

パイロットバルーンの観察による気管チューブのカフ圧の調節能力は訓練で向上する
- ブタ気管を使った実験的検討 -

瀧野昌也^a 宮尾政成^a 小林拓幹^a 金井 健^a

^a 長野救命医療専門学校 救急救命士学科

Training improves the ability of adjustment of tracheal tube cuff pressure by non-instrumental
observation of the pilot balloon
- A bench test using a pig trachea-

Masaya Takino^a Masanari Miyao^a Takumi Kobayashi^a Takeru Kanai^a

^a Department of Emergency Medical Technician, Nagano Paramedical College

要 旨

背景:パイロットバルーンの触診による気管チューブのカフ圧の調節は不正確とされるが、訓練により改善するとの報告もある。**目的:**パイロットバルーンの観察によるカフ圧の調節能力に訓練が及ぼす効果について実験的に検討する。**方法:**救急救命士学科の学生7名が参加した。新鮮なブタの気管に気管チューブを留置し、参加者がカフを空気で膨らませた。訓練前:パイロットバルーンが自身の弛緩した母指球の硬さとなるようカフに空気を注入した後にカフ圧を測定した。訓練:様々な圧でのパイロットバルーンの形状視認と触診を納得のいくまで行い、カフ圧が推奨範囲内(20~30cmH₂O)にあるときのパイロットバルーンの所見を習得した。訓練後:直後、1週後、5週後に、それぞれパイロットバルーンが適切と感じる硬さに空気を注入し、カフ圧を測定した。カフ圧は各条件で3回ずつ、カフ圧計を用いて測定した。**結果:**訓練前のカフ圧は広い範囲に分布し、推奨範囲内に入ったものは21回中2回にすぎなかった。訓練後にはカフ圧の平均値と中央値が推奨範囲内に入り、四分位範囲もおおむね推奨範囲内に収まり、極端な高値がなくなった。また測定回数の約半数が推奨範囲内に収まるようになり、訓練前に比べて有意に多くなった。これらの変化は直後、1週後、5週後のいずれでも認められた。**結論:**訓練を行えば、パイロットバルーンの観察によりカフ圧を推奨範囲近くに調節できるようになる。

キーワード:気管チューブカフ圧、パイロットバルーン、感覚的調節、訓練、ブタ気管

^a 長野救命医療専門学校 救急救命士学科

〒389-0516 長野県東御市田中 66-1

u-vrgy60@nagano-kyumeiryoku.ac.jp

Abstract

BACKGROUND : Clinical observations suggest adjustment of tracheal cuff pressure by palpation of the pilot balloon is unreliable, although training may improve reliability. **OBJECTIVE** : To investigate the effect of training on reliability of non-instrumental adjustment of the cuff pressure. **METHODS** : Seven students on emergency medical technician course participated. A fresh pig trachea was intubated, and participants inflated the cuff. **Before training** : Cuff was inflated until the pilot balloon was felt to show the same firmness of his or her relaxed thenar. **Training** : Participants inspected the shape and palpated the firmness of the pilot balloon at various cuff pressures until they believed to learn the feeling of the recommended range of cuff pressure (i.e. 20~30cmH₂O). **After training** : Immediately after training, one week after training and five weeks after training, participants inflated the cuff until the shape and firmness of the pilot balloon was felt appropriate. Cuff pressure measurement was repeated three times each, using a manometer. **RESULTS** : Before training, measured pressures distributed in a wide range. Only 2 of 21 measurements entered the recommended range of cuff pressure. After training, mean and median values entered the recommended range of pressure. Interquartile range of the measured pressures also roughly fell within the recommended range, and very high pressures were avoided. About one half of measurements entered the recommended range of pressure after training. Also, significant improvement in the number of measurements within recommended range was observed compared to pre-training. These effects were found to persist five weeks. **CONCLUSION** : Training improves the ability of adjustment of tracheal tube cuff pressure by non-instrumental observation of the pilot balloon.

