

V 一般演題C 2. 飽和潜水における物理的環境条件に対する  
生体の応答—温度平衡

横須賀地区病院 潜水医学実験部

大岩弘典 田中義郎 伊藤敦之  
森田明紀 小此木国明 川島祥三

ヘリウムを高濃度に含んだ高圧環境下では、快感温度に対する感じ方が違ってくる。これは皮膚に近い部分の気体分子層の熱伝導率の違いのためであるとされている。

勿論、体熱は放熱や蒸池、或るいは伝達によっても失われるが、高圧ヘリウム環境で最も明らかな変化は、雰囲気気体の熱伝導率の増加にもとづく要因であろう。

これらの環境データの解析は、生体の生理学的応答に及ぼす高圧ヘリウム環境の Stressful な影響を分析し、併せて、ライフサポートにおける生工学の許容巾や栄養学上の必要カロリー量を決定する上で重要である。

さきの seatopia 30 m 飽和潜水実験における雰囲気気体の組成は、基準値が全圧 4 ATA に対し、酸素 (以下  $O_2$ ) 0.30 ATA (7.5%), 窒素 ( $N_2$ ) 1.13 ATA (28.25%) ヘリウム (He) 2.56 ATA (64.25%) それに少々の  $CO_2$  であった。

基準値に対するライフサポートの変動巾は、実験中 5% 以下であった。

空気の大気圧における熱伝導は  $4.68815 \times 10^{-7}$  Kcal/m.sec $^{\circ}$ K であるが、上記雰囲気気体のそれは、基準値で  $1.992561 \times 10^{-7}$  Kcal/m.sec $^{\circ}$ K で空気の 4.25 倍を示す。(変動巾の最大でも 4.5 倍であった。)

実験は 7 月 25 日 12.00 から始まり 7 月 27 日 17.00 に終了している。4 人のアクアノートが 4 ATA の前記の雰囲気気体に曝露されていた期間は 7 月 25 日 14.00 から 7 月 26 日 12.00 までであった。

環境温湿度の測定は、新たに作図された混合ガス用の Psychromatic chart を用い、チャンバー内の乾湿度計で測定したもの (すでに高圧補正済みのもの) とチャンバー内にセンサーを置き、温度は Pt 電極、湿度は LiCl 電極で測定され

たものを比較し、両者の差が實際上問題にならない範囲が得られたので、後者の値を代表して用いた。

3種混合の雰囲気体が4 ATAを保っている期間の温湿度は、ほぼ一定しており、28.5℃から30.2℃、66%から86%の範囲で昼間は70%前後を示している。

体熱損失の測定は、実験前(7月24日)1ATA空気環境と飽和潜水中(7月25、26日)4ATA人工雰囲気環境、それに実験後(7月28日)1ATA空気環境においておこなわれた。

体熱損失の計算は次の如くおこなった。すなわち、体温度平衡の出納については、

$$MR' = \text{蒸泄}(E) + \text{輻射}(R) + \text{対流}(C)$$

が一般に成立すると考えられている。

上記のMR'(体の代謝)については、各アクアノートに坐位における酸素消費量をDouglas bagを用いて測定した。すなわち、

$$\dot{V} O_2 = VE \frac{F_I O_2 - F_E O_2}{1 - F_I O_2 (1 - RQ)}$$

前記の平衡式は

$$MR' - E = R + C$$

と置き替えることができるので、左項はPhysiological heat loss、右項はPhysical heat lossを表すこととなる。この右項は雰囲気体の物理的特質が変っても、人間を鉄製のシリンダーにみたてて数学的なモデルを用いた熱損失のデータと良く合致することが知られている。

したがって右項のR+Cについては、モデルからの実験式より

$$R = 0.75 AB \cdot K \cdot E (T_s^4 - T_g^4) \text{ [ K cal/hr ]}$$

但し、0.75 AB; 有効輻射面積

(体表面積; DuBois)

$$K; 4.88 \times 10^{-8} \text{ K cal/hr/M}^2 \text{ (}^\circ\text{K)}^4$$

$T_s$  ; 平均皮膚温  $^{\circ}K$

$T_g$  ; 黒球温度  $^{\circ}K$

$E$  ; 皮膚の emissivity

又  $C = hcAB(T_s - T_a)$  [ K cal/hr ]

