

特 集

成人型高頻度振動換気法の適応・方法・効果

HFOV中の看護における注意点

須賀恭子¹⁾・佐藤まさ子¹⁾・中根正樹²⁾・川前金幸³⁾

キーワード：重症呼吸不全、人工呼吸、HFOV、看護

はじめに

高頻度振動換気法 (high frequency oscillatory ventilation : HFOV) は、新生児の人工呼吸法として開発され NICU などで広く使用されているが、近年、成人用の HFOV 人工呼吸器の開発により成人においても使用されるようになってきた。少ない一回換気量による肺保護効果、HFOV による換気血流比不均等の是正効果などが期待されており、重症呼吸不全における有用性が報告されている。人工呼吸関連肺障害を抑制するという点で HFOV の使用に関心が高まっている^{1~3)}。

HFOVにおいては、換気方法、人工呼吸器の設定、患者のモニタリング方法は、従来の人工呼吸とは異なる。また、患者管理では新生児とは異なる点も多いため、臨床使用するにあたり、成人患者に対する HFOV の特性を理解しておく必要があると考えられる。本特集では、HFOV 中の患者の看護に必要な知識や技術として、HFOV 用人工呼吸器（図 1）のセッティングと扱い方、HFOV 中の患者観察とモニタリング、看護ケアのポイント・注意点などを紹介、解説していく。

I. 人工呼吸器のセッティングと扱い方における注意点

人工呼吸器のセッティングにおける看護師の役割として、ベッドコントロールを含めた環境整備・感染対



Metran R100



IMI 3100B

図 1 HFOV 用人工呼吸器

策、精神的肉体的な患者ストレスへの配慮、これらに加えて、人工呼吸器の準備からベッドサイドでの扱い方までが大きく含まれ、当然ながら、医師、看護師、臨床工学技士が HFOV の特殊性を理解し、それぞれの役割で協働する必要がある⁴⁾。

1. 環境面への配慮

HFOV を使用する際には、振動による人工呼吸器からの音が大きいことを考慮して、患者の配置を個室管理にするなどのベッドコントロールを検討してもよい。振動による騒音でアラームの音が聞き取りにくく感じることもあるため、アラーム音量を調節したり、ベッドサイドへのラウンドも頻回に行わなくてはならない^{5,6)}。

1) 山形大学医学部附属病院看護部 集中治療部

2) 山形大学医学部附属病院 集中治療部

3) 山形大学医学部 麻酔科学講座



図2 呼吸器回路のベッド柵への接触



図3 ウォータートラップ



図4 HUMMAX II



図5 加湿器に付属している空気感知器

オープンスペースに患者を収容することも可能であるが、HFOVを施行されている患者本人だけでなく、意識のある周りの患者への配慮も必要と思われ、耳栓などを提供できるようにしておく。呼吸器感染症において感染性病原体が拡散する可能性がある場合は、人工呼吸器の呼気側にフィルターを装着させる必要がある。感染対策が必要な場合は、陰圧室の個室管理なども考慮する⁶⁾。

2. 人工呼吸回路の管理

振動による回路の破損などの報告もあるため、セッティング時には回路がベッド柵などに当たっていないかの確認が必要である(図2)。人工呼吸器のセッティングにおいては、「人工呼吸器安全管理の指針第2版」⁷⁾を参考にして環境整備を行い、人工呼吸器の初期設定やモニタリングの測定値、アラーム設定にも注意を払う(表1)^{5,8)}。また、振動により回路が接続部から外れてしまう可能性もあるため、人工呼吸器と回路との接続の確認を行う。HFOVでは加温加湿器を使用した回路を用いるため、回路交換に関しては加温加湿器を使用した場合の交換頻度に準ずる。定期的な回路交換には根拠がなく、HFOV中の回路交換はHFOVの中

表1 HFOV開始時の確認

人工呼吸器実測値	人工呼吸器設定
・モード	・換気モード
・酸素濃度	・吸入酸素濃度
・振動数 (Hz)	・平均気道内圧 (MAP)
・ストロークボリューム (SV)	・ストロークボリューム (SV)
・アンブリチュード	・振動数 (Hz)
・平均気道内圧 (MAP)	・ΔP (デルタ P)
・ΔP (デルタ P)	・MAP 上限・下限
患者の状態	・回路のねじれ・亀裂
・胸部振動の有無・左右差	・回路の接続
・カフリークの有無	加温加湿器
・心拍数	・電源
・血圧	・温度設定
・自発呼吸回数	・蒸留水の水位
・SpO ₂	・ウォータートラップの水貯留の有無
・気管チューブのカフ圧	・蛇腹の水滴
・気管チューブの固定・深さ	

