

◎短 報◎

低流量の酸素供給で高濃度酸素吸入が可能な酸素マスクの開発

安部俊吾

キーワード：リザーバーマスク，低流量酸素供給，高濃度酸素吸入，二酸化炭素除去フィルター

I. はじめに

酸素マスクは口や鼻の周辺に高濃度酸素を供給することで血液中の酸素分圧を高め、組織の低酸素状態を改善する目的で行われる。現在、最も高濃度の酸素投与が可能とされる酸素マスクは非再呼吸式リザーバーマスクであり、酸素療法ガイドラインにも90%以上の酸素吸入が可能であると記載されている¹⁾。しかし、実際の吸入酸素濃度は60%程度にとどまるとの指摘がある^{2~4)}。吸入酸素濃度が低くなる原因はマスクと顔面の間隙からルームエアが流入するためである^{3,4)}。よってマスクと顔面の間隙をなくせばより高濃度酸素の吸入が可能である。しかし、マスクと顔面の間隙をなくすと低流量の酸素供給で使用した時、患者が換気困難に陥る危険性が生じる⁴⁾。今回これらの問題を解決するため、新しい構造の酸素マスクを試作したので報告する。

II. 方法と対象

従来型非再呼吸式リザーバーマスクに次のような改良を加えた。

- マスクを密着型とし、マスクと顔面の間隙をなくす。
- マスクとリザーバーの接続部に装着された吸気弁を除く。
- マスクとリザーバーの接続部に二酸化炭素除去フ

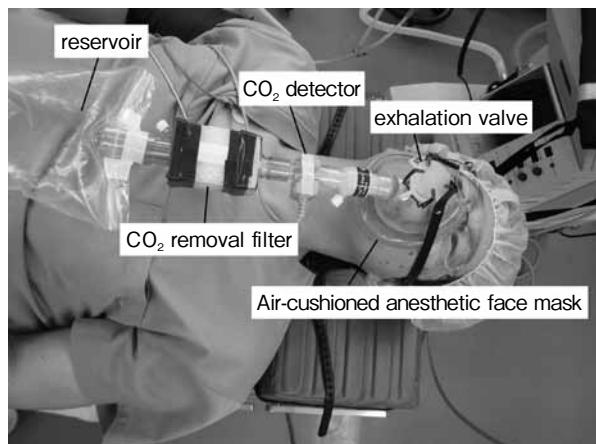
田窪リウマチ整形外科 麻酔科

[受付日：2016年12月8日 採択日：2018年6月15日]

ィルターを設置する。

Fig.1に試作品を示す。マスクは麻酔導入に用いるディスポーザブルマスクを使用し、通常L字管を接続する部位にプラスチック板を乗せて呼気一方弁とした。マスクに開けた穴に人工鼻を固定し、同部を二酸化炭素除去フィルターの接続部とした。二酸化炭素除去フィルターはプラスチック容器に約100gのソファーソーブTMを充填して作製した。リザーバーは1.5Lの市販のビニール袋を用い、その端に酸素供給用のビニールチューブを接続した。

被験者は心肺疾患の既往がなく、喫煙歴のない51歳男性（著者）。試作した酸素マスクを顔面に密着して装着し、ヘッドバンドで固定した。仰臥位安静呼吸に

**Fig.1 Trial product of the new oxygen mask**

A partial-rebreath reservoir mask with CO₂ removal filter was used for the 51-year-old healthy volunteer. The face mask was fitted tightly to prevent air entrainment and 5L/min of oxygen was given for 10minutes.

