

ECMO センターの条件

ELSO ガイドラインは、ECMO センターとしての要件について概説している。ECMO センターには、組織、設備、機器が整っており、専門のスタッフが存在し、継続的な教育が行われ、プログラムの再評価と改善を続けるということが必要である。ガイドラインの推奨として、年間で最低6人のECMO 対象患者を受け入れられるだけの医療圏をもつ地域中核病院にECMO センターを配置すべきとしている¹。これより少ない患者数では専門性に欠ける診療となる可能性があり、費用対効果の面で損失が大きいからである。さまざまな規模のECMO センターから治療成績に関する報告はいくつかあるものの、いまだECMO センターの規模と転帰に関する検討はなされていない。しかしながら、患者を集約し一施設での診療数を増やすことは、特に母数の少ない複雑な疾患の転帰を改善することが示唆されている。間接的ではあるが、ELSO の提唱する集約化を強く支持する根拠となっている。患者数の増加と転帰改善に強い関連があるのなら、患者集約システムを構築することは有益なはずである。

集約化の利点

集約化は次の2点において転帰を改善する可能性がある。1つは、専門化された施設の診療の質向上そのものである。もう1つは、患者集約化システムにより、その地域における施設間での連携がはかれることである²。

症例数とアウトカム（転帰）の関係

この領域の先駆的な報告は、1979年のLuftらによるものである。この報告は高リスクの手術患者（例：血管外科手術）において、年間200例以上の症例数がある施設は、200例以下の施設に比べて死亡率が25～41%低いという内容である。しかしながら、同報告において低リスクの手術患者（例：人工股関節全置換術）では、死亡率に有意な差は認められていない³。その後、約300の研究により、規模の大きさと患者の良好な転帰には確実な関連があることを示す報告がされている⁴。2つの総説によれば、約70%の研究において、「病院そのものの規模が大きい、もしくは医療スタッフの人数が多いことが良好な転帰と相関する」とし、また「規模が大きいことが転帰不良と関連する」という結果はなかったという^{5,6}。カリフォルニアにおける検討では、治療が必要な患者を大規模な医療機関へ紹介することにより、州全体の入院死亡数を年間約600人減らすことができるであろうと報告している⁷。

この論文には、重要なポイントが2つ存在する。1つは、医療機関の扱う症例数と転帰の相関の強さは患者の状態により異なり、特に高リスクで頻度の低い処置や疾患においてより強くなるという点である。膵切除、食道切除、肺切除などでは高い相関がみられ、胃切除、膀胱切除、未破裂腹部大動脈瘤、大動脈弁置換術、僧帽弁置換術では中等度の、冠動脈バイパス、結腸切除、肺葉切除、腎切除、下肢血管バイパスでは弱い相関となる⁸。もう1つは、症例数と転帰の関連が弱まるもしくは消失する境界の存在が示唆されることである。たとえば、症例数が多い病院で治療を受けると、次

の3疾患、急性心筋梗塞、心不全、肺炎における死亡率が低下することが示されていたが、どの程度以上の症例数でそれが生じるかは明らかとなっていなかった。急性心筋梗塞では年間あたり 610 人 (95%CI 539~679)、心不全では 500 人 (95%CI 433~566)、肺炎では 210 人 (95%CI 142~284) の患者数とその境界とされる⁹。さらに、これらの疾患以外でも一定以上の症例数があることにより死亡率が低下するとされており、肝移植では年間 20 例以上、先天性横隔膜ヘルニアでは年間 6 例以上、小児 VAD 留置術では年間 5 例以上などである¹⁰⁻¹³。

特定の専門的機能を有し、多くの患者の診療を行う医療センターの利点は、死亡率の低下のみではない。合併症発生率低下、病院滞在期間短縮、医療費削減などが、小児 ICU¹⁴⁻¹⁶、肺癌手術¹⁷、前立腺切除術¹⁸、PCI¹⁹の各分野で報告されている。センター化されていないことによる医療費高騰の原因は2つ考えられる。入院期間の延長と合併症発生率の増加、さらに、スタッフや機器の重複がある。

ECMO プログラムにおいて重要となる小児 ICU、成人 ICU、小児心臓外科領域においても、症例数と転帰の関係が検討されてきている。

小児 ICU における症例数と転帰の関係

Pearson らは、小児 ICU の集約化効果に関するランドマークとなる検討を 1997 年に発表している¹⁴。ビクトリア (オーストラリア: 高度センター化された施設) とトレント (イギリス: センター化されていない施設) における小児 ICU 内での死亡率を重症度で調整し、比較検討した。背景となる人口や入院率はほぼ同等であったが、死亡のオッズ比は 2.1 (95%CI 1.4~3.2) であり、ICU 平均滞在期間はトレントのほうが 1 日以上長く、約 11% の死亡率増加があると概算している。この検討ののち、イギリスの異なる地域における集約化により、専門的な小児 ICU へ入院する患者の割合が 60% から 90% へ増加し、小児 ICU 滞在日数は 1 日以上短縮し、その地域の総小児死亡率も低下したことが報告された²⁰。

さらに、専門家のいる小児 ICU へ入院させることが、先に述べた Pearson らの検討と同等ないしそれ以上の死亡率減少効果があることが明らかとなった。入室者数の増加も同様に良好な転帰と関連していた。それぞれ異なる検討であるが、年間に 31, 120, 200 症例の増加で死亡率が約 10% 減少したとの報告がある^{15, 16, 21}。理想的な年間症例数は 840 症例以上¹⁵、別の検討では 992~1,491 症例²¹と報告されている。後者の検討では、症例数と転帰の関係は U 字曲線を描き、大規模になりすぎた施設では死亡率が増加する可能性を示唆していた。しかし、すべての検討において、症例数が増加すると ICU 滞在期間の短縮が認められた。

成人 ICU における症例数と転帰の関係

成人 ICU における症例数と転帰の関係の検討は少なくとも 6 つ挙げられ、一貫して症例数の多い施設の優位性が示されている²²。特に ECMO と関連のあるものとして、2 つの人工呼吸器管理患者の検討がある。人工呼吸管理を要した非手術患者 20,241 症例の検討では、症例数の多い施設 (年間 400 症例以上の入室) は症例数の少ない施設 (年間 150 症例以下) と比較して ICU 死亡率の調整オッズは 37% 低値であった²³。同様の検討をペンシルベニア州のすべての急性期病院で行ったところ、症例数の多い施設 (年間 300 症例以上) を症例数の少ない施設 (年間 300 症例未満) と比較すると、30 日死亡率における絶対リスク低下は 3.4% であった²⁴。

先天性心疾患における症例数と転帰の関係

1995 年のカリフォルニアとマサチューセッツにおける検討では、年間手術件数が 300 を超える施設において、院内死亡リスクが低下するという結果であった²⁵。最近の検討では、その関係がより複雑なものであることが示され、低難易度 (Aristotle technical difficulty score による定義) の手術では症例数と転帰の関連は認められないが、難易度の高い手術において、症例数の多い施設 (年間 350 症例以上) は症例数の少ない施設と比較して死亡率が約 50% 低くなることが明らかとなった²⁶。

症例数と転帰の関係はなぜ生じるか

よりよい結果がより多忙な病院でみられるという事象には、複数の機序が関与している。診療経験の増加（「習うより慣れる」）、紹介バイアス（施設の成績がよいことにより紹介患者が集まること）、医師 1 人あたりの仕事量の増加、専門性の促進、そして規模の大きい病院でよくみられるシステムの改善などである。これらのうちどれが重要であるかについてこれまでも議論されてきたが、すべてが重要であることが一貫して示されている。

医療機関あたりの症例数が増加することにより、転帰は改善する。その効果は横断研究より縦断研究で明らかである^{27,28}。また、紹介バイアスも疾患によっては重要であり（例：CABG）、手術件数と専門化は、それぞれ医療機関の症例数とは独立して転帰を改善する要因となっている^{4,5,27}。

難易度の高い手術・治療を要する疾患の死亡率は、その疾患の症例数と逆相関するだけではなく、他の要素、すなわち、その疾患特有の要素ではないものとも逆相関するとされる²⁹。これは症例数の多い医療機関におけるシステム整備や他のサービスの充実が転帰を改善しようということを示唆している。たとえば、施設における ICU の特徴は転帰と関連する。“closed”と呼ばれる集中治療医が運用する ICU、集中治療医が 1 日 1 回の回診を行う ICU、看護体制が 1:2 ないしそれ以上となっている ICU は死亡率と合併症発生率が低下し、滞在期間が短縮し医療費が削減される³⁰。エビデンスに基づいたケアガイドラインの作成、ケア・診療の標準化、看護師-患者比、教育、チームワークと円滑なコミュニケーション、多職種合同カンファレンス、臨床薬剤師の存在は、すべて転帰を改善する要素と考えられ、特に大規模な病院で認められる²²。症例数と転帰の関係にはこのような一面があることを理解しておくことは非常に重要であるが、状態の悪い患者を単に症例数の多い施設へ転院させればよいというわけではない。前述したようなシステムをもたない施設は、より症例数は少なくともシステムを保有する施設に劣る結果となる可能性がある。質改善のためのプログラムを

もつ施設は、前述の内容を満たしていなくとも転帰をよりよくする可能性がある。

症例数と転帰に関する文献の限界

症例数と転帰との関係を検討した文献には、その方法論に限界がある。多くの検討は後ろ向きの検討であり、かつ情報の詳細さや信頼性の異なる臨床ないし行政のデータベースからの抽出であるという点である。後ろ向きの検討では、前向きの検討と比べて症例数と転帰の関係がより強く⁵、リスク補正の度合いにも幅がある。それぞれの研究の導入基準は独自のものであり、多様であることから、メタ解析が困難となる。各研究から症例数を示すことは容易であるものの、質を示すものではない。施設あたりの症例数が転帰を規定するという科学的なものではなく、解釈には注意が必要である。

