

V-V ECMO について

平成 15 年 9 月 2 日

目次

1	はじめに	3
2	適応疾患	3
2.0.1	V-V ECMO 開始の呼吸条件	4
2.0.2	V-V ECMO 不適応の疾患	4
2.0.3	PCPS のほうが好ましい場合	5
3	V-V ECMO の準備	5
4	V-V ECMO の開始	6
4.1	穿刺部位	6
4.2	穿刺部位について	7
4.2.1	内頸静脈脱血-大腿静脈返血	7
4.2.2	大腿静脈脱血-内頸静脈返血	8
4.2.3	大腿静脈脱血-下大静脈返血	9
4.2.4	大腿静脈脱血-下大静脈返血	9
4.3	V-V ECMO の血液流量	10
5	抗凝固について	10
5.1	ヘパリンを用いた抗凝固	10
5.2	フサンを用いた抗凝固	12
6	生じうる合併症	12
6.1	低血圧	12

6.2	脱血不良	12
7	V-V ECMO 開始後の管理	13
7.1	全身管理の目標値	13
7.2	検査の頻度	13
7.3	その他の注意事項	14
7.3.1	人工呼吸器	14
7.3.2	V-V ECMO 管理中の栄養	14
8	V-V ECMO からの離脱	15

1 はじめに

静脈脱血-動脈返血を行う経皮的心肺補助 (PCPS) に比べて、静脈脱血-静脈返血で血液の酸素化を行う ECMO には以下のような多くのメリットがある。

- 動脈穿刺をしなくていいので、穿刺手技が簡単。
- 肺循環が減少してしまう PCPS と比較して、ECMO は酸素化された血液を肺に流せる。
- 血流障害、塞栓症などの合併症の頻度が少ない。
- 全身の酸素分圧を均一に改善でき、特に脳への酸素化では PCPS より有利。
- 下肢の阻血の問題が生じにくく、止血が簡単¹。

一方、静脈返血の ECMO には以下のような限界がある。

- 循環補助は期待できない。
- 酸素化の効率は PCPS より悪く、酸素飽和度を上げるためにはバイパス血流量を増やす必要がある。
- 肺塞栓のような、肺循環が障害された症例では全く役立たない。

こうした利点、欠点を理解した上で用いるなら、ECMO は簡便で、しばしば救命的な効果をもつ治療手段となる。

以後、静脈脱血-動脈返血を行う心肺補助を PCPS、静脈脱血-静脈返血で血液の酸素化を行うものを V-V ECMO²と略す。

2 適応疾患

心機能が保たれている呼吸不全、具体的には

- ARDS(敗血症、膵炎、外傷後など)、

¹当院では、PCPS も手で押さえて止血する…。

²ECMO のような手技には ECLS、ECLA をはじめとしていくつもの略称がある

- 肺炎(細菌性、ウィルス性、レジオネラなど)、
- 肺外傷

などの呼吸不全の患者で、状態が重篤な患者が適応になる。

2.0.1 V-V ECMO 開始の呼吸条件

V-V ECMO の開始の基準として紹介されているものは以下のとおり。

- 低酸素性の呼吸不全
 - 重篤な低酸素血症を人工呼吸器だけでは解決できなかった場合
 - 100%酸素投与にもかかわらず、SaO₂ が90%以下の場合が2時間以上続く時
 - シャント率がFiO₂1.0で30%を越える場合
 - 静肺コンプライアンス; 0.5 ml/cmH₂O/Kg 以下
 - PEEPを増加しても、肺胞の再開が得られない場合 (PEEPを5cmH₂Oから15cmH₂Oに増加しても、酸素化の改善がない場合)
- 高二酸化炭素性の呼吸不全
 - 気道内圧を45cmH₂O以上にしても、pH 7.0以下にしかない場合
 - 1回換気量を200ml kg⁻¹min⁻¹にしてもPaCO₂が45cmH₂O以上になってしまう場合

2.0.2 V-V ECMO 不適應の疾患

一方、以下のような患者ではV-V ECMOは行いにくく、適応からは除外されている。

- 悪性腫瘍の患者
- 基礎に慢性呼吸不全がある場合
- 重度の多臓器不全

- 治療に反応のない敗血症性ショック患者
- コントロール不能な代謝性アシドーシス
- 中枢神経系の損傷が激しい場合

2.0.3 PCPS のほうが好ましい場合

心機能に異常がないことが保証されなくては、V-V ECMO は使用されるべきではない。この場合、V-A バイパス (PCPS) をまず行い、その後必要があれば V-V ECMO に変更することも出来る。

