

Changes in sleep during a simulated Heliox saturation dive to 150 m

徐有振* · 松本一彌** · 毛利元彦*** · 朴盈滿* · 鄭玟相*

* 경남대학교 공대 산업공학과

** 일본 동아대학 대학원

*** 일본 해양 과학 센터

Abstract

Standard polysomnograms, and questionnaires were measured using 4 subjects during simulated 150m heliox saturation dives. These measurements were performed on 4 pre-dive nights, 8 bottom nights, 6 decompression nights and post decompression nights. Sleep disturbances caused by frequent awakening were found throughout the dive period, but the disturbances were more intense on the second and fourth nights at the bottom and on the third and fourth nights of decompression. Stage 4 of sleep decreased every night at the bottom and from the first through third nights of decompression. The subjective self-evaluation of sleep was in agreement with the physiological variables. Complaints of subjective feelings of fatigue slightly increased throughout the dive period. It could be surmised that sleep disturbance or fatigue was not as significant under the 150 m deep hyperbaric environment of He-0₂ mixture, and therefore should be able to be coped with partially, though there might be individual differences in adaptation.

1. 序論

인간이 압축공기를 호흡하면서 잠수하면, 4 ata(absolute atmosphere) 부근에서 질소의 마취작용이 발생한다는 것은 잘 알려져 있다[1-2]. 그러나, 1960 년대에 포화잠수 기술이 개발된 이래, 압축공기를 He-O₂ 나 He-O₂-N₂의 혼합가스로 바꿈으로써, 11 ata 보다도 더 깊이 잠수할 수 있게 되었다[1]. 그러나, 15 ata 를 초과하는 깊이에서는 고압 신경증후군 (HPNS: high pressure nervous syndrome)가 발생하여, 震顛(tremor), 두통(headache), 현기증(dizziness), 구토(nausea) 등의 임상적인 증상[3-5], wave activity 의 증가나 Fm θ의 출현 등 뇌파학적인 변화[4-9], 작업수행 능력 감소, 주의력 저하 등의 행동학적 변화[4, 5, 8]가 발생하는 것도 지적되고 있다. 장기간에 걸쳐 정상적인 환경이나 생활에서 괴리되고, 더욱이 실내가 좁으며, 고압 He-O₂ 상태의 비정상적인 환경에서 생활하는 잠수자들에게는 수면부족과 수면의 불규칙성이 발생하고, 나아가서는 과대한 스트레스를 갖게 될지도 모른다[10,11]. 이러한 관점에서 볼 때, 고압환경 하에서 잠수자들의 수면상태를 객관적으로 파악하는 것은, 결국 잠수자의 최적 수면상태를 만들기 위한 지침을 얻는 것이 되며, 나아가서는 고압 He-O₂ 환경 하에서의 쾌적한 작업환경을 만드는 것으로도 이어진다. 그렇지만 이 분야에 있어서 수면의 polysomnogram 적 연구는 의외로 적다. 본 연구의 목적은 심도 150m 의 고압 He-O₂ 모의 실험 환경하에서 잠수자 4 명에 대한 수면의 질과 양, 그리고 피로감 등을 평가하는데 있다.

2. 方法

1) 피실험자

피실험자는 각종 의학검사와 심리학검사에 의하여 선발된 건강한 남자 잠수자 4 명이다. 피실험자들의 연령은 18-33 세(평균 26 세) 이며, 그 중 1 명은 포화잠수 모의실험에 수 십회 참가한 경험자이고, 나머지 3 명은 미경험자이다.

2) 잠수 모의 실험 profile

본 잠수 모의 실험은 일본의 JAMSTEC(Japan Marine Science and Technology Center)내에 설치되어 있는 내부 용적 28.8 m³, 내경 2.4 m 의 잠수 시뮬레이터 가운데 D1 챔버를 사용 하였다. 챔버 내의 양쪽에는 세로 75cm, 가로 180cm 의 2 층 침대가 설치되어 있고, 이곳에서 실험 기간 중 잠수자들은 취침했다. 'New seatopia' 라고 불리어지고 있는 포화잠수 모의 실험의 프로필(profile)은 Fig.1 과 같다.

실험은 처음 4 일간(加壓前期)의 정상적인 압력하에서 관찰한 후, 실험 5 일째 10 시부터 약 2 ata 로 공기 加壓을 실시한다. 같은 날 10 시 30 분부터 30m/hr 의 加壓속도로 He-O₂ 의 혼합가스를 사용하여 다시 加壓을 실시하여 약 5 시간 후인 15 시 17 분에 16 ata 에 도달시킨 후, 약 8 일간(保壓期) 16ata 로 유지했다. 그 후, 미국 해군의 減壓表[18]를 사용하여 실험 13 일째의 10 시부터 을 시작하여 실험 19 일째의 13

시 10 분, 즉 減壓개시 후 147 시간 10 분(減壓期)만에 대기압(1ata)으로 돌아온다. 減壓기간중 0:00~6:00 와 14:00~16:00 의 사이에는 減壓을 정지했지만, 그 외의 시각에는 다음과 같은 속도로 減壓하였다. 즉 심도 150m~60m 의 사이에서는 1.8m/hr, 심도 60m~30m 는 1.5m/hr, 심도 30m~15m 는 1.2m/hr, 그리고 심도 15m~0m 는 0.9m/hr 로 하였다. 減壓後 1 ata 에서 3 일간(減壓後期)의 관찰을 행하고, 마지막 날 16:00 에 모든 실험을 종료했다.

