

ECMO 搬送チームによって高度な救命処置や ECMO 導入が施行されたら、搬送前のある程度観察を行い、状態が安定していることを確認しなければならない。この間に、搬送に備えて呼吸器の設定変更、昇圧薬など静注薬の搬送用ポンプへの移し変え、そして搬送用ストレッチャーや移動用荷台への患者の移乗など、諸々の準備を行う。気胸など患者の体内に気体の貯留を認める病態では、搬送手段の再検討が必要かもしれない（例：眼球内ガスの患者は陸路での移動を検討する）。搬送チームはすべてのチューブ類、点滴ライン、そしてドレーン類を確認して、位置、機能、そして固定性を評価する。深めの鎮静が強く推奨されており、十分な鎮痛薬と鎮静薬による薬剤性麻痺の状態に置くことを考慮する。酸素ポンベの補充を行い、すべての機器は充電を完了しておき、搬送に用いるすべての薬物を新たに詰め替える。医療ディレクターまたは派遣指令者は、患者の状態と搬送機の使用可能状況をもとに搬送計画の最終決定を下す（陸路 vs. ヘリコプター vs. 飛行機）。また、出発に先立って紹介先 ECMO センターに患者の状態を報告し、到着後に追加の検査や処置が必要であればその旨も伝える。

搬送中

実際、搬送時に課題となるのは、搬送機への患者の移乗、空路搬送における気圧のガス交換膜への影響、そして搬送中の緊急事態に対する知識と対応などである。言うまでもないが、患者の体を移動させる際の事故が医療搬送に伴う最も重要なリスクである。軍用輸送の世界では、経験豊富なスタッフが患者搬送の擬似訓練を行っており、彼らの細かな注意により、チューブ類の位置異常、患者の転落、そして機械の故障など、搬送に伴うさまざまな弊害は減少している。一般に、呼吸器に接続された患者を担架で運ぶ方法として、非医療スタッフ 4~6 人が物理的に患者を運んで飛行機または救急車に乗せ降ろしし、同時に搬送に同行する搬送医療補助スタッフ 2~3 人が、障害物の有無、機械やチューブ類の引っかかりなどに注意を払う。その間にも 3 人の CCATT は患者のモニタ

リングを続ける³⁶。それ以外の方法をとるチームでは、陸路移動用の乗り物を直接飛行機内に乗り入れることで、空路搬送における患者移動の負担を大幅に軽減しているところもある^{31,37}。搬送過程で危険にさらされる瞬間をもう 1 つ挙げると、それは動力源や医療用ガスを輸送機から搬送用の荷台、ストレッチャーなどに移し変えるときである。この工程では完全に動作が連動していなければならないので、行動に移る前に、チーム内での“タイムアウト”、つまり各自の役割の最終確認、そして手順の言語化を行うことを強く推奨する。この過程をふむことで、患者への酸素や血液の途絶を防ぐことができる。

高度が膜のガス交換に及ぼす影響

膜のガス交換能は大気圧の低下とともに減少するため、当初搬送チームは機体の高度を“field level”に制限した³⁸。このことは搬送計画の大きな支障であり、近年の高性能なガス交換膜の登場によりもはや必要ではないと考えられるようになった。高度 6,900 フィート (2,300 m) では、FiO₂ が 1 の人工肺は海拔 0 m での FiO₂ 0.8 と同等の酸素供給が得られる。非加圧ヘリコプターに搭乗する際、一般的に 5,000 フィート以下では大気圧が低下することによりパルスオキシメータで測定された SpO₂ は 3~4% 低下する¹⁹。WHMC 新生児・小児科チームは、飛行機による搬送に対しては 5,000 フィート (1,524 m) の高度制限を設けている²⁰。成人の VV-ECMO 搬送では、支障をきたすことなく、標準的な飛行高度の 8,000 フィートが採用されている。空路での搬送の際、離着陸時の速度変化を受けても、静脈還流の大幅な変動など、回路内の不都合が生じることはない。しかし、離着陸の際には、誤ってカテーテルの位置がずれたり回路が折れ曲がったりしないよう、回路と患者を確実に機体に固定し、監視を怠ってはならない。

搬送中の緊急事態に対する認識と対応

搬送中の緊急事態の原因で最も多いのは、チュー

ブ類（気管挿管チューブや胸腔ドレーンなど）の位置異常、そして機械の故障である。ECMO 搬送中にこういったトラブルが生じたという報告は少ないものの^{16,37}、実際に起きた場合の被害は甚大である。暗い照明、大きな騒音、そして患者への接触が困難といった機内の環境は、搬送中の機械トラブルの早期発見や患者急変の原因検索などを格別に難しくする。一般的な救急のシナリオを用いてチームトレーニングを行うこと、そして体系的なアプローチによって生理学的な異常を解明することによって、大小の合併症を減らすことができる²⁵。広く知られている搬送中の合併症、そして、それぞれに対して推奨されている予防策ならびに対処法が表 33.5 に表記してある。ECMO 下の患者にとっては、合併症を改善するために行う一つひとつの手技がかえって致死率を著しく高めることになりかねない。心嚢穿刺、胸腔内トロッカー留置、そして再挿管でさえも致命的な出血を引き起こすリスクがある。それゆえ、搬送チームで問題解決のためになんらかの処置を行う際には、もとの病態よりも介入を行うことのリスクが高くないよう、十分に配慮して慎重に行動をとらなければならない。

ECMO センターでは

搬送チームは受け入れ先の ECMO センターに到着したら、患者の病歴、搬送中の出来事、現在の状態などを ICU チームに申し送る。搬送物品を外し、ECMO 回路の互換性を確認する。搬送チームがもともと転院先の病院の所属であれば回路の互換性は問題にはならない。しかし、搬送チームが“タクシー搬送”を行う場合には、こうした確認はより重要になる。回路を完全に新しいものに交換しなければならない場合、搬送医療ディレクターと受け入れ側 ECMO 医師の双方が現場に立ち会い、ポンプ停止時間を可能なかぎり短くするように努力する。ここで再び前出の“タイムアウト”プロトコールが重要となる。実際に行動に移る前に、全員が各自の役割を再確認し、回路交換の流れを簡単に実演するのである。われわれの経験では、たとえ回路の組み方や部品が普段使い慣れ

たものでもなくとも、この最終確認を行うことにより、円滑な回路交換が可能となる。再び ECMO が始動し、患者が安定した時点でようやく、搬送チームから転院先医療チームに患者の治療責任が引き継がれることとなる。

軍の ECMO 搬送と 戦闘負傷者治療の教訓から

米空軍は軍加入者および市民の新生児のために ECMO 搬送を 1985 年 11 月から WHMC プログラムを通じて行っている^{3,14,20,38}。1993 年からは、小児患者まで拡大され、現在までにチームは合計 76 の搬送、7,500 マイルにのぼる距離を搬送している。WHMC は C-17 や C-130 といったフライト中に給油可能な機体を使用できるため、世界規模での ECMO 搬送が行える唯一のプログラムである。また搬送可能地域が広いため、WHMC は唯一の“タクシー搬送”が常時使用可能なプログラムでもある。このようなミッションは国家的危機の際に ECMO が必要な患者と使用可能な ECMO 病床をマッチングさせるためにも使用できるが、通常は患者を専門的施設へ VAD 留置や臓器移植目的に移送するために使用される。

近年、軍の ECMO 搬送チームはもう 1 つの役割が認知されている。戦闘による負傷者で重症呼吸不全に陥った者の搬送である³⁹。最近のイラクの自由作戦による戦闘負傷者レジストリーの報告では、挿管した戦死者の 6.6% が ARDS であり、ARDS は予後の独立した予測因子であった⁴⁰。この項では戦闘負傷者の重症 ARDS 患者を搬送する、軍の ALIRT の発展と、役割が ECMO 導入までも追加された WHMC チームの能力の拡大について記述する。

航空医療避難チームから ALIRT へ

一般的な航空医療避難 (AE) チームは看護師 1 人と医療技術補助職 1 人で成り立っている。各 AE チームは一回のフライトで 20 人以上の安定した患者を安全に搬送することができる。1 人以上の重篤な患者がフライトの予定に入った場合、

表 33.5 広く知られている搬送中の緊急事態とその推奨される予防策と対処法

Complication	Prevention/Resolution
Airway	
<ul style="list-style-type: none"> • Endotracheal Tube Kinking/Dislodgement 	Prevention: Re-secure airway prior to transport; assign a team member to monitor airway position. Resolution: Continue ECMO; controlled re-intubation; if the patient remains well oxygenated with little air hunger, consider leaving extubated vs. surgical airway if initial attempts fail
Breathing	
<ul style="list-style-type: none"> • Delayed pneumothorax 	Prevention: Carefully review pre-flight radiographs. Resolution: Tube thoracostomy insertion (Note: for the hypoxic/hypotensive patient on ECMO during transport, first perform a complete circuit check, increase flow and sweep gas rate, and observe before considering needle decompression or chest tube placement.)
<ul style="list-style-type: none"> • Chest tube dislodgement 	Prevention: Check tube position and anchor prior to departure; assign a team member to monitor tubes during movement. Resolution: Replace chest tube
<ul style="list-style-type: none"> • Ventilator malfunction 	Resolution: Backup ventilator; increase ECMO flow
<ul style="list-style-type: none"> • Oxygen supply exhaustion 	Prevention: Assign this pre-transport check to multiple team members and put on a pre-launch checklist. Resolution: Rapidly proceed to the nearest waypoint to re-supply.
Circulation	
<ul style="list-style-type: none"> • ECMO tubing rupture 	Preparation: Have tubing rupture kit available Resolution: Clamp and replace the tubing section; re-initiate ECMO
<ul style="list-style-type: none"> • Partial cannula dislodgment 	Prevention: Use multiple anchoring sutures; Transparent dressing; Medical Director hold the cannula during movement Resolution: If the side holes are out of the vessel, remove and rapidly proceed to the nearest waypoint to re-initiate ECMO.
<ul style="list-style-type: none"> • Pericardial tamponade 	Prevention: For single site R IJ cannula insertion, consider fluoroscopic wire positioning and using a Rosen wire (relatively stiff with a J-tip) Resolution: Diagnose with FAST; pericardiocentesis and proceed to the nearest waypoint. (Note: for the hypotensive patient on ECMO during transport, first perform a complete circuit check, increase flow and sweep gas rate, and observe before considering pericardiocentesis)
<ul style="list-style-type: none"> • Battery failure 	Prevention: Ensure maximal charge on all components prior to departure; assign this pre-transport check to multiple team members and put on a pre-launch checklist or "time out." Consider bringing additional battery packs or a backup power source. Resolution: Rapidly proceed to the nearest waypoint to re-supply.

