

S4. 高気圧治療中の生体モニタリング

—高気圧治療中の呼吸ガスのマススペクトロ

メーターによる連続監視について—

大西春樹^{*(1)} 田村 章^{*(2)} 杉生隆直^{*(2)}
 難波康男^{*(2)} 八田俊治^{*(3)} 藤原久子^{*(4)}
 藤原恒弘^{*(5)} 三村 久**

Monitoring of respiratory gases during OHP by means of a mass-spectrometer

H. Ohnishi, M.D., A. Tamura, M.D., T. Sugiu, M.D., Y. Fujiwara, M.D.

Department of Surgery, Kosei Hospital Mihara, Hiroshima.

Connecting a mass-spectrometer (Perkin-Elmer, RMS-3) to our OHP chamber (air-compression type), we enabled to monitor continuously the changes in the respiratory gases during OHP.

The system consists of a gas analyzer (MGA-1100), an inlet selector, and a central and remote monitors. On-line data are constantly analyzed and visualized on an oscillograph.

The data obtained are respiratory rate, inspiration-to-expiration ratio, concentrations of O₂, CO₂, and N₂ in both the inspiratory and expiratory gases, automatically recorded and visualized every 20 seconds, shown both in figures and in diagrams. The PCO₂ is also recorded in a trend-graph.

We encountered several problems on the actual use of this system, each of which were solved technically.

In fact, we found the system was good enough for clinical application in monitoring respiratory gases during OHP.

1. はじめに

OHP療法の適応の拡大, one man chamber の

普及につれ, ICUにおいてもOHPが導入され広く臨床に供されている。ICUで行うOHPの患者は重症度が高く, 特に呼吸不全の患者の治療中の呼吸モニタリングには困難な場合が多い。また, 安全性の点からも酸素加圧でなく空気加圧による方が望ましいのは明らかである。空気加圧でOHPを行う場合, 吸入O₂濃度がはたして予定どおりに保たれているかどうかについても問題がある。これらの問題を解決するために, chamberに質量分析計を用いた連続監視システムを接続して, OHP中の呼吸モニタリングを行った結果について報告する(図1)。

2. 方 法

使用した chamber は, 中村鉄鋼所製ポータブルロック圧縮空気加圧式で自動加減圧装置付NHC-212型, 最高圧力5.0kg/m²のものであり, これにPerkin Elmer製MGA1100RMS-3型呼吸監視システムを接続し, 患者にセットした直径2mmのカテーテルより呼吸ガスを連続的に採取しデータをコンピューター内臓のセントラルモニターで処理し解析して視覚化した。測定データは, 呼吸数, 吸気呼気比, 呼吸時間, O₂, CO₂, N₂ガス濃度からなり, 吸気と呼気は別個に表示し, 吸気は百分率で呼気は1気圧下における分圧で表示するものである(図2, 3, 4)。

(対象)成人男女30名について測定を行った。男23名・女7名, 年齢は18才から70才までであった。

(酸素投与方法と吸気ガスの採取法)O₂の投与方法は, 非再呼吸式マスク法(A), 再呼吸マスク法(B), 吸気の採取法は鼻腔カテーテル法(I), マスクコネクタ側孔法(II)の各2種類とした(図5)。

