

研究テーマ

自発呼吸のある小児外傷患者に対する補助呼吸精度評価システムの開発

研究代表者

施設名： 日立総合病院 救急集中治療科

氏 名： 小山 泰明

研究テーマ：自発呼吸のある小児外傷患者に対する補助呼吸精度評価システムの開発

所属先：日立総合病院 救急集中治療科

氏名：小山 泰明

① 目的と方法

(背景と目的)

小児外傷患者では頭部外傷が多く、二次的脳損傷を防ぐためにも、適切な気道確保・呼吸管理・循環管理が必須である¹⁾。特に酸素投与で改善しない低酸素を伴う頻呼吸の段階で、的確な補助呼吸をしなければ二次的脳損傷は避けられない。そして外傷によるものも含め、小児心停止の最多原因は呼吸不全である。小児は、呼吸不全として頻呼吸から徐呼吸となり心停止に至る頻度が多いため、心停止に至らないように呼吸不全の段階で適切な対応が求められる²⁾。

酸素投与にも関わらず低酸素を呈する呼吸不全の小児患者には、バックバルブマスク (Bag-valve-mask ; BVM) 換気による補助呼吸が必要となる。しかし自発呼吸がある場合、呼吸に合わせて的確な補助呼吸を行わないと有効な換気とならず、場合によっては肺に圧外傷 (Barotrauma) を引き起こす^{3,4)}。

ガイドラインでは自発呼吸のある小児に対する補助呼吸の目標は20-30回と示されているが²⁾、これは1-7歳の正常呼吸数であり、生後1か月未満は40-60回/分、1歳未満が30-40回/分が正常呼吸数で、これ以上の呼吸数が頻呼吸である。そして、今まで自発呼吸のない人形に対する補助呼吸の評価は可能であったが、自発呼吸があり特に頻呼吸に対しての補助呼吸の精度を評価する方法はなくトレーニングも行われていない。

本研究では、当院医師、看護師、近隣消防の救急救命士を対象に、小児の呼吸評価に対するアンケート調査および小児頻呼吸患者に対する補助呼吸の精度を評価するシステム開発と有用性の検証を行う。的確な補助呼吸のトレーニング方法を確立し、患者予後改善に寄与することを目的とする。

(方法)

当院単施設による、前向き介入研究である。

1) 同意を得ることができた医師、看護師、救急救命士、救急隊員に、小児の補助呼吸経験や対応のアンケート調査を行う。

内容：年齢、性別、職種、年数、各種講習会受講歴、小児の補助呼吸経験数、小児マネキンに対する補助呼吸経験数、呼吸数測定方法、補助呼吸方法、苦手意識等

2) 自発呼吸を出現させることができるレサシジュニアQCPR (Laerdal Medical, Stavanger, Norway) に、睡眠ポリグラフィ装置 PSG-1100 (日本光電, 東京, 日本) の睡眠解析用センサ 胸郭呼吸センサキット (小児用) (以下、胸郭センサ) を胸郭に装着、睡眠解析用センサ エアフローセンサ (小児用) (以下、フローセンサ) をBVMの換気口に装着する。胸郭運動およびフローセンサは波形としてノートパソコンにリアルタイムに表示され、Excelデータとして保存する。またノートパソコン画面、胸郭挙上、BVMによる補助呼吸を、被検者が同定できないように動画撮影を行う。

補助呼吸の順番で差が出ないように、被検者を2グループに分け、以下の補助呼吸を行う。

グループ1：

まずトレーニング前として、自発呼吸30回/分の設定に合わせて1分間補助呼吸、自発呼吸60回/分の設定に合わせて1分間補助呼吸をしてもらう。次にタイミングをトレーニングしながら、自発呼吸設定30回/分に1分間補助呼吸、自発呼吸設定60回/分に1分間補助呼吸を行う。最後にトレーニング後として、自発呼吸設定30回/分に合わせて1分間補助呼吸、自発呼吸設定60回/分に1分間補助呼吸をしてもらう。

グループ2：

まずトレーニング前として、自発呼吸設定60回/分に合わせて1分間補助呼吸、自発呼吸設定30回/分に1分間補助呼吸をしてもらう。次にタイミングをトレーニングしながら、自発呼吸設定60回/分に1分間補助呼吸、自発呼吸設定30回/分に1分間補助呼吸を行う。最後にトレーニング後として、自発呼吸設定60回/分に合わせて1分間補助呼吸、自発呼吸設定30回/分に1分間補助呼吸をしてもらう。

