

□特集：人工呼吸の安全対策を考える

—人工呼吸器に関連した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連する事故をどのように防止するか

磨田 裕*

呼吸器回路に関連したものは、人工呼吸中のトラブルとしては比較的多い。特に加温加湿器を含めて呼吸器回路の組み立て・接続ミス、接続部分での外れやガスリークなどの頻度が高い。

1. 呼吸回路と加温加湿器の組み立て

人工呼吸器使用に先立って回路の組み立てが行われる。人工呼吸器の準備段階で、回路組み立てに関するエラーは起こりやすい。以下に主なものを挙げる。

1) 吸気と呼気の回路の取り違い

図1¹⁾のように吸気回路を呼気側に、呼気回路を吸気側に取り付けてしまう例がある。ほとんどの人工呼吸器では、その吸気回路接続口、呼気回

路接続口も外径22mmになっている。それに接続する呼吸回路は吸気も呼気も同じく内径22mmなので、どちらにもつながってしまう。この場合の問題点は、テスト肺を接続して設定した換気ができるか動作確認をするとき、回路の中をガスは逆向きに流れるので、テスト肺の換気はできず。これは患者に装着した場合も同様に換気は正常に行われるので、異常の発見が遅れやすい。

【起こる問題】加温加湿器が呼気側についてしまうので、吸気に加温加湿が行われないことと、加温加湿器が加熱しても温度プローブ接続部分には加温加湿したガスが流れないので低温アラームを発したり、さらにはオーバーヒートを起こす。

【対策】呼吸器回路を組み立てた後、必ずガス

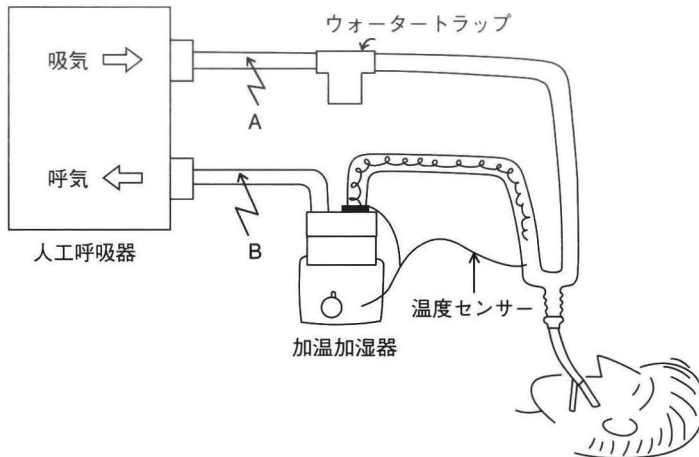


図1 呼気回路(A)と吸気回路(B)が逆に接続されている例：吸気は乾燥したままで、加温加湿器のオーバーヒートの原因になる。

(関野長昭, 磨田 裕, 三浦真樹: 特集 人工呼吸中のトラブルと対策 人工呼吸中のトラブル. 集中治療 8: 985-993, 1996 より一部改変して引用)

の流れについて、呼吸器出口から加温加湿器、Yピース、呼気回路、呼気弁というように順を追って確認することである。なお、写真1のように吸気回路と呼気回路の色が異なっている呼吸器回路も市販されている。このような回路を使えば、吸気側と呼気側の接続間違いを減らすのには有用である。

結局、人工呼吸器回路に吸気と呼気の区別があるのは、加温加湿器が吸気側に組み込まれるからである。したがって、加湿目的に人工鼻を使用する場合は吸気・呼気の区別がないので、このような問題点は回避できる。人工鼻は、回路に結露がない、回路が単純化されるなどの長所があり、回路に関するトラブルを避けるには加温加湿器よりも優れている。

2) 呼吸器回路の接続部

人工呼吸器回路は2-5本の蛇管やウォータートラップなど、いくつもの部品が接続されて構成されている。もっとも単純な回路に人工鼻を用いたもので5-6箇所接続部がある。通常加温加湿器を組み込んだ回路では接続部は15-20箇所になり、さらにネプライザーや気道内圧測定ラインなどを持つ機種では30箇所以上の接続部がある。それらの多数の接続部分は、各パーツの接続の順番が正しくなければならぬだけでなく、接続部位がしっかりしていないとガスリークや接続外れの原因になる。

