



Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)

General Guidelines for all ECLS Cases

Version 1.3 November 2013

Japanese Translation

By Yoshinari Niimi M.D.,Ph.D.

Hospital Director and Head of the Anesthesia Department

Itabashi Chuo Medical Center

はじめに

これは、体外循環による長期間の生命補助（ECLS : Extracorporeal Life Support、体外生命維持、ECMO : Extracorporeal Membrane Oxygenation 体外膜型肺）に関するガイドラインである。患者の病態別に記した関連ガイドラインもこれに準拠している。ガイドラインはECLS の有用性と安全な実施法を表している。

しかし、必ずしもコンセンサスの得られた推奨というわけではない。本ガイドラインは標準的管理法を示すことを意図したわけではなく、装置や薬物治療、技術について新しい情報を取り入れながら、定期的に改定する。

ガイドラインの背景、論理的根拠、参考文献はELSO から出版された

「ECMO:Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Intensive Care(レッドブック)」に記載されている。ガイドラインはECLS の技術と患者管理に的を絞っている。同様に重要なマンパワー、トレーニング、資格認定、資源、フォローアップ、報告、質の保証といった問題については他のELSO 文書で取り上げているが、各施設での取り決めもある。

参照：

ELSO Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support
Extracorporeal Life Support Organization, Version 1.3 November 2013
Ann Arbor, MI, USA
www.elsonet.org

目次

I. 患者の病態	4
A. 適応	4
B. 禁忌	4
C. 特定の病態に対する留意点	4
II. 体外循環回路	4
A. 回路部品を選択（基準）	4
1. 心補助の血流量	4
2. 呼吸補助の血流量とガス交換（VAまたはVV）	4
B. 回路構成要素（回路部品）	5
C. ポンプ	5
1. 脱血（吸引）圧	5
2. 送血圧	5
3. バッテリー（停電）	5
4. 溶血	5
D. 膜型肺	5
E. スウィープガス	6
F. 回路の充填	6
G. 熱交換器	6
H. モニター	7
I. アラーム	7
J. 血液チューブ	7
K. 待機的使用時と緊急使用時の回路	8
III. 血管アクセス	8
A. 血管アクセスの方法	8
B. カニューラ	8
C. カニューレーション	8
1. 方法	8
2. カニューレーション技法	9
3. 遠位血管の管理	10
4. カニューラの追加あるいは交換	10
IV. ECLS の患者管理	10
A. 装置関係（回路関係）	10
1. ポンプ流量（血流量）	10
2. 酸素加	10
3. CO ₂ 除去	11
4. 抗凝固	11

5. モニタ、アラームと事故防止	12
6. 部品と回路の交換	14
7. 移送	14
B. 患者関係	14
1. 血行動態	14
2. 呼吸器の管理	15
3. 鎮静	16
4. 血液量、体液バランス、およびヘマトクリット	16
5. 体温	17
6. 腎と栄養管理	17
7. 感染と抗生物質	17
8. 体位	17
9. 出血	17
10. 外科的処置	19
V. ウィーニング、試験停止、無益な場合の中止	19
A. ウィーニング	19
B. 試験停止	19
C. カニューラ抜去	20
D. 無益な場合の補助停止	20
VI. 患者と疾病に特異的なプロトコール	20
VII. 予測される結果(患者、疾病ごとに)	20

ECLS という用語は、心肺不全状態の心機能や肺機能を部分的もしくは完全に、一定期間（数日から数ヶ月）補助し、臓器の回復や臓器移植へと導く機械的装置の使用を意味する。

I. 患者の病態

A. 適応：重篤な急性心不全および呼吸不全で、従来の治療では高い死亡率が想定される症例が適応となる。ECLS を使用したときの死亡率は約50%と考えられているため、80%以上の死亡率が予想される場合に適応とする。疾患の重症度や死亡リスクについては、年齢や臓器不全を考慮して、できるだけ正確に評価する。詳細は病態別プロトコール参照。

B. 禁忌：ほとんどが相対的禁忌である。使用に際しては、リスクと利益を秤にかけるべきである。使用しなかった場合に他の患者が使える医療資源が増すことも考慮に入れる。

相対的禁忌

- 1) 回復後、正常な生活が望めない患者
- 2) 生活の質に大きな影響を与える術前合併症（中枢神経障害、末期悪性腫瘍、ECLS の抗凝固による全身性の出血リスク）
- 3) 患者の年齢、体格
- 4) 無益な場合：（患者の状態が重篤すぎる、従来の治療が長期に及んでいる、死亡が避けられない、など）
詳細は病態別プロトコール参照。

C. 特定の病態に対する留意点

病態別プロトコールを参照

II. 体外循環回路

A. 回路部品の選択（基準）

回路は、目的が選択的な部分補助でない限り（喘息に対するCO₂ 除去など）、患者を完全に補助できるような規格とする。

1. 心補助の血流量

アクセスは常に静脈脱血動脈送血である。回路部品は、3L/m²/min（乳児で100ml/kg/min、小児で80ml/kg/min、成人で60ml/kg/min）の血流量を得られるように選択する。十分な体灌流を示す最良の指標は、静脈血酸素飽和度>70%である。必要な血流量を得られるか否かは、血管アクセス、チューブのドレナージ抵抗、ポンプ性能に依存する。

2. 呼吸補助の血流量とガス交換〔静脈脱血動脈送血（VA）または静脈脱血静脈送血（VV）〕
膜型肺には、少なくとも正常な代謝を営む患者で、酸素供給とCO₂ 除去を行なえる血流量が必要である（酸素供給は乳児で6ml/kg/min、小児で4-5ml/kg/min、成人で3ml/kg/min）。これは、VV での血流に換算すると、乳児で120ml/kg/min、成人で60-80ml/kg/min である。酸素供給能は、血流量、ヘモグロビン濃度、インレットのヘモグロビン酸素飽和度、膜型肺の性能による。体外循環が完全補助である場合、CO₂ 除去能は常に酸素加能より高い。

CO₂ 除去のみを目的とする場合には、アクセスはVA、VV のほか、動脈脱血静脈送血（AV）

でも良い。通常、血流量は心拍出量の約25%で、代謝によって産生されたCO₂ (3-6ml/kg/min) を除去できる。CO₂ 除去は血流量とスウィープガス流量、回路に流入するCO₂ 量、膜型肺の性能に依存する。

B. 回路構成要素 (回路部品)

標準的回路構成要素は血液ポンプ、膜型肺、チューブである。適用に応じて、熱交換器、モニター、アラームが付加される。

C. ポンプ

上述のように、ポンプは患者に完全補助流量を供給できなければならない。仕様に適合していれば、いかなるポンプも使用可能である (脱血圧制御装置を備えた改良型ローラーポンプ、脱血圧制御装置を備えた遠心ポンプまたは軸流ポンプ、ペリスタリックポンプ)

1. 脱血 (吸引) 圧

脱血回路が閉塞した状態で、脱血圧が-300mmHg を超えないようにする。脱血回路の閉塞したとき (カタカタという音がする)、脱血圧が非常に低くなると (-300mmHg) 溶血が発生する。脱血圧は、ポンプの設計あるいはポンプインレット側のサーボ制御方式の圧力センサーにより、-300mmHg を下回らないようにできる。

2. 送血圧

送血回路が閉塞した場合も、送血圧が400mmHg を超えないようにする (ポンプ設計あるいはサーボ制御方式により)。

3. バッテリー (停電)

