

人工呼吸用チューブが頭頸部動揺から受ける影響

— 気道管理訓練人形を使用した計測結果 —

伊藤太一¹

(1: 東海学院大学健康福祉学部総合福祉学科)

要 約

この論文は病院前医療で起こった誤挿管事故の原因を「院外での搬送に伴い傷病者の頭頸部の動揺から口腔咽喉頭腔の形状変化が起こることにより、挿管された気管チューブが移動し、誤挿管を含む換気異常を引き起こした」とする仮説を立証するために、頭部や頸部の屈曲・伸展と挿管された人工呼吸用チューブとの関係を、気道管理訓練人形を用いて検討したものである。結果、頭部や頸部の屈曲・伸展により、気管チューブが固定力のない方向へ12~26mm移動することが観察された。この移動量は、喉頭、声帯等を傷つけ、チューブの先端は当初の位置から片肺挿管や食道へ進入する危険を孕んでいる。また過去の論文から、ここで想定した頭部や頸部の屈曲・伸展によって口腔、咽喉頭腔の形状変化は十分成しうるものと考えられた。以上から医療従事者が救急現場で人工呼吸用チューブを使用した場合、頸椎カラーを装着して頭頸部の動揺を抑えるとともに常に換気状態を把握しなければならない。

キーワード： 気管チューブ 声門上気道デバイス ラリングアルチューブ 誤挿管 頭頸部動揺

はじめに

救急現場は臨床と異なり、治療、搬送にかかわる設備や人員、環境が整っていない特徴を持つ。よって院外での医療行為は、瞬時に傷病者の生命の危機に関する兆候を発見し、即座に優先順位の高い処置を選択・決断、訓練された技術をもって処置を実行し、迅速に病院へ搬送しなければならない。

そのなかでも気道確保は最重要、最優先順位に位置する救命処置である。

気道確保の方法には、器具を用いない頭部後屈頸先挙上法や下顎挙上法、器具を用いた各種エアウェイやチューブ状の声門上気道デバイスや気管挿管等が知られている。そのなかで最も確実な方法は気管挿管である。

本邦での器具を用いた気道確保法は、「JRC 日本版ガイドライン」で規定され、これは国際蘇生連絡委員会 (International Liaison Committee On Resuscitation, ILCOR) が策定する 2010 Consensus on Science with Treatment Recommendations (CoSTR) に基づいており、CoSTR のチューブによる気道確保をみると、声門上気道デバイスと気管チューブに分けられている。

気管チューブとは、小指の太さほどの太さのポリウレ

タン製チューブで、生体に適合するために幾分柔らかい。これを気管内に通して直接気道を確保するものである。

院外での代表的な医療職である救急救命士は、心肺機能停止傷病者への気道確保に、用具による気道確保はもちろん、声門上気道デバイスとともに経口による気管チューブが許されている。

しかし声門上気道デバイスや気管挿管は、確実に気道を確保できる利点があるが、手技や確認を誤れば死に直結する処置でもある。

平成 16 年に救急現場での気管挿管が気管挿管資格者の救急救命士認められて本年で 12 年経過した。その間、幾つかの誤挿管による事故が報告されているが、原因の詳細は明らかになっていない。

私はその原因のひとつに傷病者搬送中に起こる頭頸部動揺が人工呼吸用チューブに何らかの影響を与えていると推測した。

その確証を得るために、気道管理用訓練人形に人工呼吸用チューブを実際に挿入したまま、頭頸部を屈曲伸展させることにより、人工呼吸用チューブと口腔咽喉頭腔の関連性について考察したのでここに報告する。

各チューブの特性と病院前救急医療の現状

声門上気道デバイスについて

声門上気道デバイスとは、チューブ状の人工呼吸用器具を口腔から咽頭や食道内に挿入し、チューブに付属する風船状のカフにエアを注入し膨張させることで口腔から咽頭、果ては食道の間隙を埋めて、気道へ陽圧換気を行う気道確保器具である。

