

高圧 He-O₂環境滞在者の夜間多尿と水分収支について富安 和徳¹⁾, 竹内 久美¹⁾, 設楽 文朗¹⁾, 中山 英明²⁾On the Increased Night Urine Flow and Water Balance
under Helium-Oxygen High PressureKazunori TOMIYASU¹⁾, Hisayoshi TAKEUCHI¹⁾, Fumiro SHIDARA¹⁾ and Hideaki NAKAYAMA²⁾

1) Japan Marine Science and Technology Center, Natushima-cho, Yokosuka, 237 Japan

2) University of Occupational and Environmental Health, Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu, 807 Japan

In all of the saturation simulation dive that was given at Japan Marine Science and Technology Center, the Urine flow of the divers under hyperbaric exposure was increased. The results on the urine flow measurement in detail show that the increase of urine flow under hyperbaric conditions occurred especially at night. The 300m saturation simulation dive cord-name "Seadragon-VI" was carried out from September to October in 1984. On this project, we examined the relationship between the water intake and the water loss of the divers.

The results obtained are as follows:

1. A diver showed significant increase of the night urine flow have had much water intake, little urine flow before going to bed and also little insensible water loss with sweat during sleep. And the capacity of the bladder takes part in the frequency of night urine as well.
2. The water intake under 300m was less than the value of the surface.

Key words: Water Balance, Night Urine Flow, Hyperbaric

1. はじめに

高圧 He-O₂環境下でダイバーの尿量が増加することは Hamilton ら(1966)によって見出され、1975年のシートピア計画の中で松田らもこの事実を確認した³⁾。この尿量は圧力が高くなるに従って顕著になったため、高圧利尿と呼ばれ、それについての研究も行われた。しかし、高圧下での尿量増加は夜間に集中していることが竹内らによって確認¹³⁾され、圧力そのものの作用ではないと考えられるようになった。1976年より始まったシードラゴン計画で環境圧力が200msw (海水深度200m 相当正力で約2.1ATA) を超すシードラゴン-II以後、1984年のシードラゴンVIまで殆んどダイバーは排尿のために睡眠を妨げられている。

高圧下の夜間多尿の原因の一つに、300msw 下での不感蒸泄量が大気圧下の約1/2となる^{15,16)}ことがわかったので、就寝時の温湿度環境と寝具の改善によっ

て夜間多尿を減少しようとの試みが行われたが、吸湿性の良い寝具に幾分かの効果が見られた¹⁷⁾にすぎない。従って、不感蒸泄低下以外の高気圧下夜間多尿の原因として、空気の約7倍の熱伝導度を有するヘリウム(He)ガスの熱特性と圧力増加に伴う対流熱伝達率の上昇による寒冷ストレスが考えられたが、白木らの調査結果では明確な相関は得られていない¹²⁾。我々は高気圧下の夜間多尿の原因について環境と排泄現象の結果の相関を中心に検討している。今回は、特に水分摂取と排尿の関係について分析し知見を得たので報告する。

2. 方法

1984年9月28日から10月27日に300m 飽和潜水模擬実験、シードラゴン-VIが海洋科学技術センターの潜水シミュレーターで行われた。シミュレーター・チェンバー

の圧力は大気圧観察期の後、第7日目に16時間30分で300mまで加圧後12日かけて大気圧に戻し4日の大気圧観察を行った。

大気圧時の環境は気温28°C、湿度60%であり、300mでは気温31.5°C、湿度60%、PO₂=0.3ata、PN₂=0.79ata、pHe29.9ataのHe-O₂環境であった。

高圧チェンバーの滞在者は表1に示す4名であり、彼らの飲食摂取及び排尿と体重測定の日課は表2の通りであった。

2.1 水分摂取量の計測

滞在者の食事管理は栄養士によって行われ摂食物の成分分析は食品標準分析表から求められた。水分摂取量はこの分析結果より得た。

2.2 排尿量の計測

滞在者には個人用の採尿瓶(2ℓ, 精度100cc)が用意されており、定められた時刻に強制排尿させた他の排尿時刻は自由とした。就寝時刻23時以後から起床時刻07時以前までの就寝時間帯排尿に関しては、排尿時刻と尿量を報告させた。1日の尿量計測は表2の通りで、

Table 1 Physical characteristics of subjects

SUBJECT	AGE (yrs)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	CHEST GIRTH (cm)
A	30	173.0	65.4	88.5
B	28	164.2	55.0	81.5
C	23	167.2	60.2	87.0
D	33	167.2	62.2	89.5

