

## ●原 著

31絶対気圧ヘリウム酸素飽和潜水時における二次元脳電図  
の変化

小沢浩二\* 大岩弘典\* 辰濃治郎\*\*

31絶対気圧へのヘリウム加圧時に4名の男子職業ダイバーから、13チャンネルの脳波を基準導出法により連続的に測定した。加圧中にすべてのダイバーに、後頭部 $\alpha$ 波活動の変化に引き続き、前頭部もしくは中心部に $\theta$ 波活動の増強が認められた。また、覚醒状態と入眠状態が交互に出現する現象もすべてのダイバーに認められた。31絶対気圧での20時間後に、この $\theta$ 波活動は減弱あるいは消失した。

二次元脳電図の分析により、加圧中に増強した $\theta$ 波活動は3つの型に分類しうることが明らかにされた。第一の型は正中線にそって広汎性に出現する $\theta$ 波であり、Czに最高振幅が認められた。第二の型はFm $\theta$ 活動であり、Fzに最高振幅が認められた。第三の型は前頭部から中心部に見られた $\theta$ 波活動であり、頭蓋頂部鋭波あるいはK-複合によって引き起こされていた。この $\theta$ 波活動には同一部位に $\delta$ 波活動の増強が随伴していた。

これらの $\theta$ 波活動の神経生理学的意味、覚醒状態と入眠状態の交替の原因、そして保圧が脳波に及ぼす効果について論議した。

キーワード：ヘリウム酸素飽和潜水，脳波，二次元脳電図，高圧神経症候群

### Changes in electroencephalographic topograms during 31 ATA helium-oxygen saturation diving

Koji Ozawa\*, Hiromichi Ohiwa\*, and Jiro Tatsuno\*\*

\*JMSDF Undersea Medical Center

\*\*National Defense Medical College

Thirteen channels of EEGs over the scalp by referential derivation were continuously measured from four male professional divers during compression to 31 atmospheres absolute (ATA) by helium. Augmentation of theta activity at the frontal and/or central region occurred in all divers after changes in occipital alpha activity during compression. Alternations of wakefulness and drowsiness also occurred in all divers. The theta activity decreased or disappeared 20 hours after reaching at 31 ATA.

Analysis of electroencephalographic topograms

revealed that the theta activity augmented during compression was categorized into three types: the first type was diffuse theta activity along the midline, which showed the maximum activity at Cz; the second was frontal theta activity, which showed the maximum activity at Fz; and the third was fronto-central theta activity caused by vertex sharp waves or K-complexes. The last theta activity was accompanied by delta activity augmentation in the same region.

Neurophysiological meanings of these theta activities, a possible cause of alternations of wakefulness and drowsiness, and the effect of pressure-holding on EEG were discussed.

#### Keywords :

helium-oxygen saturation diving  
electroencephalogram  
electroencephalographic topogram  
high pressure nervous syndrome

#### 結 言

大深度ヘリウム酸素飽和潜水は様々な生理学

\*海上自衛隊潜水医学実験隊

\*\*防衛医科大学校第二生理学教室

的、心理学的問題を引き起こす。それらの中でも、加圧時に発生する高圧神経症候群(HPNS)は最も重要な問題の一つであり、脳波の変化( $\theta$ 及び $\delta$ 波帯域の増強)、振戦の増強、そして自覚的变化(眠気、めまい、吐き気など)が主な症状とされている<sup>1)~3)</sup>。

特に脳波の変化は、Brauerの報告以来<sup>4)</sup>、多くの大深度飽和潜水シミュレーション実験においてHPNS指標として測定されてきた。その結果、 $\theta$ 波帯域の増強が前頭部優位に出現すること、作業遂行によってさらに増強すること、保圧中に減弱もしくは消失することもあることなどの重要な性質が明らかにされた<sup>1)5)</sup>。

しかしながら、その後の研究では、加圧中の脳波変化を簡便にモニタリングすることが主な目的とされたため、比較的少数の部位からの双極導出脳波を分析するとい方法が用いられてきた<sup>3)6)7)</sup>。従って、脳波変化の基本的性質自体(波形、出現分布、正確な出現深度など)に関しては、現在に至るまで詳細な分析はほとんどなされていない。

