

## ●原 著

## カフ付気管挿入チューブにおけるカフ圧調節の自動化について

佐藤 暢\* 長谷川敏久\*

高気圧治療時の環境圧力の変化や麻酔中の笑気ガスの拡散等が起こっても、設定されたカフ圧を一定に保つことが出来るカフ付気管内チューブのカフ圧調節装置を開発した。

その方法は、医療ガス配管からのガスを減圧弁を使用して任意のカフ圧に減圧調節し、その減圧調節されたガス圧力をカフに供給する減圧回路にオリフィスを設けて、減圧回路内のガスを少量ずつ連続的に外部へ放出することでカフ圧の安定を図った。

また、医療ガス配管から供給されるガスの圧力が低下した場合には、設定されていたカフ圧を自動的に保持する安全装置を備えている。

本装置の安全性を実験的に確認後、実際に患者に使用した結果何ら障害は認められなかった。

キーワード：高気圧治療、カフ圧、カフ圧自動調節装置

**Automatic pressure regulator for endotracheal tube cuff**

Toru Sato and Toshihisa Hasegawa  
Department of Anesthesiology, Tottori University  
Hospital, Yonago

An automatic pressure regulator for the endotracheal tube cuff was developed, which can maintain cuff pressure constantly at any pre-set level regardless of the ambient (chamber) pressure change during OHP therapy and of the diffusion of N<sub>2</sub>O into the cuff during anesthesia.

This device consists of a pressure reducing valve a pressure, setting dial and a fail-safe system.

This device is placed between the hospital piping system and the inflating line of the endotracheal tube and can continuously supply low pressure, low flow gas to the cuff to maintain cuff pressure at any desired level. Excess gas is released from the system simultaneously.

When the ambient pressure increases, the pressure regulator of this system senses the change and supplies extra gas to the cuff, so that relative gradient between the intra-cuff pressure and ambient pressure is kept constant. This device has the fail-safe system which works when pressure of the hospital piping system decreases abnormally.

So far no trouble has been encountered in using the pressure regulator during OHP therapy.

(authors' abstract)

**Keywords :**

OHP therapy

Cuff pressure

Automatic cuff pressure regulator

**緒 言**

カフ付気管内チューブ（または気管切開チューブ）は医療現場における呼吸管理には欠くべからざるもので、その重要性は言を待たない。

ところが、日常多用されているにも拘らず、このカフ付気管内チューブを使用して人工呼吸や麻酔を施行していると、麻酔用笑気ガスのカフ膜を介した拡散現象や温度変化および環境圧の変化、患者の気管の緊張や咳によって、当初に設定したカフ圧・形状が安定して保持されないために、カフ圧上昇による気管内壁に対する圧迫圧力の増加に伴う気管内壁の粘膜繊毛組織に対する障害の発生や、逆にカフ圧低下による気管挿入チューブと患者の気管内壁との気密性低下による換気不足や誤嚥といった障害の発生が考えられ、通常の使用法ではそれを回避することができず、現在もなお

\*鳥取大学医学部附属病院麻酔科

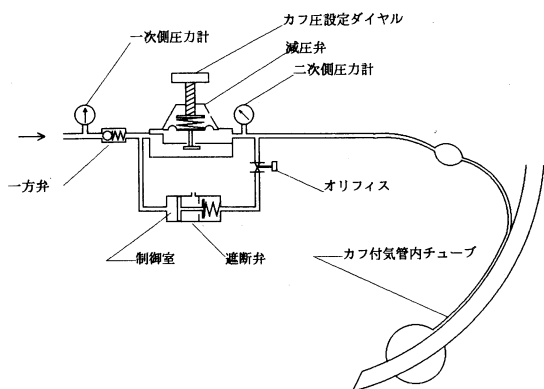


図1 試作したカフ圧調節装置の模式図

カフ圧のコントロールは多くの研究・考案<sup>1)~5)</sup>がなされるほど重要な課題となっている。なかでも急激な環境圧の変化を来す高気圧治療室内では、カフ圧の変動が激しく、単に空気などのガスを封入する従来の方法では利用することが出来ない。そのために治療開始時にカフに所望の圧力になるまで水を充填注入して、カフの圧縮・再膨張を防ぐ工夫<sup>6)</sup>の下に利用されているが、我々はガスでカフを満たしたままカフ付気管内チューブのカフ圧力を自動的に調節する装置を考案<sup>7)</sup>したので、高気圧環境下で行なった使用実験例と共に報告する。

