

●講 座●

人工呼吸管理中の気道浄化

田村富美子

キーワード：VAP 予防，気管チューブ，加温加湿，気管吸引，カフ管理

はじめに

気道浄化機能において、口・鼻腔から咽頭、喉頭、気管に至るまでの上気道は重要な役割を果たすが、人工呼吸器管理中は、気管チューブによって上気道はバイパスされ、人工呼吸器および気管チューブ管理に伴う合併症が起こり得る。また、気道浄化に関するケアは、人工呼吸器関連肺炎（ventilator-associated pneumonia：VAP）予防対策上も重要な視点である。

VAP は「気管挿管による人工呼吸器開始 48 時間以降に発症する肺炎」と定義され、口腔・咽頭の細菌が気管チューブを介して流入あるいは直接侵入することにより発生するといわれる（図 1）。2013 年 1 月に米国

疾病予防管理センター（Centers for Disease Control and Prevention：CDC）・全米医療安全ネットワーク（National Healthcare Safety Network：NHSN）のサーベイランス疾患定義が改訂され、人工呼吸器関連事象（ventilator-associated events：VAE）の中で VAP を分類するようになった^{1,2)}。VAP の発症は、酸素消費量・呼吸仕事量の不要な増加、人工呼吸器の早期離脱・早期離床の障害、廃用性障害、入院期間の長期化、医療費の増加をもたらし、患者急変・死亡率の上昇にもつながる。

本稿では、VAP 予防、すなわち気管チューブを介した人工呼吸器管理による合併症予防の視点から、気道浄化に関するケアにおいて、気道の機能を踏まえた加温加湿管理、気管吸引、カフ圧管理、カフ上部吸引について取り上げる。

I. 気道の機能

気道は、粘液繊毛輸送システムによって、気道浄化作用を果たす。その阻害因子は、気管挿管、気管切開、気管吸引による人工気道による因子、人工呼吸器管理、加齢、喫煙、麻酔・鎮静・鎮痛、意識障害、呼吸器疾患、神経筋疾患、胸部・上腹部の手術、乾燥ガス、不動化、低換気、脱水症状などが挙げられる。これらは気道浄化作用における加温加湿機能と防御機能の双方の機能低下を引き起こす³⁾（図 2・3）。

