

I. 総説

I. 1 気管挿管をめぐる最近の動向

田中 修

神戸市立西神戸医療センター 院長

要旨

長期に渡る対策が功を奏し、手術室での気道トラブルは減少した。しかし、手術室外においては未だ課題が多い。そこで、気管挿管をめぐる最近の文献を調査し、現状と動向を概説する。集中治療室での気管挿管には、MACOCHA スコアや気管挿管バンドルの使用が勧められている。呼吸不全患者の挿管前の酸素化（前酸素化）には非侵襲的陽圧換気が有効で、挿管操作中は無呼吸酸素化が推奨される。ビデオ喉頭鏡は声門部の視認性に優れ、小型化、低価格化により普及しているが、各医療現場では適正使用に向けた教育が重要である。上気道エコーによる気管チューブの位置確認は感度、特異度共に高く、習得も容易なため普及が望まれる。困難気道管理ガイドラインの登場により、アルゴリズムに沿った気道管理が実施されている。医療従事者は、“cannot intubate and cannot oxygenate” (CICO) シナリオを念頭に置き、的確に対処できなければならない。

キーワード：気管挿管、ビデオ喉頭鏡、上気道エコー、無呼吸酸素化、困難気道

(神戸市立病院紀要 56 : 1 - 13, 2017)

Recent trends in tracheal intubation

Osamu Tanaka

Director, Kobe City Nishi-Kobe Medical Center, Kobe, Japan

Abstract

Continuous efforts have decreased the incidence of serious airway complications in the operating room, but it remains high for tracheal intubation out-of-operation room. To reduce prevent life-threatening complications following tracheal intubation, pre-oxygenation techniques and intubation algorithms have been developed. The MACOCHA score (Mallampati III or IV, obstructive apnea syndrome, cervical spine limitation, mouth opening less than 3 cm, coma, hypoxemia, non-anesthesiologist) can identify patients at risk of difficult intubation and prepare for a difficult airway scenario in the intensive care unit. Non-invasive positive pressure ventilation (NIPPV) is effective for pre-oxygenation in patients with respiratory failure. Adding apneic oxygenation to NIPPV is recommended during tracheal intubation, to prevent severe oxygen desaturation. Video laryngoscopy offers a superior view compared to conventional direct laryngoscopy. The improvement in portability and price reduction have spread the use of video laryngoscopy to assist tracheal intubation, training programs for its proper use may be needed. Ultrasonographic scanning of the neck at the level of suprasternal notch can assess tracheal tube position and detect esophageal intubation with very high specificity and sensitivity. Widespread availability of ultrasonography in emergency medical field may facilitate upper airway ultrasound scan to become the first-line non-invasive airway assessment method. Tracheal intubation should be properly performed following the emergency algorithm proposed by recently formulated guidelines for difficult airway management, with recognition of “cannot intubate and cannot oxygenate (CICO)” .

Key words: tracheal intubation, video laryngoscopy , upper airway ultrasound, apneic oxygenation, difficult airway

(Kobe City Hosp Bull 56 : 1 - 13, 2017)

はじめに

1990年、米国の麻酔関連訴訟の調査で、死亡や脳死に至った原因は気道トラブルが大半であったと報告され、それを契機に安全な気道管理に向けた取り組みが加速した。米国麻酔科学会が1993年に「困難気道管理に関する診療ガイドライン」を発表し、麻酔科医はアルゴリズムに沿って気道管理ができるようになった¹⁾。また、シミュレータでのトレーニング、困難気道の術前チェックリスト、パルスオキシメータとカプノグラムの完備、声門上器具やビデオ喉頭鏡の開発など、多くの安全対策が施されてきた。以上の対策が効を奏し、手術室では気道確保に起因する致死の有害事象は減少した。しかし、手術室外の気管挿管では、施行者の習熟度、患者の状態、医療環境などに問題があり、安全な気道確保に向けて多くの研究がなされている²⁾。本稿では、気管挿管をめぐる最近の文献を調査し、現状と動向を概説する。

I. 集中治療室における気管挿管の危険性

集中治療室では患者の容態が不安定なため、気管挿管時に重篤な合併症が発生しやすく、死亡率も高い。気管挿管に伴う陽圧換気が心血管虚脱を誘発するため、陽圧の強さと挿管操作の回数が危険因子となる。そのため、挿管困難であれば死亡のリスクが高くなる³⁾。Jaberらの報告によると、28%の症例で重篤な合併症が発生しており、急性呼吸不全とショックが危険因子であった⁴⁾。Mortの報告では、気管挿管中に2%の患者が心停止をきたしている。そのうちの83%で酸素飽和度 (SpO₂) が70%以下に低下し、63%で食道挿管、67%で胃液の逆流を認めている⁵⁾。最近の多施設観察研究では、重篤な心血管虚脱が29.8%に発生し、危険因子として高齢、急性呼吸不全があげられている⁶⁾。挿管操作の回数と合併症との関係を調査した研究では、約10%の症例が3回以上の挿管操作を受けており、手術室よりも挿管困難が多いことを示している⁷⁾。そして、これらの症例では低酸素血症、食道挿管、胃液の逆流、誤嚥、徐脈、心停止など、重篤な合併症が多く発生している⁷⁾。特に肥満患者については、手術室での挿管と比較して挿管困難の頻度が約2倍、重篤な合併症の発生率は約20倍と報告されている⁸⁾。Mosierらは気管挿管のリスクを高める状態として、低酸素血症、低血圧、重度の代謝性アシドーシス、右心不全を指摘し、これらを生理学的困難気道と命名して注意を促している⁹⁾。集中治療室での安全な気管挿管のために、挿管難易度を予測する

MACOCHAスコア (表1) の使用や気管挿管バンドル (表2) に沿った気道管理が勧められている^{10,11)}。

表1 MACOCHA score calculation worksheet¹⁰⁾

Points	
Factors related to patient	
Mallampati score III or IV	5
Obstructive sleep apnea syndrome	2
Reduced mobility of cervical spine	1
Limited mouth opening < 3 cm	1
Factors related to pathology	
Coma	1
Severe hypoxemia (< 80 %)	1
Factor related to operator	
Non-anesthesiologist	1
Total	12

Coded from 0 to 12, 0 = easy, 12 = very difficult

表2 Intubation care bundle management¹¹⁾

PRE-INTUBATION	
1. Presence of two operators	
2. Fluid loading (isotonic saline 500 ml or starch 250 ml) in absence of cardiogenic edema	
3. Preparation of long-term sedation	
4. Pre-oxygenate for 3 min with NIPPV in case of acute respiratory failure (FiO ₂ 100 %, pressure support ventilation level between 5 and 15 cmH ₂ O to obtain an expiratory tidal volume between 6 and 8 ml/kg and PEEP of 5 cmH ₂ O)	
PER-INTUBATION	
5. Rapid sequence induction: etomidate 0.2–0.3 mg/kg or ketamine 1.5–3 mg/kg combined with succinylcholine 1–1.5 mg/kg in absence of allergy, hyperkalemia, severe acidosis, acute or chronic neuromuscular disease, burn patient for more than 48 h and medullar trauma	
6. Sellick maneuver	
POST-INTUBATION	
7. Immediate confirmation of tube placement by capnography	
8. Norepinephrine if diastolic blood pressure remains < 35 mmHg	
9. Initiate long-term sedation	
10. Initial 'protective ventilation': tidal volume 6–8 ml/kg, PEEP < 5 cmH ₂ O and respiratory rate between 10 and 20 cycles/min, FiO ₂ 100 % for a plateau pressure < 30 cmH ₂ O	