AE チームは航空機をさらに 3 人の CCATT メンバー（集中治療に精通した医師，集中治療看護師，呼吸療法士）が搭乗できるように設定する^{6, 36, 41}。CCATT は最大で 4 人の人工呼吸患者に対応できるように，集中治療の薬物（通常 3 日分），2~4 台の Univent 754 人工呼吸器（Impact Instrumentation, Inc., West Caldwell, NJ）と複数の持続静注ポンプ，

吸引器を備えている。1994 年の運用開始から，これらのチームは重症戦闘負傷者を患者であふれている戦闘補助病院から軍の退避の連鎖に基づき，次の施設へ搬送している⁴。

このコンセプトは，イラク・アフガニスタン戦争で安定した患者だけではなく安定化していない患者の移動という新たなトレンドへ広がった。CCATT

は、広範囲熱傷、頭蓋内圧上昇患者、ARDS、敗血症、心不全、戦闘後外傷性出血性ショックの患者の継続診療に熟練してきた。これは、ARDSnetの人工呼吸器アルゴリズム、USAISR（米軍外科研究所）の熱傷、輸血比率プロトコール、そして標準化された頭蓋内圧管理アルゴリズムなどが広く知られるようになったことによる。CCATTは、すなわち戦闘負傷者に対するICUでの蘇生行為を継続するようになった。

症例によってはCCATTの患者を安全に搬送する能力は、搭載可能な人工呼吸器の機能により制限される。たとえば、Univent 754人工呼吸器は最大で60 L/minまでの流速能力しかもっておらず、それは若くて健康な男性（一般的に80 L/min以上の流速を要する）には不足である。このような症例では人工呼吸器との非同期が生じ、突然の低酸素血症や鎮静薬、鎮痛薬の増量を要し、循環動態の増悪をきたす。同様に、多くの携帯型人工呼吸器は非常に限られたI:E比の逆転幅しかなく、APRVなどのモードに必要なサーボコントロールの呼吸弁を欠いている。症例によっては重症ARDS患者の人工呼吸器の必要性が大きく、戦闘中、あるいは負担の大きい戦闘補助病院からの退避を不可能にする。そのため、2005年、いくつかの戦争への配属から帰った複数の外傷外科医、集中治療医、CCATTのメンバーは、このような患者のケアに特化した航空医学チームALIRTをつくった^{5, 42, 43}。2011年2月の時点で、このチームは通常のCCATTの能力を超えた29人の重症者搬送を成功させている。

成人ECMOを軍の搬送チームに加える

次第に公式の基準は採用され、ALIRTの適応、人員配置や能力は配備されたすべての医療チームに発表された。それぞれのALIRTは基本的なAE + CCATTに、必要時にLRMC (Landstuhl Regional Medical Center) スタッフから呼吸・集中治療医、外傷外科医、2人の集中治療看護師と2人の呼吸療法士を加えて構成される。ARDSを専門とした臨床家の経験が高頻度パーカッション換気(HFPV)とプロスタサイクリン吸入、気管内calfactant(仔ウシのサーファクタント)投与、標

準化されたアルブミン・フロセミド持続静注、腹臥位、PECLA、そしてVV-ECMOの治療を個別にもしくは組み合わせて使用させ、あらゆる重症度のARDS患者が戦闘地から安全に退避することを可能にした。

飛行を許可されたVDR4 (Percussionaire Corporation, Sandpoint, Idaho)を用いたHFPVの使用により、他の搬送や一般的な人工呼吸器よりも高度な呼吸補助を可能にした。軍の外傷患者のARDSの発症頻度は25%に達する。これはARDSをきたす因子、すなわち、爆発、挫傷、誤嚥、大量輸血、そして複数個所の外傷による。HFPVはこれらの症例の大半に効果がある。しかし、高い圧や容量負荷はもとの肺傷害には効果がない。さらに、搬送中のHFPVの正確な使用は、VV-ECMOの使用よりも間違いなく複雑で難しい。飛行中のHFPVに広い経験があるのはISR's Burn TeamとALIRTのごく少数の人のみである。HFPVに対しても抵抗性の呼吸不全で、最高レベルの肺保護治療が望まれる患者は体外循環を必要とする。

その後、ポンプを用いた体外循環を使って呼吸不全の治療を強化したいというニーズと、LRMCがECMO搬送の先駆施設であるRegensburg大学と地理的に近かったため、2つのセンターは密接な協力関係となった。現在までにRegensburgのチームはPECLAに依存した戦闘負傷者の手術室からの搬送と同様に60人以上のVVまたはVAのECMO患者を搬送している^{19, 34, 45}。RegensburgのチームによるECMOトレーニングと、最新鋭の機器の獲得により、ALIRTは現在ECMOを標準的な医療装備に加えた。

2011年2月、ALIRTはPECLAやVV-ECMOを用いた患者の長距離搬送に成功した⁴⁶。スウェーデンのKarolinska大学のチームの経験と同様に、米軍の経験は成人を安全に非常に長距離の搬送を行うことが可能であるということを示した。アフガニスタンのKandaharからドイツへのVV-ECMOを装着した若い兵士の搬送は、2010年10月に成功した。ドイツのLung Teamのメンバーの1人が現在、ハワイのTripler Army Medical Centerに駐留しており、Hanuola ECMOプログラムと

共同して 2010 年 11 月に成人 VV-ECMO の最長搬送記録を達成した。医療搬送目的の設備を積んだ Gulf Stream III はホノルルから優秀な ECMO センターである Iowa 大学までの 4,052 マイル、(6,519 km) の搬送に成功した。その患者は、長期の ECMO 管理はより経験のある施設で管理するほうがよいと判断され、ハワイで 6 日間 VV-ECMO 管理をしたのち、無事に搬送された。技術と集中治療の進化により、成人の ECMO 治療はある種の成人にとっても成功する治療へと発展した。成人の ECMO の利益に関するエビデンスがさらに積み重ねられ、ECMO センターがさらに増えることにより、短距離あるいは長距離の優秀な施設への安全な輸送がますます重要になる。

WHMC のチームは同時期に LRMC で ECMO 治療を開始された戦闘負傷者で米国に戻らなくてはならない人たちが、米国内の比較的 ECMO センターが少ない地域で ECMO が必要と判断された一般市民のための ECMO 搬送チームの必要性を認識していた。われわれは過去の ECMO 搬送の経験と Michigan 大学との豊富な研究協力、Maryland Shock Trauma との臨床協力により、新しくできた San Antonio Military Medical Center (SAMMC) の Critical-care Resuscitation And Support (CRAS) チームに投資した。このチームは強力な多職種チームで、本書が発行されたらすぐ公式に開始できる初期設備とトレーニングのための十分な資金を持っている。

病院間搬送の結果

米国では WGNC, UMMC, ACH が主要な ECMO 搬送センターであるが、近年では世界では 23 の ECMO センターが限定的であっても施設間 ECMO 搬送を経験している⁴⁷。これらのセンターでは生存退院率が 56~66%で、年齢や病名でマッチした各施設の ECMO 非搬送患者や ELSO レジストリーの値と同等であった (表 33.6)^{16,20,48}。病院内の ECMO と同様に、心臓症例の生存退院率 (35~46%) は呼吸症例 (60~80%) に比べ、低い傾向にある。

初期の ACH は彼らの施設外の“タクシー搬送”は生存率が低いと報告し、ルーチンに行うべきではないとしていた。しかし、WHMC による“タクシー搬送”は興味深い視点を提供し、ECMO 搬送地図を塗り替えた。増加傾向にある ECMO 搬送は、ECMO センターで心修復や VAD、心移植までのブリッジとして ECMO を使用している患者である。2006 年からの WHMC の施設外 ECMO 症例搬送の 77%は小児の心臓症例で 87%の生存退院率であった。8 人の小児心臓で施設外搬送を行った症例のうち ECMO を先天性心疾患の手術までのブリッジとして使用したのが 3 症例で、それぞれ Fallot 四徴症、共通房室間孔、大血管転位の手術に成功した。あとの 5 症例のうち、7 歳の 60 分以上の CPR が行われた ECPR 症例を含む 3 症例は、心筋炎から自然に自己心拍を再開した。1 人は心筋炎に対し VAD の装着、心移植に成功した。1 人は左冠状動脈肺動脈起始症 (ALCAPA) に続発した急性心筋梗塞後の弁置換に失敗し、死亡した⁴⁹。

