

令和7年度一般財団法人救急振興財団調査研究事業助成

救急搬送中における呼吸困難傷病者に対する 補助換気の有効性の検討

帝京大学医療技術学部スポーツ医療学科救急救命士コース

代表研究者 准教授 高梨利満

共同研究者 講師 酒本瑞姫

講師 菊川忠臣

講師 高山祐輔

研究協力機関

西宮哲之 鹿島地方事務組合消防本部 救急救助課

鶴岡 信 鹿島地方事務組合消防本部 メディカルアドバイザー

藤代貴寛 鹿島地方事務組合消防本部

谷田和弥 鹿島地方事務組合消防本部

本川博惟 東京消防庁

【研究の背景】

救急搬送中の呼吸困難傷病者に対する補助換気は、低酸素血症の進行を防ぐために重要な救命処置の一つである。我が国の救急現場において、自発呼吸を有する呼吸困難傷病者に対する補助換気は、救急隊員・救急救命士が実施する場合には原則として手動式人工呼吸器（bag-valve-mask：BVM）が用いられ、自動式人工呼吸器の使用は制度上制限されている。行政の指針^①においても、自発呼吸を有する傷病者に対してはBVMによる補助換気が推奨されている。

しかし、BVMによる補助換気は単純な基本手技ではなく、換気量、換気回数、吸気タイミング、気道内圧、マスク密着性といった複数の要素を同時に制御する高度な手技であり、施行者の技能や環境条件に大きく依存する。適切に実施されなければ十分な換気が得られないばかりか、有害事象を引き起こす可能性も指摘されている。そのため、BVM補助換気は明確な規定があるわけではないものの、臨床現場では仰臥位で実施されることを前提とした手技として認識されており、坐位での使用は日常的には想定されていない。

一方、搬送中の呼吸困難傷病者は、呼吸補助筋の使用や肺換気量の増加により呼吸が楽になることから、坐位を選択することが多い。しかし、坐位でのBVM補助換気は、マスク密着性の確保や施行者の体勢保持が困難となり、十分な換気が得られない可能性があるとの臨床的に認識されている。これらは主に経験則に基づくものであり、体位の違いが補助換気の有効性に与える影響を定量的に検証した報告は限られている。^{②③④⑤}

近年の研究では、BVM補助換気の質は一定ではなく、施行条件や環境要因によって大きく変動することが示されている。また、換気デバイスの構造や操作性、搬送環境が換気の安定性に影響を与えることも報告されている。しかし、これらの多くは仰臥位や安定した環境下での評価にとどまっており、実際の救急現場で頻繁に遭遇する坐位での搬送状況を詳細に検討した研究は極めて少ない。

さらに、日本の救急救命士教育においても、補助換気の実施に関する体位や環境条件を考慮した体系的指標は十分に整備されているとは言い難い。坐位で搬送される呼吸困難傷病者に対する補助換気の成立性や限界を定量的に示すことは、実践的判断および教育の両面から重要である。

本研究の解析で得られた結果は、呼吸困難傷病者への搬送中換気戦略の検討および救急救命士教育に資する基礎資料として位置づけた。

【目的】

本研究は、救急搬送中の呼吸困難傷病者を想定した模擬環境下において、体位（坐位・仰臥位）および補助換気方法の違いが、換気の質に与える影響を明らかにすることを目的とした。

具体的には、人工呼吸器、BVM（フィットマスクをシリコンヘッドハーネスで固定、以下ハーネス固定とする）、BVM（フィットマスクを入手で保持、以下入手固定とする）の3条件について、有効換気率および換気効率を指標として比較し、坐位傷病者に対するBVM補助換気の限界と適応条件を検討する。

【方法】

1. 研究デザイン

本研究は、シミュレーター人形を用いた模擬救急搬送環境下における観察研究である。救急隊員が日常業務で実施している補助換気手技を再現した条件下で、異なる補助換気方法および搬送体位における換気特性を比較した。