NIPPV non-invasive positive pressure ventilation, PEEP positive end expiratory pressure, FiO₂ inspired fraction of oxygen

II. 気管挿管時の酸素化

集中治療室での気管挿管の合併症は、挿管操作中の低酸素血症に起因するものが多い。動脈血酸素飽和度の70%以下への低下は、容態の悪化や死亡の原因となる⁵⁾。挿管操作中の低酸素血症を予防するには、前酸素化と無呼吸酸素化が有効である^{9,12)}。

1. 前酸素化

前酸素化の目的は、機能的残気量に存在する窒素を酸素に置き換え、体内の酸素貯蔵量を増加することにある。健康成人が100%酸素を3分間吸入すると、呼吸終末酸素濃度が90%に達し、無呼吸で約8分間90%以上の動脈血酸素飽和度を維持できる (無呼吸耐容時間)¹³⁾。しかし、貧血、代謝亢進、呼吸・循環不全、機能的残気量の減少のような状態では、無呼吸耐容時間が短縮する。例えば肥満患者では約2.7分間であ

る¹⁴⁾。有効な前酸素化には、 FiO_2 の上昇と機能的残気量の増加が必要である。一般の非再呼吸式リザーバマスクでは、酸素流量15L/分を投与しても FiO_2 は60~70%以上に達しない。30~60L/分では FiO_2 が90%付近に上昇するため、30L/分以上の高流量を投与するのが望ましい¹²⁾。3~4分間の酸素吸入によっても SpO_2 が93%以上に達しなければ、挿管操作中に低酸素血症をきたす可能性が高い¹⁵⁾。この場合、生理学的シャントの増加が原因であるため、機能的残気量を増加させる必要がある。具体的には、逆トレンデレンブルグ体位(約20°)で、5~10cmH₂Oの持続的気道陽圧(Continuous Positive Airway Pressure:CPAP)あるいは呼気終末陽圧(Positive End Expiratory Pressure:PEEP)併用のNIPPVを実施する^{16,17)}。また、60L/分のHigh flow nasal cannulae (HFNC)による前酸素化が有効であるとの報告があり¹⁸⁾、今後の検証が期待される。

2. 無呼吸酸素化

無呼吸酸素化は新しい概念でないが、近年になって興味深い臨床研究が報告されている。無呼吸の成人では、1分間に約250mlの酸素が肺胞から肺毛細血管に取り込まれ、8~10mlの二酸化炭素が肺胞に排出される。肺胞を出入りする気体容量の差により肺胞内に最大20 cmH₂Oの陰圧が発生し、咽頭から肺胞への気体の流れを生じさせる^{19,20)}。この現象は無呼吸酸素化

と呼ばれ、臨床的には脳死判定や気管支鏡の処置などで利用されている。無呼吸酸素化には、咽頭部の高濃度酸素と酸素が気管内に流入するための気道確保が必須である。

筋弛緩薬投与下での気管挿管では、挿管に手間取ると低酸素血症のリスクが増大する。そのため無呼吸耐容時間の短い患者では、挿管操作中の無呼吸酸素化が推奨されている。Weingartらは、15L/分の酸素を鼻カニューラから投与する方法を勧めている¹²⁾。この方法により挿管操作中の低酸素血症の発生率が対照群よりも6.1%減少したという報告もあるが²¹⁾、その後のランダム化比較試験では鼻カニューラ15L/分の有効性は証明されていない²²⁾。Heardらは、肥満患者において3.5mm Ring-Adair-Elwyn (RAE) チューブで口腔内に10L/分の酸素を投与し、 SpO_2 が95%以下になるまでの時間を検討した。対照群の296秒に対して、無呼吸酸素化群の多くが750秒を超え、経口的酸素投与による無呼吸酸素化の有用性が示された²³⁾。HFNCによる無呼吸酸素化についても検討されている。Miguel-Montanesらは、軽度~中等度の低酸素血症患者において60L/分のHFNCが挿管操作中の SpO_2 の低下を軽減したと報告しているが²⁴⁾、Vourc'hらによる同様の研究では有意差を認めていない²⁵⁾。困難気道が予測される症例に対して、Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) (図1)で70L/分の酸素を持続投

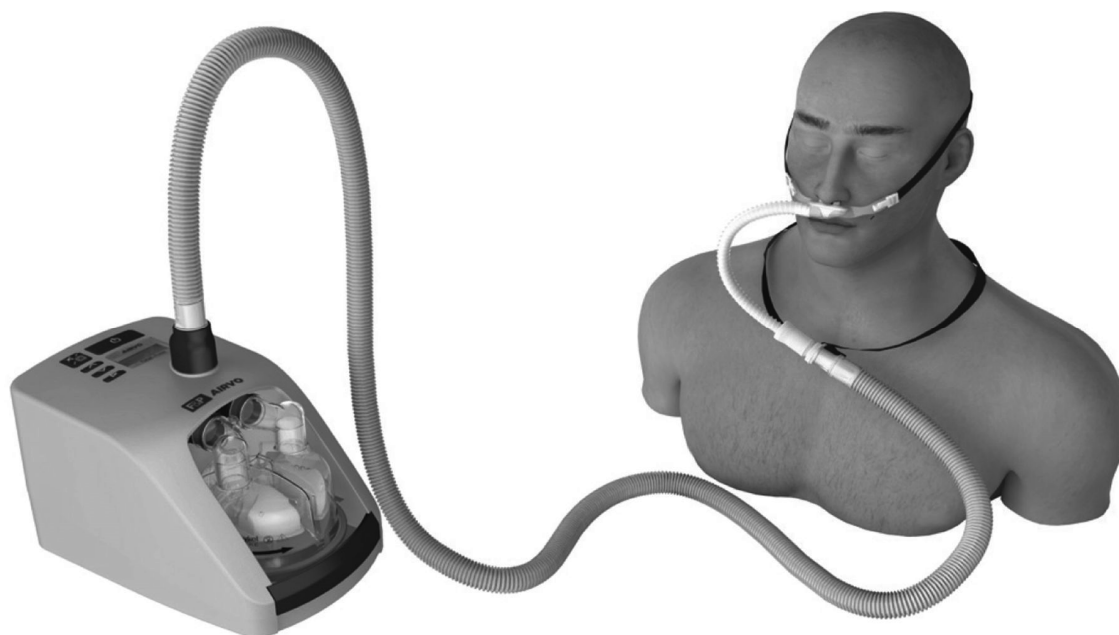


図1 Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE)

