Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.95-105, May 2006

190-m Heliox 해상 포화잠수에서의 수면패턴과 하루주기리듬*

서유진[1] · 최기덕[2] · 松本一弥[3] · 문세근[1] · 장영민[2]

[1]경남대학교 건강스포츠학과 / [2]경남대학교 대학원 산업공학과 / [3]日本広島文教女子大学 心理学科

Sleep Patterns and Circadian Rhythms During the 190-m Heliox Open-sea Saturation Dive

Yoo Jin Seo[1], Ki Duck Choi[2], Kazuya Matusmoto[3], Se Keun Moon[1], Young Min Jang[2]

[1]Department of Exercise Science & Sport Studies, Kyungnam University, Masan, 631-701
[2]Department of Industrial Engineering, Graduate School, Kyungnam University, Masan, 631-701
[3]Department of Psychology, Hiroshima Bunkyo Women's University, Hiroshima, Japan, 731-0295

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine sleep structure and circadian rhythmicity under the hyperbaric environment to obtain fundamental data so that a desirable sleep environment for divers may be organized using actigraphy. The total sleep time(TST), sleep period time(SPT), sleep efficiency(SE), sleep latency(SL), wake after sleep onset(WASO), number of awakenings(NA), length of daytime naps(LDN), and number of daytime naps(NDN) for 5 divers were measured over a period of 55 nights under a He O_2 open-sea hyperbaric saturation dive to 20 ATA with excursions to 21 ATA. The results of the one-way ANOVA, among the experimental days, showed significant effects in TST, SPT, SE, SL, LDN, and NDN. TST and SPT were significantly shortened in the bottom and decompression periods as opposed to the pre-dive period. SE showed the same tendency as TST. SL increased significantly from the bottom period through to the decompression period. WASO and NA with the LDN and NDN increased in the bottom and decompression periods. Individual time series were analyzed according to several statistical methods(autocorrelation function, Fast Fourier transform(FFT), and power spectrum analysis(PSA)) using wrist actigraphy, in order to estimate the prominent circadian period(tau = 24-h) and to evaluate each days differences. The autocorrelation function for the time series of each day showed significant circadian rhythmicity with circasemidian rhythmicity(tau = about 12-h) except the 1st day of the bottom period. The PSA for the time series of each day showed significant, about 25-h circadian rhythmicity with circasemidian rhythmicity, on the 1st, 2nd, and 5th days of the decompression period. The 2nd day of the bottom period showed a significant circadian rhythmicity with circasemidian rhythmicity, about 26-h. However, the remainder also showed significant circadian rhythmicity with circasemidian rhythmicity, about 24-h. The results of FFT showed similar changes to the autocorrelation function.

Keyword: Circadian and circasemidian rhythms, Open-sea heliox saturation dive, Sleep patterns

*본 연구는 05년도 경남대학교 교내연구비 지원과제임.
교신저자: 서유진
주 소: 631-701 경남 마산시 월영동 449, 전화: 055-249-2702, E-mail: yoojin@kyungnam.ac.k

1. 서 론

인간이 압축공기를 호흡하면서 잠수하면, 심도 4 ATA (absolute atmosphere) 정도에서 질소 마취작용이 발생한다는 것은 잘 알려져 있다(Bond, 1964; Bennett, 1982). 그러나 1960년대에 포화잠수 기술이 개발된 이래, 압축공기를 Heliox($He-O_2$)나 Nitrox($He-O_2-N_2$)의 혼합가스로 바꿈으로써, 11 ATA보다 더 깊이 잠수할 수 있게 되었다(Bond, 1964). 그러나 150msw(meter sea water) 이상의 Heliox 상태에서 호흡을 하면 고압신경증후군(high pressure nervous syndrome)이 발생하며(Bennett and Towse, 1971; Rostain, et al., 1997), 서파(slow wave)의 증가나 Fm θ의 출현 등과 같은 뇌파학적 변화(Proctor, et al., 1972; Hunger and Bennett, 1974; Rostain, et al., 1980; Vaernes et al., 1982; Okuda, et al., 1988), 작업수행 능력 감소, 주의력 저하 등의 행동학적 변화(Hunger and Bennett, 1974; Rostain et al., 1980; Vaernes et al., 1982)와 수면장해(Rostain et al., 1997)를 보이고 있음을 보고하고 있다. 포화잠수에 종사하는 잠수사는 장기간에 걸쳐 정상적인 환경이나 생활에서 격리될 뿐만 아니라, 좁은 실내로서 고압 Heliox 상태인 비정상적인 환경에서 생활함으로 인하여 수면부족과 수면의 불규칙성이 발생함으로써 많은 스트레스를 받을 수도 있다(Lewis and Baddeley, 1981; Logie and Baddeley, 1983). Heliox 포화잠수 상태에서의 수면에 관한 선행연구로서는 수면다원검사(polysomnography)를 이용한 것이 있으나(Townsend and Hall, 1978; Rostain, et al., 1988; Rostain, et al., 1991; Seo, et al., 1997; Seo, et al., 1998; Seo, et al., 2001), 액티그라프(actigraph)를 이용하여 Heliox 포화잠수를 하는 동안에 수면연구를 수행한 선행연구는 없었다. 그리고 Heliox 포화잠수 상태에서의 하루주기리듬(circadian rhythm)과 약 12시간리듬(circasemidian rhythm)에 관한 선행연구로서는 체온이나 소변 양(urine flow) 및 소변 중의 전해물의 분비량을 이용한 것이 있으나(Konda et al., 1987), 액티그라프를 이용하여 Heliox 포화잠수를 하는 동안에 하루주기리듬을 분석한 선행연구도 없었다.

본 연구의 목적은 190-m Heliox 해상 포화잠수를 하는 동안에 액티그라프를 이용하여 고압환경 상태에서의 잠수사들의 수면에 관한 질과 양의 패턴과 하루주기리듬을 평가함에 있다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상자

본 실험은 2004년 11월 16일부터 11월 27일까지 우리나라 근해에서 190-m Heliox 해상 포화잠수를 실시하였으며, 11월 18일에는 200-m까지 해상잠수(excursion-dive)를 실시하였다. 본 포화잠수 실험에 참가한 잠수사는 우리나라 해군 규정에 근거하여 1차적으로 공기잠수사로서의 기본 의학적 검사(혈액검사, 소변검사, X-ray 흉부검사, 청력검사, 폐활량검사, 20m 내압검사)에 의하여 선발한 후, 2차로 포화잠수사의 MRI에 의한 골괴사 검진을 실시하였다. 본 포화잠수 실험에 참가한 잠수사는 남성 9명이었으나, 임무 성격상 액티그라프를 착용할 수 없는 잠수사(2명), 액티그라프를 지속적으로 착용하지 않음으로써 그 측정결과를 사용할 수 없는 잠수사(1명), 수면장해자의 수면형태를 보인 잠수사(1명)를 제외한 5명의 잠수사를 대상으로 하였다. 잠수사 5명의 평균 연령(표준편차)은 28.80±2.78세, 평균 신장과 평균 체중은 각각 175.00±4.42cm, 71.40±5.46 kg 이었으며, 평균 포화잠수 경력은 3.20±2.78회 이었다.

