

G-3 Constant P_{O₂} 混合ガス閉鎖循環回路 潜水器による減圧法

海上自衛隊横須賀地区病院 潜水医学実験部

大 岩 弘 典

伊 藤 敦 之

森 田 明 紀

川 島 祥 三

〔研究目的〕

閉鎖循環型 scuba 潜水器を用い深度 60 ~ 90 m に短時間潜水する場合の安全な減圧表を作成する。

事前に考慮された事項は次の通りである。

a 呼吸ガスの種類, b. 潜水の system,

a 項については空気に比べヘリウム (He) を希釈ガスとする混合ガス (He-O₂ 又は He-N₂-O₂) が生理的な効果: ①酸素中毒, 窒素酔い, ②呼吸抵抗, CO₂ 体内貯溜, ③減圧症の質及び, 再圧治療に対する感受性, ④効率 (潜水時間 Vs 減圧時間) の点で選択することにした。

b 項については水中減圧 (但し, SDC: submersible decompression chamber 内の減圧を含む) を基本とする。

〔研究の方法〕

安全な減圧を約束する体内気泡を形成しないため条件を決める過飽和比, 或いは最大許容不活性ガス圧較差を決めるのは linear な体組織不活性ガス移動が compartment な体組織 model について考慮されるものとした。

組織中で不活性ガスが気泡をつくる, いわゆる過飽和圧 $\Delta P = T - H$ (但し, T: 溶存不活性ガス分圧の和, H: 静小圧 + 組織表面張力) は異なる不活性ガスの気泡化についても T 及び H が同じ値な) 相似であることを示している。

体内気泡の成長と分解に関して, 拡散係数 (K) 及び密度 (ρ) は N₂ に比べ He が 2.56 及び 1/7 であり, 水, 脂肪溶解度比が 1/1.45 であることを考慮しても, 溶存 He ガスの気泡化が N₂ のそれに比べ気泡成長速度が約 2.5 倍である。このことはヘリウム潜水における減圧深度の正確な調節が必要であることを示す。

一方, He 及び N₂ の血液 (水) 及び組織 (脂肪) に対する分配係数 (α) の差から両者の不

活性ガスの溶解込みの速さがHeがN₂に比べ、各組織1/3と考えられる。現行の米海軍の標準空気潜水減圧表の最大半飽和組織 (t/α) 120分は40分であり、そうすると有効な飽和はほぼ4時間となる。

今回目標とする90m (300ft) 潜水は、潜底時間を30分を限度とすることにした。

ヘリウムを稀釈ガスとする潜水では充分ひかえめなΔP値の採用が安全潜水につながり、且つ、洗いだしの早い組織の最大無減圧許容較差を決定する必要性があった。

安全な減圧潜水は各深度に於ける compartment な組織の不活性ガス分圧のそれぞれのΔPが

$$\text{過飽和比} \quad \sum_{i=0}^n \sum pi / HP$$

$$\text{及び、過飽和較差} \quad \sum_{c=0}^n \sum pi - HP$$

但し P_i : 組織溶存気体分圧の和

HP : 静小圧

n : 組織 (tI/2) のガスの数

のいずれが採用されるとしたが過去米海軍に於ける半閉式潜水器を用う混合ガス潜水に於ける成績 (Molumphy; G. G. 1950) を考慮して constant な過飽和比よりも最大許容較差 (MValue; Workman 1960) を元にした。

充分ひかえめな較差は、すでに同種の実験 (飽和潜水における support Diving; 日本高気圧環境医学会誌 Vol 7, 119, 1972) から明らかであった。

今回の最初の試験では閉鎖循環型潜水器 (GE model 1500) の稀釈ガスボンベは Helium だけとし、回路内の P_{O₂} は 0.6 となるように調整された。又減圧点に於ける回路内の P_{O₂} は変更せず 0.6 のまま減圧終了させる方法をとっている。

