

# 气道管理

# 大全

【監修】

山蔭道明

札幌医科大学医学部  
麻醉科学講座 教授

【編著】

立花俊祐

札幌医科大学医学部  
麻醉科学講座 助教

茶木友浩

札幌医科大学医学部  
麻醉科学講座 助教

Evidence  
*and* Tips

中外医学社

## ✓ CHAPTER 2 酸素療法および非侵襲的陽圧換気

### ✓ 1. 酸素療法 ①カニューレ

#### 1 概要

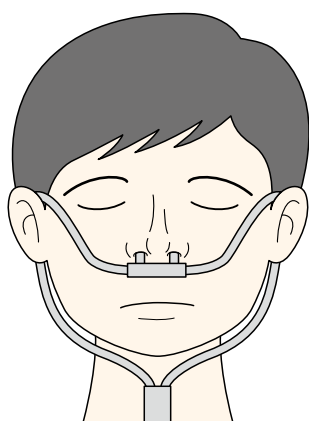
- 酸素投与を患者（成人，小児）に行う上でのデバイスとして，各種酸素カニューレがある．そのうちの一つで，両鼻に差し込む形で装着する．

#### 2 製品外観

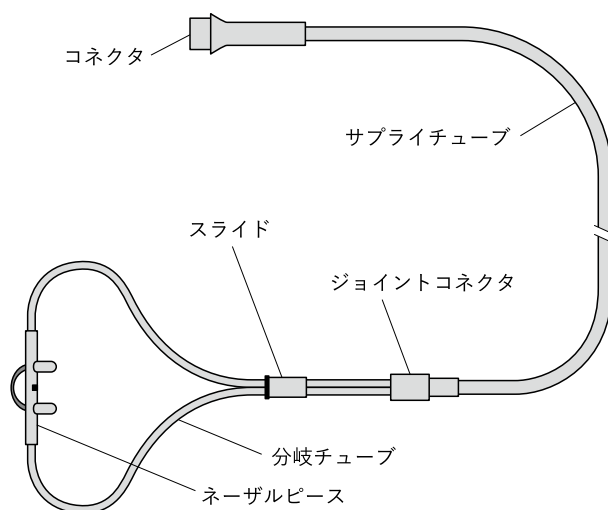
- [図1] のように装着し，成人用と小児用と使い分けられる．

#### 3 特徴

- [図2] のように酸素ボンベや酸素供給装置とのコネクタ，患者の頭部の大きさに合わせて後頭部で長さを調節するアダプタ，耳に掛けるストラップ，両鼻に差し込む装着部から構成されるビニール製のデバイスである．一般的には，低流量（1～3L/min）の酸素投与を行うために使用される．



[図1]



[図2]

(メドライン・ジャパン HUDSON 酸素カニューレ添付文書 2023年9月第2版より)

## 4 使用法

- 使用する際は、原則的には①酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）が90%あるいは動脈血酸素分圧（PaO<sub>2</sub>）が60 mmHgを下回る低酸素血症を認めた場合の使用、②術後の低酸素血症を予防するための使用、③意識混濁の際、低酸素血症の可能性を考慮した上での使用、④high flow nasal cannula（HFNC）としての使用が考えられる。

### Evidence

臨床現場において、鼻カニューレはおもに小児に使用されていると考えられる。そこで、小児に関するエビデンスを一つ紹介する。

#### ▶ 新生児、乳児の気道模型を使用して測定された 低流量酸素投与時の吸入酸素濃度<sup>1)</sup>

5歳未満の低酸素血症では、酸素投与時のデバイスとして、鼻カニューレが選択されることが多い。新生児や乳児に対して、鼻カニューレを装着して酸素投与を実施した場合、実際の吸入酸素濃度がどの程度を示すかについて、*in vivo*で測定することは現実的には難しいことが予想される。そこで、7つの気道模型を使用して、各種設定条件下での吸入酸素濃度測定が施行された [表 1]。

結果、吸入酸素濃度は換気量、呼吸数、酸素流量に影響されることが判明した ( $p < 0.05$ )。また、吸入酸素濃度の概算式としては、以下のような計算式が導き出された。

$$\text{吸入酸素濃度 (\%)} = 21 + 79 (Q_{\text{NC}}/Q_i) \quad Q_{\text{NC}}/Q_i < 0.5$$