#### 装置の概略説明

今回試作したカフ圧調節装置の構造は図1に示すような構成である。

まず高気圧治療室の室内に設けられた酸素ガス用のアウトレットに、カフ圧調節装置の一次側のガス供給ホースを接続すると、一次側の圧力計(酸素ガス用 NISSHIN 0~10kg/cm<sup>2</sup>G)がその時の一次圧を示す。その一次側の回路に一方弁を設けて下流側を二分岐して、その一方を減圧弁(FUJIKOKI CO., LTD. L.P.G. REGULATOR TYPE V120A を、酸素ガス使用を可能にするため防炎加工を施行)に接続し、他方を安全装置の遮断弁(最寄りの鉄工所に依頼して試作)の制御室へ接続する。減圧弁に送気された酸素ガスは、カフ圧設定ダイヤル(減圧弁の圧力設定ダイヤル)で設定された任意の所望圧力に調節されて二次側圧力となる。

次に、減圧弁の二次側の出口に圧力計(NIS-

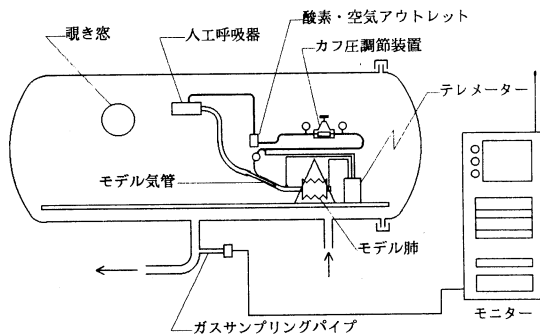


図2 実験時の器機の配置を示す模式図

SHIN 過圧防止型 0~1000mAq) を設けてその下流側を二分岐して、一方をカフ連結チューブに接続し、他方を放出用のオリフィス(代用品として Fujikin International, Inc.製のニードルバルブ)に接続する。このオリフィスの下流側を前記の遮断弁に接続しておくことによって、何らかの事由により、遮断弁の制御室に働く一次側の圧力が所定の圧力よりも低下すると、遮断弁が閉鎖されてオリフィスから放出されていたガスを閉止する構成となっている。

#### 実験の方法

実験の方法(図2)は、モデル肺(Medishield製)にモデル気管(N.C.C. Adult Trachea Model cat. # 109-21)を接続して、このモデル気管に人工呼吸器(ドレーゲル Oxylog)を接続したカフ付気管内チューブ(ポーテックス・ブルーライン)を挿入し、このカフにカフ圧調節装置を連結して、高気圧治療室(川崎エンジニアリング KHO-200型ワンマンチャンパー)内に設置した。

血圧測定用のトランスデューサ(日本電気三栄 P23 ID)を、肺内圧測定用としてモデル肺部分、気管内圧測定用としてモデル気管部分、およびカフ圧測定用としてカフ連結チューブの入口部分の3カ所にそれぞれ配置して、無線発信器によってこの3チャンネルの圧力信号を治療室の外に設置したモニター(日本電気三栄 POLYGRAPH)へテレメータ(日本電気三栄)で送信し(ただし、高気圧室内からは電波が飛びにくいために心電モニター用の貫通端子にアンテナを接続して外部へ送信した)、また高気圧治療室の室内圧は、モニタ

