-3 ガス交換能と需給バランスの管理

ECMO では、患者の酸素消費量と二酸化炭素の産生量に見合った血液流量が必要とされる。成人では 60～80 mL/kg/min 程度が要求されるため、体重 60 kg の患者では 3.6～4.8 L/min が目標血液流量となる。

ECMO の送血側酸素飽和度は 100% であるが、そのままの状態ですべてに供給されるわけではない。ECMO では、全身から戻ってきたす

べての静脈血を脱血することは不可能であり、ECMO にて酸素化された血液と酸素飽和度の低い静脈血が必ず混合されるため、実際に全身を還流する動脈血酸素飽和度 ( $SaO_2$ ) は 80～85% 程度となる。しかし、自己肺のガス交換機能が完全に失われている場合、 $SaO_2$  はさらに 70% 程度まで低下することがある。その場合、鎮静薬や筋弛緩薬を用いて酸素消費量を抑え輸血により Hb を増加させれば、全身の酸素供給バランスは保たれ、代謝の低下には至らない。酸素の需給バランスが保たれていれば、低い Hb の値でも許容できると考えられる。

動脈血酸素含量 ( $CaO_2$ ) =  $(1.36 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$  であり、実際に組織に運ばれる酸素運搬量 ( $DO_2$ ) =  $CaO_2 \times CO$  である。VV ECMO では心機能が低下していない患者に用いるため、 $SaO_2$  が低下している場合、血液流量と Hb を増加させればよいことがこの式からも想像できる。また、酸素需給バランスの評価には ECMO の脱血側から採取する静脈血酸素飽和度 ( $SvO_2$ ) が用いられ、その管理目標は 65～75% 程度である。 $SvO_2$  が低下した際、酸素消費量の増加や自己肺機能の悪化があげられる。逆に 75% 以上に上昇する場合は、自己肺機能の改善やリサーキュレーション率の増加を考えなくてはならない。カニューレシオンの位置によって異なるものの、VV ECMO では脱血と送血のカニューレの先端が近く流量も多いため、必ず発生する。リサーキュレーション率が高くなる原因として、心機能の低下やカニューレの位置ずれが考慮され、医師による心エコーや胸部 X 線写真を用いた評価が必要となるため、念頭に置いておく必要がある。

$CO_2$  に関しては、血流量と送気ガスの量で決まる。自己肺による換気が強化できない状態であるため、自己の  $PaCO_2$  を確認しながら正常範囲内に維持する。 $PaCO_2 > 50$  mmHg の場合は、急激な変化に注意し、1 時間に 10～20 mmHg 程度の低下に抑えた管理を心がけるほ

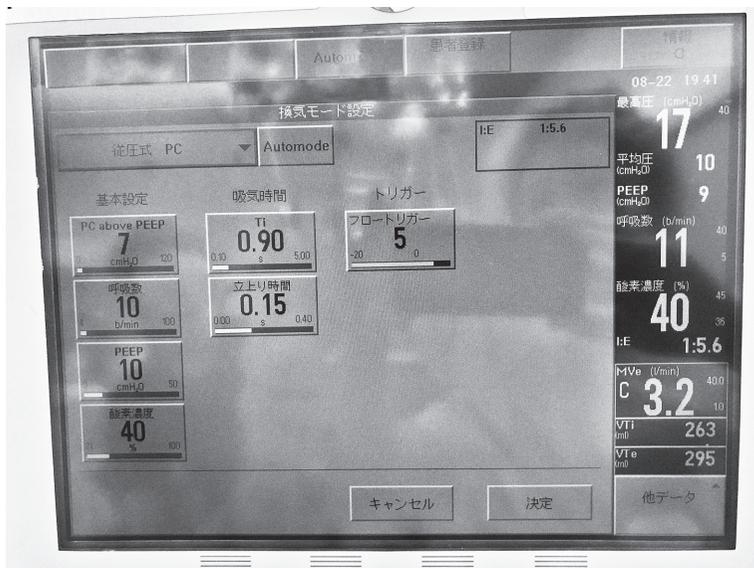


図3 人工呼吸器設定の一例

- ・  $F_{I}O_2$  および吸気圧が低い設定となっているか
  - ・ 吸気時間は患者の呼吸と同調しているか\*
  - ・ トリガ設定はミストリガをしないレベルとなっているか
- \* : ELSO のガイドライン<sup>3)</sup>では I : E = 2 : 1 となっているが、自発呼吸のある患者ではより患者の呼吸に合わせた設定とすべきである。

うがよい。

### 3-4 呼吸管理

ECMO 中の人工呼吸器管理では、肺を休ませる設定、いわゆる lung rest 設定にするべきである。ELSO のガイドラインでは  $F_{I}O_2 < 0.4$ ,  $P_{plat} < 25 \text{ cmH}_2\text{O}$  と記載されているが<sup>3)</sup>、決まったモード設定については記されていない<sup>6)</sup>。図3は当院の ECMO 管理中の人工呼吸器設定の例である。