*⁽¹⁾ 興生病院麻酔科

*⁽²⁾ 同 外科

*⁽³⁾ 同 内科

*⁽⁴⁾ 同 産婦人科

*⁽⁵⁾ 同 院長

**岡山大学医学部第一外科教室

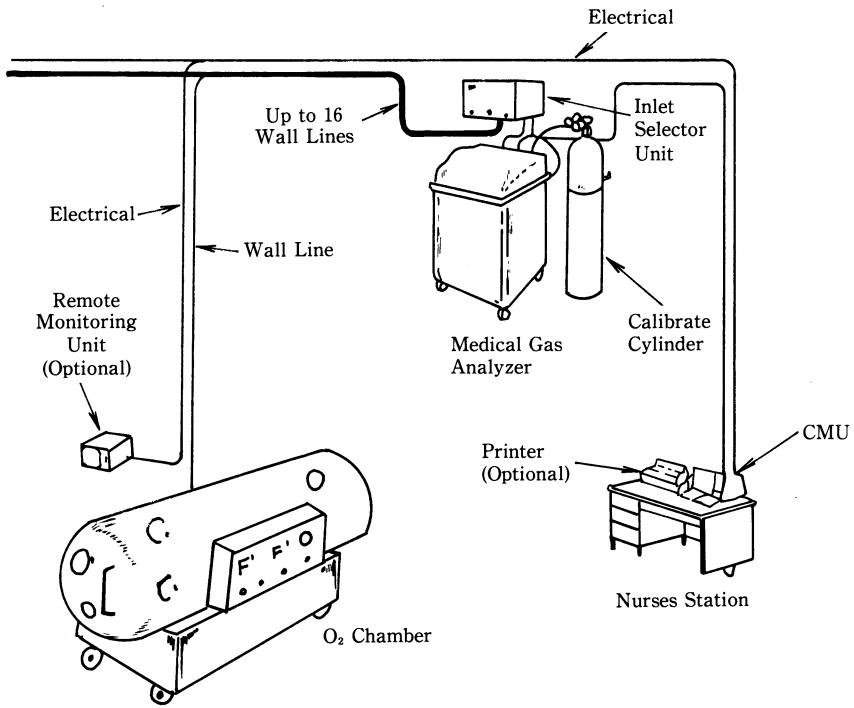


図 1 Respiratory Monitoring System

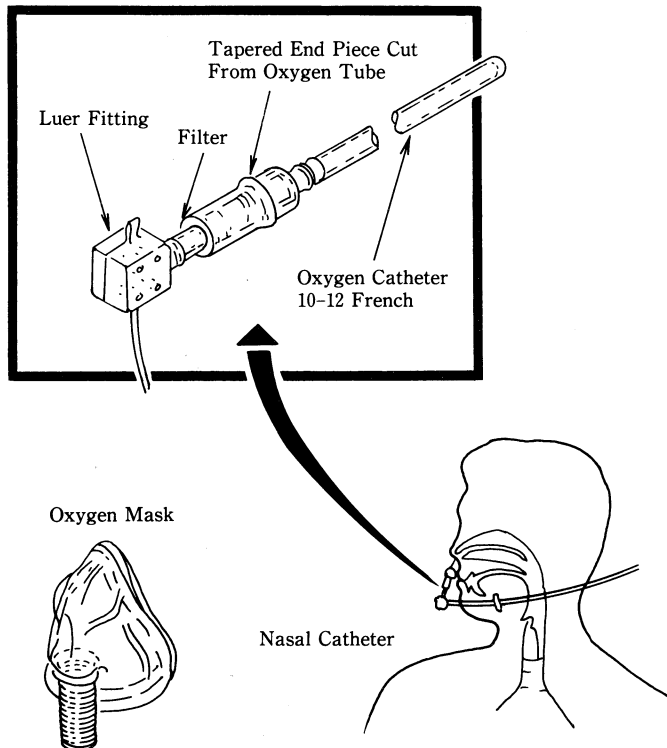
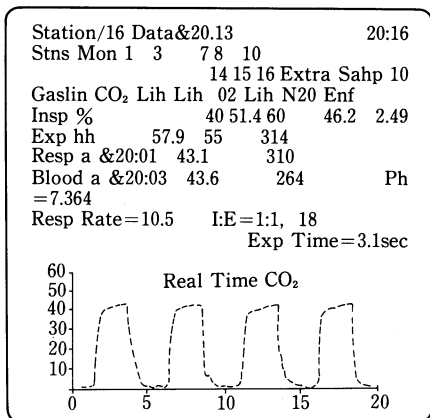


図 2 Monitoring Arrangement For Nonintubated Patients



Time/sec

図3 Format of the RMSIII Display

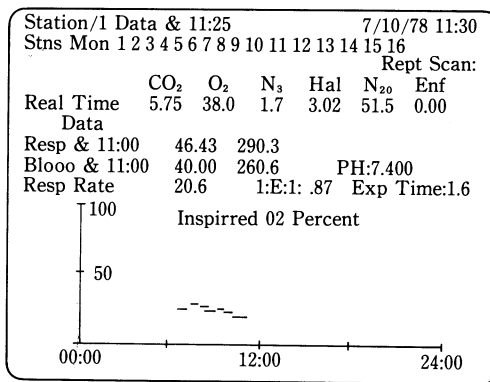


図4 Real Time Format

- A. 対象：成人男女30名，男23名，女7名，
 年齢18才～70才
- 1) 非再呼吸式で鼻腔カテーテルより採取
 - 2) 再呼吸式で鼻腔カテーテルより採取
 - 3) 非再呼吸式でマスク側孔より採取
- 各10例ずつ
- B. 条件：1.0, 1.5, 2.0, 2.5, ATA
 O₂ 流量を10, 20, 30 l/min
- C. 測定値：CO₂, O₂, N₂ 濃度. 呼吸数 (RR).
 呼吸吸気比 (E/I). 呼吸時間 (ET)

