

機械的循環補助の使い分け：IABP, ECMO, IMPELLA, LVAD ～各システムの特徴を知り、使い、使いこなす

九州大学病院心臓血管外科

牛島 智基, 塩瀬 明

Tomoki USHIJIMA, Akira SHIOSE



1. はじめに

心原性ショックおよび急性心不全に対する機械的循環補助 (mechanical circulatory support, MCS) の第一の目的は、血行動態の安定化であり、多臓器不全の回避である。MCS の治療効果を最大限に生み出すためには、多様化する各種 MCS の特性を十分に知り、使いこなす必要がある。経皮的 MCS では改善できない血行動態や有害事象が発生した場合には、セントラル MCS への移行 (アップグレード・エスカレーション) を躊躇なく検討する必要がある。

2023年には、各種 MCS の使用に関するガイドラインのフォーカスアップデート版¹⁾が公開されている。なお、MCS はあくまで呼吸循環を補助するためのデバイスであるため、MCS の導入とともに MCS の終了を見越した原疾患に対する治療計画をもつことが重要である。図1に、心原性ショック/急性心不全の初期治療で導入される経皮的 MCS の特徴をまとめた²⁾。

2. 3-system assessment

3-system assessment のコンセプトのもと、適切な MCS を選択する (図2)。すなわち、左心機能、右心機能、肺機能の3系統の重症度と MCS の必要性を評価し、補助特性に応じて適切な MCS を選択する。3-system assessment は MCS の導入時だけでなく、治療経過中も常に行われなければならない。

左心機能障害のみの場合には、重症度に応じて IABP (intra-aortic balloon pumping) または IMPELLA® (Abiomed

社) が適応となる。右心補助が可能なものは V-A ECMO (veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation) のみである。また、3系統すべてを補助することができるのも V-A ECMO のみである。重度の呼吸不全に対しては呼吸 ECMO (veno-venous ECMO, V-V ECMO) または人工肺を

	IABP	IMPELLA 2.5/CP/5.0/5.5	V-A ECMO
補助様式	圧補助	流量補助	流量補助
送血方向	-	順行性	逆行性
補助流量	0.3-0.5 L/min	2.5-5.5 L/min	3-5 L/min
心補助	左心補助	左心補助	両心補助
呼吸補助	なし	なし	あり
全身臓器灌流	↑	↑↑	↑↑
平均大動脈圧	↑	↑↑	↑↑
左室前負荷	→	↓	↓
左室後負荷	↓	↓↓	↑↑
左室拡張末期圧	↓	↓↓	↑

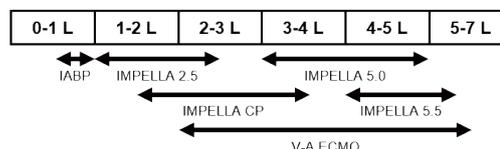


図1 経皮的MCSの特徴と血行動態への効果 (文献2より作成)

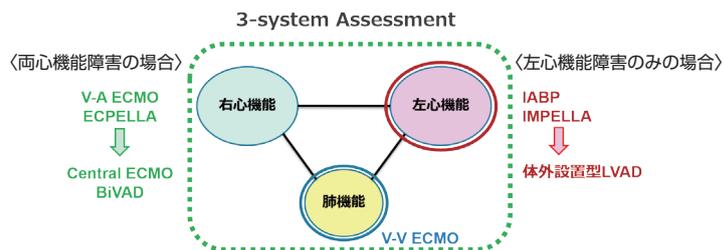


図2 適切なMCSの選択のための3-system assessment

■ 著者連絡先

九州大学病院心臓血管外科

(〒812-8582 福岡県福岡市東区馬出3-1-1)