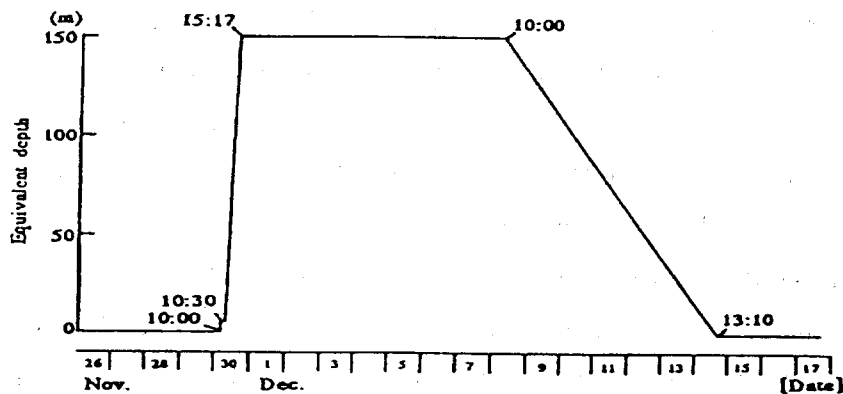


Fig. 1 Dive profile.

He-O₂ 고압 환경하에서는 헬륨의 열전도율이 높기 때문에[19], 본 실험에서는 피험자 모두가 쾌적함을 느끼는 온도 30.5 °C, 습도를 60 ± 10%로 했다. 그러나 加壓前期와 減壓後期의 환경조건은 26.0 °C, 60 ± 10%로 했다. 실험기간 동안의 조명조건은 16시간 점등(07:00 - 23:00), 8시간 소등(23:00 - 07:00)리듬을 유지했다. 또한 각성중인 피험자에게는 여러 가지 생리학적·심리학적 조사를 정기적으로 부여했고, 이 검사에 의한 피험자의 부담이 실험날짜에 차이가 나지 않게 배려했다. 또한 각성 중에는 졸음, 낮잠 등을 금지했고, 전 실험기간 중 챔버의 피험자의 행동을 모니터를 통해 감시했다.

3) 측정법

수면단계의 판정은 Rechtschaffen and Kales[20]의 기준에 따라, 20 초 마다 구획별로 시각적으로 판정하였다. Okuri et al.[21]이 개발한 OSA 수면감 조사표를 사용하여 실험기간 중 기상시 마다 기입하게 하였다. 이 조사표는 29 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목은 다음의 5 개 범주로 나뉜다. 범주 I 은 Sleepiness, 범주 II 는 Maintenance of sleep, 범주 III 은 Anxiety in the morning, 범주IV 는 Intergrated sleep, 범주 V 는 Falling to sleep 인자이다. 각 항목 별로 표준 득점화 되어 있으며, 범주 I 은 기상시의 기분, 집중력, 조건 등의 12 항목, 범주II 는 각성횟수, 몸 뒤척임, 잠의 깊이 등 6 항목, 범주 III 은 기상 시점의 각성거리, 불안정, 신경 쓰이는 점 등 5 항목, 범주IV 는 숙면감, 수면시간 등 3 항목, 범주V 는 Falling to sleep 는 누워 조는 상태 등 3 항목으로 구성되어 있다.

또한 실험 기간 중을 통하여 취침 전과 기상 후에, 피로에 대한 200mm의 analog 척도[22]와 일본산업 위생학회 산업피로 연구회가 작성한 주관적인 피로감[23-24]을 기입하게 했다. 전자의 피로감 측정은 그 척도의 좌측을 "전혀 피곤하지 않다", 우측을 "무척 피곤해서 움직일 수 없다"의 상태로 하여, 각 측정 시점에서의 피험자들의 피로감을 표시한 후 거리를 제이 그 거리를 점수로 사용했다. 후자의 주관적 피로감은 Saito 와 Gogi 등[20-21]에 의하여 다음과 같은 3 개의 인자로 분류되고 있다. 즉, 인자 1은 졸음에 관한 인자, 범주 2는 집중력에 관한 인자, 범주 3은 신체에 관한 인자 이다.

각 인자는 각각 10 개의 항목으로 구성되어 있으며, 30 항목에 대해서 피실험자들에게 "느낀다", "느끼지 않는다" 둘 중에 하나를 선택하도록 했다. 이것을 각각 1과 0으로 득점화 하여, 범주별로 평균점수를 산출했다. 그리고, 고압신경 증후군의 대표적 증상인 진전, 현기증, 구토, 다행증, 관절통, 근육통 등을 5 단계로 0:증상 없음, 1:거의 느끼지 못함, 2:확실히 느끼지만 대단하지 않음, 3:조금 심함, 4:매우 심하여 작업곤란 중에 선택하게 했다.

통계분석은 주로 one-way analysis of variance(ANOVA)와 Student t-test 를 이용했다. 그리고 Student t-test 를 할 때에는 pre-dive 의 1,2 일째 자료는 제외하고, 3,4 일 자료만을 이용했다.

3. 結果

1) EEG 수면의 parameter

加壓前期의 첫번째 밤의 자료는 first night effect[22]를 고려하여 분석에서 제외했다. Table 1 에는 전체 실험기간 중에 있어서 각 밤의 수면변수의 평균과 표준편차를 나타내고 있다. 일원 ANOVA 의 결과, 단계 4 수면과 REM sleep latency 를 제외한 대부분의 수면 변수에서 각 실험일 사이에는 유의한 변동을 나타내었다.(SPT(sleep period time) $F=1.87$, $df=3,54$, $p<0.05$; TST(total sleep time) $F=2.74$, $df=3,54$, $p<0.01$; SEI(sleep efficiency index) $F=2.81$, $df=3,54$, $p<0.01$; sleep latency $F=2.66$, $df=3,54$, $p<0.01$; Number of awakenings $F=2.84$, $df=3,54$, $p<0.01$; Number of stage shifts $F=3.29$, $df=3,54$, $p<0.01$).