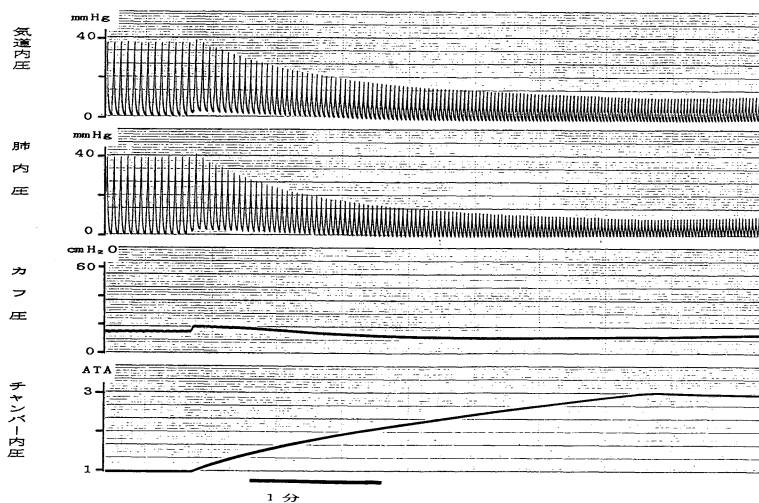


図3 調節装置付きカフの対環境圧特性

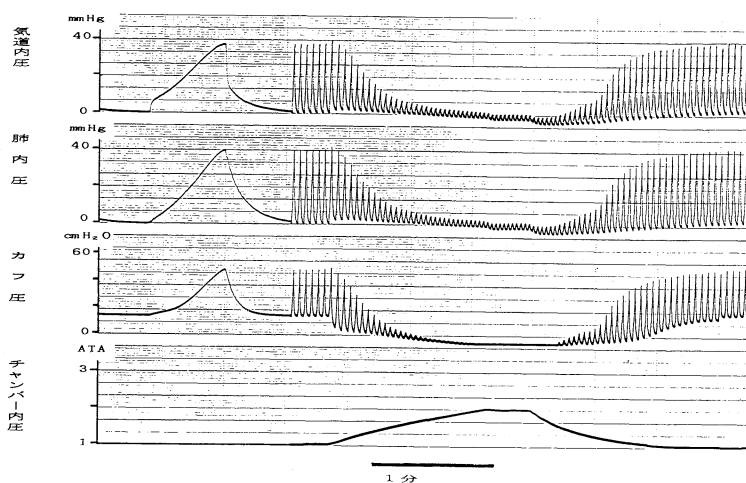


図4 ガス封入(一般)方式カフの対環境圧特性

ーに接続できるように改造した工業用の圧トランスデューサ(日本電気三栄 TR305H, 5K)を, 高気圧治療室内用のガスサンプリング・パイプの外端部に設置してモニターに有線で接続し, 4チャンネルの圧力を同時に測定記録した。

カフ圧調節装置の圧力ガス供給源は, 高気圧治療室内の酸素用アウトレットを使用した。

モデル肺は, コンプライアンスを  $0.02\ell/\text{cmH}_2\text{O}$ , 気道抵抗を  $5\text{cmH}_2\text{O}/\ell/\text{秒}$  とし, 人工呼吸器は一回換気量を大気中で  $600\text{cc}$ , 回数  $20$ 回/分とし, カフ圧力はモデル気管からの換気漏れが生じていないと思われる最低限の圧力の  $17\text{cmH}_2\text{O}$  に

設定し, 予め図2のように高気圧治療室内に設置しておき, 圧縮空気により  $1\text{ATA}$  (大気圧) ~  $3\text{ATA}$  までの加減圧操作を行なった。

また, 比較対照のために, 同一カフを用いてカフに空気を使用したガス封入方式(従来方式)と, カフに水を封入した方式のものの実験も行なった。

## 結 果

考案試作したカフ圧調節装置は, 予想以上の安定性を持っており, 全く問題なく当初のカフ圧力を維持することが出来た(図3)。

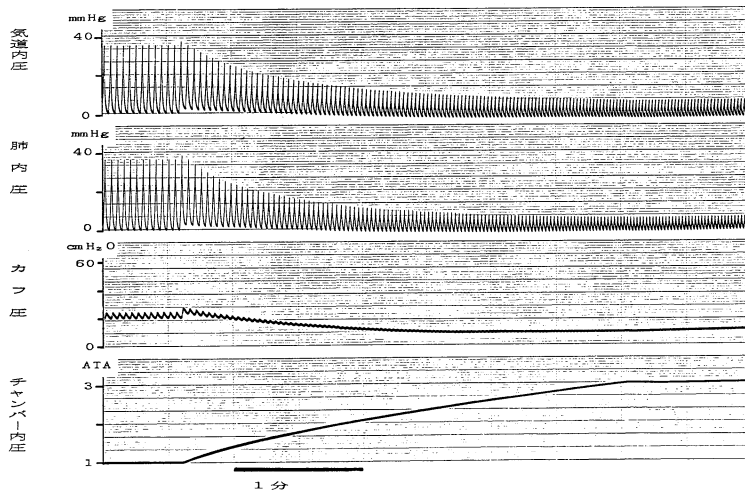


図5 水封入方式カフの対環境圧特性

比較対照実験の一方のガス封入方式のカフは、図4に示すように環境圧上昇開始と共に低下してくる。しかし、肺内圧の影響によるカフの変形度が大きいために、環境圧が上昇しても予想以上に気密を保っているが、環境圧が1.3ATA (0.3kg/cm<sup>2</sup>G)以上に上昇すると、目に見えて肺内圧や気道内圧が低下して換気漏れが生じてきていることを示している。

