

Topics 5

高流量鼻カニューラ酸素療法

宮本 顕二

要旨：高流量式鼻カニューラが新しい酸素吸入器として注目されている。鼻カニューラで10~60 L/minの高流量を流しても、酸素を加温加湿すると患者は鼻腔を不快に感じない。高流量式鼻カニューラによる酸素吸入は、次のようないくつかの生理学的利点がある。①鼻咽頭（解剖学的死腔）にたまった呼気の洗い流し効果、②鼻咽頭抵抗の減少、③呼気終末陽圧換気効果（酸素流量が多いほどその効果は強くなる）、④肺胞のリクルートメント効果（これにより、安静呼気の肺容量が増加し、呼吸数が減少する）、⑤気道の粘液線毛機能の改善、⑥正確な吸入酸素濃度。しかし、この分野の研究はまだ少なく、高流量式鼻カニューラによる酸素吸入を積極的に推奨するには、これから出てくる研究成果を待たなければならない。

キーワード：高流量式鼻カニューラ、酸素療法、
呼気終末陽圧換気（PEEP）、加湿酸素
High-flow nasal cannula, Oxygen therapy, PEEP,
Humidified oxygen

連絡先：宮本 顕二
〒068-0004 北海道岩見沢市4条東16-5
北海道中央労災病院
(E-mail: k-miyamoto@hokkaidoh.rofuku.go.jp)

はじめに

最近、日本で高流量式鼻カニュラが輸入販売され、臨床で広く使われるようになった。これは、単に低濃度から高濃度までの酸素吸入が可能というだけでなく、他の酸素吸入器に比べて、肺の酸素化効率がよく、患者のQOL維持の点でも注目されているためである。

そこで本稿では、高流量式鼻カニュラについて、その原理、特徴、適応、吸入方法などについて解説する。なお、この酸素吸入については、乳幼児や小児への使用例も多く報告されているが、成人患者に対する使用に限って解説する。

高流量式鼻カニュラの名称について (表1)

我が国では学会として決めた正式な名称はなく、日本で最初に導入した商品名が使われることが多い。しかし、著者が調べた範囲では、同様の装置は国内では2社、国外では4社から販売されており、それぞれ名称が異なる。

また、欧米の呼吸器関連医学雑誌にも論文により記載が異なり、統一した名称はない。そこで、「名称=装置の具体的なイメージ」との考えから、本稿では下記の名称を使用する。

- ・高流量式鼻カニュラ (high-flow nasal cannula)
- ・高流量式鼻カニュラ酸素療法 (high-flow nasal cannula oxygen therapy)

今後、関連学会と協議し、名称を統一する必要がある。

いま、なぜ、高流量式鼻カニュラなのか

酸素吸入方法には低流量式と高流量式があり、前者は鼻カニュラ、簡易酸素マスク、リザーバー付き酸素マスクが、後者はベンチュリマスクやネブライザー式酸素マスクがある。これらのなかで、高濃度酸素吸入が可能な装置は、低流量式ではリザーバー付き酸素マスクがあるが、マスクと顔の隙間、マスクと一方弁の隙間から室内

表1 名称

I. 論文で使われている名称
1. High flow nasal prong therapy
2. High flow nasal cannula oxygen therapy
3. High-flow warmed and humidified nasal oxygen
4. High flow therapy
5. Humidified high flow nasal cannula
6. High flow oxygen therapy
7. Nasal high-flow therapy
II. 商品名
1. Nasal High Flow™ (Fisher & Paykel Healthcare, Inc.)
2. High Flow Therapy System (Pacific-Medico, Inc.)
3. Vapotherm High Flow Therapy™ (Vapotherm, Inc.)
4. High Flow Humidification System™ (Aquinox Pharmaceuticals, Inc.)