加温加湿機能は、吸気ガス（空気）を加温加湿し、呼気ガスからの熱と湿度（水分）が回収されることによって保たれる。吸気では熱と水分が気道から奪われ

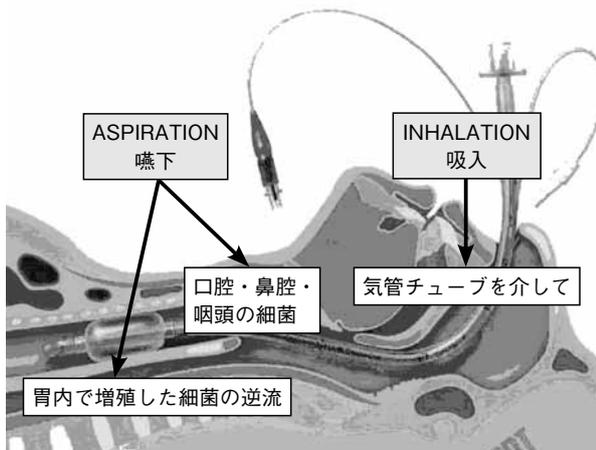


図 1 VAP 発生機序

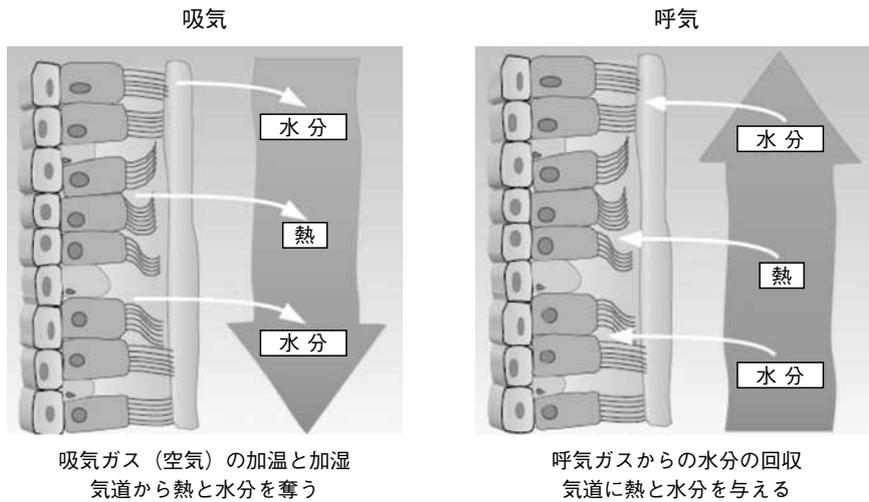


図2 気道の加温加湿機能

Fisher & Paykel 社資料より作成。日本呼吸療法医学会セミナー委員会編「ナースのための人工呼吸 Q & A 200」より。

- 粘液
汚染物質を捕捉、動かなくする
- 繊毛運動
粘液と汚染物質は押し上げられ、排除される

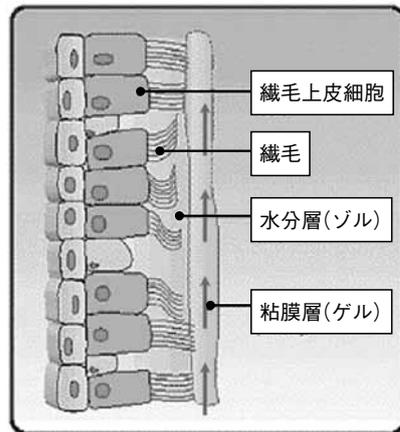


図3 気道の防御機能

Fisher & Paykel 社資料より作成。日本呼吸療法医学会セミナー委員会編「ナースのための人工呼吸 Q & A 200」より。

るが、呼気では熱と水分が与えられることになる。

防御機能は、粘液によって、汚染物質を捕らえ、繊毛運動により、粘液と汚染物質を押し上げ排除する。気管挿管、気管切開に伴う気管チューブによって上気道がバイパスされた患者は、生理的加温加湿機能の損失、咳嗽や嚥下による気道浄化作用の低下、消失が起きる。また、低温で乾燥した医療ガスが供給されるため、繊毛運動も阻害され、防御機能の低下をきたしやすい状態になる。

飽和水蒸気量と相対湿度 (relative humidity : RH)、絶対湿度 (absolute humidity : AH) の関係を理解することは重要である (図4)。

大気を鼻腔から吸うと、気道の加温加湿機能により、

肺胞に到達するまでに 37°C 100% RH (AH 44mg/L) になる。22°C 50% RH (AH 8.7mg/L) の吸気が、気管では 32 ~ 34°C、75 ~ 90% RH に達し、気管第3分岐部付近で 37°C 100% RH (AH 44mg/L) [isothermic saturation boundary : ISB]⁴⁾ となる。気管チューブ挿入中の患者では、ISB が末梢へ移動する。つまり、上気道で加温加湿されるはずが、広範囲の気管粘膜から、温度・湿度の喪失が起り、乾燥する。