SPT 는 加壓前期에 비해서 保壓期の 2 일째 밤만 유의한 짧아졌다($t=3.33$, $df=3$, $p<0.05$). TST 와 SEI 는 加壓前期에 비해서 양쪽 모두 保壓期の 2 일째(TST $t=3.83$, $df=3$, $p<0.05$; SEI $t=3.97$, $p<0.05$)와 3 일째 밤(TST $t=8.23$, $p<0.01$; SEI $t=9.18$, $p<0.01$), 減壓期の 3 일째 밤에 각각 유의한 단축을 보였다. sleep latency 는 加壓前期에 비해서 해저에서의 2 번째 밤에만 유의하게 길어졌지만 ($t=8.23$, $df=3$, $p<0.01$), REM sleep latency 를 포함한 단계 2,3,4 의 sleep latency 는 모든 保壓期和 減壓期에서 유의한 차를 보이지 않았다.

중도 각성횟수는 모든 해저에서의 밤과 모든 減壓期에서 모두 증가하는 경향을 보였지만, 加壓前期에 비하여 유의차를 보인 것은 減壓期の 4 번째 밤 뿐이었다. 특히, 피실험자 C 는 실험기간 수면 중 5 분에서 10 분 정도의 짧은 시간 각성이 여러 번 발생했다. 수면단계 이행수는 保壓期の 8 일째 밤($t=8.23$, $df=3$, $p<0.05$)과 減壓期の 제 1 일에서 4 일 밤까지에서 유의하게 증가했다. 또한 減壓後期の 제 1 일 및 2 일째 밤에서는 어떤 수면 변수도 加壓前期에 비해서 유의한 차는 보이지 않았다. 8 일간의 保壓期中과 6 일간의 減壓期중에 있어서 각 수면변수의 평균과 표준편차를 각각 구하면, TST 에서는 保壓期の 평균이 430.6(SD= 10.4)분, 減壓期가 428.1(SD=9.3)분으로, 加壓前期 비하여 양쪽 모두 유의한 단축을 보였다(保

壓期 $t=3.48, df=3, p<0.05$; 減壓期 $t=4.61, df=3, p<0.05$). 수면효율은 保壓期の 평균이 89.7(SD= 2.1), 減壓期の 평균이 89.1%로서, 加壓前期에 비하여 양쪽 모두 유의한 감소를 보였다(保壓期 $t=3.66, df=3, p<0.05$; $t=4.99, df= 3, p<0.05$).

Table 1. Sleep Variables During the Saturation Dives with Significance Levels

Experiment day	SPT,min	TST,min	SEI,%	Latency,min			Number of awakings	Number of stages
				Stage1	Stage4	StageREM		
Pre-compression night								
2 nd day	461.1(8.2)	452.5(5. 9)	94.3(1.2)	17.8(6. 9)	26.3(8.2)	98.5(41.7)	2.0(0.8)	14.1(4.5)
3 rd day	467.1(3. 3)	460.4(5. 0)	95.9(1.0)	12.3(2. 2)	22.8(7.5)	69.8(15.5)	2.0(1.8)	10.6(0.4)
4 th day	454.5(13.2)	448.3(14.2)	94.6(3.0)	21.0(12.4)	22.0(5.8)	69.0(13.4)	1.3(0.9)	11.2(0.4)
Saturation night								
1 st day	466.3(6. 8)	452.4(9. 8)	94.3(2.0)	12.8(5.9)	20.3(3.9)	63.7 (13.0)	6.3(3.8)	10.4(2.4)
2 nd day	430.8(14.3) ^a	381.1(32.5) ^a	79.4(6.7) ^a	50.3(14.4) ^a	21.8(6.2)	118.0(67.1)	6.3(4.3)	11.1(1.5)
3 rd day	460.7(7. 1)	432.1(5. 2) ^b	90.0(1.0) ^b	21.5(5.3)	16.0(1.8)	63.0 (26.9)	6.0(3.5)	12.5(3.1)
4 th day	407.5(76.8)	389.1(70.2)	81.1(14.6)	76.0(74.1)	28.0(16.2)	96.3(77.2)	6.5(3.3)	13.0(1.8)
5 th day	463.7(17.2)	444.1(20.5)	92.5(4.2)	17.3(17.2)	20.5(4.7)	76.3(31.5)	5.0(3.5)	12.4(2.1)
6 th day	463.8(21.4)	447.8(21.7)	92.8(3.9)	19.7(19.0)	19.0(3.7)	79.8(20.1)	7.2(3.5)	15.3(3.2)
7 th day	466.6(15.1)	462.4(11.4)	96.3(2.3)	9.5(5.4)	21.8(7.6)	65.8(12.2)	3.3(3.3)	12.3(2.6)
8 th day	466.5(7. 0)	437.3(28.5)	91.1(5.8)	14.8(6.9)	18.3(2.6)	101.3(34.7)	5.3(5.3)	14.6(2.1) ^a
Decompression night								
1 st day	466.5(9.3)	437.1(38.9)	91.0(8.1)	14.8(9.1)	15.7(2.9)	84.0(42.6)	5.3(3.4)	16.2(1.1) ^b
2 nd day	458.6(9.5)	430.7(29.6)	89.7(6.1)	19.0(11.0)	24.7(5.7)	93.8(52.4)	5.0(2.1)	15.3(1.9) ^a
3 rd day	435.1(26.0)	410.7(16.4) ^a	85.6(3.4) ^a	51.6(24.6)	26.7(12.4)	68.0(14.7)	7.5(5.0)	16.2(1.2) ^b
4 th day	448.4(17.8)	428.2(13.4)	89.2(2.7)	38.3(20.9)	28.2(13.5)	76.3(17.2)	4.8(1.8) ^b	15.3(2.1) ^b
5 th day	454.8(21.8)	447.3(20.2)	92.6(3.9)	25.8(21.9)	20.0(4.5)	71.8(21.4)	3.0(2.1)	12.9(2.1)
6 th day	455.0(18.0)	414.4(36.6)	86.3(7.6)	31.5(19.7)	21.3(6.3)	75.0(18.7)	3.8(1.7)	12.9(2.8)
Post-decompression night								
1 st day	456.9(15.2)	437.9(22.1)	94.5(4.0)	24.0(15.5)	16.5(1.0)	69.0(21.1)	3.3(2.5)	12.6(1.8)
2 nd day	450.7(27.0)	447.0(25.1)	93.6(5.8)	16.0(7. 1)	15.8(0.9)	68.7(20.7)	2.8(2.2)	12.8(2.3)
ANOVA								
F ratio	1.86	2.73	2.81	2.66	1.17	1.25	2.83	3.29
P	0.05	0.01	0.01	0.01	NS	NS	0.01	0.01

SPT: Sleep period time, TST: Total sleep time, SEI: Sleep efficiency index, ANOVA: one-way analysis of variance. Values are means and standard deviations in 4 divers.