筆者らは、加圧中の脳波のモニタリングを有効に行うためには、脳波変化の基本的性質の解明が必要であると考え、7絶対気圧(ATA)という浅い深度の飽和潜水時から多導出の脳波を測定してきた<sup>8)</sup>。そして21ATAへの加圧時には、 $\theta$ 波帯域のみならず $\alpha$ 波帯域にも大きな変化の生ずること、ダイバーにより異なる型の $\theta$ 波の増強が生ずることなどを見いだした<sup>9)</sup>。そこで、今までに得た知見を確認し、かつより高気圧へのヘリウム加圧が脳波に及ぼす影響を検討するために、31ATAヘリウム酸素飽和潜水時に多導出の脳波を測定し、二次元脳電図の変化を分析した。

## 方 法

### 1. 潜水スケジュール

エクスカッション潜水の深度以外は同一の加減圧スケジュールを用いた2回の31ATA飽和潜水を実施した。

まず空気により2ATAまで加圧し、酸素分圧を0.42ATAまで上げた。そのため、窒素分圧は1.56ATAとなった。2ATAからはヘリウムにより13ATAまで加圧し(1.0m/分)、この深度での10時間の保圧の後に31ATAまで加圧した(0.5m/

分)。そして89時間の保圧の後に、246時間をかけて大気圧まで減圧した。なお窒素については制御を行わず自然減少にまかせたため、減圧終了時にはその分圧は0.4~0.6ATAとなった。

### 2. 被 験 者

2回の潜水とも、2名の成人男子職業ダイバーを被験者とした。彼らの平均年齢は25.5(±1.12)歳であった。

### 3. 脳波の測定方法

脳波は、両側耳朶連結( $A_1 + A_2$ )を基準部位として、国際式10-20法による $Fp_1$ ,  $Fp_2$ ,  $F_7$ ,  $F_8$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $Fz$ ,  $Cz$ および $Pz$ の13部位から導出し、多用途脳波計(EEG4321, 日本光電製)を用いて測定した(時定数, 0.3秒; 低域通過フィルタ, 30Hz)。これらの脳波はオフライン処理のためにデータレコーダ(A-821, Sony Magnescale製)に磁気記録された。

脳波は、加圧開始前から31ATA到達時まで連続的に測定した。被験者には、各種作業時や問診時以外は閉眼安静状態を保つように教示を与えた。31ATAでの保圧中、減圧中、そして減圧終了後にも測定を行ったが、本論文では主として加圧中、保圧中に認められた変化について報告する。

### 4. 脳波の分析方法

加圧による脳波の変化を全体的に把握するために二次元脳電図を作成した。さらに、保圧時に関しては脳波の回復過程を検討するために、最も基礎的な脳波である左後頭部 $\alpha$ 波について、パワースペクトルを用いて詳細な分析を行った。これらの処理は医用コンピュータシステム(ATAK450, 日本光電製)を用いて実施した。

#### (1) 二次元脳波電図

データレコーダより再生した脳波から、各種アーチファクトの混入していない部分を選び、全チャンネル同時に5秒毎にA/D変換(サンプリング間隔; 100マイクロ秒)を行って、FFT法によりパワースペクトルを算出した。この処理を連続して4回実施した後に平均して、20秒間の区間に対応する平均パワースペクトルを算出した。平均パワースペクトルの2~20Hzの帯域から2~4Hz, 4~8Hz, 8~13Hz, 13~20Hz毎にパワを加算し、それらを開平した値を $\delta$ 波帯域,  $\theta$ 波帯域,  $\alpha$ 波帯域,  $\beta$ 波帯域に対応する等価電位とした。各帯域毎に、13

の部位の等価電位をもとにして頭部全域にわたる等価電位の分布を補間法<sup>10)</sup>により推定した。そして、電位を等間隔で10段階に分け、各段階毎に異なる色を用いて表示した。二次元脳電図は環境圧が0.5~1.0ATA増加するごとに作成した。