停電の場合には、最低1時間はバッテリー駆動で使用できなければならない。ハンドクラックシステムを有すること。

4. 溶血

血漿中遊離ヘモグロビンは10mg/dl 未満であること。50mg/dl を超える場合には原因を調べる。

D. 膜型肺

ガス交換部の材質は、シリコンゴム均質膜、多孔質膜ホローファイバー (例; ポリプロピレン)、均質膜ホローファイバーPMP (例; ポリメチルペンテン)]などである。膜表面積と血液流路での混合が最大酸素添加能 (rated flow) を決める。完全補助の場合、膜型肺はII 項A に記載の患者に対しO₂ とCO₂ が完全に交換できなければならない。

rated flow とは、静脈血 (飽和75%、Hb 12mg%) が膜型肺のアウトレットで完全に飽和する (95%) 流量である。最大酸素供給量はrated flow で使用している時の酸素の分時供給量である。

これは、[アウトレットの酸素含有量-インレットの酸素含有量 (一般的に4~5ml/dL、生体肺と同等)] × 血流量で計算される。たとえば、ある人工肺のrated flow が2L/min (最大酸素量100ml O₂/min) で、患者を完全に補助するために必要とされる血流が1L/min

(50ml O₂/min) であれば、この膜型肺は十分な性能を持っている。完全に補助するために必要とされる血流が4L/min であれば、この膜型肺の性能は不十分で、2台の膜型肺を並列

で使用するか、あるいは、4L/min の性能を持つより大きな膜型肺が必要となる。VV モードでは、送血した血液が再循環する可能性があり、この場合インレット酸素飽和度は優に75%を超える。このとき単位血流量当たりのアウトレットとインレットの酸素濃度較差が減少するため、必要な酸素供給量を得るには、流量を増加させる、カニューラの位置を変更する、ヘマトクリット値を上昇させる、などが必要となる。

E. スウィープガス

通常100%O₂、もしくは95%O₂と5%CO₂の混合気を、血流量と1：1の比で用いる。スウィープ流量を増せばCO₂除去能は増すが、酸素加能は変わらない。

膜型肺に水蒸気が結露するので、ときどきスウィープ流量を上げて、これを除去する。CO₂除去だけであれば、血流量は0.5 L/min/m²でよい。膜型肺も小さいものでよく、酸素を用いてガス：血流の比を10：1にする。

膜型肺では、空気塞栓を防ぐ必要がある。スウィープガスの圧力が血液の圧を超えるか、または血流側の圧が大気圧を下回ると（血流や血圧が無い場合、膜型肺から重力でドレナージされる場合）に膜型肺に気泡が発生する。とくに多孔質膜で問題となるが、シリコンあるいはポリメチルペンテンの人工肺でも微小な欠損部から空気が混入しうる。これは、スウィープガスの供給にポップオフバルブを用いる、スウィープガスの供給をサーボ制御方式とする、膜型肺を患者より低く設置する、などにより血流側の圧をガス側より高くすれば防止できる。このときポンプが停止すれば、空気が混入するリスクは最小となる。シリコンやポリメチルペンテンの膜型肺であっても患者より低く設置するのが安全である。

F. 回路の充填

Kを4-5 MEq/L 含む細胞外液組成の等張電解質液を用いて、無菌的に充填する。気泡が除去されるまで、リザーババッグで灌流する。充填液を入れる前に、100% CO₂で満たすと空気除去が容易になる。多孔質膜の膜型肺は、回路内の空気が微小孔より押し出され気泡除去が行いやすいため、迅速に充填できる。回路は、使用時もしくは使用の2,3 日前に充填する。充填後30 日を経過した回路の使用は推奨されない。

患者に回路をつなげる前に、恒温水槽で温める。通常、晶質液で充填するが、血液と接触する前にアルブミン12.5 gを用いて、回路をコーティングする施設も少なくない。小児では赤血球濃縮製剤を用いてヘマトクリットを30-40%に維持する。血液を充填する場合には、抗凝固として1 ml の充填につき1 単位のヘパリンを加え、カルシウムを投与してクエン酸に結合するカルシウムを補う。

時間に余裕がある場合は、灌流開始前に電解質組成及びカルシウムイオンを確認する。緊急時のカニューレーションでは、晶質液を充填して開始し、あとで希釈効果を補正する。

G. 熱交換器

血液温や患者の体温を調節する必要があるれば、熱交換器が必要となる。熱交換には外部に設置した恒温水槽が必要で、これによって温めた（冷却した）水を熱交換器に灌流する。一般に恒温槽の温度は40℃未満で、通常37℃である。循環水と血液の接触はまれであるが、循環水中に少量の血液やタンパク質を認める場合や、説明のつかない溶血がある場合はこれを疑う。また、水槽内の水は無菌ではないため、感染の危険性がある。恒温槽は清潔にし、時々液体の消毒薬を用いて消毒する。

H. モニター

モニターは、装置の機能を測定し、異常を術者にアラームで知らせるよう設計されている。ほとんどの回路は、以下の要素から構成されている。

1. 血流量は、通常超音波血流計で直接モニターするが、ローラーポンプで標準のチューブを使用すれば、ポンプの容量と毎分の回転数から計算できる。
2. 膜型肺前後の血圧測定に、サーボ方式による最大圧制御機構を組み込めば、過剰な圧力の発生を予防できる。
3. ポンプ前の脱血ライン圧にサーボ制御機構を用いることで、ポンプによる過大な陰圧を防止できる。

4. 膜型肺前後の酸素飽和度

静脈血のヘモグロビン酸素飽和度は装置の管理やモニターに有用性の高い重要な指標である。膜型肺後方の酸素飽和度モニターは人工肺がrated flow で働いているか否か、人工肺の機能低下があるか否かを知るのに有用である。血液ガスは持続的なラインモニター、もしくは採血により人工肺前後で測定する。採血で血液ガスを測定する目的は（インラインモニターに比較して）、インレットとアウトレットのPCO₂を測定して膜型肺の機能を調べ、pHを測定して代謝の状態を評価することにある。

5. モニター、採血、注入のための回路へのアクセス

ルーアーコネクタと三方活栓により回路から血液へのアクセスが可能となる。アクセス部位の数は最少にするべきであるが、膜型肺の前後に最低2箇所は必要である。気泡混入のリスクがあるため患者とポンプインレットの間にはアクセス部位を設けない。アクセス部位は採血や薬物投与に用いることができるが、薬物投与を患者の静脈ルートに行なう施設もある。

I. アラーム

膜型肺前後の圧測定とアラーム：この測定により、人工肺の圧力損失勾配が分かる。圧力損失の増加は、人工肺内部の血液凝固を表す。多くの施設は返血ラインに気泡検知器を用いている。圧および気泡検知のアラームを用いてチューブのクランプや、ポンプのオン、オフを自動化し、安全性を高めることができる。

J. 血液チューブ

チューブの長さとお径で血流抵抗が決まる。チューブは静脈脱血の抵抗と送血の圧力損失を最小にするよう選択する。1 mで100mmHgの圧力損失を生む血流は、3/16 インチで1.2L/min、1/4 インチで2.5L/min、3/8 インチで5L/min、1/2 インチで10L/minである。

