

## 症例報告

# 小児心疾患患者における開胸下 ECMO の 長距離陸路搬送の経験

渋谷 将大<sup>1)</sup>, 正谷 憲宏<sup>2)</sup>, 平野 暁教<sup>3)</sup>, 梅津 昭宏<sup>1)</sup>,  
居石 崇志<sup>2)</sup>, 吉田 拓司<sup>1)</sup>, 吉村 幸浩<sup>3)</sup>, 齊藤 修<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 東京都立小児総合医療センター麻酔科臨床工学技士室

<sup>2)</sup> 東京都立小児総合医療センター救命・集中治療部 集中治療科

<sup>3)</sup> 東京都立小児総合医療センター心臓血管外科

## Mobile ECMO for Long Distance Ground Transport in a Pediatric Cardiac Patient with Central VA-ECMO in Japan

Masahiro Shibuya<sup>1)</sup>, Kazuhiro Shoya<sup>2)</sup>, Akinori Hirano<sup>3)</sup>, Akihiro Umezu<sup>1)</sup>,  
Takayuki Sueishi<sup>2)</sup>, Takuji Yoshida<sup>1)</sup>, Yukihiro Yoshimura<sup>3)</sup>, and Osamu Saito<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Clinical Engineering, Tokyo Metropolitan Children's Medical Center, Tokyo, Japan

<sup>2)</sup> Critical Care and Emergency Medicine, Tokyo Metropolitan Children's Medical Center, Tokyo, Japan

<sup>3)</sup> Cardiovascular Surgery, Tokyo Metropolitan Children's Medical Center, Tokyo, Japan

A 3-year-old, female patient required venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) for ischemic cardiomyopathy. Conversion from ECMO to a ventricular assist device was needed due to failure to wean from ECMO. The patient was therefore transported to another hospital 520 km away via ground transport. We used our own ambulance which was specially equipped for pediatric ECMO transportation. Estimation of the total electricity and oxygen consumption during transportation indicated that these were well within safety parameters. On the day prior to transport, the perfusion cannula site was moved from the ascending aorta to the right common carotid artery, and the depth of the drainage cannula was increased to minimize the risk of accidental dislodgement. The patient was secured, along with the medical equipment, onto a single backboard in the ambulance. The transport team was divided into two groups to monitor the patient in shifts. The patient was transported without any adverse events. Precautions should be taken to avoid potentially life-threatening but preventable events such as difficulties with medical equipment and accidental dislodgement of ECMO cannulas. Pediatric ECMO has a particularly high risk of accidental cannula dislodgement during transport due to vibrations and acceleration. It is important to prepare for these contingencies and to assemble a team capable of responding to them. Since there are few pediatric ECMO cases in Japan, more data is urgently needed to standardize the transport process.

**Keywords:** mobile extracorporeal membrane oxygenation, ground transport, central cannulation, veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, pediatric cardiac patient

我々は VA-ECMO から離脱困難となった虚血性心筋症の小児例に対し、開胸下で 520km, 10 時間に及ぶ長距離の陸路 ECMO 搬送を経験したので報告する。搬送車両は当院独自のドクターカーを用い、事前に搬送中の各医療機器の消費電力と酸素消費量を概算し準備を行った。また搬送中の ECMO カ

2022 年 7 月 5 日受付, 2022 年 11 月 2 日受理

著者連絡先: Kazuhiro Shoya, Department of Critical Care Medicine, The Hospital for Sick Children, 555 University Ave, Toronto, ON, M5G 1X8, Canada

doi: 10.9794/jspccs.38.254

ニューレの事故抜去を防ぐため、搬送前日に送血部位を大動脈基部より右総頸動脈に変更し、脱血カニューレは右房からより深めに留置、嚴重な固定を行った。必要な資機材がすべて1枚のバックボードに収まるように医療機器とともに患児を固定し、ドクターカー内に収容した。搬送チームは、実働時間を加味し2チーム交代制とした。重大な有害事象なく搬送を終えることができた。ECMO搬送では、医療機器のトラブルやカニューレの事故抜去は致死性である。特に小児の開胸下ECMOでは、搬送中の振動によりカニューレ事故抜去のリスクがより高まる。搬送手段や所要時間に応じ搬送中の安全を考慮した事前準備とチーム編成が肝要である。また、本邦では小児ECMO搬送は少なく、症例を集積し搬送システムの定型化が急務である。

