

S3. 高圧環境下における不感蒸泄量の減少

富安和徳* 中山英明*

Decrease under Hyperbaric Environment of Insensible Waterloss

K. Tomiyasu and H. Nakayama

Japan Marine Science & Technology Center,
Natusima-cho 2-15, Yokosuka

The insensible waterloss from skin and breathing was measured by a hygrometer under 31 ATA and during that decompression, in 1979 at JAMSTEC.

The evaporation from skin was measured about one subject at 9 points in rest on the bed. The rate of evaporation decreased to higher pressure. On the other side, the insensible waterloss within a breath was measured about 4 subjects in 5 respiratory patterns. And no remarkable change was shown.

As compared with the body weightloss by a precise balance and the total waterloss of this measurement was approximate value.

目 的

海洋科学技術センターでは、昭和46年から51年にかけてシートピア計画による100mまでの飽和潜水実験が、また、52年から54年にかけて300mまでの模擬飽和潜水実験が行われた。高圧環境下では尿量が増加するという高圧利尿作用について、前記実験の中でS.K. Hongら⁵⁾が3回にわたり研究を行い、高気圧下での尿量増加と共に不感蒸泄量の減少も観察している。

本課題は著者らが52年から54年にかけて行った高圧環境下の体熱バランスに関する実験的研究の一環として行ったもので、高圧下での不感蒸泄量を呼吸成分と皮膚成分に分けて計測し、その減少要因を調べようとしたものである。

方 法

不感蒸泄の計測は最も確実な体重計測にて総量を計り、呼吸と皮膚からの蒸泄量は湿度計で計ることとした。

体重計測による方法は、腎外水分喪失量(W_L)、作業前体重(W_{B1})、作業後体重(W_{B2})、飲水量(I_W)、摂取食事量(I_F)、排泄糞量(O_F)、排泄尿量(O_U)及び呼吸代謝による重量減少量(E)の間に次の関係式がある。

$$W_L = W_{B1} - W_{B2} + I_W + I_F - O_F - O_U - E \dots(1)$$

ここに、W_Lは発汗をも含むので、計測当日は最適な温湿度環境に調節して休息状態とし、E=3g/hとしてW_Lを求めた。

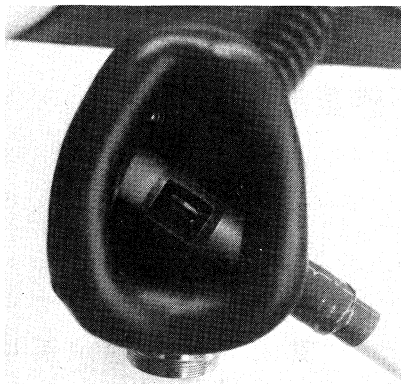
呼吸による水分損失量(IW_LR)は、吸気中の水分量(W_{in})と呼気中の水分量(W_{ex})及び分時呼気量(V)から次式により求められる。

$$IW_{LR} = (W_{ex} - W_{in}) \times V \dots\dots\dots(2)$$

呼吸気中の水分量は湿度計測と飽和水分量表から得られるので、応答速度が約1秒のTAKARA=VISARA製高精度湿度計のセンサープローブをマスクに組み込み(写真参照)、呼吸を蛇管で品川製作所製実験用湿式流量計WK-10型に導いた。吸気は湿潤ガスとしてチャンパー内の環境ガス(約60%RH)を、乾燥ガスとして非常用呼吸ガス(He-O₂混合ガス)を用い、1回換気量、分時換気数の異なる5種類の呼吸パターンについて各1分間ずつ続けて5分間行わせた。そして、呼気量をチャンパー内の流量計の指針の読み取りで、呼吸湿度と呼吸気温はチャンパー外のペンレコーダーに記録した。

皮膚からの不感蒸泄量はG.E. Nilsson⁴⁾による

* (海洋科学技術センター)



a. 呼吸気湿度計測用のマスクとセンサープローブ

次式を利用した。

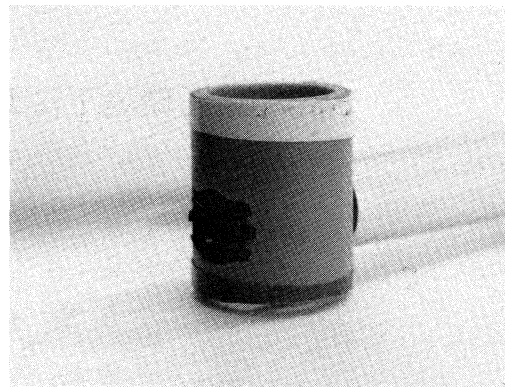
$$\frac{1}{A} \frac{dm}{dt} = -D' \frac{\partial P}{\partial x} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、Aは体表面積で9点の計測点とその面積比率が示されている。dmは水分の移動量、dtは時間、D'は拡散に関する係数で大気圧下環境の値である。高圧、He-O₂混合ガス環境下の値については研究していないのでそのまま採用した。Pは皮膚面上の水蒸気圧、xは皮膚からの距離である。内径25mmの塩ビ管に管の軸と直角にセンサープローブを挿入し(写真参照)、管の両開口部(つまり皮膚面からの距離)からセンサーまでの距離が1.5及び2.5cmとなるようにした。測定点にて指示が安定するまでに約3分を要するので測定管の両端の値を得るのに、1点につき6分とした。被検者は1名を選定し、ベッドにて仰臥および背臥の姿勢とした。データはチャンバー外のペンレコーダーに気温と相対湿度を同時に記録した。

