

【原著】

リザーバー付き酸素マスクにおける吸入酸素濃度の実際 ～様々なマスク形状における流量と装着状態の影響～

東京医科歯科大学医学部附属病院 MEセンター¹⁾ 東京医科歯科大学医学部附属病院 高気圧治療部²⁾
 大久保 淳¹⁾, 小柳津卓哉²⁾, 宮本聡子¹⁾, 前田卓馬¹⁾, 後藤啓吾¹⁾, 山本素希¹⁾,
 倉島直樹¹⁾, 小島泰史²⁾, 榎本光裕²⁾, 柳下和慶²⁾

【要旨】

高気圧酸素治療 (hyperbaric oxygen therapy : HBO) において気圧の制御は確実かつ容易である。一方で空気加圧HBOでの酸素濃度については、酸素マスク等の器具により影響を受ける。当院では第2種装置における酸素投与の方法として、非再呼吸式リザーバー付き酸素マスク (oxygen mask with reservoir : RM) を用いている。現在市販されているRMは、各メーカーによりRMの形状は様々であり、RMの形状による吸入酸素濃度への影響を検討した報告は少ない。市販されている8種類のRMにおけるフィッティング (装着) 状態を、口鼻全体をマスクで覆い、ストラップを適切に締めた状態 (normal) と口鼻全体をマスクで覆い、ストラップを最大限に締め、マスクを圧着させた状態 (tight) で使用し、マスク酸素流量を5, 10, 15, 20, 25, 30L/minと変更し口元及び気道内部における酸素濃度を、高機能患者シミュレータ (high-fidelity human patient simulator) を用いて各々測定した。口元酸素濃度は、normalでは、酸素流量15L/min以下ではすべてのRMが90%未満であった。20L/minで3つのRM, 25L/minで5つのRMが90%以上となった。Tightでは、15L/minで1つのRM, 20L/minで4つのRMが90%以上であり、25L/min以上ですべてのRMが90%以上になった。気道酸素濃度は、normalでは、酸素流量20L/min以下ではすべてのRMが90%未満であった。25L/minで2つのRM, 30L/minで4つのRMが90%以上であった。Tightでは、20L/minで1つのRM, 25L/minで4つのRMが90%以上となった。市販されているRMは、normalで口元の酸素濃度を90%にするためには20L/minが必要であった。

キーワード

高気圧酸素治療, 酸素流量, 高機能患者シミュレータ, HPS

【Original】

Inhaled oxygen concentration for various oxygen masks with reservoir in hyperbaric environments : effect of flow rate and mask fit

- 1) Medical Engineering Center, Tokyo Medical and Dental University Medical Hospital
 2) Hyperbaric Medical Center, Tokyo Medical and Dental University Medical Hospital

Atsushi Ohkubo¹⁾, Takuya Oyaizu²⁾, Satoko Miyamoto¹⁾, Takuma Maeda¹⁾, Keigo Goto¹⁾, Motoki Yamamoto¹⁾, Naoki Kurashima¹⁾, Yasushi Kojima²⁾, Mitsuhiro Enomoto²⁾, Kazuyoshi Yagisita²⁾

Abstract

While the control of treatment pressure in hyperbaric chamber is easy and reliable, the inhaled oxygen concentration (OX), when breathing oxygen through a mask, varies greatly depending on the flow rate and the fit of the mask. OX was measured in the mouth and trachea of a high-fidelity human patient simulator for eight types of oxygen masks with reservoir (RM) commercially available in Japan for various conditions. One condition was the fit of the mask, either normal, that is comfortable for a patient, or tight. The others were for different flow rates (5, 10, 15, 20, 25 and 30L/min). With a normal fit, OXs in the mouth were all under 90% with 15L/min, over 90% in three RMs with 20L/min and over 90% in five RMs with 25L/min. Tracheal OXs were all under 90% with 20L/min, over 90% in two RMs with 25L/min and over 90% in four RMs with 30L/min. In the tight-fitting masks, OXs in the mouth were over 90% in one RM with 15L/min, over 90% in four RMs with 20L/min, and over 90% with 25L/min in all RMs. Tracheal OXs were over 90% in one RM with 20L/min, and over 90% in four RMs with 25L/min. These results show that OXs vary greatly with how the mask is fitted and the flow rate delivered. We believe that a flow rate of more than 20L/min is required to maintain OX more than 90% in the mouth.

