

新戦略に基づく
麻酔・周術期医学

麻酔科医のための 気道・呼吸管理

専門編集●廣田 和美 弘前大学

監 修●森田 潔 岡山大学

編集委員●川真田樹人 信州大学

廣田 和美 弘前大学

横山 正尚 高知大学

Advanced Approach to
Anesthesia and
Perioperative Medicine

中山書店

シリーズ刊行にあたって

現代は情報収集と変革の時代と言われています。IT 技術の進歩により、世界の情報はほとんどリアルタイムに得ることができます。以前のように、時間と労力をかけて文献を調べる必要はなくなっています。一方、進歩するためには、そのめまぐるしく変わる状況にあわせ変化し、変革を遂げていく必要があります。

麻酔科学領域の診療に関してもここ数年で大きな変化がありました。麻酔薬はより安全で調節性がよいものとなり、モニターもより多くの情報が得られるとともに正確性を増しています。そして、その変化は今も続いています。このように多くの変化がある中で、麻酔は手術侵襲から生体を守るという大原則に加え、麻酔の質が問われる時代になりました。たとえば、麻酔法が予後を変える可能性があるという報告もあります。また、麻酔科医の仕事として、手術中の麻酔だけでなく、術前および術後管理、すなわち周術期管理の重要性が加えられています。今まさに手術という侵襲から生体をシームレスに守る学問の一つの分野として、周術期管理が重要視されています。

今回、周術期管理に焦点を絞り、麻酔科医の知識と技術の向上を目的に、シリーズ《新戦略に基づく麻酔・周術期医学》が刊行されることになりました。周術期管理は、麻酔と同様、全身管理を目的にした学問です。呼吸、循環、体液・代謝、酸塩基平衡、栄養、疼痛管理など幅広い分野が対象になります。これらすべての分野をシリーズで、昨今のガイドラインが示す標準医療を含め最新の情報を系統的に発信する予定です。また、いわゆるマニュアル本ではなく、基礎的な生理学、薬理学などの知識を基にした内容にしたいと考えています。これらの内容は、麻酔科の認定医や専門医を目指す医師だけでなく、すべての外科系各科の医師にも理解できるものとなることを確信しています。

多忙な毎日の中、このシリーズ《新戦略に基づく麻酔・周術期医学》が、効率的な最新の情報収集のツールとなり、読者の皆様が日々変革していけることを希望します。

2013 年 4 月

国立大学法人岡山大学長

森田 潔

序

救急蘇生の基本が ABC から CAB に順番は変わっても、Airway（気道確保）と Breathing（人工呼吸）の 2 つが、救急蘇生において重要な要素であることは変わらない。全身麻酔管理においても、この AB が始まりであり、Airway と Breathing の管理が上手いかなければ、全身麻酔管理は成り立たないどころか、患者の生命に関わる。麻酔管理においても、気道確保と人工呼吸は非常に重要な要素である。

気道確保および気管挿管に対する麻酔科医の関心は高く、Difficult Airway Management (DAM) のガイドラインが各国で出されている。これに対して気管チューブの抜管に関するガイドラインは少なく、2012 年に Difficult Airway Society Extubation Guidelines Group が Anaesthesia 誌に出した “Difficult Airway Society guidelines for the management of tracheal extubation.” くらいである。ところが、2012 年に開催された第 59 回日本麻酔科学会学術集会でのシンポジウム「抜管しても大丈夫？」では、会場が大きかったにもかかわらず、立ち見が出るほどの盛況であった。このことは、抜管に対しても多くの麻酔科医が強い関心を持っていることを示していると私は考えている。本書では、最新の気道確保および気管挿管法に加えて、抜管の戦略についても取り上げたことで、周術期の気道管理を網羅できたと自負している。よって、読者の皆さんの関心に応えることができたと思っている。

また、ここ数年、新型インフルエンザや鳥インフルエンザによる急性呼吸不全患者管理における人工呼吸管理や ECMO の重要性がクローズアップされてきている。そこで本書では、人工呼吸管理および ECMO の最新の情報も詳細に取り入れた。さらに、周術期呼吸管理に難渋する疾患や病態に関する問題や、麻酔・集中治療で使用する薬剤の呼吸管理に及ぼす影響についても取り上げている。

本書が、読者の皆さんの日常診療において、安全な周術期呼吸管理の一助となることを願う。

2013 年 7 月

弘前大学大学院医学研究科
麻酔科学講座教授
廣田和美

CONTENTS

1 章 気道・呼吸管理に必要な機能解剖と生理

1-1 気道・呼吸管理に必要な機能解剖と生理磯野史朗 2

- ① 酸素運搬のメカニズム 2/② 酸素運搬における呼吸器系の役割 6/③ 呼吸調節のメカニズムと麻酔の影響 8/④ 麻酔による呼吸効果器の変化 12/⑤ 気道防御反射と麻酔の影響 13

Column 酸素化能を診断する指標 4

2 章 最新の気道確保法

2-1 気道確保法の種類と選択浅井 隆 16

- ① 気道確保法の種類 16/② フェイスマスク 16/③ 声門上器具 17/④ 気管チューブ 18/⑤ 気道確保法の選択 18

2-2 マスク換気法浅井 隆 20

- ① マスク換気の位置づけ 20/② フェイスマスクの種類と基本構造 20/③ 上気道閉塞解除法 22/④ 陽圧換気時の必要換気量の確保 25/⑤ 合併症と対策 25/⑥ マスク換気困難の頻度 26

2-3 気管挿管法浅井 隆 28

- ① 気管挿管の歴史 28/② 気管挿管経路の種類 29/③ 気管挿管経路の選択 29

2-4 喉頭鏡の種類と気管挿管の性能浅井 隆 31

- ① 喉頭鏡の種類、構造と原理 31/② マッキントッシュ喉頭鏡 35/③ ミラー喉頭鏡 38/④ マッコイ喉頭鏡 39/⑤ 間接的光学喉頭鏡、ビデオ喉頭鏡 40/⑥ どの気管挿管器具を選択すべきか? 48/⑦ 喉頭鏡による気管挿管の補助具 49