## (2) 左後頭部(O<sub>1</sub>)脳波のパワースペクトル

データレコーダより再生した閉眼安静時のO<sub>1</sub>導出脳波から、10ミリ秒の間隔で1024のデータをサンプルしてA/D変換し、ハニング窓を通過させてからFFT法によりパワースペクトルを算出した(周波数分解能、0.098Hz)。この処理を6回繰り返して加算平均し、約1分間(61.44秒)の脳波に対応するパワースペクトルを算出した後に、 $\alpha$ 波帯域(8.0~12.9Hz)の振幅値(パワーを開平した値)、ピーク周波数および1Hz毎のパワ比を求めた。ただし11Hz以上の成分については寄与が少なかったため、12.9Hzまでの成分を合計してパワ比を求めた。この処理は13ATAでの保圧10時間後、31ATAでの保圧20時間後、減圧終了後のデータについて実施し、加圧前の値との差異を対応のある場合のt-testによって検定した。

## 結 果

### 1. 加圧による脳波活動の変化

加圧前には、すべての被験者に頭頂部から後頭部にかけて $\alpha$ 波活動の優位なパターンが認められた。著明な徐波活動はいずれの被験者にも認められなかったものの、被験者AとDには中心部領域にわずかな $\theta$ 波活動が見られることもあった。

加圧中に各被験者の脳波活動は極めて複雑な変化を示したため、Fig.1にこのような変化を簡略化して示した。1~13ATAへの加圧による最初の変化は後頭部 $\alpha$ 波活動の減弱であり、これはすべての被験者に認められた。被験者Bではこの状態が13ATAまで持続した。被験者Cではこの状態と、逆に後頭部 $\alpha$ 波活動が一過性に増強する状態とが交互に出現し、最終的には後頭部 $\alpha$ 波活動は完全に消失して低振幅徐波が優位の入眠状態となった。一方、被験者AとDでは $\alpha$ 波活動が後頭部の優位性は保ちつつも頭部全域に波及し、広汎 $\alpha$ 波型の傾向を示した。

このような $\alpha$ 波帯域の変化とともに $\theta$ 波帯域の増強が始まり、被験者BにはFzに最大振幅のある、比較的分布の限局した6~7Hzの $\theta$ リズム

ムが、そして被験者AとDにはCzを中心として正中線上に分布の広がる4~7Hzの $\theta$ 波が認められた。4~7Hzの $\theta$ 波はしばしば緩徐な眼球運動を伴い、それは前頭部導出の脳波にアーチファクトとして現れた。

13ATAでの10時間の保圧の後には、すべての被験者に加圧前と類似した $\alpha$ 波活動優位の二次元脳電図が認められた。

しかしながら、13ATAからの再加圧により、被験者BとCでは $\alpha$ 波活動は減弱、消失してしまい、低振幅徐波優位の入眠状態へと変化した。被験者AとDでは、再度 $\theta$ 波帯域の増強が生じた後に、やはり入眠状態へと変化した。被験者A、B、Dでは31ATAに到達するまで、この入眠状態と $\theta$ 波帯域の著明な増強を伴った覚醒状態とが交互に出現し続けた。被験者AとBに認められた $\theta$ 波は、13ATAまでの加圧で出現したものと同型のものであり、被験者Dには前頭部に限局した $\theta$ 波と分布のより広汎な $\theta$ 波の両方が認められた。

被験者Cにも、31ATAに達するまで、入眠状態と覚醒状態とが繰り返し交替する現象が見られた。この被験者では、覚醒時には著明な $\theta$ 波増強は認められなかったものの、しばしば入眠状態から睡眠段階2への移行を示す頭蓋頂部鋭波やK-複合が出現し、それらによって前頭部から中心部にかけて $\theta$ 波ならびに $\delta$ 波帯域に著明な増強が生じた。ただし、体動が頻発したため睡眠段階2が長時間持続することはなかった。なお被験者AにもCと同型の徐波増強パターンが加圧の後半で認められた。