2.2 잠수 프로파일

그림 1은 190-m 해상 포화잠수 프로파일을 나타낸 것이다. 포화잠수 조건은 사전관찰기(pre-dive period)에 약 1일간(24.6시간) 관찰을 한 후, 실험 2일째 18시 44분부터 초기가압으로서 5msw까지 1m/min의 속도로 공기가압을 행한 후, 같은 날 18시 48분부터 60m/hr의 가압속도로 헬륨가스를 사용하여 재가압을 시작하여, 동일 3시간 24분 후인 22시 12분에 20 ATA에 도달한 후, 약 1일(21.2시간) 동안 20 ATA를 유지하였다. 그 이후 Compagnie Maritime d'Expertise(COMEX)사의 Stolt Comex Seaway Group Diving manual 감압표(해군본부, 2004)를 이용하여, 실험 3일째 19시부터 감압을 시작하여, 165.2시간 후인 실험 10일째 16시 10분에 대기압(1 ATA)으로 환원하였다. 그 이후 1 ATA에서 약 1.5일간(33.9시간) 사후관찰(post-dive)을 실시하였다. 그리고 각 감압점에서의 감압속도는 190~189msw까지 10m/min, 189~15msw까지 50m/min, 15~0msw까지 80m/min 이었다. 해저체재기(bottom period) 동안의 환경압은 산소분압(PO_2)이 0.02bar, PCO_2가 0.1bar 이하, 헬륨분압은 0.98bar를 유지하였다. 그리고 Heliox의 고압환경에서는 헬륨의 열전도율이 높기 때문에, 잠수사가 쾌적감을 느낄 수 있는 온도와 습도를 각각 30±1℃와 60±10%로 설정하였지만, 사전관찰기와 사후관찰기의 상압(atmospheric pressure)에서는 온도 26℃, 습도

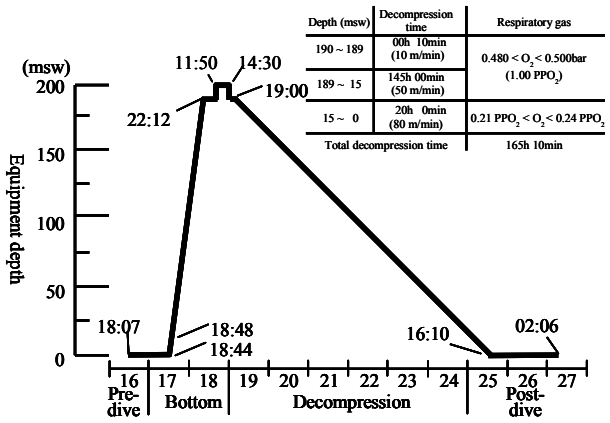

그림 1. 190-m heliox 해상 포화잠수 프로파일

60±10%를 유지하였다. 그리고 전체 실험기간 중의 조명조건은 16시간 점등(07:00~23:00), 8시간 소등(23:00~07:00)의 리듬을 유지하였으나, 실제 평균 취침시각은 23.9±1.10시 이었으며, 평균 기상시각은 7.02±0.28시 이었다.

2.3 실험장비 및 수면파라미터 측정

본 실험에 사용된 장비는 대한민국 해군 OOO함에 설치되어 있는 심해잠수장치(deep diving system: DDS)와 미국 Ambulatory Monitoring사(P. P. Box609, Aedsley, New York USA)의 Mini Motionlogger 액티그라프(AMA-32 CL형, 크기 35×45×13mm, 중량 70g)를 사용하였다. DDS의 실내에는 6인용 제1거주격실(LC 1: Living Chamber 1), 2개의 이동격실(TL 1, 2: Transfer Lock 1, 2), 3인용 제2거주격실(LC 2: Living Chamber 2), 잠수사 이송장치(PTC: Personnel Transfer Capsule)로 구성되어 있으며, EL(Entry lock)에는 화장실 및 세면대가 구비되어 있다. LC 1은 직경 2.2m, 길이 6.5m, 내부용적 24.9m^3, LC 2는 직경 2.2m, 길이 4.4m, 내부용적 15.1m^{3}이다. PTC는 최대직경 2.7m, 높이 2.9m, 내부용적 5.2m^{3}이다. 각 LC에는 길이 210cm, 폭 73cm 침대가 LC 1에 6개, LC 2에 3개가 설치되어 있어 잠수사가 수면과 휴식을 취할 수 있도록 되어 있다. 액티그라프는 수면-활동리듬을 측정할 수 있는 소형 측정기로서, 수면다원검사의 결과와 약 90%의 일치율을 보이고 있으며(Sadeh, et al., 1989), 특히 수면다원검사의 총수면시간과는 94.4%의 상관관계가 있음을 보고하고 있다(Gale, et al., 2005). 수면질과 양의 측정은 액티그라프를 수면-활동모드(zero-crossing mode, 1 epoch/min, 18 amplifier)로 초기화하여 잠수사(5명)의 사전 양해를 얻은 후, 액티그라프를 잠수사 비우세측 손목(non-dominant wrist)에 장착시켜 사전관찰기(1일 밤), 해저체제기(2일 밤), 감압기(decompression period)(6일 밤), 사후관찰기(2일 밤)에 걸쳐서 연 55일 동안 연속적으로 실시하였다. 액티그라프의 수면-활동자료는 Sadeh et al.(1989)에 의해서 개발된 Action-W2 프로그램을 이용하여 수면파라미터인 수면시간(sleep period time (SPT)), 총수면시간(total sleep time (TST)), 입면잠시(sleep latency(SL)), 수면효율(sleep efficiency(SE)), 중도각성시간(wake after sleep onset(WASO)), 중도각성횟수(number of awakenings)), 낮잠시간(length of daytime naps)), 낮잠횟수(number of daytime naps)를 산출하였다.

2.4 자료처리 및 통계학적 해석

본 연구에서 사용된 수면파라미터는 액티그라프와 수면일지(Sleep-log)에서 얻은 것이다. 각 수면파라미터에 대해서 평균과 표준편차를 구하였으며, 각 수면파라미터의 통계적 처리는 실험일을 독립변수, 수면파라미터를 종속변수로 하는 일원배치분산분석을 행하였다. 야간수면변수와 낮잠시간과의 관련성을 분석하기 위하여, 낮잠시간을 독립변수로 낮잠횟수를 제외한 야간수면변수 전체를 종속변수로 하는 단계별 진입 다중회귀분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS 12.0을 사용하였으며, 유의수준은 $p<.05$로 하였다. 한편, 액티그라프의 활동량을 분석하기 위하여 실험 1일째부터 10일째까지 매 10분마다 수면을 "0", 활동을 "10"으로 점수를 부여한 후, 잠수사들의 하루주기리듬과 약 12시간리듬을 파악하기 위하여 일자별로 자기상관분석(autocorrelation function)을 실시하였으며, 시간적 격차(time-lag)는 192단위(32시간)로 하였다. 파워스펙트럼분석(power-spectrum analysis)도 일자별로 분석하였으며, FFT(Fast Fourier transformation)분석도 일자별로 Action-4에 내장되어 있는 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

3. 연구결과

3.1 수면-각성의 시간적 경과의 특징

그림 2는 포화잠수 경력이 8회인 33세 잠수사의 액티그라프 활동량(actogram)을 나타낸 것이다. 검은 부분이 많을수록 활동량이 많은 시간대를, 흰 부분일수록 활동량이 적거나 활동량이 거의 없는 시간대를 나타내고 있다. 가로축은 1일의 시각을 나타내고 있으며, 세로축은 포화잠수의 경과일자를 나타낸 것이다. 따라서 이 그림 자체가 잠수사의 포화잠수를 하는 동안의 활동-휴식패턴을 나타낸 것이

라고 할 수 있다. 사전관찰기에서는 낮 동안에 활동을 하는 시간대가 거의 대부분이며, 해저체재기 동안에는 오전에 주로 휴식을 취하였다. 감압기에서는 오전과 오후에 휴식을 취하는 시간대가 많았으며, 사후관찰기에서는 사전관찰기와 동일하게 낮 동안에 활동하는 시간대가 많았다.