2-5 喉頭鏡以外の挿管器具浅井 隆 57

- ① 挿管器具の種類 57/② 気管支ファイバースコープ 57/③ 硬性ファイバースコープ 66/④ 声門上器具を用いた挿管 67/⑤ 盲目的気管挿管 67/⑥ 逆行性気管挿管 69

Advice チューブ先端が破裂軟骨に当たっていると限らない 64

2-6 気管チューブの種類と使い分け浅井 隆 72

- ① 気管チューブの種類と選択法 72/② 一腔性気管チューブ（シングルルーメンチューブ） 72/③ 気管チューブサイズ、カフ量の選択 76/④ 気管チューブの適正な位置 80/⑤ 二腔性気管チューブ（ダブルルーメンチューブ） 83/⑥ 気管支

ブロッカーチューブ 84

2-7 声門上器具による気道確保と気管挿管 浅井 隆 90

① 声門上器具の区分 90／② 各声門上器具の適応症例と性能 95／③ 気道確保困難な状況での声門上器具の役割 98／④ 声門上器具を用いた気管挿管 98

2-8 頸部観血的気管挿管 浅井 隆 106

① 頸部観血的気管挿管の定義と区分 106／② 気管切開 106／③ 輪状甲状間膜穿刺および切開 108

3章 全身麻酔時気道管理の新戦略

3-1 術前気道評価と気道管理計画 磯野史朗, 雨宮めぐみ, 石川輝彦 114

① 術前評価の重要性 114／② 術前気道評価の実際 115／③ 麻酔導入気道管理計画 126／④ 患者への情報提供 129

Column 気管挿管困難患者の予測 122

3-2 安全な気管挿管方法 稲田 梓, 石川輝彦, 磯野史朗 131

① 気道評価から得られた情報をもとに気道管理計画を立てる 131／② 気道管理アルゴリズム 137／③ 術後評価 140

Column 気管挿管にこだわらない 138

Column 備えあれば憂いなしの気道管理困難カード 139

症例 気道管理アルゴリズムに沿った管理で危機を脱出できた症例 140

3-3 覚醒下抜管と覚醒前抜管 齊藤 湊, 石川輝彦, 磯野史朗 142

① 覚醒から抜管への流れ 142／② 筋弛緩の拮抗（リバース） 142／③ 麻酔覚醒の基準 143／④ 覚醒下抜管の基準 143／⑤ 覚醒下抜管後の管理 146／⑥ 覚醒前抜管 147

症例 手術室での抜管が危険な症例 146

Advice 覚醒後抜管と深麻酔下抜管を比較すると… 147

3-4 抜管と残存筋弛緩 奥山陽太, 石川輝彦, 磯野史朗 150

① 筋弛緩薬使用の原則 150／② 残存筋弛緩の評価方法と定義 150／③ 部分筋弛緩による上気道機能障害 152／④ 部分筋弛緩による低酸素換気応答抑制 153／⑤ 残存筋弛緩の臨床的インパクト 153／⑥ 残存筋弛緩薬の危険性 154／⑦ 完全筋弛緩回復の目安と適切な筋弛緩モニター 154／⑧ 筋弛緩のモニタリング部位 155／⑨ 残存筋弛緩のリバース 156

症例 ロクロニウム投与後に再クラーレ化した症例 157

4章 人工呼吸管理の新戦略

4-1 人工呼吸器の換気モード 三井誠司, 小林克也, 竹田晋浩 162

① continuous mandatory ventilation (CMV) 162／② synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) 168／③ pressure support

ventilation (PSV) 171／④ positive end-expiratory pressure (PEEP) 173／⑤ airway pressure release ventilation (APRV) 179

4-2 noninvasive positive pressure ventilation

(NPPV) 中里桂子, 小林克也, 竹田晋浩 186

- ① NPPV の適応とエビデンスレベル 186／② NPPV 開始時の留意点 187／
③ NPPV の実際 189／④ NPPV の利点 190／⑤ 各病態における有用性 191／
⑥ NPPV を使うにあたって、注意する点 192

症例 ウィーニングでの NPPV の使用 193

4-3 extracorporeal membrane oxygenation

(ECMO) 青景聡之, 竹田晋浩 196

- ① 今までの報告 196／② 適応 198／③ カニューレーション 200／④ 管理 201
／⑤ 成績 205

症例 糖尿病で通院中に軽労作にて息苦しさを認めて救急外来受診した患者 205

5章 各種病態での周術期呼吸管理の新戦略

5-1 喘息および COPD 患者の呼吸管理 岩崎創史, 山蔭道明 210

- ① 喘息と COPD のガイドラインと定義, 病理 210／② 術前の評価と管理 212
／③ 術中の評価と管理 219／④ 術後管理 222

Column ドキュメントとガイドライン 210

Advice COPD 患者に対する術前の気管支拡張薬 215

5-2 急性上気道炎患者の呼吸管理 岩崎創史, 山蔭道明 227

- ① 急性上気道感染症と急性上気道炎 227／② 急性上気道炎（風邪症候群）の診断 228／③ 手術の延期基準 229／④ 急性上気道炎患者の麻酔中の合併症 229／
⑤ 麻酔法と麻酔薬の選択 229

