

特集

在宅人工呼吸の問題点

在宅用人工呼吸器の仕組み
—ICU 呼吸器との比較、インターフェイスなど

平野恵子

キーワード：ICU, 在宅, 人工呼吸器, 同調性

I. はじめに

近年、人工呼吸療法（以下、呼吸療法）は集中治療室（intensive care unit：ICU）に留まらず、一般病棟や在宅でも行われている。特に在宅医療推進が行われている中で、在宅領域での呼吸療法は今後も増え続けることが予測される。ICU と一般病棟でも医療従事者の配置や生体モニターなどの医療機器、ケアの頻度など大きく環境が異なっているが、医療従事者が常時いるわけではない在宅で安全な呼吸療法を提供するためには、適切なデバイスや機器の選定が必要となってくる。今回、在宅用人工呼吸器の仕組みについて、ICU で用いられる人工呼吸器との比較を踏まえ解説する。

表 1 に、院内と在宅との比較を示す。

II. 設 備

ICU、一般病棟、在宅では設備が異なるため、それに伴い使用できる人工呼吸器も異なってくる。ここでは主に電源と酸素の供給の違いについて述べる。

1. 電 源

一般的に病院で使用している電源には商用電源、一般非常電源、瞬時特別非常電源がある（表 2）¹⁾。医療機器の電源には前者を用いずに、いずれかの非常用電源が用いられている。

ICU では瞬時特別非常電源が備わっている場合が多

く、停電が起こった場合でも、電源供給が途絶えることなく人工呼吸器を稼働させることができるが、一般病棟においては一般非常電源と商用電源しか備わっていない場合も多く、40 秒間は電力が供給されることなく停電状態のままである。そのため、一般病棟で使用する人工呼吸器は内部バッテリーの作動時間を充電状況やバッテリー容量などから定期的に把握し、確実に使用できる内部バッテリーが搭載されている人工呼吸器を使用しなければならない。

電源確保に一番難渋するのが在宅である。院内と違い非常用電源の供給システムがないことから、多くの機器が内部バッテリーの他、外部バッテリーを搭載している。しかし外部バッテリーの作動時間は経年劣化などの影響も受け、正確な作動時間を割り出すことが困難である。そのため、日頃から緊急時に備えていつでも使用できるよう充電しておくことと、定期的にバッテリー交換を行うことが必要である。

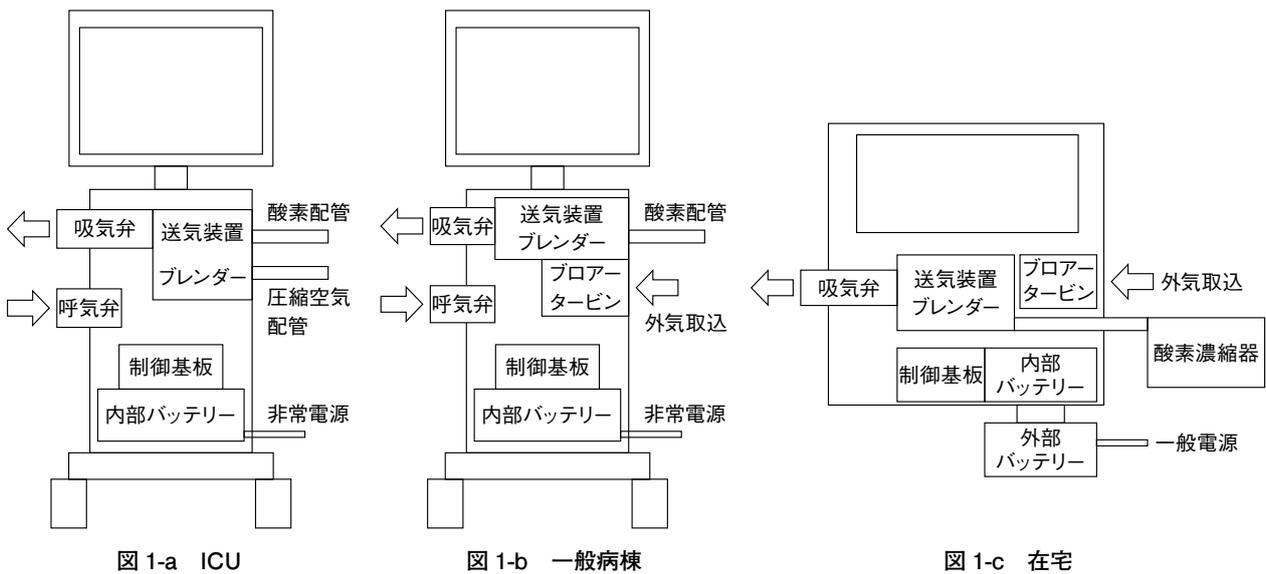
その他、無停電装置や自動車のシガーソケットからも電源供給は可能であるが、その場合、車両と人工呼吸器との位置関係は実際に測定しておく必要がある。燃料を満タンにしておけば数日間連続で使用することも可能であり、他の車での代替も可能な点がメリットである。しかし、そのような非常事態の際には、在宅では人工呼吸器のみならずさまざまな電気製品も使用する必要があることが予想され、電気容量が十分かどうかアンペア数の合計も確認しておく必要がある。