^a: Significant difference from average for the third and fourth nights of pre-compression($P<0.05$; ^b: $P<0.01$)

중도각성횟수에 있어서는 保壓期の 평균이 5.80 (SD= 2.44)회, 減壓期の 평균이 4.90(SD=2.32)회로 양쪽 모두 유의한 증가를 보였다(保壓期 $t=3.61, df= 3, p<0.05$; 減壓期 $t=3.60, df=3, p<0.05$). 수면단계 이행수에 있어서는 전체 減壓期の 평균만 유의한 증가를 보였다($t=5.43, df=3, p<0.05$). 그렇지만, 각 수면단계 sleep latency 는 保壓期和 減壓期の 평균은, 양쪽 모두 加壓前期에 비하여 유의한 차를 보이지 않았다.

각 수면단계의 평균 출현시간과 그 표준편차를 Fig. 2 에 나타내었다. ANOVA 의 결과, 실험일 간에 유의한 변화를 보였던 것은, 수면에 들어간 후의 각성시간($F=13.28, df=3,54; p<0.01$), 단계 1 의 수면($F=3.79, p<0.05$), 단계 2 의 수면($F=2.47, p<0.05$) 및 단계 4 의 수면($F=3.79, p<0.05$)이었고, 단계 3 수면과 단계 REM 에는 유의한 변화가 없었다.

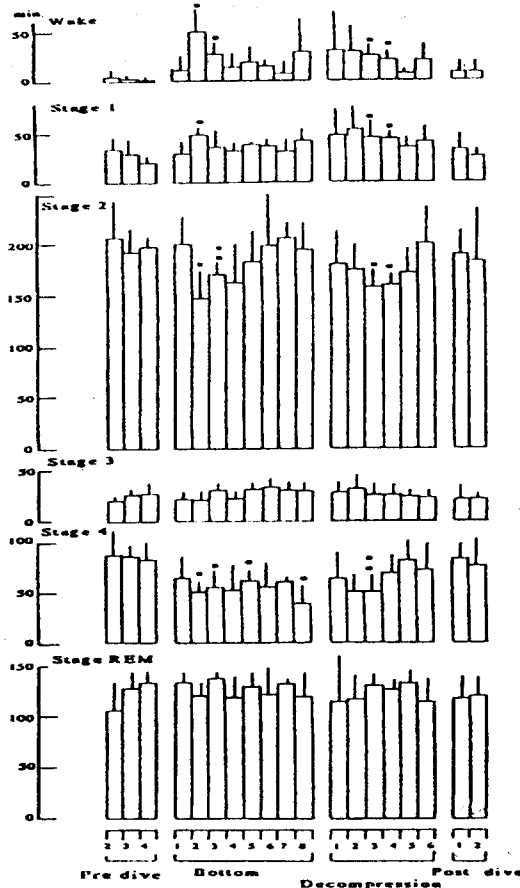


Fig. 2 Absolute amounts(minutes) of different sleep stages(mean±SD) during the dives for the 4 divers. *, Significant difference from average for the third and fourth nights of pre-compression (P<0.05), ** P<0.01

保壓期의 각성시간은 保壓 2 일째($t=3.95, df=3, p<0.05$)와 3 일째 밤($t=3.89, p<0.05$)에서 유의한 증가를 나타내고, 4 일째 이후는 감소하는 경향을 나타내었다. 減壓중 각성시간도 제 5 일째 밤을 제외한 전체의 밤에서 증가하고 있지만, 개인차가 크고, 加壓前期에 비하여 유의한 증가를 보인 것은 減壓 3 일째 ($t=5.48, df=3, p<0.01$)과 4 일째 밤($t=3.22, p<0.05$)뿐이었다. 단계 1의 수면도 실험기간 중 각성과 동일한 경향을 보이고 있었다. 단계 2 수면은 각성과 단계 1 수면의 실험일 간의 분포와는 반대로 保壓期 제 2 일($t=3.65, df=3, p<0.05$)과 3 일째 밤($t=3.83, df=3, p<0.05$)에서 유의하게 감소하고, 그 이후로는 증가하는 경향이 있었다. 그러나, 그것은 減壓期의 제 1 일째 밤에서 다시 감소하고, 그 제 3 일째($t=4.48, df=3, p<0.05$)와 4 일째($t=4.35, p<0.05$)에서 유의한 감소를 나타낸 후, 減壓後에 조금 증가하는 경향이 보였다. 단계 4 수면에 대해서는 保壓期 전체와 減壓의 제 3 일째 밤까지 감소하는 경향이 있었지만, 加壓前期에 비해서 유의한 감소를 나타낸 것은 保壓期의 제 2 일($t=3.55, df=3, p<0.05$), 3 일($t=3.60, p<0.05$), 5 일($t=5.46, p<0.05$), 8 일째 밤($t=3.91, p<0.05$)과 減壓의 제 3 일째 밤($t=18.28, p<0.01$)뿐이었다.