Column 高齢者の大腿骨頸部骨折と肺炎, 副鼻腔炎と喘息 229

5-3 気道腫瘍患者の呼吸管理 岩崎創史, 山蔭道明 231

- ① 気道腫瘍の分類 231／② 術前の評価 232／③ 麻酔管理 232／④ 気道腫瘍を有する患者の気管チューブ抜去と術後気道閉塞 233

6章 周術期管理関連薬剤と呼吸管理の新戦略

6-1 気道平滑筋への影響 廣田和美 236

- ① 各種麻酔薬, 鎮静薬の効果 236／② 筋弛緩薬の効果 239／③ 鎮痛薬の効果 239／④ 循環作動薬の効果 240

Column 臨床の現場での気道平滑筋緊張度評価法 239

6-2 横隔膜収縮への影響 橋場英二 247

- ① 呼吸関連筋の構造と機能 247／② 呼吸筋疲労 248／③ 横隔膜疲労の治療 250／④ 周術期関連薬の横隔膜機能・疲労への影響 250

Topics 人工呼吸誘発性横隔膜萎縮 (VIDD) 249

Column 横隔膜疲労と人工呼吸からの離脱困難 250

6-3 肺血流への影響 橋場英二 256

① 肺循環の特徴 256 / ② 周術期関連薬の肺循環（とくに HPV）に対する影響
259

Column 血管内皮細胞と一酸化窒素 (NO) 257

Column 血管平滑筋内のセカンドメッセンジャー 258

付録	1. 本書で紹介している気道確保のための器具	 浅井 隆	268
	2. 現在使われている主な人工呼吸器	 鈴木健一, 竹田晋浩	276
	3. 現在 ECMO に使われている装置	 鈴木健一, 竹田晋浩	286

索引		291
----	-------	-----

2-7

声門上器具による気道確保と気管挿管

1 声門上器具の区分

- 声門上器具は、狭義の声門上器具と食道閉鎖式器具の2種類に大別される。狭義の声門上器具はさらに咽頭プラグ式エアウェイと喉頭マスクに区分できる。ラリンジアルマスクやラリンジアルチューブ、そしてコンビチューブを含め、さまざまな種類の声門上器具が開発されている（表1）¹⁾。

a. 咽頭プラグ式エアウェイ

- 咽頭プラグ式エアウェイは、声門より頭側に換気チューブを位置させ、口腔・咽頭内のチューブ周囲の隙間に“栓（プラグ）”をすることにより、換気ガスが漏れるのを防ぐ器具である。
- 初期の咽頭プラグ式器具として、1930年代に開発された pharyngeal bulb gasway²⁾がある。当時の技術的問題から、細い金属チューブに固いゴム製の栓が付けられたものであったため、チューブ周囲の隙間を適切に埋めることができないことが多かった。そのため、上気道閉塞や器具周囲からの麻酔ガス漏れが起こりやすいという問題があった。
- 1990年代になってからコパ（カフ付口咽頭エアウェイ〈cuffed oropharyngeal

表1 主な声門上器具

咽頭プラグ式エアウェイ	● コパ（製造中止） ● コブラエアウェイ
喉頭マスク	● ラリンジアルマスク - クラシック - プロシール - フレキシブル - ファーストラック - ユニーク - スプリーム - C-トラック（国内未発売） ● air-Q ● i-gel ● SLIPA
食道閉鎖式エアウェイ	● esophageal obturator airway (EOA) ● esophageal gastric tube airway (EGTA) ● コンビチューブ (esophageal tracheal combitube) ● ラリンジアルチューブ - ラリンジアルチューブ - ラリンジアルチューブサクションII

（浅井 隆. 臨床麻酔 2011；35：517-23¹⁾より一部変更）

airway : COPA), 2013 年現在製造中止)³⁾やコブラエアウェイ^{4,5)}などが開発された。新たな素材を用いても、上気道閉塞の是正のために、位置調整や下顎挙上の保持がしばしば必要、という欠点がある。そのため、咽頭プラグ式エアウェイが普及する可能性は低いといわざるをえない。

■ コブラエアウェイ

- コブラエアウェイ (CobraPLA) (図 1) は咽頭プラグ式エアウェイの一つである。CobraPLA の PLA は perilaryngeal airway の略である。ポリ塩化ビニル製で、単回使用品である。
- コブラエアウェイは、換気チューブの先端に、下咽頭に挿入する先端部と、その近位部にあるカフで構成されている。先端部は独特の形状をしており、換気孔には柵状のスリットが入っている。
- コブラエアウェイの性能は、ラリンジアルマスクに比べ、全体として劣るといわざるをえない。たとえば、ラリンジアルマスクに比べ、挿入はより困難で、術後の気道合併症の発生率も高い^{4,5)}。また、誤嚥の危険性が高いとの指摘もあるため、注意を要する⁶⁾。

b. 喉頭マスク

- 喉頭マスクは、喉頭をマスクで覆うことにより換気を可能とする器具で、その代表例がラリンジアルマスクである。

■ ラリンジアルマスク

- ラリンジアルマスク (laryngeal mask airway : LMA) (図 2) は 1981 年にイギリスの Brain により発明された器具で、1983 年に初めて報告された⁷⁾。その数年後の 1987 年にイギリスで、翌 1988 年に日本で臨床使用が可能となっている⁸⁾。
- ラリンジアルマスクは、咽頭プラグ式器具のように咽頭で栓をする構造ではない。原理として、マスクが喉頭を包み込むことにより、換気を可能としている。そのため、喉頭 (larynx) を覆うマスクという意味で、ラリンジアルマスクという名称が付けられた^{9,10)}。
- ラリンジアルマスクはクラシック、プロシール、フレキシブル、ファーストラック、ユニーク、スプリームなどの数種類がある (図 3)。
- Brain の発明したラリンジアルマスクの基本構造の特許が切れたため、類似品が各社から発売されるようになった。これらの類似器具の性能は、Brain のラリンジアルマスクとは違う可能性があり、類似品でオリジナルの性能を