表1 院内と在宅との比較

分類	ICU	一般病棟	在宅	
	上位機種	汎用機種	在宅機器	
設備	電源コンセント	3P (クラス I)		
	バッテリー	内部 (約 30 分)		
	駆動源	酸素・圧縮空気配管	タービン方式	
	酸素供給	酸素配管	酸素濃縮器	
構成	回路構成	ダブル回路	シングル or ダブル回路	
	加温加湿器	ヒーターワイヤー付きタイプ or ヒーターワイヤー無しタイプ		
	加温加湿モジュール	自動給水式	自動 or 手動で給水	
機器	重さ	重量	軽量	
	アラーム設定	多種	最低限の設定	
	換気設定	多機能	限定	
	トリガー	非常に良い	良い	劣る
	O ₂ サクション機能	有り		無し
	グラフィック	多波形	多波形 or 単波形	無し or 単波形
環境	使用者	医療従事者		
	メーカー介入	無し	有り	
	運用	購入	レンタル	

表2 病院で使用している電源の種類¹⁾

電源の種類	特徴	コンセントの色
商用電源	電力会社からの電気を使用。停電時には電力会社の送電が再開されないと使用できない。	白
一般非常電源	商用電源が停止した瞬間に、40 秒以内に電圧が確立し、10 時間以上連続運転可能な自家発電設備を使用。	赤
瞬時特別非常電源	商用電源が停止した瞬間に、0.5 秒以内に電圧が確立し、10 分以上連続運転可能な自家発電設備と蓄電池設備を組み合わせたもの。	緑 (または赤)



2. 駆動源、酸素供給 (図 1-a・b・c)

一般的に人工呼吸器は、駆動源とガス流量ならびに回路内圧の調整機構からなる本体部分と、ディスプレイの患者回路で構成される。

医療ガスとして酸素は必須であるが、圧縮空気の供給は機種によって異なりこれらの配管の圧を利用して、混合ガスを正確に規定した酸素濃度で供給することができる。一方、圧縮空気の配管が備わっていない環境

であれば内蔵されているブローで室内空気を取り込み、圧縮して供給する²⁾。在宅の場合、酸素濃度を上げるには、酸素濃縮器から供給回路の途中に酸素を添加しなければならない³⁾。

吸気では、医療ガスの酸素濃度、流量、圧、換気量、送気パターン、時間などが電磁弁の開閉により調整され呼吸回路内へ送り出される。この間、呼気側の弁は閉鎖されるため、圧負荷を受容できる肺が結果的に換気される。

呼気では、呼気弁が開放され、肺や胸郭の弾性収縮力が駆動源となり、呼吸回路や気管チューブの抵抗に抗してガスが吐き出される。患者の呼吸変動が大きい急性期に使用する上位機種では、これらの性能が高く、より高度な安全性や患者の呼吸に同調した換気を提供できる。

Ⅲ. 回路構成

1. 回路⁴⁾

1) ダブル回路

吸気、呼気の2本の回路で構成され、本体の呼気弁より呼気ガスが排出される。本体の呼気弁にはフローセンサが搭載されているので、呼気のフローが測定できる。主に院内で使用する上位機種や汎用器に用いられる(図2-a)。