患者の近くで動脈ラインと静脈ラインの間に「ブリッジ」回路を設けると、ポンプ停止時、ポンプ離脱時、緊急時に有用である。しかし、ブリッジをクランプすると血液滞留部を生じ、血栓症や感染症の原因となる。ブリッジは通常の運転中はほとんど閉鎖しておくが、滞留した血液をときどきパージする。

K. 待機的使用時と緊急使用時の回路

それぞれの回路要素の特性は上述の通りである。緊急使用の要請があった場合は、数分以

内に回路を使用できなければならない。回路の充填は晶質液のみで行い、カニューレが挿入され次第、回路を装着できるようにする。また、緊急カニューレションと回路装着時の事故を回避するため、インレットに過度の陰圧、アウトレットに過度の陽圧がかからないようにする安全管理システムを備えておく。緊急時の回路では、多孔質膜型肺（充填しやすい）と遠心ポンプ（高圧を避けることができ、初期設定時にモニターやアラームを必要としない）を用いる。

III. 血管アクセス

血管アクセスは通常、頸部かそけい部の太い静脈へのカニューレションによる。脱血カニューレの血流抵抗が回路の送流量を決定する。返血カニューレの抵抗は、血流量に依存して膜型肺後方の回路圧を決定する。血管アクセスは、患者の病態で使い分ける（病態別プロトコール参照）。

A. 血管アクセスの方法

1. 静脈脱血—動脈送血（venoarterial;VA）：心臓補助には必須であるが、呼吸補助にも有用である。
2. 静脈脱血—静脈送血（Venovenous;VV）：血行動態の補助効果はない。太い動脈の使用を避けることで、体循環の塞栓症を避けられることより呼吸補助に有用である。
3. 動脈脱血—静脈送血（Arteriovenous;AV）：低流量しか望めない。CO₂ 除去目的に限って使用される。

B. カニューラ

“カニューラ”は、ECLS を目的として直接血管に挿入されるカテーテルを意味し、他のすべてのカテーテルと区別するために用いられる用語である。血管アクセスにもちいたカニューレの抵抗は、直接その長さに比例し、径の4乗に反比例する。すなわち、カテーテルの内径が血流抵抗を決める最重要因子である。側孔や先細り構造なども抵抗に影響を与える。抵抗は高流量で増加するため、カニューレション前にそれぞれのカニューレの特性を調べておくべきである。一般に使用されているカニューラについて、100mmHg の圧力勾配を生じる血流量を病態別プロトコールに記載しておく。カニューラは目標流量（II 項A）以上の流量が得られるように選択する。

C. カニューレション

1. 方法

カニューラは次の方法で留置される。

- 1) カットダウン
- 2) セルジンガー法（経皮的血管穿刺、ガイドワイヤー留置、ダイレータによる拡張）
- 3) カットダウンによる露出とセルジンガー法を組み合わせた方法
- 4) 開胸での右房と大動脈への直接カニューレション

乳児や小さな小児では、通常、頸部血管のカットダウンが必要である。2 歳以上の小児や成人のVV ECMO には、通常経皮的カニューレションが用いられる。心臓への直接カニューレションは、手術室における人工心肺の離脱困難に際して用いられ、人工心肺のカニューラが使用される。

VV アクセスでは、2本の静脈カニューラが用いられるが、ダブルルーメンカニューラも使用される。

2. カニューレーション技法

カニューラ留置前に、ヘパリンをボラス投与（通常50-100 単位/kg）する。

ヘパリンは、患者に凝固異常や出血を認める場合でも投与する。

ダイレクトカットダウンカニューレーション

カニューレーションは通常ICU で、外科チームが完全な無菌操作で行なう。自発呼吸による空気塞栓を防止するため、筋弛緩薬を用いた深い鎮静/麻酔を行なう。

皮膚には局所麻酔を施す。それから血管を剥離して露出する。スパズムを避けるため、血管の直接操作は最小限とする。リドカインやパパペリンの局所使用がスパズム予防に有用である。カニューレーション部位の上下に血管テープをかける。ヘパリン（50-100 単位/kg）を静脈投与し、血管遠位部を結紮する。血管近位部に血管クランプをかけて遮断し、血管を切開してカニューラを留置する。血管が細い場合、カニューレーションが難しい場合、スパズムが発症した場合には、血管の近位端に細い支持糸をかけると極めて有用である。血管をカニューラ周囲で結紮するが、あとでカニューラ抜去が容易になるようプラスチックのブーツ（小片）をかませて結紮することもある。大腿動脈では、非結紮法（次項、セルジンガー法を参照）を用いることがあるが、これはカニューラ遠位部の灌流を十分に確保するためである。

経皮的カニューレーション

ICU で完全な無菌操作のもとに行なう。外科チームは必ずしも必要ではないが、経皮的留置で合併症が発生した場合に備えて、カットダウンを行なえるよう準備しておく。普段使っている小径の静脈カテーテルを先に留置するのが、もっとも安全な方法である。血液採取や血圧測定によってこのカテーテルの位置を確認する。完全な無菌術野を作ってから、ガイドワイヤーを小径のカテーテルに通し、カテーテルを抜去する。その後、一連のダイレクター操作を行う。最後の大径ダイレクターは、それ自身がカニューラを閉塞する内筒となる。現在のキットでは、経皮的アクセスに2名の人員を必要とする。一名はダイレクターをワイヤーに通して進め、もう一名は出血を避けるために、ダイレクター操作中血管を圧迫する。セルジンガー法で大径のダイレクターやカニューラを用いる場合、ダイレクター操作毎にワイヤーをチェックすることが重要である。ワイヤーが捻じれたり曲がったりした場合は、抜いて新しいワイヤーを使用する。エコーや透視はカテーテルの位置決めにも有用である。ワイヤーを留置したのちは、いつヘパリンのボラス投与を行ってもよい。

半セルジンガー法

ICU で麻酔下に無菌操作で行う。血管はカットダウンで露出し、剥離は行わない。小径（20G）の静脈カテーテルを皮膚切開の遠位部より血管に刺入する。血液を吸引して適切に留置されていることを確認したのち、ヘパリンを投与する。このカテーテルは大きなガイドワイヤーを留置するのに利用する。ダイレクターを使ってECMO 用カニューラを挿入する。その後、カニューラの上から閉創する。このカニューラは通常のカニューラと同様に扱う。純粋な経皮的アプローチと比較した場合、この方法の利点は、迅速さ、血管サイズの正確な評価、アプローチの柔軟性である。

3. 遠位血管の管理

頸部のカットダウンでアクセスする場合は、頭部への側副血流、および頭部からの側副血流を期待して遠位の静脈と動脈を結紮する。施設によっては、ルーチンに頭部へ静脈カニューラを留置するが、これは施設の好みで、必須というわけではない。大腿部の血管からアクセスする場合、静脈の側副血流は十分であっても、大腿動脈が狭窄していることがある。下肢遠位部への動脈血流が不十分である場合は、浅大腿動脈遠位部を直接カットダウンして別の灌流ラインを留置する。もしくは、後脛骨動脈に留置して逆行性に灌流する。

4. カニューラの追加あるいは交換

脱血カニューラの抵抗が高く、静脈脱血が不十分な場合、第一の手段は別の静脈に別の脱血カニューラを留置することである。脱血カニューラのサイズを大きいものに取り替えることもできるが、カニューラの抜去と入れ替えは難しいことがある。血管カニューラの穿刺、ねじれ、損傷、クロット形成などがあればカニューラを交換する。カニューラが直接のカットダウンで留置されている場合は、開創し、血管を露出し、通常は支持糸を血管にかけたうえでカニューラを交換する。カニューラが経皮的に挿入されている場合は、カニューラにセルジンガーワイヤーを通すことで交換が容易になる。