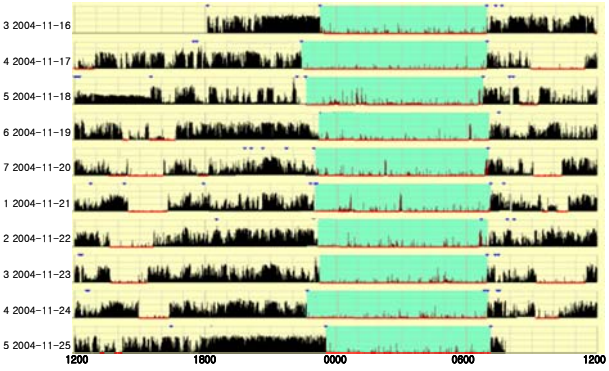

그림 2. 20 ATA heliox 포화잠수의 액토그램(actogram).

3.2 포화잠수 중 수면의 변화

표 1은 각 20 ATA heliox 포화잠수를 하는 동안 각 실험일별로 잠수사 5명의 수면변수의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 수면시간($F_{10,44}$=5.966, p=.000)과 총수면시간($F_{10,44}$=5.474, p=.000)은 실험일에 있어서 유의한 차이를 보였으며, 가압 전인 사전관찰기와 사후관찰기에 비해서 해저체재기 2일째부터 감압기 전체 기간 동안에 편차가 큰 날이 많은 특징을 보였다. 수면시간은 사전관찰기와 해저체제기 1일째에 비해서 해저체재기 2일째와 감압기 사이에 대체로 감소하는 경향을 보였으며, Games-Howell의 사후분석에 의하면 사전관찰기와 해저체재기 1일째에 비해서 감압기 2일째(사전관찰기 1일째: p=.034; 해저체재기 1일째: p=.019)와 감압기 3일째(사전관찰기 1일째: p=.004; 해저체재기 1일째: p=.004)에 현저하게 큰 폭으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 그 이후, 수면시간은 사후관찰기 1일째(사전관찰기 1일째: p=.010; 해저체재기 1일째: p=.003)와 사후관찰기 2일째(사전관찰기 1일째: p=.22 해저체재기 1일째: p=.000)에서는 사전관찰기의 수준으로 복귀되는 경향을 보이고 있으나, 완전히 복귀되지는 않았다. 그리고 총수면시간은 수면시간과 유사한 경향을 보였다.

수면효율($F_{10,44}$=2.192, p=.036)은 실험일에 있어서 유의한 차이를 보였으며, 해저체재기 1일째에 97.80%로 가장 높으며, 해저체재기 2일째부터 감압기 전체기간 동안 감소될 뿐만 아니라, 다른 기간에 비해서 편차가 큰 경우가 많은 특징을 보였으나, Games-Howell의 사후분석 결과 유의한 차이를 보이지는 않았다. 감압기 4일째(87.59%)를 제

표 1. 20 ATA heliox 포화잠수 시 실험일에 따른 각 수면변수의 평균과 표준편차

실험일	수면시간(분)	총수면시간(분)	수면효율(%)	입면잠시(분)	중도각성시간(분)	중도각성횟수	낮잠시간(분)	낮잠횟수
사전관찰기								
1일째	470.6(17.6)	466.8(18.5)	97.2(0.5)	9.6(1.8)	3.6(1.7)	3.0(1.4)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
해저체재기								
1일째	501.2(3.1)	497.6(4.6)	97.8(0.8)	7.6(3.1)	2.4(2.6)	1.8(1.3)	43.4(17.0)	1.8(0.8)
2일째	455.6(70.9)	434.6(70.5)	93.8(2.5)	7.6(4.3)	18.0(13.8)	6.4(3.9)	190.8(38.0)	2.8(1.5)
감압기								
1일째	424.2(54.4)	406.0(50.3)	92.9(2.6)	12(12.8)	19.6(6.6)	6.6(5.5)	146.0(55.9)	3.0(1.7)
2일째	352.0(45.0)	339.8(53.1)	93.0(4.3)	13(11.0)	12.8(10.8)	6.2(5.1)	157.6(39.6)	3.8(1.5)
3일째	372.2(25.9)	352.4(28.4)	91.9(4.6)	11.6(5.2)	20.0(16.6)	7.6(4.9)	171.0(58.4)	2.8(1.1)
4일째	426.4(57.3)	407.6(84.4)	87.6(10.3)	38.2(16.2)	28.0(39.3)	11.4(9.6)	208.6(65.9)	3.2(1.1)
5일째	365.0(56.9)	344.0(53.6)	91.4(4.7)	12.0(4.1)	18.0(15.0)	8.0(4.8)	150.4(115.3)	2.8(2.5)
6일째	370.9(55.6)	359.9(64.4)	92.3(3.7)	17.4(8.3)	10.4(10.8)	6.0(5.7)	190.4(57.9)	2.5(1.1)
사후관찰기								
1일째	404.9(18.7)	396.0(20.6)	95.6(2.1)	9.1(5.3)	8.5(6.2)	4.9(3.3)	183.4(119.1)	2.4(0.4)
2일째	414.3(40.5)	400.5(44.8)	93.3(3.6)	13.8(7.2)	14.1(12.3)	6.2(4.6)	144.0(56.7)	2.5(1.2)
ANOVA								
F ratio	5.966	5.474	2.192	5.642	NS	NS	5.118	2.867
P-value	.000	.000	.036	.000	NS	NS	.000	.008

외한 전체 감압기와 사후관찰기까지의 수면효율은 91.41~95.60%를 유지하였다.

입면잠시($F_{10,44}$=5.642, p=.000)는 실험일에 있어서 유의한 차이를 보였으나, 그 변동경향은 수면시간과는 대체로 반대의 경향을 보였다. 즉 사전관찰기에 비해서 해저체재기 2일 동안 조금 짧아지나, 감압기 전체 기간 동안에는 대체로 길어지는 경향을 보였으며, 특히 감압기 4일째에는 큰 폭으로 길어지나 Games-Howell의 사후분석 결과 유의한 차이를 보이지는 않았다.

중도각성시간과 중도각성횟수는 전반적으로 유사한 경향을 보이고 있으며, 사전관찰기에 비해서 해저체재기 2일째부터 감압기 전체기간 동안에는 중도각성시간이 길고 중도각성횟수도 많았다. 특히 감압기 4일째에는 다른 기간에 비해서 그 시간이나 횟수가 많을 뿐만 아니라 편차도 큰 경향을 보였으나, 실험일 간에 유의한 차이를 보이지는 않았다.

낮잠시간($F_{10,44}$=5.118, p=.000)과 낮잠횟수($F_{10,44}$=2.867, p=.008)는 실험일에 있어서 유의한 차이를 보였다. 낮잠시간은 사전관찰기나 해저체재기 1일째에 비해서 해저체재기 2일째부터 감압기 전체기간에 걸쳐서 중도각성시간이나 중도각성횟수와 유사하게 낮잠시간이 길고 낮잠횟수도 많은 경향을 보였다. Games-Howell의 사후분석 결과, 낮잠시간은 해저체재기 1일째에 비해서 해저체재기 2일째(p=.005), 감압기 3일째(p=.022), 4일째(p=.046), 6일째(p=.043)에 현저하게 길었다. 그리고 낮잠횟수는 해저체재기 1일째에 비해서 감압기 2일째(p=.048), 3일째(p=.049), 4일째(p=.031)에 현저하게 긴 경향을 보였다.