図5 測定方法

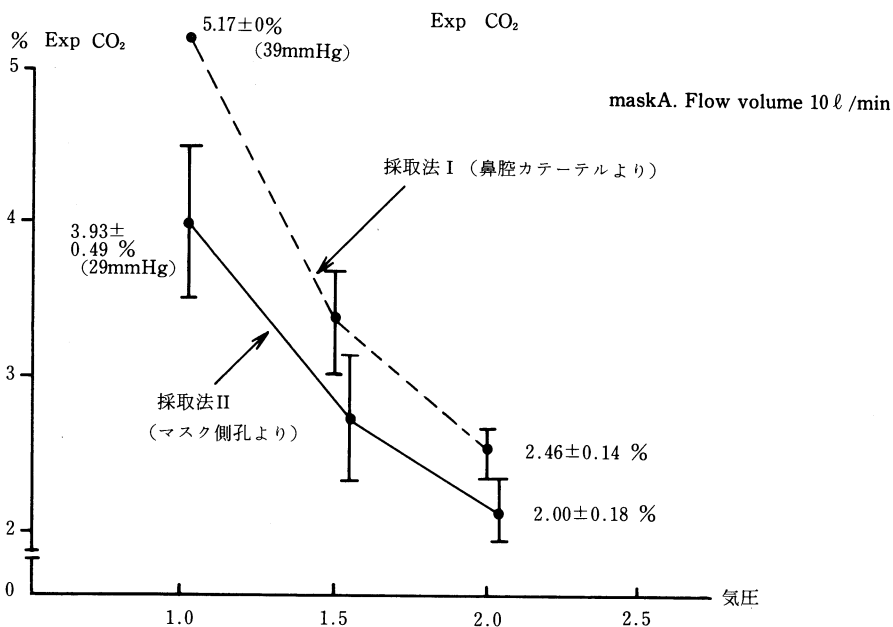


図6 呼吸ガス採取法の違いによる呼吸炭酸ガス濃度の差

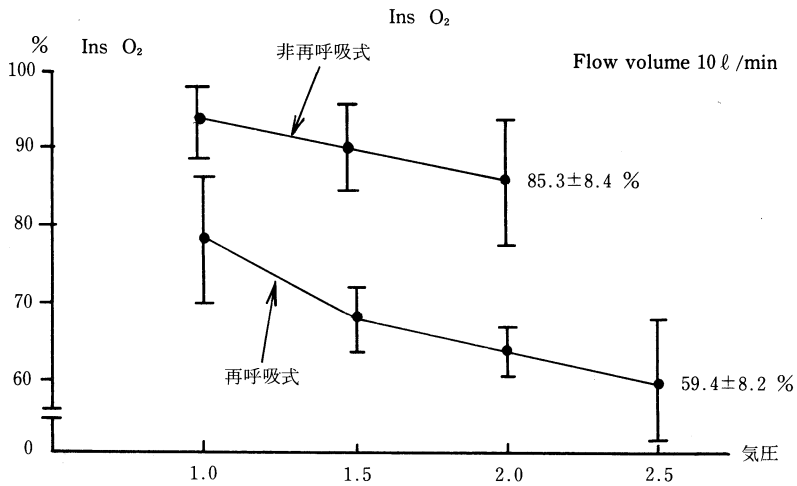
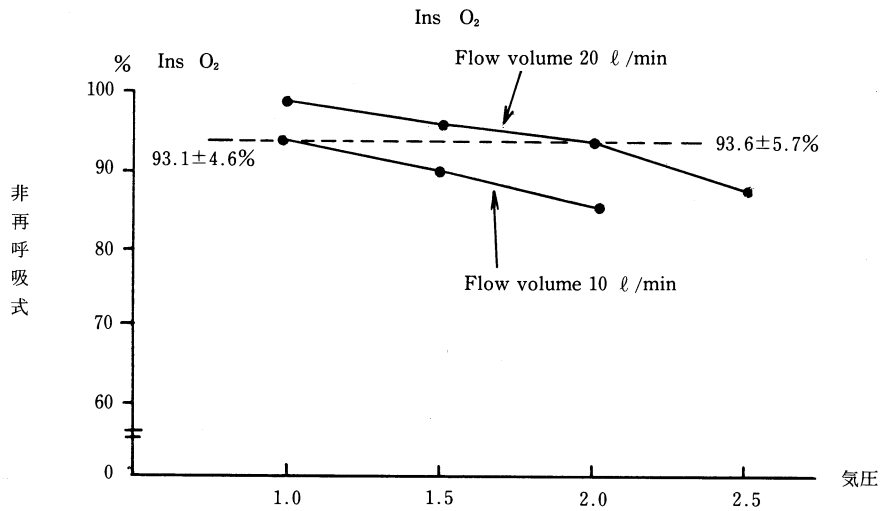