$Q_{\text{NC}}$ : 鼻カニューレの酸素投与量

$Q_i$ : 平均の吸入酸素投与量

$$\text{吸入酸素濃度 (\%)} = A \{21 + 79 (Q_{\text{NC}}/Q_i)\} + B \quad Q_{\text{NC}}/Q_i \geq 0.5$$

$A = 0.8115$

$B = 7.9228$

気道模型の種類	日齢	性別	体重 (kg)
新生児	5	F	3.5
	9	M	3.57
	9	F	3.54
	34	M	N/A
乳児	52	F	6.3
	78	M	6.6
	79	M	5.8
平均 (±SD)	38		4.89 (1.37)

[表 1] 鼻カニューレの吸入酸素濃度測定のための設定条件

(Sabz M, et al. Respir Res. 2022; 23: 333<sup>1)</sup>より引用)

 Tips

過去の文献<sup>2)</sup>によれば、投与量は新生児で0.5~1 L/min、乳児においては1~2 L/minで十分とされる。麻酔領域において、酸素投与の最大の目的は、低酸素血症を防ぐことであろう。ところで、28週未満で出生した早産児<sup>3)</sup>や2,500 g未満の25%<sup>4)</sup>は、無呼吸発作が発生しやすい。したがって、観血的に動脈血二酸化炭素分圧 (PaCO<sub>2</sub>) を測定する方法の代替法として、経皮的血液ガスシステム<sup>5)</sup>を使用して、酸素化だけでなく換気のモニタリング（経皮的に PaCO<sub>2</sub> を測定する）を連続的に施行することも大切である。

## ◆ 文献

- 1) Sabz M, Tavernini S, Pillay K, et al. Variability in low-flow oxygen delivery by nasal cannula evaluated in neonatal and infant airway replicas. *Respir Res.* 2022; 23: 333.
- 2) World Health Organization. Oxygen therapy for children: a manual for health workers. 2016. ISBN 978-92-4-154955-4.
- 3) Francart SJ, Allen MK, Stegall-Zanation J. Apnea of prematurity: caffeine dose optimization. *J Pediatr Pharmacol Ther.* 2013; 18: 45-52.
- 4) 長郷あかね, 中村公紀, 神村英利. 未熟児無呼吸発作に対するカフェインとアミノフィリンの有効性及び安全性に関する比較検討. *薬学雑誌.* 2018; 138: 237-42.
- 5) Bolliger D, Steiner LA, Kasper J, et al. The accuracy of non-invasive carbon dioxide monitoring: a clinical evaluation of two transcutaneous systems. *Anaesthesia.* 2007; 62: 394-9.

〈枝長充隆〉

## ✓ CHAPTER 3 麻酔に必要な気道管理手技

### ✓ 1. 脱窒素化とマスク換気

#### 1 概要

- 全身麻酔導入後のマスク換気不能が予想される場合は、覚醒時気道確保を考慮する。
- 全身麻酔導入前に、100%酸素吸入による肺胞内脱窒素や逆トレンデレンブルグ位などによる機能的残気量増加で体内酸素貯蔵量を増加させ、低酸素血症発生リスクを軽減させる。肥満患者、妊婦、新生児、酸素療法患者では特に重要である。
- 急速導入では、入眠直前までの自発的呼吸継続と入眠後のすみやかなマスク換気開始により、肺胞への酸素供給途絶時間を可能な限り短くする。
- 気道確保の基本原則は、トリプルエアウェイマヌーバー（triple airway maneuver、下顎前方移動、頭部後屈、開口）である。
- 筋弛緩薬投与はマスク換気を容易にする。
- 片手による手動マスク換気に比較して、両手を用いた気道確保と従圧式人工呼吸器使用はより有効なマスク換気が可能である。
- マスク換気の難易度は、カプノグラム波形を呼気終末二酸化炭素ガス分圧（ETCO<sub>2</sub>）で判断可能である。

