

酸素流量を変化させた時の口腔内の酸素濃度の変化に関する検証

吉田 雄太*, 坂口 智久**, 下畑 行盛*

概要

活動安全課ではポンプ小隊に配置されている酸素マスクを含めた、各種酸素投与用資器材と酸素流量の組合せによる吸入酸素濃度（口腔内の酸素濃度）の測定実験をおこなった。その結果、各種の酸素投与用資器材装着時の酸素濃度に大きな差異は無く、最も大きな要因は酸素流量であることが確認できた。このことから、PA連携活動の目的である救急到着前の早期救護活動に係る処置としても、高濃度の酸素が投与できる資器材の配置は有用であることが明らかになった。

1 はじめに

(1) 検証の背景

東京消防庁において平成12年よりおこなわれているポンプ小隊及びその他の消防小隊（以下「ポンプ小隊」という。）と救急小隊の連携による救出・救護活動（以下「PA連携活動」という。）は、ポンプ小隊に応急手当資器材を積載し、救急隊と連携した活動により、処置開始までの時間の短縮、傷病者の救出・救護処置の効率化による救命率の増加を目的として発足した出場体制である。東京消防庁では、PA連携用の資器材として、ポンプ小隊に酸素吸入用の呼吸管理用資器材が配置しており、ポンプ小隊が救急隊に先行して救急現場に到着し、隊員がポンプ小隊に配置されている酸素ボンベと酸素マスクを活用して酸素投与を実施することによって、早期の酸素投与が必要な救急現場においても可能な限り迅速に対応することが可能である。

(2) 検証の目的

現在、東京消防庁のPA連携活動において、ポンプ小隊では中濃度酸素マスクと、酸素流量を最大で1L/分に設定できる98ml酸素ポンベを使用している。しかし、傷病者の呼吸状態は、病態による呼吸回数等の変化により換気量が大きく変動する⁽¹⁾ことから、救急隊の資器材と比較して酸素流量が大幅に少ないポンプ小隊の資器材では、傷病者の呼吸状態によって効果的な呼吸管理の維持が難しくなる可能性がある。

そこで本検証では、各種の呼吸管理資器材と酸素流量の組合せによる吸入酸素濃度を測定し、効果的な呼吸管理がおこなわれているかを分析することにより、PA連携活動における活動効率向上に寄与することを目的とした。

2 方法

(1) 検証方法

今回の検証では多様な資器材の性能を比較するため、被験者の口腔内深部の酸素濃度及び二酸化炭素分圧の測定をおこない（図1参照）、口腔内の酸素化の程度を記録した。比較する酸素マスク等の酸素吸入器には、本来使用に適した酸素流量域が存在するが、今回の検証では徹底した性能比較をおこなうため、酸素流量をはじめとする検証要因は全て統一し、実際には使用しない流量での測定もおこなった。

また、各種酸素吸入器の性能比較を行うためには、人の通常呼吸時のみでなく、傷病等による呼吸異常による呼吸回数や換気量の増減を実験の要因として考えなければならない。文献等では人の呼吸は平均的な1回換気量がおおよそ500ml程度、呼吸回数は毎分12~20回程度と示されている^{1,2,3,4)}ものの、実際には年齢、体格等の要因により多種多様である。このことから、安定した条件下での測定実験をおこなうため、呼吸回数や換気量の正確な制御が可能で、人の呼吸を再現できる精巧な患者シミュレータと生体分析装置等の付属設備を活用して実験を実施した。実験にあつては防衛医科大学校麻酔学教室の協力のもと、防衛医科大学校の施設である「METI社製患者シミュレータ」及びその付属設備を使用した（写真1、2参照）。

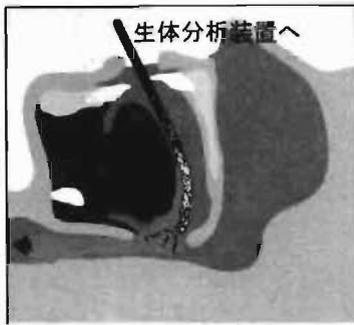


図1 口腔内酸素濃度の測定



写真1 METI社製患者シミュレータ



写真2 生体分析装置

(2) 実験方法

ア シミュレータでの性能実験

各種酸素吸入器の性能比較をおこなうには、呼吸回数と換気量の条件を一定にして測定を行う必要がある。そこで、呼吸回数の増減による影響を測定する実験と、1回換気量の増減による影響を測定する実験をおこなった。