BVM換気による胸郭センサおよびフローセンサの波形各々の立ち上がりとPeakのタイミング、自発呼吸の立ち上がりとPeakのタイミングを計測する。胸郭挙上開始から終了の間にBVMによるフローが開始終了した場合を成功とする。トレーニング前の自発呼吸設定30回/分の成功率(Pre30)・60回/分の成功率(Pre60)、トレーニング後の自発呼吸設定30回/分の成功率(Post30)・60回/分の成功率(Post60)を求めた。また90%以上の成功率でない被検者ではズレた理由も調査した。

② 結果

1) アンケート結果

医師18名、看護師71名、救急救命士96名、救急隊員31名、計216名が参加し、回収率100%であった。医師の半数がPALS、看護師の半数・救急救命士の8割がPEARSを受講していた。小児患者にBVM換気をしたことがあるのは、医師61%、救急救命士42%、看護師27%であった。

小児呼吸管理全般、呼吸数計測・頻呼吸徐呼吸の判断・呼吸様式の判断・呼吸窮迫不全の判断全て5段階評価の内、中央値2だった。また、呼吸数計測頻徐呼吸判断と呼吸窮迫不全判断では救急救命士より看護師のほうが自信なく、呼吸様式判断は救急隊員より医師のほうが自信度高い結果となった。

また自発呼吸のない小児への補助呼吸も、自発呼吸のある小児への補助呼吸も自信度は中央値2であり、自発呼吸があってもなくても看護師は救急救命士より自信がない結果であった。また、救急隊員を除いた他職種は、自発呼吸のある小児への補助呼吸は自発呼吸がない場合よりも自信がない結果となった。

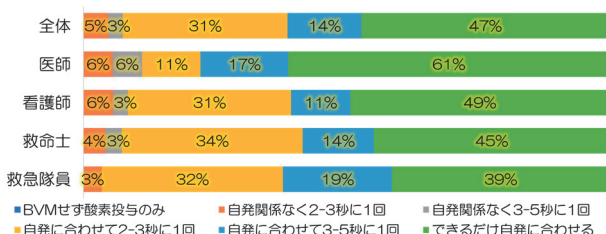
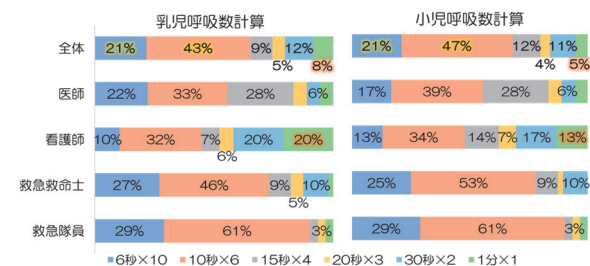
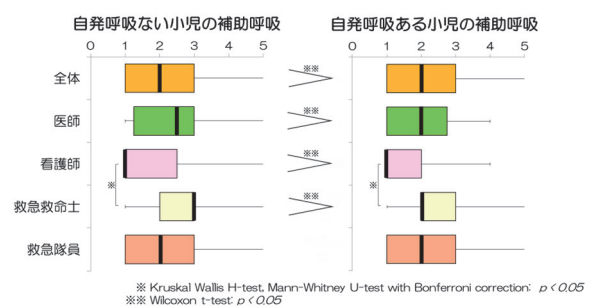
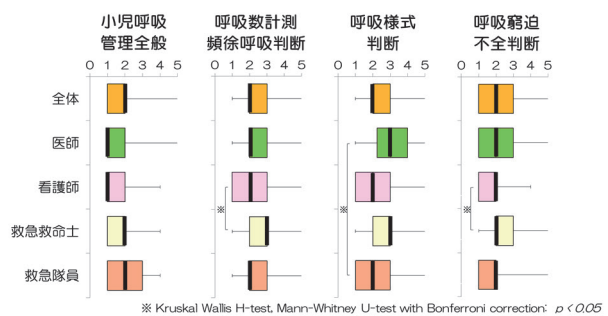
小児および乳児の呼吸数は、10秒測定し6倍している被検者が各職種一番多く、1分間測定は小児8%、乳児5%にとどまった。また、1分測定は乳児も小児も看護師が一番多い結果となった。

