

□ 特集：人工呼吸の安全対策を考える

——人工呼吸器に関する事故をどのように防ぐか：現場での事例と取り組み【各論】□

人工呼吸器回路に関する事故をどのように防止するか

浅 岡 和 正*

はじめに

人工呼吸器の事故を防ぐには、事故事例から原因を学ぶ必要がある。当院では事故防止委員会を設置して、インシデント、アクシデントレポートの提出を進めている。全例提出させることは難しいが、提出されたレポートを SHELL モデル (SHELL モデルとは人間が最適な状況を保つためにはハードウエア、ソフトウエア、環境、人の4つの要因が影響していることを表している)などを用いて、人がどのような状況で過ちを犯すのか、それをどのように防止すればよいのか、4つの要因から分析してインシデントやアクシデントの発生原因の究明と対策を講じている。事故防止については、QC 活動など品質管理の手法を取り入れた安全管理の推進が事故防止にも有効ではないかと考える。当院も QC 活動を導入したばかりなので、安全管理までには至ってはいないが試みたい課題である。人工呼吸療法を安全に行うには、スタッフ同士の知識の共有が不可欠である。ガス供給システムや酸素ボンベの取り扱い方、人工呼吸器の構造や機能、換気モードや条件設定、周辺機器の取り扱い方、警報システムや保守管理方法について教育計画をもとに研修会やカンファレンスの記録を積み重ねて共有化する。人工呼吸システムの事故事例を紹介しながら、人工呼吸器回路の事故防止について述べる。

1. 呼吸療法に必要なガス供給システムの紹介と事故事例

1 医療用ガス

① 液化酸素は臨界温度 -118.4°C 以下、飽和

蒸気圧 50.8 気圧以上に加圧すると液化酸素となる。当院では液化酸素を中央配管している(図1)。

② 酸素は常温では液化しないので通常の酸素ボンベは圧縮酸素を用いて 35°C 最高充填圧 150kgf/cm^2 で充填してある。酸素は無色・無臭のガスで支燃性である。酸素ボンベの周囲 2m 以内には火気・引火性の物は置かない。

③ 炭酸ガスのように液化ボンベは必ず立てて保管する。

④ 酸素ボンベのパッキングには油やグリーンなどの可燃物を塗らない。勢い栓を開けると発火する危険性がある。

⑤ 医療用ガスのボンベは、酸素(黒)、炭酸ガス(緑)、亜酸化窒素(青・灰)、ヘリウム(灰)と色分けされている(事故事例：酸素ボンベと炭酸ガスボンベを間違えて患者に炭酸ガスを投与し