断が必要となり肺胞虚脱や低酸素血症を招くリスクを有することから、気道内分泌物などによる回路の実質的な汚染や破損などがない限り回路交換は避けるべきという考え方もある⁶⁾。

3. 加温加湿器の管理

加湿が十分行われているかどうかは、気管チューブと吸気蛇腹の結露の観察により確認できる。吸気側の蛇腹に水滴が多くなると気道内圧に影響を与える場合もあるため、ウォータートラップに溜めて排液するが、排液を行う際は回路が開放となるため手袋を着用する。ウォータートラップには、はめ込み式、ねじ式の種類があるため、排液後は緩みやずれがないか確認を行う(図3)⁹⁾。

HFOVではバイアスフロー(ベースフロー)が比較的多いため加温加湿の性能が重要になる。R100の加湿器は、これまで電熱線に中空糸を巻いて十分な水分供給を可能にしたHUMMAX IIが使用してきた。本システムの加湿性能は非常に優れているものの、中空糸の保護のためアラーム設定が厳しくなっている。また、アラームが鳴った際に一旦電源をOFFにし再度電源をONとしてから再度温度設定を行う必要がある(図4)。また、加湿器に付属している空気感知器(図5)の位置が悪かったり、感知器自体が水に濡れてしまったり



図6 Humicare200

表2 HFOVの設定項目と通常換気(CMV)パラメータの関係

HFOVパラメータ	略号	対応パラメータ
平均気道内圧	Mean airway pressure (MAP)	PEEP
振動数	Frequency (f)	呼吸回数
振動容量	Stroke volume (SV)	一回換気量
酸素濃度	(FiO ₂)	FiO ₂
バイアス(ベース)フロー	Bias flow	回路内流量
再拡張圧	Sustained inflation (SI) pressure	Recruitment pressure

(文献10より引用)

たはアンプリチュード (ΔP) と振動数 (f) があり、その他にバイアスフロー (ベースフロー) の設定もある。回路を患者から外す場合には、回路を必ずテストバッグに接続しておく。

表3 アンプリチュードの変動要因

アンプリチュードの上昇	気道狭窄などによる抵抗の上昇 気胸などによる肺コンプライアンスの低下
アンプリチュードの低下	カフ漏れなどによるエアリーク

(文献11より引用)

すると、アラームが鳴り加温加湿が中断してしまう。加湿器のアラームのリセットに時間を要する場合は、中断中の加湿不足を回避するためにも、空気検知器または加湿器の交換を考慮した方がよい。さらに、加湿器の性能が良いということは、裏を返せば、滅菌蒸留水の減りが速いということであり、蒸留水ボトルが空にならないように注意しておく必要がある⁴⁾。R100では、製造上の問題なのか、コストの観点からなのか、HUMMAX IIが製造中止となり、代わりとして Humicare200 (図6) が導入されるようである。この加湿器は、Counter-Flow 方式を用いており加湿性能は十分と考えられ、以前より管理は容易になることが想像されるが、我々はまだ使用経験がないため、注意点などについては不明である。

4. 人工呼吸器の使用方法など

HFOV を開始する際には、患者に接続する前に専用のテストバッグで換気を行って作動状態を確認しておく。HFOV の設定方法は機種により若干異なるため、あらかじめ確認しておくことが重要である。酸素化に関連する FiO₂ と平均気道内圧 (mean airway pressure : MAP)、換気に関係するストロークボリューム (SV) ま

II. HFOV 中の患者観察とモニタリング

HFOV の人工呼吸設定やモニタリング項目には通常の人工呼吸とは異なる点が多い。全身状態を示すバイタルサインの変化、動脈血ガス分析の測定、胸部レントゲン写真の撮影、人工呼吸器のパラメータの監視に重点を置く (表2)¹⁰⁾。

1. 患者観察と診察方法

HFOV 中は、胸部聴診は、振動や雑音により聴取することは難しく、それよりも視診による胸壁、腹壁の振動の有無、左右差、強弱などの変化に注意する。聴診を行う際には、医師の立会いのもと通常換気に切り替えて強制換気における呼吸音を聴診する^{5,6)}。1日1回は通常換気による胸部の聴診を行うとともに、肺コンプライアンスを記録しておくことも有用である。HFOV 中のアンプリチュードの変化は換気状態の変化を捉えるのに重要である (表3)¹¹⁾ ため、経時的な記録をしておく。