II. 加温加湿方法の選択

臨床では、RH、AH、飽和水蒸気量と結露の関係を理解し、臨床における適正加湿の指標を目安とし、適切な加湿方法を選択する (表1)。

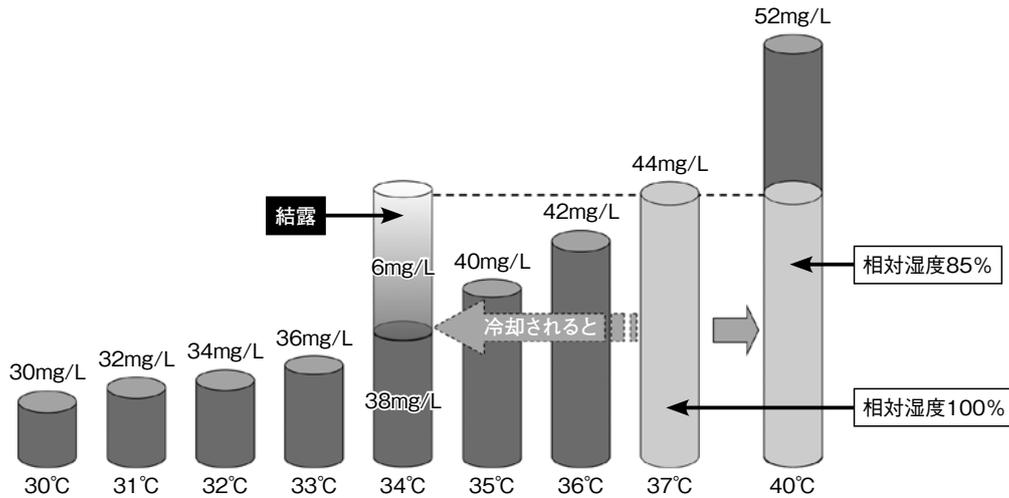


図4 湿度と飽和水蒸気量

表1 臨床における適正加湿の指標

1. 喀痰が軟らかくなっているか
2. 吸気回路終末（チューブ接続部）付近で内面に結露しているか
3. 気管チューブ内壁に結露、水滴があるか
4. 気管吸引カテーテルが気管チューブにスムーズに入るか
5. 温度モニターで適切な温度（ $37 \pm 2^\circ\text{C}$ ）になっているか

*人工鼻使用下では、1. 3. 4. が指標となる

（文献5より）

1. 加温加湿器

加温加湿器の最近の主流は、パスオーバー型である。ネブライザーの生成する水滴は $0.02 \sim 40\mu$ であり、バクテリアやウイルスを媒介する危険性があるといわれ、反して、パスオーバー型は水蒸気として存在するため 0.0001μ であり、感染源となる危険性が少ないと言われる³⁾。

ネブライザーは薬物療法目的の装置であり、人工呼吸器管理中の加湿目的としては、回路開放に伴う汚染の機会を増加させることもあり、近年は推奨されない。加温加湿器の設定温度が低いと、不十分な湿度によって、気管・気管支の上皮細胞が損傷され、繊毛運動が障害され、気道内分泌物は粘稠化し、排出困難や気管チューブの内腔狭窄・閉塞を引き起こす誘因にもなる。近年は、パスオーバー型加温加湿器の導入と、自動温度調整・注水、ホースヒーター入り回路の普及により、回路内結露廃棄の必要がなく、不適切な温度設定によるAH保持が不安定となる問題がなくなっている。

2. フィルター付き人工鼻（Heat-moisture exchanging filter : HMEF）

人工鼻は、患者の呼気中の水分と熱を捕捉し、吸気時に放出する原理により、加温加湿を行う。通常、人工呼吸器管理においては、バクテリアフィルタを備えたもの（HMEF）を使用し、RH 100%、AH 最大 $30 \sim 33\text{mg/L}$ を維持する。

回路内に結露が貯留しないため処理に伴う回路トラブルは減少、1患者1回路で回路構成も単純、手軽であり、短期間使用であれば加温加湿器より経済的と考えられ、バクテリアフィルタ機能もあるため、感染予防効果も期待される。ただし、人工鼻使用時は禁忌、注意事項を十分に把握して使用する必要がある（表2）。