図7 O₂投与方法の違いによる吸気酸素濃度の差



再呼吸式

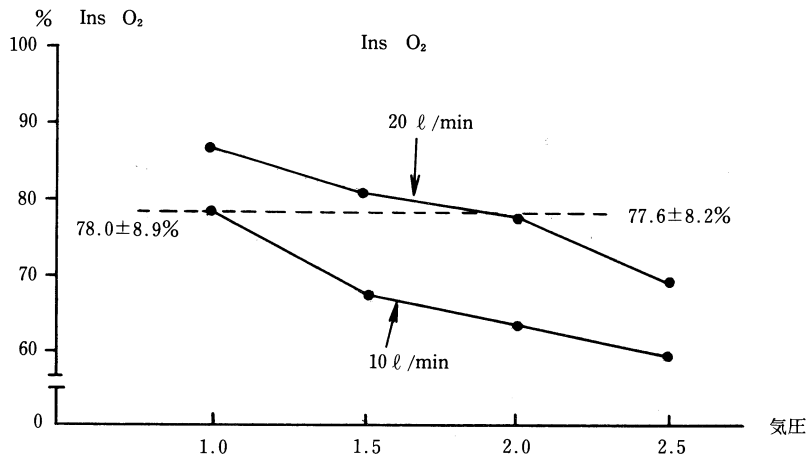


図8 酸素流量の違いによる吸気酸素濃度の差

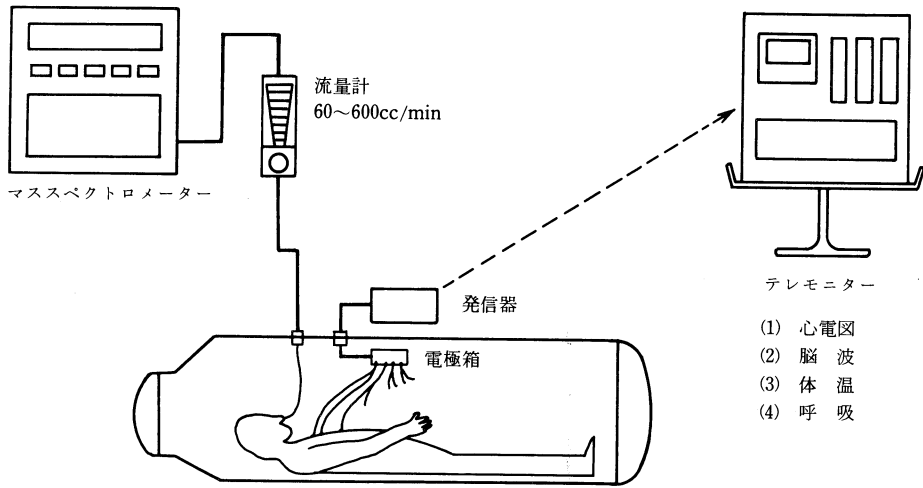


図9 モニターシステム

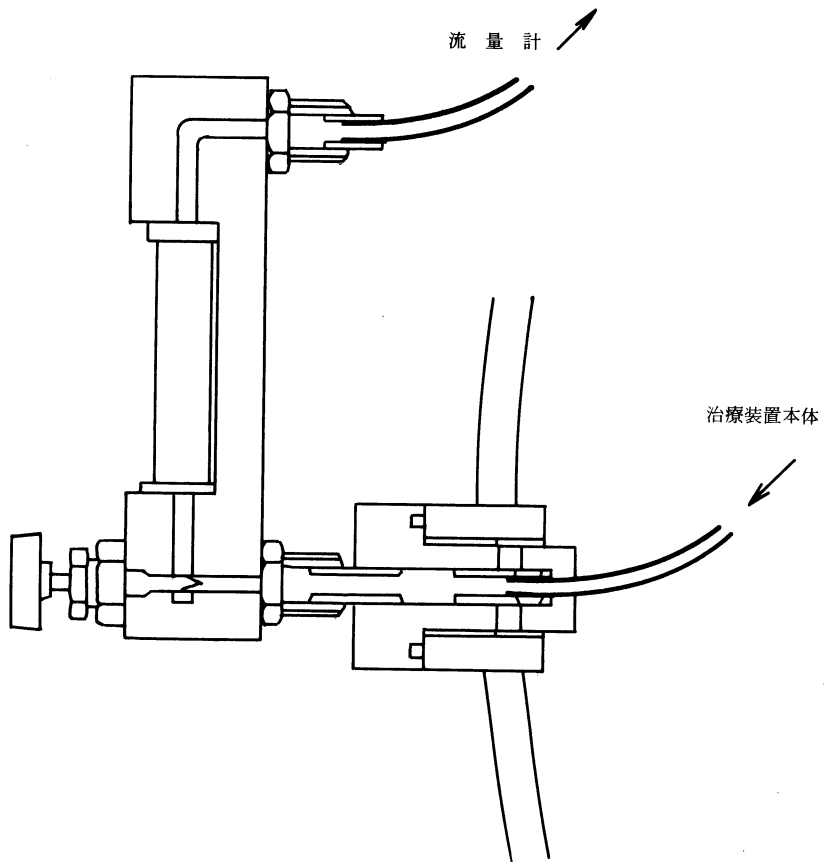


図10

表 I $\left[\begin{array}{l} \text{マスク } \textcircled{A} \cdot \text{B} \\ \text{ガス採取法 } \textcircled{I} \cdot \text{II} \end{array} \right.$

数値は%表示

流量 気圧	10 l/min		20 l/min		30 l/min		
	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	
1.0 ATA	CO ₂	0.65 \pm 0.26	5.17 \pm 0	0.51 \pm 0.26	4.96 \pm 0.57	0.45 \pm 0.26	5.01 \pm 0.48
	O ₂	93.1 \pm 4.6	92.6 \pm 3.3	99.0 \pm 0	94.2 \pm 1.6	99.4 \pm 3.0	95.0 \pm 0.6
	N ₂	7.1 \pm 5.7		1.2 \pm 0.9		0.9 \pm 0.5	
	RR	13.9 \pm 3.0		17.0 \pm 3.1		15.8 \pm 3.5	