上述したように、ECMO 搬送チームを派遣しても ECMO のカニューレーションが必ず行われるわけではない。場合によっては患者の状態が搬送チームの到着前に改善する、また場合によっては搬送チームによる蘇生処置により患者の状態が安定し、ECMO なしで搬送可能な状態になることもある。2006 年からの WHMC ECMO チームの搬送した 21 例中 4 例 (19%) は ECMO を必要としなかった。2 例 (10%) は ECMO チームが現地の病院で肺のマネジメントを行うことで改善し、HFPV (Bronchotron, Percussionaire Corp., Sandpoint, Idaho) と NO 吸入を用いて搬送した。両方の症例ともにその後も ECMO を必要とせずに完全に回復した。残りの 2 人は ECMO チームが向かっている途中に ECMO 搬送医療ディレクターへのコンサルテーションによるマネジメント戦略で改善した⁴⁹。同様の症例は UMMC や ACH でも報告されており、それぞれ 7%、6%の症例は ECMO を装着していない^{47,48}。両センターも搬送中の死亡はないが、搬送チームが搬送しようとした ECMO 患者の 5%が搬送チームが到着する前または搬送チームによる

表 33.6 ECMO 搬送経験

ECMO Center	Year Founded	Patient Category	n	Survival to Discharge (%)
Wilford Hall Medical Center	1985	Neonatal Respiratory	41	66
		Pediatric Respiratory	10	60
		Cardiac*	5	40
		Taxi Runs [^]	20	75
		Total	76	66
Arkansas Children's Hospital	1990	Neonatal Respiratory	35	80
		Pediatric Respiratory [#]	21	62
		Cardiac [#]	48	42
		Taxi Runs ^{b†}	8	14
		Total	112	56
University of Michigan	1990	Neonatal Respiratory	4	100
		Pediatric Respiratory	51	80
		Cardiac	31	35
		Adult Respiratory	117	64
		Total	203	65

* Pediatric cases only; # pediatric and adult cases;

[^] 3 neonatal respiratory, 2 pediatric respiratory, 15 cardiac; [†] 1 lost to follow-up

アセスメント中に死亡した。これは大幅に改善されているが、ECMO 搬送元の未解決な“隠れた死亡”である。さらに、このような患者の多くは搬送元の病院で ECMO を導入されている。ECMO 搬送が一般的になるにつれ、ECMO 搬送元の死亡は非使用や導入の遅れによるものは減り、結果として原疾患の進行に伴うものが増加している。

多くの世界の ECMO センターも ECMO 搬送の経験を報告している（表 33.7）。現在までの報告の最大のもは、9 年間で 33 の ECMO 搬送を行ったドイツ Regensburg のチーム¹⁹、6 年半で 31 の ECMO 搬送を行った台湾・台北の National Taiwan University Hospital⁵⁰、16 年以上で 23 の ECMO 搬送を行ったノルウェーの Oslo Universitetshospital-Rikshospitalet⁵¹、そして最大の報告が 1996 年から 2009 年の間に 272 の ECMO 搬送を行ったスウェーデン・ストックホルムの Karolinska University Hospital で、2001 年の 30 搬送の報告から大きく数を伸ばした^{37,51}。小さなシリーズや症例報告は、ドイツ・ベルリンのチーム²²、オーストラリア・メルボルンのチーム^{30,52}、イギリス・レスターの Glenfield Hospital⁵³からも報告されている。すべてのセンターが

ECMO 搬送は安全で現実的なものであり、ECLS による生存率および生存退院率は非搬送の ECMO 症例と同等であると報告している。

病院内での搬送

ECMO 患者では診断や治療を行うにあたり、病院内での搬送が必要になることがある。患者搬送の必要性は患者集団に応じて大幅に変動し、すべての ECMO 集団では 48%、小児心臓 ICU の ECMO 集団では 8%である^{54,55}。患者の移動には大きな危険を伴うため、治療または診療計画との利益性を比較考慮する必要がある。前述した安全で効果的な病院間搬送に関する原則は院内搬送でも不可欠である。一般的に搬送の実施者には、搬送中の機械トラブルや患者の急変の認識と管理に堪能していることが求められる。したがって、移動には搬送手順と経路を習熟した専門家の集学的チームで行うべきである。チェックリストを使うことでチームメンバーに特定の手順を示し、緊急“jump bag”や薬剤キット、血液製剤などの必要な資材を綴ることで、その準備を容易に行うことができる。次の項では、安全に院内での ECMO 患者搬送を

表 33.7 世界の ECMO 搬送経験

ECMO Center	ECMO Transport Reports	Patient Category	n	Survival to Discharge (%)
Oslo Universitetshospital-Rikshospitalet, Oslo, Norway	1992–2008	Neonatal Respiratory	8	
		Pediatric Respiratory	3	
		Pediatric Cardiac	1	
		Adult Respiratory	8	
		Adult Cardiac	3	
		Total	23	67
The Karolinska University Hospital, Stockholm, Sweden*	1996–2009	Neonatal Respiratory	91	91
		Pediatric Respiratory	41	76
		Adult Respiratory	104	67
		Total	236	78
National Taiwan University Hospital, Taipei, Taiwan	1998–2004	Adult Cardiac	31	32
		Total	31	32
University Hospital Regensburg, Regensburg, Germany	2000–2009	Adult Respiratory (Interventional Lung Assist)	20	45
		Adult Respiratory	9	44
		Adult Cardiac	9	56
		Total	38	47
Royal Children's Hospital, Melbourne, Australia	2003–2007#	Neonatal Respiratory	2	100
		Pediatric Respiratory	3	0
		Neonatal Cardiac	1	100
		Pediatric Cardiac	2	100
		Total	8	63

* An additional 36 patients were transported to other centers.

As of 2012 doing an average of 3–5 per year usually several hundred kilometers at a time

行うために、施設での経験とともに、詳細な手順を説明する。

ACH は自施設における小児 ECMO に対し、10 年間で行われた 57 回の院内搬送の詳細な報告を公開している⁵⁴。著者は搬送を準備期、搬送期、搬送後安定期の 3 つの期間に細分化している。準備期には処置のタイムラインの概略を決める。30 分以内に搬送のための装備や物品を構築し、目的地までの移動時間、予想される処置時間、戻りの移動時間をそれぞれ 30 分までにすることを推奨している。この報告では、ICU を離れてから要した時間の中央値が、カテーテル治療、診断カテーテル、頭部 CT で、それぞれ 158 分、119 分、40 分であった。

準備期のチェックリストでは鎮静の確保、筋弛

緩、移動用の血行動態モニター、ACT もしくは血液ガス装置、予備のバッテリー、ガス供給源、血液製剤、体温調節用のブランケット、患者カルテ、緊急薬剤箱、そして蘇生カートを搬送チームで利用、携帯できるようにするべきである (表 33.8)。ハワイの Hanuola ECMO プログラムにおける準備期の体外循環技士 (perfusionist)、呼吸療法士、看護師が関与する “jump bag” およびすべての補助装置をまとめたものが参考になる。準備期では、チームメンバーの割り当てと回路準備がなされる。搬送チームの組立は経験とプロトコールに基づいて行われる。ACH のような大きな ECMO センター同様に、院内搬送症例数の多い施設では通常最少で 4 名のチーム (ECMO スペシャリスト、ECMO コーディネーター、担当の ICU 看護師、および主

Hanuola Intra-Hospital Transport Checklist

TRANSPORT PREPARATION

ECMO Physician

- Confirm need for ECMO transport with 2 ECMO physicians
- Notify ECMO Medical Director and ECMO Coordinator
- Notify parents of transport
- Call radiology to arrange time for study -- aim for low volume time of day
- Order appropriate sedation, vasopressors, blood products
- Discontinue non-essential infusions

ECMO Coordinator

- Assign ECMO transport team: ECMO coordinator; ECMO attending physician; bedside ICU nurse (RN); perfusionists (CCP) x2; respiratory therapists (RT) x2
- Assign en route roles (see table) and review transport schematic with team
- Have RN, RT, CCP acquire and inventory specialty specific ECMO Jump bags
- Notify blood bank, and ensure bedside blood product cooler is adequately re-stocked
- Call security to cordon off back hallway and secure back service elevator during transport
- Call housekeeping to clean service elevator before and after transport
- Ensure code card/defibrillator available at destination site
- Ensure power supply extension cords are available at destination
- Ensure back up battery (UPS) is available
- Place imaging approved transport board under patient if >10kg

RN

- Transfer patient cardiorespiratory cables to transport monitor
- Assess and secure all tubes and lines
- Secure all ancillary devices (Pleur-evac, foley) to ICU bed
- Place chest tube to water seal or portable suction.
- Discontinue non-essential infusions (e.g. lipids) per physician orders
- Ensure vasopressor(s) spiked and hung for emergency access
- Consolidate all IV pumps onto one mobile IV pole
- Identify and isolate a dedicated IV lumen to push code medications or volume to patient if needed for possible circuit emergency. Add extenders to ensure adequate IV tubing length is available to reach site while in CT
- Place blankets for thermoregulation
- Bring patient chart and flowsheets for charting
- RN Jump Bag: 30 mL pre-filled syringes (1 unit PRBC, 1 unit FFP, saline); sedation & muscle relaxant (x3 doses); epinephrine, CaCl, NaHCO3 (x3 doses); empty syringes, alcohol pads, flush solutions

RT

- Place full E-cylinder of O₂ in the HL-20 tank holder or bring a tank roller with full E-cylinders of air and O₂
- Add length of high pressure gas tubing to reach the wall source at the destination
- Place full E-cylinder of O₂ on the patient bed
- Ensure ETT secured
- Set up manual ventilation source (anesthesia bag, self-inflating bag, or Neopuff)
- Set up ventilator at destination site and have settings adjusted (leave in Standby mode)
- RT Jump Bag: flow meters and quick connect styles for universal compatibility