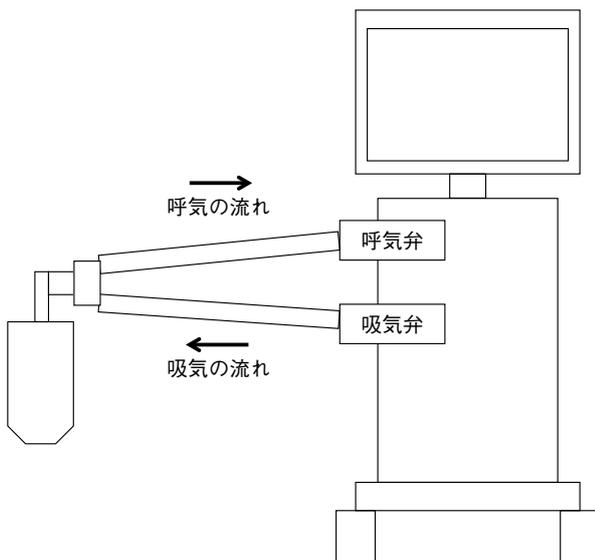


図 2-a ダブル回路

2) シングル回路

シングル回路には呼気弁付きシングル回路と呼気ポート(リーク孔)付きシングル回路の2種類がある。

呼気弁付きシングル回路は、1本の回路の先端に呼気弁を接続して、そこから呼気を排出する。セットアップが容易なことから、在宅にて多く使用されているが、弁を塞がないよう注意が必要である。

呼気ポート付きシングル回路は、呼気弁の代わりに呼気ポートを使用する回路である。この回路は、吸気時・呼気時にも一定の送気が行われ、吸気時は、患者に送気される以外のガスは呼気ポートからエアリークし、呼気時には一定の送気と患者からの呼気はその呼気ポートから排出される構造となっている。回路構成は単純であるが、無呼吸の場合など、強制換気(バックアップ換気など)が行われてもリーク孔からエアリークするため、十分な換気が確保されない可能性があるので注意が必要である。

呼気弁付きシングル回路を使用できる機種は PHILIPS 社製 Trilogy や PHILIPS 社製 LTV1000、ResMed 社製 Astral 150 などがあり、Trilogy では呼気弁付きシングル回路をアクティブ回路(図2-b)と言い、呼気ポートを使用する回路をパッシブ回路(図2-c)と呼ぶ。

なお、Astral 150 では、すべての回路を使用できることから、環境に見合った回路構成を選択することが

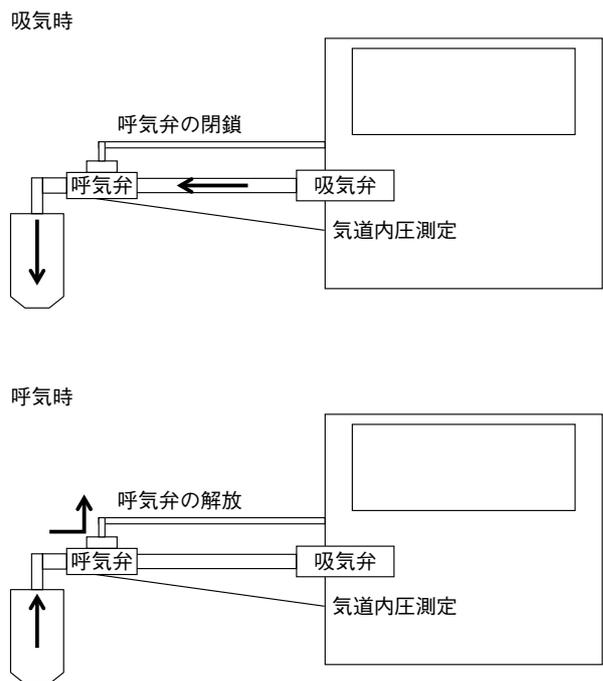


図 2-b 呼気弁付きシングル回路(アクティブ回路)