3.3 낮잠시간과 야간 수면변수의 관련성

표 2는 액티그라프에 의한 야간수면변수와 낮잠시간과의 관련성의 결과를 나타낸 것이다. 낮잠시간을 독립변수로, 6개의 야간수면변수(수면시간, 총수면시간, 수면효율, 입면잠시, 중도각성시간, 중도각성횟수)를 종속변수로 하는 단계별 진입 다중회귀분석을 실시하였다. 야간수면 변수 가운데 선택된 변수는 입면잠시(R^2=.393, p=.003)뿐 이었으며, 낮잠시간과 유의하게 양의 상관관계를 보였다.

표 2. 낮잠시간에 대한 단계별 진입 다중회귀분석 결과

독립변수	종속변수	표준화계수
낮잠시간	입면잠시	.393(p=.003)

3.4 액티그라프에 의한 하루주기리듬

그림 3은 각 실험일에 있어서 잠수사 5명의 평균 자기상관분석도(Autocorrelogram)를 나타낸 것으로, 이 분석도를 이용하면 각 실험일에 따른 수면-각성리듬의 결과를 보다 쉽게 알 수 있다(Nishihara, et al., 2002). 잠수사의 평균 자기상관분석도에서 24시간 정점(24-h peak)은 거의 모든 실험일에서 나타났다. 사전관찰기와 사후관찰기에서는 약 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 해저체재기는 해저체재기 1일째에서는 24시간주기만 현저하게 나타났으며, 해저체재기 2일째에서는 약한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 감압기 1일째, 3~5일째에서는 약 12시간주기를 수반한 24시간주기가 현저하게 나타났다. 감압기 2일째와 6일째는 약한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 그러나 10일 동안의 24시간 정점의 진폭에 대해서는 각 실험일마다 유의한 차를 보이지는 않았다.

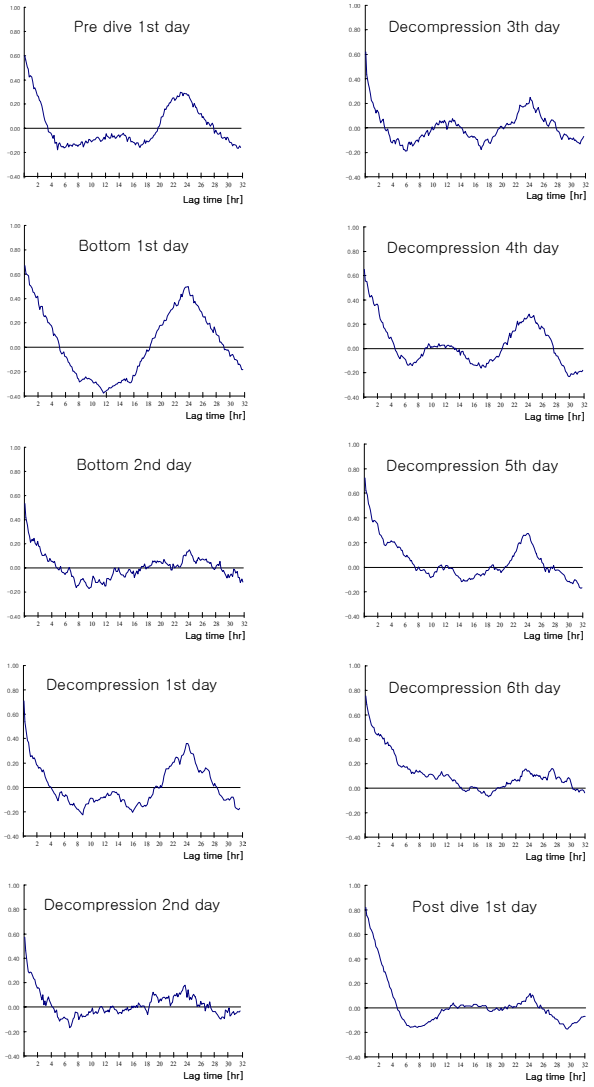

그림 3. 20 ATA heliox 포화잠수 시 각 실험일에 따른 자기상관분석도

그림 4는 각 실험일에 있어서 잠수사 5명의 파워스펙트럼분석의 결과를 나타낸 것으로, 모든 실험일에서 대체로 12시간주기리듬을 수반한 24시간주기리듬보다 조금 긴 하루주기리듬(τ: Tau)을 보였다. 사전관찰기, 해저체재기 1일째, 감압기 3~4일째, 감압기 6일째, 사후관찰기에서는 약 12시간주기리듬(11.57~12.35시)을 수반한 24시간주기리듬(τ 범위: 24.14~24.56시)을 보였다. 그리고 감압기 1~2일째, 감압기 5일째에서는 12시간주기리듬(12.11~12.35시)을 수반한 24시간주기리듬보다 조금 긴 하루주기리듬(τ 범위: 25.19~25.61시)을 보였다. 특히 해저체재기 2일째에서는 하루주기리듬(τ=26.24시)이 가장 긴 경향을 보였다.

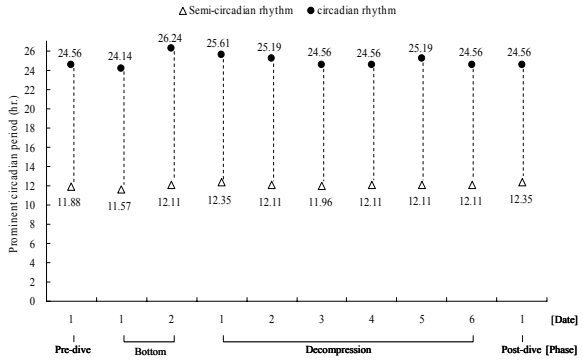

그림 4. 20 ATA heliox 포화잠수 시 각 실험일에 따른 파워스펙트럼분석

그림 5는 잠수사 5명의 FFT 값의 평균을 각 실험일별로 나타낸 것이다. 12시간과 8시간주기리듬을 수반한 하루주기리듬의 진폭(circadian amplitudes)은 사전관찰기, 감압기 3~4일째, 사후관찰기를 제외한 나머지 실험일에서 가장 컸다. 한편, 사전관찰기, 감압기 3~4일째, 사후관찰기에서는 강한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다.

표 3은 FFT를 이용하여 24시간주기리듬과 약 12시간주기리듬의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 12시간주기리듬의 평균 주파수는 실험일에 따라서 유의한 차를 보였으나, 24시간주기리듬의 평균 주파수는 유의한 차를 보이지 않았다. Games-Howell의 사후분석을 한 결과, 12시간주기리듬의 평균 주파수는 사전관찰기에 비해서 해저체재기 2일째에 큰 폭으로 감소하다가 해저체재기 3일째부터 감압기 5일째까지 점진적으로 증가하는 추세를 보였으며, 그 이후 감압기 6일째부터 사후관찰기에 걸쳐서 다시 감소하였으나 유의한 차를 보이지는 않았다. 감압기 6일째와 사후관찰기를 제외하고는 24시간주기의 주파수를 중심으로 한 24시간주기 시각 범위는 21.94~27.92시 이었으며, 12시간주기 주파수를 중심으로 한 12시간주기의 시각 범위는 11.38~11.82시