IV. ECLS の患者管理

A. 装置関係（回路関係）

回路構成要素は、患者のサイズにもとづいて選択する（Ⅱ項A）

1. ポンプ流量（血流量）

カニューレーション後は、ポンプ流量を増加させて充填液を循環血液に混合させ、ポンプ流量を最大まで増加させる。これによって、患者の特性とカニューラの抵抗に応じた最大流量を把握する。最大流量を確認したのち、十分な補助を行なえる最低値までポンプ流量を低下させる。理想的には、VAアクセスでは、動脈の脈圧が最低でも10mmHgとなるまでポンプ流量を低下させる（ECLS中、心臓と肺に連続的な血流があることを確認できる）のが理想的であるが、重篤な心機能障害では不可能なこともある。VVアクセスでは、動脈血及び静脈血の酸素飽和度がそれぞれ80%、70%を超えていれば十分な補助である。VVアクセスのポンプ流量は、最大値から目標とする酸素飽和度が得られるところまで低下させる（ $\text{SatO}_2 > 80\%$ ）。生理学的指標（平均血圧、動脈血と静脈血の酸素飽和度）の目標値を設定し、これが得られるように流量を調節する。

2. 酸素加

ポンプ流量が膜型肺のrated flowより小さければ（そして、インレットの酸素飽和度が70%以上であれば）、膜型肺のアウトレットにおける酸素飽和度は95%より大きくなければならない。通常アウトレットの酸素飽和度は100%で、 PO_2 は300mmHg を超える。rated flow以下の流量でアウトレットの酸素飽和度が95%未満であれば、膜型肺の機能は低下しており（偏流、クロット形成、ガス相の水分などによる）人工肺の交換が必要となる。

回路からの酸素運搬は、完全な補助をするのに十分でなければならない（低い人工呼吸器設定と FiO_2 で、体酸素飽和度はVA で95%、VV で80%）。40%を超えるヘマトクリット値を維持すると、最小の血流量で適正な酸素運搬を行なえる。

3. CO_2 除去

膜型肺によるCO₂の移送量は酸素の移送量よりも大きい。CO₂の除去は、スウィープガスで調節する。最初は、ガスとポンプ流量の比を1：1とし、その後PCO₂が目標の範囲になるよう調節する。二酸化炭素混合気（5%CO₂、95%酸素）をスウィープガスとして用いる変法もある。CO₂除去が低下し、酸素加が問題ない場合、原因はガス相の結露である。初期のPaCO₂が70mmHgを超えていれば、CO₂とpHに依存した脳血流の変動を避け、数時間かけてこれを正常化する。

4. 抗凝固

4a: ヘパリン（標準、すなわち未分画ヘパリン。低分子量ヘパリンは用いない）は、カニューレション時にボーラスで50-100 単位/kg 投与し、ECLS 使用中は持続投与する。

4a1: ヘパリンの効果測定：ヘパリン静注により、通常はACT を正常値の1.5倍にする。ACT は、フィブリン活性化剤の存在下に全血が凝固する時間（秒）である。各ACT 測定装置は、それぞれ正常血液について、決まった上限値（ほとんどの装置では120-140 秒）をもっている。ACT は1 時間おきに測定するが、ACT が変化するときは、さらに頻回に測定する。即座にヘパリンの投与を判断しなければならないことがあるため、ACT はベッドサイドで測定する（検査室に送らない）。

部分トロンボプラスチン時間（PTT）は、カルシウムを除去した血漿が、フィブリン活性化剤とカルシウムの存在下に凝固する時間（秒）である。検査室で測定できて便利であるが、血小板や血球がヘパリンの効果に影響するため、全血で測定するACT のほうが信頼できる。正常では、10 単位/kg/時間でACT を1.5倍に維持できる。しかし、ECLS を使用する患者は正常ではなく、ヘパリンに標準投与量や標準血中濃度はない。血小板数や白血球数が多い患者、「凝固亢進状態」にある患者では、目標とするACT を得るのに、大量のヘパリンが必要となることがある。血小板減少、腎不全、フィブリン分解産物の上昇などでは、ヘパリン投与量は少なくなる。施設によっては、ヘパリン濃度やトロンボエラストグラムなどの他の凝固検査を施行している。

4a2: ヘパリンはアンチトロンビンと呼ばれる血漿中の分子(AT3)を活性化することで作用する。血漿中のAT3 濃度が低ければ、大量のヘパリンが投与されても血液凝固が起きる。AT3 濃度は正常範囲（対照値の80-120%）に維持されるべきであるが、AT3 のアッセイができない施設もある。正常、もしくは大量のヘパリンにもかかわらず回路内で血液凝固が起きて、AT3 のアッセイを施行できない場合には、新鮮凍結血漿（安価）や濃縮AT3 製剤（極めて高価）でAT3を補充して血液凝固をコントロールする。回路内の血液凝固は、DIC に類似した消耗性症候群を惹起する。回路内で血液凝固が起きたときの対処は、新しい回路への交換である。

4b: 血小板減少症（血小板数<15 万/mm³）はECLS の患者では普通にみられる。原因は、原疾患、薬物や他の治療、血液の人工物表面への接触などである。循環する血小板は、プラスチックの表面に接着し、「放出反応」を起こして、他の血小板をひきつける。こうして活性化した凝集血小板塊は血中を循環し、肝臓や脾臓で除去される。血小板数が2 万/mm³をきれば出血が起きる。日常臨床では、血小板輸注によって血小板数が8 万/mm³を超えるように維持する。たとえ血小板数が8 万/mm³を超えていても血小板機能が損なわれている場合がある。出血が問題となっているとき、カリクレイン抑制薬（アプロチニン、トラネ

キサム酸)で血小板機能が改善することがある(出血:IV項B参照)。

4c:ヘパリン起因性血小板減少症(HITT):HITTは極めてまれな病態で、多発性の白色動脈血栓と1万/mm³未満の血小板減少をみとめる。HITTの簡単なアッセイがあるが、疑陽性率が極めて高い。ヘパリンを使用しているECLS施行中の患者は、数多くの原因によって血小板減少を呈する。こうした患者では、実際にHITTでなくてもHITTアッセイが陽性になることがまれではない。

ECLS患者が真のHITTであれば、血小板を輸注しても、血小板数は増加せず、1万未満である。こうした症例では、ほかに血小板減少の原因がなければ、ヘパリン以外の抗凝固薬を用いるべきである。通常、アルガトロバンが次の選択肢となる。

4d:フィブリノーゲン:ヘパリンによってフィブリン産生が抑制されていても、ECLS中はフィブリノーゲンが枯渇する傾向にある。毎日フィブリノーゲン濃度を調べ、新鮮凍結血漿やフィブリノーゲンの輸注によってこれを正常範囲(250-300mg/dl)に維持する。原疾患や回路内の血液凝固によって線溶が起きると、血液中にフィブリン分解産物が産生される。この分子は抗凝固作用をもち、出血のリスクを上昇させる。フィブリン分解産物が検出され、大量出血がある場合は抗線維素溶解剤(出血の項を参照)で線溶を抑えるのが有用である。