2. 研究対象

対象は、BVMおよび人工呼吸器の使用経験を有する救急救命士延べ72名分の換気データとした。実験条件ごとに研究対象者は異なり、同一参加者が複数条件を担当する場合と、条件ごとに異なる対象者が担当する場合が混在していた。研究対象者の選定および3名1組の隊構成は、協力消防機関の担当者に一任した。すべての研究対象者に対し研究内容について十分な説明を行い、文書による同意を取得した。

3. 研究環境および模擬活動

本研究は、協力消防機関の施設内に設置した模擬搬送コース（平地20m）において実施した。成人気管挿管対応の訓練用人形（コーケン社製）を用い、3名1組の隊で搬送を行った。

研究対象者は以下の3種類の呼吸器具を使用した。

- 人工呼吸器：コーケンメディカル社製 搬送用人工呼吸器アンサー
（設定；VCモード、TV；500ml、RR；12回/分、気道内圧上限；20mmHg.）
- BVM；アンブ蘇生バック マークIV
フェイスマスクをハーネスで固定
- BVM；アンブ蘇生バック マークIV
フィットマスクを入手で保持

さらに、以下の2体位を設定した。

- 座位（ターポリン担架上）
- 仰臥位（バックボード上）

各条件は同一研究対象者が複数条件を担当する場合と、条件ごとに異なる研究対象者が担当する場合が混在しており、条件単位で得られた換気データを解析対象とした。各条件の実施順は、疲労や学習効果の影響を最小限にするため、乱数表を用いて無作為に割り付けた。各条件間には十分な休憩時間を設け、疲労の影響を軽減した。