但し,  $hc$  ; 対流熱伝導度係数

$T_a$  ; 環境温度  $^{\circ}K$

体表面から雰囲気気体への対流熱伝導に關係する  $hc$  は皮膚の表層ガスの物理的特質ならびに、皮膚近くのガスの運動により定まるが、雰囲気気体の自然(Natural)と強制(Forced)の両者を考慮することとなる。

C Natural では

$$hc = 0.13 \frac{K}{L} (Gr, Pr)^{0.33}$$

但し  $K$  ; 熱伝導率

$L$  ; 表面の長さ

$Gr$  ; Grashof 群

$Pr$  ; Prandtl 群

C Forced については

$$hc = \frac{KC(Re)^n}{D}$$

但し  $Re$  気体の密度、粘度、気速及び表面の径に關係する Reynold 群

$C$  及び  $n$  ; Reynold の関数として定められた定数

尚、測定項目、 $T_s$  については生気象学会の採用する 10 点法を用いた。

Seatopia 30 m 飽和潜水時の体温平衡のうち、 $MR'$  は実験前値に比らべ、実験中では、各アクアノートで平均 25% の増加を示した。

尚実験後の値は測定誤差による高値を示したので参考にならなかった。

尚、蒸泄による体熱損失( $E$ ) は実験前中の環境温湿度がほぼ同じであり、アクアノートの自覚症状からほぼ不変と考えられた。

したがって、MR'の増加は右項のR + CのうちC Forcedの増加に負う結果を示した。

下記の表は飽和潜水時のRとCの熱損失を示す。

Aquanauts Heatloss	B	C	D	C	D	C
Date	July 24	24	24	25	25	26
Depth	m 30	30	30	30	30	30
Heatloss R (Kcal/hr/M <sup>2</sup> )	21.5	19.9	20.3	23.2	22.4	25.7
C Natural (Kcal/hr/M <sup>2</sup> )	36.9	32.5	33.6	41.7	39.3	48.9
C Forced (Kcal/hr/M <sup>2</sup> )	44.5	40.3	41.4	58.6	56.1	100.0

同時に測定したTs及びTgが実験の前中で差がないので、Seatopia 30 m 飽和潜水における体熱損失の増加はPhysical heat loss 就中、対流性熱損失のうち、C Forcedの影響を考慮することができる。

尚、飽和潜水時のチャンパー内の気速は、換気ファンの送風量(4 M<sup>2</sup>/min)から、およそ、6 cm/secと計算されたが、アクアノートの自覚所見では、風の影響を肌で感ずる程ではなかった。仮りに容積と居住人数の関係から、換気量を増すとC Forcedは更に増加してしまうこととなる。

ヘリウム-酸素環境の飽和潜水時の体熱損失のうちCの占める割合は、今回の成績では、ほぼ2/3であった。

参考までに、過去の報告をみると1ATAの空気環境では1/3であり、Sealab IIの場合では2/3を占め、今回の成績と良く似ている。

これらのデータの解析は、アクアノートの飽和潜水時における、代謝、呼吸循環、尿、血液などの生理学データの分析に必要であり、生工学上のライフサポートに必要な許容範囲を決定する上で重要視される。

〈質問〉 東京医科歯科大学 真野喜洋

Heat loss が10倍とは信じられないような高値ではありますが、Sealabとの比較は学問的には余り意味がない。このようなHeat loss は主としてどのような要因で起こると考えられますか？

Heliumの影響か、高圧そのものの影響か、両者の合併された影響なのか、いづれと思われますか。

〈答〉 横病 潜医実 大岩弘典

異常環境における生体の Physiological monitoring が就中、海中での潜水時に難しい。さきの Sealab が約1年前にこの問題から予測値からの実際面への応用を企図し、現在でも、研究室の場合はともかく、Open Sea の実験では同じ問題があります。

高圧のヘリウムという概念でこの問題を分析すると体熱損失、呼吸性熱損失で多少の差はありますが、「ヘリウム」というこの軽い、ノーブルなガスがいかに種々の問題をもたらすといえるでしょう。