

3. 300m He 環境下に於ける体熱損失について

富安和徳* 中山英明* 設楽文朗*

目 的

高圧 He 環境下では He の高熱伝導率とガス密度の増加により、ダイバーからの放熱が増大するため、至適温度が高くまた、狭くなる。潜水装置の温調装置や温熱的安全対策のためには、ダイバーの体熱平衡と生理的および感覚的变化を知る必要がある。

方 法

体熱平衡は代謝産熱 (M)、蓄損熱 (S)、仕事量 (W)、伝導熱 (K)、対流熱 (C)、蒸発熱 (E)、放射熱 (R) の間に次の関係式がある。

$$M = S + W + K + C + E + R \dots\dots\dots(1)$$

ここに体表からの放熱量 (Qs) と呼吸による放熱量 (Qr) は、それぞれ、

$$Qs = Ks + Cs + Es + R \dots\dots\dots(2)$$

$$Qr = Cr + Er \dots\dots\dots(3)$$

であるから、これを(1)式に代入して整理すると次式を得る。

$$Qs = M - S - W - Qr \dots\dots\dots(4)$$

右辺の各項は次式にて得られる。

$$M = 293 \text{kcal/h} \times \dot{V}_{O_2} \text{l/min} \dots\dots\dots(a)$$

$$S = mb \cdot Cp_b \left(\frac{2}{3} \Delta T_r + \frac{1}{3} \Delta T_{mws} \right) \dots\dots\dots(b)$$

$$W = \alpha \times BM$$

$$Qr = \dot{V} \rho Cp (T_c - T_i) + \dot{V} \rho hf (W_e - W_i) \dots\dots\dots(5)$$

呼吸湿度は80~95% RH の仮定があるが、まだ実測し得ないため Goodman 等の実験資料より呼吸量 (\dot{V}) と呼吸性不感蒸泄熱損失量との間に次式を得、これを適用した。

$$\dot{V} \rho hf (W_e - W_i) = \frac{95 - RHA}{100} (0.58 \dot{V} - 0.50) \dots\dots(c)$$

ここに RHA は吸気の相対湿度である。

よって、計測項目は環境ガスの温度、湿度、ガス成分濃度、圧力、被検者の身長、体重、皮膚温、直腸温、呼吸気温、呼吸量とした。なお、O₂ 消費量は呼吸量より推算した。

気温変化に伴って体温が安定するまで約2時間が必要とされているが、潜水シミュレーターの性能及び運用の都合上一定温度時間を90分とし、その間に3回の計測を行った。気温変化は適温設定 (ダイバーの意見による) から +3℃ 及び -3℃ とし、計測時の被検者は裸体座位安静とした。

結 果

実験は 250m 及び 300m 相当圧下で各1回ずつ実施され、結果を整理すると次の通りであった。

- 1) 吸気温度 (x) と呼気温度 (y) の間には $y = 0.40x + 22.06$ の直線性があり、空気中での相関が約0.5である事から、呼吸の温度変化への He の影響はないと言えよう。
- 2) 皮膚温は気温と直線関係にあり、手足は他の部分より良く比例する。比例係数は体温も含め、圧力増加に比例するが、額部のみは反比例した。また、300m の 28℃ では裸体で居ることができずガウンを着たので皮膚温は上昇した。この事から He 環境下にも衣服の保温効果は十分有ることがわかった。
- 3) 体温は気温と共に変化したが、一定温度の90分間に適温では一定、高温では気温に伴って上昇したが安定に至った。しかし、低温では安定に至ることなく下降を続けた。深度との関係で