4e:表面コーティング:体外循環の回路や装置には、血液と人工物表面の相互作用を最小にする目的で、その表面をヘパリンや他のポリマーでコーティングしたものがある。改良表面は、血液と人工物表面の相互作用をいくらか抑えるが、現在市販されている表面コーティング回路を用いた場合でも、全身のヘパリン化が必要である。

出血が他の方法によってコントロールできない場合でも全身抗凝固療法なしでECMOの管理は可能である。高い血流量を維持により抗血栓性コーティングの回路の使用が有効となる。回路に血栓が生じた場合に備えて、プライミング済みの交換用回路を準備する。

5. モニター、アラームと事故防止

5a:高い圧力:灌流圧が高ければ高いほど、リークや回路破裂の危険性が高い。一般に400mmHgが安全限界である。目標とする流量でポンプ後方圧が300mmHgを超える場合、その原因は患者の体圧が高い(VAモードの場合)、返血カニューラの抵抗が大きい、膜型肺からカニューラまでのチューブ抵抗が大きい、膜型肺の抵抗が高い、などである。急に圧力が上がって、高圧アラームがなる場合、通常は送血チューブや送血カニューラの一時的閉塞が原因である。こうしたことが起きたらポンプを止め、急に抵抗が上昇した原因をつきとめながら徐々に流量を戻す。

5b:回路内の空気は、直接の視認または気泡検出器で発見する。回路内に空気が発見された場合はポンプを止め、患者の近くで回路を遮断し、呼吸循環を補助する。患者が完全にECLSに依存している場合があるため、迅速に回路内気泡の原因を調べ、これを修復する必要がある。もっとも多い原因は、カニューレーション部位、コネクタ、開放された三方活栓から静脈脱血ラインへの空気の吸い込みである。このほかによくある原因は、患者への静脈ライン中の空気である。空気が脱血側から入る場合、一般的に小さな気泡として混入し、通常は患者に入る前に膜型肺か気泡除去装置(バブルトラップ)で取り除かれる。送血側の空気はずっと重大な問題である。もっとも多い原因は膜型肺からの空気流入である。これは、膜型肺が患者より高い位置にあるなど、血液相の圧力がガス相の圧力を下回ると

きに起きる。

5c: 回路内の血液凝固は、回路全体を懐中電灯で照らし、注意深く観察して発見する。クロットは、表面上に暗く動かない領域として観察される。どんな回路にも、コネクター、静脈ライン、ポンプ前の血液滞留部、膜型肺などにいくらかは微小なクロットを認める。こうしたクロットが1-5mm であれば、回路を交換する必要はなく、観察のみでよい。回路送血側の5mm を超えるクロットや拡大するクロットは、回路の一部を交換して取り除く。こうしたクロットを多数認める場合は回路全体を取り替える必要がある。血小板/フィブリン血栓は、コネクターや滞留部の白色領域として観察される。これは通常、高流速の領域で赤血球を含まないクロットが形成されたためである。暗色のクロット同様、白色クロットは5mm を越えなければ、もしくは拡大していなければとくに何もしなくてよい。

5d: 停電。主電源がきれた場合、電気回路は自動的にバッテリーで作動するよう設計されている。バッテリー作動に切り替わった場合はアラームが鳴る。回路はバッテリーによって30-60 分作動するので、この間に原因を調べる。高電力を要するのは熱交換器の水槽である。バッテリーで作動しているときは、水槽を停止するのが賢明である。もし、電気回路とバッテリーの両方が働かなければ、低流量アラームや患者に取り付けたアラーム（酸素飽和度、血圧）になる。この場合はポンプを手で回す必要がある。

5e: カニューラの事故抜去は、生命に危機的な緊急症である。カニューレーション部から出血し、脱血管が抜けた場合は回路に空気が入る。送血管が抜けた場合は循環血液量が減少し、灌流圧が下がる。事故抜去を防ぐには、カニューラを皮膚に少なくとも2箇所固定し、カニューラの位置と固定を頻回に調べ、患者を適度に鎮静する。

事故抜去が起きた場合は、患者の近くで回路を遮断してすぐに灌流を止め、直接の圧迫で止血するとともに可能な限り早急にカニューラを再留置する。

5f: 溶血は、尿がピンク色になったときに疑い(溶血ではなく、膀胱の出血のこともある)、血漿ヘモグロビン測定して確認する。通常血漿ヘモグロビン濃度は10mg/dl 未満である。これより高値となった場合は患者の状態、もしくは回路の構成要素が原因である。インレット圧(吸引圧)が-300mmHg を下回らない限りポンプ自体は溶血を起こさないが、ポンプの吸引が脱血速度を超えればこうした事態が起こりうる。また、ポンプのチャンバー内にクロットがあると溶血が起きる(遠心ポンプで起きることがある)。溶血は、狭い口径を血液が高流速で流れると起きる。これは、送血カニューラの抵抗が高いとき、もしくはポンプ後の回路に高度の閉塞があるときに起きる。また、回路に組み込んだヘモフィルタールや血漿交換装置を高流速で使用すると溶血が生じる。

5g: 緊急時の訓練は、これらのすべての問題に向けて、チームで定期的に行うべきである。

5h: 安全: ECMO は、重篤な患者に用いられ、高度の技術を要する治療である。良好なアウトカムは、多職種チーム(医師、ECMO 専門家、体外循環技士、看護師、その他)による安全管理の反復に大きく依存する。安全なECMO 治療を促す指針には: 緊急事態に対処する定期的な技術講習会、鍵となる重要事項を事前に確認する「タイムアウト」のチーム訓練、

ECMO 施行後の報告を含む。

6. 部品と回路の交換

三方活栓やコネクターなどの小さい部品やポンプチャンバー、膜型肺、回路全体などの大きな構成要素を取り除き交換するためにポンプを止める（体外循環を停止する）ことがある。患者がECLSに完全に依存している場合には、次のようにすれば1分未満に交換できる：患者に呼吸器と薬物治療の最大補助を行う。最低1人の助手を手配し、すべてのクランプと部品を集める。患者の近くと交換する部品の前後にクランプをかける。無菌的に部品を除去し、新しい部品を組み込んで、チューブを生理食塩液で満たし、全ての気泡を除去する。膜型肺を交換、もしくは付け足す場合は、回路に装着する前に品質液で充填する。

7. 移送

移送は危険である。可能な限り、ICUで管理する。

病院内：放射線診断室、手術室、カテーテル検査室に運ぶ必要性にせまられることもあるが、そのときは以下の点に留意する：バッテリーが完全にチャージされているか、手回し用クランクを準備したか確認する。節電のために、水槽を停止する。スウィープガスには満たんにした小型の酸素ポンプを用いる。患者をベッドから移す前に、電源をバッテリーに切り替え、ポータブルの酸素につなぐ。心電図、血圧、酸素飽和度モニターをポータブルモニターに代える。持続静脈注入を行っている薬剤を最小限とする。アンビューバッグ、酸素ポンプ、非常用薬剤を携行する。ICUを出る前に移送計画を練る。エレベーターを止め、廊下を片付け、移送先の準備が整っていることを確認する。患者とECLS装置を動かすとき、1名は片手をストレッチャーに、もう一方の手をECLS装置にかけ、チューブが引っぱられないようにする。