各々の加温加湿方法のメリットとデメリットがあるため、メーカーの推奨する使用方法を参考に、コストや各施設の諸事情を検討の上、選択する。

Ⅲ. 気管吸引

厚生労働省が2010年に告示した「医療スタッフの協働・連携によるチーム医療の推進について」において、医師、看護師以外の医療スタッフによる気管吸引が認められた。その指針として2013年3月に最終改訂された本学会気管吸引ガイドライン改訂ワーキンググループによる「気管吸引のガイドライン2013（成人で人工気道を有する患者のための）」⁶⁾における気管吸引は、人工気道を含む気道からカテーテルを用いて機械的に分泌物を除去するための準備、手技の実施、実

表2 人工鼻の禁忌

◆ 気道内分泌物	粘稠度に有意な差はないが、血痰は禁忌。 気管チューブから排出しやすい状況では、気道抵抗の上昇や閉塞の危険性が高い。
◆ 呼気時の一回換気量 (V_T)	呼気側のリークがある場合 (小児カフなしチューブ、NPPV)
◆ 低体温	絶対湿度基準値が低下
◆ 分時換気量 (\dot{V}_E)・一回換気量 (V_T)	\dot{V}_E 10L/分以上 (加湿効率低下、呼吸抵抗上昇) V_T 150mL 以下 (人工鼻の死腔の影響増大)
◆ ネブライザー	薬液の付着は厳禁

表3 気管吸引適応状態と観察指標

フィジカルアセスメント	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 聴診：副雑音 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Rhonchi：左右主気管支にかけて分泌物の存在を示唆する副雑音 (断続性ラ音) ✓ Strider：喉頭～主気管支 ✓ 呼吸音の減弱 ◆ 挿管チューブ内の音 ◆ 触診：胸部を触診しガスの移動に伴った振動 ◆ 視診：努力性呼吸の増加 = 呼吸仕事量の増加所見 呼吸数増加、浅速呼吸、陥没呼吸、補助筋活動の増加、呼気延長など
症 状	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 視覚的確認 (チューブ内に分泌物が見える) ◆ 誤嚥した場合
パルスオキシメーター	◆ SpO_2 (PaO_2) の低下 (酸素化障害)
人工呼吸器患者モニター	<ul style="list-style-type: none"> ◆ VCV：PIPの上昇、PIP - EIP (プラトー圧) の変化 ◆ PCV：V_T (一回換気量)、\dot{V}_E (分時換気量) の低下
グラフィックモニター	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 経時曲線 Paw、Flow (流速) pattern の変化 ◆ Flow-Volume curve pattern の変化。特徴的な「のこぎり歯状の波形」

施後の観察、アセスメントと感染管理を含む一連の流れと定義され、アセスメントを一連の過程として強調し、目的は、気道の開放性を維持・改善することにより、呼吸仕事量 (努力呼吸) や呼吸困難感を軽減し、肺胞でのガス交換能を維持・改善することであるとしている。また、その達成のために他のアプローチも考慮すべきこと (加湿加湿管理、気道浄化療法) や気管吸引は侵襲的な苦痛を伴う処置であると認識することも、強調している。

1. 気管吸引の適応とタイミング

気管吸引ガイドライン⁶⁾の「適応となる状態とそのアセスメント」を参考に、臨床における適応状態、観察指標を表3に記した。

気道内分泌物の存在を示すと考えられる副雑音 (Rhonchi [いびき様音]、Strider [上部気道狭窄音]) や、

チューブの内腔が狭いと気管チューブや回路内から雑音が聴取されることがある。また、 SpO_2 ・ PaO_2 低下は最も使用する指標だが、必ずしも喀痰の貯留だけで起きるわけではない。人工呼吸器によってモニタリングされる、量設定モード (volume control ventilation : VCV) 時の最大吸気気道内圧 (peak inspiratory pressure : PIP) の上昇、気道抵抗を表す PIP - EIP (end-inspiratory pause pressure : 呼気終末休止圧 [プラトー圧]) の変化の拡大、圧設定モード (pressure control ventilation : PCV) 時の V_T (一回換気量)、 \dot{V}_E (分時換気量) の低下も、経時的評価を行う上で有用である。しかし、いずれも必ずしも喀痰の貯留だけが原因で変化するパラメーターではないことを理解し、努力性呼吸の出現など、症状の観察、フィジカルアセスメントと合わせて判断することになる。