与した研究では、無呼吸時間の平均が約17分間に達したが、全症例で90%以上の酸素飽和度を維持し、高炭酸ガス血症による不整脈やその他の合併症を認めていない²⁶⁾。HFNCによる無呼吸酸素化には、CPAPによる酸素化の改善や死腔の減少による換気効果もあり、今後の臨床的検討が期待されている。手術室、集中治療室、救急外来、プレホスピタルの領域での無呼吸酸素化の利用を調べた記述レビューによると、無呼吸酸素化は鼻プロング、鼻咽頭カテーテル、気管内カテーテル、喉頭鏡の使用など様々な方法で実施されている。19件の研究のうち16件は無呼吸酸素化が無呼吸耐容時間を延長し、SpO₂の低下を抑制したと報告している。しかし、研究の大半は規模が小さく、有害事象を検出する証明能力のないものであった。また、長時間の無呼吸酸素化には高炭酸ガス血症をきたすリスクがあり、頭蓋内圧の上昇、代謝性アシドーシス、高カリウム血症、肺高血圧症などを合併している患者では避けるべきであると述べている²⁷⁾。

Ⅲ. ビデオ硬性挿管用喉頭鏡 (ビデオ喉頭鏡)

30年前までの麻酔科医にとって、気道確保と酸素化の手段はバグマスクと直接喉頭鏡による気管挿管だけであった。しかし、現在ではいくつかの代替手段が出現している。LMA (laryngeal mask airway) を代表とする声門上器具、気管挿管用LMA、ゴムエラストックブジー、気管支ファイバースコープ、改良型

ブレード、ビデオ喉頭鏡などがあげられる。これらの器具のうち、1990年代後半に登場したビデオ喉頭鏡は、声門部の視認性に優れ、手技の習熟も容易であるため近年急速に普及している。マッキントッシュ型喉頭鏡では頭頸部をスニッフィングポジションに維持し、舌と軟部組織を牽引することで声門部が観察できる。視野の妨げになるのは視線よりも前方に位置する舌・下顎・喉頭蓋 (前部障害物) と後方に位置する上顎の歯・上顎 (後部障害物) である。後部障害物は頭部の後屈によって避けることができるが、前部障害物は時に視野の障害となる。以上の理由から頸部の可動域制限、開口障害、巨舌などが存在すればマッキントッシュ型喉頭鏡による喉頭展開は困難になる。喉頭鏡先端部にあるCCDカメラの映像をモニター画面で見ながら挿管するビデオ硬性挿管用喉頭鏡は、声門部の視認性が従来の直視型喉頭鏡に比べて格段に優れており、多くの医療現場でその有用性が評価されている。現在、次の3つのタイプが発売されている²⁸⁾。

マッキントッシュ型 (図2)

マッキントッシュ型ブレードの先端部にカメラを搭載したタイプで、従来の直接喉頭鏡と同様の手技で挿管できる。C-MAC[®] (Karl Storz, Tuttlingen, Germany) と McGrath[®] MAC (Covidien, Mansfield, MA, USA) がある。



C-MAC



McGrath MAC

図2 Macintosh type video-laryngoscope

湾曲が強いブレード型（図3）

マッキントッシュ型ブレードの曲がりをより強くしたもので、不十分な頭頸位でも声門部が視認できる。口腔の正中方向に挿入するが、舌根部の圧排は行わない。ブレードの湾曲部が気管チューブを挿入する操作の妨げとなり、声門部が視認できていても気管チューブを気管

内に誘導できないことがある。このためスタイレットをブレードの湾曲に沿うような形に曲げておく必要がある。このタイプの喉頭鏡には、GlideScope®（Verathon Medical, Bothell, WA, USA）と C-MAC® D-BLADE（Karl Storz, Tuttlingen, Germany）およびMcGRATH® MAC X-BLADE（Covidien, Mansfield, MA, USA）がある。



Glidescope

McGRATH MAC X-Blade

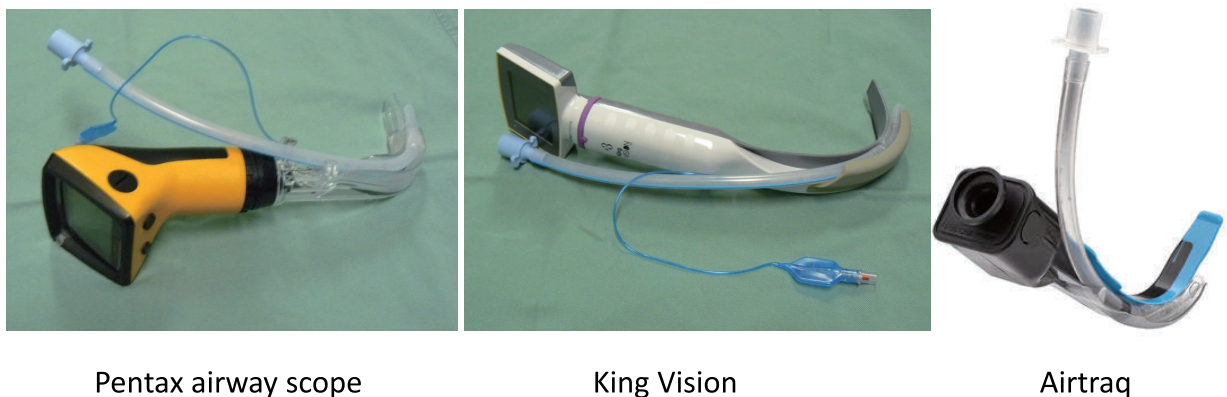
C-MAC D-Blade

図3 Angulated type video-laryngoscope

チューブチャンネル型（図4）

気管チューブを声門に誘導するガイドチャンネルを有したビデオ喉頭鏡である。あらかじめ気管チューブをガイドチャンネルに装着しておき、口腔の正中方向に挿入するが、舌根部の圧排は行わない。Airway Scope®（Hoya Corporation, Tokyo, Japan）とKing Vision®（King Systems; Noblesville, USA）そしてAirtraq®（Prodal, Meditec, Viczaya, Spain）が発売されている。King Vision®とAirtraq®は気管チューブが下方に進むた

め、ブレードの先端を喉頭蓋谷に置き、間接的に喉頭蓋を挙上する方法が推奨されている。一方Airway Scope®は気管チューブが上方に進むため、ブレードの先端で喉頭蓋を直接持ち上げて、モニター画面のターゲットマークに声門の中心を合わせる必要がある。チューブチャンネル型のビデオ喉頭鏡は、マッキントッシュ型喉頭鏡での経験の多寡に関係なく、短時間で習得できることが報告されている²⁹⁾。



Pentax airway scope

King Vision

Airtraq

図4 Tube channel type video-laryngoscope

1. 麻酔症例での検討

気管挿管の主な合併症として、挿管困難、食道挿管、誤嚥、気道損傷があげられる。特に“cannot ventilate and cannot intubate” (CVCI) あるいはCICOに陥ることが麻酔科医にとって最も深刻な状況である。その場合、同じ方法に固執すると重大な結果に繋がることが示されており、早急に他の方法へ変更することが推奨されている³⁰⁾。ビデオ喉頭鏡は喉頭展開が困難な麻酔症例においては、挿管の成功率、声門の視認性、挿管に要した時間、いずれも従来のマッキントッシュ型喉頭鏡よりも優れているとする報告が多い^{31,32)}。麻酔症例では施行者が気管挿管に熟練した麻酔科医であるため、ビデオ喉頭鏡の優位性は喉頭展開が難しい症例に限定されるようだ。