図1はラリングアルチューブ（以後LT）によって陽圧換気を実施している模式図である。

本邦では主に、図2のLT、図3のラリングアルマスクエアウェイ・LMA、図4のコンビチューブが使用されている。

各チューブの共通の特徴として、図5のようにチューブ先端を咽頭後壁に押し付けながら進入させれば、解剖学上、理想的な位置にチューブが挿入されるものである。よって盲目的に挿入が可能で、気管挿管に比べ必要物品も少なく、結果、処置時間を短縮することができる。

救急現場でこのメリットは大きい。院外の限られた処置面積と人員で、気道確保を実施することができるからである。

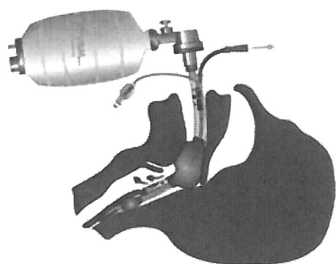


図1 LTの固定位置とバックバルブマスクによる換気（スミスメディカル・ジャパン株式会社。VBM ラリングアルチューブD 取り扱い説明書から転載）

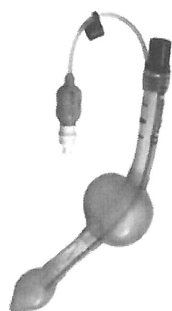


図2 ラリングアルチューブ (LT)（スミスメディカル・ジャパン株式会社。VBM ラリングアルチューブD 取り扱い説明書から転載）



図3 ラリングアルマスクエアウェイ (LMA)（泉工機科工業株式会社。LMA クラシックカタログから転載）

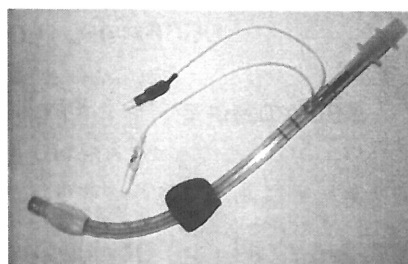


図4 コンビチューブ（田中秀治：気管挿管インストラクターハンドブック。東京法令出版から転載）

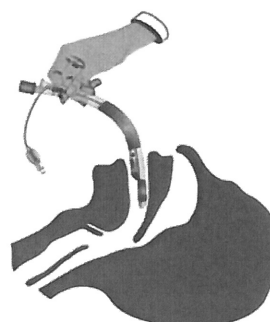


図5 盲目的なLT挿入方法（スミスメディカル・ジャパン株式会社。VBM ラリングアルチューブD 取り扱い説明書から転載）

気管挿管について

気管挿管は、小指の太さ程のシリコン製等のチューブを直接、気管内に通して気道を完全に確保するものである。（図6）（図7）

口腔からアクセスする経口挿管が主流であるが、鼻孔からの経鼻挿管や気管支ファイバースコープを用いる手

技も存在する。

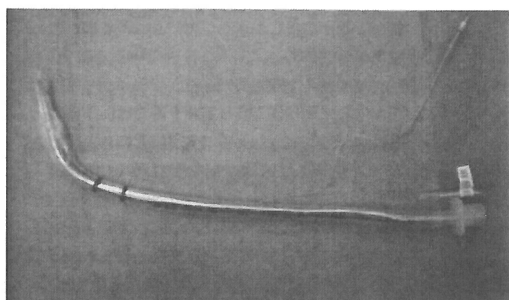


図6 気管チューブ

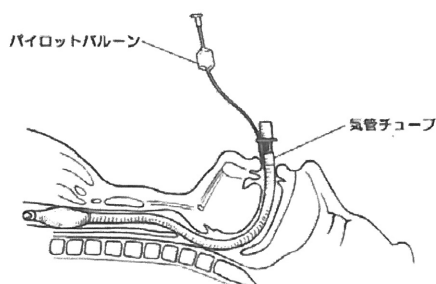


図7 経口的気管挿管による気管チューブ固定位置

この手技のなかで救急救命士が心肺機能停止 (CPA) 傷病者に対して行う気管挿管は、救急救命士法施行規則により経口挿管によって実施することと規定されている。また開口不能や声帯の確認できない傷病者や、頸椎損傷が疑われる事例などへは気管挿管の適応外となるケースとして実施できない¹⁾。