2. 血液ガスのモニタリング

呼吸状態の異常を早期に発見するために SpO₂ のモニタリングは重要であるが、HFOV 中は振動による静脈波の影響を受け、しばしば SpO₂ の値が低く測定されてしまうことがあり注意が必要である。換気様式が異なるため、通常換気で用いられる呼気 CO₂ モニタは使用できない。定期的な動脈血ガス分析で確認しなくてはならないが、呼吸管理のために必要であるならば、経皮 CO₂ モニタを活用することもできる。HFOV 導入

時には開始後10分程度で、その後も呼吸状態が安定するまでは1～2時間間隔で動脈血ガス分析を施行^{5,6)}し、設定を調整する。換気を無理やり行わないように多少高めのPCO₂を許容することも多い。動脈血pHが7.25を下回らぬよう、また、代謝性に代償されてゆき経過とともに7.35以上になることを確認する。ただし、脳圧亢進患者ではCO₂貯留による脳血流増加が原因で脳圧が更に上昇する危険があるので、CO₂貯留を許容できない状況もあることに留意したい。

3. 血行動態の評価

HFOVを導入した際には、高い平均気道内圧を用いると循環抑制を来すことがある。その多くが循環血液量不足が原因であり、血圧が維持されるように十分な前負荷を与える必要がある。血圧が維持されていても、若干の心拍出量減少を認める場合がある。また、経過とともに治療が奏功し肺コンプライアンスが改善してくると、気道内圧による肺循環への影響が大きくなるため血圧低下を来すことがある。CVPの値は、胸腔内圧上昇に伴い影響を受けるので、測定値の絶対的評価はできない。例えば、MAPが30cmH₂Oの設定のときにCVPが25cmH₂Oを示しても、上昇した胸腔内圧を加味しなくてはならず、これが単純に循環血液量過剰を意味するものではない。そのため、経時的变化を観察し相対的な測定値の変化を評価すればよい。どうしてもCVPを正確に測定したい場合は、HFOVを一時停止させ人工呼吸器を外したりするか、通常換気に戻して慣れた設定でのCVPを測定すればよいが、臨床的な意味はあまりない。循環血液量の評価は心エコーや下大静脈の計測で行った方がよい⁶⁾。

4. 胸部レントゲン撮影

HFOVを必要とする呼吸不全の患者は肺コンプライアンスが低く、そのため気胸や縦隔気腫を併発する可能性がある。1日1回は胸部レントゲン写真を撮影し、気管チューブの位置、肺の拡張性の評価、肺過膨脹の有無、気胸や縦隔気腫発生の有無をチェックし、医師とともにレントゲン写真の確認をするなどの情報の共有を図る^{6,12)}。

5. 気道内圧のモニタリング

人工呼吸設定やアラーム設定の確認を行い患者の状

態の変化を観察する（表1）。気道内圧とアンプリチュードで示される気道の圧変化を経時的に観察することが重要である。アラームが鳴った際には、表示されているアラームを確認し消音する。用手換気に切り替え、アラームの原因が人工呼吸器側にあるのか、患者側にあるのかを検索することも重要である。アラームの原因を排除し、呼吸状態をしばらく観察する。高圧アラームの場合は、圧損傷の危険が増すため最も注意が必要である。

・平均気道内圧の上限（高圧）アラーム

回路の閉塞（水滴の貯留）、痰の詰まり、気管チューブの屈曲などが原因として挙げられる。対処法は、回路のねじれ確認、ウォータートラップからの排液、排痰吸引などである。

・平均気道内圧の下限（低圧）アラーム

カフリーケの増大、回路のはずれ・破損、自発吸気流量の増加などが原因として挙げられる。対処法は、気管チューブの深さ・固定の確認、回路の接続、回路交換、設定の変更、鎮静の調節など原因に応じた対応となる^{5,6,13)}。

機種によって異なるが、HFOVの圧アラームは2段階に分けられており、平均気道内圧がより敏感な1段階目の上限または下限域を超えるとアラームが鳴る。このアラームではHFOVの換気は止まらずアラームをリセットできるが、より危険な2段階目の上限または下限域を超えた場合には換気が停止する⁶⁾。

6. その他のモニタリング

高い平均気道内圧でHFOVを行う際には頭蓋内圧への影響が懸念されるため、頭蓋内圧が亢進している患者にHFOVを使用する際には頭蓋内圧モニタリングの併用も考慮される。しかし、侵襲的モニタリングであるため必要性は十分に検討すべきである¹⁴⁾。