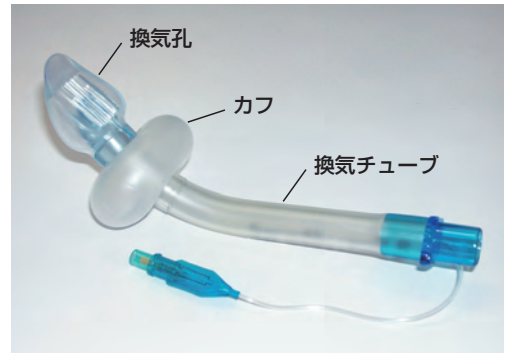


図 1 コブラエアウェイ
ラリンジアルマスクより挿入が困難。

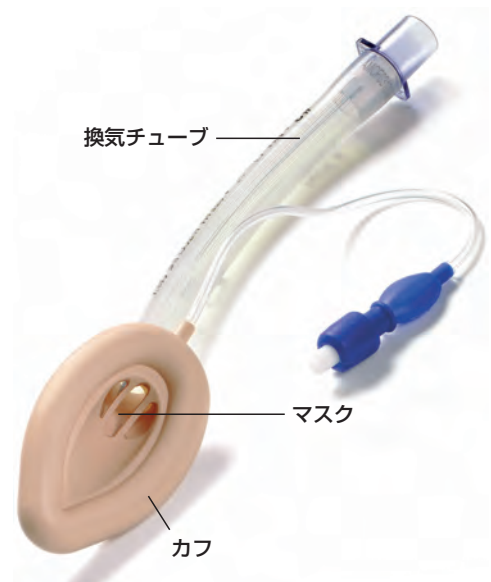


図 2 ラリンジアルマスク (クラシック)
マスクが喉頭を包み込むことにより換気を可能にする。

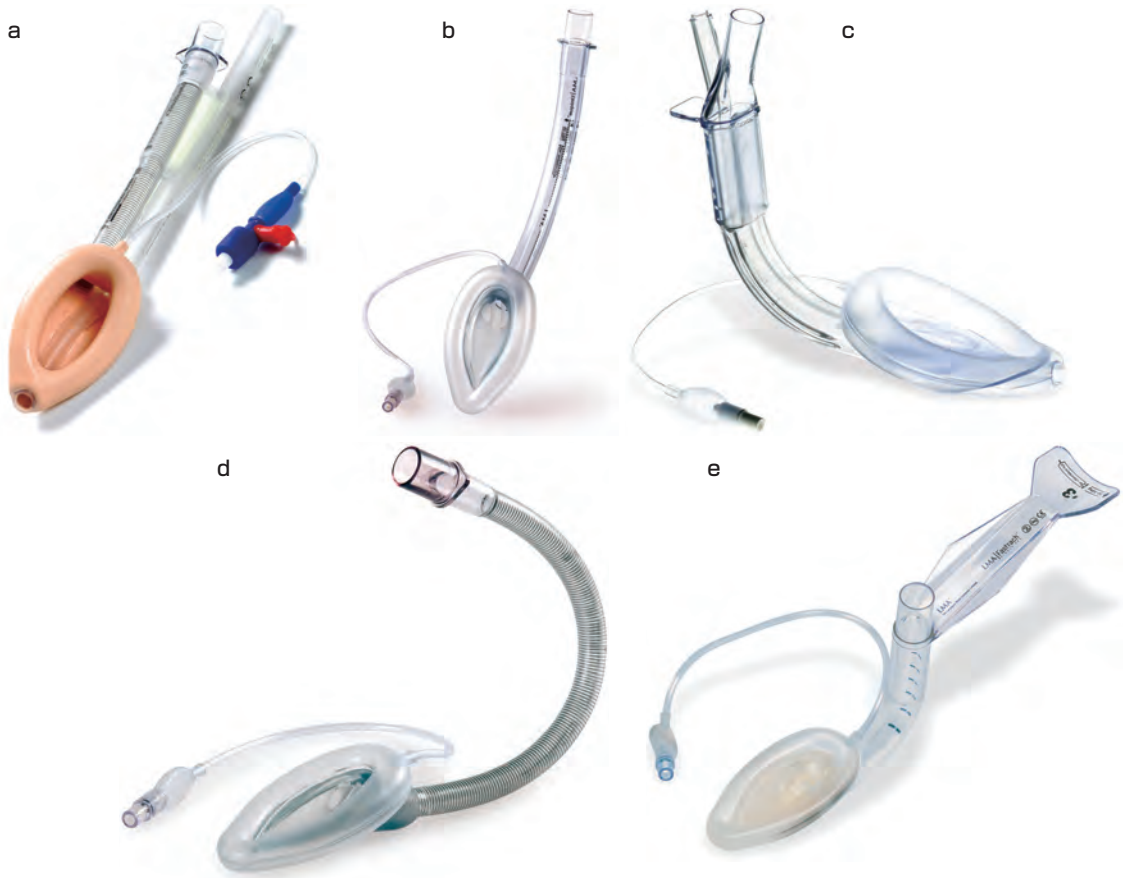


図3 ラリンジアルマスクファミリー

a: プロシール, b: ユニーク, c: スプリーム, d: フレキシブル SU (シングルユース), e: ファーストラック SU.

(画像提供: 泉工医科工業株式会社)

超えるものはない。

- ラリンジアルマスクの性能が従来までの咽頭プラグ式エアウェイに比べ、ずば抜けて良いことは疑いがない。ラリンジアルマスクの臨床への導入により、気道確保全体を見直させるくらいの影響を及ぼし続けてきたといえる⁸⁾。
- ラリンジアルマスクに対する関心の高さは、これまで数千枚の論文が出されていることから明らかである。また、この器具のみに関する書籍も数冊出版されている^{8, 11-14)}。

■ i-gel

- i-gel (図4) は喉頭マスクのカテゴリーに入る器具で、パキスタン出身でイギリス在住の Nasir により発明され、2005 年に最初の論文報告を行っている^{15, 16)}。
- i-gel はラリンジアルマスクと一見似ているが、まったく違った発想に基づ