## はじめに

本邦の心臓移植件数は近年増加傾向にあるが、諸外国に比べると未だ少なく、特に小児においては移植待機患者のほとんどが補助人工心臓 (ventricular assist device: VAD) を装着しており、その多くが年単位の待機を要している<sup>1)</sup>。長期にわたる体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation: ECMO) 下での管理は左心系の減圧や出血、多臓器合併症という点から望ましくなく<sup>2)</sup>、心臓移植適応があれば早期にVADに移行する必要があるが、小児のVAD実施施設が限られているため、時に長距離の施設間ECMO搬送が必要となる。小児のECMO搬送は成人ECMO搬送のように定型化されていないため、搬送手段やその距離と時間に応じて、更にはトラブルに対する処置を含め、さまざまな機材等の準備と人員の確保が重要である。特に小児開胸下ECMO搬送の場合には、短いカニューレ挿入長と移動の際の振動や加速度の問題から事故抜去の危険性が高まると想定される。今回、我々はECMOからの離脱が困難となった虚血性心筋症の小児例に対して、約520kmに及ぶ長距離の陸路開胸下ECMO搬送を経験したので報告する。

## 症 例

身長100cm、体重12.0kgの3歳女児。特記すべき既往歴や家族歴はなし。急性心筋炎疑いで前医を受診し、気管挿管およびカテコラミン開始後に、精査加療のため当院へ転院搬送となった。内科的治療に不応の心原性ショックのため、入院当日に右総頸動脈・内頸静脈からのVA-ECMO導入となった。心電図上は急性期の冠血管イベントとしては非典型的な所見であったが、冠動脈疾患の評価と心筋炎の鑑別のため入院6日目に冠動脈造影と心筋生検を行った。左冠動脈の起始異常と壁内走行した左冠動脈主幹部の軽度狭窄所見を認めたが、造影遅延は認めなかった。心機能は改善し入院8日目にECMOを離脱した。しかしなが

ら、左室の収縮障害・拡張障害に伴う肺うっ血の進行とそれに伴う二次性肺高血圧を来したため、入院12日目に右頸部からVA-ECMO再導入し、左心系の減圧のため経皮的に心房間交通作成とステント留置を施行した。心筋の病理組織で心筋炎は否定的であり、造影CTで左冠動脈支配領域の心内膜側の造影遅延を認めたことから、虚血性心筋障害の確定診断に至った。造影効果の残存から手術適応ありと判断し、入院15日目に壁内走行部のunroofingによる左冠動脈起始異常症手術・心房間ステント摘除術および心房間交通拡大術を施行した。術後は右房脱血、上行大動脈送血によるcentral ECMOで帰室した。術後の造影CTで左冠動脈主幹部狭窄や心筋造影効果の改善を認め、心エコー上の左室収縮も時間経過で術前に比して改善が得られた。しかし、ECMO離脱評価で左房圧は20mmHg以上と高値となるためECMO離脱は困難であった。心臓移植希望者選択基準の医学的緊急度Status1に該当し、心臓移植を見据えてVAD装着が必要と考えられたため、ご両親の意向を確認した上でその時点で唯一の国内受け入れ可能施設であった西日本の小児VAD実施施設へ入院29日目に搬送を計画した。

Table 1 ドクターカーによるECMO搬送時の必要機器の消費電力と重量 (東京都立小児総合医療センターの使用状況に準拠)

必要機器	消費電力	重量 (kg)
車載コンプレッサー	385VA	
人工呼吸器	90VA	3.8
体外循環装置用遠心ポンプ駆動装置	220VA	15.0
遠心ポンプドライブユニット		2.2
人工心肺用圧力計	15VA	3.2
超音波チューブ流量計	8VA	1.2
注射筒輸液ポンプ (シリンジポンプ)	18VA	1.7
人工心肺用温度コントロールユニット	550W*	9.0
生体情報モニタ (搬送用)	20VA	1.4
生体情報モニタ	70VA	6.0
除細動器	450VA	6.3

\* 輸入品につき、皮相電力: VA の明記がないため消費電力: W で記載

搬送手段は、電力・装備の安全性・移動手手段の乗り換えに伴うリスクなどから総合的に判断し、陸路が選択された。車両は当院独自の ECMO 搬送を想定し設計されたドクターカーを使用することとした。搬送時間は最大 10 時間と想定し、搬送に必要な機器の消費

