

Ⅱ. 人工呼吸器のはたらき

沖縄県立那覇病院麻酔科医師 新崎 康彦

1. 一般的知識

わたくしたちは、空気中の酸素を吸いこんだり（吸気）、からだでできた炭酸ガスを呼きだしたり（呼気）しています。これを呼吸（レスピレーション）といいます。

わたくしたちのからだで、その大きな役目をしているのが、肺です。ここでは、酸素や炭酸ガスの入れかえ—これを換気（ベンチレーション）といいます—を行っています。又、気体である酸素や炭酸ガスを毛細血管を通じて、血管の内外へのとり入れ—拡散—を行っています。

わたくしたちは、眠っている間も運動している時も呼吸を行っています。それはからだの神経、ホルモンや血管中の化学物質によって安全な範囲で、呼吸中枢によりコントロールが行われているからです。

何らかの原因で、肺の換気がうまく行かなかった時に、その手助けをするのが人工呼吸器です。

大きな意味での呼吸には、換気や拡散の他に循環があります。循環とはからだに必要な酸素をすみずみまであらゆる細胞に運び、いらなくなった炭酸ガスを運搬する働きを心臓や循環器系を通じて行っています。人工呼吸器は循環の手助けはできません。

日本では人工呼吸器のことをレスピレーターと呼ぶことが多いのですが、外国ではベンチレーターと呼んでいます。

人工呼吸器で行う換気とわたくしたちが行っている呼吸との大きな違いは、人工呼吸器では気道（空気の通り道）に陽圧をかけており、自然の呼吸では陽圧にならないことです。

わたくしたちの呼吸は吸気（息を吸いこむ）時に胸腔が陰圧になり、気圧の差で空気中の気体が、肺の肺胞中に自由にとりこまれますが、人工呼吸器では、圧をかけて陽圧にして酸素を送りこんでいるわけです。

この気道内に陽圧を加える方法を間欠的陽圧換気法といいます。実際に人工呼吸器を使って換気を行っている場合、次の4つの相に分けて考えると理解しやすい。①吸気相、②吸気から呼気への移行、③呼気相、④呼気から吸気への移行

これらの4つの相はあらゆる人工呼吸器に備わっているものですが、機種によって作動方式が少しずつ異なります。

① 吸気相

- 1) 流速規定方式……肺をふくらませるのに吸気の流速を決めてやる方法
- 2) 圧規定方式……肺にガスを送りこむのに気道にかかる圧を決める方法
現在では確実さの点から、流速をきめてやる方法が多く用いられています。

② 吸気から呼気への移行

吸気の終わりから呼気の切り換えには、次の3つの方法があります。

- 1) 時間サイクル式（time cycled）

設定された吸気時間が経過すると呼気に転ずる方式です。

2) 圧サイクル式 (pressure cycled)

気道内圧 (回路内圧) が設定された値に達すると呼気に転ずる方式です。

これは患者さんの気道抵抗、肺や胸部のかたさなどにより、換気量が左右されます。肺の高度の病変や長期の人工呼吸には向いていません。

3) 容量サイクル式 (volume cycled)

あらかじめ設定された容量のガスを駆出すると呼気に転ずる方式です。

容量サイクル式の人工呼吸器では気道抵抗や肺、胸部のかたさに比較的左右されずに設定した換気量を送ることが可能であり、高度の肺病変をもつ患者さんに確実な人工呼吸を行うことができます。

③ 呼気相

呼気は肺や胸部の弾性エネルギー (吸気によって上げられた肺や胸部が元へ戻ろうとする力) によって自然に呼出されます。

④ 呼気から吸気への移行

これは患者さんの自発呼吸があるか、ないかによって調節換気か補助換気かの2つの方法にわかれます

1) 調節換気 (controlled ventilation)

自発呼吸が全くない場合か、筋弛緩薬を使った場合の人工呼吸などになります。

2) 補助換気 (assisted ventilation)

患者さんの自発呼吸の開始により、人工呼吸器のトリガーが作動し、1回換気量を送り込む方式です。

現在、多くの人工呼吸器は、コンピュータを内蔵し、自発呼吸をうまく利用してできるだけ生理的に近い換気を行うようさまざまな工夫がなされています。機械が患者さんの自発呼吸を感知しても実際に作動するまでの時間差 (タイム・ラグ) はなかなか解消できません。

新しい人工呼吸器はいろいろな換気モードをもって登場してきていますが、数多くある中から、頻繁に用いられる基本的な事項をとり出して述べてみます。

① PEEP (終末呼気陽圧法)