て 100% 酸素を 5L/ 分で供給し、酸素投与開始 10 分後にそけい部より動脈血を採取した。血液ガス分析は GASTAT navi (Techno Medica 社、日本) を用いて行った。同酸素マスク使用中、人工鼻と二酸化炭素除去フィルターの間に ETCO₂ モニター（メインストリーム型）を設置し、同部を通過するガスの二酸化炭素分圧を持続的に観察した。また麻酔器 Acoma PRO-45 (アコマ医科工業、日本) に付属した酸素センサをマスク内に装着し、マスク内酸素濃度を測定した。また麻酔器 Acoma PRO-45 に付属した気道内圧計とマスクの内腔を接続し、マスク内圧を測定した。

III. 結 果

同酸素マスク使用中、リザーバーは呼吸に合わせて容易に膨縮した。呼吸回数は概ね 10 回 / 分で ETCO₂ は 37mmHg を示した。モニター画面上二酸化炭素濃度はほぼ矩形波を示し、吸気時に二酸化炭素は検出されなかった (Fig.2)。動脈血液ガス分析は pH 7.373、PaCO₂ 43.4mmHg、PaO₂ 342.7mmHg であった。また吸気時のマスク内酸素濃度は酸素投与開始から約 3 分でプラトーに達し、概ね 70% を示した。また吸気時マスク内圧は大気圧に比べ 2 ~ 3hPa 低かった。同酸素マスク装着による不快感は少なく、使用中も会話が容易であった。以上のデータ収集に要した時間は計 1 時間であったが、この間 ETCO₂ モニターで吸気時に二酸化炭素は検出されなかった。

IV. 考 察

現在市販されている非再呼吸式リザーバーマスクはマスクと顔面の間隙がルーズであり、吸気ヘルームエアが混入することで吸入酸素濃度が低下する。マスクと顔面の間隙を塞げば高濃度酸素の吸入は可能であるが、6L/ 分など低流量の酸素供給下に使用した場合リザーバーが空となり患者が換気困難に陥る危険性がある⁴⁾。

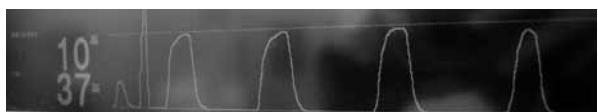


Fig. 2 End-tidal CO₂ curve during the oxygen mask use
The monitor showed ETCO₂ of 37mmHg and no CO₂ was detected at inhalation. Respiratory rate was almost 10times/minute.

そこでマスクと顔面の間隙を塞ぎかつ低流量で使用できるよう次の 2 点を改変した。①呼気の一部を再利用する再呼吸式とする。②二酸化炭素の再呼吸を防ぐため呼気から二酸化炭素を除去する。その結果、5L/ 分の酸素供給で使用したがリザーバーは空にならず、二酸化炭素の再呼吸もなかった。よってこの方式のリザーバーマスクが低流量の酸素供給で使用し得ると考えられた。

酸素マスク使用時の PaO₂ については次のように報告されている。簡易酸素マスクで 5L/ 分の酸素を投与した時、平均 217.5mmHg⁵⁾、麻酔回路で 5 ~ 10L/ 分の酸素を供給した時、平均 345.16 ~ 392mmHg^{6~8)}。よって今回の結果は麻酔回路を用いた場合に近かった。しかし、吸入酸素濃度は 70% 程度と予想を下回った。その原因是呼気弁や二酸化炭素除去フィルターの気密性が不完全だったことによると考えている。吸気時にマスク内が陰圧になることで呼気一方弁や二酸化炭素除去フィルターの微細な間隙からルームエアが混入したものと思われる。これが自作の限界であり、もちろんこの試作品をそのまま臨床に使用できるわけではない。気密性の高いものを作製すれば吸入酸素濃度は麻酔回路を用いた時と同程度になるとを考えている。

今後の課題は 3 つあると考える。呼気一方弁の構造、マスク内死腔量の減量、長時間使用可能な二酸化炭素除去フィルターの開発である。それについて以下に述べる。

今回試作した呼気一方弁はプラスチック板の重みで閉じる仕組みである。よって仰臥位で使用しなければ機能しない。解決には一方弁がバネで閉じる構造にする必要がある。この時 PEEP が発生すると考えられるので、その程度は適度に調節されなければならない。

