



# みんなの 集中治療科

監修

志馬伸朗

広島大学救急集中治療医学 教授

編著

広大レジセミ

広島大学救急集中治療医学

中外医学社

ECMO の仕組みと管理って  
難しい…

# 1 補助循環 VA-ECMO



## 【シナリオ 1】

今日ひかり先生がメインで担当するのは65歳の男性で、昨夜の当直帯で肺動脈血栓塞栓症による閉塞性ショックのため VA-ECMO\*<sup>1</sup>が導入され ICU に入室された患者。朝の申し送りで引き継ぎを受けた後、慣れない VA-ECMO の管理にひかり先生は戸惑っているようです。



ひかり 「どうしよう……ECMO の管理は何から手を付けたらいいのかな……」



あつし 「お、ひかり先生は VA-ECMO の患者さんをメインで担当するのは初めてだっけ？」



ひかり 「実は初めてなんです。自信ありません……」



あつし 「大きくて複雑そうなデバイスだから苦手意識が生まれるのかもしれないけれど、重要なポイントをひとつひとつ抑えれば怖がる必要はないんだ！  
まずは原理から一緒に勉強してみよう」

## 1 VA-ECMO の回路構造と血行動態<sup>1,2)</sup>

VA-ECMO が導入されたばかりの患者を担当することになったら……多くの方は

\*<sup>1</sup> VA-ECMO: venoarterial extracorporeal membrane oxygenation

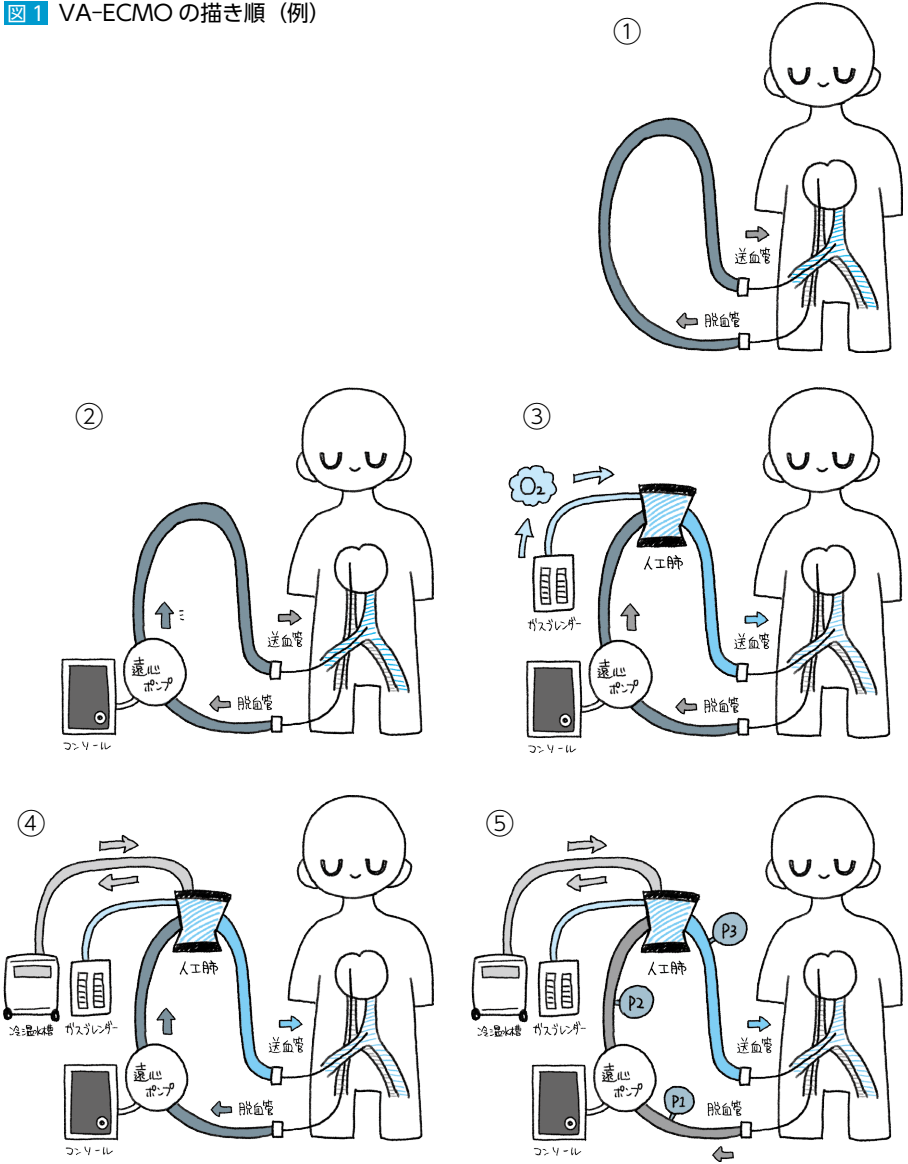
不安を感じるのではないのでしょうか？ VA-ECMO を管理するには、複雑な回路の構成や、VA-ECMO による血行動態の変化を理解する必要があります。まずは自分で回路のイラストが書けるようになることが目標です。苦手意識がある方も、この章で VA-ECMO に歩み寄りましょう！