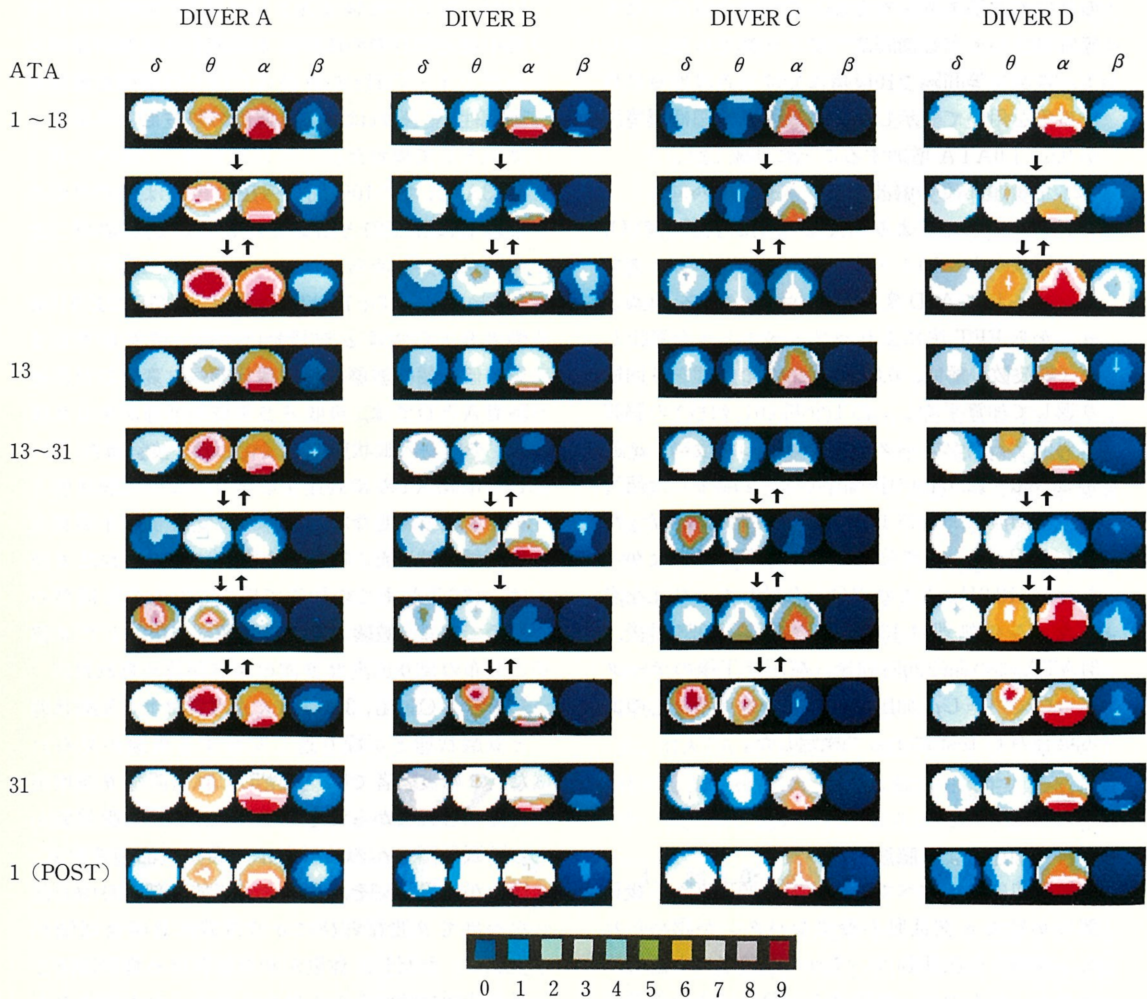
従って、加圧の最終段階においては、波形および分布には相違が認められるものの、 $\theta$ 波帯域の著明な増強がすべての被験者に認められた(Fig. 2, Fig.3, Fig.4)。

いずれの被験者においても、31ATAでの20時間後の二次元脳電図には顕著な徐波活動は消失し、頭頂部から後頭部に $\alpha$ 波活動の見られるパターンに戻っていた。ただし、単純反応時間作業を実施させると、被験者A、B、Dには加圧中に発生したものと同型の $\theta$ 波の増強が認められた。