この方式の酸素マスクではマスク内の空間が死腔になる。試作品では市販のディスポーザブルマスクを使用したのでその死腔量がおよそ 150mL であった。肺胞低換気を伴う症例ではこの死腔量が問題となる可能性がある。マスクを顔面の凹凸に合わせた形状にし、死腔量を減らす試みが必要と考える。

今回、二酸化炭素除去フィルターは 100g のソファーソープTM を用いて作製し、計 1 時間の使用で吸気中に二酸化炭素は検出されなかった。一般に 100g のソーダライムが吸収できる二酸化炭素は 26L とされている⁹⁾。例えば一回換気量 500mL、呼吸回数 12 回 / 分、

ETCO₂ 40mmHg の場合、1 分間に呼出される二酸化炭素は約 316mL になる。ソーダライム 100g が完全に反応したと仮定して 82 分が使用限度となる。呼気の一部は大気中へ放出されるので全ての呼気が二酸化炭素フィルターを通過するわけではない。しかし患者の状態によっては耐用時間が短くなる可能性もある。このため現状では使用時間を 1 時間以内とするのが妥当と考えている。これを踏まえ使用法について考えてみる。ICU で使用する場合はフィルター交換の頻度を下げるためより長時間の使用に耐える二酸化炭素除去フィルターの開発が必要であろう。事故や災害に伴う救急搬送時には現状でも有用ではないかと考えられる。いずれにせよ二酸化炭素の再呼吸がないか何らかのモニタリングは必要と考える。

V. 結 語

低流量の酸素供給で高濃度酸素の吸入ができる酸素マスクの開発を試みた。二酸化炭素除去フィルターを組み込んだ部分再呼吸式リザーバーマスクを顔面に密着させることで、これまでよりも高濃度の酸素吸入が可能であることを示した。耐用時間を長くすることが今後の課題である。

本稿の要旨は、第 38 回日本呼吸療法医学会学術集会（2016 年、名古屋）において発表した。

本稿の著者には規定された COI はない。

参考文献

- リザーバーシステム、酸素療法ガイドライン（第 1 版）。日本呼吸器学会肺生理専門委員会編、日本呼吸管理学会酸素療法ガイドライン作成委員会編。東京、メディカルビューアー、2006、pp40-1。
- Sim MA, Dean P, Kinsella J, et al : Performance of oxygen delivery devices when the breathing pattern of respiratory failure is simulated. *Anaesthesia*. 2008 ; 63 : 938-40.
- Standley TD, Smith HL, Brennan LJ, et al : Room air dilution of heliox given by facemask. *Intensive Care Med.* 2008 ; 34 : 1469-76.
- 萬知子、森山潔、本保晃ほか：非再呼吸式リザーバーマスクの装着具合と供給酸素流量が吸入酸素濃度に及ぼす影響—高機能患者シミュレータを用いた研究—。日集中医誌。2014；21：607-13。
- Sasaki H, Yamakage M, Iwasaki S, et al : Design of oxygen delivery systems influences both effectiveness and comfort in adult volunteers. *Can J Anaesth.* 2003 ; 50 : 1052-5.
- Rajan S, Mohan P, Paul J, et al : Comparison of margin of safety following two different techniques of preoxygenation. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2015 ; 31 : 165-8.
- Baraka AS, Taha SK, Aouad MT, et al : Preoxygenation : comparison of maximal breathing and tidal volume breathing techniques. *Anesthesiology*. 1999 ; 91 : 612-6.
- Choiniere A, Girard F, Boudreault D, et al : Voluntary hyperventilation before a rapid-sequence induction of anesthesia does not decrease postintubation PaCO₂. *Anesth Analg.* 2001 ; 93 : 1277-80.
- 新井達潤、中西和雄：二酸化炭素吸収装置。麻酔・蘇生学講義。新井達潤編。東京、克誠堂出版、2001、pp31。