E-mail. ushijima.tomoki.959@m.kyushu-u.ac.jp

表1 ECMOシステムによる血行動態の違い

ECMOシステム	右房圧	左室後負荷	左室拡張末期圧	全身灌流	冠動脈血流	脳血流
V-V	→	→	→	自己心拍出量	酸素化血を灌流させることが可能	自己心由来の血液を灌流
V-A	↓～↓↓	↑↑	↓～↑	ECMO流量 + 自己心拍出量	ECMO流量との バランスにより ECMO/自己心由来	ECMO流量との バランスにより ECMO/自己心由来
VV-A	↓↓	↑↑	↓～↑			
V-AV	→～↓	↑	↓～↑			

(文献4より作成)

使用することも考慮する。次項より、各種MCSの特性について記す。

3. IABP, V-A ECMO

IABPは、diastolic augmentationとsystolic unloadingの2つの血行力学上の効果により心筋の酸素需給バランスの是正を図ることができ、結果的に10%程度の心拍出量の増加を期待するものである。ただし、重症心不全でしばしば合併する不整脈や高度の頻脈では、その補助効果が減弱することがある点に注意を要する。

V-A ECMOは、呼吸補助と循環補助の両方が可能であり、この点で心原性ショックおよび急性心不全の治療においてV-A ECMOが中心的役割を果たすのは、いまでも昔も変わらない。V-A ECMO下での全身循環は、自己心拍出量とECMO流量でまかなわれる。静脈系からの脱血は右心系の前負荷を減少させるため、肺血流が減少し、その結果、左室の前負荷も減少する。一方で、大動脈からの逆行性送血による大動脈圧の上昇は、左室の後負荷を増加させる。時には大動脈弁を閉鎖させ、これは肺うっ血の増悪や左心系血栓形成を生じさせる可能性がある。また、複数の脱血路もしくは送血路を有するハイブリッドサーキット様式のECMOの使用も時として有用である³⁾。その代表例が、静脈系からの2つの脱血路をもつvenovenous-arterial ECMO (VV-A ECMO)や、動脈系と静脈系への2つの送血路をもつveno-arteriovenous ECMO (V-AV ECMO)である。ECMOシステムによる血行動態の違いを表1にまとめた⁴⁾。

大腿動静脈経由のV-A ECMOでは、自己肺由来の左室から駆出される順行性血流とECMO由来の酸素化された逆行性血流とが大動脈内で合流し、その合流部位は自己心拍出量とECMO流量とのバランスに依存する。自己心からの拍出がほとんどなく、全身循環をECMOに依存している

血行動態であれば、冠動脈血流と脳血流はECMO由来の酸素化血で灌流される。しかし、自己心拍出があり、かつ高度に肺機能が障害された状態の場合には、冠動脈血流や脳血流が低酸素にさらされるnorth-south syndromeとなる可能性がある。

4. IMPELLA®とECPELLA

IMPELLA®の最大の特徴は、経皮的に左心補助を行うことができる点である。IMPELLA®は、左室減負荷効果により左室酸素消費量を低下させ、全身灌流の改善とともに心筋保護作用を実現することができる。

一方で、IMPELLA®に関連する溶血や出血性合併症の発生は広く知られているが、ポンプ本体だけでなくシャフトなどに付着する血栓の存在は、実臨床では大きな問題にならなくても、subclinicalな血栓性合併症として知っておくべき事象である。

IMPELLA®とV-A ECMOの組み合わせであるECPELLAでは、V-A ECMOにより全身灌流を維持しながら、IMPELLA®による左室減負荷効果を期待する。一方で、自己心機能にかかわらず、IMPELLA®により強制的に自己肺由来の血液が左室から駆出されるため、前述のnorth-south syndromeが強力に出現する可能性があることに注意する。ECPELLA下で出現するnorth-south syndromeの解決策として、V-AV ECMOとIMPELLA®を組み合わせたVAVEcpella (V-AV ECMO + IMPELLA®)の有用性を当施設より報告し⁵⁾、多くの施設で実践されている。

