

<学習目標>

『重症 COVID-19 に対する呼吸 ECMO の全体像をチームで経験する』

- ECMO 導入までに行うべきことを確認・実施する
- ECMO 導入の判断、適応・禁忌を理解する
- ECMO configuration を決定し、安全にカニューレーションと導入を行う
- ECMO 開始後に超肺保護換気を実施する
- 回路内圧・ガス圧のモニタリング結果を解釈し、回路交換の必要性を判断する
- ECMO 離脱について判断する

<トレーニング環境と使用する主な資機材>

- ECMO：泉工医科 Unimo+ECMO 回路、テルモ Capiiox+ECMO 回路
- SimMan 1 体+マネキン 1 体 or 人体パネル
- プロジェクター or 大型モニター（症例提示用）
- リニアプローブ付きエコー
- 人工呼吸器（用意できない場合はバーチャルで実施）
- 模擬血管回路+模擬皮膚 2 セット
- カニューレ各種 HLS/泉工医科 PCKC+挿入キット
- 50mL シリンジ、カテーテルチップ、カップ
- ドレープ
- 点滴スタンド：模擬血管モデルのリザーバー吊り下げ用、シナリオ用
- 気道管理用デバイス 1 セット
BVM／人工鼻／閉鎖式吸引チューブ／喉頭鏡／気管チューブ／カフシリンジ／チューブホルダー
- PPE：手袋、ガウンなど適宜
- ホワイトボード
- 防水シート、吸水シートなど

<チームの行動>

※プレイヤーとなるチームを 1 チーム選出し、シナリオを実施してもらいます。

- ☐ シミュレーターを用いて、患者情報（PPT）をもとにチームでシナリオを進めます。
- ☐ 一般病棟から ICU 陰圧個室に受入れ：ICU での人とモノの動きをブリーフィング
- ☐ 入室前に CT 撮像：L or H タイプの評価
- ☐ 気管挿管に必要な器材と薬剤のチェック、処置に入る人員の確認
- ☐ 患者・家族に治療の意思・同意を確認
- ☐ 気道確保：PPE／エアロゾル対策等、各施設のプロトコルに従って実施
- ☐ 人工呼吸器設定：肺保護換気設定、P-SILI 回避、筋弛緩、腹臥位など
- ☐ CVC や A ラインのアクセス血管の決定、抗菌薬、抗ウイルス薬、鎮痛・鎮静薬、血管

作動薬、抗凝固薬などのチェック

- 呼吸状態悪化時の ECMO 導入の判断、適応・禁忌の確認：活動性出血の有無，人工呼吸器管理期間，lung CT の所見、年齢など

→ ここから 2 グループに分かれます。

- カニュレーション～ECMO ポンプオンの実技
 - ECMO コンフィギュレーションの決定
 - カニュラ種類、サイズ、挿入長の確認
 - 抗凝固薬の投与
 - 看護師、臨床工学技士の役割確認
 - エコー/ポータブル X 線の利用
 - エコー下穿刺、ガイドワイヤー操作などの基本的スキルを実施
 - 接続とエア抜き
 - ECMO ポンプオン：フロー、圧の確認
 - カニュラの固定（口頭での確認）

→ ここまで実施したら、参加者は開始時の配置に戻ります。

以後の対応は ECMO 導入前のチームとは異なるチームをお願いします。

- 超肺保護換気設定の実施：呼吸器設定を宣言
- 鎮静・鎮痛薬の再確認：吸着しやすい薬物のチェック
- 抗凝固療法と APTT/ACT モニタリング
- トラブルシューティング①：P2↑P3↓
- トラブルシューティング②：P4↑＋人工肺酸素化・CO₂ 除去能の低下
- ECMO 離脱の判断