呼吸器条件を写真1～4、搬送の模式図を模式図1と2に示す。

写真1 呼吸器具条件1：BVM換気用手固定



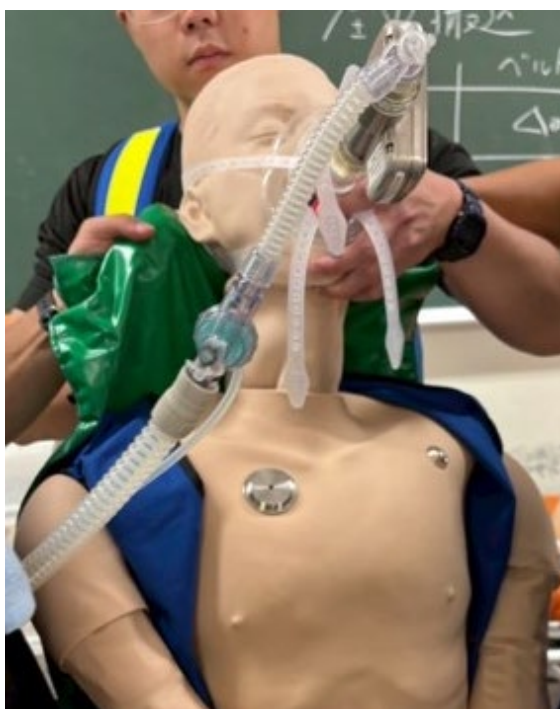
写真2 呼吸器具条件2：BVM換気ハーネス固定



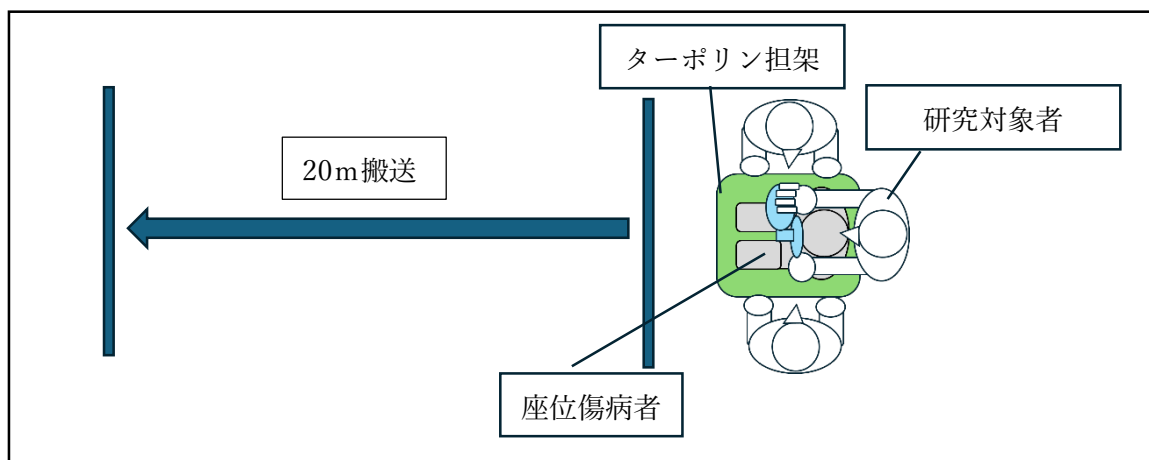
写真3 呼吸器具条件3：人工呼吸器



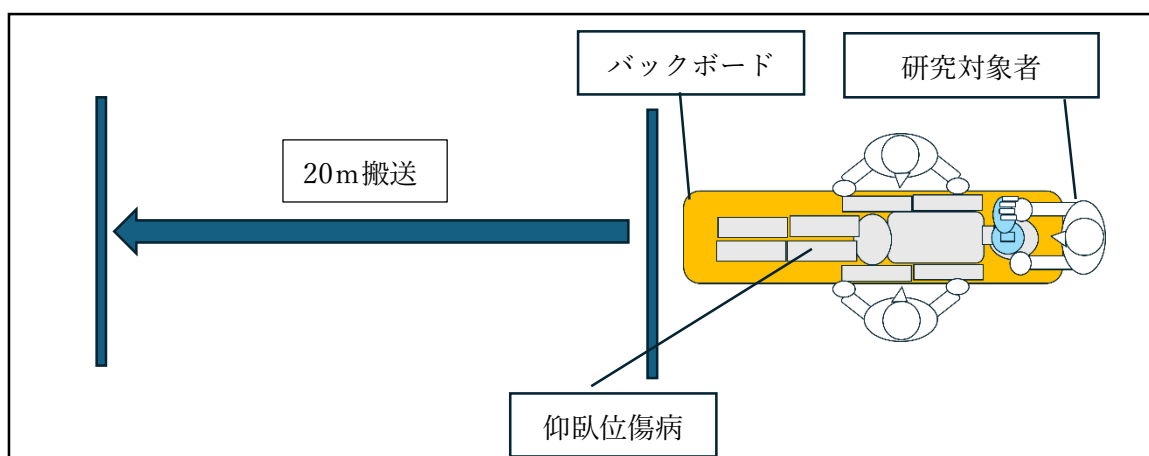
写真4 人工呼吸器装着時の様子



模式図 1：座位搬送（ターポリン担架上）



模式図 2：仰臥位搬送（バックボード上）



4. 測定項目および測定方法

各模擬活動中に以下の項目を測定した。

- 送気量
- 換気量
- 換気回数
- 気道内圧
- 搬送時間

送気量は、回路途中（フェイスマスクとバックバルブまたは人工呼吸器の間）に測定装置を挿入して測定した。換気量は、模擬傷病者として使用した高機能シミュレーターから取得したデータを用いた。気道内圧は、フェイスマスクと送気量測定装置の間に圧測定装置を接続して測定し、記録された動画を研究者が確

認して最大値を抽出した。気道内圧の読取りは、統一した基準のもと、同一研究者が実施した。各条件における送気量および換気量は、搬送中に得られた複数回の換気データから平均値を算出した。

さらに、模擬活動終了後に主観的評価アンケートを実施し、マスク密着の容易さおよび搬送中の安定性について5件法で評価し、自由記載欄も設けた。

測定要領を写真5と6に、研究時の様子を写真7～9に示す。

写真5 測定要領 (換気量)



写真6 測定要領 (送気量と気道内圧)



写真7 研究風景：座位（ターポリン）による搬送



写真8 研究風景：仰臥位（バックボード）による搬送



5. データ処理

各条件において、送気量および換気量は、搬送中に得られた複数回の換気データから個人ごとに平均値を算出した。有効換気率は、模擬傷病者として使用した高機能シミュレーター（コーケンプロ）から出力されたデータを用いた。換気効率は、平均一回換気量を目標一回換気量（500 mL）で除し、100 を乗じて算出した。