Table 2 Daily time schedule

08:00	breakfast	
10:00	-----	U ₁
12:00	lunch	
13:00	-----	U ₂
(15:00)	snack	
16:00	-----	U ₃
18:30	dinner (WI _d)	
19:00	-----	U ₄
(21:30)	snack (WI _s)	
22:00	-----	U ₅ →BWM ₁
23:00	go to bed	
07:00	get up	→ U ₆ →BWM ₂

U; collect urine

WI; water intake

BWM; body weight measurement

22時の採尿(U₅)後から起床後の採尿(07時すぎ)までの合計尿量(U₆)を夜間尿とした。

2.3 体重測定

体重測定は精度5gの神戸衝機製体重計を用いて22時及び起床後のいずれも排尿直後に行われた。測定時の着衣及び装着品はその都度違っており、測定時の記録からパジャマ上下、短パンツ、Tシャツ、ランニングシャツ、トレーニングウェア上・下及び体温センサーセットのそれぞれの重量を差し引いて裸体重の近似値を得た。

3. 結果及び考察

環境コントロールは、圧力及びガス組成は計画通りに、気温は±5°Cに制御されたが湿度は概ね大気圧時50±10%、300m時60±10%であった。

図1は夜間尿量と就寝時間帯排尿時刻の経日結果である。1日の尿量と圧力パターンを併記した。被検者Aは就寝時間帯排尿が無かったと云える状態であったが、被検者Dでは夜間尿が際立って多く、就寝時間帯排尿も殆んど毎夜あり特に03時すぎの深夜に見られ、個体差の大きいことが示された。

図2は水分の摂取と排泄に関わる諸数値をグラフで示した。夜間尿と直接関係すると思われる夕食と夜の間食で摂った水分摂取量(a)は夕食と夜の間食で摂った水分量(WI_d+WI_s)、就寝前排尿量(b)は夕食後の尿量(U₄)と就寝前の尿量(U₅)の合計とU₅のみを同時に、就寝前残留水分量(c)はa-bであり排泄されるべき水分量、U₆は就寝時間帯排尿量と起床直後の排尿量の合計、IWLは体重測定値とU₆の差から得た就寝中の汗と不感蒸泄量の合計をそれぞれ示している。

水分摂取量は300m側が少なくなっていてこの傾向は食事による平均値、間食による平均値及び摂取量に対する水分摂取比においても同様に減少した。

就寝前排尿量は4名中3名が大気圧時より300m側で多尿となっている。又、U₅の値は就寝時間帯排尿に大きく影響すると思えたが殆んどが200ml以下と少量で個人差も小さかった。尿量U₆は4名中3名が300m時の値が大気圧時の2倍以上と多尿であった。U₆の値の内、就寝時間帯排尿量の平均は被検者Bが290ml、Cが632ml、Dが542mlであった。

