使用経験

当 NICU の NO 吸入療法用余剰ガス 排気システムの検討

松 井 晃* 小 池 龍 平*
古 山 義 明* 大 野 勉*²

はじめに

近年，一酸化窒素 (Nitric Oxide: NO) が内皮由来弛緩因子 (endothelium derived relaxing factor: EDRF) の本態であることが判明し，一酸化窒素 (以後: NO ガス) を肺から吸入させた選択的な肺血管拡張作用を期待した NO 吸入療法が臨床応用されている^{1,2)}。

NO 吸入療法は，人工呼吸器の吸気ガスに NO ガスを混入することで肺に投与される。よって，人工呼吸器から排気される呼気ガスにも，NO 吸入療法を実施する際に発生する窒素酸化物 (以後: NOx) が含まれる。通常，人工呼吸器の呼気ガスは直接室内に排気されるが，NO 吸入療法の場合も同様に呼気ガスを直接室内に排気してしまうと室内の環境汚染を生じてしまい³⁾，患者や医療従事者へ悪影響を及ぼすことから⁴⁾，新生児 NO 吸入療法研究会の指針において，“環境汚染に対する配慮”について述べられている。

人工呼吸器から排気される NOx の処理は，医療設備として設置されている吸引配管を用いて外気に排気することが一般的である。しかし，NOx は水蒸気と接触することにより硝酸・亜硝酸を発生し金属腐蝕性を示し^{5,6)}，吸引配管を劣化させる可能性があることから，当 NICU ではステンレス管を用いた NO 吸入療法専用の

余剰ガス排出装置を設置した。そして，NOx の濃度を低下させる吸着装置を併用した NO 吸入療法用余剰ガス排気システムを検討したので報告する。

余剰ガス排気システム

図 1 に余剰ガス排出装置の概要を示す。余剰ガス排出装置は，麻酔ガスの排気システムとほぼ同様であるが，余剰ガス配管には金属腐蝕性に強いステンレスを用いている。NICU に近接する空調機械室に 2 台のブローポンプとこのポンプの電源を制御する制御盤が設置され，ブローポンプの 1 台は故障対応用の予備器である。NICU 内にはブローポンプの電源を制御する遠隔装置が設置され，オーバーヒート等の故障が発生した場合には警報が作動する機能を有している。また，実際に排気ラインを接続する余剰ガスアウトレットは NICU 内の 4 箇所設置され，吸引流量計が付属し吸引流量を 0~50LPM の範囲で可変できる。

人工呼吸器から排気される呼気ガスを処理する余剰ガス排気システムは図 2 に示す通りで，NOx の吸着装置は太陽酸素社製 NOx 除外筒を

図 1 余剰ガス排出装置

* 埼玉県立小児医療センター臨床工学室

*2 同 未熟児新生児科

(原稿受付: 1999年1月27日)

図 2 余剰ガス排気システム

使用している。NO_x 除外筒の INLET に人工呼吸器の呼気ガスを導き、そして NO_x 除外筒の OUTLET を余剰ガス排出装置に接続し、吸引することで NO_x を含む余剰ガスを処理している。NO_x 除外筒の INLET には外気吸い込み口とチャンバーが付属し、吸引による人工呼吸器への影響を防いでいる。NO_x 除外筒内には、円筒内下部から約 4/5 の部分に NO の吸着として化学吸着による吸着剤が、また二酸化窒素（以後：NO₂）の吸着として、円筒内上部約 1/5 にソーダーライムが内包されている。

実験方法

NO ガスは、窒素でバランスした 10,000ppm を使用し、浮子式流量計を用いて人工呼吸器の吸気回路内に投与した。検討を行った人工呼吸器はベアーメディカル社製新生児用人工呼吸器 BP-2001（以後：BP-2001）、およびメトラン社製人工呼吸器ハミングII（以後：ハミングII）の2機種とした。人工呼吸器の設定条件は、吸気流速：20 LPM（BP-2001は定常流量）、FiO₂：1.0、呼吸回数：60 BPM、最大吸気圧：40 cm H₂O、PEEP：3 cm H₂O とした。

NO_x 除外筒による吸着実験として、吸入 NO 濃度を 10, 20, 30ppm に設定し、この時の吸気回路内（以後：吸入濃度）・呼気回路内（以後：呼気濃度）・NO_x 除外筒の INLET（以後：吸着前）・NO_x 除外筒の OUTLET（以後：吸着後）の各部において NO・NO₂ 濃度を測定した。この時の、余剰ガス排出装置の吸引流量を最大としたが、NO_x 除外筒による抵抗によりこの吸引流量は 45 LPM であった。NO 濃度の測定は、電気化学法を用いた太陽酸素社製 TM-