keywords

hyperbaric oxygen therapy, oxygen flow rate, high-fidelity human patient simulator, HPS

I. はじめに

高気圧酸素治療 (hyperbaric oxygen therapy : HBO) において気圧の制御は確実かつ容易である。一方で空気加圧 HBO での酸素濃度については、酸素マスク等の器具により影響を受ける。当院では第2種装置における酸素投与の方法として、非再呼吸式リザーバー付き酸素マスク (oxygen mask with reservoir : RM) を用いている。RM の吸入酸素濃度においては、10L/min で 90% 以上とされている¹⁾。一方、RM では高濃度酸素吸入は出来ないとの報告もある²⁾。血中酸素濃度を上昇させるという HBO の治療原理上、高濃度酸素吸入の実現は必要不可欠である。過去に中濃度酸素マスクと RM を比較した報告はあるが、RM は 1 種類であり追加の実験が待たれる³⁾。現在市販されている RM の構造は、吸気方向へはリザーバーバッグとマスクの接合部、呼気方向へはマスクの側方 (左右両側あるいは片側) にそれぞれ 1 方向弁が付いており呼

吸による逆流を防ぐための構造となっている。呼気時にはマスク側方の弁よりマスク内の呼気が外に排出され、さらに呼気圧によりリザーバーバッグとマスクの接合部の弁が閉じられ、密封されたりザーバーにチューブから酸素が供給される。吸気時にはリザーバーバッグとマスクの接合部の弁が開放され、主としてリザーバー内の酸素と、チューブからの酸素及びマスク内の残留呼気ガスを同時に吸入する。その為、酸素療法ガイドラインではマスク内の残留呼気ガスの貯留を防止する目的で、RM の酸素流量は 6L/min 以上で使用するように記載されている⁴⁾。さらに吸入酸素濃度は、酸素療法ガイドラインによると、供給酸素流量が 6L/min で約 60%、7L/min で約 70%、8L/min で約 80%、9L/min で 90%、10L/min で 90% 以上であると記載されているが⁴⁾、市販されている RM の添付文書には該当 RM 使用時における酸素流量と吸入酸素濃度に関しては明記されていない。

	製品名	製造販売元
①	オキシジェンマスクスリーインワン型 大人用	日本メディカルネクスト
②	高濃度工口酸素マスク成人用	エム・シー・メディカル
③	高濃度酸素吸入用マスク 成人用非呼吸	フジメディカル
④	OxprimeH ₂ O 非再呼吸式酸素マスク	インターメドジャパン
⑤	クリア高濃度酸素フェースマスク 成人用	中村医科工業
⑥	Respiall 酸素フェースマスク	アトムメディカル
⑦	First Breath 3in1 Oxygen Mask	smith medical
⑧	Hudson RC ₂ NonrebreathingMask ADULT	Teleflex Medical