III. 看護ケアのポイント・注意点

気道管理をはじめとした呼吸ケアはもちろんのこと、鎮静管理や筋弛緩薬使用の必要性、体位交換などにおいて看護ケアの重要性は大きい。意図的にカフリーケをさせる裏技もあり看護師が知っておくべき注意点が多い^{5,6)}。

1. 気管チューブの管理

HFOV の振動による換気効率は気道抵抗の影響を最も受けやすい。すなわち、気管チューブのサイズ、気管チューブの屈曲、痰による内腔の狭窄などで、換気状態が容易に悪化しやすく、気道管理はとても重要となる。成人の場合、挿管チューブの内径 7 mm 未満の場合は、有効な換気が維持できないこともあり得ると言われている⁴⁾。振動によって気管チューブの位置がずれてしまい換気に影響を与える可能性がある。気管チューブの固定には十分に注意を払い、頻繁に観察して記録にも残しておくことが大切であり、気道トラブルのリスクを軽減させることにもつながる^{6,12)}。

2. 気管吸引、肺胞リクルートメント

HFOV 導入前に痰の貯留がある場合は必要に応じて気管吸引を行い、場合によってはブロンコファイバーや用手換気で喀痰の除去を図る。人工呼吸器回路や気管チューブ内に出血や泡沫状の痰が見られる場合は、酸素化や換気に影響を与えるため、吸引除去する必要があるが、開放吸引では気道開放時に肺胞虚脱を起こしやすいため、HFOV 中には閉鎖式気管吸引システムを用いた方がよい^{5,6)}。また、気管吸引後はその陰圧により肺胞虚脱を生じやすいので、肺胞リクルートメント手技を、用手的に、または人工呼吸器での SIGH (sustained inflation : SI) を利用して行ってもよい。HFOV 中に一時的に平均気道内圧を上昇させ、虚脱した肺胞を膨らませる試みも行われることがある⁶⁾。人工呼吸器で肺胞リクルートメント手技を行う方法は比較的安全であるが、いずれの方法でも、施行中は血圧が低下したり、時に迷走神経反射で徐脈となったりすることがあり、方法や圧設定を誤ると肺の圧損傷を起こしたりといったリスクも増大するため、不安な症例では医師とともにを行うことを検討する。SI を実施している場合は、手技の統一を図るために設定圧と秒数を明示するなどの工夫を行う。

3. カフリークテクニック

重症呼吸不全の中には、HFOV を開始したにもかかわらず CO₂ が貯留してしまう症例を経験することがある。HFOV の換気設定を上げて対処することも可能ではあるが、そうすると HFOV による肺保護的な効果が薄れてしまうことが懸念される。そのような場合に、意

図的に気管チューブのカフの空気を抜き、チューブ外側から呼気の排出を促すことで CO₂ の貯留を改善させることができる。その際には、チューブ周囲から空気の漏出があることを経時的に確認する必要があり、偶発的に漏れがなくなった場合、急に CO₂ が貯留して呼吸性アシドーシスが進行することがあるので注意が必要である。また、空気の漏出が多い場合は MAP が低下する場合があるため MAP の変動にも注意を要する。

MAP が低下するようならバイアスフロー（ベースフロー）を上げて対処する。肺胞リクルートメント手技を行うときはカフ圧を上げてから行い、終了後は再度カフ圧を抜くようにする。カフ圧を抜いておくと人工呼吸関連肺炎 (ventilator associated pneumonia : VAP) の原因となるかもしれないため、リスクベネフィットを考慮して行う。

4. 鎮静・筋弛緩薬の使用

HFOV の振動でガスの粘性が高くなるため、自発呼吸が強いと呼吸仕事量が増えたり、患者の不快感が大きくなることがある。そのため、筋弛緩薬により自発呼吸を抑制することも考慮し、特に呼吸状態の悪い HFOV 導入時には筋弛緩薬を使用した方がよい。筋弛緩薬を持続投与で使用する時には過剰投与を避けるために筋弛緩モニタを使用した方がよい。最近では、筋弛緩薬の長期投与による筋萎縮が人工呼吸を長引かせる原因になるという観点から、適切な鎮静薬の使用にもかかわらず患者と人工呼吸器の同調性が得られない場合のみ筋弛緩薬を使用することが多い。鎮静レベルは定期的に評価する。集中治療領域で主に使用されている RASS (richmond agitation sedation scale) を用い、筋弛緩薬使用時には Bispectral Index (BIS) の値を参考にして鎮静レベルの評価を行う。RASS の目標は、患者の状態によって異なるため、医師の指示に従って行う。