6. 統計解析

本研究では、有効換気率および換気効率を主要評価項目とした。

各変数の分布を確認したところ、正規分布を示さなかったため、平均値ではなく中央値を使用し、ノンパラメトリック検定を用いた。体位（座位・仰臥位）ごとに、呼吸器具 3 群（人工呼吸器、BVM ハーネス固定、BVM 用手固定）間の比較を Kruskal-Wallis 検定により行った。

有意差を認めた場合には、Mann-Whitney U 検定による事後比較を行い、Bonferroni 補正を用いて多重比較の調整を行った。有意水準は両側 $p < 0.05$ とし、統計解析には IBM SPSS Statistics を使用した。主観的評価は記述統計により集計し、量的結果の解釈を補足する目的で提示した。

【倫理的配慮】

本研究は、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針およびヘルシンキ宣言の精神に基づいて実施した。本研究はシミュレーターを用いた実験であり、実際の患者や個人情報を取り扱うことはないが、倫理審査委員会に承認された研究計画に基づき実施した。（帝倫 25-043 号）

【結果】

1. 対象

参加者は救急救命士 72 名（述べ人数）であり、年齢は 35.5 ± 8.1 歳（23-51 歳）、救急隊歴は 10.8 ± 6.5 年（2-25 年）であった（Table 1）。条件ごとに異なる参加者が含まれており、同一参加者が複数条件を担当する場合もあった。

Table 1 参加者の背景

項目	値
人数（延べ）	72
年齢（歳）	35.5 ± 8.1 （23-51）
性別	男性 72 女性 0
救急隊員歴	10.8 ± 6.5 （2-25）

* 年齢・救急隊員歴は平均±標準偏差（最小-最大）

2. 条件別の換気指標（記述統計）

条件別の主要指標（平均±SD）を Table 2 に示す。

Table 2 条件別換気指標（平均（SD））

体位・搬送条件	補助換気方法	n	平均一回換気量（mL）	換気回数	移動時間（秒）	有効換気率（%）
坐位 （ターポリン）	人工呼吸器	12	384.4 (7.3)	4.9(0.9)	21.0(3.0)	100.0(0.0)
	BVM ハーネス 固定	12	258.9 (63.1)	4.6(0.7)	23.3(2.8)	27.5(30.2)
	BVM 用手固定	12	203.0 (107.6)	4.9(0.9)	23.8(2.3)	20.3(31.1)
仰臥位 （バックボード）	人工呼吸器	12	266.7 (143.3)	5.0(0.9)	26.7(3.4)	58.3(51.5)
	BVM ハーネス 固定	12	308.3 (64.1)	6.0(1.5)	26.7(1.8)	42.8(40.5)
	BVM 用手固定	12	243.9 (71.1)	5.8(1.1)	25.3(1.8)	29.5(39.2)