気管挿管は確実な気道確保法であるが、気管内にチューブを挿入させることは、図8に示すように口腔軸と咽頭軸、喉頭軸を直線状に配置させる手技が必要となる²⁾。

また声門上気道デバイスとは違い、喉頭鏡やスタイルットなどの特殊な医療器具が必要で、盲目的にチューブを挿入することはできない。

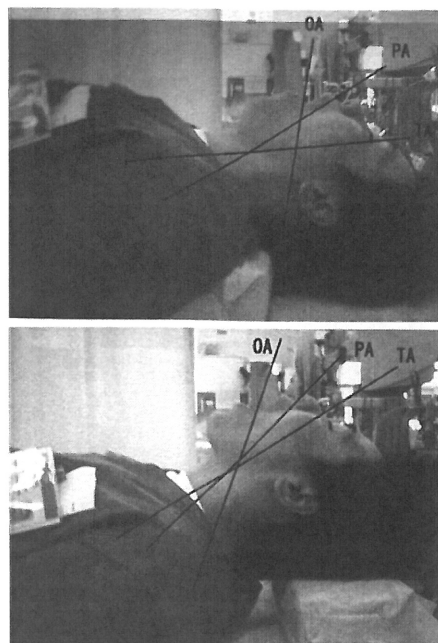


図8 各気道の軸 OA (Oral Axis): 口腔軸 PA (Pharyngeal Axis): 咽頭軸 LA (Laryngeal Axis): 喉頭軸 (救急医学 臨床研修医のための救急診療マニュアル VOL. 27NO. 10. へるす出版より転載)

仮に盲目的に気管チューブを挿入すると、解剖学上、チューブの先端は咽頭壁を押し付けたまま、食道へ進入し食道挿管となる。食道挿管に気づかなければ、人体への酸素化が完全に絶たれ、確実に死に至る。よって挿入後の気管チューブ先端の位置確認は大変重要なものとなる。

実際の確認は聴診器による換気音確認を基本として、呼気終末二酸化炭素検知器 (カブノグラフィ) や簡易な器具 (イージーキャップII) と自己膨張バルブによる食道挿管検知器 (エアウエイチェッカー) を使用する。

(図9)

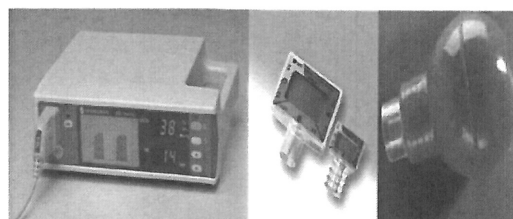


図9 左: 呼気終末二酸化炭素検知器 中: イージーキャップII 右: エウエイチェッカー

傷病者側の課題として、開口困難者や小顎症、舌の大きな方、首の短い傷病者では喉頭展開が困難であること

が多く、気管挿管困難予測となる³⁾。

このように気管挿管は、院外での実施に多くの課題が伴うことが分かる。他の課題を含めまとめると、次の5つが挙げられる。

第一に、術者が気管挿管の必要を決断しても、開口から声帯確認まで処置を進めないで気管挿管困難予測を判断することができない。ひいては貴重な時間を消費してしまう危険が常に存在する。

第二に、盲目的な挿入ができないため、声門上気道デバイスよりも熟練された手技が必要となること。

第三として、専用の用具の携行と処置介助の人員が必要であり、用具の携行と準備に幾らかの時間と労力を必要とする。

臨床では呼気終末二酸化酸素モニターがあり継続的な観察と異常の発見が可能だが、救急現場では誤挿管を確認する用具や資機材があるものの一時的な確認用具が多く、またそれを携行しなければならない。

第四として、救急現場は処置に必要な空間と必要な環境（明るさ、騒音の有無、傷病者の地表面からの高さ等）が整っていることはない。

さらに第五として、心停止傷病者に対し気管挿管を実施する場合には胸骨圧迫の中断時間を可能な限りなくすべきである。しかし、前述のとおり気管挿管は確実性を必要とする処置のため、一連のチューブ挿入に関する処置の間は胸骨圧迫を中断せざるを得ない。よって胸骨圧迫の中断時間を最小限にする⁴⁾ために、チームによるACLS (Advanced Cardiovascular Life Support) の訓練が必須であること。