Keywords tracheal tube cuff pressure, pilot balloon, non-instrumental adjustment, training, pig trachea

はじめに

気管挿管は、緊急時の確実な気道確保法として病院前救護や病院医療で使用される。気管挿管に用いる気管チューブの多くは空気で膨らませるカフを備えており、挿管後の陽圧換気を可能にするとともに、口腔・咽頭の分泌液等が下気道に流れ込むのを防いでいる。しかし、カフの内圧（カフ圧）が高すぎると循環障害による気管粘膜の傷害をきたし¹、気管破裂の危険を増す²。逆にカフ圧が低すぎる場合には、陽圧換気時に気管粘膜とカフの隙間から送気が漏れて換気量が不十分となり、

また口腔・咽頭の分泌液等が下気道に侵入して集中治療中の人工呼吸器関連肺炎が増加する³。これらのことから、気管チューブのカフ圧は 20cmH₂O から 30cmH₂O の間に管理することが推奨されている⁴。確実なカフ圧管理はカフ圧計による測定に基づくべきとされ⁵⁻⁷、集中治療ではカフ圧計の使用が普及しつつある。

一方、病院前救護や救急医療の現場ではカフ圧計や圧力計付きインフレーターの使用が普及しておらず、しばしば過大なカフ圧をきたすことが指摘されている⁷⁻⁹。あらかじめ決められた一定量の空

気をカフに注入する昔ながらの方法も広く用いられている。しかし、この定量空気注入は著しい高圧をきたすことが多く¹⁰、緊急時といえども許容できる方法ではない。

パイロットバルーンの触診によるカフ圧の調節もカフ圧管理の手段として用いられてきたが、最近では信頼性に乏しいとして否定する意見が多い¹¹⁻¹²。パラメディック¹³、救急医¹⁴、麻酔専門看護師⁶、麻酔科医¹⁵のいずれであっても、この方法では適正なカフ圧管理ができないとされる。しかし、これらは特別な訓練なしに、各自が経験的に正しいと信じてきたやり方で空気を注入して測定した結果である。

訓練を行えば、パイロットバルーンの触診法でもカフ圧を推奨される範囲に近づけることができるとの報告がある¹⁶⁻¹⁸。これらでは注射器の外筒を模擬気管とした装置で訓練しているが、実際の気管には伸展性があり、その中でカフを膨らませた状態でパイロットバルーンを触診する感触は同じでないと考えられる。また、これらの研究では訓練法として、カフを適正な圧に膨らませた状態でパイロットバルーンを指でつまみ、その感触を覚える方法が採られているが、実際にカフ圧を調べる際にはパイロットバルーンの形状（膨らみ具合）を目で確かめるという要素も加えることができる。

そこで、①条件を揃えやすい実験的検討とし、かつ臨床例に近い感触を求めてブタの気管を用いること、②パイロットバルーンを複数の方法で観察すること、③職業的な熟練者でなく学生を参加者とする、の3点において従来と異なる研究を行い、訓練の効果を検討することにした。

材料と方法

1. 材料

食用のブタから採取した新鮮な気管（内径18×17mm、成人男性の気管に相当するサイズ）を、喉頭、気管支、食道が付いたままの状態で使用した。訓練の1週間後と5週間後の測定にはそれぞれ別の、サイズがほぼ等しい新鮮な気管を用いた。気管チューブにはPortex®ソフトシールカフ付き（内径7.5mm）を、カフ圧計にはRUSCH エンドテスト®を、カフ用の注射器にはテルモシリンジ®10mLを用いた。

2. 参加者

本校救急救命士学科2年生のうち、本研究の内容とリスクの説明を受けた後に自発的に同意した13名が参加した。本校救急救命士学科は3年制であり、研究参加の時点で学生はマネキンを使った気管挿管の実技訓練を履修済みであったが、カフ圧計を使ったカフ圧の確認や圧力計付きインフレーター使用の経験はなかった。参加者はマスクと処置用手袋を着用のうえ実験に参加し、事後に手洗いを実施した。

3. 方法

(1) 訓練前

ブタの喉頭から気管内に気管チューブを挿入し、チューブ先端が気管分岐部から数cm頭側で、カフが気管の気管支¹⁹の分岐部を避ける位置に留置した。カフへの空気注入圧の目安としては母指球の硬さを採用した。参加者は、自身の弛緩した母指球の硬さを指で確認しながら、パイロットバルーンが同じ硬さと感じられるように空気の注入量を調節し、その後カフ圧を測定した。母指球の触診に際しては時間や回数を制限せず、測定前であれば追加注入や減圧も自由とした。