グラフィックモニターの経時曲線 Paw、Flow (流速)

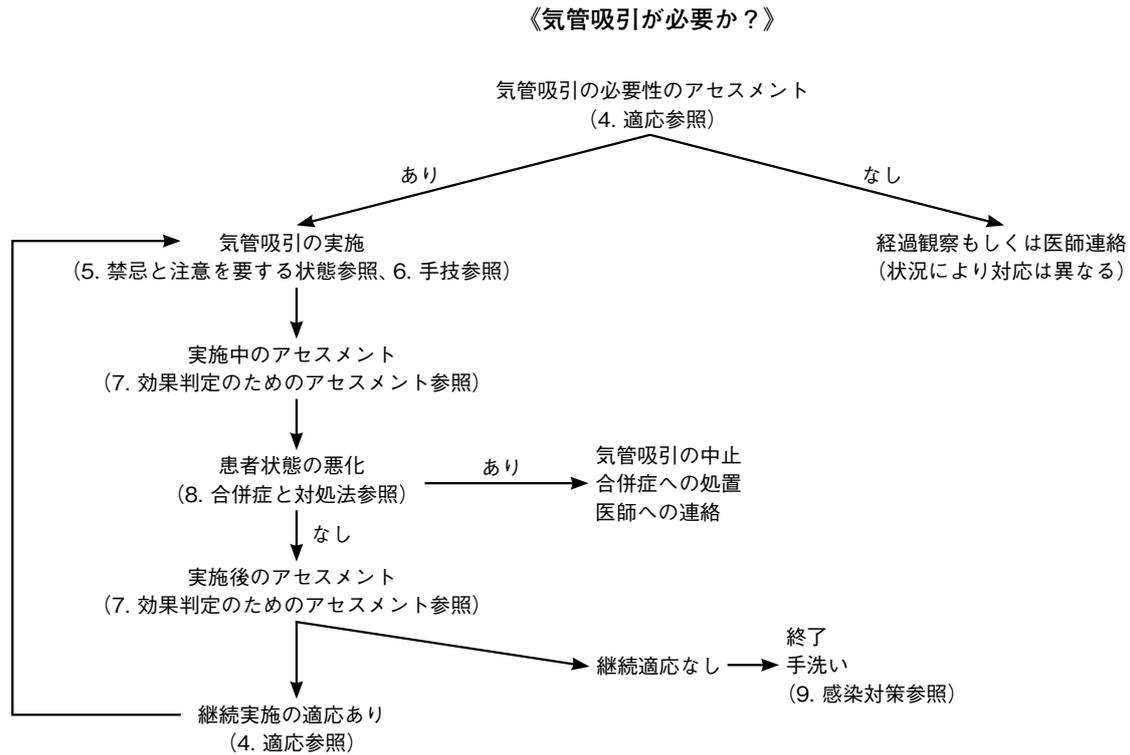


図5 気管吸引の流れ (文献6より)

() 内は日本呼吸療法医学会「気管吸引ガイドライン2013」の項目

の変化も、臨床上有用である。Guglielminottiら⁷⁾の報告によると、flow volume (FV) curve patternの変化と呼吸音(副雑音)が、SpO₂やPIPよりも、主気管支レベルにおける痰の存在を示す有用な指標であるとしている。しかし、臨床では、これらの指標が確実に喀痰の存在を示しているとは言い難く、どれをとっても1つの指標だけで、気管吸引の適応とタイミングを図ることは難しい。

気管吸引を直ちに実施するタイミングは、主気管支レベルに喀痰が明らかに存在することを聴診した上で、他のパラメーターがどれか、または複数、異常な変化を示した場合といえる。パラメーターの異常値があるにもかかわらず、明らかに聴診できないときは、様々な要因、指標について、包括的、多角的にアセスメントした上で判断する。アセスメントなく、ルーチンに実施することは避けるべきである。