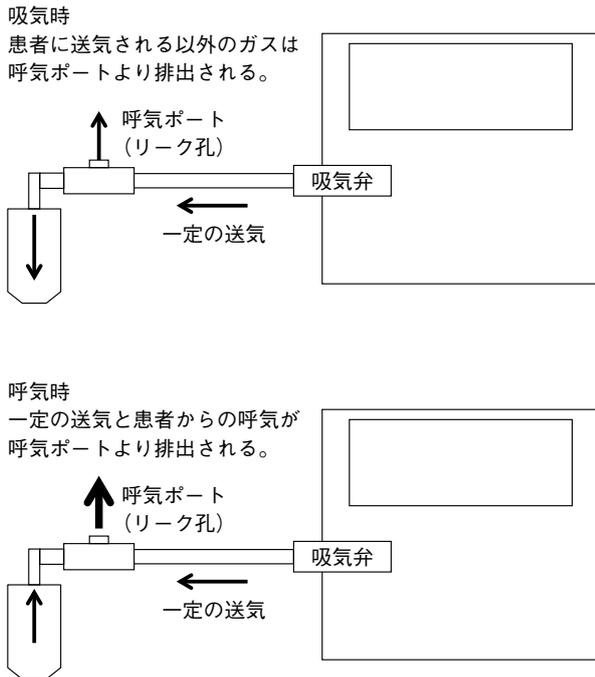


図 2-c 呼気ポート付きシングル回路 (パッシブ回路)

可能である。

2. 加温加湿器⁵⁾

一般的に、チャンバーに蒸留水を入れヒータープレートで加湿し、この水面を通過する際に吸気ガスを加温・加湿する pass-over 方式が用いられ、吸気回路にヒーターワイヤーが挿入されていないタイプと挿入されているタイプがある。

ヒーターワイヤーが挿入されていないタイプは、加温用のプレートとチャンバーのみの単純構造であるが、チャンバーで温められた吸気ガスが外気により冷やされ、有効な加温加湿には程遠い効果しか得られず、回路内結露の原因となり、結露を破棄するためのウォータートラップを回路内に組み込まなければならない。また、ウォータートラップ内の水の破棄が頻回となり管理が複雑になることから、当院では今現在このタイプの加温加湿器は使用していない。

一方、ヒーターワイヤーが挿入されているタイプでは、チャンバーで 37℃ に加熱し、吸気側回路内の熱線で Y ピースの位置で 40℃ になるように自動で調整されている。Y ピースや気管チューブ内を吸気ガスが通過する間に 3℃ ほど冷やされて、患者の気管チューブ内に入る時は最適な加温加湿状態になるよう設定されている。また呼気側の回路にも結露を防止するために熱

線が入っており、ウォータートラップは不要であるが、室温や呼吸器からの送気温度が高くなると、呼吸器回路内の温度を一定に保つ機能により、チャンバーの加温が停止、もしくは低下し、加湿不足を防ぐためにチャンバーの設定温度を 37℃ から 40℃ まで徐々に上昇させ補正する。そのため、室温がある程度一定に保たれる院内では使用できるが、在宅では環境変化が大きいことからコントロールが難しく、加温加湿器のアラームが頻回になるなどトラブルの原因となる。

当院では、Trilogy にて呼気弁付きシングル回路を使用し在宅人工呼吸療法を施行した際、ヒーターワイヤーが挿入されていないタイプの加温加湿器を使用した経験がある。院内ではトラブルなく経過していたので、そのまま在宅移行を行ったが、移行当日より室温の違いから呼気弁に結露が付着し、その結果、人工呼吸器のアラームが頻回に鳴ってしまうといったトラブルを経験した。患者の呼吸状態に影響はなかったが、在宅にてトラブルが起こった際に対応できる環境にないことから、人工鼻管理に変更し、現在までトラブルなく管理を行っている。加温加湿器は有効な効果が得られれば使用するメリットがあるが、管理面では患者家族の負担となる可能性もあるので、在宅にて使用する際は喀痰の性状だけではなく、使用環境を考慮したうえで使用を検討する必要がある。

また、使用するチャンバーは、自動給水型と手動で給水するタイプのものがあるが、当院では以前、院内にて自動給水型チャンバーのトラブルによる給水不良を経験した。よって、自動給水型チャンバーを使用する際は、蒸留水が減っているかを定期的に確認し、事前にトラブルを回避する必要がある。また、手動給水型を使用する際は、蒸留水が残り少なくなったら手動で追加しなければならないが、追加の際、一度回路を大気開放させないといけない点と再接続による回路の緩みや破損がリークの原因となる点に注意が必要である。

IV. フォロー体制

在宅用人工呼吸器の多くは内部にメモリーを内蔵しており、換気回数、一回換気量、吸気時間などの設定値やアラーム内容を記録でき、これらの記録をパソコンで読み出すことにより、在宅での使用状況や呼吸状態を確認することができる³⁾。