1歳発熱患者で酸素15Lreserver投与しても呼吸数50回/分、SpO₂ 70%と頻呼吸に対する介入は、できるだけ全ての自発呼吸に合わせる人が47%、自発呼吸に合わせて2-3秒に1回で行う人が31%であった。また自発呼吸に関係なく補助呼吸する人も10%弱認めた。

中央値（四分位範囲）

	年齢(歳)	男性	講習会受講歴				小児患者BVM		講習会 BVM経験数
			BLS	PEARS	PALS	NCPR	経験者	経験数	
全体	36 [28-44]	72%	81%	53%	7%	11%	33%	0 [0-1]	1 [0-5]
医師 (18名)	29 [26-36]	89%	67%	6%	50%	17%	61%	3 [0-10]	3 [0-9]
看護師 (71名)	36 [27-41]	23%	77%	49%	10%	7%	27%	0 [0-1]	1 [0-5]
救急救命士 (96名)	38 [32-45]	97%	88%	80%	0%	15%	42%	0 [0-2]	2 [0-5]
救急隊員 (31名)	31 [26-41]	97%	74%	3%	0%	6%	6%	0 [0-0]	0 [0-1]

※ Kruskal Wallis H-test, Mann-Whitney U-test with Bonferroni correction: $p < 0.05$



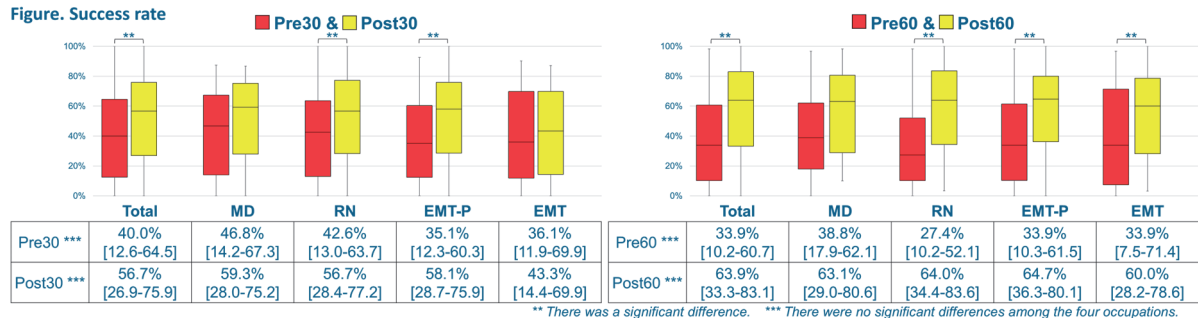
2) 補助呼吸の精度を評価するシステム開発と有用性の検証

Table. Background

	Total	MD	RN	EMT-P	EMT
Analyzed Participants *	214	18	70	96	30
Ages (Median [IQR])	36.0 [28.3-44.0]	29.0 [26.3-38.0]	36.0 [27.0-41.8]	39.0 [32.0-46.3]	33.5 [26.8-45.3]
Female	60 (28.0)	2 (11.1)	54 (77.1)	3 (3.1)	1 (3.3)
Experience with BVM-ventilation on pediatric patients	72 (33.6)	11 (61.1)	19 (27.1)	40 (41.7)	2 (6.7)
Experience in pediatric training courses	129 (60.3)	13 (72.2)	46 (65.7)	58 (60.4)	12 (40.0)

216名中2名がデータ不十分で対象外となり、214名で解析することができた。小児患者でのBVM経験者は72名(33.6%)であり、小児トレーニングコースでのBVM経験者は129名(60.3%)であった。

Figure. Success rate



Pre30は全体40.0% (医師46.8%、看護師42.6%、救急救命士35.1%、救急隊員36.1%)、Post30は全体56.7% (医師59.3%、看護師56.7%、救急救命士58.1%、救急隊員43.3%)であった。職種毎で有意差はなく、トレーニング前後で、全体、看護師、救急救命士は有意に成功率が上昇した。

Pre60は全体33.9% (医師38.8%、看護師27.4%、救急救命士33.9%、救急隊員33.9%)、Post60は全体63.9% (医師63.1%、看護師64.0%、救急救命士64.7%、救急隊員60.0%)であった。職種毎で有意差はなく、トレーニング前後で、全体、看護師、救急救命士、救急隊員は有意に成功率が上昇した。

Pre30よりPre60のほうが低下する傾向を認めた (看護師は有意差あり)。Post30よりPost60のほうが増加する傾向を認めた (全体、看護師、救急救命士は有意差あり)