集約化システム

センター化・専門化された施設と、一般の施設との間での診療体制の協調が得られ、かつ施設間での知識の共有ができるようなシステムが構築できれば、集約化により転帰を改善するであろう。これは、すでに病院前診療と病院診療の連携による外傷診療システムの構築により証明されている。外傷診療システムの導入により、重症外傷患者の生存率は 15~20%改善した³¹。同様に、近隣施設とのネットワーク形成とともにセンター化された小児 ICU により、小児死亡率はそれまでの 57%にまで低下した¹⁴。

推奨

症例数が少なく、重症度が高く、治療が複雑な疾患群においては、症例数の豊富な施設での診療が転帰を改善することは、強いエビデンスがあることが繰り返し示されている。小児 ICU、成人 ICU、小児心臓外科領域において集約化は転帰を改善する。ECMO を導入した患者の転帰と症例数との関係の評価する検討はいまだなされて

いないが、ECMO が必要となるのは重度な呼吸・循環不全に陥っている ICU 患者であるため、比較的症例数が少ない、重症度の高い患者に行われる治療であるといえる。こういった患者は専門家により管理され、必要に応じて ECMO を導入することができる施設で診療することが望ましい。患者の管理方法の施設間共有とシステム構築がなされ、その一部として ECMO ユニットができるようならば、転帰はさらに改善していくであろう。

ECMO による治療を集約化して提供するには、次の 2 点が必須である。1 つは、通常の治療では安全に搬送すらできないような患者の搬送を担う ECMO 移送チームの存在である。もう 1 つは、集約化による転帰改善効果が明らかとなるまで、施設成績を集計し公表を続けることである。

センター化された施設は、その専門性を維持していくための症例数として、ELSO は年間 6 例以上を推奨している。また、地域ごとに症例集約のための手法を構築する必要があるが、ICU の規模、地理的条件、医療圏などに影響されるであろう。例として、ニュージーランドのスターシップ小児病院とオークランド市立病院で行われた国家的なプログラム（オークランドプログラム）がある。施設内には 4 部門（新生児、小児、成人、成人循環器）の ICU が併設されており、すべての ICU の患者に ECMO を要する可能性があった。ECMO チームの診療経験を増やすために、小児 ICU と成人循環器 ICU の看護スタッフによる 1 つの ECMO 専門看護師チームを結成した。すべての新生児あるいは小児の ECMO は小児 ICU で行われ、成人は成人循環器 ICU で行う体制とした。これにより ECMO チームは年間 25~30 症例を診療し、小児 ICU、成人循環器 ICU のいずれのスタッフも、年間 12~15 症例の ECMO 治療に携わることができるようになった。ECMO チームにはスペシャリストとして看護師 20 人が配属され、同時に 5 人までの ECMO 患者を管理することができるような体制がとられている。

ECMO 適応患者のトライアージ

ECMO は呼吸不全か心不全、あるいはその両者により死亡するリスクが 80% を超え、禁忌でない場合に適応される。予測死亡率と禁忌だけでなく循環・呼吸不全の原因や患者の年齢、施設によりその適応は影響を受ける。またこれらの基準、特に予測死亡率は、治療やシステムの改善により、時間とともに変化するため、一定期間ごとに再評価が必要である。また、禁忌についてもテクノロジーの進化により変わるため、すべての ECMO センターは各施設の適応基準と除外基準の作成と定期的な再検討が必要である。

呼吸不全に対しては、酸素化の指標がこれまでに最も用いられてきた。新生児の呼吸不全においては、酸素化指数〔 $OI = (\text{平均気道内圧} \times FiO_2) / PaO_2 \times 100$ 〕が用いられる。 $OI \geq 40$ における予測死亡率は少なくとも 80% である。成人や小児の場合、 $PaO_2 / FiO_2 < 80 \text{ mmHg}$ かつ Murray スコアが 3~4 における予測死亡率は 80% である³²。一方、循環不全に対しては特異的な指標はあまりなく、最大限の薬物治療にもかかわらずショック状態である場合に適応されてきた。

ICU 内の重症な呼吸不全や心不全あるいはその両方の状態の患者に対して、早期に ECMO 導入について検討をするべきである。外科的処置、特にリスクの高い心臓手術が予定されている患者では、ECMO 導入の決定は手術前しておくべきかもしれない。ELSO は予測死亡率が約 50% であれば ECMO を考慮することを推奨している。これは、新生児の呼吸不全では $OI \geq 20$ に相当し、成人では $PaO_2 / FiO_2 < 150 \text{ mmHg}$ で Murray スコアが 2~3 に相当する³²。これだけでなく、原因疾患や治療レベル、さらに、集学的治療チーム内のコンセンサスによって判断するべきであろう。

呼吸不全か心不全、あるいはその両者により予測死亡率が 50% 以上で、明らかな ECMO の禁忌がなければ、ECMO 関連部署と話し合いをしておくべきである。早期に話し合いをしておくことで 2 つの可能性が生まれる。ECMO の禁忌であるこ

とが明らかになった場合、標準的治療を継続することが明確になる。ECMO の適応候補になった場合、その後のマネジメントは患者が ECMO センターのある施設にいるのか、そうでないのかで変わることとなる。ECMO センターのある施設にいるのであれば、ECMO チームがスタッフと機材を準備し、治療方針の話し合いにも参加し、ECMO 導入の理想的なタイミングについて検討することが可能である。これに対し、施設内に ECMO センターがない場合、ECMO 導入のトリアージをする必要があり、治療中の ICU や病院の特性、通常の治療で安全に搬送できるか、ECMO 関連部署の協力が得られるか、搬送先 ECMO センターの医療資源に制限がないかなどの検討を要する。

ECMO を必要とする可能性のある患者は症例数の多い ICU で治療を行うべきであり、それにより良好な治療成績が期待できる。安全に搬送することが可能であれば、予測死亡率が 50% という基準に該当した時点で ECMO センターに搬送するのも一つの方法である。また、治療中の病院と ECMO センター間で早期に連絡をとり、患者の経過について定期的に話し合いをすることもできる。経過中に ECMO 導入基準に該当すれば、その時点で ECMO センターに搬送することも選択できる。現在、世界の多くの地域で後者の方法が行われており、その安全性も示されている³³⁻³⁷。小規模二次病院の ICU で治療されている場合、早期の搬送が適切であろう。一方、大規模な三次病院で治療されている場合や ECMO センターのベッドに制限がある場合、後者が適切かもしれない。2009 年の H1N1 インフルエンザのパンデミックのように、多くの ICU ベッドが必要になる異常事態の場合、トリアージ基準を修正する必要があるかもしれない。ニュージーランドでは、2009 年のパンデミックのとき、ICU のベッドの 25% がインフルエンザ患者で占められており、多くの ICU ではほぼ満床の状態であった。そのため、ECMO が必要と確定した患者だけを ECMO センターに搬送するというトリアージ基準が設けられ運用されたが、この方法による合併症は発生しなかったと報告されている。

集中治療患者大量発生時のトリアージ

インフルエンザの世界的大流行や他の感染性疾患のアウトブレイク、自然災害や人為的災害が起きた場合、医療システムを麻痺させるほどの多くの患者が発生する可能性がある。そのような場合、通常より多くの患者を収容すること（緊急対応能力）や、それを超えるような状況であれば、治療優先順位をつけ、限られた医療資源を分配すること（トリアージ）が必要となる。そのような状況に備えて、病院、地域、国家レベルでの準備と計画が求められる。緊急対応能力に関する計画、病院内や医療施設間の協力体制、マンパワー、教育、医療資機材、医療者と患者の保護、トリアージプロトコルなどが重要となる。多くの大規模災害、特に感染症の世界的大流行は、経験したことのない原因菌により引き起こされることが多い。そのため、大流行の初期には、入院を要する患者数や、ICU や ECMO がどの程度必要かは明らかでない。SARS の際には成人に重篤な症状を引き起こしたが、重篤となった小児はほとんどいなかった³⁸。2009 年の H1N1 インフルエンザの世界的大流行の際には、ICU での治療を行った患者は、初期に予測された収容数の一部であった。

この件に関して、あらゆる側面から議論するのはこの章の範疇を超えるが、いくつかの包括的な評論が世に出されている^{39,40}。多くのことが、病院、ICU、ECMO 関連部署に共通しており、その内容はインフラ、コミュニケーション、教育であるが、緊急対応能力やトリアージの計画に関しては、ECMO 関連部署により準備計画されるべき内容であろう。

緊急対応能力に関する計画

緊急対応能力の拡大は段階的に行い、通常以上の患者数を収容できるように計画する。ICU は収容患者数を通常の 300% まで拡大し、外部からの援助なしに 10 日間機能維持できることが推奨されている⁴¹。多くの施設では不可能かもしれないが、達成計画に沿って目標を立てるべきであり、多くの施設は通常の 2 倍の患者数を収容できるように

計画するべきである。緊急対応能力の拡大には下記の 3 段階がある⁴²。

1. 通常拡大

これは ICU スペース内での収容拡大である。多くの ICU では最大収容数に応じるスタッフや医療資機材の準備をしていない。通常拡大では、ICU の収容を最大限にするため、スタッフは時間外労働や残業をし、十分な医療資源を確保する。