【対策】各接続部はしっかりネジ込むようなつ

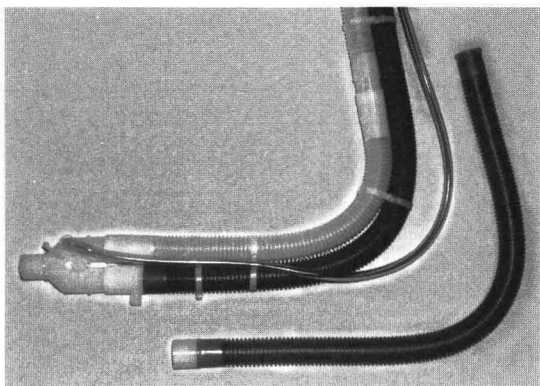


写真1 吸気回路（青、写真では黒く見える）と呼気回路（白）の色分けがしてあるもの：フィッシャーパイケル社 model: 900RT104

もりで接続する。ひび割れている部品は使わない。

3) 加温加湿器の取り付け

加温加湿器の取り扱いについてはここでは省略するが、呼吸器回路との接続について記載する。

1) の吸気・呼気回路逆接続で述べたように、回路が逆に接続されることで吸気ガスの加温加湿ができなくなる。そして、吸気ガスは乾燥しており、呼気弁に多くの水滴が認められる。

加温加湿器の加湿チャンパーあるいは加温加湿器へのガスのインレットとアウトレットが逆接続されるとガスが流れない場合もある。例えば、カスケード加温加湿器では、ガスインレット部分に一方弁がついているので逆にはガスが流れない。しかし、フィッシャーパイケル社の加湿チャンパー MR-210 や 290 では、ガスの入口と出口の区別はないので、この問題はない。ただし、同社の旧モデル MR-310 加湿チャンパー（1999 年製造販売終了）や再使用可能な MR-370 チャンパーでは構造上、ガスは流れるが、加湿効率の低下や温度制御不能などの現象が起こる。

また、これらの加温加湿器は温度制御をするために回路に温度センサーを取り付ける。この温度センサーは吸気温度をモニター、制御するため、吸気回路の終末部分の温度を測定しなければならない。すなわち、Yピースの吸気回路側か、吸気回路とYピースが接続される部位にアダプタを用いて取り付けられる。しかし、これが図2²⁾のように呼気側に接続される場合も起こりうる。温度センサーが呼気側に接続されていると、人工呼吸器の動作は正常で、加温加湿器の動作も一見異常がないようにみえる。しかし、実際はこの部位では呼気ガス温度を測定している。したがって、気道ガス温度としては常に33から35℃程度を示す。そのため、加温加湿器の温度設定がこの温度以下の場合は、加湿器が全く動作しないことになる。一方、この温度以上に設定されていると、いくら加熱しても温度が上昇しないため、異常高温になりうる。

【対策】すでに述べたように加温加湿器の接続が正しい接続、すなわち人工呼吸器吸気アウトレット→加温加湿器→吸気回路→Yピースとい

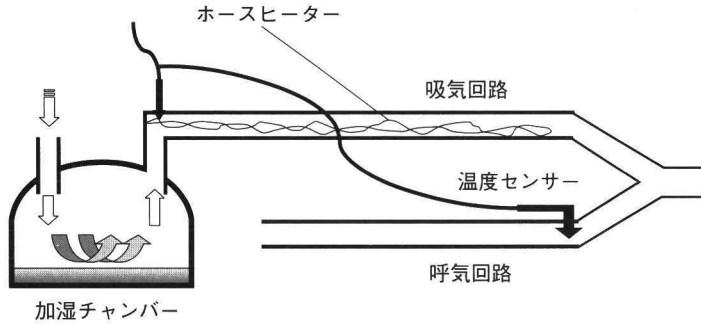


図2 温度センサーを誤って呼気回路に取り付けた例：この組み立てでは呼気温度を測定してしまうので、正しい制御ができない。
 (磨田 裕：呼吸療法に必要な機器3. 加温加湿器. 呼吸器ケア 2003年冬季増刊号：164-173, 2003より引用)