当院においても決まったモードはないが、ECMO 導入後は鎮静を深め、多くは A/C としている。ARDS による重症呼吸不全では、生命を維持できる高い設定から ECMO 導入後の図3のような設定へ変更すると、一回換気量は死腔換気量以下になることは珍しくなく、胸部 X 線写真でも肺野に含気はほとんど確認できず(図4)、肺機能はほぼ ECMO により行われることとなる。肺の炎症が徐々に改善されると、同じ設定にしても次第に一回換気量が増えてくるため、人工呼吸器の設定を上げる必要はない。ショックや多臓器障害がなく分泌

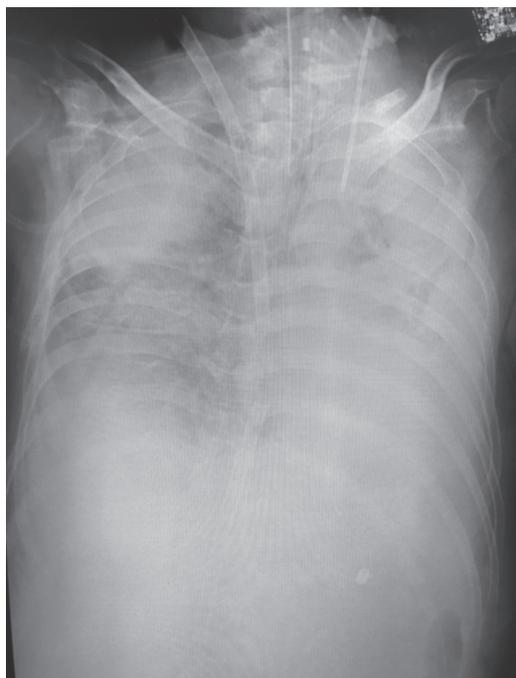


図4 ECMO 導入後の胸部 X 線写真

肺全体的に透過性が低下し、含気はほとんどみられない。このとき同時に人工呼吸器の数値、患者の呼吸様式や聴診器による肺音を確認し、現時点での肺の状態を知っておく。

物の自己喀出可能と判断できる場合、徐々に鎮静薬を減量し、自発呼吸と覚醒度合いを確認する。患者との同調性を確認しながら、CPAPなどの自発呼吸メインの設定へ変更していく。人工呼吸器設定をSBT可能な設定まで低下させても、ECMOにて十分な酸素供給が可能であれば抜管し、ネーザルハイフローやNPPV療法に切り替えることもできるだろう。抜管すればりハビリテーションやコミュニケーションは向上し経口摂取も可能となり、患者のストレスは減少するかもしれない。しかし、ECMO管理中の抜管は安定している患者でのみ行われるべきであり、ECMOチーム内でもよく検討されなければならない。人工肺酸素加能低下や血液ポンプ不全、また患者の呼吸状態が再び悪化した場合、酸素需給バランスが破綻しかねないため、全員に適応できる方法ではない。

#### 4

### 離脱のタイミング

人工呼吸器設定を低い状態に保ったまま、たとえばCPAP、 $F_{I}O_2 < 0.4$ 、 $PEEP < 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ の設定で自己肺の回復に合わせてECMOの血液流量を2~3 L/minまで低下させても $SvO_2$ および $SaO_2$ 、 $PaCO_2$ に変化を認めない場合、離脱のタイミングと評価できる。送気ガスを減量し、一時停止させた状態で2時間程度確認

#### ■文献

- 1) Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. CESAR trial collaboration : Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 374 (9698) : 1351-1363, 2009
- 2) Paden ML, Conrad SA, Rycus PT, et al. ELSO registry : Extracorporeal Life Support Organization Registry Report 2012. *ASAIO J* 59 (3) : 202-210, 2013
- 3) ELSO Adult Respiratory Failure Guidelines Version 1.4, p5-6, p20-21, 2017
- 4) Brodie D, Bacchetta M : Extracorporeal Membrane Oxygenation for ARDS in Adults. *N Engl J Med* 365 ( 20 ) : 1905-1914, 2011
- 5) ELSO Anticoagulation Guideline, 2014
- 6) ELSO Adult respiratory Failure Supplement to the ELSO General Guidelines Version1.3, p5, 2013

し、患者の呼吸様式や血液ガスデータを評価する。人工呼吸器の装着日数が長い患者では、炎症が改善した後に死腔の増大による $CO_2$ の貯留がみられる場合もあるため、呼吸様式にも注意しながら観察しなければならない。大きな変化がみられない場合は、ECMOの離脱が可能となる。

#### 5

### おわりに

当院では医師、看護師と、臨床工学技士が主となりECMOチームを結成し、ECMO患者の管理を一貫して行っている。さらに、患者の管理だけでなく、カンファレンスを開催し、ECMOに関与するすべての医師、看護師、臨床工学技士への教育を行い、安全なECMO運用へも力を注いでいる。

ECMO管理はチームで行うことにより、一段ときめ細やかで安全な管理が行える。それぞれがエキスパートであったとしても単独での評価や判断は難しい。さまざまな観点から観察・評価することにより、迅速かつ的確な対応が可能となり、それが良好な成績に結びつくと確信している。

■著者連絡先メールアドレス

n-sato@nms.ac.jp