IWL(e)は就寝時に多汗であった被検者Aを除く3名が300m側で少なくなり、高圧に伴う不感蒸泄の低

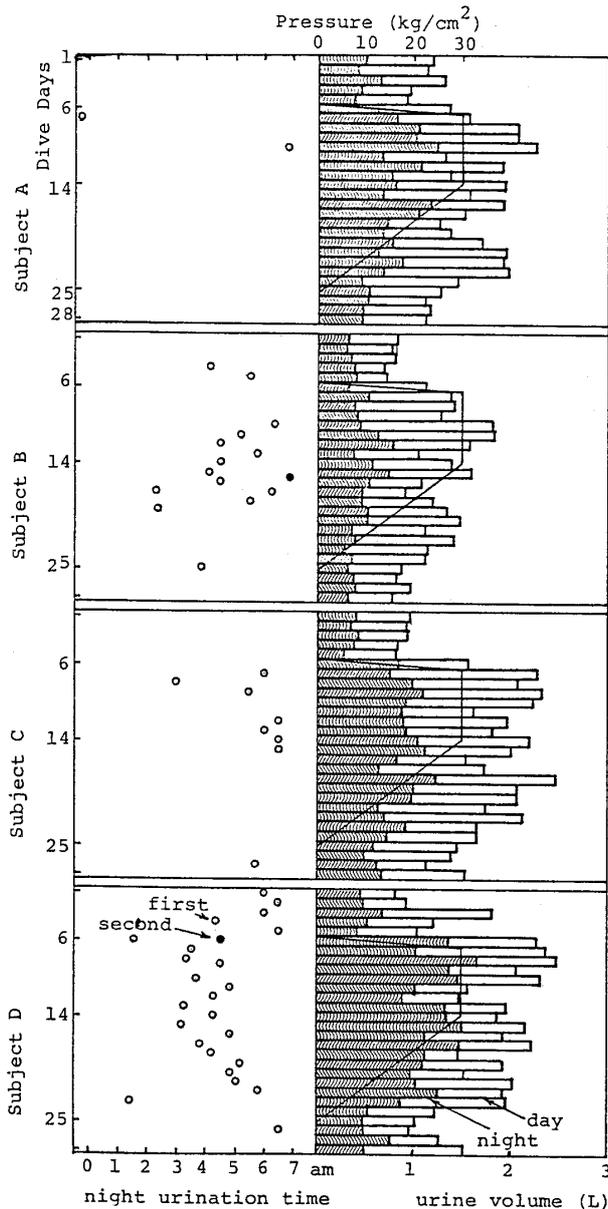


Fig. 1 The results of night urine flow at seadragon -VI

下現象から予想された傾向を示した。就寝前残留水分量(c)は就寝時間帯排尿に直接関連する値と見なされる。詳細には代謝の結果生成される水分(100~200ml)をこれに加える必要があるが、代謝に関する測定を行っていないので除外した。大気圧時の結果を4人の平均として考察すると、c値の約800mlに対し、e値の約600gと U_0 値の約400mlの合計約1,000mlは、約200mlの排泄過多となるが、これが代謝生成水によるものと仮定すれば大気圧時の水分収支は一致する。

300m時のc値を被検者Dについてみると、a値が他者より大きい一方でb値は小さく、その結果c値は

738mlとなった。これは大気圧時よりも小さいが、300m下に於る就寝時8時間のe値が推定約230g(被検者Dの値には大便が含まれている)しかないので、c値はほぼそのまま膀胱に溜ると考えられる。被検者Dの夜間尿量の最大値が790mlでありこれがDの膀胱の容量であるとすれば、平均夜間尿量1,100mlは膀胱容量を大幅に超えているので就寝時間帯排尿が毎日あったことが理解できる。又、就寝前残留水分量加わることを考慮すれば、同様に就寝時間帯の排尿回数が多くなる理由となろう。被検者Bは全般に小値であるが、体重が55kgであり過去の最大排尿量から膀胱の容量を450mlとすれば、上述と同様の理由で就寝時間帯の排尿回数の多いことがわかる。被検者Aは就寝時間帯排尿を尿意があっても排尿を朝まで伸ばしたと云うことであるが、殆んど毎夜多汗であり又、過去の最大排尿量が約900mlあったことから就寝時間帯排尿が2回のみであったことの理由であろう。

被検者Dに就寝時間帯排尿回数が特に多かった原因については前述の他、平常時の喫煙が多かったこと、他者より水分摂取量が多かったこと、発汗が極めて少なかったこと等が挙げられる。

300m下の不感蒸泄量は大気圧下の約1/2となり22時~07時9時間の推定量約230gに比較すると、大気圧時のe値は推定約460gに対し測定値は過大である。この理由として環境の温度設定は図3の通り、300m時は適温域に入っているが、大気圧時は高温域となっており、このため発汗が多かったものと推測される。

高気圧下の適温範囲は圧力が高くなるに従って高温側に移動し且つ狭くなるが、ヒトの体温がほぼ一定であることや至適温度は昼・夜等生活状況によって変わる⁹⁾ことからすれば、設定温度は昼は着衣と、夜は寝具との関係によって決められるべきであろう。つまり、気温31.5°C、湿度60%のもとで高圧He-O₂環境帯在者は通常の真夏時と同様にタオルケット1枚をまもって眠っている。それでも、水分の蒸散が押えられるため少しばかりの汗もなかなか乾燥せず、4名中3名が汗のために目を醒ましたと報告している。これから就寝中の温湿度環境が適当でないとも考えられる。

