

1. 補助循環装置装着患者の消防防災ヘリコプターとドクターカーによる施設間搬送

加古川中央市民病院 臨床工学技室 岡 佳伴

【要旨】

補助循環装置を装着した患者の施設間搬送を防災ヘリとドクターカーの2例を経験し、問題点と搬送方法の比較を行った。防災ヘリ搬送については問題対策として、実機を用いた配置シミュレーションを行った。症例は心機能低下により補助人工心臓の導入目的に高次医療病院へ転院となった。施設間搬送の所要時間は、防災ヘリで39分、ドクターカーは60分であった。防災ヘリではドクターカーに比べ、移動時間の短縮が可能であるが、移動中の環境変化による機器管理に難渋し、移動中の安全面から対策が必要と考えられた。後日、防災ヘリ搬送の問題点を改善するため、実機を用いた配置シミュレーションを行った。実際に機器を用いることでより詳細な配置見当が行えた。今後、安全な搬送を行えるよう搬送時マニュアル作成などの対応が必要である。

【諸言】

循環器領域において、補助循環装置である体外式膜型人工肺 (Extracorporeal membrane oxygenation: ECMO) と大動脈内バルーンポンピング (intra-aortic balloon pumping: IABP) を装着した患者を、手術や補助人工心臓 (ventricular assist device: VAD) の導入目的で高次医療病院へ施設間搬送することがある。その搬送方法としてドクターカーや救急ヘリコプター (ドクターヘリ、消防防災ヘリコプター (以下、防災ヘリ)) が用いられているが、選択基準について明確な基準はない¹⁾。今回、当院で初めて防災ヘリによる補助循環装置装着患者の施設間搬送を経験した。その後、同様な症例でドクターカーによる施設間搬送も行った。そこで、移動中に発生した問題点と、ドクターカー搬送との比較について検討した。また、防災ヘリ搬送時の問題対策の為、神戸市消防防災航空機動隊の協力を得て、実機を用いた機器配置について配置シミュレーションを行ったので合わせて報告する。

【症例】

1. 防災ヘリ搬送症例

66歳、男性。既往歴は2013年4月に徐脈で循環器内科を受診、超音波診断装置にて、肥大型心筋症を疑わ

れ、1年毎の外来受診となっていた。内服薬、家族歴に特記事項なく、生活歴は喫煙があった (20本/日)。2017年12月に38℃の発熱があり近医を受診され内服薬を処方された。その後、症状の改善が得られず、後日再受診し血液検査で急性冠症候群を疑われ当院へ紹介となった。入院後、急激な心機能低下により循環維持が困難となり IABP と ECMO が導入された。薬剤による心不全治療するも循環管理が難しく、VAD の導入目的に防災ヘリで神戸大学附属病院へ転院となった。

2. ドクターカー搬送症例

35歳、男性。既往歴、家族歴、内服薬に特記事項はなかった。2018年12月、出勤途中で倒れたところを近所の方が発見し、救急要請にて当院へ搬送された。来院時の心電図は心室細動であり、すぐに ECMO と IABP が導入された。入院当日の夕刻にはさらに左心室壁運動の低下と、CPK の上昇を認めた。年齢も考慮され、早期の VAD、心臓移植を目的にドクターカーで神戸大学附属病院へ転院となった。

【経過】

1. 防災ヘリ搬送の経過および問題点

転院決定後にドクターヘリ要請を行い、スペースや重量から搭載が困難と判断され、防災ヘリに変更となった。ICUにて防災ヘリのストレッチャーへ患者を移し、12時18分にICUを出棟した。ヘリポートに移動し、機内へ搬入開始、12時40分に搬入完了した。12時42分に離陸し、12時57分転院先へ到着した。機内の機器配置は、尾側に補助循環装置、操縦席側にその他の機器をまとめて配置した。(図1)

搬送中の問題点について、機内の尾側に配置した IABP 装置は天井が低く監視モニタが展開しきれなかった。その他の装置も医師から手の届く位置になく、視覚的に動作状況の確認及び操作が困難な状況であった。さらに機内の騒音は大きく、搭乗者は全員ヘッドホンを装着しなければならず、聴覚的な確認もできない状況でもあった。

機器トラブルについては、IABP のヘリウムリークアラームの出現により駆動停止と、挿管チューブのカフ損傷による人工呼吸器の回路リークアラームが出現しており、移動中に直ぐ対応が出来ず、転院先の救急外