電力と搬送中に使用する人工呼吸器および ECMO の酸素使用量の検討を行った。まず、ドクターカー内で使用する機器をリストアップし、その機器の消費電力と重量をまとめた (Table 1)。搬送中の酸素使用量は、人工呼吸器で 2L/min ( $F_{I}O_2$  0.4 想定)、ECMO

### ECMO 搬送アクションカード

1. 麻酔科当直医 (PHS5082)、主任級以上の CE に搬送要請があったことを連絡 人員決定

2. 情報収集

□ 搬送元病院 [                      ] 搬送予定時間 [                      ]

□ 年齢 [   y   m   ] 身長 [   cm   ] 体重 [   kg   ]

□ 疾患 ECMO 導入経緯 [                      ]

□ 導入搬送 or 導入済み ■ 回路交換 要 or 否

□ V-A or V-V

□ カニューレ 腔血 [                      ] [                      ]  $F_{I}O_2$  [                      ]

送血 [                      ] [                      ]  $F_r$  [                      ]

□ 器材 ポンプ [                      ]

人工肺 [                      ]

ECMO モニタリング [ 腔血圧 肺動脈圧 肺後圧  $SvO_2$  ]

□ ECMO 設定 流量 [                      LPM ] 回転数 [                      RPM ] ガス流量 [                      LPM ]

3. 物品準備

□ 搬送バッグ [ 6mm セット 10mm セット ]

□ [ 予備 RotaFlow 低温水槽 予備回路 予備人工肺 その他いろいろ BOX ]

□ バックボード [ RotaFlow 人工肺ホルダー Puppy-X モニター シリンジポンプ ]

□ 回路 [ TMCMC-S TMCMC-ML ] □ 人工肺 [ 2000 4000 6000 ]

□ カニューレ 送血 [                      ] 腔血 [                      ]

4. Dr Car に積み込んで GO!!

都立小児総合医療センター


### ECMO 搬送アクションカード

<<ECMO 搬送バッグ>>


サツと物品のサイズと不足がないか確認



□ ビカーボン  
1L 搬送バッグ  
テーブルタップ用  
ソフトキーボード  
タオル




□ 予備回路



□ 人工肺  
10mm セット  
ハンマー



□ シリンジ  
10ml × 3  
20ml × 1  
50ml × 3  
適正 5 × 5  
エア 5 × 3  
180 針 × 10



□ シリンジポンプ  
1ml, 2.5ml  
23G 針  
ACT スピッツ  
STAT  
アルコール綿  
保護帽  
搬送時常に  
装着して搬送



□ 6mm セット  
6-6  
6-10  
6-10  
高濃度ターボ × 2  
ハサミ  
マジック



□ 10mm セット  
10-10  
10-10-10  
6-10  
CDI・BioTrend  
カルディアプレス

都立小児総合医療センター


### ECMO 搬送アクションカード

<<予備 RotaFlow HICO 予備回路 予備人工肺 その他いろいろ BOX>>

病院各所から集める!! 予備の有無は搬送時間を考慮



□ 予備 RotaFlow





□ 予備回路 人工肺




□ 減圧弁 流量計  
グリーンチューブ  
レンチ 流量計ハンガー  
テーブルタップ



Hadeco カルディアプレスは各自で判断!

都立小児総合医療センター

### ECMO 搬送アクションカード

<<バックボード>>


Puppy-X モニター シリンジポンプ

RotaFlow 回路 人工肺 カニューレ

バックボードの積み込みは医師と相談しながら



□ 本番回路 人工肺



□ 本番 + 予備カニューレ



□ 本番 RotaFlow



□ (ポータブルバッテリー)

都立小児総合医療センター

Fig. 1 ECMO 搬送アクションカードと ECMO 搬送バッグ

搬送の依頼を受けた臨床工学技士は、「アクションカード」のチェックリストを用い、搬送に関する情報を収集し、必要な資機材の準備を行っている。ECMO 搬送用バッグは採血、回路交換などに使用する資機材を梱包している。準備する資機材が多いので、目的別に整理・細分化している。また、定期的に点検を行い搬送に備えている。