#### 2 手技施行時の気道管理の実際

##### 全身麻酔導入後のマスク換気難易度評価

全身麻酔導入時のマスク換気困難や換気不能は、重篤な低酸素血症や致命的な偶発症の原因となる。日本麻酔科学会の気道管理ガイドライン（JSAガイドライン）においては、全身麻酔導入時の酸素化を維持するために、適切なマスク換気維持を最重要事項としている<sup>1)</sup>。すべての全身麻酔症例に対して、マスク換気難易度を評価し、全身麻酔導入方法を計画する必要がある。特に、マスク換気不能が予測される場合には、覚醒時気管挿管を検討すべきである。JSAガイドラインでは、Kheternalらが直視型喉頭鏡を用いた気管挿管とマスク換気が同時に困難となる12項目の独立危険因子を日本人の体型を考慮し一部改変したものが推奨されている〔表1〕<sup>2)</sup>。該当する項目数が増えるに従って、マスク換気と気管挿管困難が同時に発生する確率が高くなる。0～3項目該当する場合に対して、4項目、5項目、6項目該当する場合のオッズ比は、それぞれ2.56、4.18、9.23となる。

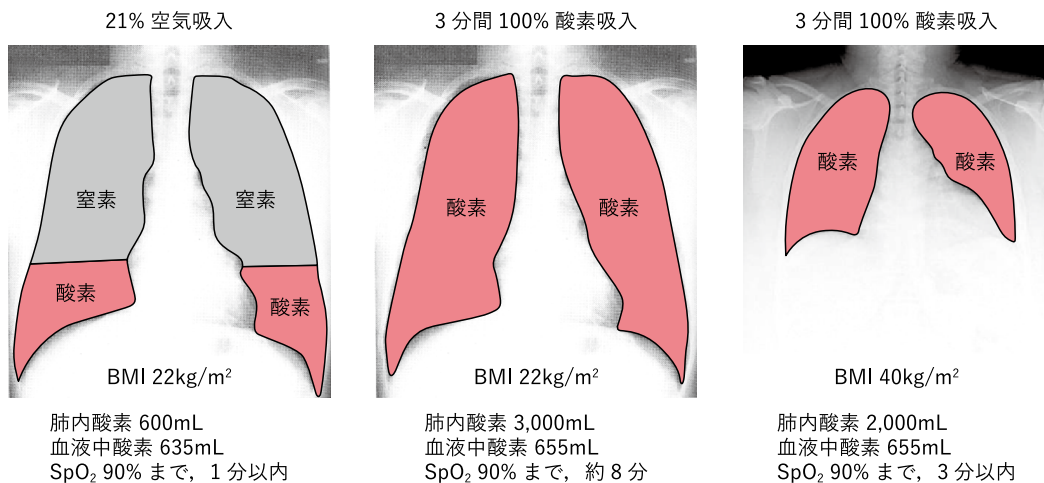
該当項目数の多さばかりでなく、それぞれの項目の意味するところを理解することはさらに重要である。12項目の気道評価は、全身麻酔導入後の咽頭閉塞リスク（6項目）、ト

## 全身麻酔導入前の脱窒素の方法

全身麻酔急速導入開始から気管挿管に成功し人工呼吸がすみやかに開始されたとしても、その間に入眠による呼吸停止からマスク換気により十分な換気量達成までの間、さらに気管挿管操作を行い換気が再開される間は、肺胞内への酸素供給が停止される。マスク換気が困難あるいは不可能である場合には、入眠前に体内に蓄えられた酸素のみが使用できる。つまり、体内に蓄えられている使用可能な酸素が消費されてしまうと低酸素血症をきたすこととなる。