## ① VA-ECMO の基本構造

いきなり全体像をみると難しいので、まずはそれぞれの部位の役割を考えながら描いていきましょう（紙とペンのご用意を！）。今回は ICU で遭遇頻度が高い、大腿動静脈アプローチの場合を考えてみます（図 1）。

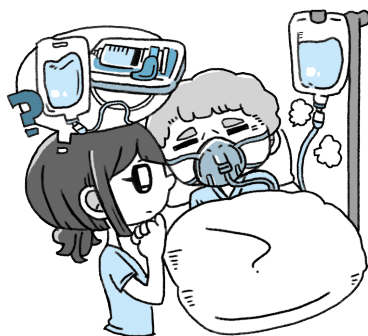
- ①まずは体から血液を抜き、体に戻さないといけないので、**患者の大腿動静脈あたりに脱血管（大腿静脈に挿入）と送血管（大腿動脈に挿入）を描きましょう。**
- ②管を入れるだけでは、通常の血流と同じく動脈から静脈（送血管→脱血管）に血液が流れてしまうので、遠心ポンプによって逆向きの血流（脱血管→送血管）を作り出します。遠心ポンプの流量（回転数）は ECMO 本体（コンソール）で操作するので、**回路の途中に遠心ポンプを書き、遠心ポンプとつながるようにコンソールを描きます。**
- ③静脈血を酸素化するために人工肺が必要で、**人工肺を遠心ポンプより送血側に書きます。** よりきれいな動脈血を体内に送るイメージをもてば、「人工肺は、遠心ポンプの脱血側でなく送血側にある」と理解しやすいかもしれません。また人工肺へ送る医療ガスの流量（sweep gas [L/分]）と  $F_iO_2$  を調整するためにガスブレンダーが必要です。この sweep gas で人工肺での酸素化・換気を行います。**ガスブレンダーはコンソールに内蔵されている製品と別付けのものがあるのでコンソールの近くに書いて、人工肺とガスブレンダーをつなげましょう。**
- ④体から抜いた血は外気によって冷やされてしまいます。血液温を管理するための冷温水槽が必要です。**冷温水槽もガスブレンダー同様にコンソールに内蔵される場合と別付けの場合があるので、コンソール近くに書きます。** 冷温水槽からの水は人工肺で血液の周りを循環し体温を調整します。冷温水槽は人工肺とつなげましょう。
- ⑤最後に**回路内の圧力を測定するために、圧モニターを装着します。** 一般的には P1（脱血圧）、P2（肺前圧）、P3（送血圧 or 肺後圧）の 3 カ所 で測定し、回路に起きるトラブルをモニタリングします。

図 1 VA-ECMO の描き順 (例)