(7) 呼吸回数を増減させた場合の測定

呼吸1回の換気量を 500ml^{1,3,5)} に固定し、呼吸回数を増減 (5回/分~35回/分) させて分時換気量を増減 (2500ml~20000ml) させ、各種酸素吸入器を患者シミュレータに装着した際の口腔内の酸素濃度、二酸化炭素分圧の変化を生体分析装置、より測定した。

(4) 1回換気量を増減させた場合の測定

1分間の換気量を 7500ml に固定し、呼吸回数を増減 (5回/分~35回/分) させることにより1回換気量を増

減 (214ml~1500ml) させ、各種酸素吸入器を患者シミュレータに装着した際の口腔内の酸素濃度、二酸化炭素分圧の変化を測定した。

※成人の平均一回換気量は約 500ml、呼吸回数を毎分 15回とした場合、平均分時換気量は約 7,500ml と計算した。

(7) 生体での性能実験

救急活動における酸素吸入の対象者は生体であるため、生体に対する各種呼吸管理用資器材の性能を把握する必要がある。そこで、実際に生体を対象とした実験をおこなった。

イ 生体での性能実験

(7) 生体における口腔内の酸素濃度、二酸化炭素分圧の測定

通常呼吸を行う被験者 (約 12~20回/分) に対し、各種酸素吸入器を装着させ、酸素流量を増減 (1L/分~10L/分) し、口腔内の酸素濃度、二酸化炭素分圧の変化を測定した。

(4) 装着感等の調査

各種酸素吸入器を装着し、酸素流量を増減した際の装着感等について主観的評価を実施した。

ウ シミュレータでの結果と生体での結果の比較

シミュレータでの測定値が生体での測定値と近い値を示すのかを確認するため、測定値の比較をおこなった。

(3) 検証要因

ア 要因1、検証資器材 (4種類)

(7) 中濃度酸素マスク (東京消防庁ポンプ隊採用、写真3参照)

(4) 高濃度酸素マスク (東京消防庁救急隊採用、写真4参照)

リザーバーバッグに傷病者の呼気の一部を貯留し、酸素とともに再吸入することで高濃度の酸素吸入が実施できる。

(7) 非再呼吸式マスク (東京消防庁救急隊採用、写真5参照)

リザーバーバッグに酸素を貯留するが、呼気の再吸入を防ぐことにより、より高濃度の酸素吸入を実施できる。

(エ) 鼻カニューレ (東京消防庁未採用、写真6参照)