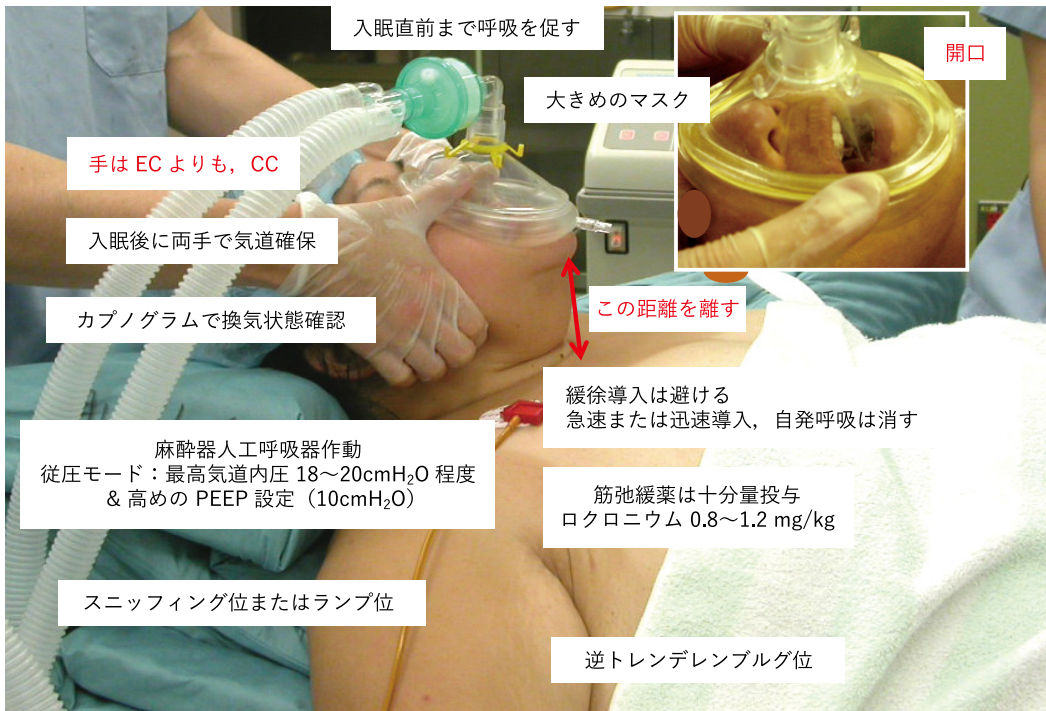
【図2】に示すように、空気呼吸時に比較して、100%酸素を吸入し脱窒素した場合には、体内の酸素貯蔵量が大きく増加し、全身麻酔導入時に肺胞内への酸素供給が減少あるいは停止しても低酸素血症に陥る可能性が低くなる。実際、空気呼吸時に酸素供給が停止すると酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) は1分以内に90%以下まで低下する。他方、脱窒素で肺内酸素濃度を90%程度まで増加させることができた場合には、SpO<sub>2</sub>が90%まで低下するには、個体差も大きいが約8分と推定されている<sup>3,4</sup>。ただし、脱窒素で肺内酸素濃度を90%まで増加させるには、マスクを密着させ3分間安静呼吸を行う方法が推奨される。急ぐ場合は、8回の深呼吸を60秒かけて行う方法も効果的であるが低炭酸ガス血症となることを認識すべきである。いずれの方法も、マスク周囲からの空気を吸入してしまうと効果が減弱する。特に深呼吸を行う場合には酸素流量を増加させる必要がある。4回の深呼吸では不十分と報告されている。

肥満患者など機能的残気量が低下している場合には、酸素の体内備蓄量がこの分だけ少ないため、3分以内にSpO<sub>2</sub>は90%まで低下する<sup>5</sup>。したがって、導入時低酸素血症を予防



【図2】 吸入酸素濃度と機能的残気量の違いによる体内酸素貯蔵量の違い

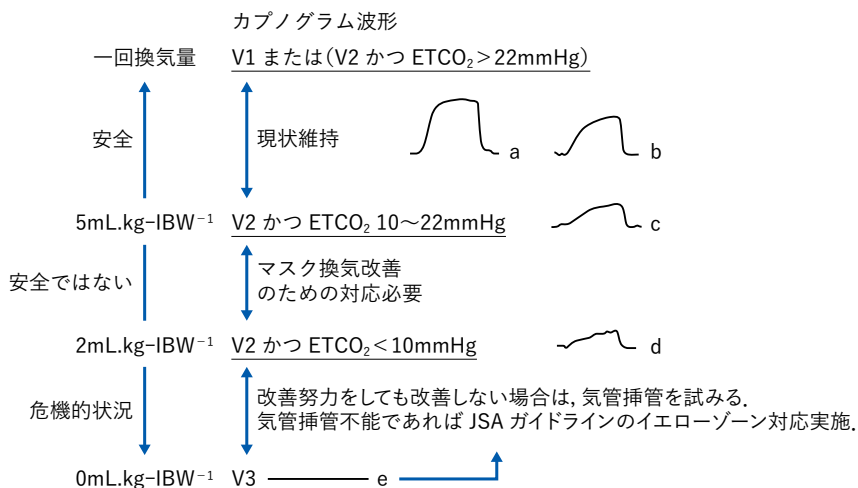
機能的残気量が約3,000 mL程度の非肥満成人が空気を呼吸している場合には、肺内の酸素は600 mL (3000 × 0.2)、血液内のヘモグロビン (Hb 10 g/dL) に結合している酸素と溶存酸素を合わせて約635 mL、つまり合計1,235 mLが最大活用できる体内酸素貯蔵量である(左)。一方、100%酸素を吸入し、肺内の窒素を完全に酸素で置換(脱窒素)できた場合には、血液内酸素の増加はわずかであるが、肺内の酸素量は約3,000 mLまで増加し、合計3,655 mLの酸素を体内に貯蔵可能である(中央)。しかし、肥満で機能的残気量が2,000 mLの場合にはその分体内酸素貯蔵量が少なくなる(右)。体内酸素貯蔵量は、全身麻酔導入後の換気停止による低酸素血症進展のスピードに大きく影響する。