CCP

- Turn water heater off but leave in place on HL-20 cart
- Disconnect bubble detector from circuit if needed to free up circuit tubing length. Reposition support clamp
- Pre-position Rotaflow handcrank to maintain optimal access while in transit and in elevator configuration
- Bring ECMO flowsheets for charting
- CCP Jump Bag: mini circuit rupture kit (6 circuit clamps, 1 sterile scissors, sterile gloves, 2 60 mL syringes for de-airing, 2 60 mL syringes with sterile saline for volume, 2 stopcocks, 2 (1/4 x 1/4 or 3/8 x3/8) circuit connectors, 6 Chloraprep® swabs); i-STAT® module; 6 i-STAT® ACT cartridges; 6 3 mL syringes; 6 needle-less injection tips; 6 Chloraprep® swabs

AT RADIOLOGY OR CT SUITE

- Enter room head first (circuit on patient's right)
- Drop CT scanner stretcher to match inpatient bed height
- ECMO MD coordinates verbal time out for lateral pull from inpatient bed to scanner stretcher.
- Move empty patient bed to hall
- Plug all equipment into wall AC power (HL-20 base, water heater, transonic, monitor)
- Connect to wall gas and oxygen source. turn off tanks and recheck PSI
- Connect patient to ventilator.
- Turn on water heater
- Reassess temperature
- Do slow walk through of full range of motion through scanner to ensure circuit length / HL-20 position is appropriate before imaging starts.
- CCP and ECMO MD wear lead aprons and remain in room with patient during testing to monitor pump and circuit
- Continue ACT's per usual protocol

AFTER RETURN TO UNIT

- Plug all equipment into wall AC power (HL-20 base, water heater, transonic)
- Connect to wall gas and oxygen source
- Connect patient to ventilator.
- Turn on water heater
- Confirm bubble detector is connected and turned on
- Reassess temperature.
- Obtain CXR for ETT and cannula position if clinically indicated
- Get CBC, Coags, ACT, Circuit and patient ABG if clinically indicated

表 33.8 ハウオラの Hanuola ECMO プログラムの院内搬送のためのチェックリスト

第 33 章 ECMO 患者の搬送：要旨から適応まで

表 33.9 ハワイの Hanuola ECMO プログラムの院内搬送チームの役割と責任

Transport Team Member	Intra-hospital Transport Responsibilities
ECMO Physician	Manage the patient and circuit during transport; perform "time out" and call out movement commands for transfer of patient off and back on hospital bed
ECMO Coordinator	Assign ECMO transport team, review transport roles and enroute positioning schematic; notify blood bank; place imaging approved transport board under patient (if > 10kg); clear transport hallways and place elevators on standby; monitor power and gas supply transitions
Bedside Nurse	Eliminate unnecessary infusions with MD direction; consolidate remaining infusions to a single IV pole prior to transport; prepare all transport medications including ACLS/PALS medications, muscle relaxants, and sedatives; ensure blood products available; administer medications as necessary; push infusion pump IV pole
Respiratory Therapist 1	Ensure circuit and patient E tanks are full; bring additional pressurized gas tubing and all quick connects/flow meter styles; travel with patient to secure the airway and gently hand ventilate the patient
Respiratory Therapist 2	Pre-positioned at destination with a ventilator on standby
Perfusionist 1	Prepare the circuit for transport; monitor circuit function during transport; carry circuit rupture kit
Perfusionist 2	Serve as "bridge" between the patient and circuit during transport by manually holding the tubing near the patient and regulating tension on the tubing (alternatively done by ECMO coordinator); assist Perfusionist 1 with circuit emergencies

治医) での実施を提唱している。一方、ハワイの Hanuola ECMO プログラム同様に、院内搬送症例数が少数の施設ではバックアップのために少し大きめのチーム (2 人の体外循環技士, 担当の ICU 看護師, ECMO コーディネーター, 2 人の呼吸療法士, ECMO 主治医) で行うほうがよい⁵⁴。チームメンバーの役割を表 33.9 に示す。

これで回路の準備は完了する。いくつかの施設では専用搬送カートで患者の搬送を行うが、多くの施設では機械的な問題 (たとえば、人工肺の加温水の接続の外れ) のリスクを最小限に抑えるために、可能な限り既存の回路を簡素化する。Hanuola プログラムでは Maquet 社の HL-20 PerfusionSystem[®] (Maquet, Wayne, NJ) に搭載された ECMO 回路 (Rotaflow[®] ポンプ, Quadrox[®] 人工肺) と一緒にインファントウォーマーや ICU ベッド上の患者を搬送する。冷温水槽は内部バッテリーでは電力不足のためオフになっているが、院内搬送の先で再稼働するためにシステムに残される Rotaflow[®] は内部バッテリーで動作している HL20[®] システムを通じてサーボ制御がなされる。必要であれば、気

泡検出器は循環システムの簡素化と患者移動の範囲を最大にすることで ECMO 回路に余裕をもたせるために外される。Hanuola の回路チューブは静脈カニューレの接続部からポンプの流入部まで 75 インチ [訳注: 190.5 cm] の長さで、動脈カニューレの接続部から人工肺までの長さが 70 インチ [訳注: 177.8 cm] である。これらの寸法は、回路を外すことなく病院のベッドから CT 撮影用の担架への移乗にする際、新生児から大きな大人の患者に至るまで十分な可動性をもっている。回路の準備に加え、搬送チームは不必要なすべての輸液の中止と、残りの輸液、鎮静薬、昇圧薬を 1 つの点滴ポールに整理し、患者の準備を行う。

一度、ECMO コーディネーターが計画した動線がクリアされていることを確認し、エレベータを確保したら、チームは先へ進む。Hanuola は、エレベータや CT 室といった限られた空間の中で最適な医療管理と計画的な動作を行うために人員や装備の配置の図面を作成することが有用であるとした (図 33.7)。搬送後は、バッテリー動作によるトラブルを避けるため冷温水槽、ポンプへの

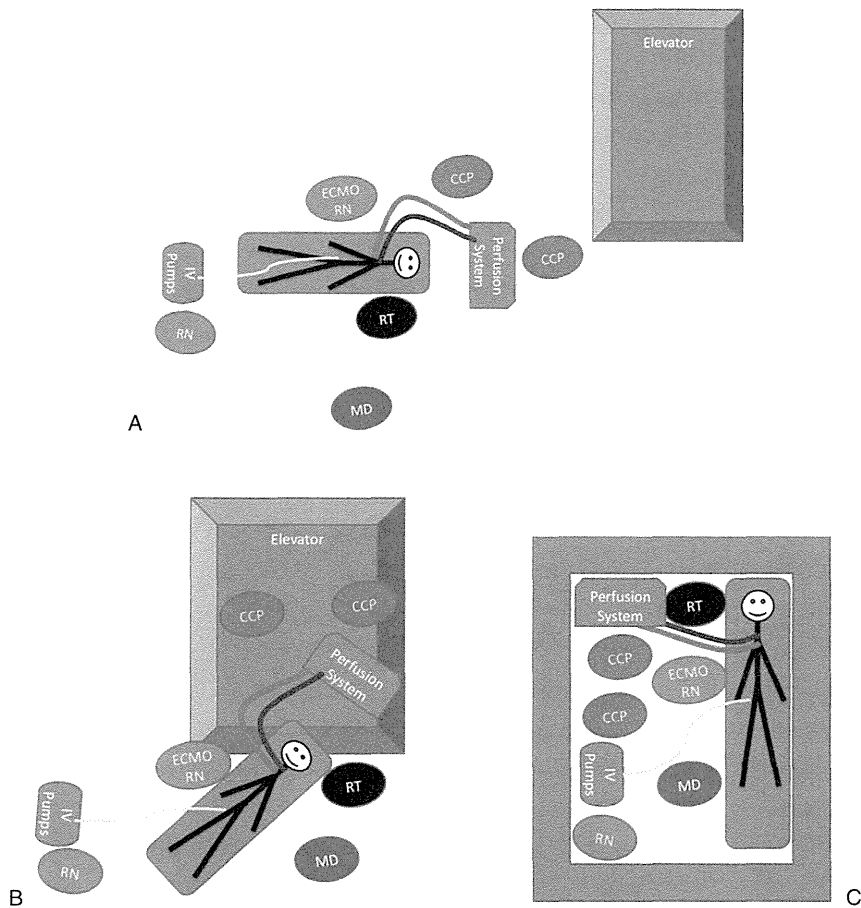


図 33.7 ハワイの Hanuola ECMO プログラムの院内搬送のための概略図
 A：廊下移動時の配置，B：エレベータに入るときの配置，C：エレベータの中での配置

電源供給および人工肺への壁配管からのガス供給などを直ちに確立する。搬送後安定期に、ICUへ安全に入室したことを確認することで搬送は完遂される。加えて、新しいベースラインとして回路チェック、X線または超音波によるカニューレ位置の検証、および血液ガス分析、CBC、電解質、ACT、凝固機能を含めた検査をすべきである。

複数のセンターの報告では、このような体系的なアプローチによって患者の治療方針を大きく変える診断や治療介入に対する安全な搬送を行うことができるとしている。Karolinska のチームは、131 人の ECMO 患者のうち 63 人 (48%) で、合計 118 回の胸部および腹部の CT 撮影のための院内