(2) 訓練

推奨範囲の圧 (20~30cmH₂O) に加えて、参加者が自ら設定・確認した、様々な程度の過大な圧と過小な圧を、任意の順番で観察した。観察内容は、それぞれの圧におけるパイロットバルーンの形状 (膨らみ具合) の肉眼的観察と、母指と示指でパイロットバルーンをつまんだり圧迫したりしたときの感触である。所要時間は、参加者自身が推奨範囲の圧にあるパイロットバルーンの所見を習得したとを感じるまでとし、通常は1分以内であった。

(3) 訓練後の測定

訓練の直後、1週間後、5週間後に、パイロットバルーンの肉眼的観察と触診によりカフ圧を調整した後に測定した。5週間までの間にカフ圧調節の再訓練、気管挿管の実技訓練などを行う機会はなかった。

(4) 測定方法

カフに空気を注入した後、パイロットバルーンにカフ圧計を直接接続し、目視により 0.5cmH₂O 単位で読み取った。測定値は参加者には伏せ、参加者1名あたり同条件で3回ずつ空気の注入と測定を行った。

(5) 統計処理

測定したカフ圧は平均値、中央値、最小値、最大値、第1四分位数、第3四分位数で表した。推奨圧 (20~30cmH₂O) の範囲に入った測定数の割合の比較には Fisher の直接確率を用いた。有意水準は、一般的な $\alpha = 0.05$ に Bonferroni の補正を加えて $\alpha = 0.017$ とした。統計計算には js-

STAR²⁰ を利用した。

結果

訓練前および訓練直後の測定では 13 名全員のデータが得られた。1週間後の測定には 11 名、5週間後の測定には 7 名が参加した。条件を揃えるために、実験を完遂した 7 名のデータを主に示す。

測定したカフ圧を図1に示した。母指球の硬さを目安にした場合には、高い値 (50cmH₂O 以上) が3つ、最高は 108cmH₂O) がある一方で、全体としては低い圧になることが多く、四分位範囲は 14.5~47cmH₂O と広がった。

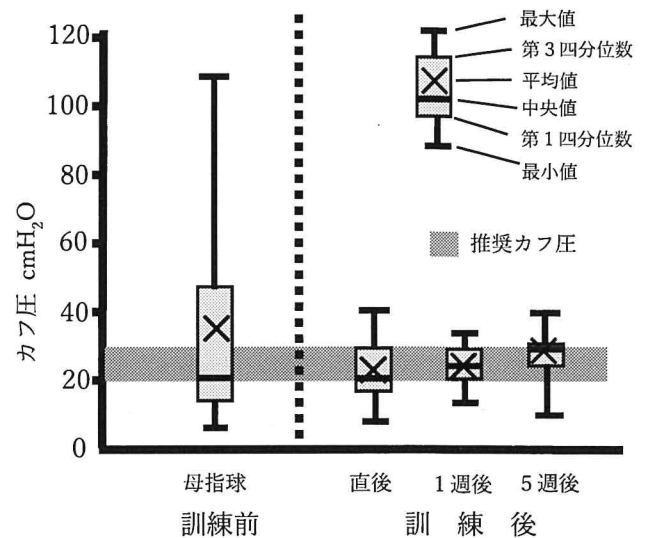
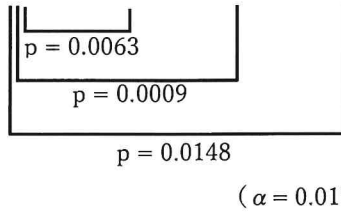


図1 訓練前後のカフ圧

訓練直後には、中央値と平均値が推奨範囲内に入った。また推奨範囲を大きく外れる測定値がなくなり、四分位範囲もほぼ推奨圧の範囲に収まるようになった。この傾向は1週間および5週間にも認められた。