以下のようなケースでは V-V ECMO ではなく、動脈に返血する PCPS が勧められている。

- 心拍出量がインデックスで 3.0 以下の場合
- 平均肺動脈圧が 45mmHg 以上の肺高血圧がある患者
- 心肺停止後の患者

3 V-V ECMO の準備

1. 患者、またはその家族から同意書をもろう
2. PCPS の回路を準備する³
3. 静注薬を準備する
 - 持続静注用のヘパリン⁴
 - ノルアドレナリン 1A を生食 19ml に溶解したもの⁵
 - DOA のアンプルまたは持続静注用の製剤⁶
4. 輸血を準備する
 - MAP5 単位

³当院ではテルモのキャピオックスを使用している

⁴10000 単位を生食 90ml で薄め、100ml にして用いている

⁵血圧を急速に上げたいとき、0.5～1ml をボラスで使用

⁶カコージンやカタボンなど

- FFP6 単位
- 血小板 5 単位⁷

5. 血液データの確認

- ECMO 施行前に、以下を確認しておく
- 肝機能、BUN、CRE、電解質
- CBC、特に Hb は、ECMO 施行前に 12 以上あることを確認する
- Ca、Mg、PO₄、乳酸
- 凝固系 (INR、APTT、フィブリノゲン、d-dimer)

4 V-V ECMO の開始

4.1 穿刺部位

V-V ECMO を行う際、成人の場合は専用の回路を用いることは少なく、市販の PCPS 用の回路と穿刺セットを流用することがほとんどである。

穿刺に用いることができるカテーテルは、テルモの場合は以下の 2 種類しかない。

- 15Fr、15cm の動脈穿刺用カテーテル
- 19Fr、50cm の静脈穿刺用カテーテル

これらのカテーテルを静脈に穿刺し、どちらかを脱血カテーテル、もう一方を送血カテーテルとして用いれば、V-V ECMO を行うことができる。

脱血部位、返血部位については議論があるが、以下の方法が最も効率が低いと思う。

- 脱血カテーテルは、動脈穿刺用カテーテルを大腿動脈から穿刺。両大腿静脈の合流部あたりから脱血する。
- 返血カテーテルは、動脈穿刺用カテーテルを右内頸動脈から穿刺。右房に返血する。

⁷最近の人口肺はあまり血小板減少は来ない。

4.2 穿刺部位について

V-V ECMO を行うためには、最低でも2本の静脈ラインの確保が必要である。

穿刺を行う部位としては、右内頸静脈、左右の大腿静脈の3つのうちどれか⁸を用いることになる。

4.2.1 内頸静脈脱血-大腿静脈返血

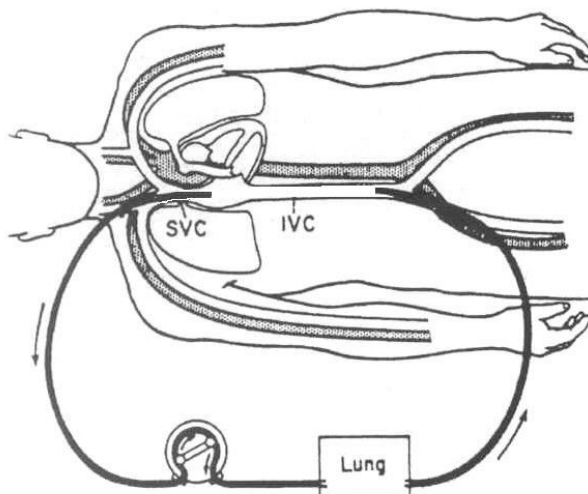


図 1: 最も基本的な V-V ECMO の方法。内頸静脈脱血-大腿静脈返血。

内頸静脈から 15cm、ちょうどテルモの動脈用カテーテルを根元まで穿刺すると、カテーテルの先端は右房内に達する。内頸静脈脱血-大腿静脈返血を行う際には、返血カテーテルも動脈用カテーテルを用い、左右どちらかの大腿動脈から返血カテーテルを挿入する。