1.5 ATA	CO ₂	0.55 \pm 0.26	3.33 \pm 0.32	0.40 \pm 0.40	3.20 \pm 0.31	0.47 \pm 0.34	3.22 \pm 0.33
	O ₂	98.8 \pm 5.1	92.3 \pm 0.7	96.0 \pm 4.8	95.4 \pm 0.2	98.7 \pm 2.6	96.3 \pm 0
	N ₂	11.2 \pm 4.9		3.9 \pm 5.0		1.4 \pm 1.8	
	RR	15.6 \pm 3.9		15.8 \pm 4.0		15.8 \pm 4.0	
2.0 ATA	CO ₂	0.39 \pm 0.26	2.46 \pm 0.14	0.35 \pm 0.28	2.32 \pm 0.88	0.43 \pm 0.33	2.45 \pm 0.38
	O ₂	85.3 \pm 8.4	85.6 \pm 6.1	93.6 \pm 5.7	93.8 \pm 2.6	98.0 \pm 1.4	96.1 \pm 1.6
	N ₂	15.8 \pm 8.7		6.6 \pm 3.9		2.0 \pm 1.4	
	RR	15.9 \pm 4.0		16.7 \pm 3.9		16.1 \pm 3.8	
2.5 ATA	CO ₂			0.34 \pm 0.23	1.99 \pm 0.49	0.28 \pm 0.23	2.04 \pm 0.53
	O ₂			87.9 \pm 8.9	90.6 \pm 6.0	95.0 \pm 4.6	94.7 \pm 7.7
	N ₂			12.2 \pm 11.5		5.0 \pm 4.7	
	RR			16.2 \pm 3.7		16.2 \pm 3.7	