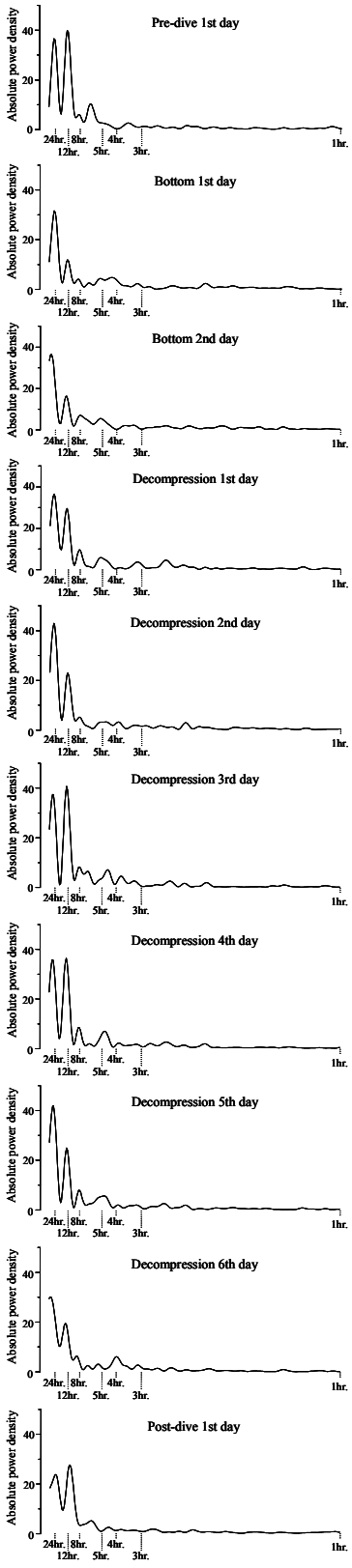

그림 5. 20 ATA heliox 포화잠수 시 각 실험일에 따른 FFT 분석

표 3. 20 ATA heliox 포화잠수 시 액티그라프 활동량의 FFT 분석에서 얻은 12시간과 24시간 주기리듬의 평균과 표준편차

Day		Pre	Bot_1	Bot_2	Dec_1	Dec_2	Dec_3	Dec_4	Dec_5	Dec_6	Pos	ANOVA
Circadian frequency	Mean	33.68	29.82	31.57	36.41	42.93	37.35	35.58	41.98	27.11	22.77	n.s.
	SD	11.78	5.54	10.89	17.38	35.63	20.33	10.71	24.45	16.49	8.54	
Semi-circadian frequency	Mean	36.78	11.07	16.30	29.50	22.01	40.71	36.40	24.94	19.08	21.73	$F_{9,40}$=2.35, p=0.031
	SD	17.72	6.97	6.33	19.47	13.59	19.71	11.17	15.89	14.04	14.04	

이었다. 그리고 감압기 6일째와 사후관찰기의 24시간주기의 범위는 각각 30.72시와 20.48시, 12시간주기의 범위는 12.29시와 10.59시 이었다.

4. 토 의

4.1 액티그라프에 의한 수면변수의 변화

고압 Heliox 환경에서 수면에 미치는 영향을 액티그라프를 이용하여 연구하는 경우에는 수면다원검사보다는 간단하나, 여러 가지의 환경요소가 동시에 변화함으로 그 과정이 복잡하며, 결과를 해석함에도 상당한 어려움이 있다. 환경요소로서는 가압속도, 가압심도, 감압속도, 호흡가스밀도, 환경온도, 폐쇄 환경에서의 장기간 체재로 인한 스트레스 등이 관련이 있는 것으로 생각된다. 그리고 실험설비의 공간이나 실험에 소요되는 경비면에서 보더라도, 이러한 고압실험을 할 때에는 실험대상자의 속성이나 인원수에서 어느 정도의 제약이 수반될 수 밖에 없다. 본 실험은 고압 Heliox 환경이 포화잠수사들의 야간수면에 어떠한 수면파라미터가 영향을 미치며, 특히 낮잠시간은 어떠한 야간수면파라미터와 관련이 있는가에 대해서 검토하였다.

일반적으로 수면을 측정함에 있어서 수면환경이 변화된 환경에서는 총수면시간과 REM(rapid eye movement)수면의 감소, 수면효율의 저하, 중도각성시간의 증가, 입면잠시의 증가와 같이 수면구조 자체가 변할 수 있는데, 이러한 현상은 특히 수면측정의 첫째 날 밤에 현저하게 나타나기 때문에 이것을 첫날밤 효과(first night effect)라고 한다(Rechtschaffen and Verdone, 1964; Agnew et al., 1966). 그리고 최근에 Le Bon et al.(2001)은 첫날밤 효과에 대해서 적어도 2일간은 적용시켜야만 습관적인 수면구조를 유지할 수 있음을 보고하고 있다. 이러한 것으로 미루어 볼 때, 결과를 해석할 수 있는 유효한 밤은 3일째 밤부터 하는 것이 타당할 것이다. 그러나 Ozawa et al.(1991)의 연구에 참가한 잠수사들과 마찬가지로 본 연구의 잠수사들도 이번 실험에서 사용한 것과 유사한 챔버(chamber)에서 지금까지 평균 3.2회 포화잠수 환경에서 실험을 한 결과, 사전관찰기의 첫날밤의 수면구조 변화는 큰 영향이 없는 것을 보고하고 있음으로 본 연구에서는 사전관찰기 1일째 밤부터 유효 자료로 사용하였다. 그리고 대부분의 선행연구는 모의실험 환경에서 다양한 실험을 해야 하기 때문에 잠수사들이 전체 실험기간 동안에 챔버 내에서 실험계획표에 의해서 통제된 생활을 할 수 밖에 없었다. 그러나 본 연구의 Heliox 포화잠수 실험에서는 수면-각성행동을 보다 일상생활과 가깝게 파악하기 위하여 가압을 하는 동안과 21 ATA까지의 해상잠수를 제외하고는 해저체재기 이후부터는 실험기간 내에 어떠한 임무도 부여하지 않고 잠수사들이 자유로이 생활을 하게끔 어떠한 통제도 하지 않았다. 사전관찰기 밤에 비해서 해저체재기 2일째부터 감압기 전체기간 동안 총수면시간과 수면시간의 유의한 단축, 수면효율의 감소, 입면잠시의 증가, 중도각성시간과 중도각성횟수의 증가를 보이는 등 선행연구의 고압 Heliox 모의환경에서의 실험결과와 거의 일치하고 있다(Townsend and Hall, 1978; Rostain et al., 1988; Ozawa et al., 1991; Rostain et al., 1991).

본 연구의 심도와 거의 유사한 Ozawa et al.(1991)와 Seo et al.(2001)의 선행연구의 결과와 본 연구의 결과를 보다 구체적으로 비교해 보면, 본 연구의 해저체재기 동안의 평균 총수면시간(466.1분)은 선행연구의 해저체재기 동안의 평균 총수면시간(Ozawa et al.(1991): 431.5분; Seo et al.(2001): 432.1분)에 비해서 본 연구에서 최대 34.6분 정도 더 길었으나, 감압기 동안의 평균 총수면시간(368.2분)은 선행연구의 감압기 동안의 평균 총수면시간(Ozawa et al.(1991): 451.2분; Seo et al.(2001): 431.3분)에 비해서 최대 83분 정도 더 짧았다. 한편, 해저체재기 동안의 평균 수면효율(95.78%)은 선행연구(Ozawa et al. (1991): 91.0%; Seo et al.(2001): 90.1%)에 비해서 약간 증가하였으나, 감압기 동안의 평균 수면효율(91.5%)은 선행연구(Ozawa et al. (1991): 94.4%; Seo et al. (2001): 90.1%)와 거의 유사한 경향을 보였다. 수면효율이 선행연구와 유사한 경향을 보이고 있는 것은 선행연구와 본 연구에 참가한 잠수사들 모두 포화잠수 유경험자로서 가압에 따른 영향이 거의 없었기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구의 수면일지 조사에 의하면 잠수사들이 육상에서 근무할 때 보다 함상에서 근무할 때에 평소보다 피로로 인

한 애로를 많이 호소하고 있는데, 이것은 Sanquist et al. (1997)이 선상생활을 하는 동안에는 육상생활보다도 최대 24% 정도 더 피로를 느낀다고 보고한 것과 유관한 것으로 생각된다. 즉 선행연구에서는 육상의 챔버에서 측정한 반면 본 연구에서는 육상보다는 피로가 많이 누적될 수 있는 실제적인 환경인 함상 생활이 지속되어 온 가운데 측정함으로써 총수면시간이 선행연구에 비해서 조금 긴 것으로 판단된다.