8 일간의 保壓期과 6 일간의 減壓期에 있어서 각 수면 단계의 평균 출현시간과 표준편차를 산출하면, 加壓前期에 비해서 保壓期중의 평균은 각성시간(22.1 ± 12.1 hr, $t=4.06, df=3, p<0.05$)이 유의하게 증가하고, 단계 4 수면의 평균(56.9 ± 8.0 hr, $t=3.91, df=3, p<0.05$)은 유의하게 감소하고 있지만, 단계 1, 2, 3 및 단계 REM 수면에는 加壓前期에 비해서 차는 보이지 않았다. 또한, 전체 減壓期의 평균은 加壓前期에 비해서, 단계 1 수면이 유의하게 증가(46.2 ± 13.6 hr, $t=3.95, df=3, p<0.05$)하고, 단계 2 수면(169.9 ± 18.9 hr, $t=4.77, df=3, p<0.05$)이 유의하게 감소하고 있을 뿐이다.

2) 주관적 수면감

주관적인 수면감의 평균 Z-score 를 Fig.3 에 나타내었다. 실험일간에 유의한 변화를 보인 것은 범주 II 의 maintenance of sleep 인자($F=2.39, df=3, 54, p<0.01$)와 범주 V 의 falling to sleep 인자($F=1.85, df=3, 54, p<0.05$) 뿐이었다. 또한, 범주 IV 의 intergrated sleep factor 의 평균특점에 대해서도, 동일한 변동경향을 보였다

($F=1.61, p<0.1$). 이 3 개의 범주에서는 保壓期 2 일째 밤에서 4 일째 밤까지, 減壓期 중에는 1 일째 밤에서 3 일째 밤까지의 평균득점이 양쪽 모두 낮은 경향을 보였다. 그러나, 범주 I 과 III에 대해서는 실험일 동안에 유의한 변동은 보이지 않았다.

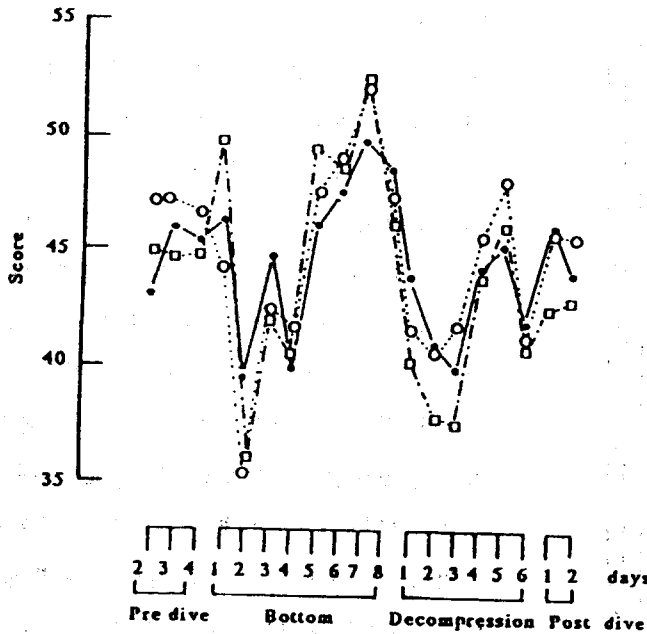


Fig. 3 Variations of average score of self-evaluations of sleep state for four divers during the dives. ●-●, Category II, Maintenance of sleep, □- - □, Category IV, Integration of sleep, ○-○, V, Falling to sleep.

전체 실험기간 중에 있어서 4 명의 피험자에 대한 EEG 수면 parameter 와 수면감의 범주별 점수와의 상관계수를 나타낸 것이 Table 2 이다. 전체수면시간과 수면효율에 대해서는 범주-III을 제외한 나머지 범주간에는 모두 유의한 양의 상관관계를 보였다. 또한, 입면잠시와 REM 수면잠시에 대해서는, 범주-II,IV 및 V가 유의한 음의 상관관계가 나타났지만, 단계 2, 단계 3 및 단계 4 수면잠시에 대해서는 어떤 주관적인 수면상태의 평가라도 유의한 상관관계는 보이지 않았다. 각성시간에 대해서는 범주-III을 제외한 나머지의 범주에서 유의한 음의 상관관계를 보였다. 또한, 단계 4 수면은 범주-I, II,IV에서, REM 수면시간은 범주-I,IV,V에서 각각 유의한 양의 상관관계를 보였다.

3) 주관적 피로감

기상 직후에 기록한 각 피험자의 피로감의 평균 점수의 변동을 나타낸 것이 Fig. 4 이다. 4 명의 피험자 가운데 3 명의 피로감 측도는 加壓前期에 비해서, 加壓期 및 減壓期 중에 크지고 있지만, 다른 1 명에서는 그 변동은 적었다. 4 명의 평균변동을 보면, 加壓期 1 일째 부터 減壓期 종료일까지의 사이에는 거의

길어지는 경향이 있었고, 실험일 상호간에도 유의한 변동이 있었다($F=3.27, df=3,54, p<0.01$).

TABLE 2. Correlation Coefficients Computed Between EEG Sleep Variables and Self-evaluations of Sleep State

	Category I Sleepiness	Category II Maintenance of sleep	Category III Anxiety in morning	Category IV Integration of sleep	Category V Falling to sleep
Total sleep time	0.28 ^b	0.53 ^c	0.14	0.54 ^c	0.51 ^c
Sleep efficiency index	0.32 ^b	0.56 ^c	0.18	0.51 ^c	0.44 ^c
Latency					
Stage 1	-0.10	-0.38 ^c	-0.17	-0.38 ^c	-0.35 ^c
Stage 2	0.05	0.22 ^a	0.12	0.12	0.12
Stage 3	-0.05	-0.06	-0.07	0.09	0.16
Stage 4	-0.08	-0.11	-0.00	0.10	0.13
Stage REM	-0.10	-0.31 ^b	-0.29 ^b	-0.15	-0.24 ^b
Number of awakenings	-0.42 ^c	-0.26 ^a	-0.10	-0.16	-0.16
Number of stage shifts	-0.22 ^a	-0.02	0.01	-0.06	0.06
Amount of different stages					
Stage awake	-0.30 ^b	-0.43 ^c	-0.08	-0.38 ^c	-0.33 ^b
Stage 1	-0.42 ^c	-0.27 ^b	-0.06	-0.19	-0.09
Stage 2	0.23 ^a	0.18	-0.01	0.26 ^a	0.13
Stage 3	-0.02	0.11	-0.19	0.13	0.14
Stage 4	0.30 ^b	0.26 ^a	0.23 ^a	0.25 ^a	-0.26 ^a
Stage REM	0.10	0.47 ^c	0.18	0.39 ^c	0.38 ^c

Significant difference ^a $p<0.05$; ^b $p<0.01$; ^c $p<0.001$.