手術室外で緊急に気管挿管が必要な症例は、予定手術の患者よりも全身状態が悪く、挿管難易度の高い症例が多い(約10%)。ビデオ喉頭鏡の有用性については、手術室以外の医療現場においても検討されている。

2. プレホスピタルでの検討

プレホスピタルでは、スニッフィングポジションがとれない頸椎損傷の患者や口腔内に出血や胃内容物の逆流がある患者など、挿管困難が予測される場面が多い。また、施行者が麻酔科医のような挿管の熟練者でないという問題もある。ビデオ喉頭鏡は声門部の視認性に優れ、複数の者が気管チューブの声門通過をモニター画面で確認できるという利点がある。一方、分泌物や出血あるいは吐物でビデオ喉頭鏡のレンズが汚染されると却って気管挿管が困難になる。マッキントッシュ型のC-MAC[®]における研究では、気管挿管の成功率は100%で、99.1%が試行回数2回以内で成功している。また、声門の視認性は直視下よりもモニター画面が優れていたと報告されている³³⁾。McGRATH[®] MACを用いた麻酔科医による気管挿管では、初回成功率が80.8%、最終成功率が98.9%で直接喉頭鏡との差を認めなかったが、筋弛緩薬を使用したrapid sequence intubation (RSI)においては初回成功率が88.9%から94.4%と有意に改善した³⁴⁾。チューブチャンネル型のAirtraq[®]を用いた研究では、Airtraq[®]群の成功率が47%で、直接喉頭鏡の99%よりも低かった。失敗の原因は出血や吐物によるレンズ汚染、気管チューブの声門部への誘導困難などであった³⁵⁾。Wayneらは、GlideScope[®]と直接喉頭鏡を比較し、初回成功率、挿管に要した時間共にGlideScope[®]群が優れていたと報告している³⁶⁾。一方Trimmelらは、GlideScope[®]群の初

回成功率が61.7%で直接喉頭鏡群の96.2%より低かったことを示し、失敗の原因はAirtraq[®]と同様に、出血や吐物によるレンズ汚染、気管チューブの声門部への誘導困難などであったと報告している³⁷⁾。レンズ汚染が生じやすいプレホスピタルの気管挿管では、直視型喉頭鏡が有利な症例も多いことに留意する必要がある。

わが国で開発されたAirway Scope[®]の研究では、気管挿管の実施経験が全くない救急救命士でもAirway Scope[®]を用いることによって予定手術患者67例のうち65例で気管挿管に成功している(成功率97%)。これに基づいて平成23年8月1日付の『「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」等の一部改正について』(消防救第217号・医政指発0801第3号)において、Airway Scope[®]の使用が承認されている³⁸⁾。

3. 救急外来での検討

救急外来での気管挿管は、施行者の習熟度や医療環境の面でプレホスピタルよりも安全性が高い。救急外来において、初回の挿管失敗に続く2回目の挿管では、C-MAC[®]群で成功率が82.3%、直接喉頭鏡群が61.7%とC-MAC[®]が優れていた³⁹⁾。喉頭展開困難のリスクを有する症例においても、ビデオ喉頭鏡の有用性が示されている⁴⁰⁾。しかし、シニアレジデントが施行したC-MAC[®]と直接喉頭鏡とのランダム化比較試験では、C-MAC[®]の優位性は証明されなかった⁴¹⁾。また、熟練の麻酔科医が施行したランダム化比較試験においても、C-MAC[®]と直接喉頭鏡とで初回成功率に差を認めなかった⁴²⁾。救急外来でのビデオ喉頭鏡の有用性については、施行者の習熟度が大きく影響する結果となっている。

4. 集中治療室での検討

既述のように、集中治療室での気管挿管は重篤な合併症をきたしやすい。また、非熟練医師が挿管することも多く、ビデオ喉頭鏡の効果が期待されている。観察研究ではあるが、ビデオ喉頭鏡と直接喉頭鏡との比較では、初回成功率で80.4%vs 65.4%、10%以上のSpO₂低下の発生率で18.3%vs 25.9%、食道挿管の発生率で2.1%vs 6.6%とビデオ喉頭鏡が成功率と合併症の発生率で優れていた⁴³⁾。GlideScope[®]と直接喉頭鏡を比較したランダム化試験では、初回成功率が74%vs 40%とGlideScope[®]群の方が有意に高かったが、合併症の発生率には差を認めなかった⁴⁴⁾。しかし、McGRATH[®] MACと直接喉頭鏡とのランダム化比較

試験では、初回成功率は67.7%vs 70.3%で有意差がなく、所要時間も両群共に3分（中央値）と差を認めなかったが、低酸素血症や心停止などの重篤な合併症の発生率は9.5%vs 2.8%とMcGRATH[®] MAC群で有意に高かった。合併症が多い理由は不明であるが、ビデオ喉頭鏡群では気管チューブの誘導に時間を要した症例が多いことや喉頭展開中の気道開通が不十分で早期に低酸素血症をきたした可能性が推測されている⁴⁵⁾。集中治療室において、ビデオ喉頭鏡による挿管失敗の原因は、血液の存在、気道の浮腫、肥満、頸部の非可動性などが指摘されている⁴⁶⁾。また、ビデオ喉頭鏡を使用した気管挿管において咽頭部の損傷が報告されており、気管チューブの口腔から咽頭部までの挿入は直視下で行うことが勧められている⁴⁷⁾。

5. 心肺蘇生での検討

GlideScope[®] と直接喉頭鏡を比較したランダム化試験では、初回成功率と挿管に要した時間に差を認めなかったが、心マッサージの中断時間はGlideScope[®] 群で有意に短く（0.0秒vs 4.0秒）、10秒以上中断した頻度も0.0%vs 26.1%とGlideScope[®] 群で有意に少なかった⁴⁸⁾。非熟練の施行者を対象とした研究では、GlideScope[®] と直接喉頭鏡を比較して、初回成功率は91.8%vs 55.9%、挿管に要した時間は37秒vs 62秒、心マッサージの中断時間は0秒vs 7秒とすべてにおいてGlideScope[®] 群が優れていた⁴⁹⁾。直接喉頭鏡での視野角は約15度であるが、ビデオ喉頭鏡は40~60度と格段に広いため、心マッサージ中でも声門の視認性が維持されやすいと推測される。