病院から病院：病院間の移送では、移送チームは上に詳述した留意点に加え、必要なものを完備する必要がある。これには、すべての部品の予備、各サイズを揃えた種々のカニューラ、手術器具、薬物などが含まれる。紹介先病院の特別な処遇を取り付ける。家族と同意書、血液、血小板、血漿の準備、必要であれば手術チームについて、紹介先病院に指示する。

B. 患者関係

1. 血行動態

VV補助では、患者は自己の血行動態に従う。心拍出量、血圧、血管抵抗を制御するために、適切な薬物投与や持続静注を行う。

VA補助では、血行動態は血流量（ポンプ流量と自己心の拍出）と血管抵抗に制御される。脈圧が小さいため、平均動脈圧は正常よりも幾分低い（新生児で40-50mmHg、小児と成人では50-70mmHg）。さらに、心補助を目的にECLSを使用した患者では、ECLS開始時に大量の昇圧薬を投与されている。こうした薬剤を徐々に低下させるにつれ、血管抵抗が低下し、体血圧が平行して低下する。体灌流圧が不十分であれば（尿量低下、灌流低下）、輸血するか少量の昇圧薬を投与して、血圧を上昇させる。敗血症性ショックの患者では昇圧薬を必要とする血管拡張が一般的に起きる。平均動脈圧は低くても、体灌流は十分なことがある。体灌流は混合静脈血酸素飽和度で評価するのがもっともよい。静脈血酸素飽和度が75%を超えていれば血圧が低くても酸素供給は十分である。体酸素運搬が不十分であれば（静

脈血酸素飽和度<70%)、灌流が十分になるまでポンプ流量を増加させる。流量を増加させるのに循環血液量を必要とする場合は、晶質液を追加投与するよりも輸血を行ったほうがよい。

2. 呼吸器の管理

VVモードであろうとVAモードであろうと、人工呼吸器は低く設定し、肺を休ませる。呼吸不全の患者でよくみられる間違いは、ECLS初期の急性炎症期に肺胞を開存させようとすることである。肺を休止させる典型的な設定では、吸気時間を長くして呼吸数を減らし、吸気プラトー圧を下げ(<25mmHg)、FiO₂を下げる(<30%)。状況に応じて呼気終末陽圧(PEEP)を用いることもできる。実際、持続的に陽圧をかけときどき圧を開放するAirway Pressure Release Ventilation(APRV)が用いられることもある。しかし、患者がVVモードで管理されている場合は、高いPEEPを用いると静脈還流が妨げられ、PEEPに特徴的な血行動態への悪影響がある。PEEPは通常5-15 cmH₂Oに設定する。変法として、気管挿管を抜管し、患者を覚醒させて自発呼吸させてもよい。これは待機的肺移植術までのブリッジとして使用している患者に望ましい方法である。

肺にかなりのエアリークや間質に肺気腫がある場合は、数時間から数日、リークがとまるまで人工呼吸器の圧力を下げるか、あるいは停止させる。このとき、肺には原疾患に加えて高度の無気肺が生じる。人工呼吸器に戻すときは肺胞を開存させる必要がある。気胸が生じた場合、胸腔ドレナージチューブの挿入は、当然の処置ではない。たとえ小さなチューブの留置でも、開胸を必要とする大量出血を招くことがある。血行動態に影響を及ぼさない小さな気胸(<20%)は、吸収を待つのがもっともよい治療である。拡大する気胸や血行動態に影響する気胸はドレナージが必要となる。これは、術者がもっとも慣れた方法で行うのが最善である。セルジンガー法で小さいカテーテルを入れる方法もあれば、外科的に開窓して胸腔チューブを留置する方法もある。(手技、9項参照)

炎症が治まれば、肺胞を開存させる手技(1から2分間、25-30cmH₂Oの圧力で吸気を延ばす)を使える。肺が回復するときは、自発呼吸が回復を促す。鎮静薬を調節して自発呼吸を出し、スウィープガスを調節して送血する血液のPCO₂を40-45mmHgの間に維持し、人工呼吸器をアシストモードにして肺の回復を促進する。

心補助を目的にVAでECLSを使用していて肺機能に問題がない場合は、気管挿管チューブを抜去し、自発呼吸下に覚醒させておける。

動脈血ガスは、送血した血液と大動脈(VA)もしくは右房(RA)の血液が混合した結果である。送血する血液は、通常PCO₂ 40mmHg、PO₂ 500mmHg、酸素飽和度100%、酸素含量22mlO₂/dLである。

VVモードでは、送血した血液が体静脈に還流した血液と混ざる。送血した血液と脱酸素化した右房血との一般的な比率は3:1である。結果、肺動脈の血液はPCO₂ 41mmHg、PO₂ 40mmHg、酸素飽和度80%、酸素含量17mlO₂/dLとなる。自己肺の機能がまったくなければ、これが動脈血ガスの組成となる。一般にVV補助では体動脈血の酸素飽和度が約80%であり、これを知っておくのが重要である。ヘマトクリットが40%以上で心機能が良好であれば、この水準の低酸素血症でも体酸素運搬は十分である。(低酸素血症を理由に呼吸器の設定を上げない)。自己肺の機能が悪くても、酸素飽和度で80%を超えて酸素加が増加する。

V Aモードでは、送血した血液が大動脈の血液と混ざる。送血した血液と生体の大動脈血は、一般的に8 : 1 の比率となる。結果、自己肺の機能が正常で（心補助の場合など） FiO_2 が0.2 であれば、 PCO_2 40mmHg、 PO_2 200mmHg、酸素飽和度100%、酸素含量21mmO₂/dL となる。自己肺が機能していない場合は、 PCO_2 40.5mmHg、 PO_2 100mmHg、酸素飽和度98%、酸素含量20mmO₂/dL となる。

注意：送血した血液が大動脈基部（鎖骨下動脈、頸動脈や大動脈弓部も同様）に流れればこの値は正しい。しかし、大腿動脈送血で血流が逆行性である場合、血液は大動脈の中間部分のどこかで混ざる。流量が大きければ混合する位置が心臓に近くなる。高度の呼吸不全で、通常のV A補助流量（総心拍出量の80%）であれば、左室の脱酸素化した血液が大動脈弓部と冠動脈を灌流し、完全に酸素化された送血血液が体の下部2/3を灌流する。体格の大きい小児や成人ではこうなる。このときは、さらに上大静脈の血液を脱血するか、送血の一部を右房に送る（静脈脱血・静脈動脈送血 VVA）ことで対処できる。詳細は病態別プロトコールを参照。

3. 鎮静

患者は、カニューレション時と最初の12-24 時間、浅麻酔の状態になるまで完全に鎮静する。その目的は、カニューレション時に空気塞栓を起こす原因となる自発呼吸を止め、代謝率を下げ、カニューレションを困難にする体動を避け、患者を楽にするためである。

ECLS で患者が安定した後は、すべての鎮静と麻薬を十分な期間止め、完全な神経学的検査を行う。それから、患者の不安や不快感に応じて、再度鎮静や鎮痛を行う。VV でECLS を施行している場合、鎮静の主目的は、気管挿管に耐えられるようにすることである。5歳以上の患者では、鎮静を減らすために早期に気管切開への変更を考慮する。鎮静は最小限であるべきだが、患者がカニューラやチューブを引っ張り、事故抜去やライン閉塞などを起こさないようにするのが重要である。もし、なんらかの理由で静脈脱血が妨げられると、血流は体循環やガス交換の補助に十分ではなくなる。これは、患者が不穏であったり、動いたり、咳をしたときにも起きる。鎮静は代謝率の上昇を抑えるのに十分でなければならず、また十分な静脈脱血を得られなければ筋弛緩や冷却が必要になることもある。長時間鎮静鎮痛をとめたうえで神経学的検査は毎日行うべきである（毎日休薬する必要がある）。