또한, 피로자각증상의 인자 I 의 점수도 동일한 변동경향을 나타내었지만($F=2.75, df=3,54, p<0.05$), 인자 II, III에 있어서는 실험기간을 통해서 거의 호소하는 것이 나타나지 않았다. 즉, 3 명의 피험자는 加壓期 1 일째부터 3 일째에 걸쳐서, 관절염 증상 만 "2. 확실히 느끼지만 대단하지 않음"으로 평가하고 있고, 그 후부터 減壓期 3 일째 까지는 "1. 거의 느끼지 않음" 라고 평가하고 있다. 다른 1 명의 피험자(A)은 加壓 減壓의 전 기간 중 어떤 증상도 호소하지 않았다.

4. 考察

전체 8 일간의 해저에서의 밤의 평균은 加壓前期에 비해서 전체수면시간의 유의한 단축, 수면효율의 감소, 중도각성횟수와 중도각성시간의 증가, 단계 4 수면의 유의한 감소가 보이고, 종래의 고압 헬륨-산소 환경하에서의 실험결과와도 거의 일치하고 있다[13-17]. 保壓期 전체수면시간의 평균은 430.5 분, 수면효율은 89.7%에 이고, 게다가 입면후의 각성시간(保壓期 평균이 22.1 분, 加壓前期 3.7 분)이나 단계 4 수면량(保壓期 56.9 분, 加壓前期 76.7 분)에 대해서도, 加壓前期에 비해서 별로 큰 차이는 보이지 않았다. 그러나, 이전의 연구에서는 단계 2 의 수면량은 유의하게 증대하거나, 어느 정도 증대하고 있는 것에 비해서, 본 결과의 단계 2 의 수면량은 감소하는 경향이 나타난 점이 달랐다. 따라서, 본 결과에서는 중도

각성과 단계 1 수면이 조금 증가했을 뿐, 단계 4와 단계 2 수면이 희생되고, 단계 3과 REM 수면량에는 거의 변화를 보이지 않았다. 이러한 결과로부터 추측해 보면, 본 결과의 수면 pattern의 불규칙성은 크지 않다고 생각된다. 그러나, 해저 생활중의 어느 시점에서 수면의 불규칙성이 발생할까를 상세하게 검토한 연구는 의외로 적다[16]. 그것은 특수 실험 조건하에서 피험자 수를 많이 가질 수 없다는 한계가 있는 것과 수면 기록을 실험기간을 통해서 전부 얻을 수 없다는 사실 등에 의한 것으로 생각된다. 본 결과에서 피험자 수 4명도 적다고 말할 수 있지만, 다행히도 결원자료가 없었기 때문에, 어느 정도 상세하게 검토하는 것이 가능했다.

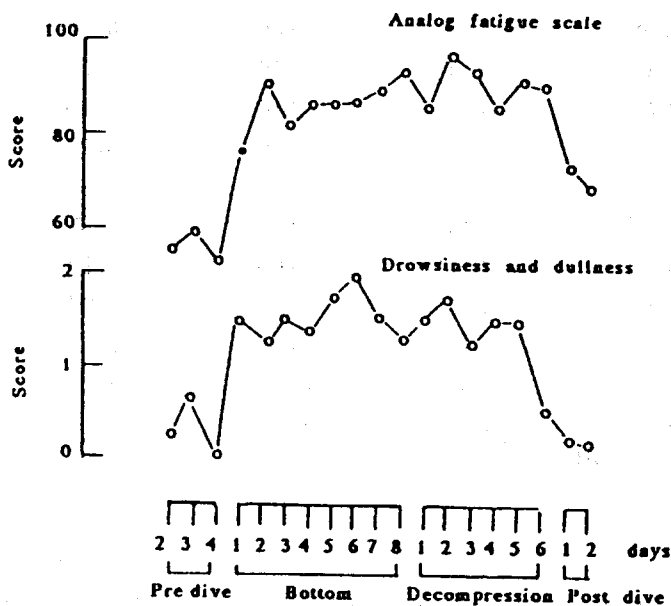


Fig. 4 Mean scores for analogue fatigue scale and subjective feelings of fatigue during the dives. Significant difference from average for the third and fourth days of pre-compression according to the t-test, (○) not significant, (●) significant at the 5% level.

해저에서의 수면 중 2일째 밤부터 4일째 밤에 걸쳐서 수면의 불규칙성은 조금 크고, 그 후 회복되는 경향을 보였다. 그러나, 減壓期의 3일째부터 4일째가 되면, 다시 중도각성시간과 단계 1 수면이 유의하게 증가하고, 수면시간, 단계 2 및 단계 4 수면이 유의하게 단축하고, 그 후 양쪽 모두 회복되는 경향을 보였던 것이 특징이었다. 이것들의 변동은 아마 헬름 자체의 직접적인 영향이라기보다는, 심도 150m의 해저생활에 있어서 여러 가지의 고압환경조건에의 적응과정 또는 減壓환경에의 재적응 과정에서 발생하는 생리적·심리적인 영향에 의한 것이라고 생각된다. 이전의 몇 가지 연구에 의하면, 고압 이뇨효과에 의해서 중도각성시간이 증대되는 것을 지적하고 있다[26].