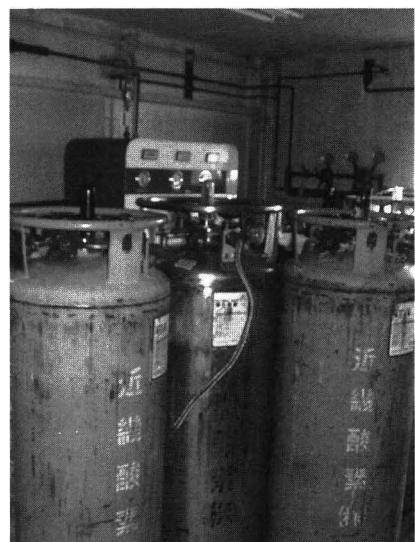


図1 液化酸素ボンベ

*大阪昭明館病院呼吸療法士

た)。

2 酸素供給装置

① 酸素の供給方法には液化酸素と高压酸素ボンベ集合装置の2タイプがあり、バックアップを用いて交互に切り替え、酸素ガスの供給を行っている(図2)。

② シャットオフ弁は災害時に酸素ガスの供給を停止させる弁である。

③ ガス配管の接続に用いられるピン方式は、医療ガスのアウトレットとホースアッセンブリの誤接続を防ぐようになっている(事故事例：誤接続する。図3)。

④ 高圧酸素ガスボンベを用いる場合は減圧弁が不可欠であり、減圧弁はボンベの一次圧を人工呼吸器や麻酔器に使用できるように二次圧3~5kgf/cm²に下げる。



図2 マニホールドを交互に切り替える。

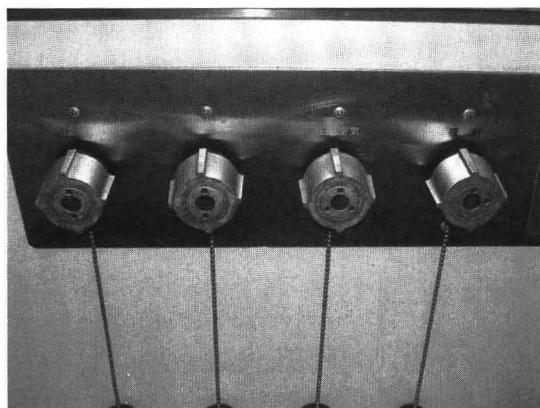


図3 ピン式のアウトレット

⑤ 医療ガスの中央配管システムは、酸素、空気、亜酸化窒素、窒素とガスではないが吸引管を配管している。配管はガスの種類別に色分や区分されて、アウトレットに接続されている(事故事例：配管の工事中に誤接続する)。

⑥ アウトレット末端ガス圧は3.5~4.5kgf/cm²、動力用窒素は約7kgf/cm²、吸引圧は-300~350mmHgに調整する。人工呼吸器に接続された末端ガス圧調整器(図4)。

⑦ ニードル弁は減圧弁を通過した酸素ガスの流量を調節する。

⑧ ガス流量計はガスの種類別に低流量と高流量の流量計を備え気体の混合などを行う。

酸素供給システムの安全性を考えると、アウトレットのガス圧と吸引圧の日常点検を行うことを勧める。呼吸療法士は、人工呼吸器、麻酔器、用手的人工呼吸バックを含めた気道内陽圧送気システムが安全で安定した送気(酸素・圧縮空気・亜酸化窒素・麻酔薬など)を続けるように管理しなければならない。

2. 人工呼吸療法の適応

呼吸メカニズムは、中枢の呼吸刺激で胸郭が拡張、横隔膜が収縮して気道内が陰圧になり、気道内が陰圧になると大気との圧較差により肺内吸気

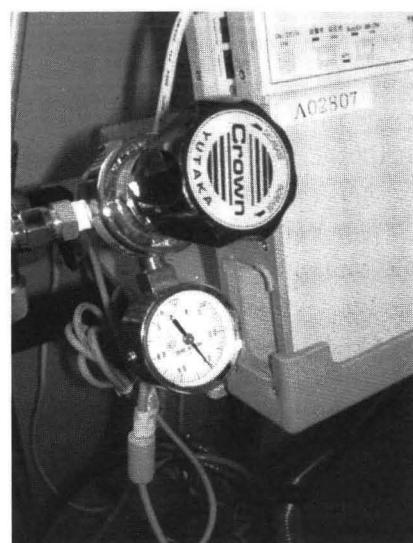


図4 末端ガス圧調整器

が生じ血液の酸素化が行われる。胸郭の受動的弹性と収縮により、横隔膜が弛緩して肺内のガスが呼気される。患者の呼吸努力では改善できない筋・神経疾患や高炭酸ガス血症の治療に人工呼吸療法が行われる。

3. 人工呼吸療法と人工呼吸器

1960年代、ポリオの流行をきっかけにさまざまな人工呼吸器が開発された。例えば、密閉したタンクに首だけを出して胸郭を外陰圧の力で間歇的に拡張させる胸郭外陰圧人工換気法と呼ばれる鉄の肺がポリオ患者の治療に用いられた。現在ではジャケット型で胸郭外陰圧換気法を行うタイプがある。同じくして気道内陽圧人工呼吸器が誕生する。従圧式ではバード社製バードマーク7A、ピューリタンベネット社製ベネットPR-2、従量式ではピューリタンベネット社製MA1などがあり、最初に使用した経験がある人工呼吸器である。現在ではコンピュータの進歩により人工呼吸器も多機能化して、ウイニングの手助けをするようにプログラムされた人工呼吸器も現れている。非侵襲・侵襲にかかわらず気道内陽圧人工換気法が人工呼吸療法の主流になっている。