計測スケジュールはシミュレーション実験の全体計画の都合もあって、最大圧の300m相当圧下で2回、減圧中に3回、大気圧下で1回、合計6回であった。

結 果

呼吸による不感蒸泄量は5つの呼吸パターンにより得られた呼吸気湿度、呼吸気温度及び分時呼吸量、分時呼吸数により図1aを得た。縦軸は1呼吸1ℓ当りの水分蒸発量としたので、分時呼吸量を乗ずれば時間当たりとなる。環境ガス呼吸では圧力の高いところで減少しているが、乾燥ガス呼吸ではバラツキもあって不明であり、全体より圧力



b. 皮膚不感蒸泄計測用の計測筒とセンサープローブ

との相関はみられない。吸気湿度の影響は乾燥ガスの値が環境ガスの約2倍と見積もられ、呼吸による水分蒸発量は吸気中の相対湿度に比例すると見なせる。

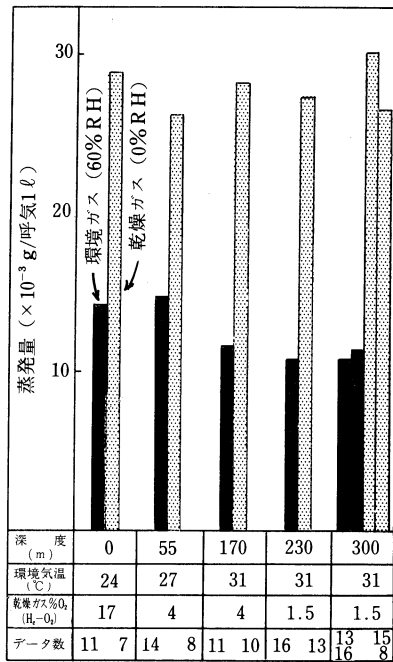
皮膚からの不感蒸泄量は図1bの結果が示す通り、計測時現在の温度、湿度のもとで圧力との間に著名な相関が得られた。

考 察

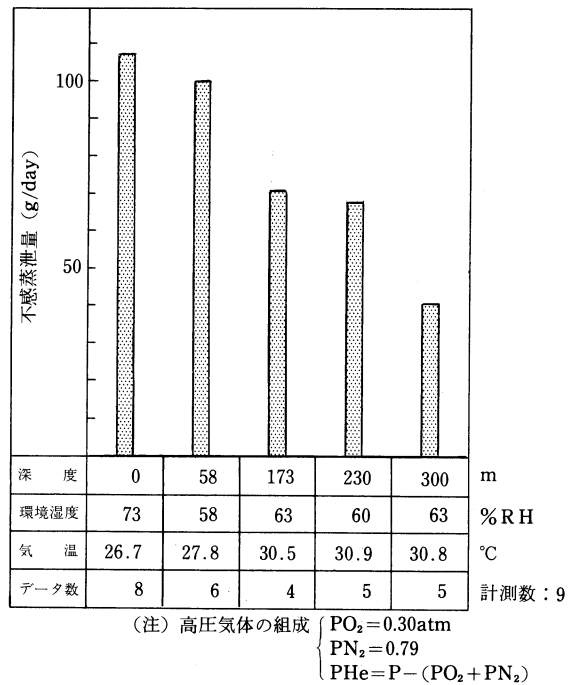
計測に用いた湿度センサーは、事前試験でHeガスの30kg/cm²下で異常のないことを確認したのであるが、1カ月の実験が終わって減圧終了の翌日より異常出力を示し故障に至った。しかし、それまでのデータは湿度計が正常であったものとして前述の結果を得たのであるが、次の二つのミスによって我々のデータは気圧と不感蒸泄量に関する傾向を知るのみである。

- ① チャンバー内で湿度計のキャリブレーションが行えなかった。
- ② 塩ビ管にセンサープローブを設置後、不要の穴を塞がなかった。

図1bの不感蒸泄量が少ないのは上記②により管が煙突様になったためと思われる。しかし、皮膚の計測値を10倍(特に意味はない)して呼吸の計測値を加えると、体重バランスより得た値と近似した。これを表1に示す。実験期間中、被検者は厳重な監視のもとで飲食物の摂取量、糞尿の排泄量が正確に記録され、また、体重は精度5gの体重計で計量後高圧気体による浮力補正を行っているが、呼吸代謝の計測管理が行えなかった。表1の2つの結果の差はこの理由によると思われる



a. 呼吸性不感蒸泄量



b. 皮膚からの不感蒸泄量

図1 環境圧力と不感蒸泄量

表1 高気圧下での不感蒸泄の計測結果

圧力 (m)	A 体重計測より					B 湿度計測より		
	体重変化	摂取量	排泄量	呼吸	結果	呼吸蒸泄	皮膚蒸泄	結果
	W_B^{*1}	$I_w + I_e$	$O_E + O_U$	E^{*2}	WL	IWL_R^{*4}	IWL_S^{*5}	IWL
0	—	—	—	72	1936 ^{*3}	220	1070	1290
55	+220	3092	1852	72	948	220	999	1219
170	+70	3013	1844	72	1027	220	711	931
230	-10	3032	2079	72	981	220	685	905
300	-140	3028	2368	72	728	220	412	632