減圧終了から3日ないし4日後には、全被験者の二次元脳電図が加圧前の状態に復帰していた。

### 2. 保圧時における $\alpha$ 波活動の変化

13ATAでの10時間後、および31ATAでの20



**Fig. 1 Changes in electroencephalographic topograms of four divers**

The upper part of each circle represents the frontal region of the scalp and the lower parts of it represents the occipital region. The left side of it represents the left hemisphere and the right side of it represents the right hemisphere. Activity levels (0–9) of four frequency bands, i.e.,  $\delta$  (2–4 Hz),  $\theta$  (4–8 Hz),  $\alpha$  (8–13 Hz), and  $\beta$  (13–20 Hz), are represented by 10 different colors (blue to red in increasing order), Blue: less than  $3 \mu\text{V}$ . Red: more than  $27 \mu\text{V}$ . 13 ATA: 10 hours after reaching at 13 ATA. 31 ATA: 20 hours after reaching at 31 ATA. 1 ATA (POST): 3 or 4 days after surfacing.

時間後には、いずれの被験者においても  $\alpha$  波活動優位の二次元脳電図が回復していた。しかしながら、 $\text{O}_2$  導出脳波のパワスペクトルを詳細に分析したところ、加圧前に比較すると保圧中では  $\alpha$  波帯域の活動のピーク周波数、パワ比、および振幅値に差が認められた (Table 1)。

13ATA での10時間後には振幅値に有意な低下がみられ、一方、31ATA での20時間後にはピーク周波数に有意な減少が認められた。さらに、31ATA ではピーク周波数の減少に対応して 8.0–8.9 Hz の slow  $\alpha$  成分は有意に増加していたのに対し、10.0–10.9 Hz 成分は有意に減少してい

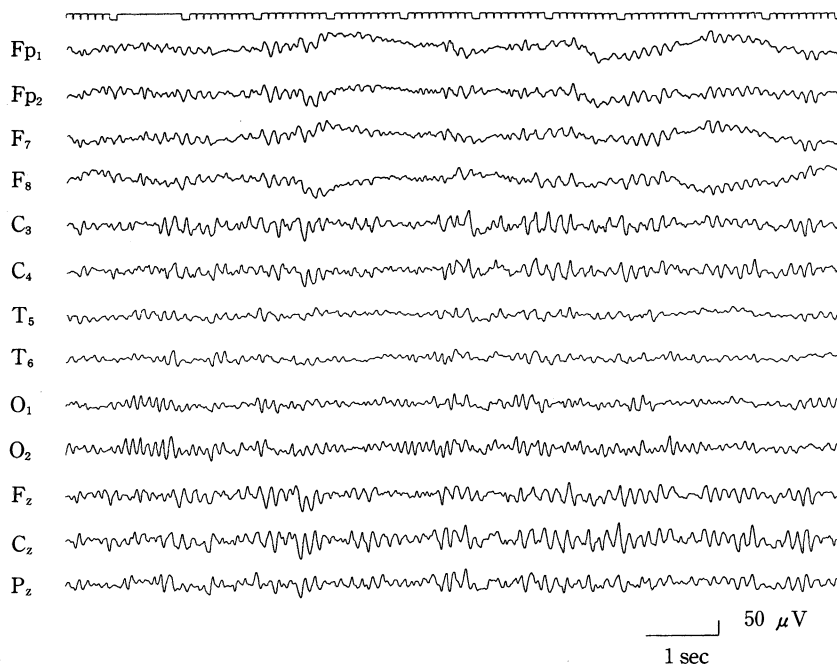


Fig. 2 EEGs of diver A at 30~31 ATA

Theta activity (4~7Hz, 20~100 $\mu$ V) predominated especially at the central region. This theta activity was sometimes accompanied by slow eye movement which caused slowly changing artifacts in frontal leads. Similar theta activity was found in diver D at the early stage of compression.