<COVID-19 対策 VV-ECMO マニュアルのサンプル>

『大腿静脈アクセス右房脱血→右内頸静脈アクセス SVC 送血』で実施する場合の 1 つのサンプルです。各施設で各項目について必ずチームで検討して下さい。

1. 適応

【COVID-19 患者の ECMO 適応】 慎重かつ総合的に判断

※ECMOnet が 24 時間対応でコンサルテーションに応じます。

- ・ 年齢 ≤70 歳（理想的には≤65 歳）
- ・ 挿管、人工呼吸で 6 日以下
- ・ PEEP 10cmH₂O、P/F<100 で進行性に悪化する場合

【参考：EOLIA trial の適応】

- ・ 挿管、人工呼吸で 6 日以下
- ・ FiO₂≥80%、Vt6ml/kg（予測体重）、PEEP≥10cmH₂O の設定でも以下のうちのどれか
 - 1) P/F 比：50mmHg が 3 時間を超えて続き、支持療法※でも改善しない
 - 2) P/F<80mmHg で 6 時間を超え、支持療法※でも改善しない
 - 3) P plateau を≤32mmHg（Vt を 1ml/kg ずつ減量し 4ml/kg にする、PEEP を最低 8 ままで減らす）にした結果、動脈 pH<7.25 かつ PaCO₂≥60mmHg が呼吸数を 35 回に増加させても 6 時間以上続く

※支持療法：NO 吸入、リクルートメント手技、腹臥位療法など

【ECMO の禁忌・適応外】

以下は相対的禁忌であり、個々のケースで ECMO が有益か否かを判断する。

- ・ 既存の臓器障害：肝硬変、腎不全などの慢性臓器障害
- ・ 悪性疾患：終末期の悪性腫瘍
- ・ 中枢神経障害：生活の質に大きな影響を与える中枢神経障害、認知症
- ・ frailty と回復予測：離脱後に正常な生活が望めない
- ・ 年齢：70 歳以上の高齢者
- ・ 体格：BMI≥45、1 kg/cm 以上
- ・ 輸血拒否：宗教的理由により輸血治療を拒否する場合
- ・ 無益性：医療チームの合意として無益であると考えられる場合

2. VV-ECMO のコンフィグレーション

	Configu- ration	脱 血		送 血		備 考
		血 管	脱血部位	血 管	送血部位	
VV- ECMO	大腿→内頸	大腿静脈	RA/RA-IVC 連結部	右内頸静脈	SVC→RA	最も一般的

		HLS 23, 25Fr 55cm		HLS 19,21F 15cm 泉工 18-20Fr 15cm		
内頸→大腿	右内頸静脈	RA/RA-SVC 連結部		大腿静脈	総腸骨静脈 →RA	通常よりも短い脱 血用カニューラ (38cm 長) を使用
	HLS 23, 25Fr 38cm			HLS 19F,21F 15cm 泉工 18-20Fr 15cm		
大腿→大腿	大腿静脈	RA/RA-IVC 連結部		大腿静脈	RA/RA-SVC 連結部	
	HLS 23, 25Fr 55cm			Biomedicus		
大 腿 × 2 → 内頸	両大腿静脈	RA-IVC 連結部 ~IVC		右内頸静脈	SVC→RA	フローを十分に取 りたい場合
	HLS 23, 25Fr 55cm × 2 本			HLS 19F,21F 15cm 泉工 18-20Fr 15cm		2 本目の脱血カニ ューラの先端位置を IVC 遠位に置く
大 腿 + 内頸 →大腿	大腿静脈 + 右内頸静脈	IVC+RA/RA- SVC 連結部		大腿静脈	RA/RA-IVC 連結部	フローを十分に取 りたい場合
	HLS 23, 25Fr 55cm HLS 23, 25Fr 38cm			Biomedicus		先端にのみ hole の ある long cannula で送血する

3. ECMO カニュレーション／接続／ポンプオン

【必要スタッフ】

- ・ 医師 2：カニュレーション
 - ・ 看護師 2：記録、補助
 - ・ 臨床工学技士 1～2：ECMO 管理
 - ・ 放射線技師 1
- レントゲンを撮影するため、PPE の内側にプロテクターを着用する

【器材】

- ☐ ECMO 装置本体＋プライミングした回路
- ☐ 延長チューブ、3/8inch コネクタ
- ☐ 処置台（頭側、足側、予備）
- ☐ 穴あきドレープ 2＋穴なしドレープ適宜
- ☐ エコープローブカバー
- ☐ 脱血カニューラ／送血カニューラ
- ☐ カテーテル挿入キット