うようになっているかを確認する。そして温度センサーは吸気回路終末に取りつけられていることを確認する。

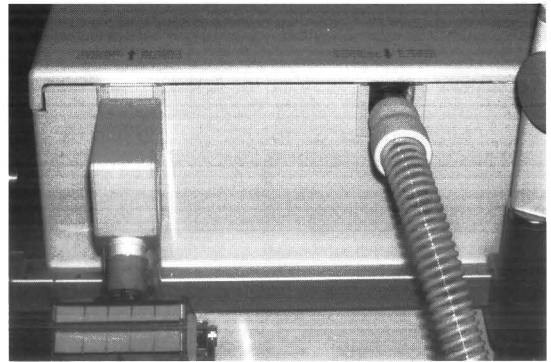
4) 人工呼吸器本体の回路接続口

人工呼吸器の吸気アウトレットと呼気回路の接続口はほとんどの機種で、人工呼吸器本体に向かって右側が吸気、左側が呼気になっている(写真2-a・b)。そして、呼吸器回路も右側が吸気、Yを経由して左側が呼気になっている。特に、Yの部分は温度センサー接続部の位置が右にある構造になっている。しかし、最近の人工呼吸器の一部(Servo i, NewPort e-500)では、吸気が左側、呼気が右側になっている(写真3-a・b)。そのため、従来の回路を取り付けると、回路が途中で交差しなければならない。また、すでに述べたように温度センサーの取り付け部位を誤る原因にもなる。したがって、これらの機種を使う場合は、回路接続など入念にチェックする必要がある。

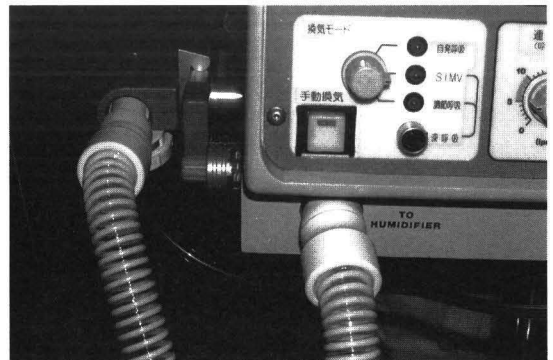
2. 回路リークテスト

人工呼吸器のパイピング・電源の接続、本体の設定、加温加湿器・回路組み立てが終わったなら、でき上がった回路から呼吸ガスの漏れがないかどうかをチェックする。これには以下のような方法がある。

- ① EIP が一定圧であることを応用する方法
- ② CPAP が一定圧であることを用いる方法



(a)



(b)

写真2 (a)シーメンスサーボ300, (b)ニューポートE-200：どちらも吸気が向かって右側、呼気が左側に配置されている。



(a)



(b)

写真3 (a)シーメンス Servo i, (b)ニューポート e-500: これらの機種では写真2と反対で、吸気は向かって左側、呼気は右側になっている。

③ 人工呼吸器特有の方法

シーメンス Servo i など最近の機種では③の方法で、しかも対話形式で実施できる。

3. 人工呼吸器動作テスト

回路のリークがないことが確認されたら、次はテスト肺に接続して動作テストを行う。このテストのポイントは、換気回数、換気量、PEEP、アラームなど基本的な項目が設定できて、設定どおりの動作をすることを確認する。注意点は、すでに述べたように回路が逆に接続されていても、リークテストや動作テストは「問題なし」とされることである。これは回路ひとつひとつ順を追って確認するしかない。