図4 i-gel

ラリンジアルマスクと一見似ているが、まったく違う発想に基づいている。

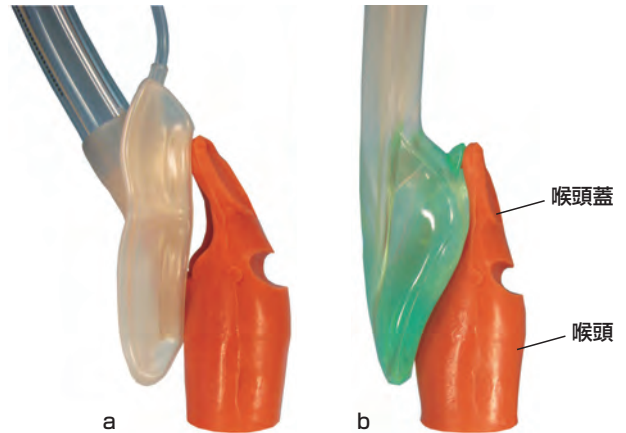


図5 ラリンジアルマスク (a) と i-gel (b)

i-gel は喉頭の形に基づいて作られているため、カフ構造を用いずに有効な換気が得られる。

いて作製されている¹⁶⁾。ラリンジアルマスクは喉頭を包み込む構造になっている。そのため、カフを膨らませて喉頭を包み込む必要がある (図 5a)。

- 一方、i-gel は喉頭の形に基づいて作られている。そのため挿入すると、柔らかいゴム様物質でできたマスク辺縁が喉頭に密着し、カフ構造を使うことなく有効な換気を行うことが可能となる (図 5b)¹⁶⁾。

SLIPA

- SLIPA (図 6) はイギリスの Miller が発明した喉頭マスクで、2002 年に最初の論文報告をしている¹⁷⁾。
- SLIPA は Streamlined Liner of the Pharynx Airway の略である。イギリスの発明者 Miller は、器具の形状が履物のスリッパに似ているのでこの名称にしたとしている¹⁷⁾。
- SLIPA は内部が空洞のプラスチック製で、咽頭が膨らんだときの形状をなしている。SLIPA を挿入すると、本体の 2 つの孔が声門に向き合う。またカフ構造はないため、i-gel 同様、挿入後すぐに換気が可能となる。
- SLIPA の特徴は、仮に胃液などが食道から逆流してきても、空洞である本体内部に貯留するため、誤嚥の危険性を低くできるとされている点である。この機能が実際の臨床でどのくらい有用かは不明である。
- 他の声門上器具との性能を比較した研究は少ないが、挿入の容易度や換気の可否はラリンジアルマスクと比較して同等と報告されている^{18, 19)}。
- ラリンジアルマスクのクラシックと比較して、陽圧換気時に胃内に換気ガスを押し込んでしまう危険性が高いと報告されている²⁰⁾。また、素材が比較的固いため、挿入により咽頭組織を損傷させる頻度も高いとされている²⁰⁾。



図6 SLIPA

内部が空洞のプラスチック製で咽頭がふくらんだときの形状をしている。

C. 食道閉鎖式エアウェイ

- 食道閉鎖式エアウェイは心肺蘇生時の気道確保器具として開発された。基本構造として、器具の遠位部を食道上部に挿入して換気を可能にする。

■ 歴史的背景

- 食道閉鎖式エアウェイの最も初期のものは、1968年に報告された mouth-to-lung airway とよばれる器具である²¹⁾。これは、口対口 (mouth-to-mouth) 蘇生のときに使用し、胃内に換気ガスが誤って入るのを阻止する目的のために don Michael により開発された²¹⁾。
- 先端が盲端となったチューブの先端付近にカフが付けられており、チューブの先端を食道に挿入し、カフで食道を閉鎖して胃内へのガスの注入を防ぐ構造になっている。挿入された際に口腔・咽頭内に位置する部位のチューブの側面にいくつかの孔が付けられており、チューブ近位端から蘇生者が呼吸を注入し、これらの孔を介して換気を試みる。口腔からのガス漏れは、口を覆うマウスガードとよばれるもので阻止する。
- この器具の性能を調べた研究はないが、胃内へのガス誤注入は阻止できたとしても、口腔からのガス漏れを防ぐのは困難だったといわれている。
- 1970年初頭に、mouth-to-lung airway を開発した don Michael が改良を加え、esophageal obturator airway (EOA) を開発した。基本的な改良点として、mouth-to-lung airway の口を覆うマウスガードをフェイスマスクに変えたことである^{22, 23)}。

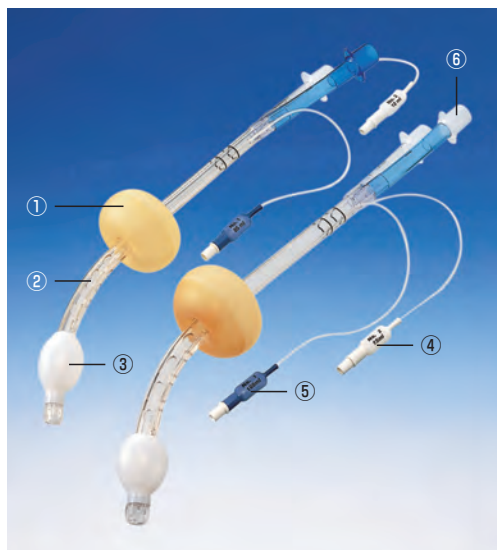


図7 コンビチューブ

①咽頭カフ、②換気孔、③先端カフ（食道用）、④先端カフ用パイロットバルーン、⑤咽頭カフ用パイロットバルーン、⑥コネクタ。

(画像提供：日本コヴィディエン株式会社)

- esophageal obturator airway を訳すと「食道閉鎖式エアウェイ」となり、これが、このカテゴリー名の由来になっている。
- esophageal obturator airway は心肺蘇生時の使用器具として1973年に American CPR Committee により²⁴⁾、そして1979年に American Heart Association により認定された²⁵⁾。
- esophageal obturator airway のチューブ先端付近にはカフが付いており、これを膨らませることにより食道内への換気ガスの流入を阻止する構造になっている。
- esophageal obturator airway では、器具の一部であるフェイスマスクを顔に密着させることが困難で、口腔からのガス漏れが多いという問題があった²⁶⁾。