본 연구의 해저체재기 동안에는 가압과 21 ATA까지 해상잠수를 행하기 위해서 선행연구와 동일하게 통제된 상황에서 실험이 실시되었으나, 감압기에서는 선행연구와 달리 잠수사들이 어떠한 통제도 없이 자유롭게 생활함으로써 심리적 부담이 적고, 많은 휴식과 낮잠을 취할 수 있게 함으로써 선행연구보다 총수면시간이 적은 것으로 판단된다. 본 연구의 해저체재기 동안의 평균 입면잠시(7.6분)는 Ozawa et al.(1991)(12.2분)에 비해서 약간 짧고, 감압기의 평균 입면잠시(7.6분)는 동일한 경향을 보였다. 그리고 감압기 4일째의 입면잠시가 다른 실험일에 비해서 특히 긴 것은 야간수면을 취할 시간대인 23시부터 새벽 3시까지 VTR을 시청한 것에 기인되는 것으로 생각된다.

본 연구의 평균 중도각성시간은 해저체재기 동안에 10.2분으로 Seo et al.(2001)(24.9분)에 비해서 짧았으나, 감압기의 중도각성시간은 18.1분으로 Seo et al.(6.5분)보다 길었다. 특히 감압기 동안에 중도각성시간이 긴 것은 감압기 동안에 잠수사들로 하여금 자유로운 생활이 가능하게 함으로서 선행연구보다는 낮잠시간이 길었기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구의 해저체재기의 평균 중도각성횟수는 4.1회로 선행연구(Ozawa et al.(1991) : 3회; Seo et al. (2001) : 5.6회)와 거의 유사한 경향을 보였다. Alexander et al. (1973)에 의하면 고압이뇨효과(hyperbaric urination effect)에 의해서 중도각성시간이 증가한다는 것을 보고하고 있다. 본 연구의 수면일지의 결과에 의하면, 잠수사 YSK는 배뇨로 인한 각성은 사전관찰기 밤에 1회, 해저체제기에 2회, 감압기에 1회이었다. 그리고 다른 잠수사들도 해저체재기와 감압기 동안에 1~2회 정도 배뇨로 인한 각성이 있었으나, 배뇨를 한 후에 다시 수면을 취하기까지는 평균적으로 10분 이내 이었다. 이러한 것으로 미루어 볼 때, 20 ATA 심도에서 포화잠수를 하는 동안에 발생하는 중도각성시간이나 중도각성횟수가 배뇨로 인한 것과는 직접적인 관련은 없는 것으로 판단된다. 그래서 본 연구의 총수면시간과 수면효율은 배뇨와는 크게 관련성이 없을 것으로 생각된다.

한편, 평균 낮잠시간과 평균 낮잠횟수는 감압기에서 각각 171.1분과 3.0회로 상당히 길었다. 상기에서 언급한 바와 같이, 감압기에서의 총수면시간과 수면효율이 큰 폭으로 감소되는 현상이 나타난 것은 감압기 동안의 평균 낮잠시간이 긴 것과 감압환경에 새로이 적응하기 위한 생리적 · 심리적 영향에 의한 것이라고 생각된다. 현재까지의 선행연구에서는 Heliox 포화잠수에 있어서 낮잠시간과 야간수면변수와의 관련성을 조사한 연구는 없다. 그 주된 이유는 Heliox 포화잠수 실험을 하는 동안에 수면연구 이외에도 다양한 실험을 행하기 위하여 주간에 잠수사들에게 많은 임무를 부여하였기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서 낮잠시간과 야간수면변수에 대해서 다중회귀분석을 실시한 결과, 낮잠시간과 입면잠시 사이에는 관련이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에 참가한 모든 잠수사에게 고압신경증후군은 나타나지 않았다. 이러한 이유는 본 실험에서의 감압속도는 10~80m/h인데 반면, 고압신경증후군을 호소한 선행연구에서는 감압속도가 180~300m/h로 본 연구보다 감압속도가 매우 빨랐던 것에 기인하는 것으로 생각된다(Rostain et al., 1988; Rostain et al., 1991).

일반적으로 발열이 있거나(Kroeger, 1985), 운동이나 입욕 후(Horne, 1981; Horne and Staff, 1983)에 체온이 상승하면 서파수면(Slow wave sleep)이 증가하는 반면, 한랭폭로에서는 수면의 불규칙성이 커진다는 것을 보고하고 있다(Haskell et al., 1981; Palca et al., 1986). 헬륨은 열전도율(thermal conductivity)이 크고 신체를 냉각시키기 쉽기 때문에(Rostain et al., 1991), 본 실험에서는 해저체재기 동안에는 챔버 내의 온도를 30℃로 올려서 잠수사들이 쾌적한 온도 조건이 유지 될 수 있게끔 설정하였기 때문에 실험기간 중 한랭감을 호소한 잠수사는 없었지만, 잠수사에 따라서는 헬륨자체의 냉각효과로 인하여 숙면을 취하는데 영향을 입었을 가능성도 있었을 것으로 생각된다. 이 점에 관해서는 향후 피부온도(skin temperature) 및 심부체온(core body temperature) 등의 측정을 통하여 상세하게 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

포화잠수 환경에서의 수면위생 대책으로서는 다음 사항을 고려해야만 한다. 즉 현재 심해잠수장치 내에 설치되어 있는 2단식 침대의 공간은 좁고, 커튼도 설치되어 있지 않아서 쾌적한 침실 공간으로 되어 있다고 볼 수 없다. 그래서 가능한 한 침실 공간은 넓게 해야 할 뿐만 아니라 개인의 사생활이 최소한 확보될 수 있는 수면환경으로 정비할 필요가 있다. 또한 장기간의 포화잠수를 하는 동안에 야간수면의 질과 양이 부족할 때에는 야간수면에 영향을 미치지 않도록 낮잠횟수, 낮잠을 취하는 시각, 낮잠시간을 고려하여 잠수사가 낮잠을 취할 수 있게 함으로써 야간수면부족을 완화시킬 수 있는 대책을 강구해야 할 것이다.

4.2 액티그라프에 의한 하루주기리듬

대부분의 생리학적(biological) 변수와 행동학적(behavioral) 변수들은 12시간리듬에 기인한 중식 후 효과(post-

lunch effect)를 수반한 하루주기리듬을 보이고 있는 것으로 알려져 있다(Adan, 1993). 중추신경계의 활동은 환경적 자극에 의존되기 때문에 인간의 하루주기리듬인 수면-각성 리듬을 분석하는 것은 매우 중요하며, 그 의존도의 정도는 동조상태를 통하여 예측할 수 있다(Nishihara et al., 2002).