以上の課題が存在するため、都市圏における院外心停止傷病者12分以内に気管挿管を実施した場合のみ生存率が高い報告⁵⁾はあるが、他は否定的な報告が多い。よって、今日まで救急現場での気管挿管は、救命率の向上に明らかな優位性があると示されていない。

臨床と救急現場との差異

臨床は床面に段差がなくバリアフリーとなっている。また廊下や階段などはすれ違えることができる幅や広さが確保され、照明は明るく、騒音はない。

それに比べて救急の主な現場である住宅内の環境は臨床と大きく異なる。

まず住宅内全てにバリアフリーが施されていることはなく、空間も少人数に合わせた広さとなっているのがほとんどである。廊下や階段、トイレ、風呂場は傷病者の

他に二人侵入すれば身動きが取れなくなる。

さらに、住宅内は床面に医療従事者にとって障害物になるものが必ず存在するといっても過言でない。はたして天井から垂れ下がる障害物さえある。

病院前医療は、人力によって傷病者を持ち上げ、住宅内の狭隘な場所を曲りくねり、階層を昇降するのはもちろんのこと、進むべく暗い空間の中を自身の足元と頭部の空間を確認し、傷病者の発する音に聴覚を集中させながら搬送しなければならないのである。

傷病者搬送による頭頸部動揺について

私は以前、住宅内で発生した救急で、傷病者に挿入したLTが、口腔内から舌とともに排出しかけ、抜管しなければならない事案を経験している。

この原因として、傷病者をストレッチャーまで移動する間に頭部頸部動揺からチューブの正しい固定位置から外れ、舌とともにチューブが押し出された理由が推測された。

救急現場で傷病者を屋外に搬出するための用具として布担架を使用する機会が多い。(図10)

この布担架が頻回に使用される理由に、住宅内の搬出する際の動線が、人一人しか移動できない広さでも、布担架ならばある程度曲げ変形させることで傷病者を円滑に搬送できること、さらに担架の握りが把持しやすいとともに、軽量で現場に携行しやすいことに尽きる。

日本の住宅は、たとえ広大な住宅でさえ、一人の傷病者が倒れている場所へ二人以上の人近づけば、確実に狭隘な空間に化ける。意識レベルが低く、筋肉が弛緩した傷病者を布担架に載せて、階段を下り、風呂場やトイレから搬出するならば、頭頸部の動揺は避けられない。

他の搬送方法としてバックボードによる方法がある。バックボードはプラスチック製の板で変形を起こすことがないため、外傷傷病者を安静維持のまま搬送することに優れている。(図11)

しかしバックボードは、重く大きくかさ張り、狭隘な搬送経路で変形してはくれない。よって住宅内の桁形状の狭い通路では簡単に搬送困難状態に陥る。それを回避するためには、バックボードを立たせ気味にして小回りできるように移動するしかない。よって確実にバックボードで搬出できると判断できる事案ならともかく、無計画にバックボード搬送を選択すると、傷病者はもちろん住宅内の壁などを破損する恐れさえある。

以上、救急現場では、どの搬送資機材を選択したとし

でも傷病者を水平移動しながら搬送することは困難と言わざるを得ない。

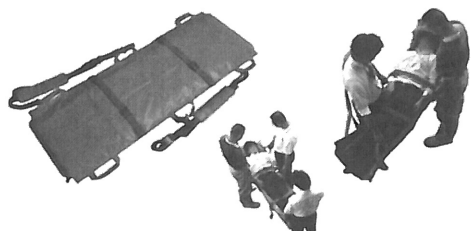


図10 左：布担架外観 中央・右：搬送例（株式会社ワコー商事弊社総合カタログVOL. 12より転載）

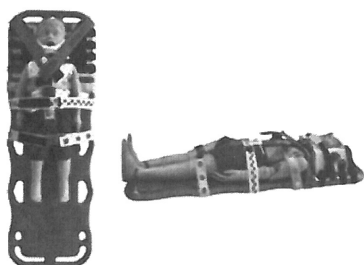


図11 バックボード固定例（小児）（株式会社ワコー商事弊社総合カタログVOL. 12より転載）

調査対象及び方法

気道管理トレーナー

人体に挿入したチューブの動きは観察できないため、気道管理訓練人形として気道管理トレーナー（Laerdal社製）を使用した。（図12）

気道管理トレーナーとは外観は成人男性で、肺や気管、気管支、食道、胃が付属され、頭部の内部は口腔、咽頭、喉頭、声帯などが人体に近いように造型されているもので、実際に頸部が屈曲伸展する。