6. 個人防護具着用中での検討

レベルC個人防護服を着用した場合の研究を紹介する。すべてマネキン人形を使用した研究である。個人防護服を装着すると挿管に要する時間がAirway Scope[®] 群で14.2秒から18.2秒に増加し、直接喉頭鏡群では22.2秒から26.4秒に増加した。Airway Scope[®] 群では個人防護服の着用下でも、未着用の直接喉頭鏡群より容易に挿管できたと報告している⁵⁰⁾。非熟練の救急医療従事者を対象とし、GlideScope[®] とKing Vision[®] および直接喉頭鏡を比較した研究では、挿管に要した時間はGlideScope[®] 群で35.82秒、King Vision[®] 群で29.87秒、直接喉頭鏡群で25.69秒であり、有意差を認めなかった。使用満足度はチューブチャンネル型のKing Vision[®] 群が他の2群よりも高かった⁵¹⁾。レジデントが施行者となった研究では、挿管に要した時間はGlideScope[®] 群と

直接喉頭鏡群で差を認めなかったが、GlideScope[®] の容易性と直接喉頭鏡の実用性を指摘し、災害時には両方の手段が必要であるとしている⁵²⁾。

7. 意識下挿管での検討

Rosenstockらは、挿管困難が予想された症例において意識下経口挿管でMcGRATH[®] MACと気管支ファイバースコープを比較し、所要時間、初回成功率、施行者による難易度評価、患者の苦痛度が同等であったと報告している⁵³⁾。意識下経鼻挿管でのC-MAC[®] D-BLADEと気管支ファイバースコープの比較では、所要時間の中央値は38秒vs 94秒とC-MAC[®] D-BLADE群の方が短く、挿管の成功率、患者および施行者の満足度に差を認めなかった⁵⁴⁾。困難気道が予想される肥満患者での意識下経口挿管においても、GlideScope[®] 群と気管支ファイバースコープ群で所要時間、初回成功率、声門の視認性に差を認めていない⁵⁵⁾。意識下挿管におけるビデオ喉頭鏡の有用性は多くの研究で報告されており、気管支ファイバースコープの代替手段として期待されている。

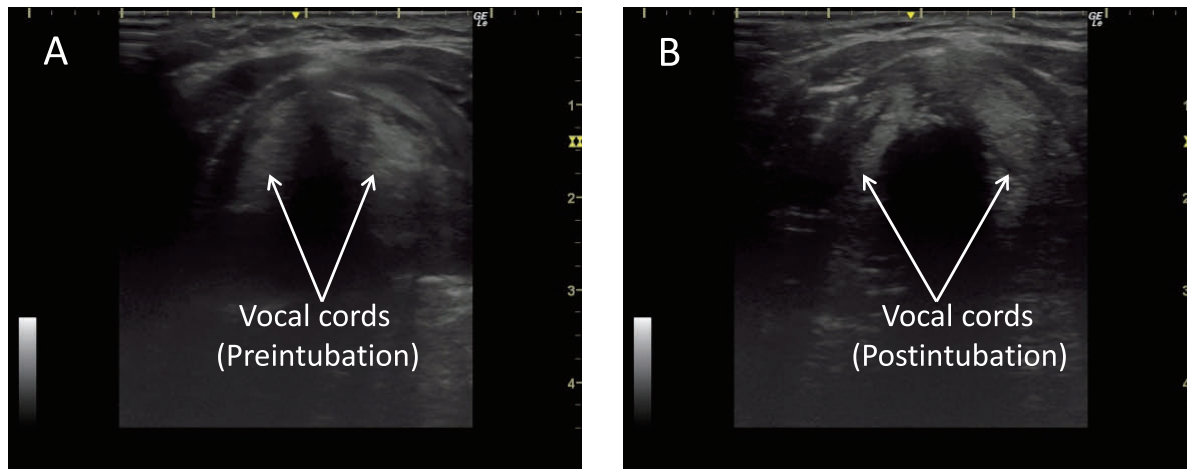
IV. 上気道エコー

近年、超音波機器の性能や携帯性が向上したこともあり、超音波検査が麻酔・集中治療領域に浸透している。気管挿管に関係する超音波検査では、挿管困難の予測や気管チューブの位置確認などが検討されている。Adhikariらは、甲状舌骨間膜部における皮膚-喉頭蓋間の距離が喉頭展開の難易度に関係するとし、カットオフ値が2.8cmであったと述べている⁵⁶⁾。Wojtczakは、肥満患者で舌骨-頤間の距離を頸部伸展位と頸部中間位で測定し、その比率が喉頭展開の困難な患者では有意に低かったと報告している⁵⁷⁾。超音波検査による挿管困難の予測については多くの研究がなされているが、ほとんどがパイロット研究であるため、系統的、大規模研究が望まれている。

気管挿管の確認はカプノグラフィーと聴診が標準である。しかし、心停止あるいは気管支収縮で呼気中の炭酸ガスが明瞭に測定できない状況や、騒音あるいは心マッサージで聴診が困難な状況では超音波検査による位置確認が有用である。また胃充満でRSIを施行した際、食道に送気することなく確認できることも利点である。超音波検査では、気管チューブは深部に続く音響陰影を伴う高エコーラインとして確認できる。Abbasiらは、挿管時に輪状甲状膜部で声帯を描出してチューブの通過を確認する方法（図5に自験例での画

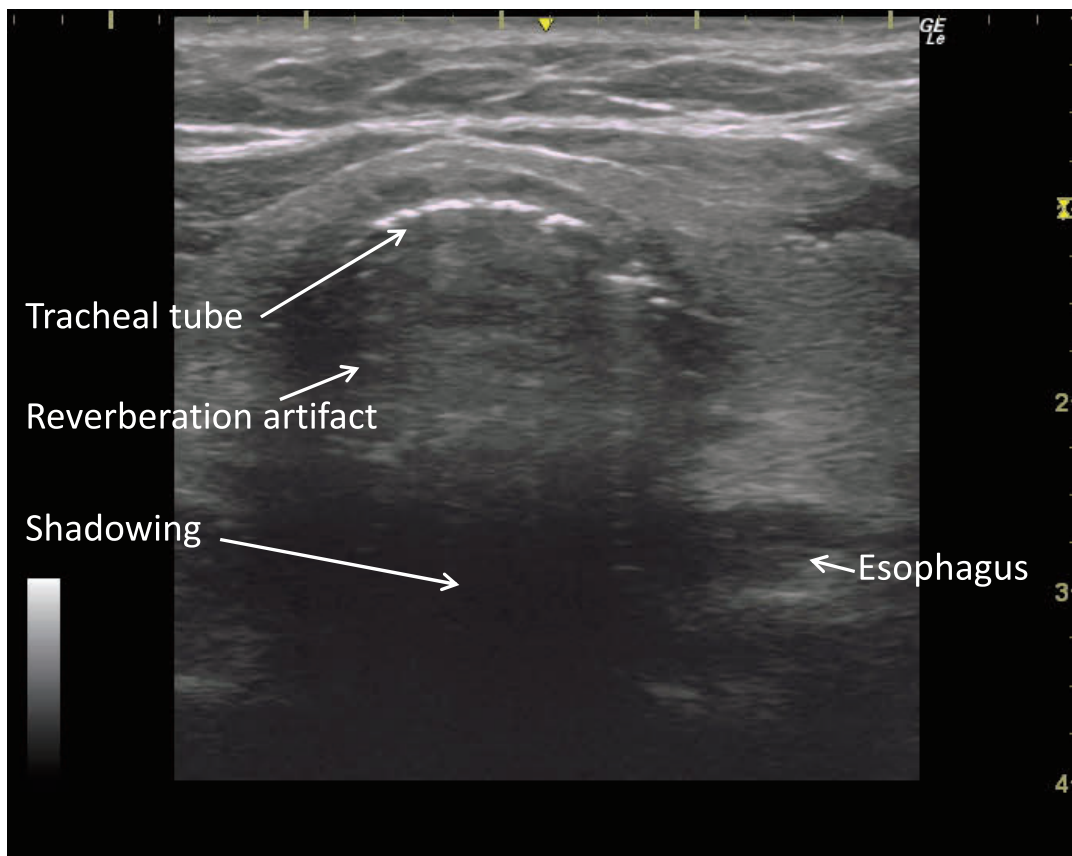
像を示す)と、胸骨切痕部で気管と食道を同時に描出して確認する方法(図6に自験例での画像を示す)の両方を用いた結果、気管挿管の検出感度が98.1%、特異度が100%、陽性的中率が100%、陰性的中率が