2. 緊急拡大

これは ICU スペース以外で、機能的に ICU に近い部門にも収容を拡大することである。麻酔後のリカバリー室、救急室、手術室や処置室などがある。各部門が収容可能な人数を把握し、使用する部門を順位づけしておく必要がある。たとえば搬送用の人工呼吸器や麻酔器などの、通常の集中治療で使われない機材も使用する。このような場合、最重症患者は ICU 内で治療し、重症度の比較的低い患者は ICU 以外の部門で治療することが多い。緊急拡大時のスタッフの行動計画については、法的に認められる範囲内で、診療範囲や責務を通常とは変更することや、看護の仕方を変えることも含まれる。

3. 危機的拡大

一般病棟のような集中治療の使用目的にはつくられていない部門にまで収容を拡大したり、集中治療のトレーニングを受けていないスタッフが、集中治療熟練者のサポートのもとで治療を行うことである。人工呼吸器や ECMO 機材などの集中治療資機材やスタッフ以上の必要がある場合には、トリアージプロトコルを発動すべきである。

ECMO に関しては、通常拡大では利用可能な ECMO 機材をすべて用いる。そのためには、最大の人員を投入した際に使用可能なポンプや熱交換機、モニターの台数を把握しておくことが必要である。緊急拡大の計画は、資機材を心臓外科などの他部門や医療資機材会社や他の ECMO センターから投入することも含まれる。ECMO スペシャリストによる体制も変化させる必要がある。ECMO スペシャリストとそれ以外の看護師が、1 人の患

者の看護にあたるのが一般的である。しかし、緊急拡大の際にはこの構成を変えなければならないかもしれない。たとえば、1 人の ECMO スペシャリストが看護と回路の管理をしたり、あるいは 1 人で複数の回路の管理をすることなどである。緊急拡大時に何人の患者の追加収容が可能かを、人員配置の変更を含めたスタッフと資機材の両面を考慮したうえで、明確な計画を立てておく必要がある。ECMO に関して危機的拡大を計画することは不適切であろう。集中治療に適さない部門まで拡大せざるをえない事態が生じた場合、多くの労力と医療資源が必要となる ECMO をそこまで拡大して使用すべきではないからである。

2009 年の 1 年間、オーストラリアとニュージーランド(合計人口約 2,500 万人)では、人口 100 万人あたり H1N1 インフルエンザ患者 7.4 人(95%CI 6.3~8.5)が ICU に入院をしていた。これは、全 ICU 病床使用の 5.2%に相当し、ピーク時には 3 か月以上にわたり 8.9~19%であった。人工呼吸器患者の約 12%が ECMO で治療されており、人口 100 万人あたり 2.6 人の ECMO 患者が発生したことになる。ECMO は 15 施設で施行され、ピーク時には 23 人に対して、同時期に ECMO による治療が行われていたが(図 32.1)、通常拡大のみにて対応している。

トリアージプロトコル

トリアージプロトコルは、収容能力の拡大では対応不能な場合にのみ発動されるべきである。実際の不足分に応じて収容制限を行い、詳細な状況の判明に応じた修正が必要であろう。医療資源は均等かつ透明性をもって提供されることが必要であり、また、倫理的同一性からも、生命維持装置の差し控えと中止の適応時期は同一にすべきである。また、集中治療の適応のない患者に対しても、支持的治療や緩和医療を継続する⁴³。

トリアージプロトコルには 4 つの構成要素があり、これらは 2006 年に Christian らによって定義された^{44, 45}。

1. 導入基準

集中治療が必要であるか、あるいは集中治療を

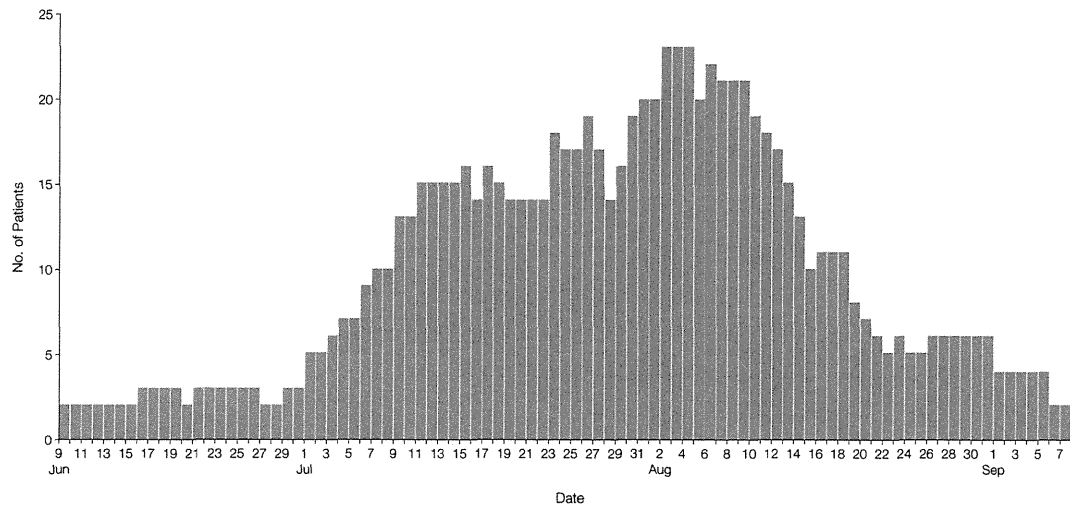


図 32.1 2009 年の H1N1 インフルエンザのパンデミックの際にオーストラリアとニュージーランドで ECMO による治療を受けていた患者数のヒストグラム⁴⁷

行うことによるメリットが期待できる患者であり、その判断の中心は呼吸補助であるものの、循環補助の要否も考慮する。

2. 除外基準

これにより、以下の患者を適応から除外する。

① ICU で治療したとしても予後不良であると考えられる患者、② ICU での治療により恩恵を受けられたとしても、世界的大流行時には許容できない多くの医療資源や長期間の治療が必要な患者、③ 予後の悪い併存疾患がある患者である。

3. 生存(救命治療)のための要件の設定

1 人の患者に費やすことのできる適正な医療資源には限界がある。そのため、たとえば、2 日や 5 日といった一定の期間で再評価し、改善傾向がない場合には生命維持を中止する。

4. 優先順位づけ

一般にカテゴリーに基づき色分けを行う。また、ICU 優先順位づけや ICU に入れなかったときの治療計画により分類する。

トリアージプロトコルを施行するためには、トリアージのトレーニングを受けたスタッフが必要であり、地域の事情に詳しく、データや転帰を評価でき、必要に応じてプロトコルを修正できる能力をもつエキスパートの養成が必要である。

大規模災害における意思決定は、個人ではなく集団の最大利益のためになされることを、すべてのスタッフが理解しておく必要がある。各施設はそれぞれのトリアージ基準を決めておくべきであり、最も広く提唱されている優先順位づけ方法として SOFA スコアがある(表 32.1)^{43,45}。単純な検査データだけで計算でき、毎日評価可能である。また、さまざまな集中治療を要する状況に有効である。予測死亡率が 80% を超えた場合、集中治療の適応から除外されるが、これは治療期間中のいずれにおいても、SOFA スコア 15 以上になった場合、あるいは SOFA スコア 5 以上で改善しない、あるいは上昇傾向が少なくとも 5 日間続く状態であるということにより判断できる。また、SOFA スコアが 11 を超えた場合、集中治療の対象から除外するという意見もある。しかし、SOFA スコアはトリアージの目的につくられたものではないため、トリアージの際の有用性については見解は一致していない。

ECMO に関する決定は、災害の規模に依存するであろう。病院や ICU がその診療能力を超えて活動している状況であれば、ECMO による治療は不適切であるかもしれない。しかし、災害の規模が比較的小さく集中治療が必要な患者の受け入れ可能でも、ECMO 適応患者が対応能力を超える場合、

表 32.1 SOFA スコア⁴⁶

Score	0	1	2	3	4
PaO ₂ /FiO ₂ mmHg	>400	400	300	200	100
Platelets	>150	150	100	50	20
Bilirubin mg/dL (μmol/L)	<1.2 (<20)	1.2-1.9 (20-32)	2.0-5.9 (33-100)	6.0-11.9 (101-203)	>12 (>203)
Hypotension	None	MABP <70 mmHg	Dop=5	Dop>5, Epi=0.1, Norepi=0.1	Dop>15, Epi>0.1, Norepi>0.1
Glasgow Coma Score	15	13-14	10-12	6-9	<6
Creatinine mg/dL(μmol/L)	<1.2 (<106)	13-14 (106-168)	2.0-3.4 (169-300)	3.5-4.9 (301-433)	>5 (>434)

ECMO に特化したトリアージ基準が必要になる。この基準は各施設状況と地域のデータや医療資源に基づいたものである必要がある。しかし、たとえば、ECMO による治療を不全臓器が 1 臓器の患者に限定することや、ECMO による治療期間を回復までの平均的期間である 10~12 日間に限定するといった方法も適切かもしれない。

文献

1. ELSO Guidelines for ECMO Centers. Extracorporeal Life Support Organization. 2010; Version 1.7.
2. Lorch SA, Myers S, Carr B. The regionalization of pediatric health care. *Pediatrics*. Dec 2010; 126(6):1182-1190.
3. Luft HS, Bunker JP, Enthoven AC. Should operations be regionalized? The empirical relation between surgical volume and mortality. *N Engl J Med*. Dec 20 1979; 301(25):1364-1369.
4. Kizer KW. The volume-outcome conundrum. *N Engl J Med*. Nov 27 2003; 349(22):2159-2161.
5. Chowdhury MM, Dagash H, Pierro A. A systematic review of the impact of volume of surgery and specialization on patient outcome. *Br J Surg*. Feb 2007; 94(2):145-161.
6. Halm EA, Lee C, Chassin MR. Is volume related to outcome in health care? A systematic review and methodologic critique of the literature. *Ann Intern Med*. Sep 17 2002; 137(6):511-520.
7. Dudley RA, Johansen KL, Brand R, Rennie DJ, Milstein A. Selective referral to high-volume hospitals: estimating potentially avoidable deaths. *JAMA*. Mar 1 2000; 283(9):1159-1166.
8. Birkmeyer JD, Siewers AE, Finlayson EV, et al. Hospital volume and surgical mortality in the United States. *N Engl J Med*. Apr 11 2002; 346(15):1128-1137.
9. Ross JS, Normand SL, Wang Y, et al. Hospital volume and 30-day mortality for three common medical conditions. *N Engl J Med*. Mar 25 2010; 362(12):1110-1118.
10. Bucher BT, Guth RM, Saito JM, Najaf T, Warner

BW. Impact of hospital volume on in-hospital mortality of infants undergoing repair of congenital diaphragmatic hernia. *Ann Surg*. Oct 2010; 252(4):635-642.

