

## 再循環装置を有する呼吸装置使用時の潜水減圧法

伊藤 敦之\* 小此木国明\* 大岩 弘典\*\*

### 目 的

定流量式の半閉鎖循環回路式潜水器(以下 SBA と称す)を使用した場合の繰り返し潜水を含む安全な減圧スケジュールを作成する。

SBA は図 1 に示す回路を有し、決められた O<sub>2</sub> 濃度を有する定流量 (Constant mass flow) の混合ガスを供給する方式により、潜水中の吸気 O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> 分圧を安全範囲内に保つ。従来の開放回路式に比べ、潜水深度・時間を少量の携帯ポンペガスで増大することが出来る。

海上自衛隊の水中処分(機雷処分)潜水では、SBA の有する非磁性、対音響特性から欠かせない潜水器であるが、なお回路内の N<sub>2</sub> 濃度を低くできることから、水中減圧を無くし、無減圧繰り返し潜水を可能にすることなど、水中処分潜水に必要な安全潜水パターンを可能とする。

しかしながら、潜水中の O<sub>2</sub> 消費量の差異により回路内の N<sub>2</sub> 濃度変動し、効率の良い減圧法を作成するのが困難である。

### 方 法

減圧スケジュール作成のための SBA 回路内平均 N<sub>2</sub> 濃度は潜水中の平均 O<sub>2</sub> 消費量 (V̇O<sub>2</sub>)、混合ガス供給量 (Lℓ/分)、混合ガスの O<sub>2</sub> 濃度 (X%) および排気弁からのガス排泄量により決まる。なお回路内の O<sub>2</sub> 分圧はダイバーの O<sub>2</sub> 消費量が 0.3 ~ 2.5ℓ/分の範囲内で 0.2 ~ 1.8kg/cm<sup>2</sup> に保つように、深度 0 ~ 25, 0 ~ 42, および 0 ~ 54m の範囲に適用する混合ガスの O<sub>2</sub> 濃度と供給量をそれぞれ 60/40 - 4ℓ/分, 40/60 - 8ℓ/分, および 33/67 - 12.8ℓ/分と決めた。

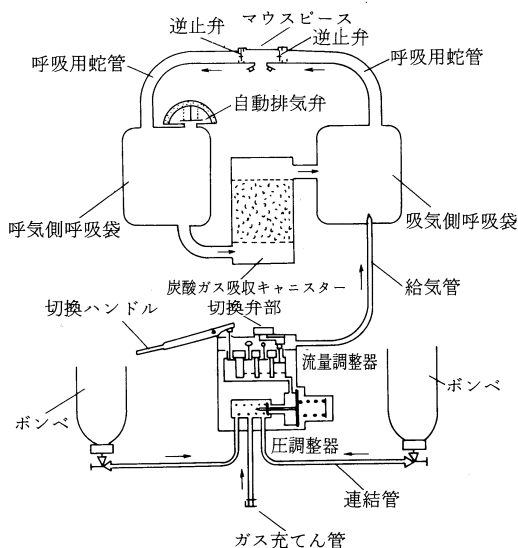


図 1 SBA 系統図

表 1 Calculation of Equivalent Depth (Da)

空気中に溶けている N<sub>2</sub> 分圧 = 回路内の混合ガス中に溶けている N<sub>2</sub> 分圧

$$\frac{N_2\%(\text{Air})}{100} \times Da(\text{abs.}) = \frac{N_2\%(\text{回路})}{100} \times D(\text{abs.})$$

$$Da(\text{Gage}) = \left( \frac{N_2\%(\text{回路})}{79} \times D \right) - 33$$

N<sub>2</sub>% (回路)