85.7%であったと報告している⁵⁸⁾。食道挿管は胸骨切痕部において“まるで2本の気管が存在するような所見(double tract sign)”で確認できる。



A : Transcricothyroid membrane ultrasound examination showing triangular appearance.
 B : Ultrasonography during endotracheal intubation as the endotracheal tube passes through the trachea, its triangular appearance changes to take on a round appearance.

図5 Triangular sign



Images are generated by placing a high-frequency linear transducer in the transverse position at the level of the suprasternal notch. Tracheal intubation is confirmed by visualizing a new hyperechoic structure with reverberation artifact and distal shadowing deep to the tracheal surface.

図6 An ultrasound image of tracheal intubation

また、肺が換気されると“臓側胸膜が呼吸運動で水平方向に動く所見（lung sliding）”（図7に自験例での画像を示す）が認められる。Parkらは救急外来での研究で、輪状甲状膜部でのチューブの通過と肺エコーでの“lung sliding”の両方を評価し、気管挿管の検出感度が96.3%、特異度が100%、陽性的中率が100%、陰性的中率が75%であったと報告している⁵⁹⁾。

超音波検査は迅速性、携帯性、非侵襲性、経済性、再現性において優れている。上気道エコーについては、現在多くの研究結果が集積されており、気道管理における標準的な診断手技になる日も近い。

V. 麻酔中の困難気道管理ガイドライン

米国麻酔科学会が1993年に「困難気道管理に関する診療ガイドライン」⁶⁰⁾を発表して以来、他の国々でも麻酔科学会が中心となって困難気道管理ガイドラインを作成している。気道確保中に換気不能・挿管不能（CVCI）あるいは挿管不能・酸素化不能（CICO）の状況に陥った際、患者を救済するためのシナリオが示されている。声門上器具による酸素化の試みと最終手段の外科的気道確保は共通しているが、途中のシナリオは各ガイドラインで異なっている。

1. 日本麻酔科学会：気道管理ガイドライン2014⁶¹⁾

カプノグラムの波形により換気状態を3区分に分けて評価することが特徴である。正常波形では換気正常な“グリーンゾーン”、第Ⅲ相が欠落している場合は換気が正常でない“イエローゾーン”、全く波形を認めない場合は換気が異常な“レッドゾーン”として対処する。グリーンゾーンではマスク換気を続けながら気道確保を試みる。イエローゾーンでは声門上器具を挿入して換気を試みる。レッドゾーンでは輪状甲状膜からの外科的気道確保が必要となる。酸素化については、逆トレンドレンプルグ体位やランプポジションの有効性が記載されている。また気管挿管や声門上器具については、同一施行者による操作あるいは同一器具を用いた操作を3回以上繰り返すことは上気道浮腫をきたす可能性があり、避けるべきであると述べている。

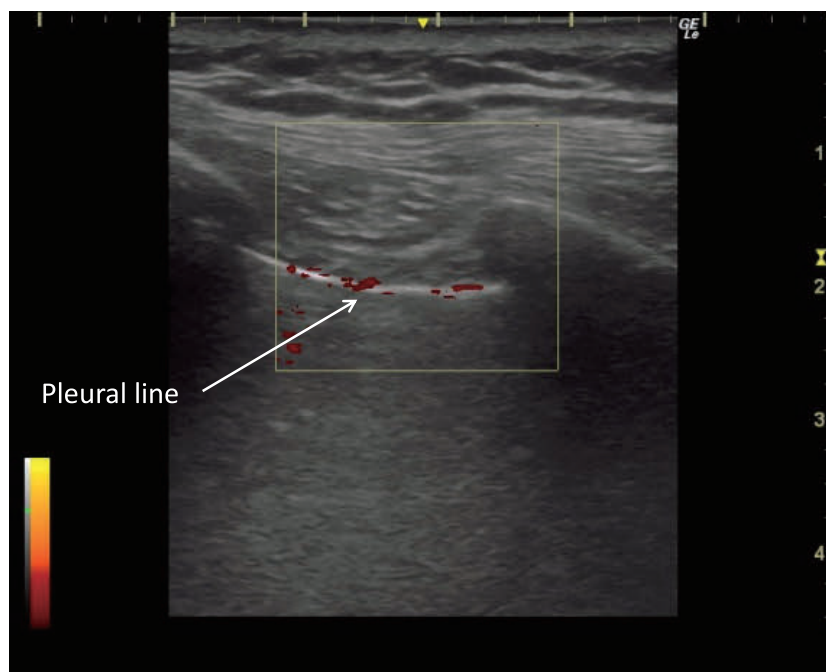
2. 米国麻酔科学会：困難気道管理に

関する診療ガイドライン2013⁶²⁾

見解に関してはエビデンスのレベルが詳細に記載されているが、酸素化や気道確保についての具体的な説明は少ない。今回の改定版では、ビデオ喉頭鏡の使用を初回から考慮することが示されている。

3. 英国Difficult Airway Society：予期せぬ挿管困難に対するガイドライン2015⁶³⁾

気道確保や酸素化について、最新の知見や詳細な説明が記載されている。プランAではマスク換気と気管挿管を試みる。挿管できなければプランBに移り、声門上器具による酸素化を試みる。プランBが成功しなければプランCに移り、2人がかりで再びマスク換気に挑戦する。プランCが成功しなければプランDに移り、輪状甲状膜切開を行う。気管挿管については、同一施行者の操作が最大3回と熟練者1回、声門上器具の挿入は最大3回に限られる。声門上器具は、i-gelTM（Intersurgical, Wokingham, UK）、ProsealTM LMA[®]（PLMA; Teleflex Medical Europe Ltd, Athlone, Ireland）、LMA SupremeTM（SLMA; Teleflex Medical Ltd, Athlone, Ireland）のいわゆる“第二世代声門上器具”の使用を勧告している。また、外科的気道確保では、セルジンガー穿刺型よりもメスによる切開を推奨しており、麻酔科医は輪状甲状膜切開の技能を習得しなければならないと述べている。



Ultrasound was performed with a transducer placed on the chest at the mid-axillary line, to identify lung sliding during ventilation. If there is lung sliding present, power Doppler will light up the sliding pleural line with color flow.

