

特 集

高流量療法／ハイフローセラピー

ハイフローセラピー：開発の歴史と装置の概要

柴田純平・西田 修

キーワード：高流量，正確な吸入酸素濃度，高い加温・加湿能力

I. ハイフローセラピー以前の酸素療法

酸素療法自体の歴史は古く、1700年代後半にはすでに行われていたとされている。その当時は、酸素をベッドサイドで作って投与していたらしい。1900年代に入って細いカニューレが開発されて、咽頭腔に直接カニューレを入れる方法や鼻腔を通して酸素を投与する方法が行われるようになった。現在のものに近い経鼻カニューレは1940年代に開発されて、マスク療法に比較して、その簡便さや食事・会話などが可能であることなどから快適性も高く、広く普及した。

投与酸素濃度に関しては、マスクなどの他のデバイス使用時も含めて、投与酸素流量に対応したおおよその吸入酸素濃度がわかっている（表1）。経鼻カニューレを使用した酸素療法の場合、5L/分の酸素流量で吸入酸素濃度40%程度の酸素が供給可能である。それ以上の流量になると、低流量の酸素デバイスでは、患者の呼吸状態によって吸入酸素濃度が大きく変化してしまう。これは低流量では、患者の吸気流量に見合った酸素流量がないため空気を吸い込むことにより希釈が起きるが、呼吸回数や、一回換気量の大きさの違いで希釈度合いが変わるためである。つまり、低流量酸素投与システムでは、吸入酸素濃度が投与酸素流量と患者の換気量のどちらにも影響を受けることを示している。

経鼻カニューレを介した酸素療法では、投与酸素流

量を1L/分上げると、吸入酸素濃度が約4%上昇する。しかし、投与酸素流量の上限は5L/分前後である。これは、投与酸素流量が多くなると鼻腔、咽喉頭腔の乾燥を強く感じたり、頭痛や鼻腔痛を訴えたりするようになるためであり、40%以上の吸入酸素濃度が必要となる場合には、他のデバイスを選択しなければならない。吸入酸素濃度を高めるためには、酸素流量の増量か、空気希釈を減少させるということになる。

リザーバー付きマスクやベンチュリーマスクでは吸入酸素濃度をある程度高濃度とすることが可能である（表1）。しかし、供給されているタンクやポンベからの酸素はほとんど湿度がないため、吸入酸素濃度が高くなればなるほど必要とする酸素流量が増加し、大気による加湿がされず、吸入気の湿度が下がるという問題が起きる。低流量での酸素療法の場合、大気による希釈が大きく、さらに気道内での自己加湿もあるため、加湿は必要ないと考えられており¹⁾、American Thoracic Society (ATS) など複数の学会のガイドライン^{2~4)}で4~5L/分以下で酸素療法を行う際に加湿を行わなければならない科学的根拠はないとしている。高流量を必要とするデバイスでは、乾燥対策として一般的に“気泡型”と呼ばれる水に酸素を通して加湿する方法が用いられているが、加湿力として十分ではないことがわかっているため、長時間の高濃度高流量酸素投与では気道の乾燥という問題が常につきまとう。

II. ハイフローセラピーの歴史

ASTM International (米国試験材料協会：旧称 Amer-

表1 従来の酸素療法における酸素流量と吸入酸素濃度の目安

鼻カニューレ		酸素マスク		リザーバーマスク		ベンチュリーマスク	
酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)	酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)	酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)	酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)
1	24						
2	28					2 (total52L/分)	24
3	32					3 (34L/分)	28
4	36					4 (32L/分)	31
5	40	5~6	40				
6	44	6~7	50	6	60	6 (34L/分)	35
		7~8	60	7	70		
				8	80	8 (33L/分)	40
				9	90		
				10	90~		
						12 (32L/分)	50