よってバックバルブマスクによる人工呼吸や、気管挿管、声門上気道デバイスなどの呼吸管理資機材を実際に挿入できる訓練人形である。

なお、今回使用した気道管理トレーナーの頸椎最大伸展と最大屈曲を計測すると、約60度であった。（図12）

検証対象人工呼吸用チューブ

使用した気管チューブは、HUDSON RCI社製 SHERIDAN/HVT 6.5mm、LTはSMITHS社製VBMサイズ4を選択した。

各チューブは気道管理トレーナーの頸部の最大屈曲伸展中間位（30度）で正中位を保持して固定した。さらにKYゼリーを塗布し、チューブに掛かる摩擦を十分に軽減させた。

またチューブ2種とも、口歯側のチューブ固定はトーマスチューブホルダーによって行った。（図13）

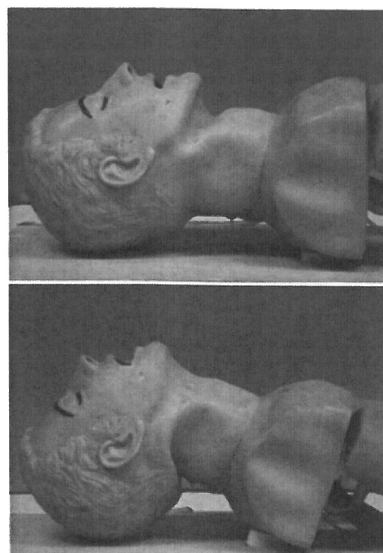


図12 Laerdal社製気道管理トレーナーを使用した頸椎屈曲位（上）、頸椎伸展位（下）

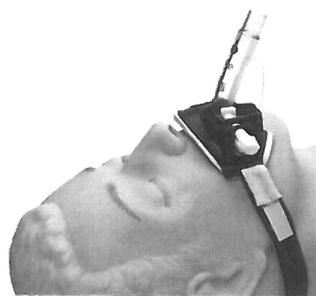


図13 トーマスチューブホルダー装着

観察方法

観察①

気管チューブを気管に挿入してトーマスチューブホル

人工呼吸用チューブが頭頸部動揺から受ける影響

ダーにより口唇側で固定し、気道管理トレーナーの頭頸部を屈曲、伸展させてチューブ先端の動きを観察した。

(図 14) なお、チューブと気管内の摩擦抵抗を軽減するためカフは膨らませずに観察した。

観察②

気管チューブを気管内でカフ固定させ、口唇部の固定は行わないまま頭頸部を屈曲、伸展させ、門歯を基準にしてチューブ末端部の動きを観察した。(図 15 上段)

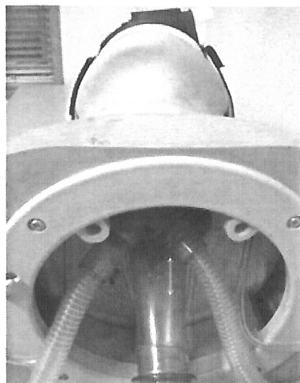


図 14 気管支分岐部付近のチューブ先端の動きの観察

観察③

LT を食道内へ挿入し、カフ固定させ、口唇部の固定は行わないまま頭頸部を屈曲、伸展させ、門歯を基準にしてチューブ末端部動きを観察した。(図 15 下段)

観察④

LT を食道に挿入し、カフへ規定量同量の水 80ml を注入して LT を咽頭口腔内に固定させ、頭頸部の最大伸展位と最大屈曲位で注入した水がそれぞれ 20ml 注射器外筒へ戻される量を計測した。(図 16)