*海洋科学技術センター潜水技術部

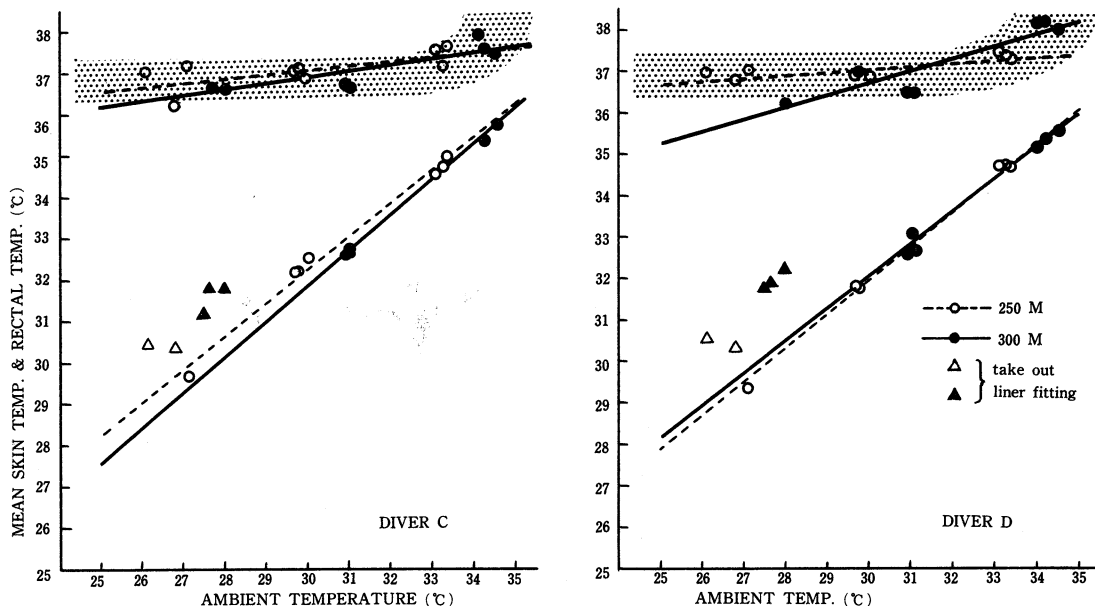


図1 高気圧下の環境気温に伴う直腸温，平均皮膚温

みると、250mより300mの方が相対係数が大きい。また、直腸温は300mの方が低温、適温部で低いが高温時にはより高くなっていることから、体温が調節型変動を示すことが知られる。

(図1)

4) 呼吸放熱量は呼吸気の熱容量と呼吸量に比例するから高圧下では非常に大きくなる。吸気温に対する相対係数は空気呼吸の1.5m潜水で-0.22, 250, 300mでそれぞれ-34.02, -36.12であった。(図2)

5) 体表からの放熱量は適温域で最少となり、低温部、高温部でそれぞれ大きくなった。これは低温部では放射，対流によって，高温部では蒸泄による影響と思われる。(図3)

今回の実験で皮膚温，体温，呼吸温と体表から及び呼吸性熱損失の傾向を知ることができた。生体温度及び熱損失に関し，高圧下での温度の影響は極めて大きく，体熱平衡を知るには伝導，対流，蒸泄及び放射熱の各々について調査が必要である。これらが今後の課題であるが，蒸泄量は高気圧下において減少することが体重バランスにより見られた(図4)ので付記しておく。

【参考文献】

1) 吉村寿人，緒方維弘編：生理学大系Ⅳ-1，代謝

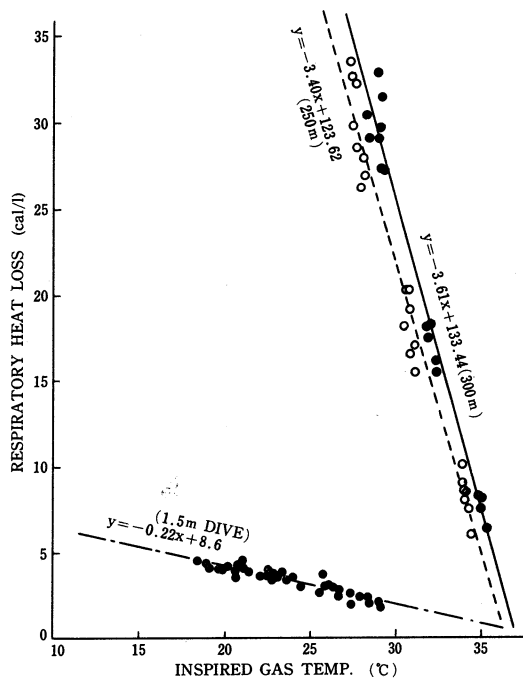


図2 高気圧下の呼吸放熱量

の生理学 I，医学書院。

- 2) Maxwell W. Goodman, et al: Hyperbaric Respiratory Heat Loss Study. U.S.N., 1971.
- 3) 大岩弘典他：ヘリウム酸素潜水時における呼吸性熱損失，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. 日本高気圧環境医学会
雑誌, 8:1973.