4. まとめ

300msw相当圧下の高圧He-O₂環境下帯在者の夜間多尿について水分摂取量と排泄量の相関を調査した

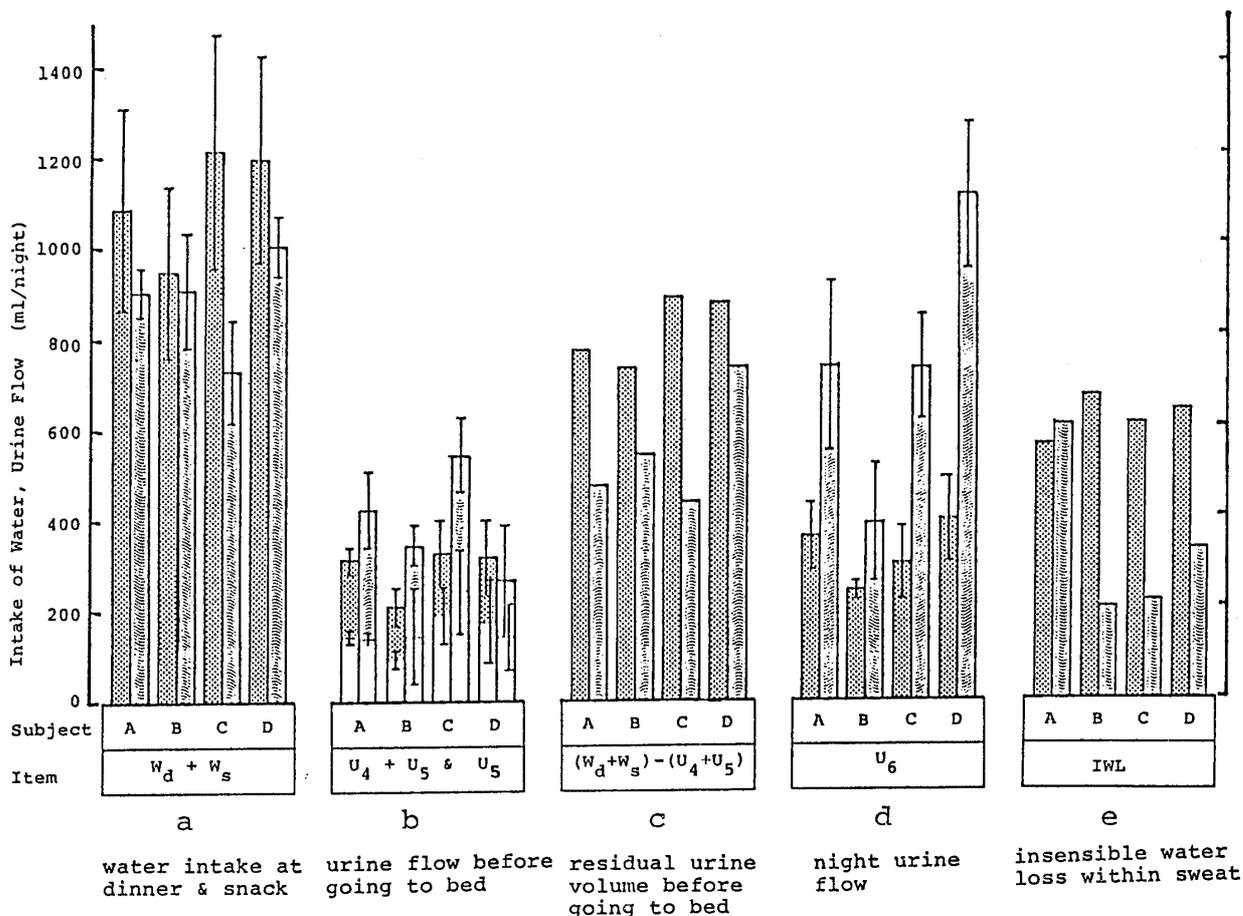


Fig. 2 Relationship between water intake and water excretion

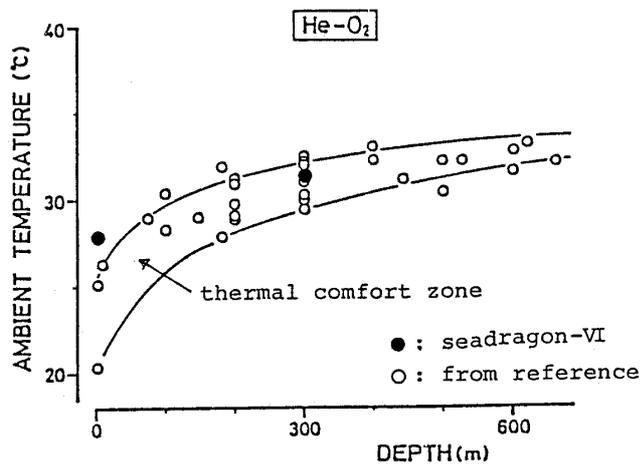


Fig. 3 Thermal comfort zone in He-O₂ environments as a function of pressure

結果、これまでにわかっている高気圧下での夜間尿量の増加と不感蒸泄量の低下の他に次の知見を得た。

- ① 高気圧下での水分摂取量は大気圧時に比して明らかな減少を示した。
- ② 就寝時間帯の排尿は就寝前の水分摂取量と就寝前

の排尿量、就寝中の発汗を含む不感蒸泄量及び膀胱の容量に關与することがわかった。

- ③ 就寝時間帯排尿を減少させるためには就寝前の水分摂取量を減らすこと、就寝中の不感蒸泄を促進させるような温湿度環境を作ること等が考えられる。

参考文献

Lambertsen, C.J. (1980). Prediction of physiological limits to deep diving extension of physiological tolerance. In: technics of diving deeper than 1500 feet. The 23 undersea medical society workshop 15-26.

Le Chuiton (1981). Les problèmes thermiques en plongée profonde. Méd. Aero. Spat. Sub. Hyp. 80 : 353-359.

Matsuda M., Nakayama H., Kurata F.K., Cloybaugh J.R. and Hong S.K.; 1975, Physiology of man during a 10-day heriox saturation dive (SEATOPIA) to 7ATA. II Urinary water elec-

- trolytes, ADH, and aldosterone; Undersea Biomedical Research 2(2). 119-131.
- 三浦豊彦他編; 1974, 新労働衛生ハンドブック; 労働科学研究所, 東京.
- Moore, T.O., J.F. Morlock, D.A. Lally and S.K. Hong (1976). Thermal cost of saturation diving, Respiratory and whole body heat loss at 16.1 ATA. In: Underwater Physiology V. Proceedings of the 5th symposium in Underwater physiology. ed. by C.J. Lambertsen, Bethesda, FASEB. pp.741-254.
- Nakayama. Y., S.K. Hong, J.R. Claybauch, N. Matsui, Y.S. Part, Y. Ohta, K. Shiraki and M. Matsuda (1981). Energy and body fluid balance during a 14-days saturation dive at 31 ATA (SEADRAGON-IV). In: Underwater Physiology VII. Proceedings of the 7th symposium on Underwater Physiology. ed. by A.J. Bacarach and Matzen, 541-554.