본 연구에서는 포화잠수사 5명을 대상으로 하여 하루주기리듬 분석을 자기상관분석, 파워스펙트럼분석, FFT 분석을 이용하여 그 정점을 비교 분석한 결과, 자기상관분석과 FFT 분석에서 전체 실험기간 동안 24시간주기리듬은 일자별로 유의한 차이가 없었지만 12시간주기리듬은 일자별로 유의한 차이를 보였다. 사전관찰기의 FFT 분석 결과에서는 강한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였으며, 파워스펙트럼분석과 자기상관분석 결과에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 해저체재기의 FFT 분석 결과에서는 2일간 해저체재기 전체기간 동안 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였으며, 파워스펙트럼분석 결과에서는 해저체재기 1일째에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였지만, 해저체재기 2일째에서는 12시간주기를 수반한 26시간주기를 보였다. 자기상관분석에서는 해저체재기 1일째에서는 24시간주기만 현저하게 나타났으며, 해저체재기 2일째에서는 약한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 해저체재기 1일째는 대체로 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보이고 있으나, 해저체재기 2일째는 대체로 12시간주기를 수반한 26시간주기를 보이고 있는 것으로 판단된다. 사전관찰기에 비해서 해저체재기에서 12시간주기리듬이 크게 약화된 현상을 보인 주된 요인은 고압이나 밀폐된 환경에서의 생활 등으로 인한 수면환경 변화가 있었기 때문인 것으로 생각된다.

감압기 1일째와 5일째의 FFT 분석 결과에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였으나, 파워스펙트럼분석에서는 12시간주기를 수반한 25시간주기를 보였다. 이 기간 동안 자기상관분석에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기가 현저하게 나타났다. 그리고 감압기 3일째와 4일째의 FFT 분석 결과에서는 강한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였고, 파워스펙트럼분석에서도 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 이 기간 동안 자기상관분석에서도 12시간주기를 수반한 24시간 주기가 현저하게 나타났다. 그리고 감압기 2일째와 6일째의 FFT 분석 결과에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였고, 파워스펙트럼분석에서는 FFT 분석 결과와 동일하게 감압기 6일째에서 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였으나, 감압기 2일째에서는 12시간주기를 수반한 25시간주기를 보였다. 이 기간 동안 자기상관분석 결과는 약한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 감압기 3일, 4일, 6일째는 대체로 12시간주기를 수반한 24시간 주기를 보이고 있으나, 감압기 1일, 2일, 5일째는 대체로 12시간주기를 수반한 25시간주기를 보이고 있는 것으로 판단된다. 감압기의 1~2일째의 12시간주기리듬이 해저체재기보다 조금 두드러지게 나타났으나 해저체재기에 비해서 큰 변화를 보이지는 않았다. 이러한 현상을 보인 것은 감압기의 1~2일째는 아직도 해저체재기의 기간이 짧음으로 인하여 해저체재기의 조건이 어느 정도 그대로 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 생각된다. 그 이후 감압기 3~4일째에 다시 12시간주기리듬이 강하게 나타난 것은 피험자가 지속적으로 압력이 감소하는 장기간의 감압환경에 어느 정도 적응하기 시작되었기 때문인 것으로 추측된다. 그리고 감압기 5~6일째는 포화잠수 기간이 어느 정도 장기화됨으로써, 잠수사들의 심리적인 압박감, 단조감, 스트레스의 증가로 인하여 감압기 전반부에 비해서 12시간주기리듬이 약간 약화된 것으로 추측된다.

사후관찰기는 사전관찰기와 동일하게 FFT 분석 결과에서는 강한 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였으며, 파워스펙트럼분석과 자기상관분석 결과에서는 12시간주기를 수반한 24시간주기를 보였다. 사전관찰기에 비해서 해저체재기에서 12시간주기리듬이 크게 약화된 현상을 보인 주된 요인은 고압이나 밀폐된 환경에서의 생활 등으로 인한 수면환경의 변화가 있었기 때문인 것으로 생각된다. 이는 해저체재기와 감압기 동안 지속되었던 고압과 밀폐된 환경에서의 생활에서 수면환경이 사전관찰기와 동일한 환경으로 복귀되었을 뿐만 아니라, 잠수사 스스로 포화잠수를 무사히 종료하였다는 심리적인 안도감에 의해 감압기 후반기에 비해 12시간주기리듬이 강하게 나타난 것으로 생각된다.

전체 실험기간 동안 24시간주기리듬에 수반된 12시간주기리듬의 강도는 사전관찰기에서 해저체재기로 가면서 수면환경의 변화에 의해 크게 감소하였고, 감압기 3~4일째에는 다시 사전관찰기 수준으로 복귀하였으나, 장기간의 거주격실 생활에 의한 영향으로 감압기 5~6일째는 다시 약간 감소하였다가 사후관찰기에는 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

하루주기리듬을 분석할 수 있는 대표적인 방법으로서는 자기상관분석, 파워스펙트럼분석, FFT 분석을 들 수 있다. 즉 자기상관분석은 하루주기리듬을 이해하는데 쉽게 활용할 수 있으며, 파워 스펙트럼분석과 FFT 분석은 하루주기리듬의 주기성을 파악하는데 보다 유용한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 결과만으로 자기상관분석, 파워스펙트럼분석, FFT 분석의 유용성에 대한 용도를 언급하는 것은 조금 무리가 있는 것으로 생각된다. 그래서 향후 보다 많은 자료를 이용하여 하루주기리듬을 분석해 봄으로써 보다 효과적인 하루주기리듬 선별법을 알아내도록 함이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 해상고압포화잠수 시에 쾌적한 수면환경을 구축하기 위하여 수면구조와 수면-각성리듬을 분석하였다. 본 연구는 20 ATA 해상 포화잠수에 있어서 액티그라프를 이용하여 수면시간, 총수면시간, 입면잠시, 수면효율, 중도각성시간, 중도각성횟수, 낮잠시간, 낮잠횟수를 산출한 결과, 해저체재기부터 모든 감압기 기간 동안에 유의하게 총수면시간과 수면시간의 단축, 수면효율의 감소, 입면잠시의 증가를 보였으며, 낮잠시간의 증가를 수반한 중도각성시간의 증가를 보였다. 그리고 잠수사의 하루주기리듬을 분석하기 위해 액티그라프의 활동량으로 자기상관분석, 파워스펙트럼분석, FFT 분석을 통하여 실험일에 따른 특징에 대해 살펴보았다. 자기상관분석에 있어서, 해저체재기 1일째를 제외하고는 대체로 약 12시간주기리듬을 수반한 24시간주기리듬을 보였다. 파워스펙트럼분석에서는 감압기 1일, 2일, 5일째에서는 12시간주기리듬을 수반한 25시간 주기리듬을 보였으나, 나머지 기간은 12시간주기리듬을 수반한 24시간주기리듬을 보였다. 특히 해저체재기 2일째는 12시간주기리듬을 수반한 26시간주기리듬을 보였다. FFT 분석 결과는 자기상관분석과 거의 유사한 경향을 보였다.

참고 문헌

해군본부, 북해 포화잠수 지침서 (Group diving Vol. 1), *해군인쇄창*, 1-439, 2004.

Adan, A., Circadian Variations in Psychological Measures: a New Classification. *Chronobiologia*, 20(3-4), 145-161, 1993.

Agnew, H. W. Jr., Webb, W. B. and Williams, R. L., The First Night Effect: an EEG Study of Sleep. *Psychophysiology*, 2(3), 263-266, 1966.

Alexander, W. C., Leach, C. S., Fischer, C. L., Lambertsen, C. J. and Johnson, P. C., Hematological, Biochemical, and Immunological Studies during a 14-day Continuous Exposure to 5.2 Percent O_2 in N2 at Pressure Equivalent to 100 FSW (4 ATA). *Aerospace Medicine*, 44(7), 850-854, 1973.

Bennett, P. B., Inert Gas Narcosis. In P.B. Bennett and D.H. Elliot(Ed), *The physiology and medicine of diving and compressed air work*, 239-261, Balliere-Tindall,, London, 1982.

Bennett, P. B. and Towse E. J., The High Pressure Nervous Syndrome during a Simulated Oxygen-helium Dive to 1500 ft. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 31(4), 383-393, 1971.