4. 換気モード

換気モードの分類には調節呼吸と部分的補助換気に分類される。

1) 調節換気 (controlled mechanical ventilation: CMV)

患者の自発呼吸がなくても関係なく、一定間隔で量・圧に規定された強制換気をする。量規定：VCV (volume control ventilation) 定められた送気量に達すると呼気に転換する。圧規定：PCV (pressure control ventilation) 定められた気道内圧と送気時間に達すると呼気に転換される。現在では換気モードも多機能になり、そぐわない表現もあるが、分かりやすいので用いた。

2) 部分的補助換気 (patient trigger ventilation: PTV)

患者の吸気トリガーにより設定された送気を開始する。同じく量規定と圧規定による同調性間歇的補助換気SIMV (synchronized intermittent

mandatory ventilation) がある。そのほかにはCPAP, PSV, BIPAPなど、さまざまな吸気トリガー方式の換気モードがある。

5. 人工呼吸器の基本構造

人工呼吸器の駆動源は気体の圧力や電気である。アウトレットから駆出された酸素ガスや圧縮空気は人工呼吸器本体に取り入れられ、酸素ブレンダー装置（ペロー方式、ピストン方式、インジェクター方式）で酸素濃度21～100%に調節される。酸素ガスは方向変換装置により気流を一定量、一定間隔、周期的に送気弁から逆流することなく患者側に送気される。送気は加温加湿器のポートに流入して、加温加湿された送気はもう一方のポートから流出してネブライザや蛇管を経てYピースから気管チューブを経て肺内に送気される（送気時呼気弁は閉じている）。肺からの呼気はYピースから呼気弁を経て大気中に呼気される（呼気時送気は停止している）。

6. 呼吸器患者回路

①呼気・吸気蛇管回路、②加温加湿器、③ネブライザ、④Yピース、⑤各種モニターセンサー、⑥ウォータトラップ、⑦呼気側・吸気側のバクテリアフィルター、⑧呼気弁、⑨送気弁、⑩人工呼吸器によっては呼気PEEP弁などで構成されている。

(a) 呼気・吸気蛇管回路：蛇管の種類には各呼気器メーカー純正品のシリコンチューブとスムースボアーチューブとディスポーザブルチューブがある。蛇管の材質によっても異なるが、熱と過度の屈曲や進展には弱い。ディスポーザブルは原則として再利用しない。ディスポーザブルの蛇管は接続用のコネクタを使用して接続部のリークがないようにする（図5）。

(b) 加温加湿器：加温加湿器にはCASCADE型、灯芯型、PASS-OVER型がある。現在使用されているのは、ほとんどがディスポーザブルの灯芯型かPASS-OVER型（フィッシャー＆パイケル社製）である。灯芯型は濾紙を筒状に巻いて水との接触面積を広くして蒸気を発生して加湿効果を上げる。欠点：気流抵抗が小さく高流量のガス