空気を吸い込むため、想定された吸入酸素濃度を確保できない¹⁾。また、低流量式であるため、吸入酸素濃度は患者の1回換気量の大小に影響される。一方、高流量式ではネブライザー式酸素マスク (アクアパックネブライザー® やインスピロンネブライザー®) があり、酸素濃度目盛りは最大98%あるいは100%までであるが、患者が必要とする吸気量を十分供給できないため、吸入酸素濃度は成人患者でせいぜい60%程度である²⁾。その理由は、ネブライザー内の酸素回路の抵抗が高く、その抵抗にさからって高流量の酸素を流せないからである (病院内の酸素配管圧はJIS規格で決まっている)。

このような状況で、最近、真に低濃度から高濃度酸素まで吸入可能な器具が開発、あるいは輸入販売された。ネブライザー式を改良したハイホーネブライザー® (吸入酸素濃度: 40~100%) は日本で開発された。安価であるが、顔マスクなので患者のQOLは低い。一方、最近輸入販売された高流量式鼻カニュラは、21%から100%まで設定した濃度の酸素を吸入させることができる。顔マスクと違い、鼻カニュラなので患者のQOLが維持されるだけでなく、後述するいくつかの生理学的効果から注目されるようになった。

高流量式鼻カニュラ

この装置の基本的考え方を下記にまとめる。

(1) 鼻カニュラであっても、設定した濃度の酸素を高流量 (30~40 L/min以上) で流すと、その濃度の酸素を患者に吸入させることができる。

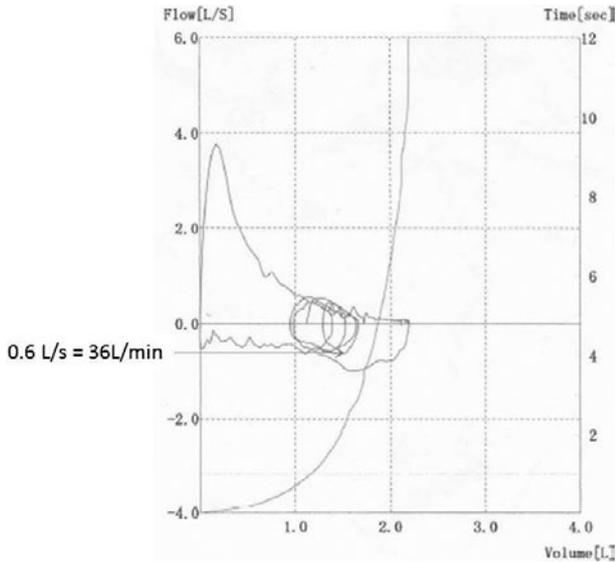


図1 COPD, 76歳, 男性のフロー・ボリューム曲線. 1回換気量は300 ml. 安静呼吸時の吸気流速は0.6 L/s (=36 L/min) である. つまり, 鼻腔へこの流速以上の酸素を供給しなければ, 患者は不足分を鼻孔周囲の空気から吸入する. その結果, 実際の吸入酸素濃度は設定値よりも低下する. また, 深くて速い呼吸をしている患者の吸気流速は100 L/minを超えるため, この装置の最大流量である60 L/minでは酸素供給は不足し, 吸入酸素濃度は設定値以下になる.

(2) 鼻カニュラを使い, 十分に加温加湿した酸素を30 L/minを超える流量で流しても鼻腔を刺激しない(痛くない)³⁾. なお, 通常の鼻カニュラの推奨最大酸素流量は6 L/minである. それは, 酸素の加温加湿が十分でないため, これ以上酸素を流すと鼻腔粘膜を刺激し, 患者が不快になるからである.

それでは, なぜ, 設定した濃度の酸素を最低でも30~40 L/min以上流す必要があるのか.

図1はCOPD患者のフロー・ボリューム曲線である. 安静呼吸時の最大吸気流速は36 L/minである. つまり, 設定した濃度の酸素を36 L/min以上流さないと, この患者はその濃度の酸素を吸入することはできない.

もちろん, 患者により1回換気量が異なること, 時には大きくて速い呼吸することもあり, この患者に対しても余裕をもって流量は通常40 L/min以上流す必要がある. 1回換気量が少ない患者ではそれ以下で十分である. このような考えで, 高流量式鼻カニュラは設定した濃度の酸素を最大60 L/minまで流すように設定されている.