表1 測定リザーバーマスク (RM)
本実験で使用したリザーバー付き酸素マスクの一覧。
各 RM を①～⑧とした。

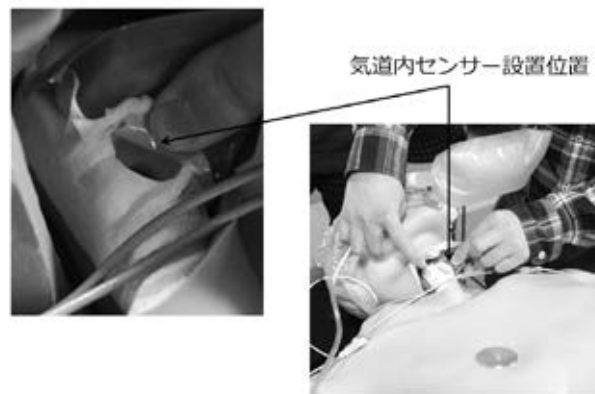


図2 気道における酸素濃度測定部位
酸素濃度測定に使用したシミュレータと気道での測定部位



図1 口元における酸素濃度測定部位
酸素濃度測定に使用したシミュレータと口元での測定部位

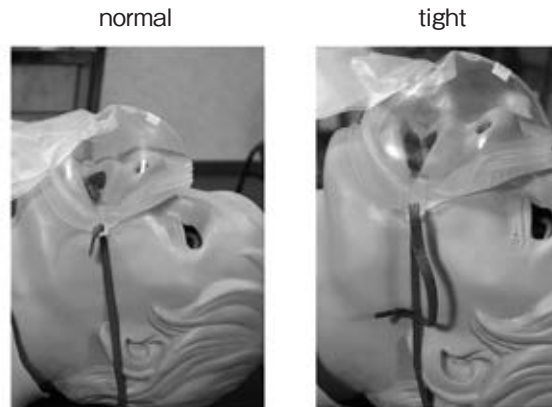


図3 マスクフィッティングの状態
酸素マスクフィッティング状態の測定条件 normal と tight

各メーカーにより国内にて市販されているRMの形状は上記のコンセプトに基づいてはいるが、マスク部や一方弁の素材・形状は様々であり、マスク機種の違いによる吸入酸素濃度への影響を検討した報告は少ない。本研究は市販されている8種類の成人用RM使用時における酸素流量別の吸入酸素濃度と装着状態による吸入酸素濃度変化を、米国GEヘルスケア社製高機能患者シミュレータ (high-fidelity human patient simulator) を用いて計測し明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1) 測定器具

高機能患者シミュレータは、特定の数理モデルと処置センサーを組み合わせる事で、あたかもヒトと同様な反応を起こすシミュレータであり、最初に設定した病態に対応した治療や処置に応じて、全身状態が改善または悪化する⁵⁾。高濃度酸素を投与しても、モデル肺内で代謝され、呼気想定気体分圧となって送気されるため、酸素濃度の過度な上昇は起こらず生体反応を高精度に再現する事が可能である。さらに口腔内及び気道酸素濃度がリアルタイムで測定可能である。患者設定は、体重70kg、呼吸回数12回、一回換気量 (tidal volume : TV) 800ml 設定 (実測TV630ml) とし、酸素濃度測定にはカーディオキャップ5 (米国GEヘルスケア社製) を使用した。測定に使用したRMは、市販されている8種類のRMとし (表1)、吸入酸素は酸素ボンベから流量計を通して、リザーバーと吸気弁の間に装着された側管の流入口より供給した。

2) 測定方法

測定部位は、図1に示す開口部から3cmの口腔内 (口元) と図2に示すシミュレーション本体の気管切開口より1cm (気

道) の2ヶ所とした。測定はサイドストリーム方式により内径2mmのチューブでガスサンプリングを行い、パラマグネチック方式で測定した (測定レンジ; 0~100%、装置精度: $\leq 2\text{vol}\%$)。

図3に示すように、RMのフィッティング (装着) 状態を、口鼻全体をマスクで覆い、ストラップを適切に締めた状態 (normal) と³⁾、口鼻全体をマスクで覆い、マスク-皮膚隙を減少させるためストラップを最大限に締め圧着させた状態 (tight) の2つの状態とした。各RMの口元及び気道内部の吸入酸素濃度の測定は、萬らの報告を参考にRMの酸素流量を5, 10, 15, 20, 25, 30L/minと変更し、流量を固定して5分後の値を抽出した³⁾。