4. 血液量、体液バランス、およびヘマトクリット

重篤な患者はすべて同様であるが、管理の最終目標は正常なヘマトクリット、正常体重（水分過負荷でない）、正常な血液容量である。

ECLS 中循環血液量は体外循環回路の充填容量によって増加する。体外循環回路には伸展性がないため、2倍3倍となった血液量は血行動態に影響を与えない；1ml の血液が失われれば、直ちに同量の血液で補われる。体外循環回路は晶質液で充填され（小児では赤血球が充填されることもある）、充填液はECLSの最初の数分で血液と平衡状態になる。赤血球、血小板、蛋白は生体の血液量と充填液の比率に依存して希釈される。この希釈は血漿中に晶質成分が増加することで起こり、細胞外スペースまで平衡状態となって浮腫を生じる。

血液量は右房圧で5-10mmHg を目標として高めに維持する。これによって、脱血カニューラの抵抗が適切である限り、十分な静脈脱血量が確保される。

輸液管理の目標は、細胞外水分量を正常（ドライウェイト）に戻し、そこで維持することにある。理由は、疾病や医原性の晶質液投与による浮腫が、原疾患に加えて肺不全や心筋不全を起こすからである。血漿から細胞外に毛細管リークがある敗血症患者では、正常な細胞外液状態を得るのが困難である。ECLS初期の急性炎症期に生じる毛細管リークは、大量の晶質液投与でさらに悪化する。患者の血行動態的に安定すれば（通常12時間）、利尿薬を投与し、ドライウェイトになるまで継続する。利尿薬に対する反応が不十分で水分バランスをマイナスにできない場合や、腎不全が発症している場合は、体外循環回路に持続血液ろ過を付加して、水分と電解質のバランスを維持する。

5. 体温

体温は、水槽の温度を調節することによって目標とする温度に維持できる。通常は37℃あたりに維持する。低酸素による虚血性脳傷害を起さる状況でカニューレーションされた場合、脳障害を最小限にするために最初の24-72時間は、軽度低体温（32-34℃）で維持するのが合理的である。低体温では、シバリングを防ぐために鎮静や筋弛緩が必要となり、また出血が増悪する可能性がある。高体温（発熱や炎症による）は、代謝亢進を避けるために熱交換器で調節する。

6. 腎と栄養管理

上述したように、患者がドライウェイトに近づき浮腫が消失するまで、自発的利尿もしくは薬物的利尿を維持する。これは心不全や肺不全からの回復を早め、ECLSの時間を短縮する。腎不全が起きたとすれば、それは原疾患に関係したものであり、持続血液ろ過透析（CVVHD）で対処する。すべての危機的患者と同様、カロリーやタンパクを含めた完全な栄養補給が重要である。

7. 感染と抗生物質

カニューレーション部位は消毒液で頻回に消毒し、消毒用クリームやオイントメントで感染を予防する。感染があれば、適切な抗生剤を投与する。ECLS施行中の予防的抗生剤投与について、標準処方はない。ECLS中の菌血症は、回路部品内での菌の成長が関与することもあるが、通常は患者に由来する。危機的患者で一般的な「中心静脈カテーテル敗血症」を疑った場合と異なり、感染を疑っても通常はカニューラを交換できず、回路の交換も危険である。他の原因による菌血症がすべて否定されたときに、カニューラまで含めた回路全体を迅速に交換する。

8. 体位

患者の体位は、病態を考慮したうえで可能な限り可動性のある正常な体位を保つべきである。患者は、数日間麻酔下に仰臥位で寝かされる傾向にある。大きな小児や成人では、肺後部が圧迫され無気肺を生じるため、これは避けるべきである。中心となる問題が呼吸不全であれば、後部の肺硬化は1日に数時間腹臥位で管理することで予防され、また治療される。変法として座位もあるが、座位ではECLSの流量を保つのが難しい。心補助が目的のECLSであれば、挿管チューブを抜去し、患者をベッド上で自発的に動かしてもよい。当然であるが、経胸郭カニューレーションや開胸患者では、これは推奨されない。

9. 出血

ECLSでは全身の抗凝固、血小板減少、血小板機能障害などの理由により、出血がもっともよくみられる合併症である。ECLSの経過を通して、出血の予防が重要である。医師や看護

師は、単純な静脈穿刺、指の穿刺、気管内吸引、鼻腔や尿道からのカテーテル挿入などが制御できない出血を招くことを忘れていることがある。ECLS 患者では採血部位が多数存在するため、針で穿刺するのは極めてまれである。吸引やカテーテル留置は、抗凝固状態が適切である（低いACT 値、適切な血小板数）こと確認したのちに、注意深く行う。侵襲的な処置が必要な場合は、適切な準備を行なうことが重要である。抗凝固の管理については第IV 項.A. 4に記載した。特にフィブリンノーゲンとAT3 に注意を払うべきである。

出血への対処は、凝固状態をできるだけ正常に近づけることから始める。ACTあるいはPTT が正常の1.4 から1.5 倍になるまでヘパリン投与量を減らし、血小板数が10 万を超えるまで血小板輸血を行なう。線溶が確認されたとき、もしくは疑われたとき（特に最近大手術が行われた場合）は抗線維素溶解剤を投与する。

凝固因子の欠乏が明らかであれば、新鮮凍結血漿や特異的な凝固因子製剤が適応となる。しばしばこれらの処置によって出血が止まる。もし、止まらなければヘパリンの投与を中止するのが合理的であるが、回路内にクロットが形成される可能性があるため、これは特異的な治療が奏効しない場合に限るべきである。抗血栓性コーティングの回路を使うと長時間ヘパリンを中止してもクロット形成による合併症リスクが軽減される。

カニューレシオン部位：もっとも一般的な出血部位である。特に直接のカットダウンでアクセスが行なわれた場合に出血しやすい。全身のヘパリン化をせずに剥離し、患者の状態が許せばカニューレシオン前に2-3 分観察することで、出血を最小限にできる。カニューレシオン部の出血は、カニューレがゆるいか、もしくは抜けかけていることの徴候でもある。常に事故抜去の危険性を考慮する。通常、カニューレシオン部位の出血は、皮膚や皮下組織の小血管の破綻によってじわじわと出るウージングである。局所の圧迫で制御できることもあるが、カニューレを圧迫しないように注意が必要である。直接のカットダウン後に出血が持続する場合は、再開創して検索するべきである。

最近の手術：2 番目に出血が好発するのは、最近の手術に関係した部位で、特に術後心不全に対しECLS を使用している場合に起きる。この状況では（特に、直接人工心肺からECLS に移行した場合）、まず術野に吸引カテーテルを留置し、プラスチックドレープで術野を閉創し、出血量を測定するために血液を採集する。ドレナージされた血液は、「セルセーバ」に集めて患者に返血できる。手術室で人工心肺から直接ECLS に移行した場合、ACT が正常化するか出血が止まってからヘパリンを開始するのが合理的である。血小板数、ACT、薬剤を適切に管理したのち、活動性の出血について術野を再検索する。出血に対して開創した場合、皮膚を外科的に縫合せず、術野を開いたままドレナージし、プラスチックドレープで閉創して帰床するのが最善である。（カットダウンによるカニューレシオン部位は別である）出血を制御するには再検索を何度も繰り返す必要がある。創部感染のリスクは中等度であるが、出血が持続することのリスクに比べればはるかに低い。心臓手術後や他の病態については病態別ガイドラインを参照せよ。