この位置からの脱血-返血は、伝統的によく行われる方法である。

内頸穿刺-右房脱血のメリットとしては、以下のようなものがある。

- 右心房は球状をしており、円筒形の下大静脈に比べて高流量の脱血を行うことができる⁹。

⁸鎖骨下静脈を用いてもよいという人もいる。

⁹反対意見もある。後述。

- 内頸静脈から右心房までの距離は近く、短い、内径の細いカテーテルを用いても十分な流量が得られる。

一方、内頸静脈からの脱血を行う場合、返血は必然的に大腿静脈からになる。この際、人工肺で酸素化された血液はかなりの部分が右心房から再び脱血されてしまい、ECMOの流量を上げると酸素化の効率が悪くなる欠点がある。

4.2.2 大腿静脈脱血-内頸静脈返血

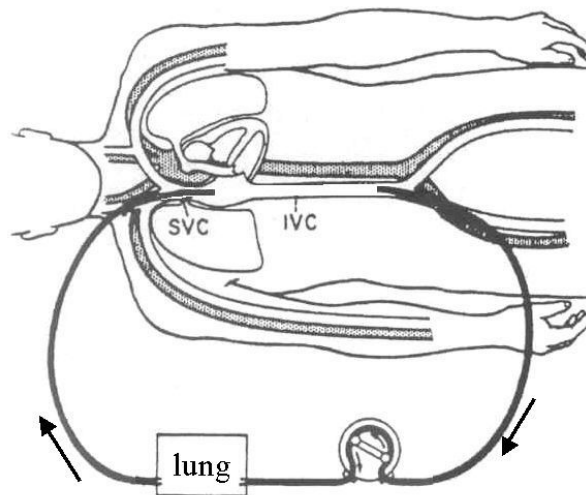


図 2: 大腿静脈脱血-内頸静脈返血の方法。この方がより効率が高いという。

この方法は、前の方法の逆である。内頸静脈、大腿静脈にともに動脈用の短いカテーテルを穿刺し、大腿静脈側より脱血、内頸静脈側より返血する。

返血カテーテルを大腿静脈から穿刺した場合は、左右の大体静脈の合流部あたりに先端が来るようにする。

この方法は、下大静脈の本来の流れに逆行して脱血を行うために、右房に返血された酸素化された血液が、再び脱血されてしまうことが少ない。このため、ECMOの流量を上げて酸素化の効率が落ちにくい。

大腿静脈から脱血を行った場合、従来は下大静脈が虚脱してしまい、十分な流量が取れないと信じられていた。しかし近年、同じECMO回路を

用い、内頸静脈脱血-大腿静脈返血と大腿静脈脱血-内頸静脈返血とを比較したトライアルでは逆の結果が出ている。両者の比較を行った結果、大腿静脈脱血-内頸静脈返血を行ったほうが最大流量が多く取れ、また肺動脈血の酸素化もより高い値が得られた。また、同じ肺動脈酸素濃度を得るための ECMO 流量は、大腿静脈脱血-内頸静脈返血を行ったほうが2割以上少なくすんだという。

こうした結果を見る限りでは、十分な脱血流量が得られるならば、まずは大腿静脈よりの脱血を考慮すべきだと思う。

4.2.3 大腿静脈脱血-下大静脈返血

内頸静脈が細い、あるいは首が短く穿刺が困難といった理由で内頸静脈からのカテーテル挿入が難しい場合、左右の大腿静脈から長さの違うカテーテルを挿入し、V-V ECMO を施行することができる。

この際、1本はPCPS用の静脈カテーテルを用い、もう一本は動脈用のカテーテルを挿入する。

大腿静脈から脱血カテーテルを挿入する場合、その位置は両側大腿静脈の合流部付近に合わせると虚脱が少ないという。

一方、返血カテーテルは横隔膜直下まで静脈用カテーテルを挿入する。

4.2.4 大腿静脈脱血-下大静脈返血

大腿静脈からの脱血が不十分な場合、右心房の上方まで長いカテーテルを挿入し、脱血を試みる必要がある。

脱血カテーテルの長さが足らず、横隔膜下あたりまでしか挿入できないと、大腿動脈から返血された血液のほとんどが再循環してしまい、酸素化の効率が悪い。

大腿静脈脱血-下大静脈返血を行う際、脱血カテーテルは右心房の上方まで深めに挿入し、脱血カテーテルの末梢から上大静脈血を脱血、脱血カテーテルの側孔から下大静脈の血液を脱血するように¹⁰することが勧められている。