3) 統計学的検討

統計学的検討は、Wilcoxon符号付順位検定を使用し、 $P < 0.05$ を有意差ありとした。

III. 結果

1) 口元酸素濃度

Normalでは、酸素流量15L/min以下ではすべてのRMが90%未満であった。20L/minで3つのRM,

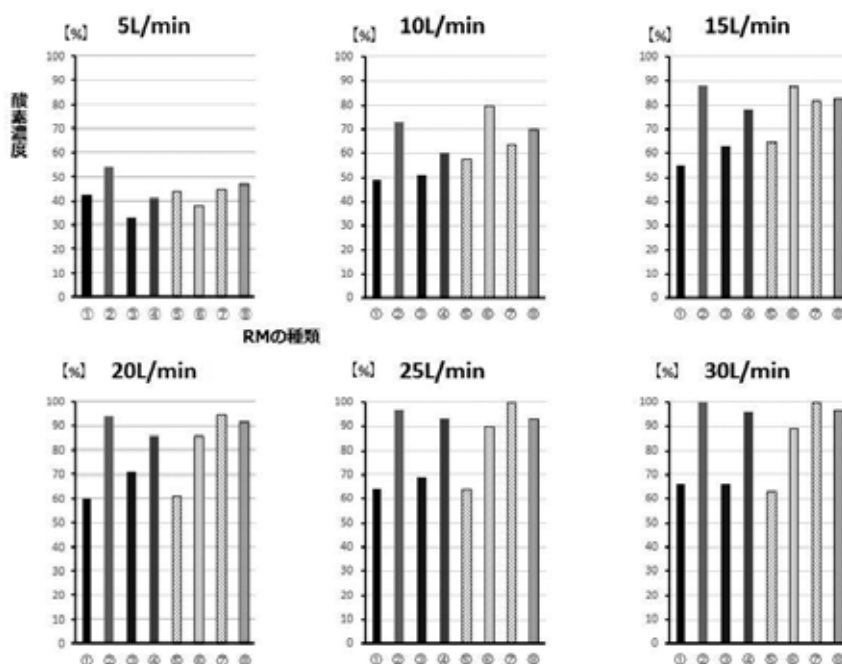


図4 Normal における酸素流量別口元酸素濃度
縦軸に酸素濃度、横軸に各種リザーバーマスク (RM) の種類とし、RM のフィッティング状態の normal における酸素流量別の口元酸素濃度

25L/minで5つのRMが90%以上となったが、30L/minでも60%台のRMも3つあった(図4)。Tightでは、15L/minで1つのRM、20L/minで4つのRMが90%以上であり、25L/min以上ですべてのRMが90%以上になった。またnormalの30L/minやtightの25L/min以上では100%のRMも認めた(図5)。

2) 気道酸素濃度

Normalでは、酸素流量20L/min以下ではすべてのRMが90%未満であった。25L/minで2つのRM、30L/minで4つのRMが90%以上であったが、30L/minでも2つのRMは60%台、2つのRMは60%以下であった(図6)。Tightでは、20L/minで1つのRM、25L/minで4つのRMが90%以上となったが、30L/minでも25L/minと同様であり、100%のRMを認めなかった(図7)。

3) Normalとtightの比較

8種類のRMにおいて、normalとtightで、口元酸素濃度を、RMの酸素流量5, 10, 15, 20, 25, 30L/minの6回の平均値と比較すると、6つのRMで有意にtightの酸素濃度が高値であった(表2)。

IV. 考察

酸素療法ガイドラインでは、酸素流量10L/minで酸素濃度が90%と示されているが、本研究においては、10L/minでは、normalでもtightでも口元の酸素濃度は80%未満であった。Normalでは倍の20L/min、tightでは15L/minで90%を超えた。また、normalでは30L/min、tightでは25L/minで100%になるRMも見受けられた。米国のUndersea and Hyperbaric Medical Society

によるワークショップレポート” DIVING ACCIDENT MANAGEMENT”でも、Hudson社のRM酸素において、流量15L/minでは酸素濃度は0.5~0.65、25L/minで酸素濃度が0.9に近づくと報告されていることから⁶⁾、酸素濃度90%以上にする場合には、少なくとも酸素流量は20L/min以上が必要であると言える。しかし、口元の測定は、酸素流量が多くなると、