他方の水封入方式のカフは、図5に示すように当初の設定圧力を維持しており換気漏れは生じなかったが、カフ圧を所望の圧力に設定するのに大変な困難を要した。

## 考 察

本装置を考案するに当たって、カフ付気管内チューブのカフ圧をガス注入方式のまま自動的に一定のレベルに保持することができ、かつ簡単確実に所望の圧力に調節できる装置とし、またカフ圧が激変するような過酷なカフ圧変動要因下でも支障なく作動し、低圧大容量カフ付気管内チューブの使用も可能で、安全性においても信頼のおけるものを目指した。

医療施設に設置されている医療用の酸素や圧縮空気を一次側の圧力源とし、カフ圧付近の低圧の圧力に調節可能な減圧弁を使用して、その減圧弁の圧力設定ダイヤルを回動することによって、任意のカフ圧力に簡単に調節できる方法とした。その場合、医療用具に使用する器機であるという見

地から、一次側の圧力供給源が何らかの原因により断たれたとしても、カフ圧力を維持できる安全装置を備えたものを目指した。

実験的にカフ圧の変動を発生させる方法としては、カフ圧力そのものを変動させる方法と、周囲の環境圧を変化させる方法とが考えられるが、我々は環境圧を変化させ、相対的にカフ圧力を変動させる後者の方法を選択し、実際には高気圧酸素治療室の室内で実験する方法を採用した。

カフ圧調節装置において、減圧弁の二次側を直接カフに接続して使用しても、環境圧を上昇させるときには問題とはならないが、環境圧を下げ始めると、カフおよび二次側の回路内の圧力は相対的に上昇することが考えられる。そこで、二次側の圧力回路の一部にオリフィスを設け、二次側の回路内のガスを周囲環境へ少量ずつ連続的に放出することとしたために、カフ圧は全くと言っていいほど安定した。また、一次側の圧力供給圧が所定の圧力以下に低下した時は、二次側回路内のガス通路に設けたオリフィスから放出されているガスの放出路を閉鎖する遮断弁を取付けたことで安全性を確保することができた。

本試作器が予想を上回る実験結果を得たのは、高気圧治療室の圧力を低下させたときの、カフ圧力の相対的な上昇を抑えるために設けたガス放出用のオリフィスが、減圧弁の二次側に発生すると予想される制御作動時の僅かな圧力変動をも平滑化する効果があったことが大きい、構成が簡単

でしかも減圧弁等の使用機器が予想以上に精密な制御能力を備えていたものと思われる。

高気圧治療室の室内に配置した圧トランスデューサが、治療室の加圧を開始した時点で異常な挙動を示しているのは、大きな気圧変動に対するこの型のトランスデューサそのものの特性（受圧用ダイヤフラムの背圧室のガス抜け不良と考えられる）であると思われる。何故ならば、比較対照の実験であるカフに空気や水を封入した場合にも同じ現象が見られ（図4、5）、かつ大気圧の下でトランスデューサと同期して滑らかに圧力の変化を指示する圧力計を、カフ圧調節装置の二次側に設置してカフ圧力を目視できるようにしておいたが、その圧力計で見るかぎり指針に変動はまったく見受けられなかったことから推察することが出来る。

従来の空気封入方式のカフでは高気圧酸素治療に使用すると、高気圧環境によりたやすく圧縮されてしまい、カフは全く用をなさなくなる（図4）。水封入方式のカフでは、カフ内の気泡を完全に排出し、かつ所定のカフ圧力まで水を封入すれば高気圧酸素治療で使用しても気密性には問題はないが（図5）、実際にはカフに水を注入して所定の圧力に固定するという事は大変難しく、危険なものであることを痛感した。空気等の弾力性に富むガスを使用してカフ圧を維持すべきカフに、密度が高く弾力性のない水等の液体を封入して使用すると、粘膜表面の圧迫圧力は同じでもチューブが気管内で一方に圧迫固定されやすく、チューブの先端部が気管内壁を局所的に圧迫したりすることにより、危険な状態を招来しかねないので、水封入方式は緊急避難的な場合を除いては使用しない方が良くように思われた。勿論一度水を入れたカフから水を完全に抜いて乾かすことは不可能であり、カフの機能的な寿命を著しく短縮することも考えられる。