表1 カフ圧が推奨範囲に入った測定数

	訓練前	訓練後		
		直後	1週後	5週後
測定数	21	21	21	21
推奨範囲内	2	11	13	10
推奨範囲外	19	10	8	11



推奨圧の範囲に入った測定の回数を表1に示した。訓練前には推奨範囲内の圧が得られることは少なかった(2/21)。訓練後には、直後、1週後、5週後のいずれでも、おおむね半数で推奨圧の範囲内に調節することができた(それぞれ11/21、13/21、10/21)。推奨範囲に入った測定数の割合を、訓練前と訓練直後、訓練前と訓練1週後、および訓練前と訓練5週後でそれぞれ比較すると、いずれでも訓練後に有意に多くなっていた。

途中で脱落した参加者のデータを含めて分析した結果を表2, 3にまとめた。これらも完遂者7名のみデータと同様の傾向を示し、推奨範囲に入る測定数の割合は訓練後に多かった。

表2 訓練前後のカフ圧 単位: cmH₂O
(参加者全員のデータ)

	訓練前	訓練後		
		直後	1週後	5週後
参加者数	13	13	11	7
測定数	39	39	33	21
平均値	28.5	22.1	23.9	27.7
中央値	16.8	21	22	29
範囲	7-108	7.5-41	11.5-45	9-41
四分位範囲	14-36	16-28.3	19-29	24-32

表3 カフ圧が推奨範囲に入った測定数
(参加者全員のデータ)

	訓練前	訓練後		
		直後	1週後	5週後
参加者数	13	13	11	7
測定数	39	39	33	21
推奨範囲内	3	19	16	10
推奨範囲外	36	20	17	11

考察

気管チューブの適正なカフ圧は主に集中治療の領域で検討されており、病院前救護や救急外来でも同じく20~30cmH₂Oが適正であるかどうかについては不明の点もある。本研究は救急医療の現場でも同じ圧の範囲が適正との前提で行った。

本研究により、訓練を行えば圧力計を使わずにカフ圧を推奨範囲内に調節できる能力が向上し、推奨範囲を大きく外れた著しい高圧を避けられることが示された。また訓練の効果は少なくとも5週間は持続することもわかった。過大なカフ圧による粘膜の障害はわずか1~3時間で発生する²¹ため、救急現場で気管挿管してから集中治療室等に収容して本格的なカフ圧管理を始めるまでの間にもカフ圧への配慮は必要であるが、訓練後のカフ圧は最大でも41 cmH₂O(途中で脱落した参加者も含めれば45 cmH₂O)であり、この時間内に重大な傷害をきたす危険性は低いと考えられる¹⁶。

パイロットバルーンの視認と触診によるカフ圧の調節は、特別な器材を必要とせず、所要時間もわずかである。カフ圧計や圧力計付きインフレーターがすぐに使用できない場合、本法は一つの選択肢になると考えられる。少なくとも一定量の空気を一律に注入するよりは信頼性、安全性の点で勝ると思われる¹⁰。

パイロットバルーンの視認と触診によるカフ圧

調節法で考慮すべき点のひとつに、パイロットバルーンの形状や材質の違いが観察結果に影響する可能性が挙げられる。Pisanoら²²は、通常よりも大きなパイロットバルーンを使えば触診による判断力が向上すると報告している。パイロットバルーン、インフレーションチューブ、カフで構成される系の物理的特性は製品によって異なる可能性があり、ある製品で習得した感覚が普遍的に適用できるかどうかについては今後の検討が必要である。

訓練5週後の測定まで完遂したのは当初の参加者13名のうち7名のみであり、データの一貫性を重視して完遂者のみのデータを主に分析した。このためデータの脱落による偏りを考慮しなくてはならないが、参加者全員のデータでも同様の傾向がみられたことから、その可能性は低いと考えられる。

結 論

訓練を行えば、パイロットバルーンの視認と触診により気管チューブのカフ圧を推奨圧近くに調節できる。

謝辞

ブタの気管を提供していただいた株式会社大善(長野県佐久市)の方々に感謝いたします。

利益相反の開示

本研究に関する利益相反はない。

文 献

1 Seegobin RD, van Hasselt GL. Endotracheal cuff pressure and tracheal mucosal blood flow: endoscopic study of effects of four large