患者が大きな呼吸(最大吸気努力)をすると, 吸気流



図2 装置の概要. Fisher & Paykel Healthcare社製の吸入装置の装着例を示す.

速は120 L/minにもなる⁴⁾. そのような状況では, 患者は不足分を鼻腔周囲の空気から吸うことで補う. つまり, 患者が速くて大きな呼吸をしている場合は, 酸素流量を最大の60 L/minにしても, 実際の吸入酸素濃度は設定値以下になっている. このことは留意しておくべきである.

なお, 原理だけ考えると, 通常の鼻カニュラを使い酸素を高流量流すことで対応できるのではと考えるが, 以下の理由でそれはできない.

(1) 十分な加温加湿ができない: 通常の室温あるいは加温加湿器の加湿能力は極めて低く, 流量が多いほど相対湿度は低下する⁵⁾. その結果, 酸素を6 L/min以上流すと患者は鼻腔の痛みを訴える. また, 酸素を高流量流すと加湿器内に水泡が多く発生し, 鼻カニュラに水が直接流れ込む.

(2) 通常使われている酸素流量計は最大10 L/minあるいは15 L/minであり, これ以上の酸素は流せない: フラッシュ機能がついた流量計もあるが, 鼻カニュラ自体の抵抗のため, 高流量の酸素は流せない. 従来のネプライザーも内部の酸素回路の抵抗のため, 最大12 L/min(アクアパック®の場合)あるいは18 L/min(インスピロン®)までしか酸素を流せない.

本装置の構成 (図2)

鼻カニュラ, 酸素流量計, ブレンダー(酸素と空気を

混合)と酸素濃度計, 加温加湿器, 蛇管からなる。

(1) 鼻カニューラ: 流量が多いため, 通常の鼻カニューラより一回り太く, すこし重い, ジャバラになっているので使いやすい。

(2) 加温加湿器, 蛇管: 最も重要な構成部分である。専用の加温加湿器あるいは人工呼吸器用の加温加湿器を使用する。加温加湿器と鼻カニューラとを接続する蛇管には結露を防ぐために加温装置がついている。

(3) プレンダー (酸素と空気を混合) と酸素濃度計: 病室に配管した圧縮空気と高圧酸素の両方を混合するタイプと, ベンチュリ効果を利用して室内空気と配管の高圧酸素を混合するタイプがある。後者は音がうるさい。21%から100%までの濃度の酸素を供給することができる。また, 酸素濃度計が付いているので, 供給している酸素の正確な濃度を知ることができる。

生理学的効果

1. 鼻咽頭の解剖学的死腔内にたまった呼気ガスを洗い流す (pharyngeal dead space washout)

高流量の酸素を鼻腔へ流すため, 鼻咽頭にたまった呼気が洗い流され, 次の呼吸のときに鼻咽頭にたまった呼気を再吸入しない⁶⁾。成人患者では解剖学的死腔を約50 ml 減らすことができる。

このことは死腔換気率を減少 (肺胞換気率を上昇) させ, 肺の酸素化を改善する。その結果, 患者の PaO₂ を改善させるだけでなく, 運動耐容能を高め, 息切れを軽減する。Dewan ら⁷⁾は, COPD 患者に高流量鼻カニューラを使って酸素吸入させると, 通常の鼻カニューラに比べてトレッドミル歩行距離が2.38倍伸びたと報告している。

2. 鼻咽頭抵抗の減少

鼻呼吸の吸気相では鼻咽頭は大気に比べて陰圧になり, 空気は鼻孔から吸引されるようにして肺に入る。その際, 鼻翼は大気から押されるため, 鼻腔の容積は減少し, 抵抗は増大する (口を閉じ, 静かに鼻呼吸をしていただけ。吸気相に鼻翼が大気圧で内側に押され, 鼻腔の抵抗を感じることができる)。