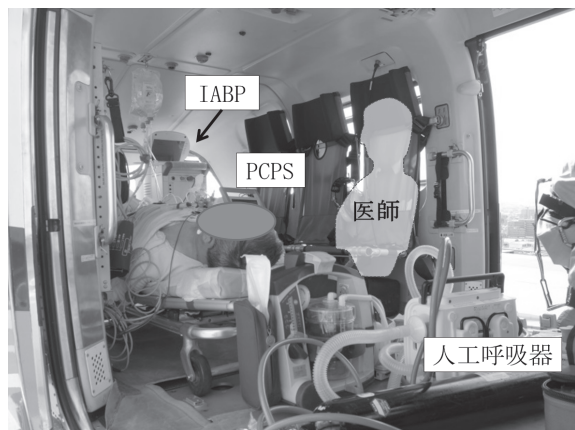


図1 防災ヘリ機内の配置による問題点

来で行った。

2. ドクターカー搬送の経過および問題点

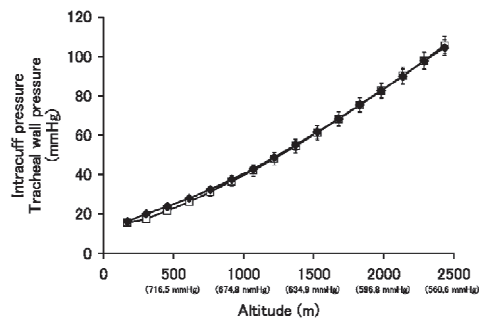
ICUにてドクターカー専用ストレッチャーへ患者を移し10時55分ICUを出棟、救急外来に移動後、患者と機器を車内へ搬入開始し、11時15分に完了した。

11時16分に病院出発して、11時55分に転院先へ到着した。車内の機器配置は、最後尾に補助循環装置を、ベンチの上にシリンジポンプ、人工呼吸器はストレッチャーの柵に引っ掛けるよう配置した。搬送中の機器トラブルは無く搬送終了となった。

【考察】

1. 搬送方法の比較

今回行った2症例について所要時間、同乗スタッフ、移動中の環境について比較を行った。それぞれの所要時間について表1に示す。ICU出棟から病院出発までに所要した時間について、防災ヘリでは搬送経験もなくドクターカーに比べ間口が狭く高いため搬入に時間がかかると考えていたが、時間差は4分の延長のみであった。施設間の移動時間について、今回の症例では防災ヘリがドクターカーに比べ25分短縮された。防災ヘリは移動距離が直線であり、進行妨害がなく平均速度140km/hrで安定した進行が可能で、到着時間の予測もしやすい。ドクターカーでは交通状況が大きく影響し、渋滞などにより移動の時間は更に延長する。医療機器の電源については予想した所要時間よりも多く見積もり、電源供給対策の準備が必要になると考えられる。ドクターカーの車内コンセントは多数の機器を接続、駆動させた場合、容量超過によって供給遮断となる可能性がある。機器によっては機器内部バッテリーの残量が減った状態でコンセントに接続すると、消費電流が増加することもあるため接続するタイミングにも注意が必要である⁽²⁾。



Changes in intracuff pressure(□)and tracheal wall pressure(◆)with altitude. Cuff was filled with air. Values are mean(SD). The pressures are shown at 500ft intervals.

図2 低圧環境と接触面圧及びカフ内圧の関係

搬送機器と同乗スタッフについては表2,3に示す。機器の配置によるスペースの占領や、最大搭載重量の都合により同乗可能人数は本来の可能搭乗数よりも少なくなる。

家族の同乗の必要性については、個別に転院先へ移動させると、到着時間に大きな差が生じ、転院先ですぐに説明と同意を得ることができないことも考えられる。防災ヘリでは患者とその家族が乗ることで、医療従事者は循環器内科医1名になってしまう。普段、機器管理やトラブル対応を行う臨床工学技士が同乗することができず、移動中の管理は医師が行うことになるために、搬送用の記録表やマニュアルなど準備が必要と考える。ドクターカーの場合、搭乗人数は同じであったが、院内運用上で必要時は救急隊2名で出動可能であり、家族を1名乗せても、医師以外にもう1名同乗可能となる。