【図4】 高度肥満患者で確実にマスク換気を達成するための具体的方法  
EC, CC は後出の Tips を参照.

## マスク換気困難の判断

JSA ガイドラインでは、マスク換気の有効性をカプノグラム波形で判断することを推奨している。【図5】に示すような平坦なカプノグラム第Ⅲ相を認める V1 波形 (a), 右肩上がりの波形で第Ⅱ相のみを認める V2 波形 (b, c, d), さらに基線から変化しない V3 波形



【図5】 カプノグラム波形と呼気終末二酸化炭素分圧(ETCO<sub>2</sub>)で判断するマスク換気難易度

マスク換気困難の患者に投与して換気状態が改善した報告もなされている<sup>14)</sup>。

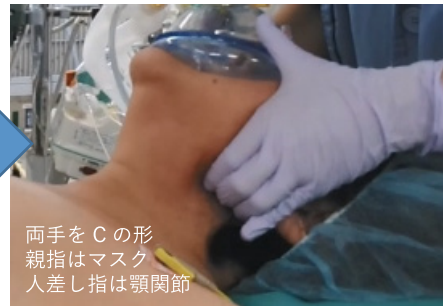
## Tips

- 解剖学的アンバランスの存在を全身麻酔導入前に評価することで咽頭閉塞のリスクが評価できる。① Mallampati 分類クラス 3・4、② 横顔の顎下部過剰軟部組織は、解剖学的アンバランスの存在を示唆し、OSA 患者のスクリーニングに有用である<sup>15)</sup>。つまり、これらの患者は全身麻酔導入後に咽頭閉塞が発生し、適切な気道確保ができなければマスク換気は困難が予想される。頸部側面 X 線撮影が実施された場合には、③ 舌骨の低位（舌骨から下顎骨までの距離が 20 mm 以上）は解剖学的アンバランスを示唆する所見である<sup>16)</sup>。このような患者は気管挿管も困難と報告されている。①～③の3つの解剖学的アンバランス予測方法は、すべて気管挿管困難リスクの評価でもある。全身麻酔導入時のマスク換気困難と気管挿管困難は同一患者に合併しやすいのである。
- 気道確保の基本原則は、トリプルエアウェイマヌーバー（下顎前方移動、頭部後屈、開口）である。このうち、開口は咽頭周囲の骨構造物内容を減少させるので、咽頭は閉塞しやすくなるので、気道確保そのものには逆効果であるが、経口的なマスク換気を確実に実施できる。経鼻的な換気を行う際には最も閉塞性の高い軟口蓋後壁部の気道を維持しなければならないが、肥満患者では下顎前方移動によってもこの部位の気道維持が

両手 CC 法での気道確保のコツ



下顎を下方に押し開く



両手を C の形  
親指はマスク  
人差し指は顎関節

人差し指で下顎を前方移動させながら、頭部後屈させる



軟部組織を  
マスクに密着

中指で下顎前方移動

無歯顎患者でのリーク対策



小指で下顎  
前方移動

両手 EC 法：開口維持が困難

【図 7】トリプルエアウェイマヌーバーを確実にを行う方法