- ☐ 滅菌鉗子 複数
- ☐ 滅菌ハサミ
- ☐ 滅菌コップ
- ☐ 50mL ロック付きシリンジ
- ☐ カテーテルチップ
- ☐ ガーゼ
- ☐ 局所麻酔、縫合セット、保護シール

【カニューレション実施場所】

- ・ 原則的に ICU 病室内で実施する。

【事前準備】

- ・ 既に右内頸静脈に CVC が挿入されている場合は、左内頸静脈から CVC を挿入するか、PICC を確保し、右内頸静脈の CVC を利用して入れ替えを行う（もしくは CVC を抜去して新規に穿刺）。
- ・ 処置前からポータブルレントゲンのフラットパネルディテクターを敷いておく。

【プライミング】

- ・ 病室外で完了させておく。

【穿刺】

- ・ 穿刺は必ずエコー直視下に行い、対象血管の前壁のみを穿刺する。
- ・ 血管の走行軸や皮膚から血管までの距離を確認し、30～45 度の角度で穿刺する。
- ・ ガイドワイヤーが挿入されたらヘパリンを投与し ACT \geq 180 秒になっていることを確認する。

【ガイドワイヤー先端位置確認】

- ・ 脱血カニューラ用ガイドワイヤーの位置確認には、エコーと X 線を利用する。
- ・ セクター or コンベックスプローブを用いて、ガイドワイヤーが IVC を超えたことを視認する。
- ・ 経皮的エコーではガイドワイヤーが上大静脈方向に挿入されているのか、右房や右室で周回しているのか確認することは困難であり、X 線でも確認するのが望ましい。

【ガイドワイヤーの種類とダイレーション】

- ・ ガイドワイヤーの先端形状、素材、強度を把握しておく。先端形状は J 型のガイドワイヤーを使用する。

- ・ ダイレーター挿入の際にはアシスタントがガイドワイヤーの緊張度を保ちながらしっかりと保持し、ダイレーターが挿入されたらガイドワイヤーを出し入れさせてキンクが無いことを確認する。柔軟なスプリングワイヤーを使用する際には、無理にダイレーターを押し込むとキンクや皮下迷入を来たしうるので細心の注意を払う。
- ・ ダイレーターによる拡張が不十分なばあいは、①皮膚・皮下をメスで適切にカットする、②皮下をモスキートペアンで拡張する、③カニューラの内筒でダイレーションを行う、などの工夫が必要になる。

【カニューラ挿入と先端位置の調整】

- ・ 脱血カニューラの先端位置は、十分に右房内に入るように挿入する。
- ・ ECMO 開始後の超肺保護換気により肺が縮小、横隔膜が挙上し、先端位置が RA よりも遠位になることがある。予め深めに挿入しておき、後で挿入長を調整する。
- ・ 最終位置が決定したら絹糸で固定する。

【接続～ポンプオン】

- ・ 適宜、管理しやすいようにコネクタとチューブを用いて回路を延長する。
- ・ 送血側、脱血側ともに型のごとく接続とエア抜きを行う。
- ・ 全ての鉗子をアンクランプし、ECMO を開始する。血流量は体格によるが、4L を標準開始流量とする。ポンプオン後に超肺保護換気設定にする。

4. 管理指標

【圧の指標】

- ・ ポンプ前（脱血圧） > -50
- ・ 人工肺前圧 < 300
- ・ 人工肺前後圧較差（人工肺による圧損失） $< 50 \sim 60$ （フローに依存する）

【抗凝固療法と出血・血栓性合併症】

- ・ ECMO 中は、血小板や凝固因子を一定以上に維持しておく
 - 血小板 5 万以上
 - フィブリノゲン $> 150\text{mg/dL}$
 - Hb $> 8 \sim 10\text{g/dL}$
- ・ 抗凝固の状態は APTT 1.5～2 倍程度となるようにヘパリンを用いる。
- ・ D ダイマーが 4-5 日目以降に急激に上昇し、血小板数の急速な減少と血栓傾向を呈する場合には、ヘパリン起因性血小板減少症 HIT を疑う。
- ・ HIT を強く疑う場合にはヘパリンの使用を中断し、抗凝固薬をアルガトロバン（or ナファモスタット）に変更する必要があるが、安易に HIT と決めつけずに、他の要因も