移動中の環境について、防災ヘリは機内の狭さや騒音により、患者及び機器の管理が困難な状況となる。また離陸から移動のため高度の上昇による気圧変化がある。航空機動隊の情報では、航路上にある一番高い建物から最低300mの高さで飛行し、最大1000mまでは上昇することを確認した。そこで1000mの高度まで上昇した場合、地上に比べて、気圧は約85mmHg変化する。IABPは、駆動中に約15mmHgの気圧変化が起こること、駆動回路内圧の計測部に影響しヘリウムリークの警報が生じ停止する⁽³⁾。これについては一時的な誤警報であり、アラームを解除し再駆動で対応可能である。挿管チューブのカフでは、カフ内の空気が気圧の低下によって膨張し、高度に比例してカフ内圧が上昇する。

(図2) 高度1000mでは地上からカフ内圧が約20mmHg(27cmH2O)上昇する。それに伴う気管内壁障害や、今回起こったカフ破損などが生じる可能性がある。その為、高度が変化する際、適宜モニタリングと調整が必

表1 所要時間の比較

| 防災ヘリ | 経過項目 | ドクターカー |
|-----------|-------|---------|
| 0分 | ICU出棟 | 0分 |
| 約24分後 | 病院出発 | 約20分後 |
| 約40分後 | 転院先到着 | 約60分後 |
| 約32km | 移動距離 | 約41km |
| 約140km/hr | 平均時速 | 60km/hr |

表2 同乗スタッフの比較

| | 防災ヘリ | ドクターカー |
|----------|------------------|------------------|
| 機動隊/救急隊員 | 3名 (操縦/整備士含む) | 3名 (運転手含む) |
| 医療従事者 | 医師1名 | 医師1名 臨床工学技士1名 |
| 患者家族 | 1名 | 0名 |
| 合計 | 5名 | 5名 |
| 備考 | | 救急隊2名でも出動可 |

表3 搬送機器

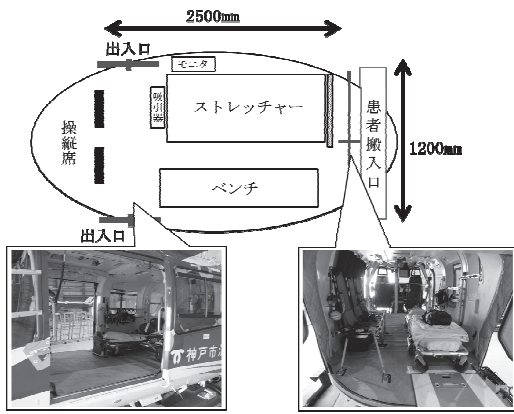
| 機器名 | 型式 | サイズ (H×W×D, mm) | 重量 (kg) | 搬送機器 | |
|---------|-----------------------|-----------------|---------|------|--------|
| | | | | 防災ヘリ | ドクターカー |
| ECMO | HCS-CFP (泉工医科工業) | 357×225×316 | 8.1 | ○ | ○ |
| IABP | CorartBP21-T (泉工医科工業) | 1100×340×610 | 45.5 | ○ | |
| | CorartBP3 (泉工医科工業) | 1117×373×271 | 28.6 | | ○ |
| 人工呼吸器 | MonnalT-60 (IMI) | 250×290×110 | 4.0 | ○ | |
| 生体モニタ | IntelVueX2 (PHILIPS) | 99×188×86 | 1.2 | ○ | |
| シリンジポンプ | TE-351Q (TERUMO) | 120×361×115 | 1.7 | 7台 | 4台 |
| 輸液ポンプ | TE-161S (TERUMO) | 218×87×118 | 2.1 | なし | 1台 |
| 酸素ボンベ | 3.4L: 14.7MPa | | 6.0 | 2本 | |
| 手回しハンドル | HAS-CM-M (泉工医科工業) | | 5.0 | ○ | |
| 総重量 | | | | 88kg | 68kg |

要となる⁽⁴⁾。それらの対応を考慮した機内の同乗スタッフや機器の配置がとても重要と考える。

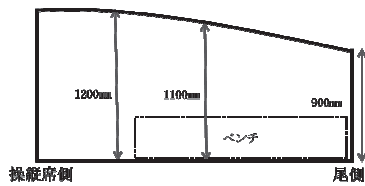
2. 防災ヘリの機器配置シミュレーション

今回、防災ヘリの搬送を経験した後、移動中に問題となった機器管理のしにくさを改善するため、機器配置の検討を行なった。内容は、神戸市消防防災航空機動隊の協力により、今回症例で使用した防災ヘリ（川崎式 BK-117 C-2）と ECMO・IABP 装置の実機を用いて行った。機内のスペースは、幅が約 1200mm、長さが約 2500mm であり、ストレッチャー、ベンチが機内尾側に配置され、操縦席側に広くスペースが空いていた。（図 3a）機内の高さは操縦側（1200mm）から尾側（900mm）にかけて低くなっていた。（図 3b）設置機器はストレッチャーの頭元に吸引器、ベンチの向かい側に生体モニタがある。移動中に電源供給が必要な場合は、出動要請時に申請すると分配容量 870VA または 1000VA の電源分配器を設置できることが分かった。配置について、まず医師の位置を患者全体が確認でき、挿管チューブに手が届くベンチの操縦席側に決めた。搬送時監視モニタの展開ができなかった IABP 装置は高さが 1100mm