11. Edwards EB, Roberts JP, McBride MA, Schulak JA, Hunsicker LG. The effect of the volume of procedures at transplantation centers on mortality after liver transplantation. *N Engl J Med*. Dec 30 1999; 341(27):2049-2053.
12. Grushka JR, Laberge JM, Puligandla P, Skarsgard ED. Effect of hospital case volume on outcome in congenital diaphragmatic hernia: the experience of the Canadian Pediatric Surgery Network. *J Pediatr Surg*. May 2009; 44(5):873-876.
13. Morales DL, Zafar F, Rossano JW, et al. Use of ventricular assist devices in children across the United States: analysis of 7.5 million pediatric hospitalizations. *Ann Thorac Surg*. Oct 2010; 90(4):1313-1318; discussion 1318-1319.
14. Pearson G, Shann F, Barry P, et al. Should paediatric intensive care be centralised? Trent versus Victoria. *Lancet*. Apr 26 1997; 349(9060):1213-1217.
15. Ruttimann UE, Patel KM, Pollack MM. Relevance of diagnostic diversity and patient volumes for quality and length of stay in pediatric intensive care units. *Pediatr Crit Care Med*. Oct 2000; 1(2):133-139.
16. Tylford JM, Simpson PM, Green JW, Lensing S, Fiser DH. Volume-outcome relationships in pediatric intensive care units. *Pediatrics*. Aug 2000; 106(2 Pt 1):289-294.
17. Bach PB, Cramer LD, Schrag D, Downey RJ, Gelfand SE, Begg CB. The influence of hospital volume on survival after resection for lung cancer. *N Engl J Med*. Jul 19 2001; 345(3):181-188.
18. Begg CB, Riedel ER, Bach PB, et al. Variations in morbidity after radical prostatectomy. *N Engl J Med*. Apr 11 2002; 346(15):1138-1144.
19. Shook TL, Sun GW, Burstein S, Eisenhauer AC, Matthews RV. Comparison of percutaneous transluminal coronary angioplasty outcome and hospital costs for low-volume and high-volume operators. *Am J Cardiol*. Feb 15 1996; 77(5):331-336.
20. Pearson G, Barry P, Timmins C, Stickley J, Hocking M. Changes in the profile of paediatric intensive care associated with centralisation. *Intensive Care Med*.

- Oct 2001; 27(10):1670-1673.
21. Marcin JP, Song J, Leigh JP. The impact of pediatric intensive care unit volume on mortality: a hierarchical instrumental variable analysis. *Pediatr Crit Care Med.* Mar 2005; 6(2):136-141.
 22. Kahn JM. Volume, outcome, and the organization of intensive care. *Crit Care.* 2007; 11(3):129.
 23. Kahn JM, Goss CH, Heagerty PJ, Kramer AA, O'Brien CR, Rubenfeld GD. Hospital volume and the outcomes of mechanical ventilation. *N Engl J Med.* Jul 6 2006; 355(1):41-50.
 24. Kahn JM, Ten Have TR, Iwashyna TJ. The relationship between hospital volume and mortality in mechanical ventilation: an instrumental variable analysis. *Health Serv Res.* Jun 2009; 44(3):862-879.
 25. Jenkins KJ, Newburger JW, Lock JE, Davis RB, Coffman GA, Iezzoni LI. In-hospital mortality for surgical repair of congenital heart defects: preliminary observations of variation by hospital caseload. *Pediatrics.* Mar 1995; 95(3):323-330.
 26. Welke KF, O'Brien SM, Peterson ED, Ungerleider RM, Jacobs ML, Jacobs JP. The complex relationship between pediatric cardiac surgical case volumes and mortality rates in a national clinical database. *J Thorac Cardiovasc Surg.* May 2009; 137(5):1133-1140.
 27. Farley DE, Ozminkowski R.J. Volume-outcome relationships and in-hospital mortality: the effect of changes in volume over time. *Med Care.* Jan 1992; 30(1):77-94.
 28. Finks JF, Osborne NH, Birkmeyer JD. Trends in hospital volume and operative mortality for high-risk surgery. *N Engl J Med.* Jun 2 2011; 364(22):2128-2137.
 29. Urbach DR, Baxter NN. Does it matter what a hospital is "high volume" for? Specificity of hospital volume-outcome associations for surgical procedures: analysis of administrative data. *BMJ.* Mar 27 2004; 328(7442):737-740.
 30. Pronovost PJ, Jenckes MW, Dorman T, et al. Organizational characteristics of intensive care units related to outcomes of abdominal aortic surgery. *JAMA.* Apr 14 1999; 281(14):1310-1317.
 31. Mullins RJ, Mann NC. Population-based research assessing the effectiveness of trauma systems. *J Trauma.* Sep 1999; 47(3 Suppl):S59-66.
 32. ELSO Patient Specific Supplements to the ELSO General Guidelines. Extracorporeal Life Support Organization. 2009; Version 1.1.
 33. Cabrera AG, Prodhon P, Cleves MA, et al. Interhospital transport of children requiring extracorporeal membrane oxygenation support for cardiac dysfunction. *Congenit Heart Dis.* May 2011; 6(3):202-208.
 34. Ciapetti M, Cianchi G, Zagli G, et al. Feasibility of inter-hospital transportation using extra-corporeal membrane oxygenation (ECMO) support of patients affected by severe swine-flu(H1N1)-related ARDS. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2011; 19:32.
 35. Forrest P, Ratchford J, Burns B, et al. Retrieval of critically ill adults using extracorporeal membrane oxygenation: an Australian experience. *Intensive Care Med.* May 2011; 37(5):824-830.
 36. Javidfar J, Brodie D, Takayama H, et al. Safe transport of critically ill adult patients on extracorporeal membrane oxygenation support to a regional extracorporeal membrane oxygenation center. *ASAIO J.* Sep-Oct 2011; 57(5):421-425.
 37. Knapik P, Przybylski R, Borkowski J, et al. Interhospital transport of patients requiring extracorporeal membrane oxygenation ECMO. *Anestezjol Intens Ter.* Jul-Sep 2011; 43(3):142-145.
 38. Kissoon N, Bohn D. Use of extracorporeal technology during pandemics: ethical and staffing considerations. *Pediatr Crit Care Med.* Nov 2010; 11(6):757-758.
 39. Sprung CL, Cohen R, Adini B. Chapter 1. Introduction. Recommendations and standard operating procedures for intensive care unit and hospital preparations for an influenza epidemic or mass disaster. *Intensive Care Med.* Apr 2010; 36 Suppl 1:S4-10.
 40. Devereaux A, Christian MD, Dichter JR, Geiling JA, Rubinson L. Summary of suggestions from the Task Force for Mass Critical Care summit, January 26-27, 2007. *Chest.* May 2008; 133(5 Suppl):1S-7S.
 41. Rubinson L, Hick JL, Hanfling DG, et al. Definitive care for the critically ill during a disaster: a framework for optimizing critical care surge capacity: from a Task Force for Mass Critical Care summit meeting, January 26-27, 2007, Chicago, IL. *Chest.* May 2008; 133(5 Suppl):18S-31S.
 42. Hick JL, Christian MD, Sprung CL. Chapter 2. Surge capacity and infrastructure considerations for mass critical care. Recommendations and standard operating procedures for intensive care unit and hospital preparations for an influenza epidemic or mass disaster. *Intensive Care Med.* Apr 2010; 36 Suppl 1:S11-20.
 43. Devereaux AV, Dichter JR, Christian MD, et al. Definitive care for the critically ill during a disaster: a framework for allocation of scarce resources in mass critical care: from a Task Force for Mass Critical Care summit meeting, January 26-27, 2007, Chicago, IL. *Chest.* May 2008; 133(5 Suppl):51S-66S.
 44. Christian MD, Hawryluck L, Wax RS, et al. Development of a triage protocol for critical care during an influenza pandemic. *CMAJ.* Nov 21 2006; 175(11):1377-1381.
 45. Christian MD, Joynt GM, Hick JL, Colvin J, Danis M, Sprung CL. Chapter 7. Critical care triage. Recommendations and standard operating procedures for intensive care unit and hospital preparations for an influenza epidemic or mass disaster. *Intensive Care Med.* Apr 2010; 36 Suppl 1:S55-64.
 46. Ferreira FL, Bota DP, Bross A, Melot C, Vincent JL. Serial evaluation of the SOFA score to predict outcome in critically ill patients. *JAMA.* Oct 10 2001; 286(14):1754-1758.
 47. Davies A, Jones D, Bailey M, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for 2009 Influenza A(H1N1) Acute Respiratory Distress Syndrome. *JAMA.* Nov 4 2009; 302(17):1888-1895.