5. セントラルMCS

開胸下に装着されるMCSにはセントラルECMO、体外設置型LVAD (left ventricular assist device)があり、これらは高流量の順行性血流を生み出すことができる。何らかの

表2 セントラルECMOとECPELLAの違い

ECPELLA	セントラルECMO
経皮挿入による開胸手術の回避 (迅速, 簡便)	開胸操作が必要 出血リスク
補助流量が不十分な可能性	高流量補助が可能
複数のカニューラが必要	血管径の問題がない
有限のMCSサポート期間 溶血と耐用期間の問題	長期MCSサポートを視野に LVADへの移行
North-south syndromeの可能性	North-south syndromeの回避

理由により経皮的MCSでの管理が困難となった場合に、3-system assessmentに基づいて、MCSのアップグレードを行う。ECPELLAもセントラルECMOも両心補助が可能なMCSであるが、その特性は大きく異なるため(表2)、個々の症例に応じて選択する。

一般に、セントラルECMOは右房脱血・上行大動脈送血で確立されるが、その際、左心脱血を組み合わせること(セントラルECMO with左室ベント)が多い。セントラルECMO with 左室ベントから右房脱血を抜去すれば、体外設置型LVADへと移行する。また、肺動脈送血を追加すれば、体外設置型BiVAD (biventricular assist device)へと移行する。

体外設置型LVADでは、体外の回路に人工肺を組み込むことで左心補助と呼吸補助を同時に行うことができる。呼吸補助が不要となれば、回路から人工肺を抜くことで左心補助単独のMCSとなる。かつては、拍動流型の体外設置型LVADが国内の重症心不全治療の主役であったが、現在は遠心ポンプを用いた体外設置型LVADが植込型LVADへのブリッジ目的で使用されることが多い⁶⁾。

6. 植込型LVAD

国内の植込型LVADの治療成績は極めて良好である。こ

れまでは、植込型LVADは心臓移植への橋渡しとしてのみ使用が認められていたが、2021年から長期在宅補助人工心臓治療(destination therapy, DT)が保険適用となり、これまで以上に植込型LVAD治療の恩恵にあずかることのできる患者が増えることが期待される。

7. 最後に

MCS治療は、多くの職種の参加により実現する治療であり、医療者側の要因でその治療成績を向上させることができる。まずはMCSを知り、使い、そして使いこなすことがMCS治療の成功と発展につながる。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

文 献

- 1) 日本循環器学会, 日本心臓血管外科学会, 日本心臓病学会, 他: 2023年 JCS/JSCVS/JCC/CVIT ガイドライン フォーカスアップデート版 PCPS/ECMO/循環補助用心内留置型ポンプカテーテルの適応・操作. https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2023/03/JCS2023_nishimura.pdf Accessed 15 Apr 2023
- 2) Atkinson TM, Ohman EM, O'Neill WW, et al; Interventional Scientific Council of the American College of Cardiology: A Practical Approach to Mechanical Circulatory Support in Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention: An Interventional Perspective. *JACC Cardiovasc Interv* **9**: 871-83, 2016
- 3) Shah A, Dave S, Goerlich CE, et al: Hybrid and parallel extracorporeal membrane oxygenation circuits. *JTCVS Tech* **8**: 77-85, 2021
- 4) Napp LC, Kühn C, Hoepfer MM, et al: Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Clin Res Cardiol* **105**: 283-96, 2016
- 5) Ushijima T, Sonoda H, Tanoue Y, et al: A therapeutic concept to resolve a possible coronary desaturation under Ecpella support and maximize the potential for myocardial recovery: combination of veno-arteriovenous extracorporeal membrane oxygenation and Impella (VAVEcpella). *Perfusion* **36**: 535-7, 2021
- 6) 牛島智基, 塩瀬 明: 植込み型補助人工心臓時代における体外設置型補助人工心臓の役割. *胸部外科* **71**: 513-8, 2018