これから輸液すべき？  
すべきでない？

# 3 蘇生輸液



ひかり先生の今日の担当は、80歳女性（体重40kg）で既往に高血圧、先月当院で鎖骨骨折の手術歴あり、結石性腎盂腎炎による敗血症性ショックでICU入室後の患者です。

来院時に低血圧性ショックであり、急速輸液を行い、結石性腎盂腎炎の診断で尿管ステント留置後にICUへ入室しました。ERでは抗菌薬を投与し、ICU入室時までにリンゲル液1,500mLを投与し、カテコラミンも開始されています。必要な酸素投与流量は経時的に上がっていて、2L/分から6L/分に上昇しています。呼吸回数は24回/分で頻呼吸あり、努力呼吸を伴っているようです。

## バイタルサイン

Glascow Coma Scale (GCS): E3V4M6

BP: 98/51 mmHg（平均血圧 66 mmHg）

HR: 82 回/分

ノルアドレナリン (Nad) 0.25  $\mu$ g/kg/分

バゾプレシン (VP) 1.8 units/時を持続投与

呼吸数 (RR): 24 回/分

SpO<sub>2</sub>: 100%（フェイスマスク酸素6L/分投与下）

体温: 39.0°C

尿量: <0.5 mL/kg/時

## 血液ガス検査結果

pH: 7.339

PaCO<sub>2</sub>: 30 mmHg

PaO<sub>2</sub>: 180 mmHg

Base Excess (BE): -7.6 mmol/L

Lactate (Lac): 4.8 mmol/L

Hb: 10.2 g/dL

ひかり先生は今後の治療方針について悩んでいるようです。



**ひかり** 「平均血圧はなんとか維持できているけど、乳酸値 (Lac) 高値が遷延している……もっとたくさん輸液しないといけないのかな……でも……」



**あつし** 「確かになかなか乳酸がクリアランスされていないね……ひかり先生が輸液が必要だと考えた根拠は何かな？」



**ひかり** 「動脈ライン (Aライン) にさっき着けたフロートラックのストロークボリューム変動 (SVV) の値をみると 15 で、輸液反応性がありそうだと思います！」



**あつし** 「うーん……この患者さんはそもそも自発呼吸をしているし、頻呼吸だから、この状況では SVV を輸液反応性の指標として用いるのはイマイチだ。そもそもフロートラックを着けること自体が間違っているかもしれない」



**ひかり** 「あ！ たしかにそうですね……なんとか自分の判断に使える数値がほしくて……。モニターのパラメーターにいつも頼ってしまいます……」



**あつし** 「それぞれのパラメーターの背景や適応できる条件をしっかりと理解しておこう。この場合、動的指標としてまずは少し輸液してみる fluid challenge を試すのもアリだ。ただ、今は酸素投与量が徐々に増えてきているから、輸液負荷による静水圧性肺水腫も心配だね」



**ひかり** 「そうですね。安易に輸液投与しにくいなと思ってました」



**あつし** 「ここで基本に立ち返ってみよう。血圧を維持しているにもかかわらず Lac が高いということは、ショックによる酸素の需給バランス破綻があるかもしれないと考える。循環の管理で大切なのは全身酸素供給量 ( $\dot{D}O_2$ ) への介入だったね。この患者さんへの介入を  $\dot{D}O_2$  の式を思い出しながら考えてみよう」

介入のタイミングを逃さない!