十分に検索する。HIT 抗体陽性＝臨床的な HIT ではないことに注意。

- ・ 出血性合併症を来した場合は、ヘパリン減量もしくは中止、血小板輸血、凝固因子補充を行う。3L/分以上のフローが取れていれば、ヘパリンを中止しても ECMO 回路内の血栓発生のリスクは決して高くない。
- ・ 止血操作が可能な部位からの活動性出血であれば止血治療を行う。
- ・ 出血源が不明の場合、造影 CT により出血源を検索し血管内治療の可能性を評価する。

5. CT 移動

- ・ 目的を明確にする
 - コンソリデーションの分布、肺の回復、不可逆的変化の有無などを評価する
 - 出血性合併症で血行動態の維持が輸血に依存する
 - 神経学的異常所見が出現し、脳血管障害が強く疑われる
- ・ CT 移動は、動線の感染対策を含めて非常に多くの労力を要するが、躊躇することで適切な治療のタイミングを逸してはならない。
- ・ 筋弛緩投与下に移動する。
- ・ 必要人員
 - リーダー医師：患者頭部に立ち全体とモニターを監視
 - CE 3 名：ECMO 管理 2、人工呼吸器管理 1
 - 看護師 2 名：A ライン、点滴類、フォーレ、NG などの管理

6. 回路交換

【回路交換のタイミング】

- ・ 遠心ポンプ不全：血栓などで遠心ポンプ不全が生じたとき
- ・ エア混入：回路内に多量のエアを引き込んでしまったとき
- ・ 人工肺内のフィブリン沈着や血栓：P1↑,P2↑となりフローが取れなくなったとき。
- ・ 人工肺の Wet lung：スweepガス圧が上昇し酸素化とガス交換が不良となったとき。
- ・ 血漿リークが出てきたとき（血漿リーク内にウィルスが検出されたとの報告あり）

【回路交換の方法】

- ・ 病室外で回路をプライミングしてから回路のみ病室内に持ち込む。
- ・ 人工呼吸器設定は一時的にフル設定（FiO₂ 1.0 など）にする。
- ・ 事前に手順を確認し、可及的に短時間で行う。

7. ウィーニング／離脱／抜去

【事前確認】

- ・ 前提として自己肺が回復していること。

- ・ ウィーニング時の人工呼吸器設定の上限：FiO₂ ≤60%、P_{plat} ≤30（ΔP ≤15）、f ≤20、PF ≥150 で管理できること。

【ウィーニング方法】

- ・ ECMO flow はそのまま（あるいは 2L/min 程度まで下げて）、Sweep Gas の FiO₂ を徐々に下げる。21%になったら、Gas flow を下げる。最終的にゼロしても大丈夫なら ECMO 抜去。
- ・ 最低 2 時間は維持できている（症例によっては数時間あるいは数日間の観察が必要）。
- ・ ウィーニングに伴い SvO₂ < 65% となる場合は慎重に判断する。

9. 治療の中断、心停止対応

【無益な補助の中止】

- ・ ECMO 開始前に、治療途中に無益であると判断できる場合は ECMO 治療を中断する可能性があることを家族に説明しておく。
- ・ 健常に生存する望みがない場合(高度脳障害、心肺の回復が見込めない)には、ECMO を適切に中断する。
- ・ 事前に多職種カンファを行い、無益であることに関するコンセンサスを得る。

【心停止時の対応】

- ・ ECMO 補助下でも心停止する場合は、救命の見込みがないことを意味する。
- ・ ECMO 開始前に、心停止は本疾患の終末像であり、心停止時に胸骨圧迫、除細動などの心肺蘇生処置は行わないことに関して家族から同意を得る。