た。

減圧終了から3ないし4日後にはO<sub>1</sub>導出脳波の $\alpha$ 波活動は加圧前と同様の性質を示した。

### 3. 自覚症状の変化

眠気がすべての被験者に共通した自覚的な変化であり、おおむね $\alpha$ 波帯域の活動が低下した時期に発生し、31ATA到達時まで持続した。23ATA以深では被験者A, B, Dにめまい、身体の動揺感が認められた。

被験者BとDに出現したFzに最大振幅を示す $\theta$ 波は、目視によっても同定が容易であるため、その出現が明確な時に自覚的、身体的変化について問診を行ったが、この脳波活動に対応した異常は認められなかった。

## 考 察

### 1. 加圧による脳波活動の変化について

#### (1) $\alpha$ 波帯域の変化

加圧によりすべての被験者に認められた最初の変化は後頭部 $\alpha$ 波活動の減弱であり、被験者Bではこの状態が13ATAまで持続した。被験者Cでは、 $\alpha$ 波活動は一過性の増強を示しながら完全に消失してしまい、低振幅徐波優位の状態となった。このような $\alpha$ 波活動の減弱、ならびに低振幅徐波優位の状態への移行は、覚醒から、傾眠、入眠への覚醒水準の変動によって生ずる脳波の変化<sup>11)</sup>と一致する。一方、被験者AとDでは、 $\alpha$ 波活動は逆に増強し広汎性 $\alpha$ 波の状態へと変化した。広汎性 $\alpha$ 波は様々な脳機能の低下時にしばしば認められる現象であるが、正常成人においても傾眠や入眠に伴い出現することもあるとされている<sup>12)13)</sup>。従って、加圧初期に認められた一連の $\alpha$ 波活動の変化は、覚醒状態から傾眠、入眠状態への大脳活動の変化を示していると解釈することができる。

すべての被験者において、13ATAでの保圧中

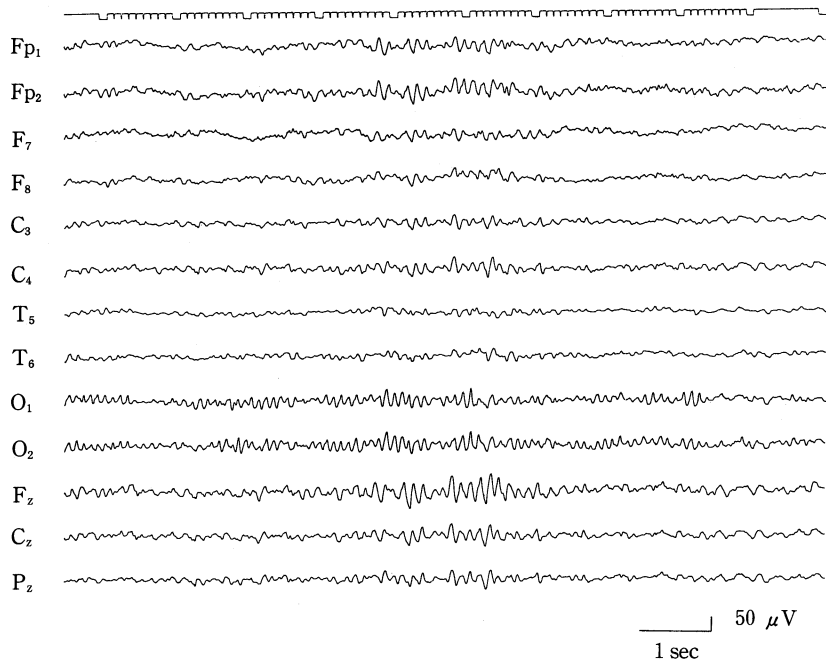


Fig. 3 EEGs of diver B at 30~31 ATA

Frontal midline theta activity (6~7Hz, 20~120 $\mu$ V), which showed the maximum amplitude at Fz, intermittently appeared. The same theta activity was found in diver D at the late stage of compression.