深い鎮静を行う前には患者本人にも現在の状況を説明し、患者家族の面会時間を調整し、家族と共にいる時間を多くするなどの配慮を行ってもよい¹⁵⁾。

5. ポジショニング

治療戦略として、HFOV 中における、腹臥位療法、頭部拳上 30 ~ 45 度、褥瘡予防のための体位交換は可能であるが、頭部の位置・角度が変わると気管チューブの位置が変わって換気状態に影響を与えたり、人工

呼吸器のアラームが鳴り、ときに作動停止となる場合があるため注意して行う必要がある。体位交換施行後は、胸郭の振動や左右差、アンプリチュードの値やバイタルサインの変化と気管チューブ・人工呼吸器回路の屈曲に注意する^{5,6)}。

6. その他の注意点

家族の面会時には、家族が振動による音に驚いたり、HFOVについて質問されることもあるので、簡単に説明できるようにしておく。呼吸状態が改善すれば、通常の人工呼吸に戻れることも説明しておいてもよい。

おわりに

HFOV中の看護の注意点について概説した。HFOVによる呼吸管理を安全かつ効果的に行うためには、医師や臨床工学技士のサポートのもと、看護師のスキルアップが不可欠であり、HFOVを安全かつ効果的に行うための最も重要なテーマである。HFOV人工呼吸器の特殊性を理解した上で患者の観察を注意深く行い、モニタリングにおける留意点を把握しながら気道呼吸管理を行っていき、合併症の早期発見にも努めなければならない。

本稿の全ての著者には規定されたCOIはない。

引用文献

- 1) 中根正樹：HFO (high frequency oscillatory) による人工呼吸。臨床医。2005；31：494-497.
- 2) 尾形佳子：High-frequency oscillatory ventilation (HFOV) の最新の知見と小児から成人への応用。ICUとCCU。2011；35：515-520.
- 3) 中根正樹：成人に対する高頻度振動換気 (HFO)。ICUとCCU。2009；33：625-630.
- 4) 長坂信次郎：人工呼吸器のしくみと管理：人工呼吸器セッティング。人工呼吸管理実践ガイド。道又元裕編。東京、照林社。2009, pp113-116, 132-136.
- 5) Hirrins J, Estetter B, Holland D, et al. High-frequency oscillatory ventilation in adults : Respiratory therapy issues. Crit Care Med. 2005；33：S196-203.
- 6) Rose L. High-frequency oscillatory ventilation in adults : clinical considerations and management priorities. AACN Adv Crit Care. 2008；19：412-420.
- 7) 日本呼吸療法医学会 人工呼吸管理安全対策委員会：人工呼吸器安全使用のための指針 第2版。人工呼吸。2011；28：210-225.
- 8) 浦里博史：人工呼吸器のアラームが鳴ったときにはどうすればいいの？ 人工呼吸「なぜ・何」大百科。道又元裕編。東京、照林社。2005, pp406.
- 9) 道又元裕：人工呼吸管理におけるエラー事例と対応策②：接続部・回路のエラー。人工呼吸管理実践ガイド。道又元裕編。東京、照林社。2009, pp166.
- 10) 関口幸雄：HFO（高頻度振動換気）とは？パーエクト呼吸管理とケア。岡元和文、柳下芳寛編。東京、総合医学社。2012, pp290-291.
- 11) 飯田裕司、中根正樹：成人用HFO人工呼吸器による呼吸管理。これで使える！ライフサポート機器。救急・集中治療。2009；21：1586-1592.
- 12) Sweeney AM, Lyle J, Ferguson ND, et al. Nursing and infection-control issues during high-frequency oscillatory ventilation. Crit Care Med. 2005；33：S204-208.
- 13) 浦里博史：人工呼吸器にはどんなアラームがあるの？ 人工呼吸「なぜ・何」大百科。道又元裕編。東京、照林社。2005, pp404.
- 14) Bennett SS, Graffagnino C, Borel CO, et al. Use of high frequency oscillatory ventilation (HFOV) in neurocritical care patients. Neurocrit Care. 2007；7：221-226.
- 15) 日本呼吸療法医学会 人工呼吸中の鎮静ガイドライン作成委員会：人工呼吸中の鎮静のためのガイドライン。人工呼吸。2007；24：146-167.