尚、実験中の回路内のガスは、吸気相から実験タンク内に sampling され分析した。

前述の気泡形成の式を考慮して潜水前に組織に残っている N₂ と共に、溶解込む He の加算の度合については、2種の気体の分布 (distribution) を数量で示し得ないので、潜水前の P_{N₂} = 26 ft の洗いだしを He の溶解込む勾配の和で示すこととした。

〔結果〕

閉鎖循環型潜水器を使用する混合ガス (He-O₂) 潜水に於ける計算された減圧表の中から、今回は、① 60m (200ft) - 20min, ② 90m (300ft) - 10min の潜水の結果 (それぞれ

れ2人づつ潜水)を示す(図1及び2)。図中の曲線は計算されたそれぞれの $t_{1/2}$ の不活性ガス圧の変化を示す。

総減圧時間①は45分で、②は47分であり、米海軍He-O₂減圧表等価深度換算による場合と大きな差はなかった。

いずれも、itchesを含む症状の発現は見られず安全であった。4名のdiverの吸気P_{O₂}は安定しており、今後同種の潜水器を用いる潜水減圧表の作成上のP_{O₂}値の選択に使えることが分った。(図3及び4)

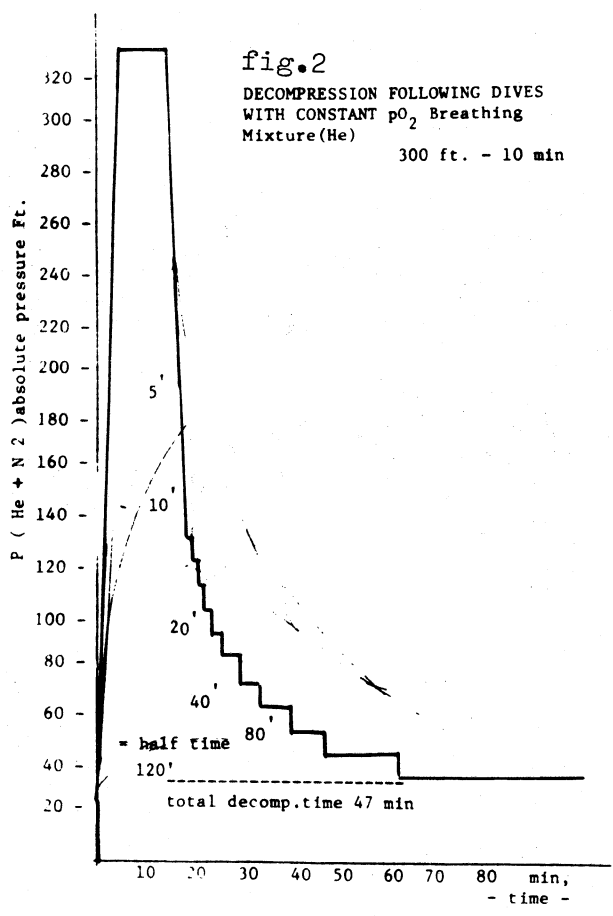
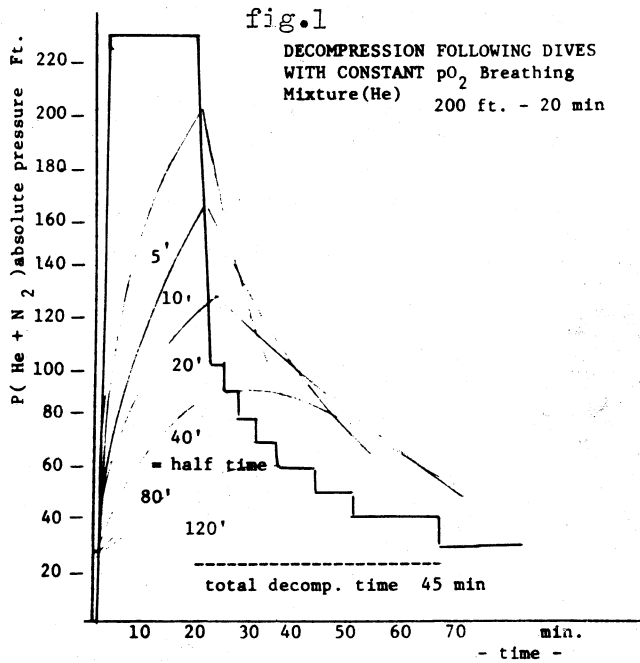
潜水中の4人のdiverのO₂ uptakeはほぼ1.0 L/minに近いことを示している(滞底中、自転車 ergometer で light exercise を行っている。(図5及び6)