に回復していた $\alpha$ 波活動が、加圧開始とともに再び低振幅徐波状態に変化したことから、加圧による中枢神経機能の変化の一つが覚醒水準の低下であることは確実であると言えよう。大深度飽和潜水時に共通する自覚症状の変化として、眠気の発生や注意力の低下が指摘されており<sup>11,14)</sup>、これらはこのような $\alpha$ 波帯域の変動を反映しているのではないかと推測される。

#### (2) $\theta$ 波活動の増強

筆者ら<sup>9)</sup>は、21ATAへの加圧時に各被験者の二次元脳電図には異なる型の $\theta$ 波の増強が見られることを指摘した。今回の31ATAへの加圧時にも、 $\alpha$ 波帯域の変化に引き続き3種類の $\theta$ 波帯域の増強が認められた。そして、これらの性質の異なる $\theta$ 波増強が同一被験者に認められることもあった。

これらの $\theta$ 波帯域の増強のうちで、その出現機序が最も理解しやすいのは被験者Cに、そして加圧の後半で被験者Aにも見られた頭蓋頂部鋭波お

よびK-複合による型である。低振幅徐波優位の背景活動の上に頭蓋頂部鋭波が多発し、ついでK-複合が出現する脳波活動は、入眠期(睡眠段階1)から睡眠段階2への移行を示している。すなわち、加圧が低振幅徐波への変化に引き続き、更なる大脳活動水準の低下を引き起こしたために生じた脳波変化と考えることができる。加圧中には、しばしば耐え難い眠気、微小睡眠や睡眠発作といった自覚的、行動的变化が生ずるとされているが<sup>11,14)</sup>、これらの症状は睡眠段階2の発生に対応しているのではないかと推測される。

被験者Bに、そして加圧の後半に被験者Dにも認められた、Fzに最大振幅を示す比較的に分布の限局された6~7Hzの $\theta$ リズムは、その波形、分布の性質から松岡ら<sup>15)</sup>の指摘したようにFm $\theta$ と考えられる。Rostainら<sup>9)</sup>も加圧中に増強する $\theta$ 波は前頭部優位であることを報告している。彼らはこの $\theta$ 波の性質について説明を行っていないものの、彼らの示した脳波図からは、この $\theta$ 波も

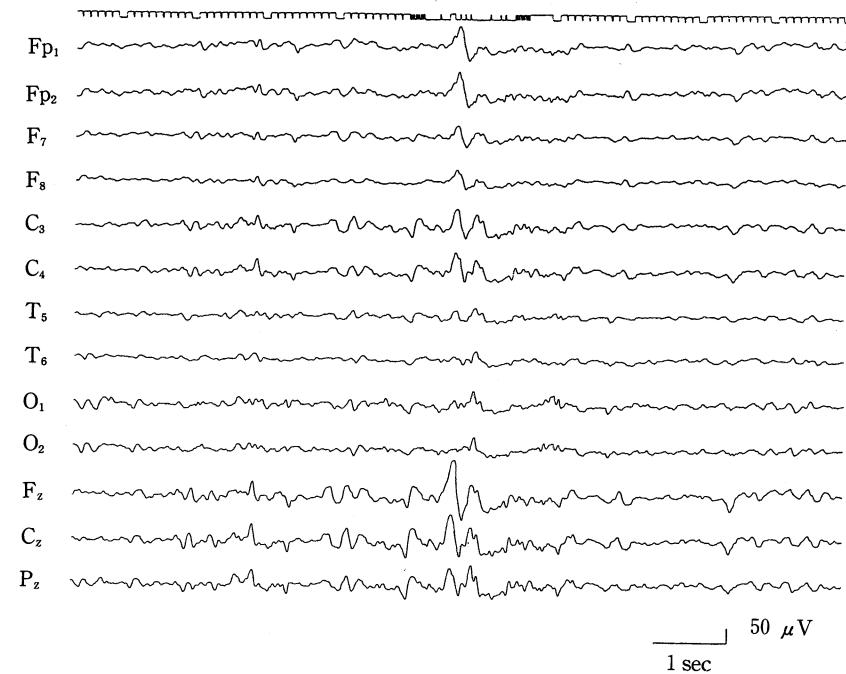


Fig. 4 EEGs of diver C at 30~31 ATA

Vertex sharp waves and a K-complex, which indicated transition from sleep stage 1 to sleep stage 2, were noted. The same EEG pattern was found in diver A at the late stage of compression.