搬送に成功したと報告している⁵⁵。移動用 ECMO システムは 100 cm の追加のチューブと一緒に使用された。118 例のうち 30 (25%) 例のなかで、26 例は治療を必要とした重大な合併症が起こした。ICU の外での時間 (搬送と処置時間) の合計は一般的に 60 分未満であった。別の研究では、ACH は診断カテーテルのための院内搬送について、70% の患者で管理の変化をもたらしたと報告している⁵⁴。ベッドサイドでの心臓超音波検査の診断能力は、特に分岐肺動脈や全身から肺動脈へのシャント異常を有する患者では 59% に制限されていた。カテーテル治療のために搬送されたすべての患者は、診断カテーテルで、ブレードやバルーンによる心房

中隔開口術、心筋生検、ラジオ波焼灼療法および大動脈弁切開術を含む治療が示された。生命維持からの撤退をもたらす著しい頭蓋内病変のために頭部 CT を行うための搬送を受けた患者もしばしばいた。したがって、病院間輸送と同様に院内搬送では安全が証明されたうえで、経験豊かで高度なトレーニングを受けた者の手によって行われるべきであり、同時に診断と治療効果が搬送のリスクを上回るクリニカルシナリオを目標とすべきである。

結論

ECMO 搬送チームと機器類は、もともと ECMO 施行のために紹介される患者の死亡率を抑えるため、そして軍の扶養家族の重症心肺不全を搬送するために独自に開発され、過去 25 年間で大幅な進化をした。米国の主な 3 つの搬送チームと数が増えてきている国際チームは、ECMO 搬送を安全かつ医療現場のさまざまな状況に適応可能であり、ECMO の隠された死亡率を大幅に削減していることを示している。これらの結果は、専任スタッフの幹部と少数の搬送医療管理者によって、搬送用救急車の電源容量に至るまで、細かく細心の注意が払われていることに起因する。ECMO の需要が増大していることから、既存の ECMO 搬送チームは University Hospital Regensburg と米軍 ALIRT との協力からも示されるように、新しいチームを訓練する仕事やトランジットケア医学 (transit care medicine) の分野の成長に専門知識を提供すべきである。

免責事項

この章に含まれている意見は、筆者らのプライベートなものであり、米空軍、米陸軍または国防総省の公式な見解を反映するものではない。著者はこの仕事に際し、金銭の支援は受けていない。

謝辞

筆者らは、2006 年から現在まで、搬送時に助けていただいている LtCol Dan Dirnberger, MD,

ECMO Co-Director, Ms. Cheryl Collicott, ECMO Coordinator, RN, Capt Terry Bailey, RN, ECMO Coordinator を含む Wilford Hall Medical Center の搬送チーム、発表前の搬送のデータを提供していただいた Katherine C. Clement, MD と Richard Fiser, MD, ECMO Medical Director を含む Arkansas Children's Hospital のスタッフ、および成人患者を含む Wilford Hall Medical Center の搬送能力拡大の指導をしていただいた University of Michigan Medical Center のスタッフ、そして ECMO 搬送と搬送チームのデータに意見をいただいた William Copenhaver, RN, BSN, ECMO Specialist と Paula Baldrige, RN, ECMO Program Manager に感謝いたします。

文献

1. Arlt M, Philipp A, Voelkel S, et al. Extra-corporeal membrane oxygenation in severe trauma patients with bleeding shock. *Resuscitation*. 2010; 81:804–809.
2. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009; 374:1351–1363.
3. DiGeronimo RJ, Henderson CL, Grubb PH. Referral and transport of ECMO patients. In: Van Meurs K, Lally KP, Peek G, Zwischenberger JB, eds. *ECMO: Extracorporeal cardiopulmonary support in critical care*. 3rd ed. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization; 2005:157–172.
4. Grissom TE, Farmer JC. The provision of sophisticated critical care beyond the hospital: lessons from physiology and military experiences that apply to civil disaster medical response. *Crit Care Med*. 2005; 33:S13–21.
5. Dorlac GR, Fang R, Pruitt VM, et al. Air transport of patients with severe lung injury: development and utilization of the Acute Lung Rescue Team. *J Trauma*. 2009; 66:S164–171.
6. Renz EM, Cancio LC, Barillo DJ, et al. Long range transport of war-related burn casualties. *J Trauma*. 2008; 64:S136–144; discussion S144–135.
7. Gebremichael M, Borg U, Habashi NM, et al. Interhospital transport of the extremely ill patient: the mobile intensive care unit. *Crit Care Med*. 2000; 28:79–85.
8. Nagappan R. Transit care medicine—a critical link. *Crit Care Med*. 2004; 32:305–306.
9. Warren J, Fromm RE, Jr., Orr RA, Rotello LC, Horst HM. Guidelines for the inter- and intrahospital transport of critically ill patients. *Crit Care Med*. 2004; 32:256–262.

10. Ajizian SJ, Nakagawa TA. Interfacility transport of the critically ill pediatric patient. *Chest*. 2007; 132:1361–1367.
11. Orr RA, Felmet KA, Han Y, et al. Pediatric specialized transport teams are associated with improved outcomes. *Pediatrics*. 2009; 124:40–48.
12. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Fong SW, Jefferies MR, Roohk HV, Haiduc N. Extra-corporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. Experience in 28 cases. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1977; 73:375–386.
13. Bartlett RH, University of Michigan, personal communication, 2010.
14. Cornish JD, Gerstmann DR, Begnaud MJ, Null DM, Jr., Ackerman NB. Inflight use of extracorporeal membrane oxygenation for severe neonatal respiratory failure. *Perfusion*. 1986; 1:281–287.
15. Boedy RF, Howell CG, Kanto WP, Jr. Hidden mortality rate associated with extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr*. 1990; 117:462–464.
16. Foley DS, Pranikoff T, Younger JG, et al. A review of 100 patients transported on extracorporeal life support. *ASAIO J*. 2002; 48:612–619.
17. Heulitt MJ, Taylor BJ, Faulkner SC, et al. Inter-hospital transport of neonatal patients on extracorporeal membrane oxygenation: mobile-ECMO. *Pediatrics*. 1995; 95:562–566.
18. Wilson JM, Bower LK, Thompson JE, Fauza DO, Fackler JC. ECMO in evolution: the impact of changing patient demographics and alternative therapies on ECMO. *J Pediatr Surg*. 1996; 31:1116–1122; discussion 1122–1113.
19. Arlt M, Philipp A, Zimmermann M, et al. Emergency use of extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary failure. *Artif Organs*. 2009; 33:696–703.
20. Coppola CP, Tyree M, Larry K, DiGeronimo R. A 22-year experience in global transport extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr Surg*. 2008; 43:46–52; discussion 52.
21. First Aired—ECMO Advantage transport a success. Available at: <http://www.waypointmagazine.com/content/first-aired%E2%80%93ecmo-advantage-transport-success>. Accessed May 23, 2010.
22. Rossaint R, Pappert D, Gerlach H, Lewandowski K, Keh D, Falke K. Extracorporeal membrane oxygenation for transport of hypoxaemic patients with severe ARDS. *Br J Anaesth*. 1997; 78:241–246.
23. Wilson BJ, Jr., Heiman HS, Butler TJ, Negaard KA, DiGeronimo R. A 16-year neonatal/pediatric extracorporeal membrane oxygenation transport experience. *Pediatrics*. 2002; 109:189–193.
24. Impact Instrumentation Inc.: SMEEDTM. Available at: <http://www.impactinstrumentation.com/SMEED.html>. Accessed May 26, 2010.
25. Arlt M, Philipp A, Zimmermann M, et al. First experiences with a new miniaturised life support system for mobile percutaneous cardiopulmonary bypass. *Resuscitation*. 2008; 77:345–350.
26. Arlt M, Philipp A, Iesalnieks I, Kobuch R, Graf BM. Successful use of a new handheld ECMO system in cardiopulmonary failure and bleeding shock after thrombolysis in massive post-partial pulmonary embolism. *Perfusion*. 2009; 24:49–50.
27. Krane M, Mazzitelli D, Schreiber U, et al. LIFEBRIDGE B2T—a new portable cardiopulmonary bypass system. *ASAIO J*. 2010; 56:52–56.
28. Mehlhorn U, Brieske M, Fischer UM, et al. LIFEBRIDGE: a portable, modular, rapidly available “plug-and-play” mechanical circulatory support system. *Ann Thorac Surg*. 2005; 80:1887–1892.
29. ECMO center bed status map. Available at: <http://www.elso.med.umich.edu/Maps.html>. Accessed May 23, 2010.
30. Perez A, Butt WW, Millar KJ, et al. Long-distance transport of critically ill children on extracorporeal life support in Australia. *Crit Care Resusc*. 2008; 10:34.
31. Wagner K, Sangolt GK, Risnes I, et al. Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion*. 2008; 23:101–106.
32. Kjaergaard B, Christensen T, Neumann PB, Nurnberg B. Aero-medical evacuation with interventional lung assist in lung failure patients. *Resuscitation*. 2007; 72:280–285.
33. Zimmermann M, Bein T, Philipp A, et al. Inter-hospital transportation of patients with severe lung failure on pumpless extracorporeal lung assist. *Br J Anaesth*. 2006; 96:63–66.
34. Zimmermann M, Philipp A, Schmid FX, Dorlac W, Arlt M, Bein T. From Baghdad to Germany: use of a new pumpless extra-corporeal lung assist system in two severely injured US soldiers. *ASAIO J*. 2007; 53:e4–6.
35. Bein T, Scherer MN, Philipp A, Weber F, Woertgen C. Pumpless extracorporeal lung assist (pECLA) in patients with acute respiratory distress syndrome and severe brain injury. *J Trauma*. 2005; 58:1294–1297.
36. Beninati W, Meyer MT, Carter TE. The critical care air transport program. *Crit Care Med*. 2008; 36:S370–376.
37. Linden V, Palmer K, Reinhard J, et al. Inter-hospital transportation of patients with severe acute respiratory failure on extra-corporeal membrane oxygenation—national and international experience. *Intensive Care Med*. 2001; 27:1643–1648.
38. Cornish JD, Carter JM, Gerstmann DR, Null DM, Jr. Extracorporeal membrane oxygenation as a means of stabilizing and transporting high risk neonates. *ASAIO Trans*. 1991; 37:564–568.
39. Midla GS. Extracorporeal circulatory systems and their role in military medicine: a clinical review. *Mil Med*. 2007; 172:523–526.
40. Park PK, Cannon JW, Wen Y, et al. Incidence and mortality of ARDS in combat casualty care. Presented at the American Association for the Surgery of Trauma. Pittsburgh, PA; 2009.
41. Bridges E, Evers K. Wartime critical care air transport. *Mil Med*. 2009; 174:370–375.
42. Allan PF, Codispoti CA, Womble SG, et al. Inhaled prostacyclin in combination with high-frequency percussive ventilation. *J Burn Care Res*. 2010; 31:347–352.
43. Fang R, Pruitt VM, Dorlac GR, et al. Critical care at Landstuhl Regional Medical Center. *Crit Care Med*.