2. 開放式吸引と閉鎖式吸引

閉鎖式吸引は、VAP発症率、環境・従事者の汚染など感染防御面においては開放式と同程度であるとする研究報告^{8,9)}があり、必ずしも優れているとはいえ

ない。しかし、気管吸引に伴う合併症予防の側面において、開放式吸引では肺容量が著しく低下し、再接続後も一度虚脱した肺容量はしばらく戻らないため、SpO₂は低下傾向となる。閉鎖式吸引は吸引中の低酸素血症、不整脈、肺の虚脱を起こしにくい¹⁰⁾と言われる。回路を外さずに吸引できる閉鎖式吸引は、高PEEP(positive end-expiratory pressure:呼吸終末陽圧)管理している重症呼吸不全の場合でも、PEEPを解除せずに吸引が可能であり、飛散防止にもなるため、気管吸引ガイドライン⁶⁾でも、人工呼吸器使用中は可能な限り閉鎖式吸引システムの使用を推奨している。

3. 気管吸引実施の流れ

気管吸引ガイドライン⁶⁾では、最後に気管吸引実施の流れをフローチャート(図5)に示し、最重要点は、実施後のアセスメントであり、このときの症状と合併症の把握であるとしている。症状が改善せず、合併症が見られなければ、気管吸引を継続実施することは選択肢となるが、合併症を生じた場合、検討が必要であると示している。

気管吸引を一定の質を保ち、安全な人工呼吸管理を

表 4 人工呼吸器患者のケアバンドル

IHI 人工呼吸器バンドル	日本集中治療医学会 人工呼吸器関連肺炎予防策バンドル (VAP バンドル)
1. ベッド頭部の 30 度から 45 度の挙上 2. 毎日の鎮静中止と抜管できるかどうかのアセスメント 3. 胃潰瘍予防 4. 深部静脈血栓 (DVT) 予防 5. クロルヘキシジンによる毎日の口腔ケア	1. 手指衛生を確実に実施する 2. 人工呼吸器回路を頻回に交換しない 3. 適切な鎮静・鎮痛をはかる、特に過鎮静を避ける 4. 人工呼吸器からの離脱ができるかどうか、毎日評価する 5. 人工呼吸中の患者を仰臥位で管理しない

備考：IHI のバンドルは、人工呼吸器管理に関するケアの質を総合的に向上させることを目的としているため、直接 VAP 予防に影響を与えない項目 (3. 4.) も含まれる。

(文献 13, 14 より)

提供するためには、実施の前中後でのアセスメントを気管吸引の一連の流れとして意識し、身につけることが重要となる。

IV. 適切なカフ圧管理

気管チューブのカフには、人工呼吸管理中の陽圧換気によるガスをリークさせず、上気道からの垂れ込みや内容物の逆流によるカフ上に貯留した分泌物の気管側への流入を防止する役割がある。カフ圧は高すぎると気管粘膜の血流低下をきたし、逆に低すぎると、VAP のリスクが高くなるという報告¹¹⁾があり、定期的に、カフ圧計を用いて 20cmH₂O 以上 30cmH₂O 以下に管理することが推奨される。カフに注入する空気の量が一定でも、気道の形状やカフの大きさによりカフ圧は大きく変化するため、気管吸引前後、体位変換前後、誤嚥予防の視点から口腔ケア前後に測定し、カフ圧測定により一定に保持する必要がある。なお、患者の肺コンプライアンスが低く、高 PEEP による人工呼吸管理中はリーク所見を認めることもある。

V. カフ上部吸引

気管チューブと気管壁とカフの隙間から下気道へ細菌が流入することを防ぐため、カフ上部の分泌物を吸引すること (声門下分泌物吸引) によって VAP 発生率は有意に減少すると報告されている¹²⁾。カフ上部吸引チューブ付き気管チューブを使用している場合、カフ上部の吸引を間歇的または持続的に行う。口腔ケア、気管吸引によって、カフ上部の分泌物の下気道流入を防ぐために、カフ上部吸引を行ってから口腔ケア、気管吸引を実施するのが望ましい。吸引方法は、低圧 (20 ~ 30cmH₂O) での持続吸引や 5 ~ 10mL のシリンジ