본 연구에서, 배뇨때문에 수면이 중단된 횟수를 보면, 피험자-B에서는 加壓前期에 이틀, 保壓期중 4일, 減壓期에는 하루의 밤에 배뇨때문에 각성하였다. 다른 3명의 피험자들에서는 保壓 및 減壓期 동안

에 하루 또는 이틀 밤에 1회의 배뇨각성이 보였던 것에 지나지 않았다. 양쪽 모두의 경우도, 배뇨 후에 짧은 시간(10분)내에 다시 수면 상태에 진입했다. 따라서, 본 결과에서 보는 한, 150m 保壓중의 수면의 불규칙은 고압 이뇨효과에 직접적으로 관련되어 각성시간이나 횟수가 늘어났다고는 생각되지 않았다. 그러나 짧은 시간의 각성은 개인간의 차이가 크고, 특히 피험자 C에서 뚜렷하게 큰 차이가 있었다. 그리고 단계 4 수면 또는 SWS(slow wave stage)의 출현량은 고압 헬륨 환경하에서 감소되는 것이 지적되고 있다[13-17]. Rostain et al.[15-16]에 의하면, 심도와와의 관련해서 300m 이상이 되지 않으면 SWS의 감소가 발생하지 않는 것을 지적하고 있다. 그러나, 본 연구에서처럼 150m가 되어도, 단계 4 수면량은 保壓期 1일째 부터 減壓期 3일째까지의 사이에 약간 단축되고 있지만, 減壓期 제 4일째 밤 이후부터는 개선되는 경향을 보였다. 이 단계 4의 단축은 헬륨 자체의 직접적인 영향일까, 아니면 장기간의 구속에 의한 심리적인 스트레스에 의한 것인지는 명확하지 않다.

일반적으로 발열시[27]나 운동, 입욕 후[28-29]에 체온이 상승하면 SWS가 증가하고, 반대로 한냉폭로[30-31]에서 수면의 불규칙성이 크진다는 것이 지적되고 있다. 헬륨자체는 열전도율이 크고[19], 신체를 냉각시키기 쉽기 때문에, 본 실험에서도, 해저생활 중에는 챔버내의 온도를 올려서(30℃), 피험자들이 쾌적한 온도 조건을 유지할 수 있게끔 하였다. 이러한 쾌적 온도 조건을 설정하였다 하더라도, 피험자들에 따라서는 헬륨자체의 미묘한 냉각효과가 있어서, 단계 4 수면의 감소에 영향을 미쳤을 가능성도 부정할 수 없다. 그러나, 실험 기간중 춥거나 덥다고 호소한 피험자들은 없었다. 이 점에 관해서는, 앞으로 피부 온도 및 내부 체온 등을 기록하여, 리듬 변동을 포함해서 상세하게 검토할 필요가 있다고 생각되어 진다.

한편, 길이 척도에 의한 피로감 및 피로자각증상의 I류의 호소점수는, 加壓前期에 비해서, 保壓期 및 減壓期 중에 약간 증대하고, 더욱이 減壓期の 후반부터 감소하는 경향을 보였다. 이러한 사실로부터, 단계 4 수면의 감소는 피로나 심리적 스트레스가 영향을 미쳤을 가능성도 있을 것이라 생각되어 진다. 여하튼, 실험조건에 수반하는 각종 스트레스 원인에 대한 비특이적 현상으로서, 단계 4 수면의 억제가 일반적으로 발생한 것인지도 모른다. 단계 4의 감소는 심도와와의 관계에서, 더 검토해 나가지 않으면 안될 과제일 것이다. REM 수면에 있어서는 고압 헬륨 환경하에서 현저하게 감소한다고 지적하는 연구[13-14] 및 그 변화가 크며 출현량은 일정하지 않다고 하는 연구[26], 더욱이 해저의 밤에서도 안정되고 있다는 보고[12,17]도 있으며, 연구자에 따라서 서로 다른 견해를 보이고 있다. 본 연구에서는 REM 수면의 출현량 및 REM-NREM 수면 주기의 커다란 변동은 관찰되지 않았다. 따라서, 심도 150m의 고압 헬륨 환경하에서는, REM-NREM 수면의 주기성에는 영향을 미치지 않는 것으로 추측되었다. 질문지에 의한 수면의 주관적 평가는 EEG의 생리학적 변수와도 비교적 잘 대응하고 있었다.

특히, Fig. 3에서 보이는 것처럼 범주 II, IV, V의 평균점수는, 保壓期 2일부터 4일째와 減壓期 1일부터 3일째까지 가장 낮으며, 약간 EEG 수면변수의 변동패턴과 유사 하였다. 그러나, 피로자각증상과 피로감 척도에 있어서는, 이와 같은 변동 경향과는 조금 달랐다. 保壓期 첫 날부터 減壓期の 후반까지 그 점수는 약간 증가하였고, 減壓後期에서 급속하게 감소하였다. 따라서, 이러한 것들은 피험자들의 장기간에 걸친 고압 환경하에서의 체재생활에 의한 피로 및 스트레스 등이 반영되어 졌다고 추측되어 지지