呼気終末に陽圧をかける方法です。呼気に陽圧をかけることにより、肺の容積をふくらませ、細い気道やぺしゃんこになった肺胞をふくらませ、酸素化をよくしようというものです。実際に酸素濃度を上げることなく、血液中の酸素分圧を上げることができます。現在のあらゆる呼吸器に PEEP 機能を見ることができます。

② 間欠的強制換気法 (IMV)

患者さんの自発呼吸を損ねることなく、必要な換気量、呼吸数を送りこむ方式です。定常流やデマンドフロー (自発呼吸による回路内の圧低下を防ぐ流量) が必要ですが IMV の回数をだんだん減らすことにより人工呼吸器よりの離脱 (ウィーニング) が簡単に行えるようになりました。自発呼吸と同期して IMV を送る方式を同期的 IMV と呼びます。

③ 圧支持法 (プレッシャー・サポート)

患者さんの自発呼吸が強くなり、回路内の気道内圧の低下を防ぐため、吸気相に一定の陽圧をかける方法です。人工呼吸器からのウィーニングに用いられます。



2. 加温と加湿

人工呼吸器に用いる、酸素や圧縮空気は乾燥ガスとして供給されている。この乾燥ガスは気管繊(線)毛運動を抑制し、分泌物の貯留をきたし、無気肺(肺胞に空気が入らない状態)をおこしやすく、肺炎の原因にもなりうる。人工呼吸のため気管内チューブを挿管されている患者さんや気管切開を受けている人は気管内チューブ閉塞の原因ともなる。

吸入ガスの加湿には

- ①乾燥ガスによる気道の損傷の予防
 - ②気道よりの熱喪失の予防および体温低下予防
- の目的がある。

鼻呼吸の際の吸入空気は気管の入口で平均32℃、相対湿度99%に保たれているといわれている。よって人工呼吸器の吸入ガスは完全に飽和加湿され(湿度100%)、ガス温が気管内入口で32~36℃に保たれているのが理想的である。

この目的を達するのに最もよいのが、加温加湿器(heated humidifier)である。

人工呼吸中の熱喪失を防ぐためにも、未熟児新生児には加温加湿器が必須である。

回路に熱線が入った設定温度と口もとの温度を測定するサーボ機能が入っており、温度差が1℃以上になるとアラームが鳴るよう設定されている。

この加温加湿器を用いる場合、注意しなくてはならないのは、空炊きを防ぐのと、水温は吸気温よりやや高めとし、熱線入りの回路を温めるというよりも、熱線は冷えを防ぎ、温度を一定化するために用いるという考えである。

搬送用の加湿方法として人工鼻(HME)を用いることができる。気道から失われる水分喪失の50%を節約でき、体温低下を軽減することができる。

3. その他の機能

(1) 酸素濃度

ダイヤル設定で21%~100%まで調節可能。実測できる濃度計があればなおよい。

(2) 気道内圧計

実際の呼吸回路内圧を連続的に表示可能。最高気道内圧、PEEPレベルが呼吸管理には必要となる。

(3) 換気量モニター

(4) アラーム機構

① 高圧アラーム

気道内分泌物、呼吸器の誤作動、人工呼吸器と患者さんの呼吸が合わないファイティング等、放置すると危険な気胸などの圧損傷を招く。圧解除バルブ機構と同時に大切な機能である。

② 低圧アラーム

呼吸器のハズレ、回路のリークなど低換気を招く恐れがある場合に用いる。

③ 酸素濃度アラーム

④ 電源アラーム

注：アラーム機構全体の留意声項

アラーム機構は光、音などによる警報が主ですが、人工呼吸器使用中は、うるさいなどの理由で決してオフにしてはならない。使用前の回路や機能の点検は当然としても、回路からの感電予防、給水などのメンテナンス、又、長時間使用によるバルブ等の劣化などの定期点検も必要となります。

4. ポータブル人工呼吸器

在宅人工呼吸が可能になるにつれ、ポータブル人工呼吸器も種々の改良が加えられてきています。通常的人工呼吸器との大きな違いは、操作の簡便性、アラーム機能などの安全性が備わっている、軽くて維持が容易であるなどの特徴があります。

初期のポータブル人工呼吸器の多くは、ピストンドライブによる換気方式でしたが、最新のものは、定常流を備え、PEEP機能ももっています。予備としての内蔵バッテリーはあくまでも緊急用としてであり、長時間使用に耐える機種が望まれています。回路の消毒なども家庭で可能なように工夫されていますが、定期的な点検によるメンテナンスが必要なことは、言うまでもありません。低騒音などまだクリアしなければならない面もありますが、小児専用のポータブル人工呼吸器も精度が高くなってきており、将来への展望が開けそうです。

<メモ>