ican Society for Testing and Materials) では、22℃の環境下で湿度が50%になるように加湿することを推奨している⁵⁾。高濃度・高流量の酸素を吸入させるためには、吸入気の加湿を解決する必要があった。これを解決して2000年代に次々と発売されたのがハイフローセラピー用のデバイスである。2000年代の初期に10L/分の流量に対して加湿可能（非加熱）な気泡型の加湿器がSalter Labs社から発売され、最大15L/分までの流量に対応した。しかし低湿・高流量の空気が鼻腔に流れると物理的的刺激や前頭洞痛などが起きるとされている。同時期に発売されているVapotherm社の2000i High-Flow Therapy システムは、加熱可能なカートリッジタイプの加湿器がついており、温度の問題も解決して40L/分の流量まで対応可能となった。これにより2002年に初めて成人にネーザルハイフローセラピーを使用したという報告がされることとなった^{6,7)}。他社もこれに追随し、2006年にFisher & Paykel Healthcare社からハイフローセラピーシステムが発売されたのを始め、数社から同様のデバイスが開発、発売された。

Ⅲ. ハイフローセラピーの装置の概要

ハイフローセラピーの装置は、大きく分けて3つの部分、①患者が装着する経鼻カニューレ、②吸入気流量と吸入酸素濃度を調節するための流量計とブレンダー、③高流量用の加湿加湿器から構成される。

経鼻カニューレは、基本的に通常の低流量用のカニューレが60L/分の流量まで耐えうるため、形状として

ほとんど変わりはない。Fisher & Paykel Healthcare社のOptiflow[®] (図1c) は、鼻下に固定する部分が広く設計されていて形が異なる。現在、日本で使用できるハイフローセラピー用システムは、どれも送気を行う蛇管に熱線が組み込まれており、この部分でも加熱ができる構造となっている。これにより、鼻に空気が届いた時の温度低下を最小限にし、水分含有量を可能な限り増加させ、結露しにくくなっている。また鼻に当たる部分はやや太くなって形も工夫されており、直接鼻粘膜に高速の気流が当たらないようになっている。

吸入気流量と吸入酸素濃度の調節は、流量計とブレンダーを用いている。一般的な酸素療法で使用している流量計は15L/分前後までの流量を調節する低流量用であるが、これでは高流量に適應できないため、60L/分程度まで目盛をつけた流量計が必要となる。ブレンダーは2種類あり、酸素配管と圧縮空気配管の2本を持ち、それぞれからのガスを混合させて吸入酸素濃度を調節するものと、酸素を一旦狭い空間に通し、それにより生じた陰圧で空気を混合するベンチュリー効果を使ったものが存在する。日本で使用できるハイフローセラピー用システムは全て2本配管を持つ機構を採用している。

加湿加湿器は、高流量の吸入気を使用するハイフローセラピーにおいては極めて大切なデバイスである。低流量では、大気で加湿されたり、気道内に自己分泌される水分で十分加湿される可能性はあるが、一回換気量に比して圧倒的な流量で酸素療法を行うため、上

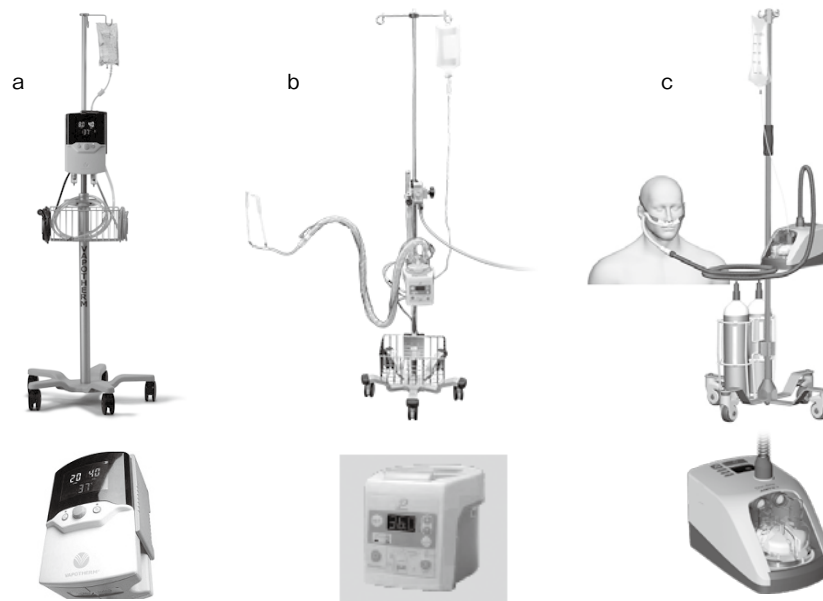


図1 現在日本で入手可能なハイフローセラピーシステム

- a. プレシジョンフロー® (加温加湿器〈ブレンダー・流量計一体型〉: Vapotherm 社: 日本メディカルネクスト社)
- b. ハイフローシステム (加温加湿器 PMH7000PLUS: パシフィックメディコ社)
- c. Optiflow® (加温加湿器 AIRVO2: Fisher & Paykel Healthcare 社)