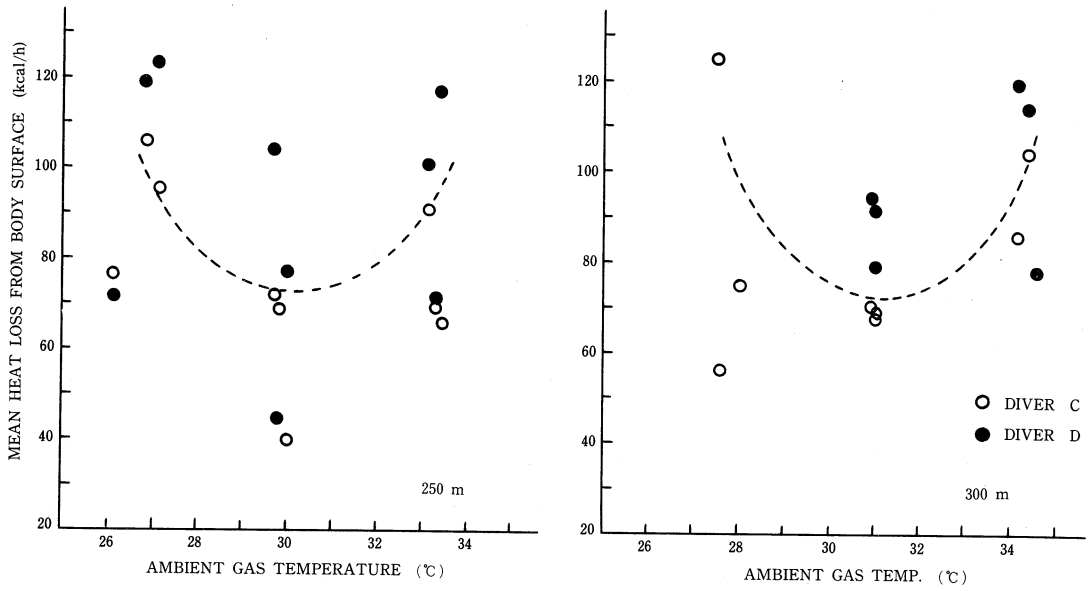


図3 高気圧下での体表からの放熱量

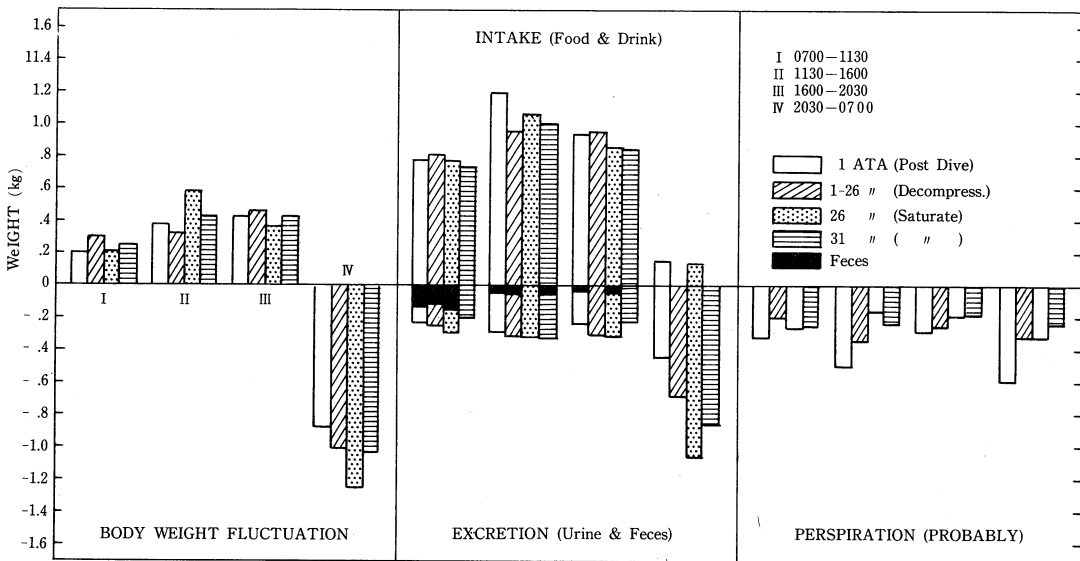


図4 高気圧下の体重バランス