100 を使用し、NO₂ 濃度の測定は同社製の TM-1002 を使用した。

次に、余剰ガス排出装置の吸引流量と NO_x 除外筒に付属する外気吸い込み口からのガス漏れの関係について検討を行った。人工呼吸器の設定は前実験と同条件とし（BP-2001 は定常流量を 15 LPM を追加した）、吸入 NO 濃度を 30 ppm に設定した。そして、吸引流量を 10～45 LPM から変化させた時の、外気吸い込み口の NO 濃度を測定した。

なお、BP-2001 は、呼気弁の直後に 10 LPM のジェット流によるベンチュリー効果を利用した呼気抵抗の低下を図っていることから、呼気ブロックから排気される呼気ガスの流量は、設定された定常流量に 10 LPM が加算されていた。

結 果

1. BP-2001（図3）

1) NO 濃度

吸入濃度および呼気濃度は、各設定ともほぼ同値を示した。吸着前の NO 濃度は、呼気弁の直後に流されているジェット流により、30 ppm 設定は 22 ppm, 20 ppm 設定は 15 ppm, 10 ppm 設定では 8 ppm に低下した。そして、吸着後の NO 濃度は各設定とも 1～2 ppm に低下した。

図 3 NO 濃度の変化 (BP-2001)

2) NO₂ 濃度（図4）

吸入 NO₂ 濃度は、30 ppm 設定が 1.3 ppm, 20 ppm 設定が 0.8 ppm, 10 ppm 設定が 0.4 ppm であった。呼気濃度は、吸入濃度とほぼ同値を示した。吸着前の NO₂ 濃度は、NO 濃度と同原因により 30 ppm 設定は 0.8 ppm, 20 ppm 設定は 0.5 ppm, 10 ppm 設定は 0.3 ppm に低下

(38) 医 器 学 Vol. 69, No. 7 (1999)

した。そして、吸着後の NO_2 濃度はさらに低下し、各設定とも 0.2ppm となった。

図 4 NO_2 濃度の変化 (BP-2001)

2. ハミング II

1) NO 濃度 (図 5)

吸入濃度、呼気濃度および吸着前の NO 濃度は、各設定濃度とほぼ同値を示した。そして、吸着後の NO 濃度は各設定とも 1ppm に低下した。

図 5 NO 濃度の変化 (ハミング II)

2) NO_2 濃度 (図 6)

吸入 NO_2 濃度は、30ppm 設定が 1.3ppm, 20ppm 設定が 0.8ppm, 10ppm 設定が 0.5ppm であった。呼気濃度および吸着前の NO_2 濃度は、吸入濃度とほぼ同値であった。そして、吸

図 6 NO_2 濃度の変化 (ハミング II)

着後の NO_2 濃度は各設定とも 0.2ppm に低下した。

3) 外気吸い込み口の NO 濃度 (図 7)

ハミング II における外気吸い込み口の NO 濃度は、最大吸引流量の 45LPM で 1ppm を示したが、吸引流量が 25LPM まで低下しても 1ppm を維持した。しかし、吸引流量がさらに低下すると、20LPM で 3ppm, 10LPM では 15ppm に上昇した。BP-2001 の定常流量 15LPM 設定では、最大吸引流量の 45LPM で 1ppm を示したのに対し、吸引流量が 35LPM まで低下しても 2ppm を維持し濃度上昇は少なかった。しかし、吸引流量がさらに低下すると、30LPM で 4ppm, 15LPM では 16ppm に上昇した。BP-2001 の定常流量 20LPM 設定では、最大吸引流量の 45LPM で 3ppm を示したのに対し、吸引流量が 40LPM で 4ppm, 35LPM で 6ppm となり、25LPM では 15ppm に上昇した。

図 7 吸引流量と外気吸い込み口のガス漏れの関係

考 察

NO 吸入療法は、新生児遷延性肺高血圧症の治療として、各施設で導入されている³⁾。しかし、NO ガスは医療ガスとしては認可されておらず、各施設の倫理委員会承認を得た上で使用されているのが現状である。この背景には、NO ガスが酸素と反応し人の身体に有害な窒素酸化物に変化し、近年問題化されている環境汚染・環境破壊の問題に関わるガスであると言う概念がある。よって、NO 吸入療法を行う場合には、患者への治療効果のみならず、同室内の医療従事者への影響や環境維持についても配慮

しなければならない⁴⁾。

通常、室内の環境維持のため人工呼吸器から排気される NO_x の処理は、医療設備として設置されている吸引配管を用いて外気に排気することが一般的である。しかし、NO_x は水蒸気と接触することにより硝酸・亜硝酸を発生し金属腐蝕性を示し^{5,6)}、吸引配管を劣化させる可能性がある。また、医療用の吸引配管は分泌物や消毒液などの湿気を含んだガスを吸引していることから、すでに腐食していることが容易に考えられる。このような状況下において、NO_x が吸引されれば腐食を助長し、故障ともなれば大規模な工事の必要性が生じてしまう。よって、当 NICU では、環境維持や吸引配管の故障に配慮した NO 吸入療法専用の余剰ガス排気システムを検討し、配管にステンレス管を用いた余剰ガス排出装置を設置した。