尚、稀釈ガスボンベ中のHeは総潜水時間①、②ともほぼ70分に対し極端に少く、mask clearを数回繰り返す量の損失に等しく、経済性の点で優れていることを立証した。(図7及び8)

[考 察]

閉鎖循環型潜水器は、その特性から、90 mに及ぶ深海潜水に安全な潜水システムとして採用される見透しがついた。

今回の試験から問題点は①深度一時間を200 ft - 40 minから300 ft - 20 min に至る routine dive とする。②潜降速度; 75 ft/min, 浮上速度; 60 ft/minとし stage decompression; 各減圧点の停止時間は5分単位とする。③回路内の適正P_{O₂}値。④ multi-inert mixture (He+N₂)を用いることに依る許容ガス較差が増大する可能性と最大無減圧許容深度を決定してゆき、安全合理的な減圧表を作成してゆきたい。



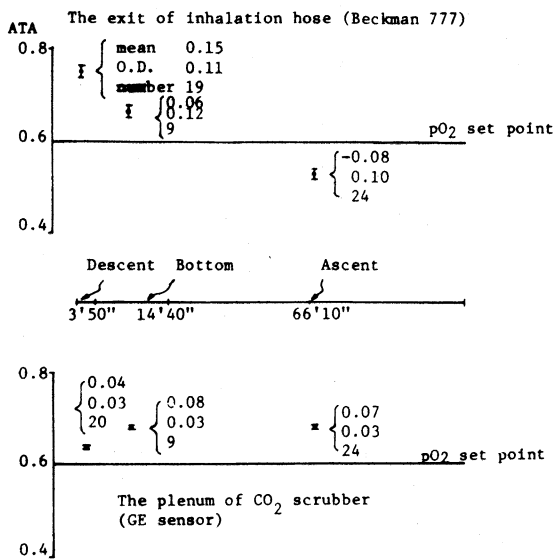


fig. 3 Mean value of pO₂ deviation from oxygen control set point at 200 ft. Dive IZAWA Date July 23 (diluent gas He).

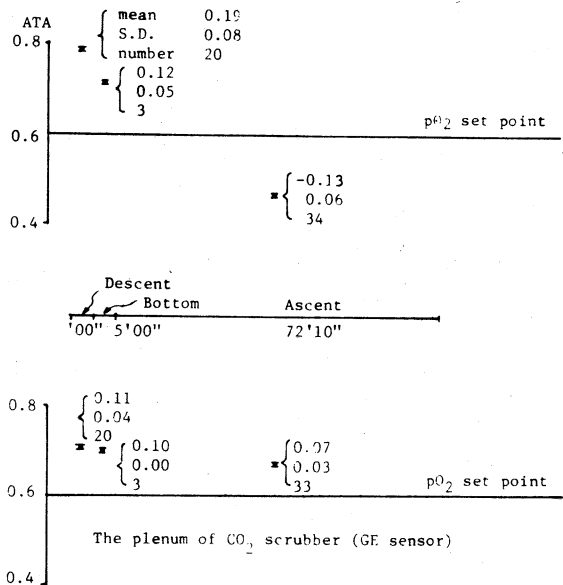


fig. 4 Mean value of pO₂ deviation from Oxygen control set point at 300 ft. Dive UNOZAWA Date July 24 (diluent gas He).