の酸素流量は2L/min ( $F_{I}O_2$  1.0) で管理を行っていたため、全体で4-5L/minと仮定した。携行酸素ポンベの総量は1,500L ポンベを4本(うち2本はドクターカー内既搭載)、500L ポンベを4本の計8,000Lを用意した。搬送前日に、ECMO 搬送用バッグやアクションカード (Fig. 1) を用いて、緊急事態に備えるべく ECMO の回路交換やカニューレの事故抜去までを想定した物品の準備を行った。また、搬送に関わる多職種によるブリーフィングを実施した。ブリーフィングでは、搬送当日の行程・搬送チームのリーダーの明示とそれぞれの役割を確認し、道中に給油が可能な場所や休憩場所をピックアップした。緊急時の立ち寄り場所として、搬送経路から近い、小児の3次医療施設に事前に緊急時の依頼をした。また、搬送中の事故抜去のリスクを最小限にするため、搬送前日に上行大動脈に1.5cm 程度の挿入長で留置していた送血カニューレを右総頸動脈に変更し (BioMedicus™ NextGen 12Fr), 血管内に4.5cm 挿入した。脱血カニューレは、右内頸静脈が閉塞していたため右房からの下大静脈へ向けて2.5cm だったものを5cm の挿入長で再留置し (体外循環用カニューレフレックスメイト® TWN-18), 胸骨間から体外へ導いた。それぞれのカニューレを創縁近傍の皮膚に2か所で固定し、胸骨は閉鎖せず皮膚にパッチを縫着し閉鎖した。

患児は、当院独自で ECMO 搬送用に開発作成し

たバックボードに、ECMO、シリンジポンプ、モニタを全て一体化したシステムを用いて移動を行った (Fig. 2)。搬送車両内では、速やかに人工心肺用温度コントロールユニット (以下: 冷温水槽) を接続し体温管理を行った。搬送中はドクターカーと、それに随行する車両を1台手配し、搬送チームを2チーム制とし途中で交代を行った。チームは指導医レベルの小児集中治療医1名、所定のトレーニングを終えたPICU 看護師1名と臨床工学技士1名から構成した。小児集中治療医は搬送のリーダーとして、搬送中の各職種への指示や人工呼吸器・ECMO の設定の変更、薬剤投与、採血を実施した。PICU 看護師は搬送中の経時記録や薬剤の準備、褥瘡予防などの看護ケアを行った。臨床工学技士はECMO モニタリングや回路の点検、ACT 測定を実施した。また、外科的な緊急事態に備え、バックアップとして心臓血管外科医も1名同行した。搬送中はドクターカー内で Fig. 3 の配置につき、前述のとおり小児集中治療医、PICU 看護師、臨床工学技士が2チーム交代制で車内にてそれぞれの業務を行った。ガソリンは車両と発電機で共用となっており、走行距離100km 程度を目安にドクターカーの燃料補充を行い停車した。停車中に患者・機器の詳細な確認とECMO 管理上必要である酸素フラッシュや血液ガス分析・ACT の測定を行うとともに、チーム間で情報共有をし、搬送チームを交代した。搬

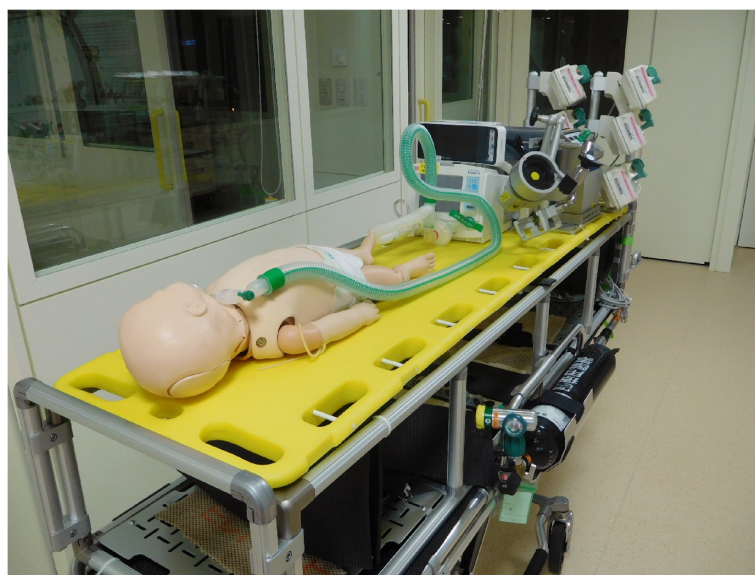


Fig. 2 ECMO バックボードシステム

バックボードシステムは移動や搬送車両への収容を簡便にするためのシステムである。患者の状態により使用する医療機器の数や種類が異なるため、固定ボールの数を調整することや、1 段式と 2 段式の 2 種があるバックボードを患者に合わせて使い分けることで対応している。また、救急車へ収容した後、医療機器の再装着が不要なため、搬送時間の短縮や医療機器によるトラブルのリスクを軽減することができる。