Bond, G. F., New Development in High Pressure Living. *Archives Environmental Health*, 9, 310-314, 1964.

Gale, J., Signal, T. L. and Gander, P. H., Statistical Artifact in the Validation of Actigraphy. *Sleep*, 28(8), 1017-1018, 2005.

Haskell, E. H., Palca, J. W., Walker, J. M., Berger, R. J. and Heller, H. C., The Effects of High and Low Ambient Temperatures on Human Sleep Stages. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 51(5), 494-501, 1981.

Horne, J. A., The Effects of Exercise upon Sleep: A Critical Review. *Biological Psychology*, 12 (4), 241-290, 1981.

Horne, J. A. and Staff, L. H., Exercise and Sleep: Body-heating Effects. *Sleep*, 6(1), 36-46, 1983.

Hunger, W. L. Jr. and Bennett, P. B., The Causes, Mechanisms and Prevention of the High Pressure Nervous Syndrome. *Undersea Biomedical Research*, 1(1), 1-28, 1974.

Konda, N., Shiraki, K., Takeuchi, H., Nakayama, H. and Hong, S. K., Seadragon VI: A 7-day Dry Saturation Dive at 31 ATA. IV. Circadian Analysis of Body Temperature and Renal Functions. *Undersea Biomedical Research*, 14 (5), 413-423, 1987.

Kroeger, J. M., Sleep. In A. Wauquier, J. M. Gaiffard, J. M. Monti. and M. Radulovacki(Ed), *Neurotransmitters and neuromodulators*, 319, Raven press, New York, 1985.

Le Bon, O., Staner, L., Hoffmann, G., Dramaix, M., San Sebastian, I., Murphy, J. R., Kentos, M., Pelc, I. and Linkowski, P., The First-night Effect May Last More than One Night. *Journal of Psychiatric Research*, 35(3), 165-172, 2001.

Lewis, V. J. and Baddeley, A. D., Cognitive Performance, Sleep Quality and Mood during Deep Oxyhelium Diving. *Ergonomics*, 24(10), 773-793, 1981.

Logie, R. H. and Baddeley, A. D., A Trimix Saturation Dive to 660m. Studies of Cognitive Performance, Mood and Sleep Quality, *Ergonomics*, 26(4), 359-374, 1983.

Nishihara, K., Horiuchi, S., Eto, H. and Uchida, S., The Development of Infants' Circadian Rest-activity Rhythm and Mothers' Rhythm. *Physiology & Behavior*, 77(1), 91-98, 2002.

Okuda, S., Matsuoka, S. and Mohri, M., Topographic Electroencephalographic Studies in a Hyperbaric Environment -Specific Reference to High Pressure Nervous Syndrome-. *Journal of UOEH*, 10 (3), 247-261, 1988.

Ozawa, K., Hashimoto, A. and Oiwa, H., Psychophysiologic Changes in Sleep during Simulated 200-m Heliox Saturation Dives. *Undersea Biomedical Research*, 18(5-6), 397-412, 1991.

Palca, J. W., Walker, J. M., and Berger, R. J., Thermoregulation, Metabolism, and Stages of Sleep in Cold-exposed Men. *Journal of Applied Physiology*, 61(3), 940-947, 1986.

Proctor, L. D., Carey, C. R., Lee, R. M., Schaefer, K. E. and Van den Ende, H., Electroencephalographic Changes during Saturation Excursion Dives to a Simulated Sea Water Depth of 1,000 feet. *Aerospace Medicine*, 43(8), 867-877, 1972.

Rechtschaffen, A. and Verdone, P., Amount of Dreaming: Effect of Incentive, Adaptation to Laboratory, and Individual Differences. *Perceptual and Motor Skills*, 19, 947-958, 1964.

Rostain, J. C., Gardette-Chauffour, M. C. and Naquet, R., HPNS during Rapid Compressions of Men Breathing He-O_2 and He-N_2-O_2 at 300m and 180m. *Undersea Biomedical Research*, 7(2), 77-94, 1980.

Rostain, J. C., Gardette-Chauffour, M. C., Gourret, J. P. and Naquet, R., Sleep Disturbances in Man during Different Compression Profiles up to 62 Bars in Helium-oxygen Mixture. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 69(2), 127-135, 1988.

Rostain, J. C., Regesta, G., Gardette-Chauffour, M. C. and Naquet, R., Sleep Organization in Man during Long Stays at 30 and 40 Bar in a Helium-oxygen Mixture. *Undersea Biomedical Research*, 18(1), 21-36, 1991.

Rostain, J. C., Gardette-Chauffour, M. C. and Naquet, R., EEG and Sleep Disturbances during Dives at 450 MSW in Helium-nitrogen-oxygen Mixture. *Journal of Applied Physiology*, 83(2), 575-582, 1997.

Sadeh, A., Alster, J., Urbach, D. and Lavie, P., Actigraphically Based Automatic Bedtime Sleep-wake Scoring: Validity and Clinical Applications. *Journal of ambulatory monitoring*, 2(3), 209-216, 1989.

Sanquist, T. F., Raby, M., Forsythe, A. and Carvalhais, A B., Work Hours, Sleep Patterns and Fatigue among Merchant Marine Personnel. *Journal of Sleep Research*, 6(4), 245-251, 1997.

Seo, Y. J., Matsumoto, K., Mohri, M., Park, Y. M. and Matsuoka, S., Effects on Sleep Patterns during Simulated Oxygen-helium Saturation Diving at 180 and 230 m. *Journal of Human Ergology*, 26(1), 61-76, 1997.

Seo, Y. J., Matsumoto, K., Park, Y. M., Mohri, M., Matsuoka, S. and Park, K. P., Changes in Sleep Patterns during He-O_2 Saturation Dives. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 52(2), 141-142, 1998.

Seo, Y. J., Matsumoto, K., Park, Y. M., Mohri, M. and Matsuoka, S., Changes in Sleep Patterns during Simulated Heliox Saturation Dive at 16, 19, and 24 ATA. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(3), 203-218, 2001.

Townsend, R. E. and Hall, D. A., Sleep, Mood, and Fatigue during a 14-day He-O_2 Open-sea Saturation Dive to 850 FSW with Excursions to 950 FSW. *Undersea Biomedical Research*, 5(2), 109-117, 1978.

Vaernes, R., Bennett, P. B., Hammerborg, D., Ellertsen, B., Peterson, R. E. and Tønjum, S., Central Nervous System Reactions during Heliox and Trimix Dives to 31 ATA. *Undersea Biomedical Research*, 9(1), 1-14, 1982.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 서 유 진 ❖ yoojin@kyungnam.ac.kr
일본 동아대학교 생체정보시스템과 박사
현 재: 경남대학교 건강스포츠학과 교수
관심분야: 수면학, 교대근무, 생체리듬

❖ 최 기 덕 ❖ smile9096@hanmail.net
한양대학교 지구해양과학과 학사
현 재: 경남대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 포화잠수, 수면학

❖ 松本一弥 ❖ kmatsumoto@h-bunkyo.ac.jp
北海道大学 학술박사, 徳島大学 의학박사
현 재: 일본 히로시마문교여자대학 심리학과 교수
관심분야: 수면학, 교대근무, 생체리듬

❖ 문 세 근 ❖ kmatsumoto@h-bunkyo.ac.jp
경남대학교 산업공학과 박사
현 재: 경남대학교 건강스포츠학과 겸임교수
관심분야: 수면학, 근골격계질환, 교대근무

❖ 장 영 민 ❖ worldcuptgv@hanmail.net
경남대학교 산업공학과 학사
현 재: 경남대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 수면학, 근골격계질환

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 04월 21일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 04월 24일