鼻腔からのみ酸素吸入を実施できる。

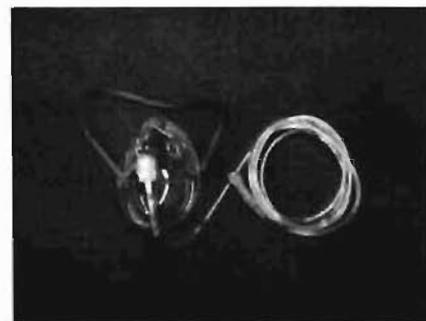


写真3 中濃度酸素マスク



写真4 高濃度酸素マスク



写真5 非再呼吸式マスク



写真6 鼻カニューレ

イ 要因2、酸素流量（6パターン）

救急隊に配置されている酸素ボンベで設定可能な毎分流量を設定した。（1、2、4、6、8、10L/分の6パターン）

ウ 要因3、呼吸回数（7パターン）

5～35回/分（5、10、15、20、25、30、35回/分）

※成人の平均呼吸回数は毎分12～20回程度。

エ 要因4、換気量（2パターン）

(ア) 1回換気量固定（500ml/1回）→分時換気量増減（2,500～20,000ml/1分）

(イ) 分時換気量固定（7,500ml/1分）→1回換気量増減（214～1,500ml/1回）

3 実験結果

(1) シミュレータでの性能実験結果

ア 呼吸回数を増減させた場合の測定結果

(ア) 酸素流量1L/分で使用した場合、呼吸回数と換気量の増加によって酸素濃度が21%前後まで低下することが確認できた。

(イ) 口腔内の酸素濃度について、酸素吸入器の違いによる大きな差異は認められなかった（図2参照）。

(ウ) 口腔内の酸素濃度は、酸素流量が増加すると、全ての酸素吸入器において上昇していた（図2参照）。

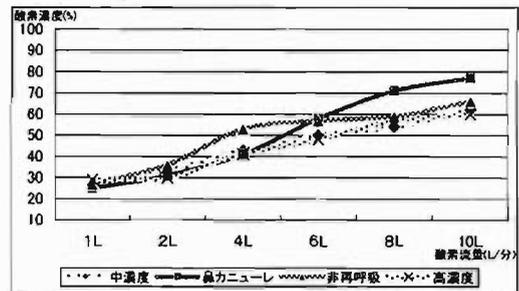


図2 呼吸回数を増減させた場合の酸素流量と口腔内酸素濃度の関係

(エ) 口腔内の二酸化炭素分圧は、呼吸回数が増加すると、全ての酸素吸入器において下降していた。

(オ) 鼻カニューレ装着時に口腔内の二酸化炭素分圧が低い傾向が認められた（図3参照）。

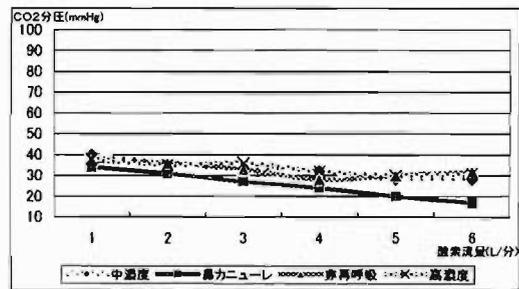


図3 呼吸回数を増減させた場合の酸素流量と口腔内二酸化炭素分圧の関係

イ 1回換気量を増減させた場合の測定結果

(ア) 酸素流量1L/分で使用した場合、呼吸回数と換気量の増加によって酸素濃度が21%前後まで低下することが確認できた。

(イ) 口腔内の酸素濃度は、1回換気量や酸素流量の増減によって影響をうけるが、リザーババッグ付酸素吸入器（高濃度マスク、非再呼吸式マスク）は、1回換気量の減少により、中濃度酸素マスクよりも、口腔内の酸素濃度が上昇していた（図4参照）

(ウ) 鼻カニューレは毎分4L以上の酸素流量で使用した場合、他の酸素マスクよりも口腔内の酸素濃度が上昇していた（図4参照）。

(エ) 口腔内の酸素濃度は、酸素流量が増加すると、全ての酸素吸入器において上昇していた（図4参照）。

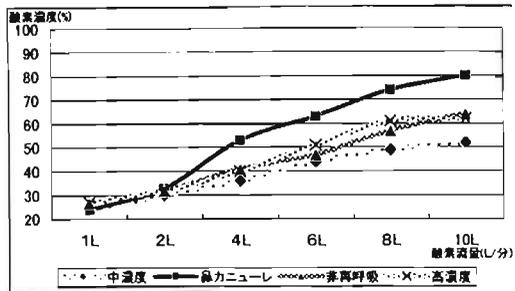


図4 1回換気量を増減させた場合の酸素流量と口腔内酸素濃度の関係

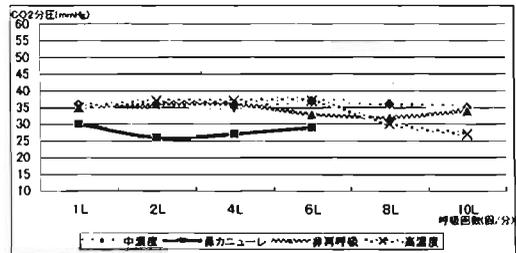


図7 生体における酸素流量と口腔内二酸化炭素分圧の関係

- (オ) 口腔内の二酸化炭素分圧は、1回換気量が減少すると、全ての酸素吸入器において下降していた。
- (カ) 口腔内の二酸化炭素分圧は、分時換気量や酸素流量の増減によって影響を受けるが、酸素吸入器の違いによる大きな差異は認められなかった (図5参照)。

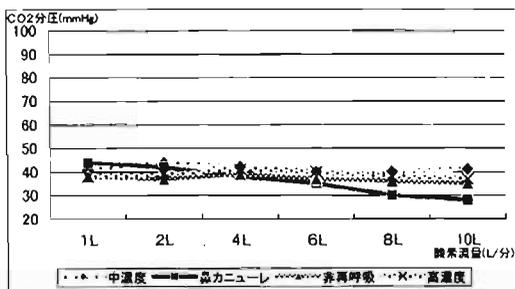


図5 1回換気量を増減させた場合の酸素流量と口腔内二酸化炭素分圧の関係

- イ 各種酸素吸入器の装着感
- (7) 鼻カニューレの装着は他の酸素マスクと比較すると開放性があり、装着感に優れていた。
- (イ) 鼻カニューレの装着は、6L/分以上で短期装着も難しいほど鼻腔内に強い不快感があった。