人工呼吸器の呼気ガスに含まれる NO_x の吸着には、活性炭を用いる方法が一般的である³⁾。しかし、呼気ガスは多量の水分（相対湿度 100%）を含んでいることから、活性炭を通過させる前にシリカゲルなどの除湿剤による乾燥を行わなければならない。除湿剤の適宜交換も必要となる。当センターで用いている NO_x 吸着装置は化学吸着法を応用したものであり、除湿の必要性はなく、吸着装置の交換期間は使用 NO 濃度によっても異なるが 10 日～2 週間程度である。今回の実験でも、吸着後の NO 濃度は、1～2 ppm、NO₂ 濃度は 0.2 ppm に低下し十分な効果が得られた。

人工呼吸器からの呼気ガスを吸引し外気に排気する場合、直接的に人工呼吸器の呼気排出部と排気ラインを接続すると人工呼吸器に過度の陰圧が発生し、その動作に異常をきたしてしまう。よって、人工呼吸器と排気チューブの間には、外気を取り込める機構が必要となる。当センターで用いている NO_x の吸着装置には、この外気吸い込み口が付属しているが、この外気吸い込み口からは場合によって、NO_x のガス漏れを引き起こしてしまう。吸気流速の設定に関係なく一定の定常流量（約 8 LPM）で動作するハミング II の場合、吸引流量が低下しても外気吸い込み口からのガス漏れは起こりにくかっ

た。しかし、吸気流速を定常流量で設定する BP-2001 は、設定定常流量に呼気抵抗を低下させるためのジェット流 (10 LPM) がさらに加わるため、常にこの流量以上の吸引流量を維持しなければならない。今回の実験では、余剰ガス排出装置の最大吸引流量 45 LPM であれば、外気吸い込み口からのガス漏れは生じなかったが、吸引流量 35 LPM ではガス漏れが確認された。BP-2001 の設定定常流量が 25 LPM 以上となれば、ガス漏れは発生するであろう。よって、余剰ガス排出装置は 50 LPM 以上の吸引流量が得られるシステムであることが望まれた。

NO 吸入療法専用の余剰ガス排気システムにより十分な環境維持を実施し、室内（患者周囲）の NO 濃度・NO₂ 濃度はともに 1 ppm・0.1 ppm 未満で測定上ゼロであった。しかし、患者ケアを行う医療従事者のなかには、異臭・頭痛・目の痛みを訴える者もいる。新生児では、カフ無しの挿管チューブを用いることや、気管内吸引の際の回路の着脱などにより、ガス漏れも生じる。気管内吸引は人工呼吸器の回路を外さないで実施できる、閉鎖式吸引チューブを用いるなどの工夫が必要となる。

今後、さらに室内環境や環境汚染、患者・医療従事者の安全性を維持するシステムの検討が必要である。

ま と め

当 NICU は、NO 吸入療法で発生する人工呼吸器からの排気ガスに対し、金属腐蝕性に強いステンレスを用いた余剰ガス排出装置を設置し、NO_x の吸着装置を含めた余剰ガス排気システムを検討した。

化学吸着法による NO_x の吸着装置を併用することで、排気 NO、NO₂ 濃度を低下させることが可能であった。しかし、余剰ガス排出装置の吸引流量を 35 LPM 以下にすると、NO_x の吸着装置に付属する外気吸い込み口より NO_x が漏れる可能性があることが示唆されるため、この吸引流量は常に 40 LPM 以上にする必要があると考えられた。

(40) 医器学 Vol. 69, No. 7 (1999)

文 献

- 1) 馬 麗娟, 他: 生体内における NO の産生およびその役割. 麻酔, 43 : 181-185, 1994.
- 2) 平田結喜緒: NO 合成酵素の調節. 呼吸と循環, 44 : 119-125, 1996.
- 3) 阪井裕一: 小児 ICU における NO 吸入療法. ICU と CCU, 19 : 1037-1043, 1995.
- 4) 辻野一三, 他: NO 吸入とその問題点. 呼吸と循環, 42 : 865-869, 1994.
- 5) 中村知夫, 他: 一酸化窒素(NO)と小児肺高血圧症. 小児科, 36 : 997-1005, 1995.
- 6) 加藤典夫, 他: 一酸化窒素(NO)の物理化学的性状と取扱上の注意点. ICU と CCU, 18 : 1014-1046, 1994.