そして在宅人工呼吸療法の多くは医療機器メーカーが介入しており、一般的に機器の点検やメンテナンスは医療機器メーカーが在宅訪問して行っている。当院では、臨床工学技士（CE：Clinical Engineer）が在宅訪問し、日々の管理を行っているが、メンテナンスや機械交換は医療機器メーカーに依頼している。回路交換など、直接患者の呼吸状態にかかわる場合は、CEの訪問日に合わせて機械点検を行うなど連携を図っている。

院内では医療機器メーカーの立ち入り規制が行われているかもしれないが、在宅人工呼吸療法においては、医療機器メーカーに依存するところも大きい。災害時やトラブル時の対応・レスポンスを考えると、病院スタッフだけではなく医療機器メーカーとも連携を図り、地域ごとに管理体制を構築することが安全な在宅医療の提供に繋がると考える。

V. 環境と機種選定

当院では急性期、慢性期、在宅と継続的に呼吸療法を行う体制を構築している。それぞれの環境は異なっており、その環境に見合った機種選定が必要であるが、当院ではどの人工呼吸器においても「吸気に対する送気レスポンス」と「呼気へのスムーズな切り替え」を重要視している。

ここからは、一般的な呼吸療法を行う環境を述べるとともに、実際の当院の取り組みを報告する。

1. 急性期（ICU）

急性期の管理において、患者の重症度は高く、呼吸状態も変化しやすい。多くの施設では、重症患者はICUなどに集約されており、スタッフも日常的に人工呼吸器に接する機会も多く、日々の業務を通じて使用方法やトラブル対応を学べる環境にあり、知識や技術を維持しやすい⁶⁾。

急性期患者の呼吸は一定ではなく、発熱や代謝性アシドーシスなど必要な換気量が変化した場合、気道抵抗やコンプライアンスなど呼吸仕事量が変化した場合、さらには不安や痛みなどのさまざまな原因で、呼吸状態は変化する。適切な設定を行わないと患者－人工呼吸器非同調をきたし、呼吸仕事量の増大、患者快適性の低下、過剰鎮静、人工呼吸日数やICU滞在日数の延長などの有害事象をきたす可能性がある。生体情報モ

ニターはもちろん人工呼吸器からも多くの情報を得ることが求められる。

2. 慢性期（一般病棟）

一般病棟では、ICUと環境が大きく異なり、医療スタッフの診察・観察時間やモニタリングが減少する。患者の状態や呼吸変動も落ち着いた状態での転床となるので、患者の呼吸状態に応じて細かく設定変更を行うというよりは、設定を維持したり時間をかけて徐々に人工呼吸離脱を図っていくことが多い。人工呼吸患者を常時管理しているICUに比べると経験が少ないことから、アラーム設定をやや厳格にする必要があるかもしれないが、必ずしもアラームに対応できるわけではなく、ICUのような専従医もいないため緊急時の連絡体制などいつでも対応できるよう準備しておかなければならない。また気管挿管の場合、口腔ケアやチューブ管理に習熟するには経験が必要であり、気管切開で管理されているほうが容易である。

人工呼吸器を用いるうえでは、電源や酸素配管、圧縮空気配管などの環境にも注意が必要である。当院では一般病棟には圧縮空気の配管がない病室も多く、酸素配管のみで使用できる機種で統一している。

3. 在宅

近年、増加傾向にある在宅人工呼吸療法においては、まずは院内と在宅の環境の違いをスタッフが認識することが重要である。環境の違いから院内では想像できないトラブルに遭遇する場合や、日々の管理はご家族が行わなければならないため、医療者目線での機器選定が必ずしも安全な呼吸療法の提供に繋がるとは限らない。しかし、急変時やトラブル発生時にすぐに駆けつけられるとは限らないことを考えると、「患者の病態」、ご家族が安心して使用できる「安全性」、「小型化」の3つの要素を考慮して機種の選定や人工呼吸器設定を行う必要がある（表3）。

以前は、「在宅医療＝緩和」といった概念が大きかったが、近年の在宅移行化に伴い、在宅でも人工呼吸離脱を求められる症例を当院では経験している。在宅医療はいかに患者やご家族の希望に添えるかも重要であり、在宅医療にかかわる医療従事者がより多くのデバイスを知っておくことが患者やご家族のQOL（quality of life：生活の質）の向上に繋がると考える。当院では