図5 蛇管：(下) ディスポーザブル, (上) スムースボーチューブ

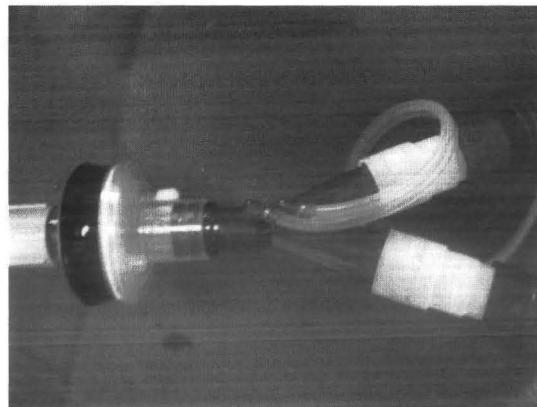


図7 Yピースと人工鼻

では加湿力が低下する。CASCADE型（ピュアリタンベネット社製）は水槽中の網目を送気ガスが通過して気泡を発生させて、水との接触面積が増大して加湿効果を上げる。欠点：気流抵抗が高い、水温上昇に時間がかかる。当院では、灯芯型は濾紙面が感染源になる可能性があるとの理由で、PASS-OVER型を主に使用している（図6）。

事故事例：①サーモスタットの故障や空焚きで容器の変形や発火が生じた。②消毒用アルコールを滅菌水と間違えて加温加湿器に入れた。③加温加湿しない酸素ガスを送りし続けて粘稠痰が気管チューブを閉塞する。

(c) ネブライザ：ネブライザにはジェットネブライザと超音波ネブライザがある。人工呼吸器には、一般的にはジェットネブライザが取り付けら



図6 PASS-OVER型（フィッシャー&バイケル社製）

れている。ネブライザの容器に薬液を入れて細いチューブを薬液につけると、毛細管現象で薬液は上昇してチューブの先端に出たところをジェット気流により霧状に噴霧される。

(d) Yピース：吸気回路と呼気回路のY型接続管をYピースという。気管チューブと接続する。

事故事例：気管チューブとYピース接続部の外れによるガスリーク事故が多い。原因：患者の自己抜管と気管内吸引後の接続の未確認（図7）。

(e) ウォータトラップ：呼気回路・吸気回路の一番低い部分にウォータトラップを接続して蛇管に水が貯まらないようにする。

事故事例：①蛇管に結露の水が貯まり呼吸抵抗になり、呼吸数の増加や換気量が低下した。②蛇管に水が貯留して適正な加温加湿ができなかった。

(f) バクテリアフィルタ：感染予防のために呼気側と吸気側に取り付ける。バクテリアフィルタの目詰まりや閉塞は呼吸抵抗となり換気量の低下につながる。

事故事例：①ネブライザ後の薬液による目詰まり。②フィルタを誤って消毒液に浸けて目詰まりを起こす（図8, 9）。



図8 吸気側バクテリアフィルタ

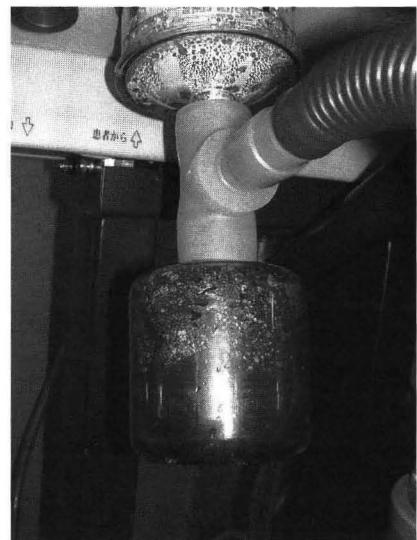


図9 呼気側バクテリアフィルタとウォータトラップ

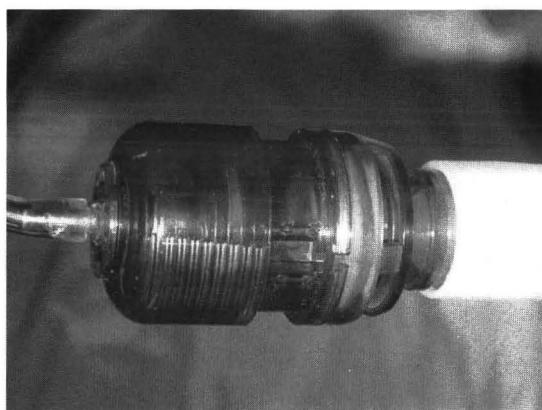


図10 PEEP弁

(g) 呼気弁・吸気弁：呼気・吸気時に逆流しないように一方弁がついている。

(h) 呼気PEEP弁（バネディスク型、磁気ディスク型）：呼気終末に抵抗を加え陽圧により肺内シャントの減少、微小な気管支や肺胞虚脱の改善と機能的残気量を増やして PaO_2 を上昇させる（図10）。