- volume cuffs. *Brit Med J*. 1984;288(31):965-8.
- 2 Lim H, Kim JH, Kim D et al. Tracheal rupture after endotracheal intubation - A report of three cases - . *Korean J Anesthesiol*. 2012;62:277-80.
- 3 American Thoracic Society. Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;171:388-416.
- 4 Kumar CM, Seet E, van Zundert TCRV. Measuring endotracheal tube intracuff pressure: no room for complacency. *J Clin Monit Comput*. <https://doi.org/10.1007/s10877-020-00501-2> (Accessed: March 23, 2021)
- 5 Fernandez R, Blanch L, Mancebo J et al. Endotracheal tube cuff pressure assessment: pitfalls of finger estimation and need for objective measurement. *Crit Care Med*. 1990;18:1423-6.
- 6 Stewart SL, Secrest JA, Norwood BR et al. A comparison of endotracheal tube pressures using estimation techniques and direct intracuff measurement. *Am Assoc Nurse Anesthetist J*. 2003;71:443-7.
- 7 Galinski M, Tréoux V, Garrigue B et al. Intracuff pressures of endotracheal tubes in the management of airway emergencies: The need for pressure monitoring. *Ann Emerg Med*. 2006;47:545-7.
- 8 Svenson JE, Lindsay MB, O'Connor JE. Endotracheal intracuff pressures in the ED and prehospital setting: In there a problem? *Am J Emerg Med*. 2007;25:53-6.
- 9 Chapman J, Pallin D, Ferrara L et al. Endotracheal tube cuff pressures in patients intubated before transport. *Am J Emerg Med*.

- 2009;27:980-2.
- 10 瀧野昌也、金井 健、小林拓幹、宮尾政成. 気管チューブのカフに一定量の空気を注入しても推奨される圧は得られない – ブタ気管を使った検討 –. 日臨救急医学会誌. 2021;24:627-32.
 - 11 Khan MU, Khokar R, Qureshi S et al. Measurement of endotracheal tube cuff pressure: Instrumental versus conventional method. Saudi J Anaesth. 2016;10:428-31.
 - 12 Rahmani F, Soleimanpour H, Zeynali A et al. Comparison of tracheal tube cuff pressure with two techniques: fixed volume versus pilot balloon palpation. J Cardiovasc Thorac Res. 2017;9:196-9.
 - 13 Parwani V, Hoffman RJ, Russell A et al. Practicing paramedics cannot generate or estimate safe endotracheal tube cuff pressure using standard techniques. Prehosp Emerg Care. 2007;11:307-11.
 - 14 Hoffman RJ, Parwani V, Hahn I. Experienced emergency medicine physicians cannot safely inflate or estimate endotracheal tube cuff pressure using standard techniques. Am J Emerg Med. 2006;24:139-43.
 - 15 Michlig SA. Anaesthetic staff cannot identify extremely high tracheal tube cuff pressure by palpation of the pilot balloon. Br J Anaesth. 2013;111:300-1.
 - 16 Chan S, Wong C, Cherg C. Determining an optimal tracheal tube cuff pressure by the feel of the pilot balloon: A training course for trainees providing airway care. Acta Anaesthesiol Taiwan 2009;47:79-83.
 - 17 Maboudi A, Abtahi H, Hosseini M et al. Accuracy of endotracheal tube cuff pressure adjustment by fingertip palpation after training of intensive care unit nurses. Iran Red Crescent Med J. 2012;15(5):381-4.
 - 18 Siamdoust SAS, Mohseni M, Memarian A. Endotracheal tube cuff pressure assessment: Education may improve but not guarantee the safety of palpation technique. Anesth Pain Med. 2015;5:e16163 DOI:10.5812/aapm.5(3)2015.16163 (Accessed: March 23, 2021)
 - 19 望月昌三、牧田登之. 豚の気管軟骨の形態学的特性. 日獣会誌. 1999;52:256-9.
 - 20 js-STAR_XR (kisnet.or.jp) (Accessed: March 28, 2021)
 - 21 Harm F, Zuercher M, Bassi M et al. Prospective observational study on tracheal tube cuff pressure in emergency patients – is neglecting the problem the problem? Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 2013; 21:83.
 - 22 Pisano A, Verniero L, Galdieri N et al. Assessing the correct inflation of the endotracheal tube cuff: A larger pilot balloon increases the sensitivity of the ‘finger-pressure’ technique, but it remains poorly reliable in clinical practice. J Clin Monit Comput. 2019; 33:301-5.

受理日：2022年3月23日