粘膜：患者管理に関係した微細な外傷により、鼻咽頭、口腔、気管、直腸、膀胱からの出血がよくみられる。これらの出血を直接の圧迫で止血するのは難しいが、鼻腔のパッキングや大きなバルーンのついたFoley カテーテルで牽引することによって止血できることがある。

子宮：妊娠が可能な年齢の女性ではECLS 中に月経周期を迎えることがある（危機的な状況

の患者ではまれであるが)。しかし、通常子宮からの出血は重篤ではなく、自然に止まる。最近分娩した患者にECLSを使用した場合は、子宮からの出血が重大な問題になる。胎児の遺残を除外したのち、子宮内をバルーンで閉塞牽引して出血を制御する。子宮摘出が必要になることはめったにない。

消化管出血は、食道炎、胃炎、十二指腸潰瘍やその他の原因で起きる。内視鏡や血管造影で出血部位を同定することが重要である。内視鏡や動脈内カテーテルで出血部位に到達可能であれば、局所治療を試みる。止血手術や出血臓器の摘除などの決定は、凝固異常を有する患者の消化管出血に準じる。凝固異常は可能な限り補正したうえで、制御不能な出血が持続すれば手術の適応とする。これは、他の充実性臓器（肝臓、腎臓、後腹膜臓器）や胸腔、腹腔への出血でも同様である。

頭部や脳実質への出血は、ECLSでもっとも重篤な合併症である。通常は、広汎で致命的である。高度の人工換気と薬剤の調整でECLSを離脱できれば、そして手術適応があれば、開頭して血液をドレナージする。

こうした治療や処置をすべて行なったのち、まだ出血が持続するようであれば、出血が止まるまでヘパリン化を中止する。これをするために、患者の状態が許せば、高流量の高度人工換気と昇圧薬を使用してECLSを離脱するのが最善である。患者がECLSの離脱に耐えられなければ、ヘパリンを中止し、数時間ACTを正常化させるのがよい。これによって出血が止まる可能性があるが、一方で回路内にクロットが形成される可能性がある。ヘパリンを中止する場合は、充填した回路をすぐに使えるよう常に準備しておく。

10. 外科的処置

ECLS中には静脈穿刺から肝臓移植までの外科的処置が行なわれ、成功している。手術が必要な場合は上述したように凝固を適正化する（抗凝固を最小限とする）。胸腔チューブの留置といった小手術でさえ、電気メスが多用される。外科医にとっては、凝固異常のある患者に手術を行うのと同様である。

V. ウィーニング、試験停止、無益な場合の中止

A. ウィーニング

IV項に示したように管理すれば（換気設定と昇圧薬を下げ、十分な補助を行なえる最低の流量を用いる）、ウィーニングも自動的に行なえる。生体の臓器機能が改善するにつれて体外循環の補助を低下させる。体外循環による補助が完全補助の30%未満になれば、ECLSを中止させても生体の心臓や肺の機能は十分であり、試験停止を試みる。注意：体外循環補助が30-50%では、制御不能の出血といった特別な状況でない限り、試験停止の適応はない。

B. 試験停止

VVアクセス中の試験停止は極めて簡単である。心機能は問題ないため生体肺のガス交換機能を調べればよい。人工呼吸器をECLS停止時に容認できる設定（呼吸数、プラトー圧、PEEP、FiO₂）とする。血流と抗凝固を維持し、スウィープガスを止め、人工肺を切り離す。患者のSaO₂とPCO₂を監視する。容認できる呼吸器の設定で1時間以上肺機能が十分であれば、カニューラ抜去の準備をする。

VA アクセス中の試験停止では、脱血ラインと送血ラインを遮断し、送脱血ライン間のシャントを介してゆっくり循環させる。陽性変力薬や昇圧薬の投与量と呼吸器の設定を容認できる水準に調整する。それから体外循環回路を遮断して、生体の循環とガス交換を監視する。試験停止中は心エコーが心機能評価に極めて有用である。試験停止中は抗凝固を継続し、送脱血ラインとカニューラは血液の滞留を防ぐために定期的に遮断解除する。試験停止が成功すれば、回路を切り離し、カニューラをヘパリン加生理食塩液で「ロック」して、カニューラ抜去を待てばよい。試験停止は成功したものの、患者の状態が不安定である場合は、回路を切り離し、カニューラを留置したままにして、新しい回路でECLSを再開できるようにしておく。この状況では、カニューラを低用量のヘパリン加生理食塩液で満たし、頻回に観察するのが一般的な方法である。カニューラは24時間以上留置しておける。ECLSを再試行する必要がなければ、試験停止成功後にカニューラを抜去する。

C. カニューラ抜去

カニューラは患者側の準備が整い次第抜去してよいが、理想的にはヘパリンを30-60分中止してからが望ましい。直接のカットダウンで留置したカニューラはカットダウンで抜去する。カニューラを抜去し、単に血管を結紮すればよい（血管を修復することもある）。大腿動脈をカットダウンしてカニューレーションした場合は血管の修復が必要である。経皮的に留置した静脈カニューラと動脈カニューラは直接抜去し、局所の圧迫で出血を制御する。静脈カニューラを抜去するとき、患者に自発呼吸があれば空気が側孔より静脈内に流入する。これは、人工呼吸中にバルサルバ手技を行なうか、静脈カニューラ抜去時に短時間筋弛緩薬を用いることで防止できる。

D. 無益な場合の補助停止

健康な生存がまったく望めない場合（重篤な脳傷害、心臓や肺が回復しない、心補助装置や移植による臓器の置換が望めない）は、ECLSを直ちに止めるべきである。無益であると判断した場合に停止することは、ECLSを開始する前に予め家族に説明しておく。不可逆性の心肺傷害の定義は、患者や施設の資源に依存する。それぞれの症例で、経過の早期に臓器の回復や置換について、合理的な期限を設定すべきである。例えば心不全ではほとんどの施設が、補助人工心臓や移植の候補ではない患者で3日間心機能がない状態を無益としている。肺不全ではほとんどの施設が、移植の候補ではない患者で2週間肺機能がない状態を無益と判断している。しかし、ECLSを50日間使用したのち肺が回復した症例もある。数週間VV ECMOを使用した呼吸不全患者における器質的な肺高血圧も無益と判断する適応であると考えられる。少なくともVAアクセスに変更する適応である。

VI. 患者と疾病に特異的なプロトコール

このガイドラインは、すべてのECLS症例に適用するために作成したが、ガイドラインが使われる状況は多様であり、特定の患者では付加的なガイドラインが必要となる。病態別ガイドラインは、呼吸補助と心補助、新生児、小児と成人について作成されている。喘息、肺塞栓、敗血症、蘇生などの特殊な状況については、付加的なガイドラインが作成されるだろう。

VII. 予測される結果（患者、疾病ごとに）

病態別ガイドライン参照。ECLS症例のアウトカムはELSOレジストリーに半年ごとに記載されている。—