気道の乾燥が問題となる。また低温で高流量の空気が鼻腔内に直接送られると、前述のように頭痛や鼻粘膜痛を引き起こす原因となる。本邦で使用可能な加温加湿器の1つである Vapotherm 社製のプレシジョンフロー® は、加熱システムを用いて 36.5℃ に温度調節をすると、100% に近い相対的加湿が得られたと報告されている⁷⁾。Fisher & Paykel Healthcare 社の加湿器でも、30L/分の圧縮空気を使用環境下で熱線入りの回路を使用し、口元設定温度 39℃、加湿チャンバー出口 41℃ で設定すると、相対的加湿がほぼ 100% となり、40mgH₂O/L 以上の絶対湿度となることが示されている⁸⁾。ASTM international の基準から考慮すると十分な加温、加湿が得られている。絶対湿度を確保するために、加湿器および回路での加温は必須となる。

現在本邦で使用できるハイフローセラピーのシステムは3つあり、順不同で日本メディカルネクスト社が扱っているプレシジョンフロー®、パシフィックメディコ社が発売中のシステム、そして Fisher & Paykel Healthcare 社の Optiflow® がある (図1)。プレシジョンフロー® は流量計、ブレンダー、加温加湿器が一体となっていることが特徴である。Optiflow® は気管切開チューブに直接コネク特できるインターフェイスが存在する。

IV. ハイフローセラピーの臨床的効果と適応

それぞれの生理的臨床的利点の詳細に関しては後の項に譲るが、ハイフローセラピーの臨床的効果が幾つか挙げられている。これらは全て呼吸仕事量の減少に繋がっている。

1. 正確な酸素濃度

ハイフローセラピーでは 60L/分までの高流量を提供することができ、途中の空気による希釈を行わないため、患者の換気条件に関係なく安定した吸入酸素濃度で酸素療法が行える。

2. 十分な加湿

従来の気泡型の加湿能力は限界があることは前述した。また、空気による希釈があるため、基本的にはこれに加湿が支配されている。高濃度酸素を必要とする患者の場合、酸素の割合が増えることで、吸入気の水分量は低下し、加湿能は低下する。

ハイフローセラピーでは、チャンバー式加湿器と加温回路を組み合わせることで、相対湿度、絶対湿度ともに 100% 近い湿度を保つことが可能となった。この効果により気道の線毛機能や分泌物の喀出が維持され、