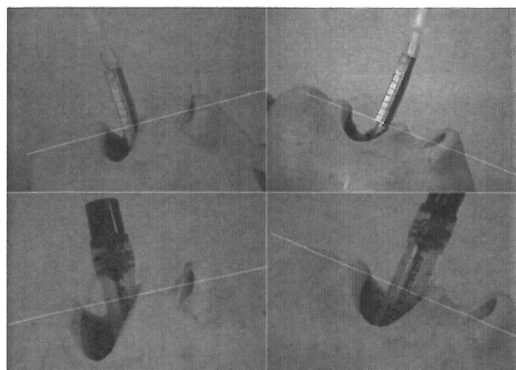


図 15 門歯付近でのチューブの動き 左上：頸部屈曲時の気管チューブ 右上：頸部伸展時の気管チューブ 右下：頸部屈曲時の LT 左下：頸部伸展時の LT

観察結果

観察①

気管チューブは、最大屈曲位になるにつれ気管支分岐部へ向かって 12mm 押し込まれた。

またチューブ先端部は、最大伸展位から最大屈曲位まで背面方向へ 14mm 弧を描くように移動した。(図 17 左)

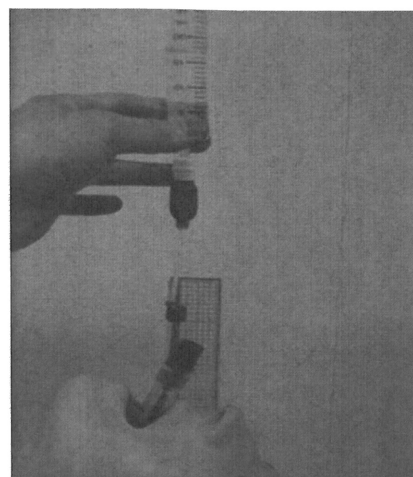


図 16 LT に水を注入し戻される水量の観察

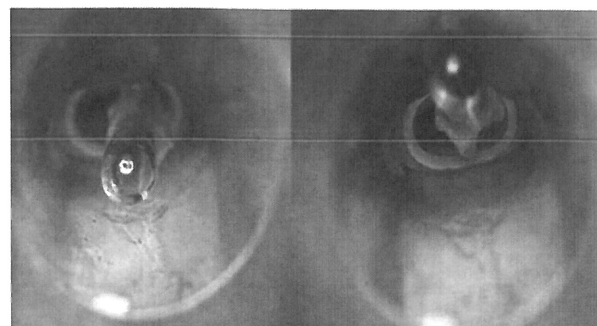


図 17 人工呼吸用チューブ先端部の移動 左：頸部屈曲時の先端 右：頸部伸展時の先端

観察②

気管チューブは、頭頸部の最大屈曲位から最大伸展位で、門歯から 26mm 口腔外へ脱出した。(図 15 上段)

観察③

LT も同じく、頭頸部の最大伸展位で、門歯から 12mm 口腔外へ脱出した。(図 15 下段)

観察④

LT カフに注入された水は、頭頸部の最大伸展位に注射器外筒へ 17ml 流入した。最大屈曲位には 22ml の流入を認めた。(図 16)

各観察項目とその結果を表 1 にまとめた。

表1 各観察結果

	各チューブの動き
観察① 気管チューブの カフ固定なし口 唇側の固定あ り。	<ul style="list-style-type: none"> ・最大伸展位～最大屈曲位で 12mm 気管支分岐部方向へ移動 ・頸部屈曲でチューブは口腔咽喉頭部で折れ曲がる。伸展位でチューブは直線状となる。 ・先端部は気管内背面へ 14mm 移動
観察② 気管チューブの カフ固定あり口 唇側の固定な し。	<ul style="list-style-type: none"> ・最大屈曲位～最大伸展位で 26mm 門歯から口腔外へ脱出。 ・頸部屈曲でチューブは口腔咽喉頭部で折れ曲がる。伸展位でチューブは直線状となる。
観察③ LT のカフ固定あ り口唇側固定な しで観察。	<ul style="list-style-type: none"> ・最大伸展位～最大屈曲位で 12mm 門歯から口腔外へ脱出。
観察④ LT のカフに注入 した水の流出量 の観察。	最大伸展位：17ml 流出。 最大屈曲位：22ml 流出。