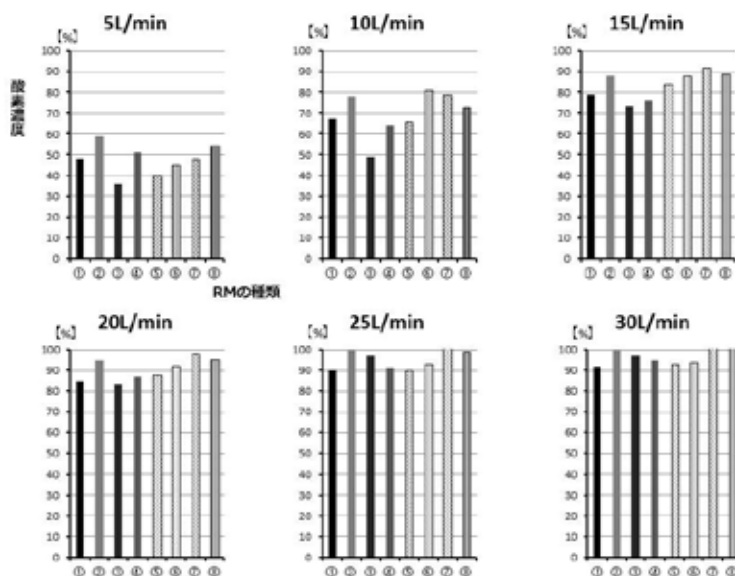


図5 Tightにおける酸素流量別口元酸素濃度
縦軸に酸素濃度、横軸に各種RMの種類とし、RMのフィッティング状態のtightにおける酸素流量別の口元酸素濃度

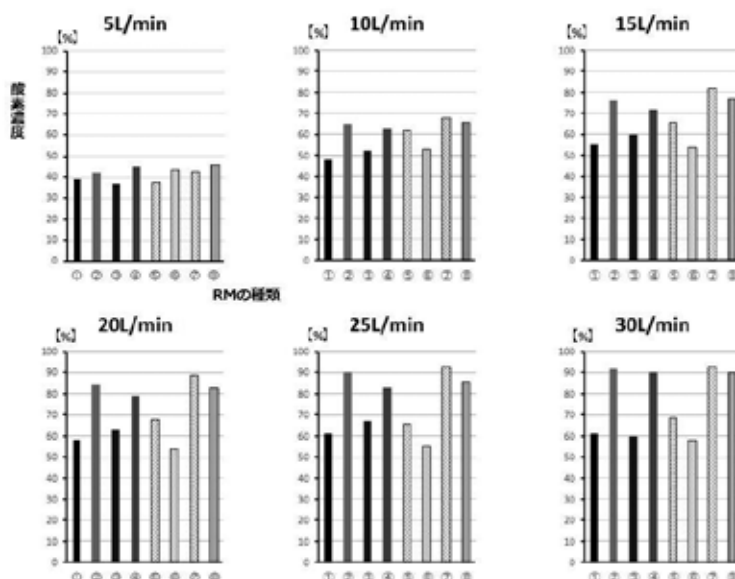


図6 Normalにおける酸素流量別気道酸素濃度
縦軸に酸素濃度、横軸に各種RMの種類とし、RMのフィッティング状態のnormalにおける酸素流量別の気道酸素濃度

リザーバーバッグとマスクの接合部の弁が持ち上げられ、チューブから口元に回った酸素を測定している可能性が高く、口元での評価には限界があると思われた。しかし気道での測定値は酸素と空気が混合したものであり、臨床的において肺胞酸素濃度と近似しており、HBOの治療効果を考察するうえで有効な指標と考えられる。

本研究の結果においては、気道の濃度は、酸素流量10L/minでは、normalとtightともに70%未満であり、特にnormalでは50%未満のRMも見受けられた。市販されているRMは、金属製のノーズグリップやラバー形状など、マスク部の形状が多種であり、そのため密着性が異なっていると考えられた。Normalでは25L/min以上、tightでは20L/min以上で90%を超えたが、30L/minでも100%のマスクは存在しなかった。臨床では不可能と思われるほどのtightにして密着度を上げて、RM毎に、1方向弁の材質が異なるため各々吸気時に1方向弁の密着性が異なることや⁷⁾、1方向弁の数(1ヶ付と2ヶ付)や取り付け方法が異なること、さらには呼気ポートの穴の大きさや数が異なるため、空気の混入する量が異なると考えられた。萬らはマスクの隙間を実験用パラフィルムM™ (American National Can, USA)で2重に巻き隙間を塞いだ状態においても、吸気時にリザーバーからのみならず室内の空気も取り込まれてしまうため、15L/minでも肺胞内の酸素濃度は0.9と報告していることから³⁾、RMでの100%酸素吸入は不可能と言える。