尚、供給圧力源が断たれたときに作動する安全装置が、時として十分に作動しないことがあったが、これは最寄りの鉄工所で試作したために、製作技術の面において問題があり、遮断弁を作動させるための制御室内の稼働部を、当初構想のダイヤフラム式をピストン式にしたために、摺動抵抗やガス漏れを生じたりして作動に円滑さを欠くためであった。このことは安全装置の試作機を、ピ

ストン式とした時点である程度予想された事柄であり、今後製作するダイヤフラム式の場合には問題を残すものではないと確信している。

実験の結果、安全であるとの結論を得たので、実際に高気圧治療中のカフ付き気管切開チューブを使用していた患者に、このカフ圧調節装置を3症例15回使用した。その結果、自発呼吸のある患者のために人工呼吸器を使用しなかったため、換気漏れについてのデータは得られなかったが、従来この種の患者を治療する時に利用していた水封入方式と比較して、操作性も良く、カフ用圧力計で目視する限り（危険を回避するために圧トランスデューサは使用しなかった。）、入室前に設定していたカフ圧は、加圧開始から減圧して終了するまでの治療期間を通じてまったく変化なく、本カフ圧調節装置との連結を断つまで圧力計の指針は安定しており、誤嚥等による障害も発生することはなかった。

## 結 語

今回試作したカフ圧力調節装置は、急激に変化するカフ圧変動要因が生じていると考えられる環境下にあっても、何ら問題なく当初設定したカフ圧力を一定値に保つことが出来た。本装置は単に高気圧治療時のみに使用を限定することなく、同じような条件下に置かれている医療環境、たとえば、航空機等で搬送される患者等に使用されているカフ付気管内チューブのカフにおいても使用可能であり、さらにこれらに較べて遙かに緩慢な笑気ガスや温度変化によるカフ圧変動要因が生じて、カフ圧力を一定に保持できることは言うまでもない。

また、使用中に医療用の酸素ガスや圧縮空気の供給が断たれる事態が生じて、供給側回路のガス圧が所定の圧力以下に低下した場合には、オリフィスから放出されていたガスを自動的に止め、その時点のカフ圧力に保持できる構造となっている。したがって、このカフ圧力調節装置は広く実用することができるものと考えられる。

## 【参 考 文 献】

- 1) 宮本恒彦, 瀬戸屋健三, 山本巖: 気管内チューブカフ圧調整器, 日本医科器械学会誌, 51(12): 614-618, 1981.

- 2) 清水幸雄, 並木昭義: 気管内チューブ・カフに関する研究 その1 気管チューブ・カフの材質による差異の検討, 笑気下における各種カフの内圧, カフ内ガス容積, ガス組成および濃度の变化について, 札幌医学雑誌, 50(4): 351-360, 1981.
- 3) 清水幸雄, 並木昭義: 気管内チューブ・カフに関する研究 その2 笑気臨床麻酔中のカフ内圧, 側圧の変化および創作したカフ圧調節装置の効果について, 札幌医学雑誌, 50(5): 365-371, 1981.
- 4) Kibby RR, Robinson EJ and Schulz J: Intermittent cuff inhalation during prolonged positive-pressure ventilation, *Anesthesiology*, 32(4): 364-366, 1970.
- 5) Stanley TH, Foote JL and Liu W-S: A simple pressure relief valve to prevent increases in endotracheal tube cuff pressure and volume in intubated patients, *Anesthesiology* 43(4), 478-481, 1975.
- 6) Revenäs B and Lindholm C-E: Pressure and volume changes in tracheal tube cuffs during anesthesia, *Acta Anesthesiol. Scand.* 20(4), 321-326, 1976.
- 7) 発明者 佐藤暢, 長谷川敏久: カフ付気管挿入チューブのカフ圧調整装置(国有特許), 出願番号60-144435, 1985.