小児患者へのBVM経験有無や小児トレーニングコースの受講有無でPre30およびPre60は有意差がでなかった。

90%以上の成功率は全体でPre30 3.7%, Pre60 7.0%, Post 30 7.9%, Post 60 14.9%で、トレーニング前後で有意に上昇していた。ズレた原因として多かったのは、タイミングが早い (Pre30 43.4%, Pre60 32.2%, Post 30 60.3%, Post 60 52.3%)、タイミングが遅い (Pre30 31.8%, Pre60 28.5%, Post 30 25.2%, Post 60 25.7%) が上位を占めた。またトレーニング前では、完全に真逆、2回/3回に1回合わせる、合わせずに行う、関係なくずれている

Table. ズレた理由

	Pre30	Pre60	Post30	Post60
90%以上の成功率	8(3.7)	15(7.0)	17(7.9)	32(14.9)
タイミングが早い	93(43.4)	69(32.2)	129(60.3)	112(52.3)
タイミングが遅い	68(31.8)	61(28.5)	54(25.2)	55(25.7)
完全に真逆	18(8.4)	12(5.6)	7(3.3)	1(0.5)
2回に1回合わせる	3(1.4)	16(7.5)	0(0)	1(0.5)
3回に1回合わせる	2(0.9)	13(6.1)	0(0)	0(0)
合わせず2-3秒に1回	1(0.5)	3(1.4)	0(0)	0(0)
合わせず3-5秒に1回	4(1.9)	7(3.3)	0(0)	0(0)
合わせず5-6秒に1回	1(0.5)	0(0)	0(0)	0(0)
関係なくずれている	16(7.5)	18(8.4)	7(3.3)	13(6.1)

くずれる被検者が数%存在したが、トレーニング後は改善した。

③ 考察

本研究は、小児の呼吸評価に対するアンケート調査および小児頻呼吸患者に対する補助呼吸の精度を評価するシステム開発と有用性の検証を行った単施設前向き介入研究である。

小児患者へのBVM換気の経験は少なく、頻呼吸の評価や判断への自信度は低かった。また自発呼吸ない小児より、自発呼吸ある小児のBVM換気の自信度のほうが有意に低かった。呼吸数の測定は、10秒測定し6倍している被検者が多く、1分間測定は10%以下であった。小児頻呼吸患者の呼吸不全へのBVM換気は、できるだけすべての自発呼吸に合わせる人が47%、2-3秒に1回しか合わせないのが31%であった。

小児頻呼吸マネキンに対して補助呼吸の精度を評価するシステムを開発し、頻呼吸30回/分に合わせられたのが40.0%、60回/分に合わせられたのが33.9%であった。数分間頻呼吸に合わせるトレーニングを行った後では、それぞれ56.7%、63.9%と有意に改善した。

日本における小児の搬送件数は全搬送件数の6%であり、小児重症救急搬送件数は成人重症救急搬送件数の2%と極めて少なく⁵⁾、かつ呼吸不全を発症する頻度は低いため、BVM換気をリアルタイムで行う機会は限られている^{6,7)}。また、小児診療に自信のない救急医も多く、苦手意識を持っている⁸⁾。またPEARSやPALSなどの小児救急の講習会であっても、心停止や徐呼吸に対するBVM換気の練習は行われているが、頻呼吸に対するBVM換気練習の機会はない。本研究でも、小児に対するBVM換気経験者も講習会でのBVM経験数も少なく、頻呼吸の評価や判断・補助呼吸の自信度は中央値が2と低かった。また自発呼吸のない小児よりも自発呼吸がある小児へのBVM換気の自信度が低かった。BVM換気が必要な小児呼吸不全は稀なため、小児における呼吸の評価判断のみならず、自発呼吸ある小児のBVM換気に苦手意識があった。

乳児小児の呼吸数は、体動や啼泣で不規則な呼吸や呼吸数が変化するため、1分間の評価が最適とされている⁹⁾。しかし、早産時に対するBVM換気ではBarotrauma予防に過度な陽圧を避け、自発呼吸に合わせないと過度な陽圧になり得る¹⁰⁾。ガイドラインでは自発呼吸ある小児のBVM換気は20-30回/分とされているが²⁾、1歳未満の正常呼吸数は30-40回/分であり、BVM換気は30回以上の自発呼吸に合わせる必要がある。本研究では、1分間測定は10%以下であり、小児頻呼吸の呼吸不全に2-3秒に1回しか合わせない被験者が31%いた。小児呼吸に対する適切な評価方法および自発呼吸に合わせるBVM換気トレーニングが必要である。