図7 Ultrasonographic imaging of the lung sliding

文 献

- 1) Peterson GN, Domino KB, Caplan RA, et al : Management of the difficult airway: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 103 : 33-9, 2005
- 2) Mechlin MW, Hurford WE. Emergency tracheal intubation : techniques and outcomes. *Respir Care* 59 : 881-94, 2014
- 3) Jabre P, Avenel A, Combes X, et al: Morbidity related to emergency endotracheal intubation-a substudy of the KETamine SEDation trial. *Resuscitation* 82 : 517-522, 2011
- 4) Jaber S, Amraoui J, Lefrant JY, et al : Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the Intensive Care Unit : A prospective, multiple-center study. *Crit Care Med* 34 : 2355-61, 2006
- 5) Mort TC : The incidence and risk factors for cardiac arrest during emergency tracheal intubation : a justification for incorporating the ASA Guidelines in the remote location. *J Clin Anesth* 16 : 508-16, 2004
- 6) Perbet S, De Jong A, Delmas J, et al : Incidence of and risk factors for severe cardiovascular collapse after endotracheal intubation in the ICU : A multicenter observational study. *Crit Care* 19 : 257, 2015
- 7) Mort TC Emergency tracheal intubation: Complications associated with repeated laryngoscopic attempts. *Anesth Analg* 99 : 607-13, 2004
- 8) De Jong A, Molinari N, Pouzeratte Y, et al : Difficult intubation in obese patients : incidence, risk factors, and complications in the operating theatre and in intensive care units. *Br J Anaesth* 114 : 297-306, 2015
- 9) Mosier JM, Joshi R, Hypes C, et al : The Physiologically Difficult Airway. *West J Emerg Med* 16 : 1109-17, 2015
- 10) De Jong A, Molinari N, Terzi N, et al : Early identification of patients at risk for difficult intubation in the Intensive Care Unit : Development and validation of the MACOCHA score in a multicenter cohort study. *Am J Respir Crit Care Med* 187 : 832-9, 2013
- 11) Jaber S, Jung B, Corne P, et al : An intervention to decrease complications related to endotracheal intubation in the Intensive Care Unit : A prospective, multiple-center study. *Intensive Care Med* 36 : 248-55, 2010
- 12) Weingart SD, Levitan RM : Preoxygenation and prevention of desaturation during emergency airway management. *Ann Emerg Med* 59 : 165-75, 2012
- 13) Nimmagadda U, Salem MR, Crystal GJ, et al : Preoxygenation : Physiologic Basis, Benefits, and Potential Risks. *Anesth Analg* 124 : 507-517, 2017
- 14) Benumof JL, Dagg R, Benumof R, et al : Critical hemoglobin desaturation will occur before return to an unparalyzed state following 1 mg/kg intravenous succinylcholine. *Anesthesiology* 87 : 979-982, 1997
- 15) Davis DP, Hwang JQ, Dunford J : Rate of decline in oxygen saturation at various pulse oximetry values with prehospital rapid sequence intubation. *Prehosp Emerg Care* 12 : 46-51, 2008
- 16) Cressey DM, Berthoud MC, Reilly CS : Effectiveness of continuous positive airway pressure to enhance preoxygenation in morbidly obese women. *Anaesthesia* 56 : 680-684, 2001
- 17) Baillard C, Fosse JP, Sebbane M, et al : Noninvasive ventilation improves preoxygenation before intubation of hypoxic patients. *Am J Respir Crit Care Med* 174 : 171-177, 2006
- 18) Miguel-Montanes R, Hajage D, Messika J, et al : Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy to prevent desaturation during tracheal intubation of intensive care patients with mild-to-moderate hypoxemia. *Crit Care Med* 43 : 574-83, 2015
- 19) Frumin MJ, Epstein RM, Cohen G : Apneic oxygenation in man. *Anesthesiology* 20 : 789-98, 1959
- 20) Bartlett RG Jr, Brubach HF, Specht H : Demonstration of ventilatory mass flow during ventilation and apnea in man. *J Appl Physiol* 14 : 97-101, 1959
- 21) Wimalasena Y, Burns B, Reid C, et al : Apneic oxygenation was associated with decreased desaturation rates during rapid sequence intubation by an Australian helicopter emergency medicine service. *Ann Emerg Med* 65 : 371-376, 2015
- 22) Semler MW, Janz DR, Lentz RJ, et al : Randomized Trial of Apneic Oxygenation during Endotracheal Intubation of the Critically Ill. *Am J Respir Crit Care*