¹⁰実際問題、テルモの静脈カテを根元まで挿入してもここまで深くは入らない。

4.3 V-V ECMO の血液流量

一般的に、体表面積あたり 2.1 ~ 2.4l/min/m² の流量¹¹が適切とされる。

V-V ECMO の場合、血液の酸素化の程度は血液流量によって変化し、一方血液中の二酸化炭素濃度は人工肺の酸素流量によって変化する。実際、患者の酸素化を十分に行うためには大きな流量が必要であるが、患者の血液中二酸化炭素濃度の減少はもっと少ない流量から生じる。十分な酸素化には 60ml/kg/min 程度の流量が必要といわれているのに比べ、CO₂ 交換には 20 ~ 40ml/kg/min 程度で十分である。

血液流量を増やすと酸素化は良くなるが、V-V ECMO の場合は流量を増加させるほど回路を再循環する血液が増えてしまい、酸素化の効率は落ちていく。血液の再循環量が多くなった場合、脱血カテーテルの血液の色が赤くなり、一方で肺動脈の酸素化の改善が頭打ちになる。

このため、血液流量は患者の肺動脈血酸素飽和度¹²などを参考にしながら、人工肺に負担がかからない範囲で最も酸素化のよい流量を探すことになる。

5 抗凝固について

V-V ECMO も体外循環のひとつであり、抗凝固薬の使用は必須である。従来の人工心肺回路に比べ、テルモのキャピオックスを始めとするヘパリンコートされた回路は、抗凝固を強力に行う必要がなく便利である。

抗凝固薬の中で、よく用いられるのはヘパリンかフサンである。

5.1 ヘパリンを用いた抗凝固

以下のように用いる。APTT 以外に、簡便な指標として ACT を用いる施設が多い。

抗凝固の目標値として、従来は APTT で 50 ~ 80 秒、ACT で 200 ~ 300 秒が目標であったが、ヘパリンコートされた回路ではそこまでしなくても凝血しにくくなった。

1. 最初 60U/kg 静注 (最大量 5000 単位まで)

¹¹ これでも酸素化には不十分かもしれないが、これ以上回すと人工肺が持たなかったり、溶血を生じたりする。

¹² バクスターの肺動脈カテーテルなどで連続測定できる。

2. 以後 14U/kg/h¹³ で持続静注開始。
3. 6時間後に APTT を採血。その値を見て、表 1 に従い持続量を調節。
4. 目標値は APTT で 45～70 秒。APTT を 2 回測定して、2 回とも目標値であったならば、次の採血は翌朝でよい。

ACT	APTT	ボラス量	持続静注量
120 秒以下	40 秒以下	2000 単位	2U/kg/h 増加
121～180 秒	40～44 秒	なし	1U/kg/h 増加
181～210 秒	45～70 秒	なし	そのまま
211～240 秒	71～80 秒	なし	1U/kg/h 減量
241～270 秒	81～90 秒	30 分中止	2U/kg/h 減量
271 秒以上	90 秒以上	1 時間中止	3U/kg/h 減量

表 1: ヘパリン調節ノモグラムの例。これは体重あたりで行うもの。

実際のところ、ヘパリンの量の調節はほとんどの施設で ACT で行っている。しかし、ACT はしばしば当てにならない¹⁴、1 日に 1 回は APTT を測定して抗凝固がちゃんと行われているのかどうか確認すべきと思う。

¹³50kg の人なら 1 日 16800 単位

¹⁴ヘパリン調節の表はいくつも発表されているが、ACT を用いたものがないもの”当てにならない”という理由に尽きる。上のノモグラムについても、ACT のところは参考程度に見てください。

5.2 フサンを用いた抗凝固

フサンはヘパリンと違い、半減期が非常に短いためローディングドースがいらず、また体内の凝固環境にほとんど影響しない。このため出血の合併症がより少なくてすむ可能性がある。

これを用いる場合は、体外循環開始と同時にメシル酸ナファモスタットを1時間あたり20 mg～40 mgの速度で持続注入する。

具体的には5%のグルコース溶液20 mlにメシル酸ナファモスタット120 mgを溶解し、これを体外循環開始と同時に、脱血カテーテルの側管から3.5 ml～6.5 ml/hの速度(通常1時間あたり5.0 ml)で持続注入する。

実際に使う場合は、V-V ECMOの返血ラインから採血し、ACTで180～200秒前後を目標にフサンの投与量を調節する。

フサンは生食と混合すると凝固するので注意。

6 生じうる合併症

以下のような合併症が生じうる。

6.1 低血圧

おそらくは血液中のカテコラミン、およびカルシウムの希釈により、低血圧を生じうる。また、人工肺を血液が通過することで血液の粘性が低下し、補体の活性化が生じるため、これらも血圧を下げる方向に作用する。