しかし, 高流量鼻カニューラでは吸気相に酸素を高流量で鼻咽頭に流すため, 鼻咽頭は陽圧になり膨らむ。その結果, 鼻咽頭抵抗が減少し, 呼吸仕事量も減少する。

3. 呼気終末陽圧換気 (PEEP) 様効果

高流量の酸素を流すため気道内圧と肺胞内圧は上昇す

る。通常の PEEP と違い, 呼気相に一定の陽圧がかかるのではなく, 呼気相の早期に圧が上昇し, 呼気終末期には圧は低下し, 次の吸気相の圧は0近くまで低下する。

当然ながら, 酸素流量が多いほど気道内圧は上昇する。健康人では口を閉じた状態で, 酸素流量を 30, 40, 50 L/min にすると気道内圧は 1.93 ± 1.25 [SD] cmH₂O, 2.58 ± 1.54 cmH₂O, 3.31 ± 1.05 cmH₂O と上昇し, 流量が多いほど気道内圧は上昇する⁸⁾。一方, 口を開けていると気道内圧の上昇は極めてわずかである。PEEP 様効果には性差もあり, 女性のほうが男性よりも気道内圧は若干高くなる。また個人差も大である。その理由の一つは, 鼻孔の解剖学的大きさの違いである。大きいサイズの鼻カニューラを使うと, 鼻孔からの酸素の漏れが減少し, PEEP 様効果も大きくなる。

4. 肺胞リクルートメント (alveolar recruitment)

Corley ら⁹⁾は20名の心臓手術患者を対象に, インピーダンストモグラフィーを用いて, 高流量式鼻カニューラによる酸素吸入が呼気終末期肺容量を平均25.6%増加, 気道内圧を3.0 cmH₂O 上昇, 呼吸数を3.4回減少, PaO₂/FiO₂も30.6 mmHg 改善, 呼吸困難も軽減させたと報告している。あわせて, 呼気終末期肺容量の増加と気道内圧の増加が正相関することも示した。したがって, 気道内圧や肺胞内圧が上昇した結果, 急性呼吸窮迫症候群などによる虚脱した肺胞を膨らます効果が期待できる。

5. 気道の粘液線毛機能の改善

気管支拡張症患者を対象に, 体温に近い温度まで加温し, かつ十分加湿した空気を高流量で1日3時間, 7日間吸入させると, そうでない場合に比べて, 気道の粘液線毛機能が改善することが報告されている¹⁰⁾。高流量式鼻カニューラによる酸素療法でも同じことが期待される。

6. QOL (quality of life) の維持

鼻カニューラなので, 酸素療法中であっても, 酸素を吸入しながら食事をするができる。また, 加温加湿が十分なので, 通常の鼻カニューラに比べて, 鼻腔の刺激は少ない。その一方, 装置が大がかりになることから, トイレ歩行は難しい。

適応疾患

通常の鼻カニューラや酸素マスクで低酸素血症が改善しない場合や, 吸入酸素濃度を40%以上必要とする場合,

高流量式鼻カニューラによる酸素吸入を考慮すべきである。

本装置を使う酸素吸入により、非侵襲的あるいは侵襲的人工呼吸療法への移行が減ることが報告されている。また、終末期の患者が著しい低酸素血症に陥った場合、通常の酸素吸入では低酸素血症を改善できないため、やむを得ず人工呼吸器を装着することがある。しかし、本装置を使うことで、人工呼吸器を装着しなくても、低酸素血症を改善できる場合が少なくない。終末期患者のQOLを考えても、本装置の利用が期待される。

現時点での適応疾患（病態）を表2に記載したが、最近では睡眠時無呼吸症候群への使用例も報告されている。しかし、本装置を使った研究は少なく、十分な検証もなされていない。今後の研究成果によっては、適応は変わることが予想される。

酸素

いちばん重要なことは、適切な酸素流量の決め方である。まず、患者に鼻カニューラを装着し、酸素流量10~20 L/minから徐々に増やし、患者の鼻孔とカニューラの間から吸気相でも酸素が漏れ始める流量が最小の流量である。より確実にするために、この流量よりも少し多めにする。もし、吸気相に鼻孔から酸素が漏れなければ、患者が必要としている酸素は流れていないことを意味しており、実際の吸入酸素能度は設定値よりも低い。