(3) シミュレータでの結果と生体での結果の比較結果 (理論値と実測値の比較) (表1参照)

ア 文献等における理論値^{2,5,6,7)}と実験による実測値の平均を比較すると、実測値は毎分流量6~10Lにおいて理論値より低い数値を示していた。

イ 生体による実測値はシミュレータによる実測値より低い数値を示していた。

ウ 理論値の酸素濃度に達するように、実験途中で各種酸素吸入器を徒手により密着させたところ、酸素流量に関係なく非常に強い圧迫感と息苦しさを感じた。

(2) 生体での性能実験結果

ア 生体における口腔内の酸素濃度、二酸化炭素分圧

(7) 口腔内の酸素濃度は、酸素流量が増加すると、全ての酸素吸入器において上昇していた (図6参照)。

(イ) 口腔内の二酸化炭素分圧は、酸素流量が増加しても、全ての酸素吸入器において大きな変化は認められなかったが、鼻カニューレは他の酸素吸入器に比べて低い傾向にあった (図7参照)。

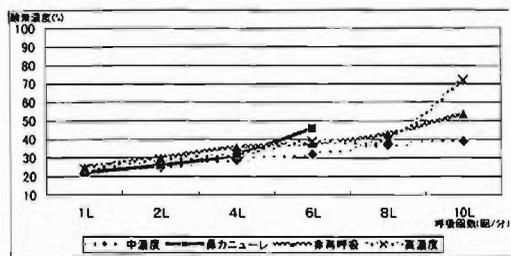


図6 生体における酸素流量と口腔内酸素濃度の関係

表1 酸素投与資器材に関する理論値と実測値

	理論値		シミュレータ実測値	生体実測値
	投与酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)	吸入酸素濃度 (平均値) (%)	吸入酸素濃度 (%)
鼻カニューレ	1	24	23~28 [25.3]	22
	2	28	26~36 [29.8]	26
	3	32		
	4	36	35~58 [41.1]	32
	5	40		
中濃度マスク	5~6	40	40~57 [47.0]	32
	6~7	50		
	7~8	60	44~67 [57.6]	37
高濃度マスク	6	60	39~53 [45.8]	39
	7	70		
	8	80	46~63 [53.5]	40
	10	80以上	51~76 [59.4]	72

4 考察

(1) シミュレータでの性能実験

ア 分時換気量を増減させた場合の測定

各種酸素吸入器を使用した場合の口腔内の酸素濃度に大きな差は認められなかった。口腔内の二酸化炭素分圧については、鼻カニューレ装着時が他のマスク型の酸素吸入器と比較して低い傾向にあった。これは各種酸素吸入器の構造の違いによりマスク内に呼気が残留していることが原因と考えられることから、口と鼻を覆わない鼻カニューレとの差が現れたものと考えられた。

イ 1回換気量を増減させた場合の測定

酸素流量毎分4 L以上の条件の時に、口腔内の酸素濃度に各種酸素吸入器の性能差が認められた。また、口腔内の二酸化炭素分圧は酸素流量毎分8 L以上の条件の時に鼻カニューレ装着時が低い傾向であったが、6 L以下では大きな差は認められなかった。これは各種酸素吸入器の構造の違いが原因であり、「分時換気量を増減させた場合の測定」と同様に鼻カニューレと酸素マスクの構造の差が現れたものと考えられた。

(2) 生体での性能実験

生体口腔内の酸素濃度は各種酸素吸入器による大きな差は認められなかった。二酸化炭素分圧は鼻カニューレ装着時に一貫した低下傾向にあり、シミュレータでの性能実験を裏付ける実験結果と考えられた。

酸素吸入器の装着感は、マスク型の酸素吸入器と比較して鼻カニューレが最も優れていた。これは口と鼻を覆い、通気口の小さい各種酸素マスクに対し、装着が鼻のみの鼻カニューレが明らかに開放性において勝っていたためであると考えられる。ただし、鼻カニューレは毎分流量6 L以上で使用した場合、鼻腔内に強い不快感を感じたことから、実際の使用にあつては毎分流量4 L以下での使用が望ましいと思われた。