ECMO患者の搬送：要旨から適応まで

Jeremy W. Cannon MD SM, Patrick F. Allan MD, Eric C. Osborn MD,
Alois Phillip, Matthias Arlt MD, Melissa M. Tyree MD

はじめに

ECLS を必要とする循環不全や呼吸不全の患者に、これらの治療を提供するために施設間搬送をしなければならないことがある。こうした患者はきわめて不安定であり、搬送に多種多様な人材を必要とするうえ、このような搬送を安全に遂行できる技能をもつチームは多くない。そうしたなか、ECLS の適応は拡大しており¹、専門施設で良好な成績をおさめていることから、今後このような転院搬送の機会が増えることが予想される²。検査や治療のために特殊な医療行為を要する場合にも、病院内の ECMO 搬送は必要とされる。こうした搬送への理解を広め練習を重ねることによって、搬送医学 (transport medicine) という特殊分野における ECMO の可能性を高めることができる。

ECLS 搬送を行う医療チームは最先端の技術を駆使し、さまざまな蘇生活動を経験している。そのため、いろいろな形態の搬送方法が存在する。最も狭義の定義では、病院間 ECLS 搬送は VV-ECMO または VA-ECMO を導入されている患者の陸路あるいは空路での搬送を指し、これは mobile ECMO とも呼ばれる。搬送を依頼されたチームが救命のための治療行為を行い、結果的に ECMO を導入することなく安全に搬送できることもある。たとえば、ECMO を操作できるチームが特殊な呼吸器設定や、一酸化窒素吸入 (iNO) や PECLA (ポンプレス体外式人工肺) などの医療機器を選択して安定化させることもありうる。しかし、後述するように、このような手技が有効ではない、または過去に失敗していた場合に、ECMO を開始することのできるチームが搬送を担うことで ECMO 候補の患者を最も安全に移動させることができるの

である。

この章では、重要な論点をいくつか挙げ、このようなきわめて不安定な患者を搬送する方法について、近代的な視点から考察を行う。まずは mobile ECMO の歴史を簡単に振り返り、ECMO センター的一端にある ECMO 搬送チームの重要な役割への理解を深める。次に、ECMO の導入を必要とする患者を ECMO センターに紹介する過程を記し、このような判断を行う集中治療医が搬送を実行するにあたって必要な物品などを提示する。また、準備から任務完了までの各段階で特に重要な点を詳述するので、既存の搬送チームに mobile ECMO の導入を検討している医療施設は参考にさせていただきたい。搬送の練習、備品の選択、そして緊急事態への対策など、搬送医療ディレクター (transport medical director) が検討しなくてはならない事項についても言及する。次に、戦闘で負傷した重症患者に対する ECLS 管理を可能にした米軍の急性肺傷害治療チーム (“Lung Team” こと ALIRT) とドイツの Resenberg ECMO センターの協力体制について、考察を行う。各搬送チームが発表した最近の報告をまとめ³、北米および世界各国における ECMO 搬送の現状を記す。最後に、病院内患者搬送の特徴に焦点を当て、病院内搬送がもたらすリスクと、診断と治療の面から受けられる利益について述べる。

病院間 ECMO 搬送の歴史

近年では、重症患者航空搬送チーム (CCATT)⁴ や長距離軍事専門搬送チーム^{5,6}、そして地上移動 ICU⁷などが報告され、“transit care medicine”⁸と呼ばれる新たな分野が誕生した。成人⁹、小児¹⁰を含む重症患者搬送に関するガイドラインが作成さ

れ、実際に専門チームによる搬送は良好な成績をおさめている¹¹。日常診療で ECMO 管理を行っている医療従事者は、最も重症ともいえる患者搬送を数多くこなしている。今後のガイドラインには、不安定な患者を安全に搬送するために ECMO などの最新技術が果たす役割について記載することが重要であるが、そのためには、彼らの経験や知識が大いに役立つことであろう。ここでは、ECMO の“隠れた死亡”を防ぐために ECMO 搬送が発展してきた経緯について述べていく。

ECMO 転送時の公表されない死亡率

ECMO 技術の発展とともに ECMO 搬送の技術も進化してきた。Bartlett らは 28 人の ECMO 患者の報告症例のなかで 2 例、患者搬送を行っている¹²。5 人の生存者のうちの 1 人は 17 歳の女性で、Goodpasture 症候群による肺胞出血の患者である。VA-ECMO を開始し、Lande-Edward 製の人工肺 4 機を使って状態を安定させたのち、ニューメキシコ州アルバカーキ市から米空軍 C-130 で Orange County Medical Center まで搬送した。搬送チームは、パンを運ぶトラックの荷台の両側から手動で ECMO を回転させ、2 つの空港間を移動した¹³。

ECMO の有効性が明らかになるにつれ、ECMO の適応と思われる ICU 入院患者の紹介が増えていった。しかし、これらの重症 ICU 患者の搬送には大きな危険を伴い、ECMO 導入患者の公表されない死亡原因ともなっている。1986 年に Cornish らは、ECMO の候補と判断されたが、ECMO センターから地理的に遠く、移動する矢先かその途中で亡くなった軍人扶養家族にみられたこの現象についてふれている¹⁴。この問題を最初に取り上げたのは Boedy らである。ECMO 導入目的で転院搬送となった 158 人中の新生児のうち 18 人 (11%) が従来どおりの方法でされたところ、搬送の前後または途中で死亡したことを報告した¹⁵。同様に、University of Michigan Medical Center (UMMC) は、2 年間で ECMO 適応患者 107 人のうち 11 人 (10.3%) が、呼吸循環不安定を理由に搬送を拒否されたため、搬送中または紹介元の病院で亡くなったことを明らかにした¹⁶。Arkansas

Children's Hospital (ACH) は、ECMO を導入できずに搬送中に死亡した 3 例について報告した。これは非 ECMO 患者搬送における死亡の 12% を占めた¹⁷。Wilson らは、ECMO センターに搬送されたが高頻度振動換気 (HFOV) を離脱できず、従来の呼吸器を使用することができなかったため死亡した症例が、3 年間で少なくとも 6 例あったことを報告した¹⁸。こうした報告により、搬送前から ECMO を開始できるよう ECMO の小型軽量化や搬送チームの整備が急がれることとなった¹⁴。

近年になり CESAR 研究では、ECMO センターに搬送され無作為に選択された 90 人のうち、搬送直前の死亡が 3 例、搬送中の死亡が 2 例発生したことが報告された²。この調査では mobile ECMO は使用されなかったが、ECMO チームが施設間搬送のすべてを担った。ECMO 適応として他施設へ紹介される患者のなかには、いまだに“隠れた”死亡が存在することをこれらの報告は示している。しかし、今後よりいっそう搬送機材が軽量化し、ECMO による生理学的な侵襲が軽減され、さらに、これらの防ぎうる死亡を正しく認識することが可能になれば、搬送チームを所有する ECMO センターが医療設備の一つとして mobile ECMO の導入を積極的に検討するのではないだろうか。

ECMO 管理が可能であり、現在日常的に ECMO 搬送を行っている搬送チームとしては、米国内で WHMC (Wilford Hall Medical Center), UMMC, ACH そしてハワイの Hanuola ECMO プログラムなどがある。さらに、世界各国の施設でも施設間 ECMO 搬送の報告は数多く存在し、年々症例数は増加の一途をたどる。これら米国および世界各国の報告は、専門の知識や技術を搬送に応用することで ECMO センター搬送後の死亡率を著しく低減しえたことを示唆している^{16, 19, 20}。

これら学術機関による搬送以外に、ECMO Advantage という名の企業が Air-Med International 社²¹と共同で ECMO 搬送サービスを提供している。確かにこれらの企業は ECMO に関する高度な知識と技術をもっているが、専門性の高い特殊な分野であるため、ECMO Advantage 社をはじめ今後 mobile ECMO を提供しうる搬送企業は ELSO

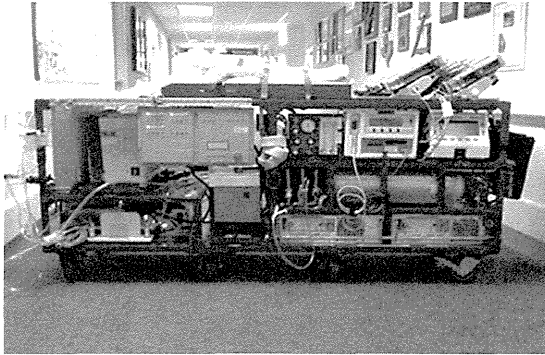


図 33.1 2005 年式 WHMC ECMO 搬送車

このカートは新生児、小児、そして成人を対象としており、陸路と空路での搬送が可能であった。空路での搬送は米空軍の C-17、C-130 の“safe to fly”デザインで設計された航空機が用いられた。この機械は Stockert SIII Roller Pump Console servoregulated system (Cobe Cardiovascular, Arvada, CO) をもとに製造された。棚が内装されており、必要時には外側にスライドして固定できるようになっている。このカートは自力で稼働し、医療用ガス（空気、酸素、二酸化炭素 Q タンク）、そして電力原（Energy Technologies ET1001-1240 UPS 2 体）が内蔵されているため、緊急時には電力やガスの供給なしで 3 時間まで稼働し続けることができる。〔写真は Kreangkai Tyree, MD, Wilford Hall Medical Center, San Antonio, TX の厚意による〕

ガイドラインの遵守に努め、ELSO Registry に成果を報告し、経験で培われた教訓を広く共有するべきであろう。

ECMO 搬送の設備

ECMO 可能な搬送チームを整備するには、特別な機材を必要とし、これらの機材は時代とともに進化を遂げてきた。搬送チームによってポンプ、モニター、ガスボンベ、そして患者を収容するカートや、専用の救急車や特別に設計された航空機などが報告されている。いかなる形態であれ、その搬送構成は ECMO 機材を搭載するための十分な空間と動力が不可欠であり、患者と ECMO 回路を機内に乗せるための装置も必要である^{16, 20, 22, 23}。