以上必要であり、操縦席側のスペースに配置した。ECMO 装置と人工呼吸器は、医師が駆動状況を確認でき、座ったまま操作のできる範囲に配置した。その他の機器についても、家族、航空機動隊が位置についた状態で空きスペースのサイズを測り、配置可能か確認した。また、機内に搬入する機器は、機内の安全を確保するため、配置場所で固縛が可能か確認した。（図 4）最後に機内へ入れる順番と配置場所へ移動が可能か搬入シミュレーションを行った。搬入時の順番は、ECMO・IABP 装置を先に機内へ入れ、それに続いてストレッチャーの順番で行った。ECMO・IABP 装置の搬入、配置に問題がないことを確認し検討を終了した。今回のシミュレーションで実際に確認はできなかったが、人工呼吸器はストレッチャーの柵に引っ掛け、呼吸器回路にゆとりを持たせて柵にテープで固定する。また、ストレッチャーに固定できる点滴ポールがあればシリンジポンプを取り付けることができ、より搬送が容易になることが考えられた。防災ヘリで搬送することは稀であり今回のように、実機を用いることで、機内スペースや機器の位置について細かな情報を確認する事ができた。

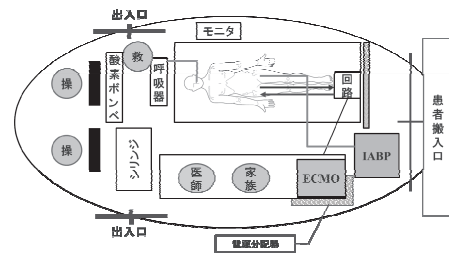


a 平面

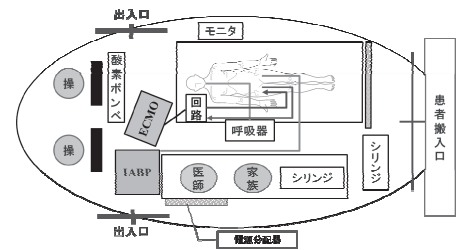


b 機内高

図3 防災ヘリ機内スペース



a 改善前



b 対策後

図4 機内の機器配置

今後も、同様の症例で防災ヘリでの施設間搬送の可能性があり、短時間で安全に搬入するためのマニュアル作成へとつなげることができた。

【結論】

今回、補助循環装置装着患者の防災ヘリとドクターカーによる施設間搬送を経験し、発生した問題点について検討することができた。防災ヘリは移動時間の短縮には効果はあるが、移動時の環境変化によるトラブルや機器管理が困難となる場合がある。今回経験した2例からは、移動距離が40km程度であれば、患者、機器対応の行いやすいドクターカーが防災ヘリに比べ、安全な搬送方法と考える。

患者の重症度、緊急度や搬送先の距離などから、どちらの搬送方法も使用する可能性は十分にある。今回行った実機を用いた配置検討以外にも、引き続き問題点の解決や施設間搬送のマニュアル作成など、より安全な搬送ができるよう進めていく必要がある。

【文献】

- 1) 兵庫県ドクターヘリ運航調整委員会:兵庫県ドクターヘリ運航要領, 第6版. 6-7, 1, 4, 2017.
- 2) 伊藤一貴, 長尾強志, 坪井宏樹, ほか:救急車による重症患者搬送時における電源容量の問題点, 心臓. Vol 41 : No10, 1094-101, 2009.
- 3) アイシンヒューマンシステムズ(株): 気圧変化がIABP駆動に及ぼす影響について, 研究報告書. 5, 2, 2002.

- 4) 蔵元浩一郎, 吉村一克: 低圧環境下における気管チューブのカフ圧の変動について, 宇宙航空環境医学. Vol 48:No3, 35-40, 2011.

【Keyword】

施設間搬送、補助循環装置、防災ヘリコプター、搬送シミュレーション