禁忌

下記の場合は原則適応がない。

(1) PaCO₂>48 Torr：高流量式鼻カニューラ酸素療法は人工呼吸器の代用にはならない。

(2) 顔面の外傷で鼻カニューラを使えない状態。

(3) 気胸、あるいは気胸を疑うとき。

繰り返すが、本装置をII型呼吸不全の改善を目的に実施してはいけないし、NPPVやTPPVへの移行の決断が遅れてはならない。

なお、現行の保険診療では酸素流量が10 L/minを超える酸素の請求は認められていない。酸素吸入装置の進歩に対応した柔軟な解釈が望まれる。

表2 適応疾患

COPD および COPD の急性増悪
肺炎
肺水腫
気管支喘息
急性肺損傷
肺挫傷
胸部外傷（胸郭動揺を含む）
ARDS
気管内挿管の抜管後
気管支鏡実施中の酸素吸入
急性心不全
終末期の低酸素血症（緩和を目的）

現時点で本装置の使用が考えられる疾患を示す。
なお、本装置が第一選択であることは意味しない。

おわりに

高流量式鼻カニューラによる酸素吸入について解説した。本法は従来の鼻カニューラやマスクを使った酸素吸入と非侵襲的あるいは侵襲的人工呼吸療法との間のつなぎの役目を担っているといえよう。しかし、まだ、本装置を使用した研究は少ない。今後の研究成果が期待される。

著者のCOI (conflicts of interest) 開示：本論文発表内容に関して特に申告なし。

引用文献

- 1) 宮本顕二, 他. 吸入酸素濃度調節機能のない簡易酸素マスクにおける酸素流量と吸入酸素濃度の関係. 日呼吸管理会誌 2005; 15: 264-9.
- 2) 宮本顕二. ネブライザー付酸素吸入器（インスピロンネブライザー, アクアパックネブライザー）で高濃度酸素吸入はできない. 日呼吸会誌 2005; 43: 502-7.
- 3) Chanques G, et al. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. Intensive Care Med 2009; 35: 996-1003.
- 4) L'Her E, et al. Physiologic effects of noninvasive ventilation during acute lung injury. Am J Respir Crit Care Med 2005; 172: 1112-8.
- 5) 小熊英敏, 他. 酸素加湿器の加湿能力の検討. 日呼吸管理会誌 2004; 13: 512-5.
- 6) Dysart K, et al. Research in high flow therapy:

mechanism of action. *Respir Med* 2009; 103: 1400-5.

- 7) Dewan N, et al. Effect of low flow and high flow oxygen delivery on exercise tolerance and sensation of dyspnea. *Chest* 1994; 105: 1061-5.
- 8) Parke RL, et al. The effects of flow on airway pressure during nasal high-flow oxygen therapy. *Respir Care* 2011; 56: 1151-5.

- 9) Corley A, et al. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients. *J Anaesthesia* 2011; 107: 998-1004.
- 10) Hasani A, et al. Domiciliary humidification improves lung mucociliary clearance in patients with bronchiectasis. *Chron Respir Dis* 2008; 5: 81.

Abstract

High-flow nasal cannula oxygen therapy

Kenji Miyamoto
Hokkaido Chuo Rosai Hospital

High-flow nasal cannula (HFNC) has lately been receiving considerable attention as a new oxygen-supplying device. Although nasal oxygen is administered at flows ranging from 10-60 L/min, it is not uncomfortable when the oxygen is warmed to body temperature and saturated to full humidity. The oxygen from HFNC has several beneficial effects: 1) pharyngeal dead space washout, 2) reduction of nasopharyngeal resistance; 3) a positive expiratory pressure that increases as oxygen flow increases; 4) an alveolar recruitment that increases end-expiratory lung volume with reduced respiratory rate; 5) mucociliary clearance improvement; and 6) better control of F_{iO_2} . However, definitive recommendations about HFNC oxygen therapy will await more clinical studies.