Cornish らによって初めて使用された搬送用 ECMO カートは、Rubbermaid カート[®]を改造したものであり、新生児だけを収容することができた¹⁴。その後登場した同社のカートは 740 lb (336 kg) と非常に重かったが、小児・成人ともに収容する

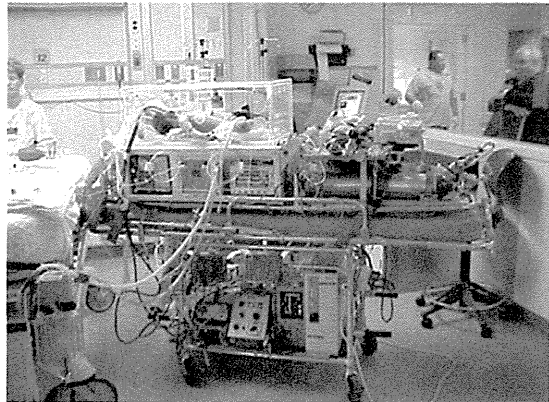


図 33.2 ミシガン大学メディカルセンターが所有する乳児のための地上用ローラーポンプ式搬送用ストレッチャー

〔写真は William Copenhaver, RN, BSN, University of Michigan Medical Center, Ann Arbor, MI の厚意による〕

ことができた²⁰。カートとその付属品は厳しい耐空試験に合格し、米空軍の輸送機で使用することが許された³。この試験では、医療機器と飛行機との電磁干渉が最小限であること、飛行機の動力と燃料で余裕をもって機械の作動をできること、そして機内に機材を確実に固定できることなどが審査された。最も最新式のカートはこの厳しい試験を合格し、現在 WHMC Neonatal & Pediatric ECMO Transport Team によって使用されている（図 33.1）。しかし、カートとその中身を合わせるとサイズや重量があまりに大きいため、1 回の搬送ごとに水圧で持ち上げることが可能な救急車、もしくは貨物ドックが必要であった。また、UMMC は重く大きいローラーポンプ回路を基本とした輸送用ストレッチャーを新生児の陸路搬送用に使い続けている（図 33.2）。

近年、より短い回路と必要最低限のモニターで駆動する遠心ポンプが主流になり、ECMO 搬送カートは劇的に軽量化した。Hanuola と ACH のチームは、航空医療会社（それぞれ Elliot Aviation, Moline, IL と JetMed, Little Rock, AR）とともに小型飛行機への搭載が可能な流線型の荷台を共同開発した（図 33.3）。UMMC は小児・成人搬送用にベッドの頭上にコンソールを設置することのできる装置

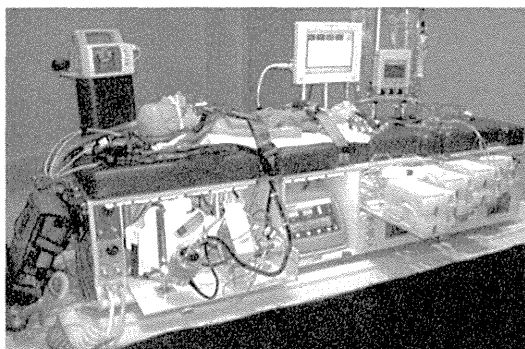


図 33.3 ハワイの Hanuola ECMO program が所有する ECMO 搬送荷台

このそれは、乳児、小児、成人を対象としている。Levitronix CentriMag 遠心ポンプ (Levitronix LLC, Waltham, MA), Quadrox D ガス交換膜 (Maquet, Inc., Bridgewater, NJ), B Braun 点滴用ポンプ (B Braun, Bethlehem, PA), そして Spectrum M3 モニター (Spectrum Medical, Fort Mill, SC) とともに写っており、便利なスライド式のトレイを装備している。すべての型のポンプや膜を搭載できるよう、内装を交換できるようになっている。上記のそれは重さ 250 lbs である。10 アンペアの電源が必要である。その基部には Lifeport Clipdeck マウンティングブラケットがついており、Stryker Power Pro IT 水圧式救急車ストレッチャー (Internarional Biomed, Austin, TX) に固定できるようになっている。〔写真は Kristen Costales, CCP, Hanuola ECMO Program, Honolulu, HI の厚意による〕

を採用している (図 33.4)。また、Arlt らによって小型の携帯 ECMO 装置 (ELS-System, Maquet Cardiopulmonary, Hechingen, Germany) が開発され²⁴, ストレッチャーの上の天板に設置したり、柵から吊り下げることが可能となった (図 33.5)^{19, 25, 26}。近年、Lifebridge B2T (Lifebridge Medizintechnik AG, Ampfing, Germany) と呼ばれる遠心ポンプで稼働する自己内蔵型装置が入院患者向けに開発され^{27, 28}, その簡単な包装と軽量さから搬送システムへの応用が期待されている。ほかにも同様の搬送用装置が、現在まさに開発中である。これらの装置が臨床現場での評価を受け、FDA の認可を受ければ、すぐに FAA (アメリカ連邦航空局) と米国空軍の飛行試験を受けることになる³。そして、搬送システムの導入を検討する米国の ECMO センターでいずれ使えるようになるであろう。

ECMO チームは、予備のカニューレ、チューブ類、そして人工肺と一緒に、ECMO の完全な予備

回路やバックアップを装備の中に含めることが望ましい。装備はなるべく軽くすべきと主張するものもあるが、ECMO 搬送を安全に遂行するためには不測の機械トラブルへの備えも考慮する必要がある。ヘリコプターや救急車で短距離移動であれば、予備の部品を持っていく施設は少ないであろう。このことは誤りではないが、不測の事態を見越して事前に計画的に装備を荷造りしておくことにより、患者の安全はより確実になる。一例を挙げると、救急車やヘリコプターでの短距離移動であればヒーターを接続しなくてもよいが、ヘリコプターや飛行機での長距離移動ではヒーターが必要となる。

ECMO で使用する特殊な部品以外にも、特に長距離移動の場合、搬送中に役立つ道具や薬品を準備しておくといよい。ポータブル超音波はカテーテルの挿入や位置の確認などベッドサイドで手技を行う際に便利である。気道の吸引や薬物投与が必要となるときには、ポータブル気管支鏡が役に立つ。成人患者であれば、重症患者の長距離搬送のときに常備している多くの薬物とともに、吸入用プロスタサイクリンや静注用トロメラミン〔訳注：プロスタグランジンの一種〕などの特殊な薬物もそろえておくことが望ましい。

施設間搬送の支援

時代とともに搬送医学は進歩し、はじめは救急技師が手動で換気を行っていたものだが、いまや外傷外科医や集中治療医がフライトドクターとなり、HFOV や ECLS などの最新技術を備えている^{5, 6, 8}。このパラダイムのなかでは、もはや医療搬送は治療の中断ではなく、むしろ治療を進行させる。しかし、この搬送の戦略は非常に複雑である。ECMO を導入された患者を搬送するということは、すなわち病院の外で高度な心肺補助を行うことであり、そのために、搬送チームは自立した自己完結可能な存在でなければならない。搬送を成功させるためには、紹介元施設、搬送チーム、そして紹介先 ECMO センターとの絶妙な連携が必要であり、搬送医療ディレクターが任務の計画



図 33.4 ミシガン大学が所有する小児・成人用遠心ポンプ搬送システム

A：Heli-Dyne console box (Heli-Dyne Systems, Inc., Hurst, TX) は遠心ポンプコントロール装置、Hemochron 401 (International Technidyne Corp., Edison, NJ), そして CSZ Microtemp 加熱機 (Cincinnati Sub Zero, Cincinnati, OH) を装備しており、6 つの簡便な連結機によって航空機に固定されている。

B：ベッド上テーブルがスライド式にフレームにはまるようになっており、ポンプモーター、酸素化機械、そして DLP モニターを載せることができる。ドライブモーターケーブル、フロープローブケーブル、そして加熱機ラインから成り立つコードの束が Heli-Dyne console box と連結する (写真の左下からベッド上テーブルの右側に向かって伸びている)。

(写真は William Copenhaver, RN, BSN, University of Michigan Medical Center, Ann Arbor, MI の厚意による)

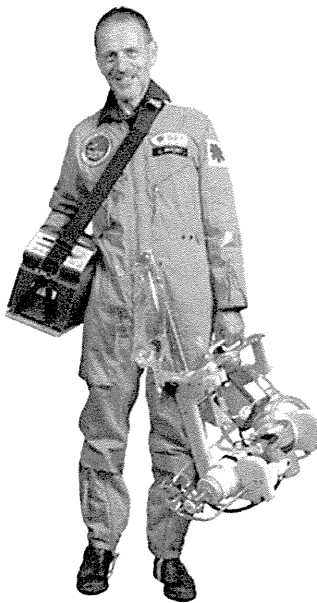


図 33.5 新型の携帯式小型 ECMO システム

A：ELS System (MAQUET Cardiopulmonary AG, Hechingen, Germany) は、ポンプ頭部、ガス交換膜、酸素タンク、そしてそれらを収容するフレームから成り立っている。このシステムは小型かつ軽量であり、ECMO 搬送チームの一員が持ち運ぶことが可能である。

B：小型 ECMO システムを用いた施設間搬送。ストレッチャーの柵にフレームを引っ掛け、搬送チームのメンバーがポンプのコントローラーを持ち運ぶ。

(写真は Matthias Arlt, MD, University Hospital Regensburg, Germany の厚意による)