RMを効果的に使用するためには、Abeらは顔にしっかりと装着する必要性があると報告している⁸⁾。本研究においても、normalに比べtightでの装着において吸入酸素濃度が有意に高値を示したことから、使用にあたっては装着状態によって吸入酸素濃度が大きく変化する

点を十分留意すべきである。Normalとtightの間に有意差が見られなかったRMが2種類認められた。このようなRMは手技による誤差が少ないマスクと考えられるため、臨床的に安定した吸入酸素濃度が期待できると考えられた。

一方、実臨床での使用を考えると、高気圧環境下において酸素流量が変化する事も考慮する必要がある。高気圧下においては、一定圧力で供給された酸素流量は、環境圧力の平方根に逆比例するため^{9, 10)}、酸素流量が低下する。すなわち、大気圧で10L/min、

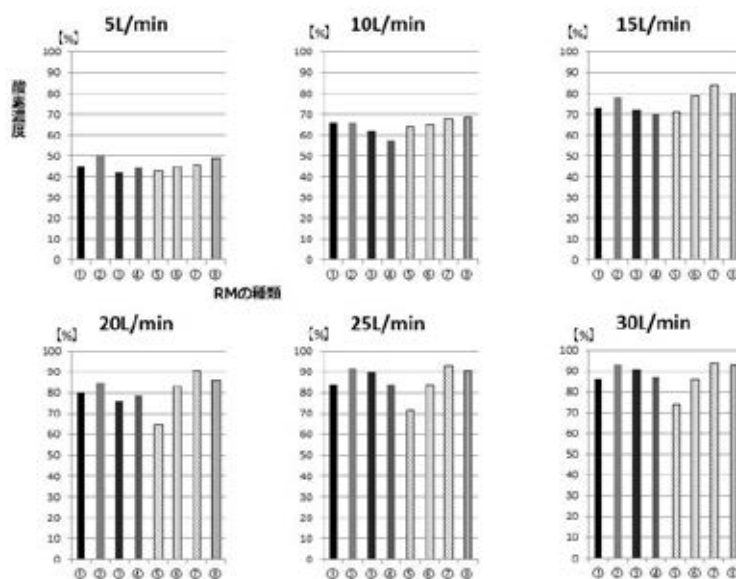


図7 Tightにおける酸素流量別気道酸素濃度
縦軸に酸素濃度、横軸に各種RMの種類とし、RMのフィッティング状態のtightにおける酸素流量別の気道酸素濃度

N=6

マスク種類	口元normal (%)	口元tight (%)	P Value
①	56.0±9.2	76.8±16.8	<0.05
②	84.3±17.7	86.7±15.9	NS
③	58.8±14.5	72.5±25.3	<0.05
④	75.7±21.3	77.3±17.1	NS
⑤	59.2±7.8	76.8±20.4	<0.05
⑥	78.5±20.2	82.2±18.8	<0.05
⑦	81.0±22.4	86.5±20.6	<0.05
⑧	80.3±19.0	85.2±18.3	<0.05

mean±SD

表2 リザーバーマスク(RM)別フィッティングの状態による平均酸素濃度の比較
リザーバーマスク別、全酸素流量(5~30L/min)の平均酸素濃度における、RMのフィッティング状態による差の比較。差がないRMが、フィッティングの影響を受けにくいRMとなる。なお表記している番号は表1における番号と同一である。