(3) シミュレータでの結果と生体での結果の比較

シミュレータでの実測値、生体での実測値はいずれも、毎分流量6 L以上の条件下において、文献等の資料による各種酸素吸入器使用時における酸素濃度の理論値を下回っていた。徒手により酸素マスクを強く密着させると理論値に近い酸素濃度が実測できたことから、酸素濃度低下の原因は酸素マスクと生体（シミュレータ）の間に生じる隙間と考えられた。実験ではマスク固定用のゴムでしっかりと固定した上で測定したが、漏れをなくすることは不可能であった。また、隙間をなくすために酸素マスクを密着させることで、傷病者に強い圧迫感と息苦しさを感ぜさせてしまうことから、実際には徒手による密着は不可能であり、口腔内の酸素濃度を上昇させるには、酸素流量を増加させることが効果的であると考えられる。

5 まとめ

(1) 各種酸素吸入器に大きな性能差は表れなかった。

各種酸素吸入器を使用した場合、毎分流量4 L以下の酸素投与では、口腔内の酸素濃度に大きな差が認められなかった。鼻カニューレ装着時は他の酸素マスク装着時と比較して開放感があり、毎分流量4 L以下の酸素投与では装着感が良好であった。

毎分流量6 L以上の酸素投与では、鼻カニューレ装着時に酸素濃度の上昇が確認できた。しかし、鼻腔への強い不快感を伴うことから、実際の使用には適さないということが確認できた。

(2) 口腔内の酸素濃度は呼吸数・換気量の増減によって変動するため、効果的な酸素投与を行うためには、高い酸素流量を確保できる資器材の使用が望ましい。

傷病者の呼吸数や換気量の増減により、各種酸素吸入器装着時における口腔内の酸素濃度は影響を受けていた。そのため、酸素流量が低いと口腔内の酸素濃度が大気中と変わらない数値まで低下することが確認できた。どのような状況においても効果的な酸素投与を行うためには、ポンプ隊に高い酸素流量を確保できる酸素ポンベ（例：救急隊仕様2 L酸素ポンベ）と減圧弁を配置することが望ましい。

(3) 傷病者に対する効果的な呼吸管理をおこなうためには、高濃度の酸素投与が可能な資器材の配置、また、その資器材を扱える資格者の人員配置等の検討が望ましい。

現在、全ポンプ小隊に呼吸管理資器材として毎分流量1 Lに制限された酸素ポンベと中濃度酸素マスクの組合せを配置しており、酸素投与が必要な傷病者への早期対応に効果をあげてきた。しかし、ガイドライン2000⁸⁾等を始めとした救急医療における酸素投与方法では、軽度の急性呼吸不全の傷病者であっても毎分流量5～6 Lの酸素投与が推奨されており、今回の実験結果からも、傷病者の状態に対応できる高濃度の酸素投与と流量を調整可能な資器材の有効性が明らかになった。

7 謝辞

今回の検証にあたり、防衛医科大学校麻酔学教室の皆様の実験に施設の借用、検証方法への助言等にご協力いただきました。紙面を持ってお礼申し上げます。

8 参考文献

- 1) 日野原重明 呼吸ケアマニュアル 学習研修社 1988
- 2) 救急救命士教育研究会監修 救急救命士標準テキスト へるす出版 1991
- 3) 救急救命士協会監修 除細動・気管挿管 救急救命士標準テキスト追補版 2003
- 4) 自治省消防庁救急救助課監修 救急隊員標準課程テキスト へるす出版 1992
- 5) 横田浩史 呼吸管理ハンドブック 中外医学社 2002
- 6) 救急医学9 VOL. 30 NO. 10 へるす出版 2006

- 7) 東京消防庁救急部監修 救急資器材管理・取扱マニュアル
東京法令出版 1997
- 8) ACLS Provider Manual, American Heart Association 2001

Experiment on Respiratory Controlling Equipment

Comparative Experiment on Oxygen Delivery Devices

Yuta YOSHIDA*, Tomohisa SAKAGUCHI**, Yukimori SHIMOHATA*

Abstract

On request from the Emergency Medical Services Division, the Operational Safety Section conducted an experiment to measure the inspired oxygen concentration (oxygen concentration in the mouth) with various combinations of oxygen flow levels and different oxygen delivery devices, including the oxygen masks deployed at our pump companies. Results show that there are no substantial differences in oxygen concentration depending on the oxygen delivery devices used and that the most significant factor is oxygen flow. Therefore the findings confirm the effectiveness of deploying devices capable of delivering high-concentration oxygen as a measure for quick rescue services prior to the arrival of an emergency medical unit, which is the aim of the pumper-ambulance coalition operation..