7. 人工呼吸器の保守点検

① 駆動源の電気コードの断線や外装の変形や亀裂がないか点検する。

② ホースアッセンブリの外装に変形や亀裂がないか点検する。アダプタプラグの緩みも点検す

る。ガス配管末端と接続部のガスリークをチェックする。

③ 呼吸器本体や操作パネルなどに外観上のきずや汚れがないか点検する。

④ 呼吸器の駆動時に異常な音や臭いがないか点検する（コンプレッサ内蔵タイプの人工呼吸器で異常音とともにコンプレッサの駆動が停止した経験がある）。

⑤ 酸素ボンベを使用するときは残量を確認する。

⑥ 加温加湿器本体の外観上にきずや汚れ、ダイヤルやスイッチに破損がないか点検する。ヒータワイヤーや付属品に断線や破損がないか点検する。サーモスタットの動作状況や加温加湿の設定状態を点検する。

⑦ 呼吸器回路のガスリークテスト：人工呼吸器のEIPや吸気時間を延長する。PEEP設定と高圧アラームの設定を最高にしてYピースを塞ぐ。回路内圧計が低下すればガスリークがあるので接続部を点検する。

⑧ テスト肺による作動点検：(a)テスト肺を用いて FlO_2 , RR, VT, 回路内圧が設定どおりに作動するか確認する。(b) CMV, SIMV, PEEP が設定どおりに作動するか点検する。(c)アラーム機能では駆動源、無呼吸、最高気道内圧、最低気道内

圧, Fl_{O_2} , VTなどのアラーム確認と警報音や警報ランプの作動点検をする。(d)トリガー感度は感度レベルごとにテスト肺を用いて呼吸器回路内を陰圧にしてトリガーレベルの設定を点検する。(e)モニター機能の確認は回路内圧, 回路内温度, Fl_{O_2} , VTなどのモニター装置が設定どおりに作動するか点検する。

8. 呼吸器回路のインシデントレポート

“事例 I” 低圧アラームが鳴る。

原因：気管切開チューブとYピースの接続が緩いため患者のファイティングや咳により接続部が外れた。不十分な吸引は痰が残り咳を誘発する。気管切開チューブの固定が緩いと唾液などの気管への垂れ込みにより咳を誘発する。気管切開部の皮膚のただれなども刺激になる。

結果：Yピースを気管切開チューブに接続するとアラームが解除された。一時的な換気量の低下で SpO_2 の低下はなかった。患者のバイタルサインにも異常はなかった。

対策：(a)吸痰を十分にする。(b)体位変換時でも引っ張られないように気管切開チューブを固定する。(c)気管切開部の皮膚の炎症を防ぐ。

“事例 II” 低圧アラームが鳴る。

原因：患者が呼吸回路を引っ張り、気管切開チューブとYピースの接続が外れた。

結果：ベッドサイドに看護師がいたため、すぐに再接続してアラームは解除された。 SpO_2 の低下やバイタルサインの異常はなかった。

対策：家族の承諾を得て必要最小限度の鎮静と抑制を行う。

“事例 III” 分時換気量低下のアラームが鳴る。

原因：リーキテストをするためにアンビューバックで人工呼吸を始めた直後、気管チューブのエアリークが判明した。カフ圧の低下は徐々に起こる。体位変換などで気管チューブの固定が緩いと位置が動いてバッキングやエアリークが生じやすい。