 表 II $\left[\begin{array}{l} \text{マスク } \textcircled{A} \cdot \text{B} \\ \text{ガス採取法 } \textcircled{I} \cdot \text{II} \end{array} \right.$

数値は%表示

流量 気圧	10 l/min		20 l/min		30 l/min		
	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	Ins Mean \pm SD	Exp Mean \pm SD	
1.0 ATA	CO ₂	0.12 \pm 0.22	3.93 \pm 0.49	0.11 \pm 0.18	3.59 \pm 0.82	0.10 \pm 0.20	3.75 \pm 1.26
	O ₂	98.4 \pm 0	93.8 \pm 2.3	99.9 \pm 0	95.3 \pm 1.4	100.0 \pm 0	95.8 \pm 0
	N ₂	2.1 \pm 2.4		0.3 \pm 0.4		0.5 \pm 1.1	
	RR	16.3 \pm 5.0		16.7 \pm 5.1		16.5 \pm 5.0	
1.5 ATA	CO ₂	0.13 \pm 0.16	2.68 \pm 0.39	0.10 \pm 0.17	2.38 \pm 0.63	0.07 \pm 0.17	2.58 \pm 0.40
	O ₂	96.2 \pm 1.8	92.2 \pm 3.8	98.8 \pm 3.8	95.2 \pm 1.8	100.0 \pm 0	96.8 \pm 1.1
	N ₂	7.4 \pm 2.0		1.3 \pm 1.8		0.4 \pm 0.5	
	RR	14.2 \pm 5.2		16.6 \pm 5.3		17.2 \pm 5.0	
2.0 ATA	CO ₂	0.08 \pm 0.19	2.06 \pm 0.18	0.07 \pm 0.11	1.98 \pm 0.17	0.04 \pm 0.09	1.94 \pm 0.18
	O ₂	92.9 \pm 4.1	85.7 \pm 5.2	95.2 \pm 5.6	92.5 \pm 2.8	99.9 \pm 2.6	96.1 \pm 1.6
	N ₂	14.9 \pm 9.8		5.1 \pm 3.7		0.7 \pm 0.8	
	RR	16.2 \pm 5.1		16.3 \pm 5.2		14.7 \pm 5.0	
2.5 ATA	CO ₂			0.03 \pm 0.05	1.66 \pm 0.08	0.03 \pm 0.09	1.61 \pm 0.11
	O ₂			96.5 \pm 1.1	91.8 \pm 3.6	98.9 \pm 3.0	94.7 \pm 3.8
	N ₂			7.4 \pm 4.2		3.8 \pm 1.8	
	RR	11.8 \pm 5.0		12.5 \pm 5.1			

表Ⅲ マスクA・⑩
ガス採取法①・Ⅱ

数値は%表示

流量 気圧	10 /min		20 ℓ/min		30 ℓ/min		
	Ins Mean±SD	Exp Mean±SD	Ins Mean±SD	Exp Mean±SD	Ins Mean±SD	Exp Mean±SD	
1.0 ATA	CO ₂	0.56±0.07	4.49±0.58	0.50±0.19	4.37±0.67	0.41±0.19	4.33±0.75
	O ₂	78.0±8.9	78.3±8.3	86.3±6.9	83.9±4.9	89.0±11.3	86.5±4.4
	N ₂	20.2±8.9		10.2±8.6		7.4±5.4	
	RR	23.0±5.6		20.5±5.1		18.5±5.0	
1.5 ATA	CO ₂	0.60±0.17	2.91±0.23	0.49±0.24	2.81±0.41	0.42±0.24	2.65±0.43
	O ₂	67.8±4.2	73.8±0.99	80.5±9.6	78.9±6.0	87.6±6.9	83.6±7.6
	N ₂	28.6±7.1		18.5±12.3		13.8±3.9	
	RR	18.4±5.1		21.2±5.0		18.8±5.0	
2.0 ATA	CO ₂	0.47±0.16	2.10±0.54	0.35±0.17	2.04±0.78	0.29±0.33	1.98±0.21
	O ₂	63.7±3.0	68.4±0.7	77.6±8.2	72.7±7.5	83.5±12.4	77.2±7.4
	N ₂	34.7±9.2		22.7±9.6		17.3±1.6	
	RR	20.1±5.0		20.9±5.1		19.6±5.0	
2.5 ATA	CO ₂	0.44±0.18	1.70±0.16	0.37±0.21	1.81±0.43	0.31±0.20	16.4±0.08
	O ₂	59.4±8.2	60.3±6.9	69.1±11.6	64.4±6.7	71.3±21.6	72.2±3.9
	N ₂	43.8±4.7		32.4±12.4		24.7±7.6	
	RR	16.2±5.2		18.1±5.1		19.0±5.0	