- 2008; 36:S383-387.
44. Allan PF, Osborn EC, Chung KK, Wanek SM. High-frequency percussive ventilation revisited. *J Burn Care Res.* 2010; 31:510-520.
 45. Arlt M, Regensburg University Hospital, Germany. 2010; unpublished data.
 46. Bein T, Osborn E, Hofmann HS, et al. Successful treatment of a severely injured soldier from Afghanistan with pumpless extracorporeal lung assist and neurally adjusted ventilatory support. *Int J Emerg Med.* 2010; 3:177-179.
 47. Copenhagen W. University of Michigan, personal communication, 2010.
 48. Clement KC, Fiser RT, Fiser WP, et al. Single-institution experience with inter-hospital extracorporeal membrane oxygenation transport: A descriptive study. *Pediatric Critical Care Medicine.* 2010; 11:In press.
 49. Tyree M, Wilford Hall Medical Center. 2010; unpublished data.
 50. Huang SC, Chen YS, Chi NH, et al. Out-of-center extracorporeal membrane oxygenation for adult cardiogenic shock patients. *Artif Organs.* 2006; 30:24-28.
 51. Holzgraefe B, Kalzen H, Broome M, Frenckner B, Palmer K. Inter-hospital transportation on extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). The experience of the ECMO Centre Karolinska, Sweden. Presented at the European Society for Intensive Care Medicine. Barcelona, Spain; October 2010.
 52. Rosengarten A, Elmore P, Epstein J. Long distance road transport of a patient with Wegener's Granulomatosis and respiratory failure using extracorporeal membrane oxygenation. *Emerg Med (Fremantle).* 2002; 14:181-187.
 53. Machin D, Scott R, Hurst A. Ground transportation of a pediatric patient on ECMO support. *J Extra Corpor Technol.* 2007; 39:99-102.
 54. Prodhon P, Fiser RT, Cenac S, et al. Intrahospital transport of children on extracorporeal membrane oxygenation: indications, process, interventions, and effectiveness. *Pediatr Crit Care Med.* 2010; 11:227-233.
 55. Lidegran MK, Ringertz HG, Frenckner BP, Linden VB. Chest and abdominal CT during extracorporeal membrane oxygenation: Clinical benefits in diagnosis and treatment. *Acad Radiol.* 2005; 12:276-285.

34

ECMOの運用とトレーニングにかかわる諸問題、および質の維持

Mark T. Ogino MD, John Chuo MD, Billie Lou Short MD

はじめに

ECMOの手技は、技術的に複雑で、ハイリスクであり、資源に依存しており、予測が難しい。安全に、経済的に、効果的にECMOを使用するため、独自の施設資源と効果的な戦略を用いて最善の質を維持しつつECMOケアの提供を行うべきである。

Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) は、効果的なECMOを効果的に使用するための施設要件の概要を示した“ELSO Guidelines for ECMO Centers” (ECMOセンターのためのELSOガイドライン)を作成している¹。また、“ELSO Guidelines for Training and Continuing Education of ECMO Specialists” (ECMOスペシャリストのトレーニングと継続教育のためのELSOガイドライン)は、ECLS治療においてモニタリングと管理を行う臨床医にとって必要な教育要件を示している²。ELSOは、それぞれのECMOセンターに影響を与える地域性や施設ごとの取り決めによる違いを容認し、その違いによってガイドラインから差異が生じうることを理解している。それでもなお、これらのガイドラインは、現在そして将来のECMOセンターを評価するための基準を設定している。すべてのELSOガイドラインは3年ごとに再検討、改訂が行われており、ELSOのウェブサイトで見られる(www.elseo.med.umich.edu)。ELSOは、それぞれのメンバーの施設における患者の安全と質の改善を促進することを目的として、病院の管理体制、施設や設備要件、ECMOチームの管理組織においてELSOガイドラインの推奨に見合う、あるいはそれを凌ぐECMOセンターを評価するために、“ELSO Award of Excellence”

を設立した³。プログラムの管理面に加え、その質は、質向上、臨床経過の評価と最適化、また家族の支援プログラムなどの特に臨床的に優れた点に焦点を当て、ガイドラインに見合うあるいはそれを超えるプログラムを推奨している。この章で述べられる主要な内容は、すべてのECMOセンターがこの“ELSO Center of Excellence”という称号を得られるように、努力を促すものである。

必須の病院サポートの構成要素

ECMO治療を提供する三次医療機関は、包括的ECMO治療の安全な実施に必要な環境を維持するために、施設としてのサポート体制を確立しなければならない。臨床能力を維持するために必要な実際の最低症例数を定めることは難しいが、少なくとも1施設につき年間6人のECMO症例経験が推奨基準である。ベンチマークデータを利用したプログラムの質の強化のため、ELSOレジストリーへの参加を含め、ELSOのメンバーとなり、この組織の活動に積極的に参加することが推奨される。

設備

ECMOセンターは、ECMOによる特別な治療を受けている患者をケアできるICUをもつ三次医療機関内にあることが望ましい。たとえば、成人ICU、心臓ICU、レベル3Cの新生児ICU、あるいは小児ICUなどである。ECMO治療は、中央集約型ICU、複数のICU、あるいはECMO専用ユニットで行われるだろう。ICU外であるならば、ECMO治療室のすぐ近くに集中治療医や関連職種がいる部門があり、緊急時にはすぐに追加の応援要請ができる正式な情報伝達窓口を集中治療

部門と確立しておくことが推奨されている。

機器

ECMO システムの基本的な構成は、チューブ、血液ポンプ、膜型人工肺、熱交換器、加熱器からなる。それぞれのセンターは、患者の状態やプログラムの経験レベルに応じて、回路に補助的機器を追加で組み込むだろう。ECMO 回路や利用可能な機器については、第 8 章で詳細に述べられている。ECMO システムと回路のバックアップ機器は、起こりうる緊急事態に利用できなければならない。ICU においてベッドサイドでの外科的処置をサポートするために推奨されている追加機器には、追加のライト、セット化された物品、個人防護衣、仕切りなどが含まれる。それぞれのセンターは、必要な物品供給の利用を保証するために、効率的なオーダリングシステムや在庫管理体制の確立が求められる。製造業者が提示している定期点検が行われ、ECMO 装置のメンテナンスの記録が The Joint Commission (TJC) の規定に従っているということを保証するために、機器のメンテナンスや滅菌の過程は正しい手順で行われなければならない。この過程は、それぞれのセンターで取り決めがあるだろうし、また、生物医用工学部や臨床工学部、さらには ECMO のチームメンバーがかかわる必要があるだろう。

サポート体制

病院として 24 時間 365 日、常に参加可能な支援人員には以下のスタッフが含まれる。一般外科、心臓血管外科、麻酔科、循環器科、脳神経外科、放射線科、臨床工学技士、生物医用工学士、国によっては呼吸療法士などの専門分野のスペシャリストである。また、大抵の ECMO センターは、複雑な ECMO 管理を手助けしてくれる相談窓口を提供しており、それには神経科や、腎臓内科、感染症科や遺伝学のスペシャリストが含まれる。リハビリテーションのスペシャリストには、作業療法士、理学療法士、言語聴覚士を含み、新生児や小児の患者には特別に精神発達のスペシャリストも必要とされ、ECMO 治療を受ける患者の管理には

必要性に合わせて多職種の介入が必要とされている。支援設備としては、輸血部、放射線部（頭蓋部エコーや CAT スキャンを含む）、および血液ガス・生化学・血算測定のための臨床検査部は常時利用できる必要がある。病院の敷地内に人工心肺補助装置を使用できる心臓血管外科手術室を配備し、24 時間利用可能にしておかなければならない。

方針と手順

ECMO センターは、急性の心不全あるいは呼吸不全の患者に対し、ECLS を用いるための施設ごとの選択基準を作成し、ECMO の適応と禁忌について概要を示す責任がある。ECMO 患者、回路の管理、設備機器のメンテナンス、ECMO 治療の中止や ECMO 治療を受けた患者のフォローアップについて、公式の方針と手順が必要とされる。その方針や手順はすべてのチームメンバーが簡単に利用でき、定期的に再検討、改訂されるべきであり、それは ECMO センターの施設方針によって決定される。