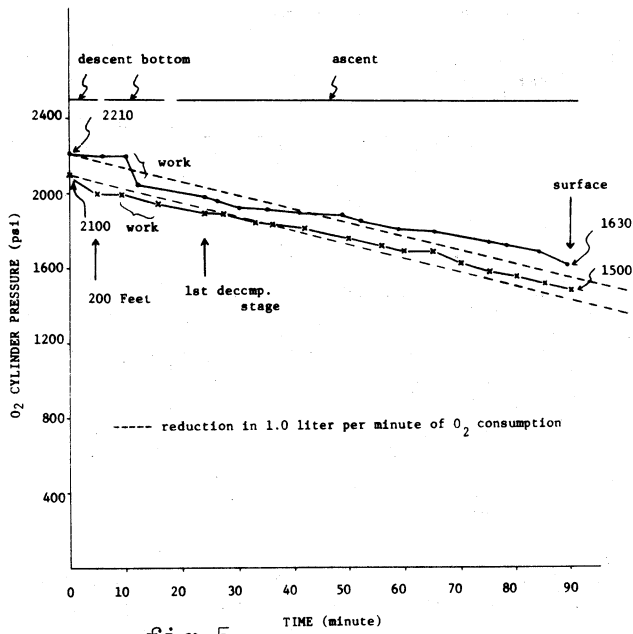


fig.5 O_2 cylinder pressure drop versus time

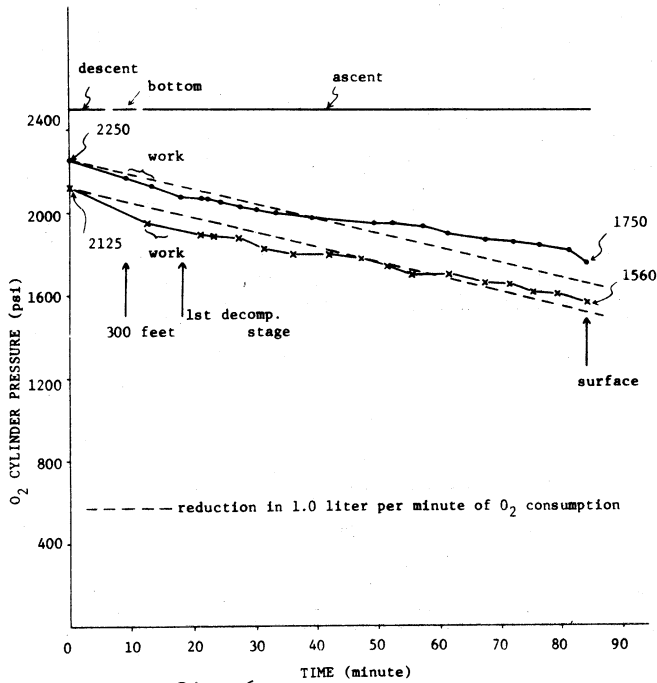


fig.6 O_2 cylinder pressure drop versus time

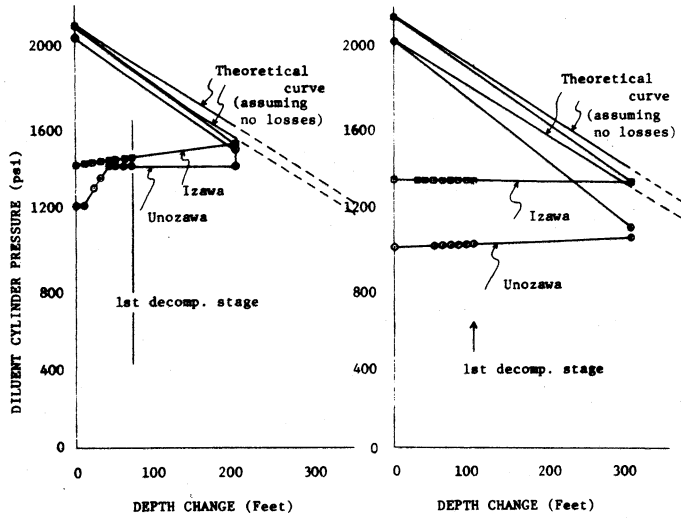


fig. 7&8 Decrease of diluent gas (He) during 200 ft. and 300 ft. dive