- Med 193 : 273-80, 2016
- 23) Heard A, Toner AJ, Evans JR, et al : Apneic Oxygenation During Prolonged Laryngoscopy in Obese Patients : A Randomized, Controlled Trial of Buccal RAE Tube Oxygen Administration. *Anesth Analg* 124 : 1162-1167, 2017
 - 24) Miguel-Montanes R, Hajage D, Messika J, et al : Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy to prevent desaturation during tracheal intubation of intensive care patients with mild-to-moderate hypoxemia. *Crit Care Med* 43 : 574-83, 2015
 - 25) Vourc'h M, Asfar P, Volteau C, et al : High-flow nasal cannula oxygen during endotracheal intubation in hypoxic patients : a randomized controlled clinical trial. *Intensive Care Med* 41 : 1538-48, 2015
 - 26) Patel A, Nouraei SA : Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) : a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways. *Anaesthesia* 70 : 323-9, 2015
 - 27) Wong DT, Yee AJ, Leong SM, et al : The effectiveness of apneic oxygenation during tracheal intubation in various clinical settings : a narrative review. *Can J Anaesth* 64 : 416-427, 2017
 - 28) Paolini JB, Donati F, Drolet P : Review article : video-laryngoscopy : another tool for difficult intubation or a new paradigm in airway management? *Can J Anaesth* 60 : 184-91, 2013
 - 29) Baciarello M, Zasa M, Manferdini ME, et al : The learning curve for laryngoscopy : Airtraq versus Macintosh laryngoscopes. *J Anesth* 26 : 516-24, 2012
 - 30) Peterson GN, Domino KB, Caplan RA, et al : Management of the difficult airway : a closed claims analysis. *Anesthesiology* 103 : 33-9, 2005
 - 31) Malik MA, Subramaniam R, Maharaj CH, et al : Randomized controlled trial of the Pentax AWS, Glidescope, and Macintosh laryngoscopes in predicted difficult intubation. *Br J Anaesth* 103 : 761-8, 2009
 - 32) Jungbauer A, Schumann M, Brunkhorst V, et al : Expected difficult tracheal intubation : a prospective comparison of direct laryngoscopy and video laryngoscopy in 200 patients. *Br J Anaesth* 102 : 546-50, 2009
 - 33) Hossfeld B, Frey K, Doerges V, et al : Improvement in glottic visualisation by using the C-MAC PM video laryngoscope as a first-line device for out-of-hospital emergency tracheal intubation : An observational study. *Eur J Anaesthesiol* 32 : 425-31, 2015
 - 34) Rhode MG, Vandborg MP, Bladt V, et al : Video laryngoscopy in pre-hospital critical care - a quality improvement study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24 : 84, 2016
 - 35) Trimmel H, Kreutziger J, Fertsak G, et al : Use of the Airtraq laryngoscope for emergency intubation in the prehospital setting : a randomized control trial. *Crit Care Med* 39 : 489-93, 2011
 - 36) Wayne MA, McDonnell M : Comparison of traditional versus video laryngoscopy in out-of-hospital tracheal intubation. *Prehosp Emerg Care* 14 : 278-82, 2010
 - 37) Trimmel H, Kreutziger J, Fitzka R, et al : Use of the GlideScope Ranger Video Laryngoscope for Emergency Intubation in the Prehospital Setting : A Randomized Control Trial. *Crit Care Med* 44 : e470-6, 2016
 - 38) 楠 真二, 谷川 攻一 : ビデオ喉頭鏡 - 病院前気管挿管の安全性と確実性の向上への期待 - . *救急救命*. 27 : 30-23, 2012
 - 39) Sakles JC, Mosier JM, Patanwala AE, et al : The C-MAC[®] video laryngoscope is superior to the direct laryngoscope for the rescue of failed first-attempt intubations in the emergency department. *J Emerg Med* 48 : 280-6, 2015
 - 40) Sakles JC, Patanwala AE, Mosier JM, et al : Comparison of video laryngoscopy to direct laryngoscopy for intubation of patients with difficult airway characteristics in the emergency department. *Intern Emerg Med* 9 : 93-8, 2014
 - 41) Driver BE, Prekker ME, Moore JC, et al : Direct Versus Video Laryngoscopy Using the C-MAC for Tracheal Intubation in the Emergency Department, a Randomized Controlled Trial. *Acad Emerg Med* 23 : 433-9, 2016
 - 42) Sulser S, Ubbmann D, Schlaepfer M, et al : C-MAC videolaryngoscope compared with direct laryngoscopy for rapid sequence intubation in an emergency department : A randomised clinical trial.

- Eur J Anaesthesiol 33 : 943-8, 2016
- 43) Hypes CD, Stolz U, Sakles JC, et al : Video Laryngoscopy Improves Odds of First-Attempt Success at Intubation in the Intensive Care Unit. A Propensity-matched Analysis. *Ann Am Thorac Soc* 13 : 382-90, 2016
 - 44) Silverberg MJ, Li N, Acquah SO, et al : Comparison of video laryngoscopy versus direct laryngoscopy during urgent endotracheal intubation : a randomized controlled trial. *Crit Care Med* 43 : 636-41, 2015
 - 45) Lascarrou JB, Boisrame-Helms J, Bailly A, et al : Video Laryngoscopy vs Direct Laryngoscopy on Successful First-Pass Orotracheal Intubation Among ICU Patients : A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 317 : 483-493, 2017
 - 46) Joshi R, Hypes CD, Greenberg J, et al : Difficult Airway Characteristics Associated with First Attempt Failure at Intubation Using Video Laryngoscopy in the Intensive Care Unit. *Ann Am Thorac Soc* 14 : 368-375, 2016
 - 47) Nestler C, Reske AP, Reske AW, et al : Pharyngeal wall injury during videolaryngoscopy-assisted intubation. *Anesthesiology* 118 : 709, 2013
 - 48) Kim JW, Park SO, Lee KR, et al : Video laryngoscopy vs. direct laryngoscopy : Which should be chosen for endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation? A prospective randomized controlled study of experienced intubators. *Resuscitation* 105 : 196-202, 2016
 - 49) Park SO, Kim JW, Na JH, et al : Video laryngoscopy improves the first-attempt success in endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation among novice physicians. *Resuscitation* 89 : 188-94, 2015
 - 50) Shin DH, Choi PC, Na JU, et al : Utility of the Pentax-AWS in performing tracheal intubation while wearing chemical, biological, radiation and nuclear personal protective equipment : a randomised crossover trial using a manikin. *Emerg Med J* 30 : 527-31, 2013
 - 51) Yousif S, Machan JT, Alaska Y, et al : Airway Management in Disaster Response : A Manikin Study Comparing Direct and Video Laryngoscopy for Endotracheal Intubation by Prehospital Providers in Level C Personal Protective Equipment. *Prehosp Disaster Med* 32 : 352-356, 2017
 - 52) Aberle SJ, Sandefur BJ, Sunga KL, et al : Intubation Efficiency and Perceived Ease of Use of Video Laryngoscopy vs Direct Laryngoscopy While Wearing HazMat PPE : A Preliminary High-fidelity Mannequin Study. *Prehosp Disaster Med* 30 : 259-63, 2015
 - 53) Rosenstock CV, Thøgersen B, Afshari A, et al : Awake fiberoptic or awake video laryngoscopic tracheal intubation in patients with anticipated difficult airway management : a randomized clinical trial. *Anesthesiology* 116 : 1210-6, 2012
 - 54) Kramer A, Müller D, Pfortner R, et al : Fiberoptic vs videolaryngoscopic (C-MAC[®] D-BLADE) nasal awake intubation under local anaesthesia. *Anaesthesia* 70 : 400-6, 2015
 - 55) Abdellatif AA, Ali MA : GlideScope videolaryngoscope versus flexible fiberoptic bronchoscope for awake intubation of morbidly obese patient with predicted difficult intubation. *Middle East J Anaesthesiol* 22 : 385-92, 2014
 - 56) Adhikari S, Zeger W, Schmier C, et al : Pilot study to determine the utility of point-of-care ultrasound in the assessment of difficult laryngoscopy. *Acad Emerg Med* 18 : 754-8, 2011
 - 57) Wojtczak J A : Submandibular sonography : assessment of hyomental distances and ratio, tongue size, and floor of the mouth musculature using portable sonography. *Journal of Ultrasound in Medicine* 31 : 523-528, 2012
 - 58) Abbasi S, Farsi D, Zare MA, et al : Direct ultrasound methods : a confirmatory technique for proper endotracheal intubation in the emergency department. *European Journal of Emergency Medicine* 22 : 10-16, 2015
 - 59) Park SC, Ryu JH, Yeom SR, et al : Confirmation of endotracheal intubation by combined ultrasonographic methods in the emergency department. *Emergency Medicine Australasia* 21 : 293-297, 2009
 - 60) Practice guidelines for management of the difficult airway. A report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology* 78 : 597-602, 1993
 - 61) JSA airway management guideline 2014 : to improve

- the safety of induction of anesthesia. *J Anesth* 28 : 482-93, 2014
- 62) Practice guidelines for management of the difficult airway : an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology* 118 : 251-70, 2013
- 63) Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults. *Br J Anaesth* 115 : 827-48, 2015

