

## 海上自衛隊横須賀地区病院潜水医学実験部 伊藤敦之 大岩弘典

潜水作業を行う場合相当深い深度(50~60m)での長時間潜水を要求されることである。しかし潜水効率(滞在時間/減圧時間)は低下し、体組織内の不活性気体は過飽和になり、ひきつづく減圧段階での不活性気体の排泄が不十分であると減圧症の発症を見ることがある。米海軍でもStandard Air Decompression Tableとは200ft以上を生理的理由により別表として扱っている。そこで我々はこの深々度で長時間にわたる潜水作業時の潜水効率を高めるのは勿論のこと減圧症発症の予防的見地からこの領域の作業に適する酸素減圧表を作成し実際に応用するための基礎実験を行った。

酸素減圧時には2種の問題点がある。

## 1 効果的酸素呼吸の決定

酸素中毒や血液組織灌流量の低下が組織内不活性気体の排泄を減ずるか

## 2 減圧時間短縮の可能性

深々度曝露に於ける過飽和組織が酸素呼吸時比較的早い減圧に耐えらるる限界ほどの程度か。

この2種類の問題を考えて我々は動物実験により一動物種属間感受性の差を考へつつ一酸素呼吸の影響、脱飽和効果の推移を見極めたいと考へ以下の実験を行った。ここで言う動物実験にもとづく安全率とはあくまで方法論的指標として、前述2種の問題を考へ対して用いる減圧表に有益と考へるものである。

## [方法]

減圧計算方法は体内不活性気体の排泄は指数関数で表はされる。

$$P_t = (P_{0t} - P_A)e^{-kt} + P_A$$

$P_{0t}$  : 減圧開始時の組織内不活性気体分圧

$P_t$  : 時間 $t$ だけ経過した後の組織内不活性気体分圧

$P_A$  : ひきつづく減圧段階での吸気中不活性気体分圧

$k$  : 時間係数

時間係数は各組織の半飽和時間により異なるが現在では5分~240分で計算されている。また減圧時の過飽和比は3.8~2.0までとした。なお本実験で計算した減圧時間では、半飽和時間は5~160分で計算され、その結果の1例を図1破線に示す。次に減圧時純酸素を呼吸した場合には上式の $P_A$ が0に近づくので $P_A=0$ と置いて計算すると単位時間経過後 $P_t$ が最少となり減圧に要する時間は図1実線の様に短縮される。しかし動物各種属間に減圧に対する感受性に対し相当の差異があるので体重kgあたり炭酸ガス排泄量が人とラットでは毎時0.5g対2.05gであることと純酸素呼吸時、血液・組織灌流量が低下し窒素排泄時間が1.33倍延長すると考へた。そこで、ヒト用酸素減圧時間(図1実線を図2破線に置きかえ)も0.323倍しラット用酸素呼吸時の減圧表とした図2実線

多数作成した減圧表の中から180ft-60分 200ft-40分 200ft-60分 200ft-80分の4種の減圧表を選び、ラット24匹(平均体重360±5g)を4群に分割し高圧室の中で空気で加圧し減圧時には純酸素を呼吸しながらSchedule通り減圧できるようにした。他に2匹ずつ合計8匹を空気で呼吸のまま、酸素呼吸群と全く同じ減圧表にもとづき減圧し、減圧症を発症させ比較検討してみた。

[成績]

減圧終了後1時間観察し、その後全例剖検した。この間空気呼吸群は4匹中4匹死亡、酸素減圧群は24匹中2匹が死亡した。95%の信頼度で安全率を計算すると $91.8 \pm 11\%$ になる。