結果：カフにエアを入れるとリーキは消失しアラームも解除された。換気量もすぐに回復して SpO_2 の低下もバイタルサインの異常もなかった。

対策：(a)常に呼吸音を聴診してカフのエアリー

クをチェックする。(b)カフ圧を測定して適正な圧にコントロールする。

“事例 IV” 分時換気量の低下アラームが鳴る。

原因：ウォータトラップの蓋を閉めるとき、噛み合わせ隙間ができるて酸素ガスが漏れる。

結果：患者にアンビューバックで人工呼吸をしながらリークテストを行う。ウォータトラップのリークが判明したので新たなものに替えるとアラームが解除された。数分の低換気だったが、患者のバイタルサインには異常がなく、 SpO_2 の低下もなかった。

対策：(a)吸気回路にヒートワイパーを使用してウォータトラップを減らす。(b)短期治療で脱水がなければ人工鼻を使用する。(c)容器を慌てて閉めると噛み合わないこともあるので回路をバイパスしてゆっくり閉める（図11）。

“事例 V” 低圧アラームが鳴る。

原因：呼気フィルタがウォータトラップとともに外れる。呼気フィルタの接続が緩く水が貯まつた重さで外れたと思われる。

結果：看護師の目の前で外れたため、すぐに再接続してアラームが解除された。患者のバイタルサインに異常はなく SpO_2 の低下もなかった。

対策：始業点検時に接続をしっかりとする。ウォータトラップの水は頻繁に捨てる。

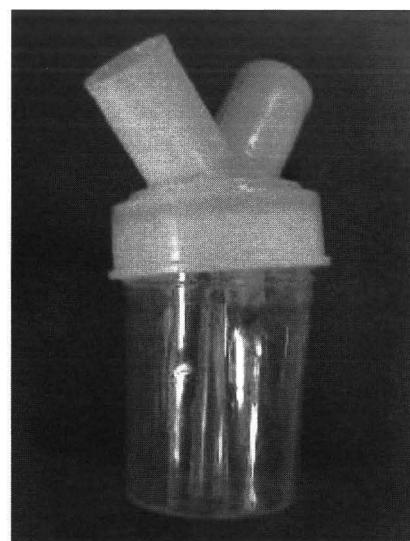


図11 ウォータトラップ：噛み合っていない。

“事例VI” 分時換気量低下のアラームが鳴る。

原因：カスケード型の加温加湿器のガスリーク。

結果：ベッドサイドの看護師がアラームに気がつき、早く対処したことで換気量の低下もわずかで SpO_2 の低下もなく、患者のバイタルサインにも異常はなかった。加温加湿器の交換によりアラームも解除された。

対策：(a)フィッシャーパイケル社製に変更する。(b)始業点検時に外観上の変形やゆがみの確認をする。(c)加温加湿気を空焚きしないように滅菌水の残量をチェックして給水を絶やさない。

“事例VII” 低圧アラームが鳴る。

原因：呼気バクテリアフィルタと加温加湿器の交換時に蛇管に無理な屈曲が加わり蛇管も劣化していたために破損したと思われる。

結果：看護師がベッドサイドにいてすぐにアラームに気が付きリークが判明したので換気量や SpO_2 の低下がなかった。

対策：(a)無理な屈曲や伸展をしない。(b)ディスポーザブルにして再使用しない。(c)終業点検時にガスリークがないか水につけて送気する。または、石鹼水を回路に塗って泡が確認できればガスリークしている。(d)蛇管の劣化を早める酸性の消毒薬は避ける。

“事例VIII” 蛇管に水が貯まっていた。

原因：ギャージベッドの操作でウォータートラップがベッドに巻き込まれ横になり水が蛇管に流れ込んでいた（図12）。

結果：蛇管に貯まる水の量が少なかったため呼吸抵抗にはならずにすんだ。

対策：ギャージベッドを操作するときには呼吸器回路の全体を見ながら操作する。呼吸器回路が挟まれて破損しないようにする。

“事例IX” 加温加湿器のアラームが鳴る。

原因：加温加湿器に滅菌水を入れるとき、呼吸器回路の加温加湿器をシャントする。他の患者に呼ばれ、加温加湿器のポートに呼吸器回路を接続することを一時忘れる。加温加湿されない酸素ガスが患者に送られた。