만, 그 정도는 그다지 큰 것이 아니라고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Bond, G. F., "New development in high pressure living", Arch. Environmental Health, 9, 310-314, 1964
- [2] Chouteau, J. Saturation diving, The Conshelf Experiment. In Bennett PB and Elliott DH, eds. The physiology and medicine of diving and compressed air work, 491-498, 1969
- [3] Bennett, P. B. & Towse, E. J., "The high pressure nervous syndrome during a simulated oxygen-helium dive to 1,500FT", EEG Clin. Neurophysiol., 31, 383-393, 1971
- [4] Hunter, W. L. & Bennett, P. B., "The causes, mechanisms and prevention of the high pressure nervous syndrome", Undersea Biomed Res., 1, 1-28, 1974
- [5] Vaernes, R., Bennett, P. B., Hammerborg, D., Ellertsen, B., Peterson, R. E., & Tonjum, S., "Central nervous system reactions during heliox and trimix dives to 31 ATA", Undersea Biomed Res., 9, 1-14, 1982
- [6] Roger, A., Cabarro, P., & Gastaut, H., "EEG changes in humans due to changes of the surrounding atmospheric pressure", EEG Clin. Neurophysiol., 7, 152, 1955
- [7] Proctor, L. D., Carey, C. R., Lee, R. M., Schaefer, K. E., & Endo, H. V. D., "Electroencephalographic changes during saturation excursion dives to simulated sea water depth of 1,000 feet", Acrospace Med., 43, 867-877, 1972
- [8] Rostain, J. C., Gardette-Chauffour, M. C., Naquet, R., "HPNS during rapid compressions of men breathing He-O₂ and He- N₂- O₂ at 300m and 180m", Undersea Biomed Res., 7, 77-94, 1980
- [9] Okuda, S., Matsuoka, S., & Mohri, M., "Topographic electroencephalographic studies in a hyperbaric environment - Specific reference to high pressure nervous syndrome", J. UOEH, 10, 247-261, 1988
- [10] Lewis, V. J. & Baddeley, A. D., "Cognitive performance, sleep quality and mood during deep oxyhelium diving", Ergonomics, 24, 773-793, 1981
- [11] Logie, R. H. & Baddeley, A. D. "A trimix saturation dive to 660m studies of cognitive performance, mood and sleep quality", Ergonomics, 26, 359-374, 1983
- [12] Naitoh, P., Johnson, L.C., & Austin, M., "Aquanaut sleep patterns during Tektite 1, A 60-day habitation under hyperbaric nitrogen saturation", Aerospace Med., 42, 69-77, 1971
- [13] Townsend, R.E & Hall, D. A. Sleep, mood and fatigue during a 14-day He-O₂ open- sea saturation dive to 850fsw with excursions to 950fsw. Undersea Biomed Res., 5, 109-117, 1978
- [14] Matsuoka, S., Inoue, K., & Mouri, M., Brain activity in hyperbaric, special reference to the automated analysis of EEG polygraphic sleep of divers at a 31 ATA He-O₂ environment. In, Shiraki, K., Yousef, M. K., eds. Man in stressful environments. Diving, hyper and hypobaric physiology. Springfield IL., Charles C., Thomas, 131-145, 1987
- [15] Rostain, J. C., Gardette-Chauffour, M. C., Gourret, P. J., & Naquet, R., "Sleep disturbances in man during different compression profiles up to 62 bars in helium-oxygen mixture", EEG Clin. Neurophysiol., 69, 127-135, 1988

- [16] Rostain, J. C., Regesta, G., Gardette-Chauffour, M. C., & Naquet, R., "Sleep organization in man during long stays at 30 and 40 bar in a helium-oxygen mixture", *Undersea Biomed Res.*, 18, 21-36, 1991
- [17] Ozawa, K., Hashimoto, A., & Oiwa, H., "Psychophysiological changes in sleep during simulated 200-m heliox saturation dives", *Undersea Biomed Res.*, 18, 397-412, 1991
- [18] Gardette, B., Special instructions for divers at 180 meters depth carried out for the purpose of deep diver selection, Comex, 1981.
- [19] Raymond, L. W., Thalmann, E. D., Lindgren, G., & Langworthy, H. C., Thermal haemostasis of resting man in helium-oxygen at 1-50 atmospheres absolute, *Undersea Biomed Res.*, 2, 51-67, 1975
- [20] Rechtschaffen, A. & Kales, A., A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington, D. C. , Public Health Service, US Government Printing Office, 1968.
- [21] Oguri, M., Shirakawa, S., & Azumi, K., "Statistical analysis of the subjective estimates of sleep quality", *Clin. Psychiatry*, 11, 63-73, 1982 (in Japanese).
- [22] Preston, F. & Bateman, S.C., "Effect of time zone changes on the sleep patterns of BOACB. 707 crews on worldwide schedules", *Aerospace Med.*, 41, 1409-1415, 1970
- [23] Saito, Y., Kogi, K., & Kashiwagi, S., " Factors underlying subjective feelings of fatigue", *J. Sci. Labour*, 46, 205-224, 1970 (in Japanese).
- [24] Kogi, K., Saito, Y., & Mitsuhashi, T., "Validity of three components of subjective fatigue feelings", *J. Sci. Labour*, 46, 251-270, 1970 (in Japanese).
- [25] Agnew, H. W. Jr., Webb, W. B., & Williams, R. L., "The first night effect, an EEG study of sleep", *Psychophysiol.*, 2, 263-266, 1966
- [26] Seki, K., Polygraphic study of divers' sleep in a hyperbaric environment (11-31 ATA, He-O₂). In, Shiraki, K., Matsuoka, S., eds. *Hyperbaric medicine and underwater physiology*, Kitakyushu, University of Occupational and Environmental Health, 141-164, 1983
- [27] Krueger, J. M., Sleep, Neurotransmitters and neuromodulators, eds. Wauquier, A., Gaillard, J. M., Monti, J. M., & Radulovacki, M., Raven Press, New York, 319, 1985
- [28] Horne, J. A., "The effects of exercise upon sleep, A critical review", *Biol. Psychol.*, 2, 241-290, 1981
- [29] Horne, J. A. & Staff, L.H., "Exercise and sleep, Body-heating effects", *Sleep*, 6, 36-46, 1983
- [30] Haskell, E. H., Palca, J. W., Walker, J. M., Berger, R. J., & Heller, H. C., "The effects of high and low ambient temperatures on human sleep", *EEG Clin. Neurophysiol.*, 51, 494-501, 1981
- [31] Palca, J. W., Walker, J. M., Berger, R. J., "Thermoregulation, metabolism, and stages of sleep in cold-exposed men", *J. Appl. Physiol.*, 61, 940-947, 1986