- Piantadosi, C.A. and E.D. Thalmann (1980). Thermal responses in humans exposed to cold hyperbaric helium-oxygen. J. Appl. Physiol. 49: 1099-1106.
- Piantadosi, C.A., E.D. Thalmann, and W.H. Speur (1981). Metabolic response to respiratory heat loss induced core cooling. J. Appl. Physiol. 50: 829-834
- Raymond, L.W., E. Thalmann, G. Lindgren, H.C. Langwothy, W.H. Spaur, J. Crothers, W. Braithwaite, and T. Berghage (1975). Thermal homeostasis of resting man in helium-oxygen at 1-51 atmospheres absolute. Undersea Biomed. Res. 2: 51-67.
- Shilling, C.W., M.F. Werts and N.R. Schandelmeier (1976). The underwater handbook. A guide to physiology and performance for the engineer. London, Tohn Ailey & sons. 912p.
- Shiraki K., Sagawa S., Konda N., Nakayama H. and Matsuda M.; 1984, Hyperbaric diuresis at a thermoneutral 31ATA He-O₂ environment; Undersea Biomedical Research, 11(4). 341-353
- 竹内久美, 設楽文朗, 桐ヶ谷紀昌, 中山英明; 1980, 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書 (JAMSTECTR) 6, 211-221
- Timbal, J., P. Varene, H. Vieillefond et H. Guenard (1973). Les échanges thermiques par convection en milieu hélium-oxygène hyperbare. Arch. Sci. Physiol. 27: A51-A58.
- 富安和徳, 中山英明; 1981, 高圧環境下における不感蒸泄量の減少; 日高圧会誌16(1), 85-89.
- 富安和徳, 中山英明; 1981, ダイバーの体熱損失と保温に関する研究 (第3報); JAMSTECTR-7, 121-140.
- 富安和徳, 竹内久美; 1984, 高圧ヘリウム環境下における夜間排尿と寝具の関係について; JAMSTECTR-13, 93-109.
- Wegg. P. (1970). Body heat loss in undersea gaseous environments. Aerospace Med. 41: 1282-1288.

(1985年2月5日受付)