結果：加温加湿器のアラーム音にすぐに気づいて適正な温度設定を行い接続する。気道分泌物の

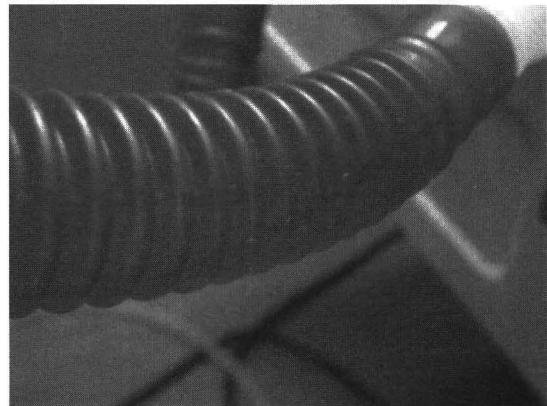


図12 蛇管に流れ込んだ水

吸引を行うと粘稠度に余り変化はなく過度な乾燥もなかった。

対策：バイパスができないように同じ口径のポートをもつ加温加湿器にする。

むすび

事故を防ぐにはモニターリングシステムの整ったICUに準じた病室で緊急時の連絡や処置ができる医療スタッフが近くにいる場所で人工呼吸療法を行う必要がある。人工呼吸療法における事故事例の原因は、人工呼吸器本体の機能や呼吸器回路および警報システムの知識不足、定期・始業・終業点検など保守管理システムの不備、人工呼吸器の設定確認や患者観察の不足が挙げられる。患者の生命を守るために、人工呼吸器の作動状態や患者観察から不測の事態を予見するアセスメント能力と不足の事態に対処できる能力を養う教育が必要である。呼吸器回路の事故を防止するためには基本回路をYピースとバクテリアフィルタ付きの人工鼻（保湿効果の高いもの）と使い捨ての蛇管だけにする。ただし、患者の痰が多い場合は人工鼻が閉塞する危険性があるので慎重を要する。脱水がある患者では、痰が粘稠になり気管チューブが閉塞する危険性があるので、回路内の結露を確認する。乾いているようであるなら脱水の可能性もあるので、医師から脱水の改善やネブライザの指示を受ける必要がある。なるべく早くウイーニングして、必要であるならば非侵襲的な呼吸療法に移行させることも考えるべきである。

しかし最近，在宅NPPV（非侵襲的陽圧換気法）で呼吸補助器の故障による事故事例が報告されている。人工補助呼吸器も人工呼吸器と同様に厳重な保守管理と点検が必要である。呼吸器回路の品質管理と保守点検を徹底的に行い、加温加湿器、ウォータトラップ、ネプライザ、バクテリアフィルタを必要時以外には付けない回路にしてトラブルの原因を減らすことが事故防止につながると考える。

引用文献

- 1) 廣瀬 稔：人工呼吸療法. Clinical Engineering

別冊：60-67, 2001

- 2) 豊岡秀訓：人工呼吸療法. Clinical Engineering
別冊：14-17, 1991
- 3) 渡辺 敏：各種呼吸療法機器，呼吸療法テキスト. 日本胸部外科学会ほか編. 東京，克誠堂出版, 2000, pp79-80
- 4) 戸畠裕志：生命維持装置の緊急事態とその対策. Clinical Engineering 別冊：60-61, 2003
- 5) 新 秀直：生命維持装置の緊急事態とその対策. Clinical Engineering 別冊：82, 2003
- 6) 日本呼吸療法医学会人工呼吸安全委員会：人工呼吸器安全使用のための指針. 人工呼吸 18 : 39-52, 2001