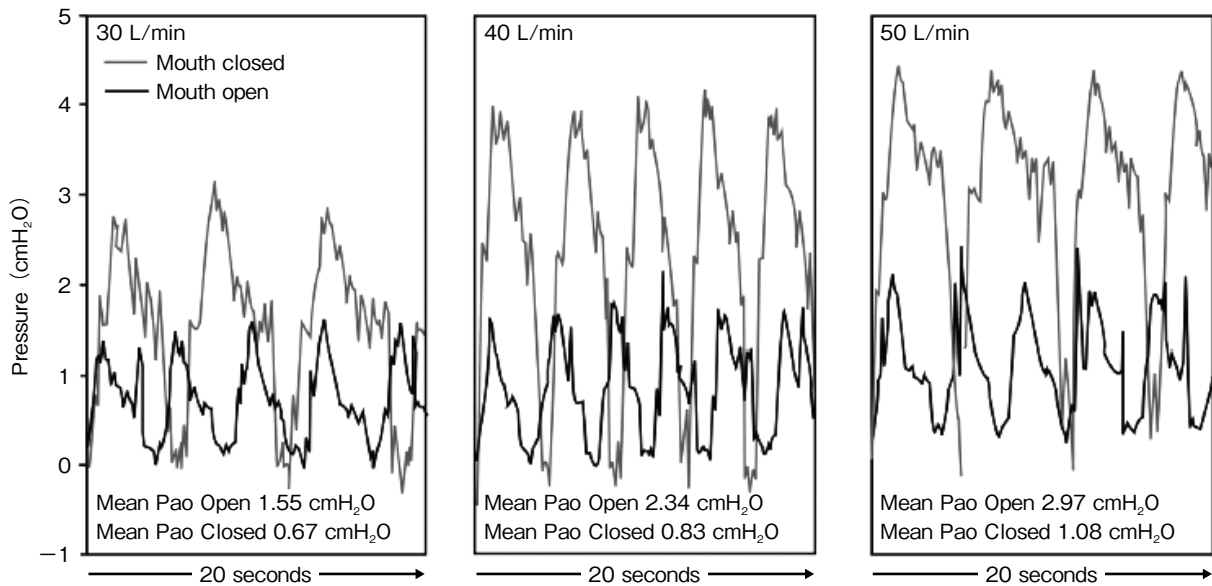


図2 ハイフローセラピー使用時の上気道圧の変化（開口時と閉口時の比較）（文献9より引用）

感染や無気肺の防止に繋がる。

3. 死腔低減、二酸化炭素洗い出し

圧倒的な高流量を使用しているため、本来呼吸死腔となる鼻咽頭腔が酸素によって置き換えられることにより死腔量が軽減される。これにより死腔に存在する二酸化炭素も同時に洗い流されることで二酸化炭素除去が促進され、全体として呼吸仕事量が減少する。

4. PEEP 様効果

高流量の酸素が常に鼻咽頭腔に供給され続けている状態で患者は呼吸を行っている。そのため、呼気時には酸素供給に逆らう形になるため、そこに圧が発生する。図2はハイフローセラピー使用時の上気道圧を開口時と閉口時で比較したものであるが、どちらの状態でも流量の増加とともに圧が高くなり、呼気時には陽圧となっている。閉口時でその圧は高い。吸気時には0cmH₂Oかそれ以下に下がっていて、呼吸サイクル全体での陽圧とはならないことが示されている⁹⁾。また、肺胞内圧が陽圧になっているかの検証はされていないので、ハイフローセラピーのPEEP様効果は限定的と考えたほうがよいと思われる。

5. ハイフローセラピーシステムの導入コスト

ハイフローセラピーシステムの構造は簡単であるので、機器に掛かるコストはNPPVや人工呼吸と比較す

るとかなり安い。例えばFisher & Paykel Healthcare社のAIRVO2加温加湿器を使用したシステムの定価は893,200円である。これに対して、NPPVシステムであるフィリップス・レスピロニクス社のBiPAP A40は定価で1,700,000円となっており、ハイフローセラピーシステムは約1/2の支出で済む。ハイフローセラピーシステムは大きさもコンパクトで軽く、システムの運搬も比較的楽であり、病棟での使用も可能である。ただし、日本で購入可能なハイフローセラピーシステムは酸素・空気の2本配管が必要であるため、圧縮空配管のない病棟ではポンベの準備が必要となる。

V. ハイフローセラピーの機器的問題点

これまで述べてきたように、ハイフローセラピーは、呼吸管理において一定の位置を獲得してきている。しかし全く問題点がないわけではない。

1. 機器にアラームが付いていない

基本的には前述3つの機器さえ揃ってればハイフローセラピーは可能である。システムとして販売されているので、通常はこれを購入するが、極端な話、単品で購入して組み合わせてシステムを構築することも可能である。加温加湿器の温度アラームや水量アラームなどは付いているが、患者からカニューレが外れていることを警告してくれるアラームは付いていない。人工呼吸器やNPPVはしっかりと装着されていなければ

ば、圧や流量のリークを感知してアラーム音で警告してくれることで、生体モニターとのダブルチェックが働くことになる。ハイフローセラピーでは機器にモニターがないため、生体モニターの果たす役割がより重要となる。