■ コンビチューブ

- コンビチューブ (Combitube) (図7) は、1980年代後半にオーストリアの Frass により開発された器具である^{27, 28)}。

- コンビチューブは、esophageal obturator airway のフェイスマスク部をなくし、口腔内でカフを膨らませる、咽頭プラグ式器具の様式になっている。
- コンビチューブの特徴は、2本のチューブで構成されていることである。“食道用 (esophageal)”と“気管用 (tracheal)”の2本のチューブの組み合わせ (combination) になっているため、esophageal-tracheal combitube (ETC) とよばれている。チューブは長短2本のチューブが接合された構造になっており、2本のチューブ近位端にそれぞれ接続コネクタが付いている²⁷⁾。
- コンビチューブは通常、盲目的に挿入する。多くの場合、長いほうのチューブは食道に挿入される。短いチューブの側面で、両カフ間には換気孔がいくつか付けられている。そのため、短いほうのチューブ手前のコネクタに換気装置を接続して換気を行う。
- 一方、頻度は低いが、チューブ先端が気管に挿入されることがある。その場合、長いほうのチューブを介して換気を行う^{27, 28)}。

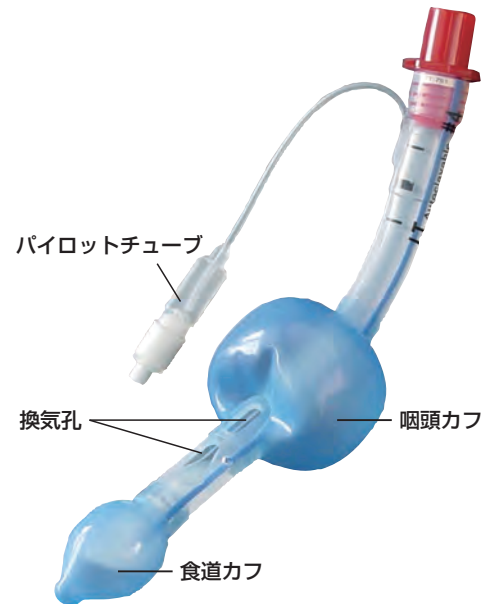


図8 ラリンジアルチューブ
 周辺組織に加わる圧はコンビチューブのカフによる圧より低い。

■ ラリンジアルチューブ

- ラリンジアルチューブ (laryngeal tube) (図8) は、ドイツの製造会社の社長である Bertram により開発された器具である。
- ラリンジアルチューブの換気チューブはコンビチューブと違い、1本のみである。カフはコンビチューブと違って柔らかい素材を用いている。また、2つのカフは1本のパイロットチューブにより膨らませることが可能である²⁹⁾。
- ラリンジアルチューブのカフが周辺組織に加える圧は、コンビチューブのカフによる圧より低く、組織内毛細血管を虚脱させない程度の圧である^{30, 31)}。
- ラリンジアルチューブの麻酔中の性能としては、ラリンジアルマスクのクラシックと同程度である³²⁾。ラリンジアルチューブの欠点として、術中に位置の調整が必要となる頻度がラリンジアルマスクのプロシールに比べて高いことが報告されている³³⁾。

② 各声門上器具の適応症例と性能

- 声門上器具は現在、ラリンジアルマスクをはじめ、さまざまな種類の器具が発売されている。これらはそれぞれいくつかの違う機能をもっているが、適応は基本的に同じである。ただし、全身麻酔中の使用と心肺蘇生時の使用とでは、より適切な声門上器具のカテゴリーに違いがある。

3-3

覚醒下抜管と覚醒前抜管

① 覚醒から抜管への流れ

- 麻酔薬がまだ投与されている，あるいはその効果が残存している状態で，機械換気中に筋弛緩の深度を train-of-four (TOF) 刺激により客観的に評価し，その程度に応じて適切な筋弛緩拮抗薬を投与する。
- 筋弛緩作用が残存している状態で麻酔の覚醒を図ったり，無理に自発呼吸を回復させたりするのは好ましくない。必ず，筋弛緩の拮抗（または筋力の自然回復），自発呼吸の出現，麻酔覚醒，気管チューブ抜管の流れ（手順）を踏むように心がける。
- この手順を検証した研究は決して多くない。しかし，筋弛緩の回復が自発呼吸に先立って得られることがより好ましいのは異論のないところであるし，麻酔覚醒前の自発呼吸の出現に関しては，そもそも自発呼吸出現後の気管チューブ抜管が望ましいという前提，そして，意識下でより自発呼吸が出現しやすいことから，安全性を増すためにも麻酔覚醒前の自発呼吸出現がより好ましいという背景がある。
- 麻酔薬の投与を中止した後は，可能な限り穏やかな覚醒を目指すべきであるが，覚醒時に不要な刺激を与えるべきではない。患者が自然に覚醒するまでは，頭部・顔面・頸部・気管チューブなどに不注意に触れることは慎むべきである。
- 吸入麻酔薬による維持が行われた場合，覚醒に向けて吸入麻酔薬投与を中止すると同時に，プロポフォール 20～30 mg の投与（必要ならさらに 20～30 mg の反復投与）やフェンタニルの投与により覚醒時の興奮を少なくすることができる¹⁾。ただし，何らかの術後疼痛対策が行われることが必要である★1。