ECMO センター内における ECMO 患者の搬送は、通常、心臓カテーテル室、画像診断室、あるいは手術室への移動が必要な状況で行われる。それぞれのセンターは ECLS を中断することなく、安全に病院内搬送を行うための方針と手順を作成しなければならない。これには、たとえば携帯用バッテリー装置や緊急時の ECLS 用物品など、搬送に必要な資機材の一覧表が必要である。ECMO 患者の安全な搬送のためのスタッフトレーニングは、センターの教育カリキュラムにおいて考慮されなければならない主要な問題である。ECMO 患者に対する高度な内科的あるいは外科的治療が自施設内でできないのならば、他の関連 ECMO センターとの連携を確立しておく必要があるだろう。また、転院のための病院間搬送プロトコルやガイドラインを作成しておくことも推奨されている。ECMO 患者を別の ECMO センターに搬送することは、地上搬送であれ航空搬送であれ、非常に複雑であり、退出側と受け入れ側の病院、搬送チーム、搬送手段など、おのおの間でのさらなる調整を要する。第 33 章で、病院内・病院間搬送につ

いて詳細に述べている。

ECMO 治療の経過中に生じたかもしれない長期的な内科的・外科的・心理社会的問題を取り扱うために、ECMO 治療を受けたのち退院した患者のための、適切な各科スペシャリストのサポートを受けられるフォローアッププログラムが必要とされている。新生児患者に対しては、精神発達フォローアッププログラムが特に推奨されている。

ECMO チーム構成

プログラムディレクター

ECMO センターにおける ECMO プログラムの全体運用は、プログラムディレクターとして任命された 1 人の医師が責任をもつ。ECMO ケアの限られた領域の特殊な関心事や重点事項に関連した数名の副ディレクターがいるかもしれないが、主任であるプログラムディレクターは、適切なスペシャリストトレーニングやパフォーマンスを保証し、質改善のためのミーティングとプロジェクトを指揮し、ELSO への適切で適格なデータ提出を確認することに責任をもつ。プログラムディレクターはさらに、ECMO 患者のケアを行う、あるいは ECMO 回路を管理する医師の資格証明に関する責任をもつ。プログラムディレクターの資格認定には、集中治療、新生児治療、外科（小児外科、心臓血管外科、外傷外科、もしくは胸部外科）のいずれかの専門領域の学会資格を有するか、いかなる学会資格であれ、ECMO サポートの専門トレーニングと経験を有するスペシャリストである必要がある。

ECMO 担当医師

ECMO を使用している患者の管理は、ECMO のトレーニングを受けた医師により行われる。そのために、新生児治療医、小児や成人の集中治療専門医、新生児や集中治療のフェロー、もしくは少なくとも卒業 3 年以上の小児科、外科、内科トレーニングを終了し専門的 ECMO トレーニングを受けた医師が求められる。すべての ECMO トレーニングを受けた医師は、その施設の ECMO トレー

ニング要件に加えて、専門医制度（例：アメリカ外科学会やアメリカ小児科学会）によって定められたサブスペシャリティートレーニングの要件を満たしていなければならない。今のところ、ELSO には ECMO 患者に責任をもつ医師に求められる能力を定義するガイドラインがない。それぞれの施設のプログラムディレクターが ECMO 管理の権利をもつ医師の資格認定に責任をもつ。内科と外科のスタッフの経験に基づいて異なるレベルの責任を考慮する必要があるだろう。

ECMO コーディネーター/マネジャー

ECMO コーディネーターもしくはマネジャーの責務には、医師以外によるマネジメントを含む。ECMO コーディネーターは、新生児治療・小児・循環器・成人の集中治療に携わる看護師、呼吸療法士、認定体外循環技士（perfusionist）で経験ある者（少なくとも 1 年以上の ICU の経験）が理想的である。ECMO コーディネーターの責任は施設によって違いはあるが、監視、テクニカルスタッフのトレーニングや継続教育、機器管理、患者情報の収集といったことに責任をもつ。それに加えて ECMO コーディネーターはあらゆるチームメンバーにとって、臨床で頼りになる存在である。

プログラムディレクターと ECMO コーディネーターは、多職種による治療チームのすべての要素を効率的に俯瞰できるようにリーダーチームを構成する。彼らは、標準的な医師や看護師の指示セットを協力して作成し、また同様に、ECMO 管理全般に関する正式な施策や手順を作成する。

ECMO スペシャリスト

ECMO スペシャリストとは、ELSO のガイドラインにおいて「ECMO の訓練を受けた医師の監督下において、ECMO システムや ECMO 患者の臨床的ニーズを管理するために訓練されたテクニカルスペシャリスト」と定義されており、ECMO スペシャリストは ECMO 全般の経過において、1:1 もしくは 1:2 対応でケアを実施する。ECMO スペシャリストは、正看護師、呼吸療法士、認定体外循環技士、もしくは医師が携わることになるが、

V

ELSO の ロジスティクス と 合法性

表 34.1 ECMO スペシャリスト資格

Specialist	Qualifications
Nurse	<ul style="list-style-type: none"> • Completion of an approved school of nursing • Passing score on state's Board of Nursing written examination
Respiratory Therapist	<ul style="list-style-type: none"> • Completion of an accredited school of respiratory therapy • Passing score on registry examinations for advanced level practitioners • Registered Respiratory Therapist with the National Board of Respiratory Care
Perfusionist	<ul style="list-style-type: none"> • Completion of an accredited school of perfusion • Certification by the American Board of Cardiovascular Perfusion
Physician	<ul style="list-style-type: none"> • Licensed by state's Medical Board • Completion of institutional training requirements for ECMO privileges
Other Medical Personnel	<ul style="list-style-type: none"> • Refer to "ELSO Guidelines for ECMO Centers" February 2010. Organization, Section B-6.

いずれにせよしっかりとした集中治療のバックグラウンドを有し、少なくとも 1 年以上は新生児・小児・循環器・成人の集中治療室で経験を積んでいる必要がある。ECMO スペシャリストは ECMO を使用している患者のケアにおいて、以下の一次責任を負う。適切な体外循環サポートの維持、機器のトラブルシューティング、回路の確認、回路の緊急事態に対して他の助けが来るまで対処することである。ECMO スペシャリストとともに、ICU 看護師も ECMO 管理中は終始患者ケアを行う。施設によっては、ベッドサイドで患者を管理する看護師と ECMO システムを管理する臨床スタッフの双方が ECMO スペシャリストのトレーニングを受けている。これによって互いの役割を流動的にすることができ、トラブルシューティング、問題解決、緊急事態への対処、そして休暇の調整の際にすぐに対処できるようになる。

ECMO チームの強さは、基本的に ECMO スペシャリストの存在とチーム員の結束力による。ECMO スペシャリストは、トレーニング要件、継続教育、仕事のシフト、オンコール時間などを含めた、すべての予測される業務について把握していることが重要である。ほとんどの ECMO プログラムにおいて、ECMO スペシャリストは多大な

責務を負うこととなり、ストレスフルな状況での仕事を要求される。ECMO スペシャリストとして成功する共通点として、批判的に思考する能力を有し、チームとしての治療モデルをサポートし、効果的コミュニケーションスキルを示し、テクニカルスキルを上達させ、ストレスフルな状況でも働くことができ、業務スケジュールに柔軟な対応を示すなどが挙げられる。トレーニング要件に関して推奨されるものは、各スペシャリストの臨床背景により異なる。表 34.1 の推奨される資格証明を参照のこと。

ECMO 装置の進歩や回路の単純化により、“Single Care Giver” (1:1 対応の看護) のベッドサイドモデルを採用している大規模 ECMO センターもある。この環境では、1 人の ICU 看護師が患者ケアを提供し、ECLS 機器を監視することとなる。ICU 看護師は ECMO 患者と回路管理の特別な訓練を受けており、プログラムディレクターから認可を受ける必要がある。別の ECMO スペシャリストチームが機器管理や供給、回路の準備、トラブルシューティングの責任を負う。

プライミング実施担当者

多くの施設において、ECMO 回路のプライミン

グに責任のある、つまり回路の準備を行う担当者のチームを明確にしている。ECMO 回路のセットアップ担当者は、追加のトレーニングと実践とスキル評価が必要であろう。プライミングチームの構成は施設ごとによって異なる。いくつかの施設では、すべての ECMO スペシャリストがプライミング実施担当者であり、一方で他の施設では、ECMO 医師、体外循環技士、あるいは専門の小グループがプライミング手順を担う。プライミングの訓練者は、単独でプライミング操作を行う前に、正確にかつ限られた時間内で手順を示す必要がある。正確さとスピードを維持するためには、“練習”を繰り返し行うことが必要である。小規模施設では、練習もしくは実際のプライミング実施の間隔の上限を設定することで、スキルレベルの維持につなげている。プライミング実施担当者を 24 時間常駐させている施設もあれば、オンコール体制を敷いている施設もある。多くの施設では、プライミングチームのメンバーはまたトラブルシューティングや回路交換などの助力もしている。プライミングについての包括的議論は、第 8 章で述べられている。

教育のプロセス

ECMO 医師あるいは ECMO スペシャリストが ECLS ケアを施す資格があると認められるためには、複数の異なるスキル項目を達成しなければならず、その教育は非常に厳しいものとなる。多くのセンターは、トレーニングマニュアル作成や、教育コース作成に関するトレーニングプログラムを作成している。学習はインストラクターから学習者への情報伝達によって足りるものではなく、ECMO センターの大多数は、ECMO 患者のベッドサイドで必須のテクニカルスキルや行動スキル（チーム相互作用、コミュニケーション、リーダーシップスキル）を獲得するための追加の“ハンズオン”（hands on）トレーニングを行うことで、従来の教育コースが補足される。成人教育理論において、スキルの獲得と維持の最適化のためには、能動的学習環境の利用と、現実の作業環境に類似し