- 1 V̇O<sub>2</sub>: ダイバーの O<sub>2</sub> 消費量 (ℓ/min)
- 2 L: 混合ガス供給量 (ℓ/min)
- 3 X: O<sub>2</sub> 供給量 (ℓ/min) =  $\frac{\text{混合ガス中の O}_2\%}{100} \times L$
- 4 排気弁からの混合ガス排泄量 (Negligible)
- 5  $\frac{O_2\%(\text{回路})}{100} = \frac{X - \dot{V}O_2}{L - \dot{V}O_2}$
- 6  $O_2\%(\text{回路}) = \frac{100(X - \dot{V}O_2)}{L - \dot{V}O_2}$

$$N_2\%(\text{回路}) = 100 - \frac{100(X - \dot{V}O_2)}{L - \dot{V}O_2}$$

\*海上自衛隊潜水医学実験隊

\*\*海幕衛生部

潜水中の O<sub>2</sub>消費量は 0~54m 深度における実測で、安静時 M=0.63±0.11(N=34)であり M±2SD>97.1%、労作時(100kgm)で M=1.10±0.40(N=75)で M±2SD>94.7%、および同(200kgm)では M=1.76±0.35(N=225)で M±2SD>93.2%であった。

減圧計算のために必要な SBA 回路内の N<sub>2</sub>濃度を求め、標準空気潜水減圧表深度に等価換算する方法を表 1 に示す。排気弁からの混合ガス排泄量は式の上で実際には少量誤差を示すだけであり無視できる。

結 果

57年 7月 21日から 28日にかけて大湊むつ湾でおこなった水中処分潜水は掃海艇によって計測された潜水深度は 39~42m、潜水時間は 3~16分に互り返り潜水を含め延べ 203回の SBA を用いた潜水を実施した。

水中処分によるダイバーの O<sub>2</sub>消費量を 1.3ℓ/分および 1.7ℓ/分と予測した場合のそれぞれの空気等価潜水深度はそれぞれ、~39m を 33 および 36m、~42m を 36 および 39m、~45m を 39 および 42m、~48m を 42 および 45m と決めた。

上記 203回のうち互り返り潜水は 41回であり残り 162回の潜水は単一の潜水で、すべて無減圧潜水による等価潜水深度を O<sub>2</sub>消費量 1.3ℓ/分と予測して潜水し、減圧症を認めなかった。互り返り潜水は、41回でのべ 97潜水を実施した。そのうち潜水深度、時間および潜水間隔の平均値は表 2 に示す。互り返り潜水は 0~24時に互り最大潜水時間間隔を 12時間未満のものに限った。

互り返り潜水におけるダイバーの O<sub>2</sub>消費量を 1.3ℓ/分と予測したが一部の互り返り潜水では 1.7ℓ/分とした。

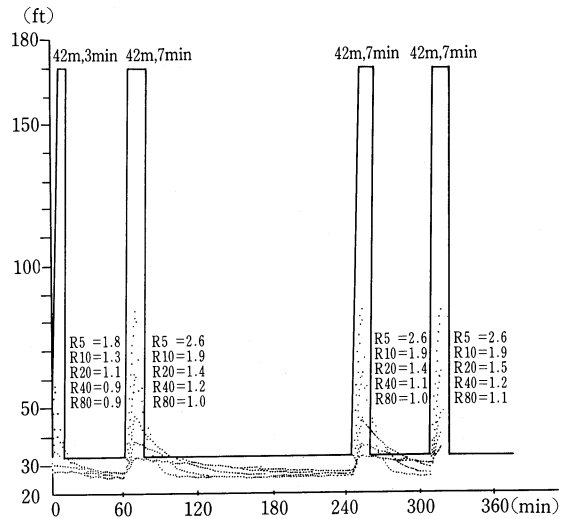


図 2 July 24 Mu  $\dot{V}O_2 = 1.31/\text{min}$

図 2 に示す潜水パターンは互り返り潜水における体容存 N<sub>2</sub>分圧の推移を等価深度で求めた 1例で各潜水終了時の半飽和組織(H) 5, 10, 40, および 80分毎の過飽和比(maximum safe tissue ratio : R)を示す。