# 7 頭部外傷・ACS



ひかり先生はあつし先生と、今回一緒に担当した重症外傷の患者の診療について、振り返りをしています。

症例は25歳男性、身長172cm、体重65kg。バイク運転中に乗用車と正面衝突しました。救急隊接触時に血圧低下と意識障害があり、高度救命救急センターへ搬送されました。Primary surveyでC(HR 140/分, BP 85/42 mmHg, 冷汗あり)とD(GCS-E2V2M4)の異常あり。E-FASTで肝臓・脾臓周囲にエコーフリースペースがあり、REBOA<sup>\*1</sup>を導入し、MTP<sup>\*2</sup>を起動して大量輸血、トラネキサム酸投与を行い、Cの異常は改善しました。造影CTで肝・脾損傷と頭頂葉脳挫傷が同定されました。その後、再度ショックとなったためDCS<sup>\*3</sup>が行われ、その後頭蓋内圧管理のためICP<sup>\*4</sup>センサーが、腹腔内圧管理のため膀胱内圧センサーが留置されました。

結果的に大量輸血を要し、膀胱内圧は22 mmHgまで上昇、第2病日にACS<sup>\*5</sup>と診断しました。同時期からICPセンサーは22 mmHgでアラームが頻発し、ひかり先生はACSの対応と鳴り響くICPセンサーのアラームに混乱してしまったのです。



あつし 「難しい症例だったね。少し振り返ってみようか」



ひかり 「はい……。初療の対応にはだいぶ慣れてきて、ある程度先の変化を予測しながら動けたと思います。ですが、実際にDCSを経験したのは初めてで、

\*1 REBOA: resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta

\*2 MTP: massive transfusion protocol

\*3 DCS: damage control surgery

\*4 ICP: intracranial pressure

\*5 ACS: abdominal compartment syndrome

ACSと認識するのが遅れました。ICPセンサーも久しぶりにみました。主体的にみるとわからないことが多くて、勉強不足を感じました……」



あつし「そうだね。かなり複雑な病態だったから、一度基本事項を整理してから、また臨床に戻ろうか！」

## 1 ICP

### ① ICPの考え方

重症頭部外傷の管理における重要な理論をおさらいします。図1に背景理論をまとめました。この図をさらさらっとホワイトボードに描けるようになることを、ICU専攻医の目標にするとよいでしょう。

頭蓋内圧管理の目的は、脳組織酸素需要と供給のバランスを適切に維持し、二次性脳損傷を防ぐことです（図1）。この式の考え方は、2章VV-ECMOで紹介した考え方と同じです。すなわち、バランスを維持するために医療者に管理できる事項は、次のように大きくまとめられます。

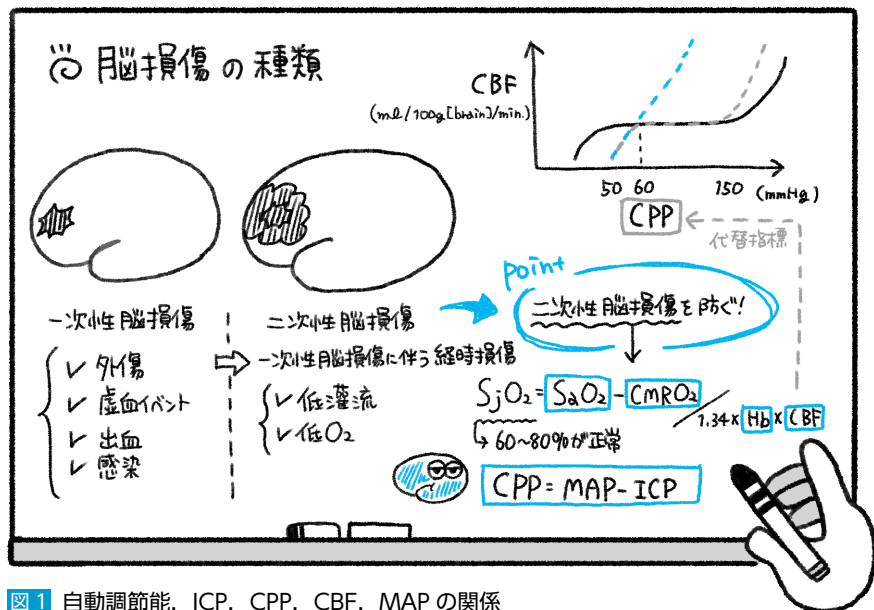


図1 自動調節能、ICP、CPP、CBF、MAPの関係