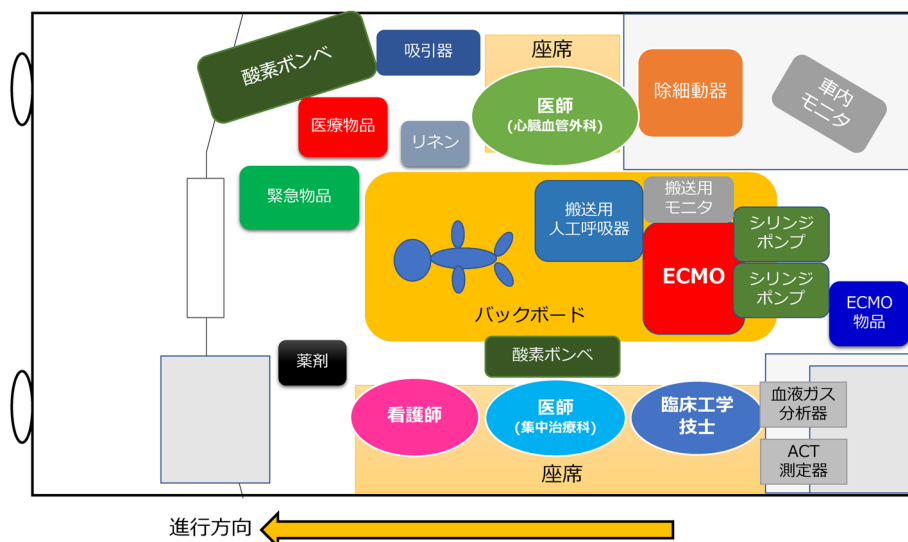


Fig. 3 ドクターカー内見取り図

ドクターカー内では、看護師は薬剤や物品にアクセスしやすい位置、臨床工学技士は ECMO 装置や医療機器の操作ができる位置、そして集中治療医は全体の状況が把握でき、各職種への指示が行える位置へと、それぞれの医療従事者の役割に応じた配置をした。

送中のバイタルサインは、体温以外は大きな変化はなく経過した。集中治療室からドクターカー車内への移動で、中枢温 35.5℃となっていたが、車内で冷温水槽を装着した後は、36.0℃を下回ることにはなかった。時に路面による振動が大きく、カニューレ挿入部付近への用手的に把持固定を追加したが、カニューレトラブルなく搬送を終了した。発進・ブレーキや振動により加速度が加わることで ECMO 流量が減少することが頻回にあったが、速やかに改善したため対応は要さなかった。路面の悪い道では減速して振動を最小限にするように努め、問題となるような左右の揺れは特になかった。出発時刻 10 時 25 分、到着時刻 19 時 45 分、走行距離 520km、搬送所要時間 9 時間 20 分（酸素実使用量は約 2,400L）の ECMO 搬送を重大な有害事象なく搬送することができた。

## 考 察

重症患者搬送とは、通常の「集中治療」を搬送中も提供しつづけることである。そのため、医療チームに対しては、搬送所要時間にあわせた人員と、医療資機材、それに見合った診療スペースを確保することは重要である。特に振動と騒音を伴う搬送中のケアには、医療チームへの最適な労働環境の確保が必須であると考え。一方搬送患者に対しては、時に致死的な有害事象を伴うことが過去にも報告されており<sup>3)</sup>、搬送中の死亡を防ぐため、搬送中のリスクを勘案した厳格な搬送適応について検討されるべきである。日本体外循

環医学会の補助循環に関するアンケート<sup>4)</sup>では、CT や血管造影室への移動中や移動先でのインシデント・アクシデントを経験したことがある施設は 10% 以上あり、院外への搬送では院内での搬送よりもトラブルが起こりやすいことが予想される。その前提で、搬送にあたり修正・改善できる点は、作業環境の悪い搬送中でなく、搬送前に全て行った上で搬送にあたるべきである。以下に述べるさまざまな工夫を施したうえで、小児の開胸下 ECMO 患者の安全な長距離・長時間搬送は可能と考える。