※ 数値は平均（標準偏差）

※ 有効換気率（%）を主要評価項目とした。

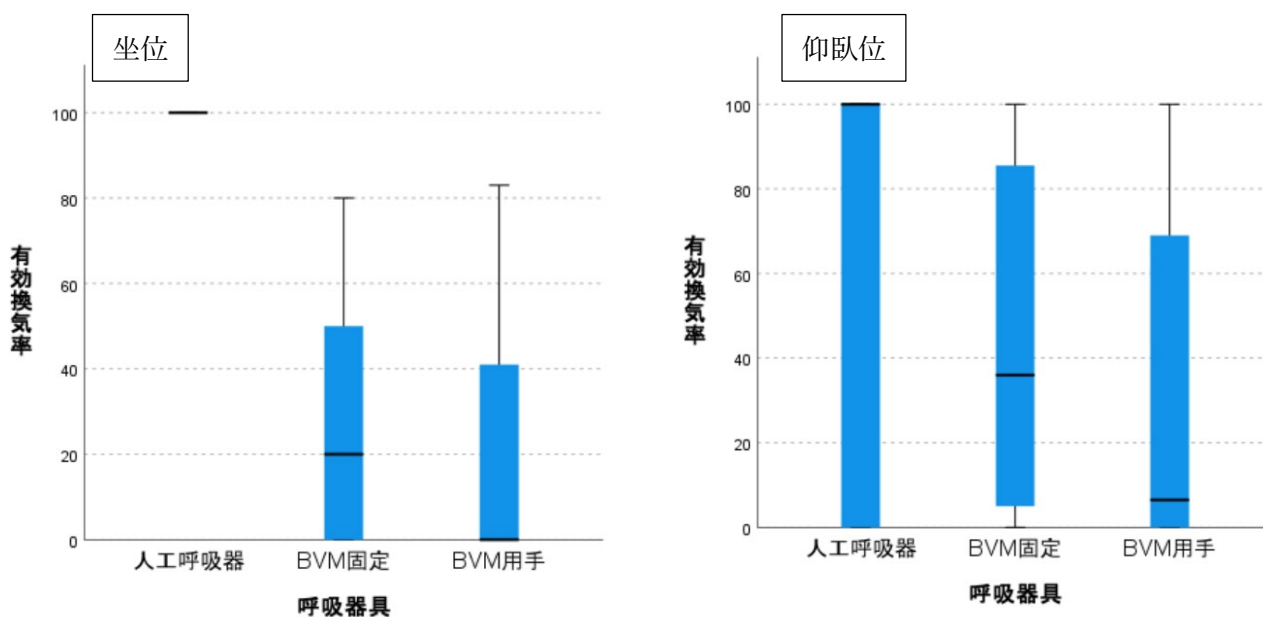
3. 有効換気率

各条件における有効換気率の記述統計を Table 3 に、分布を箱ひげ図 (Fig 1) に示す。坐位では呼吸器具間に有意差を認めた (Kruskal-Wallis 検定, $p < 0.001$)。事後比較の結果、BVM ハーネス固定および BVM 用手固定はいずれも人工呼吸器より有意に低値であった ($p < 0.001$)。一方、仰臥位では呼吸器具間に有意差を認めなかった ($p = 0.299$)。

Table 3 有効換気率の記述統計 (体位別・呼吸器具別)

体位	呼吸器具	n	有効換気率 (中央値)	IQR
坐位	人工呼吸器	12	100.0	0
	BVM ハーネス固定	12	20.0	50
	BVM 用手固定	12	0	51
仰臥位	人工呼吸器	12	100.0	100
	BVM ハーネス固定	12	36.0	84
	BVM 用手固定	12	6.5	70