考察

観察①

Laerdal 社製の気道管理トレーナーの頭頸部が最大伸展位から最大屈曲位の 60 度の間に、気管チューブ先端は 12mm 押し込まれた。

チューブが口唇側で固定されていることから、屈曲するにつれ門歯から気管支分岐部に続く気道の距離が短縮したことを示している。

観察②では観察①とは反対方向へ移動した。これは固定のないもしくは固定力の弱い方向へチューブは移動することを示す。

また気管チューブを気管内でカフ固定後、頸部を最大屈曲位にすると、口腔咽喉頭内でチューブ中央部が折れ曲がり、次に頸部を最大伸展位にすると口腔、咽頭、喉頭軸が直線状に近くなり、折れ曲げられたチューブ形状が直線に近くなるため、曲げられたチューブの余剰分が口腔外へ排出される。(図 18)

計測値が、観察①と観察②と数値が一致しないのは、

観察①で気管挿管チューブ中央部が曲げ変形したために差し引き 14mm の差ができたものである。

この 26mm の移動は気管チューブ先端位置が深ければ、片肺へ進入する動きとなる。反対に気管チューブ先端位置が声門近くで浅ければ、気管チューブが気管内から脱出する恐れもある。

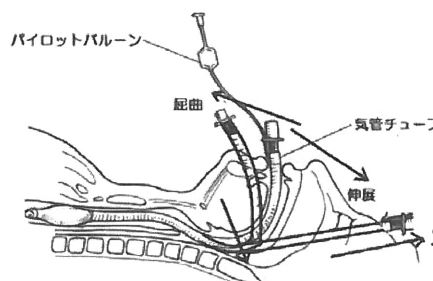


図 18 屈曲伸展時の気管チューブの動きと口腔咽喉頭内部で気管チューブが折れ曲げられた様子

先端部の動きは、頸椎が屈曲すると背面へ押され、伸展すると前面へ押された。これは屈曲時に気管チューブが咽頭壁方向に押し付けられ、伸展時には舌を前方へ圧排する動きとなりえる。もしチューブ挿入位置が浅ければ、喉頭蓋、喉頭蓋谷及び気管損傷⁶⁾や食道挿管する危険がある。

観察③は、LT でも頭頸部最大屈曲位に LT チューブが口腔外へ移動したため、門歯から食道までの距離が短縮したことを示している。

この現象は頸椎屈曲時に LT が、舌を押し付ける方向へ移動するため、舌の血行障害と換気時のエアリークを発生させる恐れがある。さらにカフとチューブで舌は圧排され、口腔から脱出する危険性を孕んでいる。舌が口腔外へ押し出されれば、舌がチューブ固定バンドに接触することにより固定が緩む危険がある。

よって観察①②③から、チューブは固定力のない(弱い)方向へ移動することを実証された。

観察④では、伸展時より屈曲時の数値が 5ml 上昇していることから、咽喉頭内腔が狭くなり LT のカフを圧迫していることを示す。

咽喉頭内腔は、頭頸部の動きに連動して変化するため内腔の変化は、LT カフとの間隙を生みエアリークを発生させるとともに、咽頭カフが舌を押しつけ、舌を圧排する。

本研究は、実際に人体で観察できないため、実際の人

体内部構造や機能、チューブとの摩擦抵抗は気道管理トレーナーと合致しない。例えば人体の舌は口腔咽頭内中央に大きく鎮座し、体位の変化から移動・変形するが、気道管理トレーナーの舌は、舌根から舌尖部まで口腔底で固定されているため動かない。さらに人体の頸椎は大きく回旋もするが気道管理トレーナーにはそれほどの可動域はない。加えて成人における頸椎関節可動域は屈曲伸展角度が約 110 度、回旋は 120 度、側屈は 100 度程といわれている。気道管理トレーナーは屈曲伸展角度が 60 度で、生体の約 2 分の 1 でしかなく、側屈を再現することはできない。

唐帆⁷⁾らは、頸部を回旋させると左右非対称に咽頭腔の形態的变化が現れると報告している。傷病者は姿勢によって口腔と咽頭内腔や舌は形態が変形するものであり、意識レベルの低下となれば筋肉が弛緩するため、さらに大きな形態変化となるであろう。