## 〈搬送中の問題点と本搬送における工夫〉

### 【搬送手段】

Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) の搬送ガイドラインにおける搬送手段と距離の目安は、陸路搬送は 400km までの距離、ヘリコプターによる搬送は 400～650km、固定翼機での搬送は 650km 以上とされている<sup>5)</sup>。当院が使用を想定したヘリコプターでは緊急機材の搭載や機内の作業スペースの点から本搬送での使用は困難と考えられた。また、航空自衛隊とも固定翼機による搬送について協議したが、ドクターカーと航空機間の移動に伴うリスク<sup>6)</sup>や固定翼機までの移動距離を含めた総移動距離および総移動時間・電源容量を考慮し、陸路搬送を選択した。約 520km と長距離の陸路搬送は当院において初めての経験であったが、重大事象はなく、無事に搬送を終えることができた。

## 【電力】

当院で ECMO 搬送に使用するドクターカーの自家発電装置は 5kVA で、1 コンセントに最大 15A まで使用可能である。自家発電装置はガソリンで駆動し、燃料と消費電力によって使用できる時間が決まる。コンプレッサーは車載バッテリーで 10 分程度駆動可能である。発電機の電力を 5kVA に安全係数 0.65 を含め 3,250 VA とし、車載バッテリーの電力を 1,500 VA に安全係数 0.65 を含め 975 VA とした。医療機器の力率は 1 に近く<sup>7)</sup>、それに加え、当院 PICU の電源容量のアラーム発報は最大値の 80% であり、力率を考慮した安全係数の考察に余地はあるが、一般の電気製品の中には 0.60~0.70 の機器があることを含め当院ドクターカー運用マニュアルで安全係数 0.65 と設定されていたため、今回の搬送では安全係数 0.65 を用いて搬送を問題なく終えた。無効電力が大きくなると交流電源への負担が大きくなるため、当院では有効電力(W)ではなく皮相電力(VA)で使用可能電力の検討を行っている。また、バッテリーの特性として、低温環境下では電池容量が減少する特性があり、環境温度が大きく変化する院外搬送では稼働時間が短くなる危険性があるので、注意が必要である。緊急時に備え、ハンドクランクなどの物品を常に手元に用意しておくことが大事である。

## 【医療ガス】

医療用空気はコンプレッサーを用い、医療用酸素は酸素ポンプを用いた。推定酸素使用量は、人工呼吸器と ECMO 酸素流量を合わせて 4-5 L/min と仮定した。これに予想搬送時間に相当する 10 時間を加味し、酸素は最低でも 3,000 L の準備が必要と考えた。搬送車両の発進停止や路面状況によるトラブルを防止するために法定速度よりも速度を落として走行することや、不測の事態に伴う搬送時間の延長を考慮して、2 倍の搬送時間までを想定した最大 6,000 L の使用を想定し準備することとした。酸素ポンプは 1,500 L 容量のものを 4 本、500 L のものを 4 本の計 8,000 L を用意した。これに流量計の流量精度誤差などを考慮された安全係数 0.8 を掛け合わせると 6,400 L が実際に使用可能な酸素量として準備された携行酸素量ということになる。総酸素使用量： $5\text{ LPM} \times 60\text{ min} \times 10\text{ hrs} = 3,000\text{ L}$ 、携行酸素量  $(1500\text{ L} \times 4 + 500\text{ L} \times 4) \times 0.8 = 6,400\text{ L}$  となった。

## 【機材】

今回の ECMO 搬送における機材の準備は、当院の過去 8 例の ECMO 患者の施設間搬送の経験をもとに作成した ECMO 搬送アクションカード(図 1)と搬送に必要な物品をまとめた ECMO 搬送用バッグを用

いたことで、速やかに準備を行うことができた。アクションカードは、ECMO 搬送依頼の際の連絡系統の流れや、ECMO 情報の収集事項や準備物品のチェックリストを明記しており、ECMO 搬送未経験者でも確実かつ迅速な準備を行えるものになっている。過去の報告でもフローチャート化やチェックリスト化の重要性は謳われており<sup>8,9)</sup>、当院は本症例のように準備時間のある搬送のみならず、緊急の搬送を行うこともあり、準備を確実かつ迅速に行うために搬送準備の定型化を図っている。

一方で、過剰な機材の携行は搬送中の動線や作業スペース、電力、準備時間の浪費を招き搬送が非効率になりうるため、搬送時間・行程に応じた運用が更なる課題である。当院のアクションカードでは、現状は想定される最大限の機器を用意するように記載しているが、外部流量計、脱血圧計、予備回路や人工肺、モバイルバッテリー等は、患者の状態および回路の状態や搬送時間を加味し搬送チームで判断することが望ましい。搬送後は搬送工程の振り返りをする際に、物品や機材についても言及することで、搬送時間や行程を加味した今後の使用物品の定型化につながる。また、主に消耗品が準備されている ECMO 搬送用バッグは、月に 1 度の点検を行っており、搬送依頼後に直ちに持ち出すことが可能である。このように決して頻度が多いとは言えない施設間 ECMO 搬送の安全を担保するように努めている。