Fig 1 有効換気率 (呼吸器別) 箱ひげ図



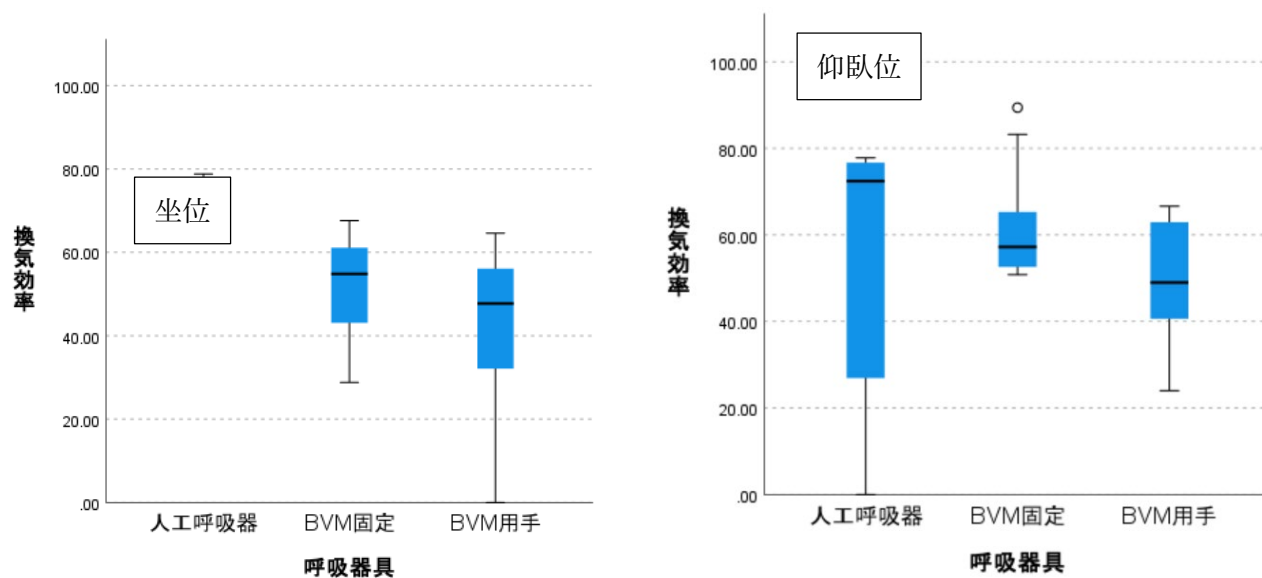
4. 換気効率

換気効率の記述統計を Table 4 に、分布を Fig 2 に示す。
 坐位では呼吸器具間に有意差を認めた ($p < 0.001$) が、仰臥位では有意差を認めなかった ($p = 0.196$)。

Table 4 換気効率の記述統計(体位別・呼吸器具別)

体位	呼吸器具	n	換気効率 (中央値)	IQR
坐位	人工呼吸器	12	76.9	2
	BVM ハーネス固定	12	54.8	21
	BVM 用手固定	12	47.7	26
仰臥位	人工呼吸器	12	72.4	51
	BVM ハーネス固定	12	57.2	16
	BVM 用手固定	12	49.0	24

Fig 2 換気効率 (呼吸器別) 箱ひげ図



5. 主観的評価（アンケート結果）

主観的評価の有効回答は51件であった。マスク密着の容易さの中央値は、人工呼吸器で5、BVM固定で4、BVM用手で2であった。搬送中の安定性の中央値は、人工呼吸器で5、BVMハーネス固定で4、BVM用手固定で3であった。いずれの項目においても、人工呼吸器が最も高く、BVM用手固定が最も低い傾向を示した（Table 5）

Table 5 主観的評価表（5件法）

項目	人工呼吸器 (n=15)	BVMハーネス固定 (n=16)	BVM用手固定 (n=20)
マスク密着の容易さ	5	4	2
搬送中の安定性	5	4	3

注) 数値は中央値を示す。スコアは1（非常に困難）～5（非常に容易／安定）

【考察】

本研究では、救急搬送中の呼吸困難傷病者を想定したシミュレーション環境において、体位、搬送資器材および補助換気方法の違いが、補助換気の換気特性および施行者の主観的評価に与える影響を検討した。その結果、坐位（ターポリン担架）条件において、BVMを用いた補助換気では有効換気率および換気効率の双方が有意に低下し、安定した換気の維持が困難となる傾向が明らかとなった。

特に坐位条件では、BVM（ハーネス固定、用手固定）のいずれにおいても、人工呼吸器と比較して有効換気率および換気効率が有意に低値を示した。一方、人工呼吸器を用いた条件では、体位にかかわらず比較的安定した換気が確保されており、施行者の技量や体位の影響を受けにくい補助換気手段である可能性が示唆された。

坐位条件においてBVM換気が不安定となった要因として、坐位によるマスクフィットの不安定性、ならびにターポリン担架搬送時の体幹支持性の低さにより、施行者が一定の姿勢を保持しながら送気を行うことが困難であった点が考えられる。これに対し、人工呼吸器では、マスクフィット、送気量および換気タイミングが機械的に制御されるため、施行者の身体的負担が軽減され、気道確保の手技に集中することができる。結果、搬送中においても安定した換気が維持されやすかった可能性がある。

また、主観的評価においても、人工呼吸器使用時には「マスク密着の容易さ」「搬送中の安定性」が最も高く評価され、BVM用手固定が最も低値を示した。こ

これらの結果は、定量的指標である有効換気率および換気効率の結果と一致しており、坐位における BVM 補助換気の困難さを、量的・質的の両面から支持する所見と考えられる。

一方、仰臥位条件では、有効換気率および換気効率のいずれにおいても呼吸器具間に有意差は認められなかった。これは、仰臥位ではマスクフィットおよび施行者の姿勢が安定しやすく、BVM 換気が比較的成立しやすい環境であることを示唆している。したがって、BVM 換気の成否は手技そのものだけでなく、実施される体位や搬送環境に強く依存すると考えられる。