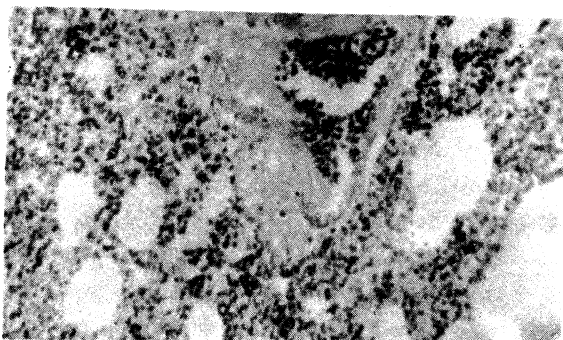
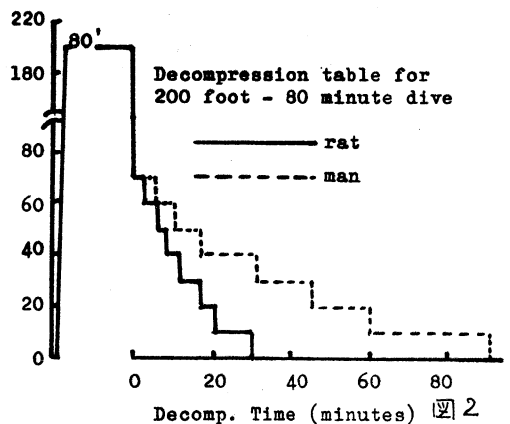
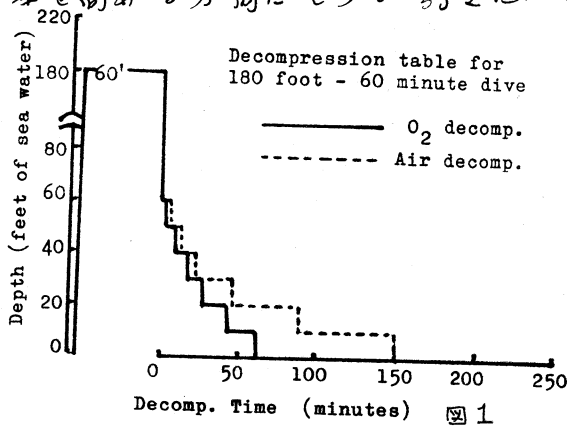
死亡例では全身のうっ血、出血、浮腫が著明で特に肺では図3のような血出、血浮腫があり、血管内に空胞の形成を認め血管外のろう血液中にも多数の空胞の形成が認められた。このような変化は肝、心筋、中枢神経系及びその周囲にも認められた。死亡例では空気呼吸群と酸素呼吸群の間に差異はほとんど認められなかったが生存例では酸素減圧群は空気減圧群に比べ組織学的変化は軽度であった。

[考案]

本実験中部分的無気肺を呈したものが多数あったが、ラットは酸素中毒に対する耐性が中等度であり、この程度の酸素分圧と曝露時間からでは過去の報告では酸素中毒の発症を見ていない。またこの程度の酸素曝露をヒトに換算した場合にも酸素中毒を呈したという報告はない。なお本実験に先行して予備実験として、ラットの6匹を60分間60ft相当圧の純酸素を呼吸させた後直ちに1気圧までもどすという、酸素分圧に関しては本実験より更に苛酷な実験を行ったが、全例生き残った。

本実験に關し死因は酸素中毒というよりは減圧症のためと考へ、酸素呼吸による減圧時間短縮効果は十分にあったと考へられるが、安全率については統計学的に95%の信頼度で計算すると $91.8 \pm 11\%$ とより高い値とは言えない。

またラットとヒトの減圧時間比を0.323としてよいのか、まだ他にも安全率を決定する因子があるかどうかを考慮し、今後動物実験を重ね更に安全率を高める方向にそって行きたいと思う。



1) A.R. Behnke: Oxygen decompression, In proceedings of the underwater physiology symposium, NAS\*URC, 61-73, 1955  
2) R.R. Jones et al: Administration of pure oxygen to compressed air workers during decompression, J industr. hyg., 22)427-444, 1940  
3) R.D. Workman: Calculation of decompression schedules for N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> & He-O<sub>2</sub> dives, Res.Rept 6-65, USN Exp.Div.Unit., 1965