表3 在宅用の人工呼吸器に必要な要素

患者の病態	院内での経過をもとに、在宅でも安定した呼吸状態を維持できるような設定が可能な機種。コンプライアンスが低下している場合は、タームネーションクライテリアなど設定可能か。
安全性	医療者モードを使用し設定が変更されないようにする。 ご家族の介護力に見合った機種選定。 (グラフィックなどがあることで、ご家族の不安要素の増大に繋がる可能性もあり)
小型化	入浴や外出など、スムーズに移動ができる。 設置するのにあまり場所をとらない。

主に Trilogy、Astral 150 を使用している。

Trilogy は、電源の ON/OFF やアラーム操作を行う場合、本体表面にボタンが配置されているので余分な動作をすることなく対応でき、操作性が簡便な機種であると言える。また、ディスプレイも実測値とアラーム内容が主に表示されており、重要な項目が一目で把握できる点もメリットと感じている。回路の選定では、パッシブ回路を使用しており、シングル回路のため入浴や車椅子での移動の際においてもセッティングが容易である。

Astral 150 は、Trilogy と比べ操作性はやや複雑であるが、在宅用機器としては換気モードや換気設定などにおいて細かな設定ができる点がメリットだと感じている。特に、プレッシャーサポート設定時の呼気への切り替えである呼気トリガーを調整できるので、コンプライアンスが低下した患者の場合でも吸気時間を確保できる。慢性的に人工呼吸器に依存する患者は神経筋疾患のほか、コンプライアンス低下、気道抵抗上昇などの問題があり、呼気トリガーを設定できるとよいだろう。

また、在宅用人工呼吸器では安全面から換気設定などが変更できないようにロック機能が備わっており、不意に設定変更されないようになっている。設定変更する場合や詳細な内容を確認する場合はロックの解除や医療者モードに変更する必要がある。

急性期医療では、新規のモードを含む多数のモードを選択することができ、さまざまなモニタリング機能が備わっていることは、機種選定上では大きなメリットになり得る。これらの機能により早期に異常を発見し、呼吸状態の改善に繋げることが可能であろう。しかしながら、これらは人工呼吸管理に習熟した医療スタッフが居る環境で得られるメリットにすぎない。在宅においては、情報量や選択肢が多いことが家族の不

安材料となり得る。在宅医療を受けられるご家族には、私達が計り知れない苦労があり、日々知識の習得を求められている。院内での患者の呼吸状態を十分に評価したうえで起こりうるトラブルをある程度想定し、在宅環境に見合った管理が求められる。

VI. 結 語

急性呼吸不全患者の人工呼吸管理は ICU に集約されるが、離脱できずに長期の人工呼吸管理が必要になった場合は一般病棟や在宅での管理を行うこともある。施設ごとに呼吸療法を行う環境はさまざまであるが、安全な呼吸療法を提供するために、環境に見合った人工呼吸器の使用、設定および管理体制の構築が必要であると考えられる。

本稿の著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) 岡元和文, 長谷川隆一: 事例 8 人工呼吸器からの異音が発生!。状況・場面別事例。人工呼吸トラブル対策。予測・対応と観察力の磨き方。横山俊樹, 春田良雄, 濱本実也編。愛知, 日総研, 2014, pp77-82.
- 2) 藤田哲史: 人工呼吸器の構造と回路。新呼吸療法テキスト, 3 学会合同呼吸療法認定士認定委員会, 東京, アトムス, 2013, pp221-2.
- 3) 鈴木正之, 丸川征四郎: NPPV の知識と実技。急性期 NPPV ハンドブック。急性期 NPPV 研究会編。東京, メディカルレビュー, 2017, pp162-5.
- 4) 春田良雄: 小児在宅人工呼吸器の実際と特徴。小児在宅人工呼吸療法マニュアル。小児在宅人工呼吸検討委員会編。一般社団法人日本呼吸療法医学会, 2017, pp167-9.
- 5) 松井 晃: 医療材料・周辺機器。前掲書 4), pp221-32.
- 6) 岡元和文, 長谷川隆一: 人工呼吸と医療安全。前掲書 1), pp8-11.
- 7) 板垣大雅, 西村匡司: Patient-ventilator asynchrony (患者 - 人工呼吸器非同調)。日本集中治療医学会誌。2017; 24: 605-12.