20L/minで設定した場合、2.5ATA (0.143MPa) では各々、6.3L/min, 12.6L/minと低下する。

以前我々は2.53ATA (0.150MPa) の高気圧環境下において酸素流量を多くすると経皮的酸素分圧 (tcpO₂) が上昇する事を報告しており、酸素流量30L/minにおけるtcpO₂は800mmHgであった¹¹⁾。尾前らは2.0ATA (0.94Mpa), facial mask下に酸素流量20L/minの条件下において、胸部でのtcpO₂は900mmHg程度まで上昇すると報告しており、気道酸素濃度の理論値と、tcpO₂に隔たりを認めたと¹²⁾。高気圧環境下においては、酸素流量が低下することとなり、ひいては吸入酸素濃度の低下に繋がりtcpO₂が異なった可能性が考えられた。

ガイドラインなどに記されている吸入酸素濃度の目安 (10L/min, 酸素濃度90%) は、RMの種類や装着の状態によって、また高気圧環境下にて大きく異なる可能性があることが本研究から示された。本研究は1種類のシミュレータを使用しており、限られた条件での研究であり、患者の呼吸状態や顔の形状によっては、結果が異なる可能性は否定出来ない。しかし、市販されているRMは同一の酸素流量でも各々吸入酸素濃度が異なるため、自施設で使用しているマスクの特徴を把握して使用することが望ましいと言える。

V. 結語

市販されているRMは、金属製のノーズグリップやラバー形状などマスク部の形状が多種であり、さらに1方向弁の材質や取り付け方法、1方向弁の数などが異なるため、ガイドラインで示されている酸素濃度は得られず、さらにRM毎酸素濃度は異なっていた。Normalで口元の酸素濃度を90%にするためには少なくとも20L/minが必要であった。

【参考文献】

- 1) AARC Clinical Practice Guideline: Selection of Oxygen Delivery for Neonatal and Pediatric Patients-2002 Revision & Update. *Respir Care* 2002; 47: 707-716
- 2) 宮本顕二: 酸素療法の選択とピットフォール. *救急医学* 2012; 36: 211-215
- 3) 萬知子, 森山潔, 本保晃, 他: 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—. *日本集中治療医学会雑誌* 2014; 21: 607 - 613
- 4) 日本呼吸器学会, 日本呼吸管理学会: 酸素療法ガイドライン. 東京; メディカルビュー社. 2006; pp.40-41
- 5) ハイエンド高機能患者シミュレータHPSカタログ: アイ・エム・アイ株式会社
- 6) Corry JA: Setting the record straight: oxygen delivery and the injured diver. In: Bennett PB, Moon RE, eds. *Diving Accident Management*. 41st Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop. Bethesda, MD; Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. 1990; pp.323-342
- 7) 宮本顕二, 前川弘恒, 岡田晃, 他: 吸入酸素濃度調節機能のなし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—酸素マスクと鼻カニュラ併用でどの程度の高濃度酸素吸入が可能か?—. *日本呼吸管理学会誌* 2005; 15: 264-269
- 8) Abe Y, Kondo T, Yamane Y, Kikuchi M, et al: The efficacy of an oxygen mask with reservoir bag in patients with respiratory failure. *Tokai J Exp Clin Med* 2010; 35: 144-147
- 9) 鈴木英一, 日沼吉孝, 波出石弘, 他: 高気圧酸素治療中における酸素流量および吸気酸素濃度の低下について. *日本高気圧環境医学会雑誌* 1991; 26: 201-206
- 10) 森幸夫, 江東孝夫, 戸崎剛: 高気圧酸素治療における酸素投与に備えた低流量制御弁開発の試み. *日本高気圧環境医学会雑誌* 1999; 33: 91-98
- 11) 宮本聡子, 大久保淳, 岡崎史紘, 他: HBO施行時における酸素流量変化に伴う経皮酸素分圧動態. *日本高気圧環境・潜水医学会雑誌* 2014; 49: 239
- 12) Omae T, Ibayashi S, Kusuda K, et al: Effects of high atmospheric pressure and oxygen on middle cerebral blood flow velocity in humans measured by transcranial doppler. *Stroke* 1998; 29: 94-97