いずれの互り返り潜水でも、いかなる減圧症状も示した例はなく等価深度適用による SBA 潜水の安全を認めることが出来た。

互り返り潜水における各潜水終了時の各 H の R の値については表 3 に示すごとく H=5 では 3.54, H=10では 2.85, H=20では 2.12, H=40では 1.46, H=80では 1.61の値が許容されると考えられた。

考 察

SBA を使って無減圧潜水を行う場合、適正な潜水時間を決めるものはダイバーの適正な酸素消費

表 2 Diving Pattern

		First dive	Interval	Second dive	Interval	Third dive	Interval	Fourth dive
	N	41	41	41	10	10	5	5
Depth (m)	M	42.3		42.3		42.9		42.2
	SD	±1.55		±1.54		±1.45		±0.45
Bottom time (min)	M	6.7		6.4		8.3		7.6
	SD	±2.79		±2.75		±4.50		±0.55
Interdive period (min)	M		181.2		260.1		43.8	
	SD		±121.24		±102.04		±11.26	

表3 The Mean of Supersaturation Ratio

$\dot{V}_{O_2}=1.3l/min$		First dive	Second dive	Third dive	Fourth dive
H	N	10	10	10	5
5	M	2.62	2.72	2.66	2.67
	min-max	1.76-3.16	1.76-3.10	1.84-3.32	2.55-2.86
10	M	1.99	2.06	2.01	2.00
	min-max	1.32-2.48	1.35-2.39	1.37-2.69	1.90-2.14
20	M	1.47	1.55	1.51	1.55
	min-max	0.83-1.82	1.13-1.77	1.09-2.01	1.47-1.61
40	M	1.17	1.24	1.19	1.26
	min-max	0.93-1.36	1.00-1.41	0.95-1.54	1.22-1.29
80	M	0.99	1.06	1.03	1.08
	min-max	0.86-1.09	0.91-1.17	0.88-1.25	1.06-1.11
$\dot{V}_{O_2}=1.7l/min$					
5	M	2.78	2.88	2.75	2.83
	min-max	1.84-3.36	1.84-3.29	1.92-3.54	2.70-3.02
10	M	2.09	2.17	2.11	2.10
	min-max	1.37-2.62	1.39-2.53	1.41-2.85	1.99-2.24
20	M	1.55	1.61	1.58	1.61
	min-max	1.09-1.91	1.16-1.85	1.12-2.12	1.53-1.67
40	M	1.20	1.26	1.05	1.30
	min-max	0.95-1.41	1.02-1.46	0.89-1.29	1.26-1.33
80	M	1.01	1.08	1.22	1.16
	min-max	0.87-1.12	0.92-1.20	0.96-1.61	1.08-1.14

量の決定と潜水時間および繰り返し潜水の潜水時間間隔である。今回203例のSBAの実際の潜水例において減圧症の発症を認めず、潜水時間および潜水間隔の選定は適当であった。しかしながら潜水時間および潜水間隔をより効率の良いものにするためにはダイバーの作業中の $O_2$ 消費量の見積り、繰り返し潜水時間中の体容存ガスの残存についての正確な見積りなどから潜水スケジュールを組立てる必要がある。今後 $O_2$ 消費量を $1.3l/分$ と見積って水中処分潜水例が安全に遂行できる見通しを得た。

#### [参 考 文 献]

- 1) 大岩弘典ほか：半閉式自給気潜水器の性能試験，潜医実報告-12，海上自衛隊横須賀地区病院潜水

医学実験部，横須賀，1973。

- 2) Workman, RD and RC Bornman: Decompression theory: American practice, The physiology and medicine of diving and compressed air work, ed. P.B. Bennett & D.H. Elliott, PP.307-330, London, Bailliere Tindall & Cassell, 1975
- 3) Kidd, D.J. and R.A. Stubb: The use of the pneumatic and logue computer for dives, The physiology and medicine of diving and compressed air work, ed. P.B. Bennett & D.H. Elliott, London, Baillier, Tindall & Cassell, 1969
- 4) US Navy Diving manual (NAVSHIPS 0994-LP-001-9020), (Revised 1980) Navy Dept. Washington, D.C.: US Gov. printig office