

国産半閉式自給気潜水器の運動量に対する呼吸ガス構成比の変化

横病 潜医実 森田明紀、小此木国明、山本昭治、伊藤敬之、
田中義朗、杉本英雄、大岩弘典

我が国で初めて開発された半閉式自給気潜水器（以下SSUBA）の要求性能は、潜水深度：0～54m、呼吸ガス：N₂-O₂混合ガス、潜水時間：60分、吸気酸素分圧：0.21～1.8ATAであり、SSUBAに用いる呼吸ガス供給方式は表1.の通りである。SSUBAに用いるオリフイスの流量特性、炭酸ガス吸収剤の検討等の基礎的事項については、第5回並びに第6回の本学会ですでに発表した。今回は、SSUBAの総合作動特性として、運動量に対する吸気酸素分圧の変化について0～52mにおいて検討した。

(方法)

熟練ダイバー2名に加圧タンク内で自転車エルゴメータによる運動負荷を行なわせ、0～52m相当圧における吸気ガス酸素濃度をガスクロマトグラフで分析し、当該深度における吸気酸素分圧を求めた。被検者の呼吸機能は表3.に示すごとく正常であり、予備テストとして安静時と運動負荷時の酸素消費量、炭酸ガス排泄量をあらかじめ大気圧においてガスクロマトグラフを用いて測定した。この場合、負荷運動量は200kgm/minである。

半閉式呼吸器の酸素供給量を決定する場合に問題となるのが呼吸者の酸素消費量の設定値である。作業の種類による酸素消費量の変動は異なり、いわゆる「水中遊泳」の場合、その中は1.0～3.0ℓ/minであり、「水中作業」では0.5～2.5ℓ/minである事が報告されている。

今回のごとく半閉式潜水呼吸器の場合には「水中作業」を想定して酸素消費量を決定する為に、加圧タンクにおいて自転車エルゴメータによる大、中、小の運動を負荷させて吸気酸素濃度の分析を行なった。その結果、最大労作時2.0ℓ/min、安静時0.5ℓ/minの酸素消費量と考えてよい。

(結果、並びに考察)

以上の結果をまとめると表2.のようになり、酸素分圧の結果を見ると、両者共に安静時の酸素分圧が予測値とあまり差がないか、又はそれより低い値を示したが、これは運動負荷をかけない状態であっても潜水呼吸器による呼吸仕事の増加の為、酸素消費量が予備試験の値をうわまわっている為である。それにたいして、運動時の酸素分圧は

表1. Breathing Gas Supply of SSUBA

Depth (m)	Gas Mix (%O ₂ /%N ₂)	Orifice	Liter Flow (slm)	Duration (min)
0-24	60/40	I	7.0	148
0-42	40/60	II	12.0	86
0-54	33/67	III	18.0	56

表2 Inhalation Bag Oxygen Level (P_{O₂}:ATA)

Subj	Depth (m)	Exercise (kgm/min)	V _{O₂} (l/min)	P _{O₂} (ATA)	
				Predict.	Exp.
SN	0	Rest	0.24	0.59	0.61
		203	1.61	0.47	0.53
	24	Rest	0.24	1.99	2.04
		203	1.61	1.61	1.96
	42	Rest	0.24	2.03	2.08
		203	1.61	1.57	1.91
52	Rest	0.24	1.99	1.71	
	203	1.61	1.62	1.50	
NE	0	Rest	0.36	0.58	0.59
		203	1.79	0.46	0.56
	24	Rest	0.36	1.97	2.04
		203	1.79	1.57	1.84
	42	Rest	0.36	1.98	2.04
		203	1.79	1.53	1.74
52	Rest	0.36	1.96	1.96	
	203	1.79	1.59	1.65	

表3. Vital Statistics of Subjects

Subjects	SN	NE
Age (yrs)	30	27
Height (cm)	168.5	164.5
Weight (kg)	61.0	64.0
Body surface area (m ²)	1.715	1.709
Pulmonary functions:		
V _T (ml)	1291	1953
VC (ml)	5394	3766
%VC (%)	120	93
MVV ₆₀ (l/min)	145	156
%MVV (%)	85	75
%FEV _{1.0} (%)	77	90

予測値よりかなり高い値を示した。これは実際の負荷運動量が計算値より低かった事を示している。

表2.を図示すると図1.並びに2.のようになる。この図からもわかるように、オリフィスI、II、IIIを用いて供給量を各々、7、12、18ℓ/minとした場合は明らかに吸気酸素分圧0.21~1.80ATAの範囲を越えている。半閉式呼吸器の供給ガス量、並びに酸素濃度は、呼吸者の酸素消費量、並びに設定酸素分圧によって求められるが、酸素消費量を一定に保つ事はなかなか困難であり、又、個人差も大きいので完全な計算式は確立できないのが現状である。

今回、我々はP.S.Riegelの式より求めたが、試験の結果は設定範囲(0.21~1.80ATA)を越えてしまった。そこで供給ガスの組成を変えない場合、供給量をもっと減らす必要がある。例えば、供給量を各々4、8、12ℓ/minとした場合、Subj.N.E.について計算すると最大深度における安静時を除いて、全て安全酸素分圧範囲に入る。安静時の酸素消費量0.36ℓ/minというのはIATA大気における値であり、水中における体熱損失、呼吸器による呼吸仕事量の増加等を考えると、安静時の酸素消費量はもっと高くなっているため、供給量を4、8、12ℓ/minとすると吸気酸素分圧は十分に安全範囲におさまると思われる。

なお、SSUBAの炭酸ガス吸収方式についてIATAで検討したところ、図3.のような結果を得た。吸気炭酸ガス限度を1%とした場合、このキャニスターは120分以上の持続時間を有し、要求性能を満足させる。

以上のごとく国産で初めて開発された半閉式自給気潜水の総合作動試験の結果を示したが、今後、更に種々の供給量、並びに酸素濃度ガスについて多くの例数をかさねて検討したい。

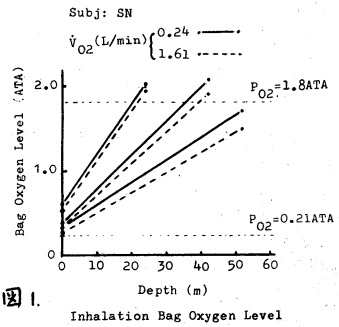


図1.

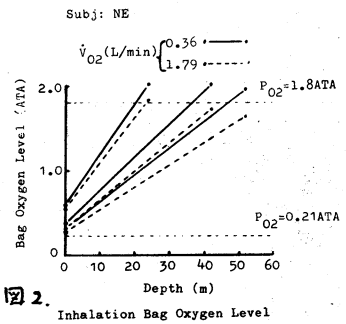


図2.

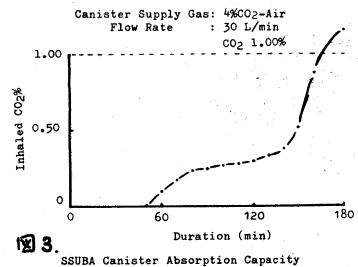


図3.