実際、傷病者搬送で布担架を使用すると、階段を下れば傷病者は頭頸部屈曲とともに上半身が傾斜に合わせて半座位に起こされ、狭隘な場所からの搬出は、頭頸部の回旋屈曲し、側屈さえ呈する。

矢野⁸⁾は咽頭気道前方の舌を含む軟部組織は側方の軟部組織に比べ大きく、仰臥位から側臥位へ体位変換すると重力から口腔、咽頭の形態変化があると述べている。

このことから水平仰臥位から頭部を上下させることで、口腔や咽頭軟部組織に水平位とはことなる重力の影響が加わるものと推測される。たとえバックボードで搬送しても水平搬送が維持できなければ、口腔咽頭軟部組織の形態変化は免れない。

よって実際の人体に挿入されたチューブにかかる力は本研究より複雑でダイナミックな動きとして現れると考えられる。結果、チューブに力が加わり、チューブの位置は移動して、気管チューブは誤挿管へ、声門上気道デバイスは口腔から脱出し換気異常（エアリーク）を引き起こす。

このように院外のチューブ類による気道確保は、傷病者搬送によってチューブ挿入時点とは必ず異なる状態になると捉えるべきであろう。

この危険から回避するためには、頭頸部の動揺を抑え、人工呼吸用チューブに加わる力を最小限にすべきである。そのために、どんな搬送器具を使用したとしても傷病者に頸椎カラーを装着させる必要がある。

さらにストレッチャーへの移動の際や病院到着時はもちろんのこと、常にチューブの状態を継続観察すること

が重要と考える。

結論

- 1・気道管理トレーナーに気管チューブとラリングアルチューブ・LTを挿入して、頸部の屈曲伸展からチューブにかかる影響を観察した。
- 2・頸椎を最大伸展位から最大屈曲位に可動すると、気管チューブは固定力の弱い方向へ移動しようとする。
- 3・頸椎を最大屈曲することにより、咽頭内腔が狭くなりLTの咽頭カフは、舌や咽頭内腔の形態変化から圧を受け、チューブの位置移動やエアリークを発生する危険がある。
- 4・救急現場における人工呼吸用チューブ挿入後の搬送は、頸椎カラーを装着して頸椎を安定させる必要がある。
- 5・院外での人工呼吸用チューブの使用は、搬送中に挿入時点とは異なる状態になると捉えて活動すべきである。

引用文献

- 1) 厚生労働省医政局指導課長，救急救命士の気管内チューブによる気道確保の実施に係るメディカルコントロール体制の充実強化について，(2004)．消防救第 58 号，別添。
- 2) 救急医学，(2003)，臨床研修医のための救急診療マニュアル VOL.27 NO.10，へるす出版，1114-1151。
- 3) 救急救命士教育研究，(2003) 除細動・気管挿管 救急救命士標準テキスト追補版，へるす出版，49-50。
- 4) 日本 ACLS 協会 (2016) AHA 心肺蘇生と救急心血管治療のためのガイドライン 2015 ハイライト <https://eccguidelines.heart.org/wp-content/uploads/2015/10/2015-AHA-Guidelines-Highlights-Japanese.pdf>, (2016.9.8)
- 5) Shy BD, Rea TD, Becker LJ, Eisenberg MS. *Time to intubation and survival in Prehospital cardiac arrest*. Prehospital Emerg Care.2004; 8:394-399.
- 6) 田中秀治，(2004) 気管挿管インストラクターハンドブック，東京法令出版，36-37。
- 7) 唐帆健，(1997) 頸部回旋による咽頭の形態的变化および嚥下機能の変化，日気食会報 48(3)，242-248。
- 8) 矢野敏之他，(2011) 側臥位がラリングアルマスクの気道シールに及ぼす影響 プロシールとフレキシブルとの比較，日本麻酔科学会 日臨麻会誌，Vol.31 No.7，971-979。

Influence on endotracheal tube by head and neck agitation.

Measurement result used the airway management trainer.

Taichi Itou

Keywords: tracheal intubation, supraglottic airway devices, laryngeal tubes, head and neck agitation