- *1. 体重変化は当日起床時と翌日起床時の差を示す。
- *2. Eは計測していないので計測当日は休息状態にあったことにより一律に $3g/h \times 24h$ とした。
- *3. 当日の計測を行わなかったため、翌日の値を採用した。
- *4. IWL_R は*2と同じ理由により一律に計測値の24hr換算とした。
- *5. IWL_S は計測値を10倍した値。

が、表1 B項の結果の300m値は0m値の約48%であって、4時間の無摂取無排泄による体重計測より得た比率³⁾と一致している。

結 論

今回の実験的計測は不完全であったが、次のこ

とがわかった。

- (1) 呼吸からの不感蒸泄は圧力の影響を受けないと見なせるが、吸入ガスの湿度及び気温と相関がある。また換気数に反比例することも明確である(図2)。
- (2) 皮膚からの不感蒸泄が圧力の影響を大きく受

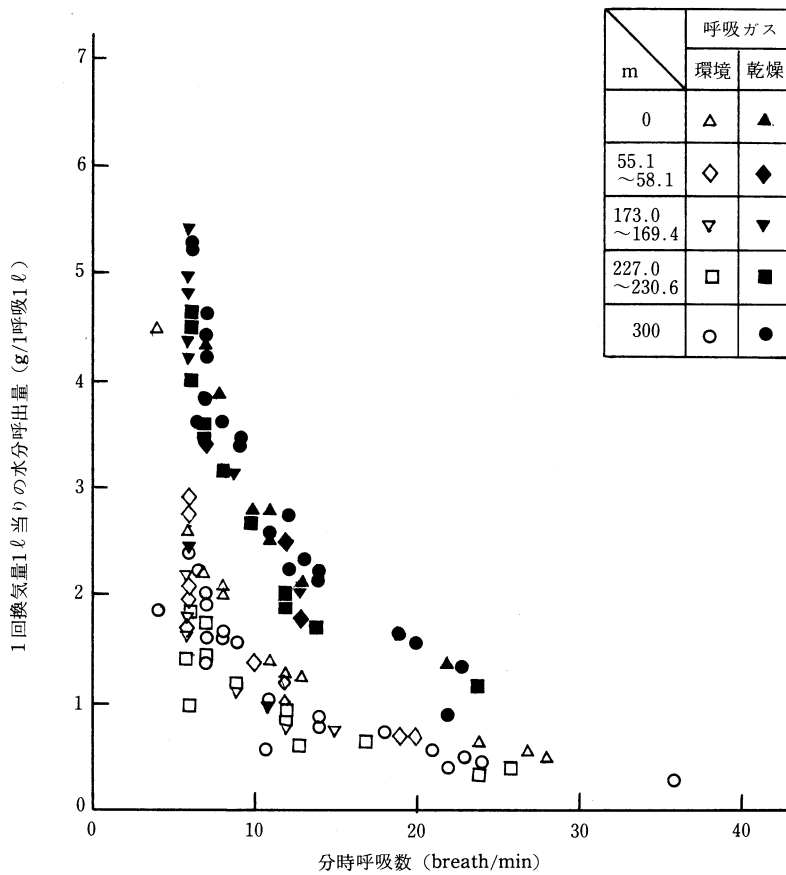


図2 呼吸による水分放出量

けることは物理的現象にも合致する。温度に対しては指数的上昇を示すことが示されているが、我々の計測値は高圧になるほど、気温が高いにもかかわらず圧力の増加に伴って減少した。

(3) また、すでに知られている高圧 He 環境下での皮膚温低下が、高気圧下での不感蒸泄の減少傾向を促進する働きをしているものと推察される。

【参 考 文 献】

1) 吉村寿人, 緒方維弘編: 生理学大系Ⅳ-1, 代謝の生理学 I, 医学書院.

2) 齊藤一, 三浦豊彦編: 労働科学叢書18, 日本の高圧労働—その実態と対策—, 労働科学研究所出版部, 昭和44年.

3) 竹内久美 他: 高圧 He-O₂ 環境下の水分代謝 (第1報), 海洋科学技術センター試験研究報告 (第5号), 1980.

4) Gert E. Nilsson: n the Measurement of Evaporative Water Loss, Methods and Clinical Applications. Department of Medical Engineering, Linköping University, S-581 85 Linköping, Sweden, 1977.

5) S.K. Hong, et. al: Hana KaiII, a 17 day dry saturation dive at 18.6 ATA. III Body fluid balance. Undersea Biomedical Research Vol. 4, No. 3, Sept. 1977.