★1 気管内吸引

麻酔覚醒時にしばしば行われてきた気管内吸引はルーチンには行わず，必要が認められた場合のみ行う。

② 筋弛緩の拮抗（リバース）

- TOF 刺激で母指内転筋の収縮が 4 回目視できれば (TOF count 4)，アトロピン硫酸塩（アトロピン硫酸塩[®]）0.02～0.03 mg/kg とネオスチグミン（ワグスチグミン注[®]）0.05～0.07 mg/kg の投与で拮抗可能である（アトロピン硫酸塩とネオスチグミンは混ぜて投与してよい）。
- また新しく登場した筋弛緩拮抗薬であるスガマデクス（プリディオン[®]）によって，より深い筋弛緩状態からの拮抗が可能となった。スガマデクスは TOF count 2 以上では 2 mg/kg を，深い筋弛緩状態からの拮抗に関しては，post-tetanic count (PTC) 1～2 の場合は 4 mg/kg を投与することで筋弛緩の拮抗が可能である。

- リバースができたかどうかは、TOF 比 (TOF ratio) 0.9 以上 (加速度トランスデューサーのとき 1.0 以上) となることを確認するべきである。

3 麻酔覚醒の基準

a. 覚醒度の判断

- **表 1** に示した徴候を確認して判断する。覚醒は一般的に気管チューブ抜管の必要条件ではあるが、十分条件ではないことに注意する★²。
- また、術中の麻酔深度の指標として BIS モニターを用いることができる。麻酔からの覚醒の過程で BIS 値は上昇するが、脳波データから BIS 値を算出するまで約 60 秒間のタイムラグがあるため、必ずしも BIS 値が上昇した後に患者が覚醒するというわけではないことに注意する。

b. 覚醒を判断するときの留意点

覚醒と判断するときには、以下にあげることに留意したい。

- ① 覚醒前には筋弛緩は拮抗されているべきである。
- ② 呼びかけや指示に無関係な動作・開眼は単に麻酔の興奮期を示す場合がある。
- ③ 意識障害や聴覚障害、精神疾患、認知症などにより、もともとコミュニケーションに障害のある症例では、**表 1** に示した徴候にこだわらず個々の症例に応じた判断が要求される。
- ④ 上記の項目に当てはまらなくても意識なしと断定することはできない。

4 覚醒下抜管の基準

a. 基本項目

- **表 2** に示した覚醒下抜管の基準の各項目を満たしていることを確認したうえで抜管するが、気管支喘息を合併した症例などでは、まれに深麻酔下に抜管することがある。一般的に、上気道維持に問題のある患者の抜管には完全覚醒が必要である。ファウラー (Fowler) 位などの頭高位での麻酔覚醒、抜管を原則とする。
- 肥満症例や睡眠時無呼吸症候群を合併している症例では、頭高位により機能的残気量の改善や気道の開存性が見込めるため、とくに有用である。また、手術内容・重症度

表 1 覚醒の基準

- 呼びかけ (例:「〇〇さん聞こえますか?」など) に対し、頷きなどの動作がある
- 簡単な指示 (例:「手を握ってください」「舌を出してください」「目を開いてください」など) に応じられる
- 自発開眼および追視が認められる

▶筋弛緩の拮抗の詳細については、次項「3-4 抜管と残存筋弛緩」(p.150) 参照

★²

つまり、患者が覚醒しているからといって、すぐに気管チューブを抜管してよいというわけではない。

▶BIS :
bispectral index

▶深麻酔下抜管については、本項「⑥ 覚醒前抜管」(p.147) 参照

表 2 覚醒下抜管の基準

1. 麻酔覚醒の基準を満たしている
2. 低体温になっていない (36℃未満では抜管しない)
3. すべてのバイタルサインが安定している
4. 筋弛緩薬の作用から回復している (残存する筋弛緩薬を十分に拮抗する)
5. 咳反射、嚥下反射などの気道防御反射が認められる (無理に誘発する必要はない)
6. 自発呼吸下に十分な換気量がある
7. 抜管しても気道閉塞を生じる心配がない

によっては抜管に特別な手順が必要なこともある。

b. 抜管後の喉頭機能不全，上気道閉塞が懸念される場合

- 喉頭機能不全は抜管後の誤嚥のリスクを増大させるだけでなく，気道閉塞の原因にもなりうる。喉頭機能不全は，周術期に使用した麻酔薬・筋弛緩薬などの残存効果で起こることが知られているが，これらの効果を見逃すことができるほど回復していても，喉頭機能不全をきたす症例がある。
- 気管挿管の影響で喉頭より誘発される防御反射が損なわれたり²⁾，頭頸部手術，開胸手術などでは反回神経損傷による喉頭機能不全も起こりうる。また，頭頸部癌の手術では大きな皮弁で再建が行われることもあり，喉頭機能不全と同様，上気道の狭窄や閉塞のリスクがある。このような症例では，術前評価と同様，抜管前の評価が重要である。

■ 上気道の内視鏡観察が有用なことがある

- 気管チューブ抜管前に，経鼻あるいは経口でのアプローチで上気道を観察する方法である。上気道の気道開存性，声帯浮腫の有無，出血の有無などを評価できる。しかし，反射の有無を含めた喉頭機能の評価するには，一度ラリンジアルマスクなどの声門上器具に入れ替える必要がある。
- 声門上器具への入れ替えのときには，入れ替えの刺激による喉頭痙攣を防止するために一時的に麻酔を深くするべきである。その後で，声門上器具を通して気管支ファイバースコープを挿入する。この方法を用いることによって，声門周囲の粘膜の浮腫の程度を詳細に観察することや，麻酔深度を調節し喉頭反射の出現を確認することで，喉頭機能の評価することが可能となる。
- 浮腫に関しては静的な評価を行えばよいが，反射に関しては動的な評価が必要である。深吸気時に声帯が開大する，少量の蒸留水刺激に声帯が閉鎖することなどを観察するとよい。すべての症例で行う評価ではないが，頸椎前方固定，頭頸部癌の手術，反回神経損傷の可能性のある手術，次節のカフリリースプレッシャーが高い症例などの抜管時に行うとよい。