低血圧に対しては、通常はポリリューム付加、あるいは昇圧剤の使用だけで対処可能である。

ただ、呼吸不全に循環不全が合併している患者であれば¹⁵、返血ラインを鼠径動脈に変える必要があるかもしれない。

6.2 脱血不良

循環血液量が少なく、静脈系が虚脱してくると、血液の脱血が悪くなることがある。対策としては輸液による循環血液量の増加であるが、それでも脱血が不良であった場合、脱血カテーテルの先端位置の調節を行っ

¹⁵特に V-V ECMO を回すような重傷者であれば

たり、場合によっては脱血カテーテルと返血カテーテルを交代してみるところまくいくことがある。

7 V-V ECMO 開始後の管理

7.1 全身管理の目標値

V-V ECMO 開始後は、血液検査データや血行動態パラメーターが以下の範囲を保つよう努力する。

- ヘモグロビン 12 以上
- 血小板数 8 万以上
- AST、ALT、LDH およびビリルビンが正常値
- 体温正常
- APTT 50 ~ 80 秒
- SaO₂ 88 ~ 90 以上
- 平均動脈圧 70mmHg 以上
- 中心静脈圧 10 ~ 12mmHg

人工肺を回していると、溶血が徐々に進んでいく。全身への酸素の運搬を考えた場合、Hb12 以上はなるべく保つ必要があり、積極的な輸血¹⁶を考慮する。

また、肝酵素が急に上昇した場合、溶血を生じている可能性がある。送血、脱血カテーテルの位置の調節、酸素化を下げない範囲での人工肺のフローの減量を考慮する必要がある。

7.2 検査の頻度

- 胸部単純写真 1 日 1 回
- 血液検査 1 日 1 回

¹⁶Hb が 9 に落ちたら 2 単位輸血。自然回復を待っている余裕はない。

- 血液ガス 時間を決めて1日3~4回
- 凝固検査 1日3回¹⁷

7.3 その他の注意事項

7.3.1 人工呼吸器

特に ARDS の患者を管理するために V-V ECMO を施行した場合、心機能が許す範囲で高めの PEEP をかけ、少ない1回換気量を維持することで人工呼吸器による肺障害を避けるようにする。具体的な設定例は、以下のとおり。

- PEEP 10 ~ 15cmH₂O
- 換気回数 6 ~ 8 回/分
- 1 回換気量 6ml/kg
- 最高気道内圧 30cmH₂O 以下
- FiO₂ 0.6 以下

7.3.2 V-V ECMO 管理中の栄養

腸管の動きがあるならば経腸栄養を、そうでないなら経静脈栄養を可能な限り早く始める。

この際、供給する栄養の中に脂質を入れないように勧めている人もいる。これは、おそらくは以下のような理由からであるが、回路内に脂質輸液製剤を直接注入する¹⁸ようなまねさえしなければ、特に問題にはならないように思う。

- 現在の経静脈脂肪製剤は長鎖脂肪酸であり、代謝されるとロイコトリエンを産生し、肺血管抵抗が上昇する。
- 敗血症患者に脂肪乳剤を供給すると、炎症性サイトカイン濃度が上昇しうる。

¹⁷実際には ACT を1日数回はかり、大体 180 ~ 250 秒前後を目標にヘパリンの持続を用いている。

¹⁸人工肺の中に脂質粒が沈着し、人工肺が詰まるという。

8 V-V ECMO からの離脱

患者の呼吸状態が安定したのを確認したら、まずは人工呼吸器のウィーニングを行っていく。

順番としては、以下の順に設定を下げていく。

1. FiO₂ を可能な限り 0.4 以下にする
2. PEEP は 10 程度まで下げられたら、無理にそれ以下には下げない
3. V-V ECMO のフローは 2.0l/分程度まで下げられたら、それ以下にはしない。

このあとも患者の血液ガスが良い状態を保っているなら、V-V ECMO の酸素のフローを下げ、最終的にはゼロにしてみる。人工肺の酸素のフローがなくなれば、ECMO は単なる異物として体内に入っているだけなので、患者の肺の機能だけを評価することができる。

この状態でも酸素化が保たれているなら、V-V ECMO の離脱は可能¹⁹である。

¹⁹根拠は全くありませんが...