アラームのテストでは特に低圧アラームと低換気量アラームが起動されることが重要である。し

かし、人工呼吸器回路のYピースより先の部分に人工鼻や短い接続チューブ（フレックスチューブ[®]、カテーテルマウント[®]など）をつないだ場合はこれが抵抗になって、回路が外れても吸気時に気道内圧があまり低下しないことがある。すなわち、気管チューブ接続部分で回路が外れても低圧アラームが起動しない場合がある。したがって、低圧アラームのテストにおいては、実際に使用する人工鼻、あるいは接続チューブなどを付けたうえで、アラームが起動することを確認しなければ意味をなさない。特に低圧アラームしかない機種では、回路が外れたときの警報はこれが唯一となることを忘れてはならない。

4. 人工呼吸器の装着

器械側の準備が整ったら患者に装着する。人工呼吸器の設定方法については、ここでは割愛するが、人工呼吸器を装着した直後にチェックすべき項目を表³⁾に示す。このうち特に1から7までは、ただちに確認する必要がある、異常があったなら、とにかく人工呼吸器をいったん外し、用手換気に切り換える。人工呼吸器をつけたまま原因の検索に時間を費やすと、事態をさらに悪化させるので用手換気を行う。用手換気を行ってもバッグが重い、呼吸音が聞こえないなどは気管チューブ、気管、肺などに原因があると考え、そちらの検索をしなければならない。

5. 人工呼吸器回路異常が疑われるときの対処

回路が外れただけ、などという単純なトラブルであるならば、それを再接続すればよい。しかし、ガスリークや外れの部分がベッドの後側にある場合など、すぐには分かりにくいこともある。このような場合は原因を探すのではなく、まずは患者の換気を行い、その安全を確保することが最優先される。すなわち、①ただちにアンブ[®]バッグ、ジャクソンリース回路などで用手換気を行う、②換気を行いながら人を呼び、回路などの点検をしてもらう、③回路の異常が不明であるなら、新しい回路に交換する、または人工呼吸器ごと別の器械に交換する。

表 人工呼吸器接続時の主なチェック項目

-
1. 胸が動いているか、チアノーゼはないか
 2. 呼吸音が左右差なく聴取されるか
 3. 気道内圧の上昇は適切か
 4. 呼気量は設定1回換気量に近似しているか
 5. 血圧、心拍数、心電図、SpO₂に著変はないか
 6. 呼吸回数は適切か
 7. 酸素濃度は充分か
 8. トリガーレベルは適切か
 9. アラームはセットされたか（特に低圧、低換気量アラーム）
 10. 加温加湿器は適切にセットされたか
-

（磨田 裕：人工呼吸器の種類と使い方，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，pp208-222より引用）

6. 人工呼吸器回路に関連するおもなインシデント

以下は実際起こるインシデントのうち主なものを示す。

- ① 回路や人工鼻接続チューブの微細なピンホール
- ② ウォータートラップひび割れ，ガスリーク
- ③ auto-triggering —— 回路リークによる
- ④ 加温加湿器チャンバー接続部分のひび割れ，ガスリーク
- ⑤ 温度センサー指し込み口から脱落
- ⑥ 吸気・呼気の逆接続
- ⑦ 呼気回路側に温度センサー取り付け
- ⑧ 呼気回路フィルタの目詰まり⁴⁾
- ⑨ 呼気弁取り付けネジの外れ

おわりに

人工呼吸器回路は吸気から呼気まで単純な管で

あるが，多数のパーツや接続部がある。したがって，普段から構造・機能や接続順に慣れておくことが重要である。

引用文献

- 1) 関野長昭，磨田 裕，三浦真樹：特集 人工呼吸中のトラブルと対策 人工呼吸中のトラブル．集中治療 8：985-993，1996
- 2) 磨田 裕：呼吸療法に必要な機器 3. 加温加湿器．呼吸器ケア 2003年冬季増刊号：164-173，2003
- 3) 磨田 裕：人工呼吸器の種類と使い方．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，pp208-222
- 4) 森村尚登，山口 修，磨田 裕ほか：人工呼吸中のネブライゼーションによる呼気フィルターの閉塞．ICUとCCU 18：257-262，1994