## 【ECMO 回路】

ECMO を装着している患者は ECMO 装置本体だけではなく、多種多様な医療機器を用いることで管理が行えており、トラブル時に迅速に対応することができるよう臨床工学技士が同行することが望ましいと考える。また、搬送時は回路の屈曲による閉塞、回転数入力部の意図せぬ変化などといった可能性があるため、補助循環の安全管理基準<sup>10)</sup>に記載があるように、適切な流量アラームの設定が必要である。今回の搬送中にも、加速度による一時的な ECMO 流量の減少が見られ、法定速度よりも走行速度を落とす必要があった。ECMO 装置のアラーム対応をする際には、集中治療室では起こり得ない搬送車両特有の原因に対するアラーム対応も念頭におく必要がある。さらに回路内圧の測定が望ましいとの記載があり、回路内圧の変化により、人工肺の血栓状況や脱血状況を把握することができる。振動する車内および開胸下症例であったが、ドクターカー内の配置による関係から今回は回路内圧の測定を行わずに搬送を行った。今後は接液式圧力トランスデューサの使用を検討する必要がある。



### 【体温管理】

小児 ECMO では、ECMO 回路のプライミングボリュームが体内循環血液量に比して大きいため、搬送中の体温低下が問題になることが知られている<sup>11,12)</sup>。低体温症は全身にさまざまな悪影響を及ぼしうするため、搬送中に特に注意を払わなければならない有害事象の1つである。当院ではこういった背景から、搬送時に積極的に冷温水槽を装着している。施設間搬送における冷温水槽の使用は必ず行い、施設内搬送であっても長時間に及ぶ検査の際には冷温水槽を使用することとしている。本症例も冷温水槽を使用することで、ドクターカー内で体温が低下することなく搬送を完了した。

### 【搬送体制】

搬送中はドクターカーに随行する車両を準備し、開胸処置や回路交換に必要な物品は随行車両へ収納し、チームの交代を行った。ドクターカーに搭乗していないチームは、随行車内に休憩をした。これにより、患者管理に必要なスペースをドクターカー内に確保した。随行車両は5分以内にドクターカーに合流できる前提で走行した。

今回の搬送において重大な有害事象の発生は認めなかったが、搬送中は、騒音や振動などの劣悪な環境下で集中治療の継続が必要であり、医療安全において重要なノンテクニカルスキル<sup>13)</sup>の低下を招く恐れがある。搬送中は、医療資源やスペースが限られた環境の中で集中治療を継続し、ヒューマンエラーを回避するために、長距離・長時間に及ぶECMO搬送では交代制が考慮されるべきである。また、チームは医師、看護師、臨床工学技士で構成されることが望ましい<sup>6,14)</sup>。

それに加え、搬送発生時だけでなく、多職種によるシミュレーションや搬送物品の定期的な見直しのように日頃からの事前準備が肝要である<sup>9,12,15)</sup>。施設間ECMO搬送の件数は決して多くはなく、実地の臨床経験だけで安全なECMO搬送を行う準備は不十分となりうる。我々は院内を想定したECMOトラブルシューティングのシミュレーションは既に定期的に行っている。また、2018年までに57例の院内ECMO搬送を経験している。以降も各検査室への移動や、手術室・心臓カテーテル室と集中治療室間の搬送経験を積み重ね、搬送技術や安全性の向上に努めているが、施設間搬送のシミュレーションについては今後の課題と考える。

最後に、小児ECMO搬送件数が少ない本邦では、単一施設の努力だけで搬送システムを定型化させることは困難な可能性がある。このことは、各施設の取り組みや工夫だけでは解決し難い問題である。搬送経験

の少ない施設や搬送人員の限られる施設だけでは安全性を担保した搬送が困難となる場合もあり、その場合に搬送経験を多く有する施設との協力体制の下で搬送を行うことは有用である。これは安全性の担保だけでなく、搬送経験の少ない施設の診療スタッフに対する臨床現場での教育的意義も持つ。また、施設間で情報を共有し、行政や学会が主体となり国全体で搬送の定型化を確立させることが喫緊の課題である。具体的には、前述した施設の垣根を越えた搬送サポート体制の確立とシミュレーション教育や搬送経験の多い施設における実地研修体制の充実が挙げられる。