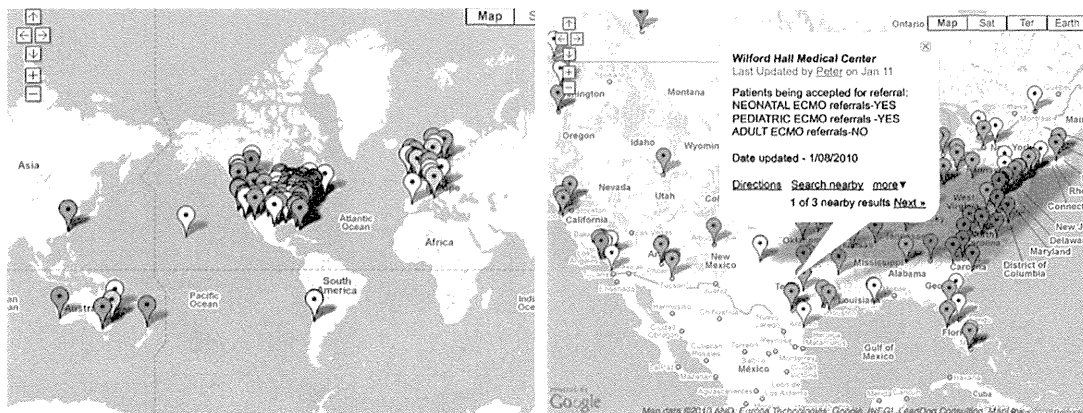


図 33.6 ECMO センターの地図

- A: ELSO ホームページで参照することができる (<http://www.else.med.umich.edu/Maps.html>)。
- B: 掲載している施設は、受け入れ可能な ECMO 患者の情報を更新することができる。ELSO レジストリーに登録されている施設分類によって色分けされている。

に始まり、搬送チームの召集と結成、そして受け入れ施設に患者を安全に送り届けるまでの過程の全責任を負う。次に、搬送を行う際の検討事項を具体的に取り上げることとする。

紹介元施設の準備

ECMO 搬送を必要とする状況には、ECMO センター以外の施設で ECMO の適応があると判断された場合、ECMO はすでに導入されたがその施設内での長期管理が困難な場合、そして移植を行わない施設で移植までの橋渡しとして ECMO を導入された場合などがある。患者の循環不全や呼吸不全が可逆的と判断でき、なおかつ ELSO ガイドラインや本書に記載した適応基準を満たしていることが確認できたら、紹介元施設は受け入れ可能な ECMO センターに一報を入れる。ECMO センターの地図が ELSO のホームページに掲載されているので、紹介元の医師は素早く最寄りの ECMO センターと収容可能な患者のカテゴリーについての情報を手に入れることができる (図 33.6)²⁹。

紹介患者を受け入れるにあたって、ECMO センターでは患者の病歴、現在の状態、そして依頼の理由を聴取する。主に紹介を行う施設も受け入れる施設も、現存の ECMO 搬送プログラムを参考にして特定の受け入れ基準を設定することが望まし

い^{16, 20, 23}。ECMO センターでは今まで検討されなかった、あるいは適応とならなかった ECMO 以外の治療戦略を試みる可能性があるため、ECMO が最終の手段となってしまう前に、早めに紹介するほうがよい。

受け入れ先の ECMO センターから転院の許可が下りたら、次に両施設で搬送手段を決めなければならない。搬送手段の選択肢としては、従来どおりの救急搬送、ECMO センターの専門チームによる ECMO バックアップなしの搬送、そして ECMO 管理が可能なチームによる搬送がある。すでに述べたように、移動中の防ぎうる死亡をなくすために、ECMO 候補の搬送には可能なかぎり ECMO を施行することのできる専門チームが行うことを、われわれは強く推奨する。米国や世界各地の経験豊かな搬送チームの問い合わせ先を表 33.1 に掲載した。

搬送チームの到着に先立って、紹介元施設では ELSO ガイドラインに掲載されている項目に従って、患者搬送の準備を始めていく。地域内 (<150 マイル) または地域間 (150~1,000 マイル) の搬送では、多くの場合転院依頼をしてから 2~4 時間以内に搬送チームは到着する。搬送計画が複雑であったり、長距離用軍用機を必要とする場合 (>1,000 マイル) 転院依頼から搬送チームの到着まで最大

表 33.1 ECMO 搬送サービスの連絡先

	Patient Type	Point of Contact	Contact Information
Arkansas Children's Hospital	Neonatal Pediatric	Richard Fiser	800-372-2229 (Central Dispatch)
Hanuola ECMO Program	Neonatal Pediatric Adult#	Melissa Tyree Melody Kilcommons	808-983-6555 (Transport Hotline) 210-787-9685 (cell) mtyree@usuhs.mil 808-294-2275
University of Michigan Medical Center	Neonatal Pediatric Adult	Jonathan Haft	734-936-6626, pager 9766 734-216-5763 734-763-9919 (ECMO office)
San Antonio Military Medical Center	Neonatal Pediatric Adult	Susan Dotzler Jeremy Cannon	210-292-7850 (NICU) 210-292-2442 (MD workroom) 210-222-2876 (ICU) 210-594-2742 (pager) 210-289-7672 (cell) jcannon@massmed.org jeremy.w.cannon@us.army.mil
Karolinska University Hospital Stockholm, Sweden	Neonatal Pediatric Adult	Kenneth Palmer Bjorn Frenckner	+46 8 517 70000 +46 8 517 78000
Landstuhl Regional Medical Center, Ramstein Air Base, Germany	Adult (Combat Casualties)	David Zonies	Military only
National Taiwan University Hospital, Taipei, Taiwan	Neonatal Pediatric Adult	Yih-Sharng Chen	0972651433 (cell) yschen1234@gmail.com
Oslo Universitetshospital- Rikshospitalet, Oslo, Norway	Neonatal Pediatric Adult	Kari Wagner	+47 23070000 kari.wagner@oslo-universitetshospital.no
University Hospital Regensburg, Germany	Adult	Matthias Arlt	+49 941-944-0 matthias.arlt@klinik.uni-regensburg.de
Royal Children's Hospital, Melbourne, Australia	Neonatal Pediatric	Warwick Butt	+613 93455522

#only for transport to/from Hawaii.

72 時間程度を要することもある。この間に、搬送チームは必要物品のリスト、患者の待機位置の要望（たとえば、「ICU の最も広い部屋で呼吸器は左側に設置」など）、紹介元から必要な人材提供の要請、血液製剤の確保、そして同意書類などの情報を記載したファックスを紹介元施設に送信するこ

とがある。法的な手段として、UMMC 搬送チームは「包括ポリシー」(umbrella policy) と呼ばれる方法を確立し、これは搬送チームの到着とともに患者の治療をそのチームに委任する指示書に紹介元の医師が署名をするというものである¹⁶。

搬送チームの準備

ECMO 搬送の準備は事前の計画が非常に重要であり、これは搬送医療ディレクターによって行われる。極論すれば、搬送医療ディレクターがすべての責任を負い、高度な訓練を受けたチームによる安全かつ効率的な患者搬送を実行する。これをふまえて、医療ディレクターの主な役割や多くの任務が表 33.2 に要約されている。搬送チームの訓練を行い、任務を行う優秀な人材を確保し、搬送物品をいつでも使用可能な状況にしておくことは、搬送チームの維持のために必要不可欠であるが、搬送医療ディレクターはこれらすべてに責任をもつ (表 33.3, 33.4)。そして、転院依頼があると医療ディレクターまたは所定の派遣指令者が紹介元施設へ搬送チームと必要物品を送り届ける物流的な手配を行い、紹介元施設の血液製剤の備蓄を確認し、患者に最適な移動手段を決定し (陸路、ヘリコプター、飛行機など)、そして移動途中で患者の容態が悪化した場合に緊急処置を行うことができる中間地点の有無を確認する。

搬送チームが自分の施設以外での施設間搬送を担うことになったら [いわゆる“タクシー搬送” (taxi run)], 医療ディレクターや派遣指令者は紹介元と紹介先両方の代表医師と直接接触して、搬送にかかわるすべての者が計画の最初から最後まで患者の最新状態を把握できるように配慮をしなければならない。また、回路交換の必要が想定される場合、患者が現在使用している回路、搬送システムで使用する回路、そして搬送先施設の回路それぞれで用いられている部品を入念に確認し、機械の規格が異なったり、施設ごとに取り扱う医療機器の傾向が異なるなどの理由により、24 時間以内に 2~3 回も回路交換を行うという患者を無下に危険にさらす行為は避けなければならない。さらに、医療ディレクターは搬送が無意味に終わらないよう、心室補助装置 (VAD) や心移植など、治療介入が期待される治療について、その適応基準が十分協議され、禁忌事項 (たとえば頭蓋内出血) の検索が徹底的に行われたことを必ず確認しなければならない。

搬送の距離と搬送物品の数や種類によって ECMO 搬送チームの規模は 3~15 人と大きく異なる (表 33.4)^{19,20}。ECMO のトレーニングを受け、蘇生行為の経験豊富な医師、ECMO 管理の経験を積んだ集中治療看護師、そして回路の維持管理を行う ECMO 専門技師などの要員がチームに必須である。リーダーの ECMO 医師が外科医以外の場合、血管内へのカテーテル留置を行う外科医も数に含まれることが多い。ほとんどの搬送チームは地域内搬送を行うことが多く、この場合、ヘリコプターや飛行機が搬送に使用され、メンバーは 3 人から 6 人程度で事足りる。しかし、長距離搬送になるとより多くの人員が必要となり、過労による業務上の過失を防ぐためにシフト制で勤務を行っている。