でゆっくりと行う方法などがある。カフ上部吸引により VAP 発生率が低下し、VAP 発生までの期間も延長したという報告もある¹²⁾。

おわりに

人工呼吸器管理による合併症予防の視点から、気道浄化に関するケアを一部であるが取り上げた。VAP 予防ケアバンドル (表 4)^{13, 14)} のように、一つのケア介入だけではなく、介入を包括的に束ねて (bundle: 束)、医療チームメンバーが同じように実施、常に取り組みでこそ効果的に作用すると言える。本稿で取り上げたケアも、包括的なチームアプローチの下、複合的に取り入れてこそ有用なケアである。

著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) CDC/NHSN : Surveillance for Ventilator-associated Events. 2013
<http://www.cdc.gov/nhsn/acute-care-hospital/vae/index.html>
- 2) 森兼啓太 訳：急性期医療環境における、CDC/NHSN の医療関連感染に対するサーベイランス定義と感染の特異的種類に対する判定基準 (CDC/NHSN Surveillance Definition of Healthcare-Associated Infection and Criteria for Specific Types of Infections in the Acute Care Setting 翻訳版)
http://www.medica.co.jp/up/cms/news/1618_1_20130710113329.pdf
- 3) 田村富美子, 今中秀光, 竹内宗之ほか: PART8 加温・加湿. 人工呼吸 Q & A200. 日本呼吸療法医学会セミナー委員会編. 大阪, メディカ出版, 2010, pp202-39.
- 4) 宮尾秀樹: 加温加湿器は乾燥器? LiSA. 1995; 2: 40-45.
- 5) 磨田 裕: 加温加湿. 新版図説 ICU—呼吸管理編. 沼田克雄, 奥津芳人編. 東京, 真興交易医書出版部, 1996, pp.310-23.
- 6) 日本呼吸療法医学会気管吸引ガイドライン改訂ワーキンググループ: 気管吸引ガイドライン 2013 (成人で人工気道を

- 有する患者のための). 人工呼吸. 2013 ; 30 : 75-91.
- 7) Guglielminotti J, Alzieu M, Maury E, et al : Bedside detection of retained tracheobroncheal secretions in patients receiving mechanical ventilation. Is it time for tracheal suctioning? *Chest*. 2000 ; 118 : 1095-9.
 - 8) Lorente L, Lecuona M, Martín MM : Ventilator-associated pneumonia using a closed versus an open tracheal suction system. *Crit Care Med*. 2005 ; 33 : 115-9.
 - 9) Combes P, Fauvage B, Oleyer C : Nosocomial pneumonia in mechanically ventilated patients, a prospective randomized evaluation of the Stericath closed suctioning system. *Intensive Care Med*. 2000 ; 26 : 878-82.
 - 10) Cereda M, Villa F, Colombo E, et al : Closed system endotracheal suctioning maintains lung volume during volume-controlled mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 2001 ; 27 : 648-54.
 - 11) American Thoracic Society : Infectious Diseases Society of America : Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005 ; 171 : 388-416.
 - 12) Dezfulian C, Shojania K, Collard HR, et al : Subglottic secretion drainage for preventing ventilator-associated pneumonia : a meta-analysis. *Am J Med*. 2005 ; 118 : 11-8
 - 13) Institute for Healthcare Improvement : Implement the IHI Ventilator Bundle. 2011
<http://www.ihl.org/knowledge/Pages/Changes/ImplementtheVentilatorBundle.aspx>
 - 14) 日本集中治療医学会 ICU 機能評価委員会編. 人工呼吸器関連肺炎の予防バンドル. 2010 改定版
<http://www.jsicm.org/pdf/2010VAP.pdf>