た教育環境の利用が推奨される⁵。新しい情報を学習者の以前の臨床経験に当てはめることによって、効果的学習がさらに強化される⁶。

臨床教育と評価のためのフレームワークは、Miller によって明晰な記述がなされた。その内容は、評価モデルとして 4 段からなる三角形を用いることで、知識獲得により次のステップに上がっていくことを比喩的に表現した。以後、学習プロセスは“Miller の三角形”として知られている⁹。三角形の土台は、知識を“知っている”（know）学習者で始まり、次に学習者が知識を適用する“方法を知っている”（know how）という 2 番目の段階に進む。3 番目の段階は、学習者が知識を利用する“方法を示す”（show how）ときであり、これは ECMO トレーニングラボのようなテスト環境でのパフォーマンスと関連しうる。第 2 段階と第 3 段階を合わせたものが、ECMO トレーニングコースにおいて獲得しうる能力の程度を示している。三角形の頂点は、学習者が“やる”（do）ときである。これは、学習者が臨床環境の中で知識を適用して臨床評価プロセスを実行する時期である。これは人工的な環境ではテストできない。なぜなら、現実の臨床環境での予期せぬ事項を再現できないためである。“やる”ということは、知識熟達の決定的テストである。各センターが、各学習者にとっての“やる”時期を成功裏に実践できるように、Miller の三角形フレームワークの最初の 3 段階を達成できるトレーニングプログラムをつくり上げることが ELSO の推奨である。

各センターの専門的なニーズのために考案されたトレーニング目標の決定は、明確に区別しつつ ECMO センターのトレーニング概要に取り入れられなければならない。こうすることで、教育コース中に必須コンセプトをうまく伝達することが可能になる。コース発展にあたり、考慮すべき成人教育の原則は、以下のものを含む¹⁰。

- 学習者をプランニングやインストラクションの評価にかかわらせる。
- 経験は、ポジティブでもネガティブでも学習活動の基盤となる。
- 学習者を彼らの仕事や個々の生活に直接的に関

連のある活動に参加させることによりモチベーションが生まれる。

- 学習者の過去の経験を理解し取り入れる。

ECMO コンピテンシーの確立

ECMO プログラムディレクターとECMO コーディネーターはECMO チームのトレーニングに責任をもつ。これには、継続的能力を保証することと、各施設の施策や手技において、確立された指針や基準が明確に決められていることを含む。TJCは、「コンピテンシー」(competency)を「個人が業務を正しく巧みに遂行するために保有する知識、スキル、能力、行動」として定義している⁷。TJCスタンダードHR01.02.01では「病院が職員の資格認定を規定する」と述べ、HR01.06.01では、病院に対して「職員が彼らの責務を遂行する能力がある」ことを保証するように要求している⁸。コンピテンシー評価におけるECMO コーディネーター/マネジャーとECMO プログラムディレクターの役割は、医師や専門スタッフの資格認定と職務責任を決定し、それぞれの職務に必要とされるコンピテンシーを決定し、職員の成長の必要性を同定し、システムとしてのコンピテンシーを検証し、決められた基準に満たない雇用者に対する個々の成長計画を作成することである。

ECMO プログラム組織には多様性があるため、各センターは、それぞれの患者集団、機器、チームメンバーに割り振られた責任に基づいた各自のトレーニングプログラムを開発することが推奨される。ECMO スペシャリストの教育背景は異なるので、各センターは職員の専門領域の必要性に基づいて、各自のトレーニングプログラムを調整する必要があるだろう。たとえば、呼吸療法士は、輸血手技、輸液ポンプ、薬物などの学習に関してより多くの時間を必要とし、一方で看護師はガスの物理や回路構成の生理学についてより多くの教育を要する。体外循環技士は、長期バイパスの効果や患者ケアの評価についてより多く知る必要がある。さらに、ベッドサイドの看護スタッフは、ECMOの基礎を理解しながらECMO患者に対するケアを実施するための追加のトレーニングが必

要だろう。ECMO チームは集学的に構成されており、ECMO患者のケアにおける複数のシステムの挑戦を達成するために、それぞれの専門分野を強化する必要がある。

ECMO プログラムに関連する他の患者ケアサービスからの代表者を含めることは、トレーニングのいくつかの場面において役に立つ。これは血液バンク(病院と地域)、放射線部、カテーテル検査室、手術室、検査医療部、生体医学工学などの代表者を含むだろう。ECMO患者を多くのスペシャリストに認知してもらうことで、病院サービス間のコミュニケーションが改善し、他のサービスがECMO患者のニーズを理解したり予測したりすることが容易になるだろう。

良好なチームのコミュニケーションは、ECMOチームが維持すべき必須のスキルであり、トレーニング過程はすべての専門分野を通じたチームビルディングを含まなければならない。ECMO患者に最適なケアをもたらすには、統合された多数の専門分野からの特別な知識が必要とされる。常に敬意ある相互のかかわりを持ち、適格なコミュニケーションを行うことによって統合されていく。今日のヘルスケアシステムにおいて、他者と協力しながら仕事をするには、熟練した臨床スキルが個々の実践者にとって重要であると同様に、ECMOケアの成功にとって重要である。TJCのデータによれば、チームコミュニケーションの崩壊は“sentinel event”〔訳注：血液型の間違いや患者取り違いなど、医療現場における治療行為自体とは無関係な予期せぬイベントのこと〕に最も関連する⁴。第36章は安全に関する章であり、このトピックスについて、より多くの情報を含んでいる。

ECMO トレーニングプログラム

ELSOは、現在および将来のECMOセンターが参照可能な「ECMO スペシャリストのトレーニングと継続教育のためのELSOガイドライン」と「ECMOセンターのためのガイドライン」を作成した。他のELSOトレーニング資料としては、「ECMO Red Book」(本書)と「ECMO スペシャリストトレーニングマニュアル」を含む。新たな

センターがトレーニングを行うのを支援するために、教育カンファレンスも ELSO によって提供される。

これらのガイドラインは、新たな ECMO プログラムは 24~36 時間の教育コースを提供し、引き続き“水訓練”(water drills)(本章後半に記載)や動物セッションを行うことを推奨している。忠実性の高いシミュレーション(high fidelity simulation)はガイドラインには記載されていないが、このようなシミュレーションは教える、維持する、そして ECMO スキルを評価するために、非常に効果的な教育手段である¹¹。ELSO ガイドラインは、動物ラボでの数時間は、“水訓練”もしくはシミュレーションラボに割り当てられるとして推奨している。“水訓練”もしくは ECMO シミュレーションラボ環境は、シミュレーション技術が非常に洗練されてきているが、いずれにおいても疑似困難な実時間での凝固管理と血液ガス管理を実施できることが動物ラボトレーニングの利点である。ECLS 機器と基本手技の復習には 4~8 時間が推奨される。緊急時の手技訓練には 4~8 時間が推奨される。ECMO ベッドサイドスキルをインストラクターとともに復習するにはさらに最低でも 12 時間必要である。ほとんどのプログラムは、トレーニング中のスペシャリストが ECLS の管理原則をしっかりと理解し、ECMO の緊急事態を管理するために十分な能力が得られるまで、インストラクターもしくはベッドサイドのプリセプターとの追加時間を必要とするだろう。

経験あるセンターの推奨は、動物ラボを必要としないことを除き、同じである。ほとんどの経験あるセンターでは、新たなスペシャリストは事前に決められた時間を経験あるスペシャリストとともにベッドサイドで仕事をする。

教育コース

教育コースには含めるべき数多くのトピックスがあり、サンプルの概要が表 34.2 に提供されている。ほとんどのセンターが、ECMO の歴史についての議論を含む「ECMO の紹介」でコースを開始する。過去の成功や失敗を理解することで、現

在実施されていることの基礎をよりよく理解することにつながるだろう。他の導入時のディスカッションには、ECMO 補助の異なる型式、ECMO の一般的適応、特殊な患者群にとってのリスクとベネフィットなどを含み、同様に ECLS 治療の現状の概要を示し臨床成果を明らかにする最新の臨床研究試験を含むだろう。

スペシャリスト教育にとって要求される他のトピックスは、疾病の病態生理、重症呼吸不全の患者に対する現在の内科治療を含む。心補助目的に ECMO を利用する施設は、先天性心疾患の解剖・循環・修復や、心筋症や心筋炎の病態生理、そして移植医療の原理に関する教育も含むであろう。

ECMO 前セッティングを振り返るトピックスも推奨される。これらは、ECMO 前指示、ECMO と輸血へのインフォームドコンセント、血液型とクロスマッチとを合わせた ECMO 前採血検査、神経-画像検査、心臓超音波を含む。部屋のセットアップ、回路プライミング、ECMO の開始、必要な記録ツールもまた振り返るべき重要なトピックスである。

それぞれの ECMO スペシャリストが、血液ガス解釈とガス交換について包括的に理解していることは必須である。これは、正常な生理学的状態と体外循環補助状態における酸素の含有・運搬・消費や、二酸化炭素の産生と除去に関連する原理の知識を含む。すべてのチームメンバーが、ガス交換における ECMO ポンプと“スイープ”(sweep)流量変更の影響についての理解を示すことが推奨される。人工呼吸器と気道の管理はこのセッションに含まれるであろう。トレーニングコースの終了時には、専門家によって ECMO 生理学と酸素物理学の知識が十分に教えられていることが強く推奨される。

それぞれのセンターは、トレーニングの大部分を施設に特徴的な ECMO 技術に当てるだろう。しかしながら、他のセンターで利用されている異なる補助方法に関するディスカッションを行うことで、病院間のコミュニケーションやアイデアの交換に役立つ。血液製剤投与、凝固管理、血液プライムや ECMO 中に一般的に使用される薬物、ECMO