2. ハイフローセラピーの使用コスト（酸素のコスト）

ハイフローセラピー導入時には保険適応がなかったが、現在は、

1) 動脈血酸素分圧が60mmHg以下又は経皮的動脈血酸素飽和度が90%以下の急性呼吸不全の患者に対して実施した場合に限り算定する。なお、算定に当たっては、動脈血酸素分圧又は経皮的酸素飽和度の測定結果について、診療報酬明細書の摘要欄に記載すること。

2) 区分番号「C103」在宅酸素療法指導管理料及び区分番号「C107」在宅人工呼吸指導管理料を算定している患者（これらに係る在宅療養指導管理材料加算又は特定保険医療材料料のみを算定している者を含み、入院中の患者を除く。）については、ハイフローセラピーの費用は算定できない。を満たす場合160点/日の償還がある。しかし、通常経鼻カニューレ3L/分で1日管理した場合の酸素量は4,320L/日、ハイフローセラピー60L/日で管理した場合の酸素量は86,400L/日となるため、最も安い定置式液化酸素貯槽の酸素基準薬価0.18円/Lでも、経鼻カニューレ使用であれば777.6円/日で済むところ、ハイフローセラピー使用では15,552円/日となり、維持費も考慮すると大幅な赤字になる。

3. 鼻孔・口周囲の高濃度酸素

他の酸素療法やNPPV、人工呼吸と比較しても吸入器の漏出は大きく、鼻孔や口周囲の酸素は高濃度となる。一般的に酸素濃度40%以上では引火するとされているが、高濃度で設定した場合のハイフローセラピー中は、鼻孔や口周囲は40%以上の酸素濃度になっている可能性がある。当施設では同部位の酸素濃度を確認したことはなく、引火症例を検索することはできなかったが、例えば気管切開などのように、鼻孔や口から比較的近距离での外科的処置で、電気メスやバイポーラメスを使用する場合には注意が必要かもしれない。

VI. ま と め

ハイフローセラピーに関しては、歴史的な流れから考慮しても、その役割は、通常経鼻カニューレやマスク酸素療法で維持できない患者管理に可能性を広げるものであることは間違いない。近年報告も増加し、その適応に関してもかなりはっきりしてきている。NPPVとの棲み分けなどの課題もあるが、装置が手軽であることなどを考慮すると、これから広く普及していくものと思われる。当施設においても積極的に使用して、患者管理に大きな利益をもたらしている。今後さらに機器の進歩による適応拡大などデバイスとして呼吸療法の選択肢を広げてくれることを期待したい。

本稿の全ての著者には規定されたCOIはない。

参考文献

- 1) 宮本顕二：経鼻的低流量（低濃度）酸素吸入に酸素加湿は必要か？日呼吸会誌。2004；42：138-44.
- 2) Fulmer JD, Snider GL：ACCP-NHLBI national conference on oxygen therapy. Chest. 1984；86：234-47.
- 3) AARC clinical practice guideline. Oxygen therapy in the home or extended care facility. American Association for Respiratory Care. Respir Care. 1992；37：918-22.
- 4) Official statement of the American Thoracic Society：Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and asthma. Am Rev Respir Dis. 1987；136：225-44.
- 5) American Society for Testing Materials. Annual Book of ASTM Standards：F1690-96 standard specifications for medical use. Part 1：general requirements for active humidification systems. Section 13：medical devices and services. West Conshohocken, PA：ASTM, 2001, pp1062-77.
- 6) Tjep B, Barnett M：High flow nasal vs high flow mask oxygen delivery：tracheal gas concentrations through a heat extension airway model (abstract). Respir Care. 2002；47：1079.
- 7) Malinowski T, Lamberti J：Oxygen concentrations via nasal cannula at high flowrates (abstract). Respir Care. 2002；47：1039.
- 8) 官川 響, 宮尾秀樹, 高田稔和ほか：気管チューブ内腔への呼気ガス湿度の影響—人工呼吸中の分泌物固化化について—。埼玉医科大学雑誌。2001；28：89-94.
- 9) Parke RL, Eccleston ML, McGuinness SP：The effects of flow on airway pressure during nasal high-flow oxygen therapy. Respir Care. 2011；56：1151-5.