我が国では、消防庁通知等により、自発呼吸を有する呼吸困難傷病者に対しては原則として BVM による補助換気が推奨され、自動式人工呼吸器の使用は制限されている。しかし、本研究の結果は、坐位という臨床現場で頻繁に選択される体位において、BVM 換気が十分に成立しない可能性があることを示しており、現行運用の再検討を促す基礎資料となり得る。

本研究はシミュレーターを用いた実験であり、実際の患者における生理学的反応を直接反映するものではない。また、施行者や搬送条件が限定されている点から、結果の一般化には慎重な解釈が必要である。しかし、条件を統制した環境下で補助換気の特性を定量的に評価した本研究は、実臨床では可視化しにくい「補助換気の成立しにくさ」を明確に示した点に意義がある。

今後は、施行者の経験差や異なる搬送環境条件を含めた検討を行い、体位や環境に応じた補助換気手技の選択指標を構築していくことが期待される。

【結論】

本研究により、救急搬送中の補助換気の有効性は、使用する呼吸器具だけでなく、体位および搬送環境に大きく影響されることが明らかとなった。特に、坐位（ターポリン担架）条件では、BVM を用いた補助換気は有効換気率および換気効率の双方が著しく低下し、安定した換気の維持が困難である可能性が示された。一方、人工呼吸器は体位にかかわらず比較的安定した換気を維持できることが示唆された。仰臥位では補助換気方法間に有意差を認めなかったことから、BVM 換気の成立には体位が重要な要因であると考えられる。

本研究の結果は、坐位呼吸困難傷病者に対する補助換気方法の再検討の必要性を示すものであり、今後の救急現場における補助換気手技の選択および教育指針の構築に資する基礎資料となる。

終わりに

救急搬送は、限られた時間と空間の中で継続的な傷病者管理を求められる特殊な医療環境である。救急救命士の業務は、救急現場から救急車内に至るまで、傷病者の呼吸・循環を安定させながら搬送を完遂することに重点が置かれており、搬送中の補助換気の質はその成否を左右する重要な要素である。

本調査により、坐位搬送という現場で頻繁に選択される状況下では、BVM 補助換気の有効性が低下する可能性が示され、体位や搬送環境が換気の成立に大きく影響することが明らかとなった。これは、経験的に語られてきた困難さを定量的に示した点に意義がある。

今後は、実臨床条件を踏まえたさらなる検証を通じて、体位や環境に応じた補助換気戦略の選択指標を構築していく必要がある。本成果が、救急現場における傷病者管理の質向上と、救急救命士教育の深化につながることを期待する。

謝辞

本研究の実施にあたり、貴重な機会を賜りました一般財団法人救急振興財団に深く感謝申し上げます。

また、本研究に多大なるご協力をいただきました鹿島地方事務組合消防本部救急救助課の皆様、西宮様、メディカルアドバイザーの鶴岡先生、鹿島地方事務組合消防本部の藤代様、谷田様をはじめ救急隊の皆様にご心より御礼申し上げます。

さらに、研究に主体的に参加し協力してくれた帝京大学医療技術学部スポーツ医療学科救急救命士コース4年生の研究協力学生に深く感謝いたします。

この研究は一般財団法人救急振興財団の「救急に関する調査研究事業助成」を受けて行ったものである。

参考文献

- ① 令和4年度 救急業務のあり方検討会 報告書
- ② Richmond NJ. BVM Revisited: In the bag or out of control. *Journal of Emergency Medical Services (JEMS)*, 2018
- ③ Lasik D, et al. Quality of bag-valve-mask ventilation in adults. *Disaster and Emergency Medicine Journal*, 2025
- ④ McCrory M, et al. Crossover Assessment of Intraoral and Cuffed Ventilation by Emergency Responders, 2019
- ⑤ Lucy MJ, Gamble JJ, Peeling A, Lam JTH, Balbuena L. Artificial ventilation during transport: A randomized crossover study of manual resuscitators with comparison to mechanical ventilators in a simulation model. *Paediatr Anaesth.* 2018;28(9):788-794. doi:10.1111/pan.13389.