紹介元病院では

ECMO 搬送チームが召集されると、まず ECMO 候補の患者に対して総合的な評価が行われ、身体所見、採血結果、画像所見などが見直される。紹介元の医師は患者の心肺機能にわずかでも変化があれば報告を行う。現在の生理学的な徴候と各種パラメータの変動をもとに、ECMO チームは最終的な治療方針を決断しなければならない。まだ施行されていないより高度な治療行為があれば、患者の容態が急激に増悪していないという条件のもと、これらの治療を行い経過観察することも可能である。

救命のために行った介入が無効なときや、患者の状態が著しく増悪しているとき、ECMO 導入の基準を満たしたら速やかにカテーテルの留置を行う。すなわち、ECMO センターへ搬送後、カテーテル留置を行わずに経過をみる予定であった重症患者のなかには、経過中に容態が変化し、安全に搬送するための唯一の手段として予定よりも早期に ECMO 導入が必要となる場合があり、ECMO 搬送チームはこのような事態も想定しなければならない。最終判断が下されたのち、搬送チームは患者の家族に搬送の手順を説明し、搬送と ECMO 導入のためのインフォームドコンセントを得て所定の手続きを行う。

表 33.2 搬送医療ディレクターの責任

	Specific Tasks
Transport Team Training	<ul style="list-style-type: none"> • Mannequin drills • Use in-hospital moves as an opportunity to train • Train to recognize and resolve in-flight emergencies such as power failure, tubing rupture, pneumothorax, endotracheal tube dislodgement
Team Assembly; Selection of Proficient Members	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-determine team structure • Bring additional trainees on transports • Have a recall roster and keep vacation schedules current • Maintain an active transport team roster updated weekly
Transport Equipment & Supplies	<ul style="list-style-type: none"> • Service transport equipment regularly • Maintain equipment bags containing cannulae, insertion supplies, surgical instruments, chest tubes, endotracheal tubes, and surgical airway supplies • Work with pharmacy to develop an allowance standard for transport medications • For team activations, bring backup equipment and hand-crank pump heads; bring advanced adjuncts including iNO and high frequency ventilator as indicated
Team travel to referral center	<ul style="list-style-type: none"> • Use commercial transport for personnel • The circuit can travel separately from the team
Assess blood bank capability	<ul style="list-style-type: none"> • If patient needs are likely to outstrip in-house blood product availability, bring products from the transport team's home facility
Referral center tasks	<ul style="list-style-type: none"> • Locate the loading dock in the hospital for use by the transport team if ambulance not equipped with hydraulic lift and the team is using a transport sled • Arrange for transport team police escort from referral center back to flightline • Prepare working space for ECMO team (clear out adjacent areas for equipment in the ICU, place ventilator on patient's left for neck cannulation, code cart and medications at the bedside) • Surgical equipment (cautery, headlamp, instrument table) at bedside and surgical scrub tech available
Mode of patient transportation	<ul style="list-style-type: none"> • Local (<150 miles)=typically use ground transport • Regional (150-1,000 miles)=helicopter vs. fixed wing • Long-distance (>1,000 miles)=jet transport (this is likely to be an "aircraft of opportunity;" so the specific model will not be known until it arrives)
Check Transport Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> • Door dimensions to ensure sled or stretcher will fit • Determine electrical power capacity of the ambulance • Check ambulance inverter for functionality • Locate the ambulance breaker box
Travel route	<ul style="list-style-type: none"> • Discuss the route of travel with the ambulance driver or pilot to identify way-points where the team can stop to perform advanced medical interventions or to address equipment problems

患者が ECMO の導入基準を満たしたならば、次に搬送チームは ECMO のモードを選択する。搬送中に VV-ECMO から VA-ECMO に変更することが困難なことから、WHMC チームではこれまですべての搬送患者に対して VA-ECMO を第一

選択としている^{3, 20}。しかし、その他の搬送チームでは、通常、患者が自分たちの ECMO センターにいたら選択するであろうモードを患者の病態に合わせて選択する^{19, 30, 31}。

ECMO 搬送の代わりとして PECLA での搬送

表 33.3 ECMO 代表的なカートの特徴

	Wilford Hall Medical Center	University of Michigan Medical Center	Arkansas Children's Hospital	Hanuola ECMO Program	University Hospital Regensburg, Germany
ECMO Cart	2005 Custom Cart Military Aircraft Approved	<10 Kg, Ground: Custom Stretcher >10 kg Air: Custom Stretcher: Harrington Board Heli-Dyne Console Box	Ground: Custom Stretcher Fixed wing: Custom Sled	2010 Custom Sled Stryker Power Pro IT Ambulance Cot Lifeport Clipdeck	Standard Adult Stretcher (Stryker or Ferno)
Pump	Stockert Roller Pump	<10 Kg Baxter Century Roller Pump >10 kg Medtronic Biomedicus 550 Centrifugal	Stockert-Sorin Roller Pump; Maquet Rotaflow; Levitronix Centrimag	Maquet Rotaflow; Levitronix Centrimag	Maquet Rotaflow ELS or Cardiohelp HLS*
Oxygenator	Medtronic or Quadrox D	Medtronic silicone	Avecor, Medtronic; After 2008 Quadrox D	Quadrox D	Quadrox PLS or Integrated Cardiohelp HLS*
Water heater	Cincinnati Subzero ECMO-Heater	Cincinnati Subzero Microtemp	Gaymar Allegiance K-MOD107	Cincinnati Subzero Microtemp	None
SvO ₂	Terumo CDI 100	<10 kg Oximetrix 3 >10 Kg Gish Biomedical Stat-Sat	None	Spectrum M3 Monitor	Integrated Cardiohelp HLS*
Pressure Monitor	DLP Medtronic Stockert S3 System	DLP Medtronic	DLP Medtronic	DLP Medtronic	Integrated Cardiohelp HLS*
Cardio-respiratory monitor	Propaq	<10 kg Welch-Allen >10 kg Lifepak	GE Dash 3000	Phillips Intellivue MP2 Monitor	Dräger Oxylog 3000
UPS/ Battery	2 Energy Technologies ET10001-1240	<10 kg Cleary On Guard >10 Kg none	ATC Smart UPS 1000 or Tripp Lite BC Pro	1 Geo Data System (Part of Back up pack)	None
Ultrasonic Flow Probe	Transonic HT109	Biomedicus 550 system	None	Spectrum M3 Monitor	Integrated Cardiohelp HLS*
IV Pumps	Baxter AS 50 and IVAC Medsystem III DLE	Medfusion 3500	Medfusion 3500; Sigma	B Braun Syringe Pump and IVAC Medsystem III DLE	B Braun Perfusor compact
Ventilator	MVP-10	Carefusion LTV	LTV 1000	LTV 1200	Oxylog 3000
Blender	Custom Air/O ₂ Flowmeters	None	None	Terumo Sechrist	None
Air Tank	Q Tank	None	None	E Tank	None
Oxygen Tank	Q Tank	D tank	E Tank	E Tank	O Tank
ACT device	i-Stat 1 Analyzer	Hemochron 401	Hemochron Jr	i-Stat 1 Analyzer	None

* Cardiohelp HLS only available in Europe.

表 33.4 代表的な ECMO 搬送チームの特徴

	Wilford Hall Medical Center	University of Michigan Medical Center	Arkansas Children's Hospital	Hanuola ECMO Program	University Hospital Regensburg, Germany
Regional	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Global	Yes	No	No	No	No
Extra-institutional "Taxi Runs"	Yes (26%)	No	Yes (7%) (not routine)	No	No
Ground	38% Custom: Generator, 1,200 lb lift	70% Custom: Generator, 800 lb lift, 250 gallon fuel tank	12.50%	Yes	Yes Specialized ICU Ambulance
Helicopter	No	20% Bell 230, Bell 430	75% Sikorsky S-76	No	Yes BK-117
Fixed Wing	62% Military Aircraft C-17, C-130	10% Lear Citation 5 jet Cessna Citation Encore	12.5% JetMed Lear Jet	100% Hawker Falcon 50 Gulfstream 3	No
Typical Team Size:	10-15	5-6	4	4-5	3-4
Physician	1 ECMO MD 1 Patient MD	1 ICU Fellow	1 ICU MD	1 ICU MD	1 Anesthesiologist
Nurse	1 ECMO Coordinator 1-2 Patient RN's 1-2 Circuit RN's	2 Flight nurses 2 ECMO Specialists	1 ECMO Coordinator	1	1
Perfusionist	No	No	No	1	1
Respiratory Therapist	1-2	2 ECMO Specialists	No	1	No
Surgeon	1	1-2	1 CT Surgeon 1 Surgical assistant	1	1
Cardiologist	1	No	No	No	No
Other	NICU/PICU Fellow	NA	NA	NA	NA
VA	99%	50%	100%	67%	50%
VV	1%	50%	0	33%	50%
Other	Additional back up of all equipment Total weight 2000 lbs	Use 2 helicopters or jets for extra personnel	NA	Back Up Pack: Geo Data System UPS Rotaflo Hand Crank Levitronix console Battery packs to Braun, LTV, Phillips	NA

を行うチームもある^{5, 32-34}。ガス交換膜を介した AV シャントを基本としており、概念上も理論上も合理的である。可動部位がなく、動力を必要としない。しかし、動脈への血管アクセスが必要となる。また膜を還流するのに十分な心拍出量を保たなければならないうえ、膜を通過する血液が少ないた

め、酸素化の大幅な改善は望めない。ところが、この膜は二酸化炭素の除去効率が高く、頭部外傷後の難治性高二酸化炭素血症などがよい適応とされている³⁵。以上のことから、搬送時の PECLA には重要な位置づけがあるといえるが、やはり ECMO 可能なチームによって施行されるべきであろう。