(測定)1)非再呼吸式で鼻腔カテーテルより採取, (2)再呼吸式で鼻腔カテーテルより採取, (3)非再呼吸式でマスク側孔より採取で各10例ずつ行った。測定条件は, それぞれ1.5, 2.0, 2.5ATAのもとでO₂流量を10 ℓ/min, 20 ℓ/min, 30 ℓ/min吸入させて, 各条件のもとで吸気・呼気中のCO₂, O₂, N₂濃度および呼吸数(RR), 吸気呼気比, 呼吸時間を記録した。結果は表1, 2, 3に表示した。

図6は, 採取法の違いによる呼気CO₂濃度を示したもので, 採取法(I)がより正確な値をうることができる。

図7は, 投与方法の違いによる吸入O₂濃度と気圧の関係を示したものである。O₂投与方法としては非再呼吸式の方が明らかに優れている。

図8は, 酸素流量の違いによる吸気O₂濃度と気圧の関係を示したもので, その吸入O₂濃度を維持するには, 気圧の上昇につれてO₂流量を増加させる必要があることを示している。即ち2ATAでは, 20 ℓ/minの流量を要した。

3. 考 察

one man chamber を使用して高気圧治療中の

患者の呼吸状態を監視する方法には, 今まで困難な点や不明な点が多かった。われわれは, まず安全性の見地より自動加減圧をマイクロコンピューターで制御する空気加圧式の one man chamber を作製し, これに質量分析計を接続し, その呼吸に関するデータをコンピューターにより連続, 自動的に解析, 視覚化して記録することに成功した。これらについては, 以下に述べる問題点があった。

1) この分析計は, 1気圧の状態のガスを一定量採取して分析するように作られているため, 気圧の上昇により過剰のガスが流れると分析不能となる。これには chamber とガス採取用チューブの間に減圧流量計を設置し, 分析計に流れるガスの流量と圧とを一定にすることで解決した(図9, 10)。

次に本システムは, option のトレンドモニターによる記録方法があるが高価であるので, 実際には市販のビデオカセットデッキをリモートモニターに接続することにより容易に, 安価に記録することができる。呼吸ガスの観察には, できるだけ肺に近く存在するガスを採取する必要があるが, これは鼻腔カテーテルを奥深く挿入することによりほぼ満足な結果がえられるようになった。空気

加圧下において O_2 吸入をさせる場合、その吸気 O_2 濃度を高く維持するには、非再呼吸式のマスクによる吸入方法がよく目的にかなない、また吸入濃度を一定に保つには、気圧の上昇と共に O_2 流量を倍加させるべきであることがわかった。

われわれの高圧酸素治療装置は、本システム以外にも生体情報を得るため心電図、脳波、体温などをもモニターできるようになっている。しかし、これらから得られるデータよりも、呼吸ガスのデータの方が気圧の変化による影響を直接受けるという点では、より有用なものであると考えている。実際空気加圧酸素マスク投与方式では、この装置を使うことによって吸気 O_2 濃度の測定が可能で治療条件の監視にも役立ち、治療条件を一定のものにすることができる。また循環障害のない患者で肺内ガスと組織ガスの平衡状態が一応速やかに

達成されるとすれば、呼吸ガスの分析でもって患者の全身状態をも評価しうると考えられる。また本モニターシステムを安全性の面からみると、呼吸ガス分析モニター本体は、高圧酸素タンクとはそれぞれ別の部屋にあり、タンクとは細いガス採取チューブでつながっているのみで火災の危険は少ない。また耐圧性も良好でガス漏れの危険も少なく、実施上の安全性は十分であると考ええる。

4. おわりに

one man chamber に質量分析計を用いた呼吸監視システムを接続し、治療中の患者のモニターを行い安全で有用であった。この場合酸素投与方法としては非再呼吸式が有効で、空気加圧下で一定の吸入酸素濃度を保つには、気圧の上昇に比例して酸素流量を増す必要がある。