▶ CLP :
cuff leak pressure

表 3 カフリリースプレッシャーの測定手順

1. 自発呼吸がないことを確認する
2. 口腔内を吸引する
3. 新鮮ガス流量を酸素 6 L に設定する
4. 麻酔器の APL 弁を完全に閉鎖する
5. 人工呼吸を止める
6. 回路内圧 10 cmH₂O まで上昇したところで気管チューブのカフを脱気する
7. 回路内圧が安定したときの数値を測定する

APL 弁：調節式圧制御弁

■ カフリリースプレッシャー（CLP）を測定する

- 腹臥位で行う長時間手術や，頸部操作を伴う手術などでは，抜管後に気道閉塞となるリスクがある。当施設オリジナルの方法である表 3 に示した方法を用いて「カフリリースプレッシャー（CLP）」を測定することで，抜管後の気道閉塞のリスクの有無を予測している。
- 具体的には，麻酔導入した直後と手術終了後に CLP を測定し，麻酔導入直後の値と比べて手術終了後の値が著しく増加しているよう

であれば、咽頭・喉頭粘膜の浮腫、舌の腫脹などの原因で上気道が狭窄している可能性が高く、手術終了直後の抜管は気道閉塞の危険性が高いため避けたほうがよいと予測できる。

- CLP の値に関しては、蓄積したデータが存在しないが、20 cmH₂O 程度を一つの目安としている。これ以上の値をとるとき「抜管リスクあり」と判断し、抜管を見合わせたり、上述の内視鏡による検査を施行したり、場合によっては気管切開などを行っている。
- CLP はカフリークテストの原法に代わって筆者らが提唱している抜管前評価の一つである。カフリークテストはもともと気管挿管されている患者に対して、自発呼吸下に抜管前に気管チューブのカフを虚脱させ、チューブの外側に気流が生じるか否か（リークを生じるか否か）で、声帯の浮腫などによる術後の上気道閉塞・再挿管のリスクなどを予測するのに使用されてきた³⁾。
- 抜管後の上気道閉塞に関して、Ochoa らによるメタ解析ではカフリークテストが陽性のとき（リークが認められないとき）、オッズ比は 18.78（95%信頼区間：7.35-47.92）、特異度は 0.92（95%信頼区間：0.90-0.93）ときわめて高い値が報告されている。その一方で感度は、0.56（95%信頼区間：0.48-0.63）にとどまっている⁴⁾。このことは、リークがないとき抜管の危険性がきわめて高いことを示していると同時に、リークがあっても安心できないことも意味する。

■ チューブエクステンジャーの活用

- American Society of Anesthesiologists (ASA) の Difficult Airway Algorithm では、抜管後の気道の開通が不確実な状況や、再挿管が困難であると予測される症例では、抜管の際にチューブエクステンジャーの使用が推奨されている⁵⁾。
- 具体的には、抜管の前にチューブエクステンジャーを気管チューブ内に通しておき、チューブエクステンジャーを気管に残したまま気管内チューブだけを抜管する。抜管した後もしばらくチューブエクステンジャーを気管内に留置しておき、必要であればチューブエクステンジャーを通して再挿管を行うことができる。
- また、Cook Medical 社の気管内チューブ交換用カテーテル（チューブエクステンジャー）は中空構造になっており、付属している Rapi-Fit[®]アダプタを用いて麻酔回路からチューブエクステンジャーを通して酸素を投与したり（図 1）、マニュアルジェットベンチレーターを用いたジェット換気を行ったりすることも可能である。
- なお、コネクターがないときには小児用挿管チューブのスリップジョイント

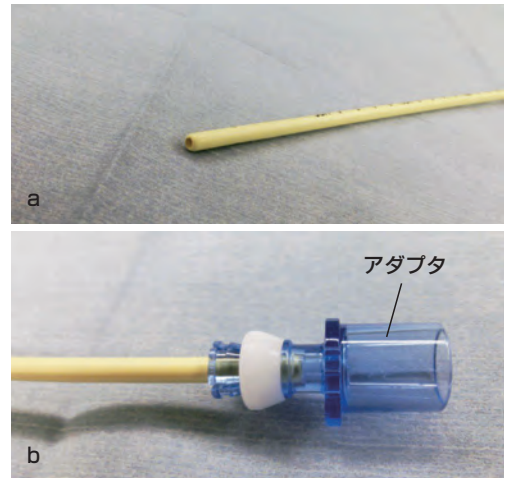


図 1 チューブエクステンジャー

中空構造になっており、専用のアダプタを接続すればチューブエクステンジャーから酸素投与が可能になる。

しんせんりやく もと ま すい しゅうじゅつきいがく
新戦略に基づく麻酔・周術期医学

ま すい か い き どう こきゅうかんり
麻酔科医のための気道・呼吸管理

2013 年 9 月 10 日 初版第 1 刷発行 © [検印省略]

専門編集——ひろ た かずよし
廣田和美

発行者——平田 直

発行所——株式会社 中山書店
〒113-8666 東京都文京区白山 1-25-14
TEL 03-3813-1100 (代表) 振替 00130-5-196565
<http://www.nakayamashoten.co.jp/>

装丁——花本浩一 (麒麟三隻館)

印刷・製本——株式会社シナノ

Published by Nakayama Shoten Co., Ltd. Printed in Japan

ISBN 978-4-521-73709-6

落丁・乱丁の場合はお取り替え致します。

・本書の複製権・上映権・譲渡権・公衆送信権 (送信可能化権を含む) は株式会社中山書店が保有します。
・**JCOPY** (社) 出版者著作権管理機構 委託出版物)
本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、(社) 出版者著作権管理機構 (電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

本書をスキャン・デジタルデータ化するなどの複製を無許諾で行う行為は、著作権法上での限られた例外 (「私的使用のための複製」など) を除き著作権法違反となります。なお、大学・病院・企業などにおいて、内部的に業務上使用する目的で上記の行為を行うことは、私的使用には該当せず違法です。また私的使用のためであっても、代行業者等の第三者に依頼して使用する本人以外の者が上記の行為を行うことは違法です。