実際に小児頻呼吸マネキンに対するBVM換気の成功率は、30回/分に合わせられたのが40.0%、60回/分に合わせられたのが33.9%であり、1分間のうち1/3しか合わせられていなかった。また多くはタイミングが前後にズレていた。これからも現場では、小児患者が呼気中にBVM換気を行っている時間帯があり、患者の呼吸困難感の増悪、

Barotraumaのリスクが上昇し、患者予後に影響を及ぼすと考えられる。また数分間タイミングをトレーニングすることで、30回/分に合わせられたのが56.7%、60回/分に合わせられたのが63.9%と有意に成功率が上昇した。職種間では成功率の有意差は認めなかった。これは職種関係なく小児BVM換気経験者・講習会でのBVM経験数が少ないために有意差が出なかったと考えられた。これからも小児頻呼吸患者に対する補助呼吸の精度を評価するシステムを開発しトレーニングすることが、小児頻呼吸患者の経験が限定される全医療従事者に有用と考えられる。

タイミングが早い被検者が遅い被検者よりも多く、トレーニング後でもタイミングが早い被検者が半数を超えていた。これは数分間トレーニングでタイミングを覚えた中で予測してBVM換気を行っており、合わせようとする焦りから早いタイミングでBVM換気が開始されていると考えられた。より適切なタイミングのBVM換気を指導する必要がある。

本研究ではいくつかのlimitationがある。まず、小児頻呼吸患者に対する補助呼吸の精度を評価するシステムを開発したが、小児呼吸マネキンに睡眠ポリグラフィ装置を装着した簡易的なシステムであり、マネキン内部に埋め込まれた精巧なシステムではない。今後開発を続け、精度を多角的に評価し、多くの医療従事者がトレーニングできるシステムを開発する必要がある。また、単施設の小児を専門としていない医療従事者のデータであり、小児専門病院や他地域での多施設でのシステム評価・研究が必要である。

④ 結論

小児の呼吸評価に対するアンケート調査および小児頻呼吸患者に対する補助呼吸の精度を評価するシステム開発と有用性の検証を行った。

小児呼吸不全は稀であるため、小児の頻呼吸の評価や判断・自発呼吸ある小児のBVM換気の自信度は低かった。また、小児頻呼吸に対するBVM換気の成功率は30-40%と低く、トレーニングにより改善した。小児頻呼吸患者に対するBVM換気の経験が乏しい医療従事者には、日常から定期的に適切な頻呼吸の評価方法および頻呼吸に合わせる補助呼吸トレーニングが有用と考えられた。

参考文献

- 1) Zhe Wang, et al. Pediatric traumatic brain injury prehospital guidelines: a systematic review and appraisal. Childs Nerv Syst. 2022;38:51-62.
- 2) Alexis A Topjian, et al. Part 4: Pediatric Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation. 2020;142:S469-S523.
- 3) Arnaud W Thille, et al. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. Intensive Care Med. 2006;32:1515-1522.

- 4) Marjolein de Wit, et al. Ineffective triggering predicts increased duration of mechanical ventilation. Crit Care Med. 2009;37:2740-2745.
- 5) 総務省消防庁. 令和元年版 救急救助の現況.
https://www.fdma.go.jp/publication/rescue/items/kkkg_r02_01_kyukyu.pdf (最終アクセス:2023.8.31).
- 6) Chen EH, et al. Resident exposure to critical patients in a pediatric emergency department. Pediatr Emerg Care. 2007;23:774-778.
- 7) Green SM, Ruben J. Emergency department children are not as sick as adults: implications for critical care skills retention in an exclusively pediatric emergency medicine practice. J EmergMed. 2009;37:359-368.
- 8) 岩田 充永, 他. 日本救急医学会救急科専門医による小児救急診療への取り組みアンケート調査より. 日本救急医学会雑誌. 2012;23:319-328.
- 9) Margolis P, Gadomski A. The rational clinical examination. Does this infant have pneumonia? JAMA. 1998;279:308-313.
- 10) Georg MS, et al. Reducing lung injury during neonatal resuscitation of preterm infants. J Pediatr. 2008;153:741-745.