## 結 語

長距離に及ぶ陸路搬送での、小児の開胸下ECMO搬送を有害事象なく施行できた。安全な搬送のために今回の報告で示した事前準備や情報共有が重要であることは言うまでもなく、日頃からの事前準備も重要である。本邦の小児ECMO搬送は、小児VADの普及とともに今後も増加が見込まれるため、搬送システムの定型化と教育体制の充実化は喫緊の課題である。

## 謝 辞

今回のECMO症例は当院集中治療科医師、循環器科医師、心臓血管外科医師、PICU看護師、手術室スタッフ、臨床工学技士のご理解・ご尽力により、安全に管理が行えました。無事に搬送を施行できたのも、チーム医療の賜物だと考えております。ご協力いただいた方々に厚くお礼申し上げます。

また、英文校正にご協力いただいたJames Robert Valera先生に深く感謝申し上げます。

## 利益相反

本稿の全ての著者は、日本小児循環器学会の定める利益相反に関する開示事項はない。

## 著者の役割

渋谷将大は筆頭著者として論文の構想ならびに患者情報の収集を行い、論文を執筆した。正谷憲宏および齊藤修は患者情報の確認を行い、論文執筆における直接的な指導を行った。平野暁教、梅津昭宏、居石崇志、吉田拓司、吉村幸浩は論文の重要な知的内容に関わる批判的校閲に関与した。また、著者全員が出版原稿の最終承認を行った。

## 引用文献

- 1) 日本心臓移植研究会：心臓移植レジストリ報告. <http://www.jsht.jp/registry/japan/index.html> (2021 年 1 月 15 日閲覧)
- 2) Gupta P, McDonald R, Chipman CW, et al: 20-year experience of prolonged extracorporeal membrane oxygenation in critically ill children with cardiac or pulmonary failure. *Ann Thorac Surg* 2012; **93**: 1584–1590
- 3) Broman LM, Holzgraefe B, Palmér K, et al: The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care* 2015; **19**: 278
- 4) 日本体外循環技術医学会：人工心肺ならびに補助循環に関するインシデント・アクシデントおよび安全に関するアンケート 2017. *体外循環技* 2018; **45**: 429–456
- 5) Extracorporeal Life Support Organization: Guidelines for ECMO Transport. [https://www.else.org/Portals/0/Files/ELSO%20GUIDELINES%20FOR%20ECMO%20TRANSPORT\\_May2015.pdf](https://www.else.org/Portals/0/Files/ELSO%20GUIDELINES%20FOR%20ECMO%20TRANSPORT_May2015.pdf) (2021 年 1 月 10 日閲覧)
- 6) 成田 淳, 小垣滋豊, 石井 良, ほか：日本における小児重症心不全患者の病院間搬送：単施設経験の検討. *日小児循環器会誌* 2020; **36**: 57–64
- 7) 中垣内友規, 右田平八, 丹下佳洋, ほか：医療機器の電力の力率測定方法における検討. *医療機器学* 2013; **83**: 450–454
- 8) 清水敬樹, 萩原祥弘：ECMO 搬送と集約化. *人工臓器* 2017; **46**: 212–218
- 9) 萩原祥弘, 清水敬樹, 鈴木茂利雄, ほか：Mobile ECMO システム構築に向けた simulation training (Simulation training aimed at the establishment of a mobile ECMO system). *日救急医学会誌* 2017; **28**: 314–320
- 10) 日本体外循環技術医学会：補助循環の安全管理基準. <https://jasect.org/855> (2021 年 1 月 10 日閲覧)
- 11) 秋山 類, 齊藤 修, 池山貴也, ほか：小児における体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 装着患者の施設内搬送に関する検討. *日集中医誌* 2016; **23**: 549–553
- 12) Broman LM: Interhospital Transport on Extracorporeal Membrane Oxygenation of Neonates-Perspective for the Future. *Front Pediatr* 2019; **7**: 329
- 13) 小林宏之：チーム医療に求められるノンテクニカルスキル. *日職災医学会誌* 2013; **61**: 314–318
- 14) 児玉 泰, 西原裕幸, 市原利彦：重症心不全患者の手術目的での防災ヘリコプターによる搬送経験. *体外循環技* 1999; **26**: 62–65
- 15) Ng GWY, So EHK, Ho LY, et al: Simulation Training on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *IntechOpen* 2016; <https://www.intechopen.com/chapters/50706> (2021 年 1 月 15 日閲覧)