Fm $\theta$ であると推測される。

Fm $\theta$ は、まれな脳波ではあるものの、神経学的、精神医学的に正常な被験者に認められる脳波であり、精神活動時、作業遂行時から入眠時にいたる様々な意識状態で出現すること、注意機能に関連していることなどの性質が明らかにされている<sup>16)</sup>。筆者ら<sup>17)</sup>は、加圧時に出現するFm $\theta$ は傾眠状態で多発し、自覚的および行動的異常を伴わないこと、その出現率が高いこと以外には大気圧下で正常な被験者に見られるFm $\theta$ と同様の性質を示すことを明らかにした。そして、この脳波は加圧による覚醒水準の低下に伴って二次的に出現したのではないかと推論している。松岡ら<sup>15)</sup>は、加圧中に出現するFm $\theta$ はHPNS、特に自覚症状の変化と密接に関連していると述べているが、今回の31ATAへの加圧時においてもFm $\theta$ は傾眠状態で多発し、しかもこれに随伴する自覚的および行動的異常は認められなかった。従って、Fm $\theta$ の出

現はやはり覚醒水準の低下に関連した現象であり、それ自体は中枢神経機能の悪化を示唆する脳波活動ではないと考えられる。

被験者AとDに出現した、Czを中心に広い領域に増強の認められた $\theta$ 波については不明な点が多い。これと同一と思われる $\theta$ 波の増強が500mへの加圧時に認められたことがCorriolら<sup>18)</sup>によっても報告されている。

Kilohら<sup>11)</sup>は、若年成人には中心部に若干の $\theta$ 波が見られることがあり、この $\theta$ 波は傾眠時に増強されることがあるとしている。被験者AとDには加圧前にも若干の $\theta$ 波が認められたこと、そして加圧時の $\theta$ 波の増強が、 $\alpha$ 波活動の変化および緩徐な眼球運動の出現<sup>13)</sup>から軽度の覚醒水準の低下が想定される状態で出現したことを考慮すると、この $\theta$ 波増強がKilohらの報告した $\theta$ 波と同一の現象である可能性もある。しかしながら、彼らはこの $\theta$ 波の性質については詳述していない

**Table. 1 CHARACTERISTICS OF OCCIPITAL ALPHA ACTIVITY IN EYE-CLOSED STATE AT PRE-COMPRESSION, PRESSURE-HOLDING STAGES AND AFTER DECOMPRESSION**

VARIABLE	PRESSURE (ATA)			
	1 (PRE)	13 <sup>a</sup>	31 <sup>b</sup>	1 (POST) <sup>c</sup>
Peak Frequency(Hz)	9.9±0.19	9.5±0.56	9.0±0.41**	9.9±0.24
Amplitude (μV) <sup>d</sup>	33.0±5.48	24.8±6.58***	27.8±7.82	36.8±5.47
Power Ratio (%) <sup>e</sup>				
8.0-8.9 Hz	11.5±13.57	24.6±17.31	36.2±13.56***	14.2±10.38
9.0-9.9 Hz	51.0± 9.94	52.8± 5.21	50.3± 6.16	52.4±13.24
10.0-10.9 Hz	34.2±11.58	21.3±18.48	11.2± 9.63*	30.3±15.78
11.0-12.9 Hz	3.4± 1.36	1.1± 0.93	2.3±2.90	2.8± 1.32

Values are means and standard deviations in four subjects.

<sup>a</sup>10 hours after reaching at 13 ATA. <sup>b</sup>20 hours after reaching at 31 ATA.

<sup>c</sup>3 or 4 days after surfacing.

<sup>d</sup>Square root of total power within 8.0 to 12.9 Hz.

<sup>e</sup>Percentage of summed power in each frequency range to total power within 8.0 to 12.9 Hz.

\*0.01 < p < 0.05. \*\*0.005 < p < 0.01. \*\*\*p < 0.005. (Significant difference from the corresponding values obtained during pre-compression 1 ATA condition.)

め、現時点ではこの点について結論を出すことはできない。

中心部には midline  $\theta$  rhythm という脳波が出現することもある<sup>19)</sup>。この脳波活動は中心部を中心に正中線上に優位に出現する4~7Hzの様々な波形の $\theta$ 波であり、被験者AとDに出現した $\theta$ 波に類似している。Westmorelandら<sup>19)</sup>は、この脳波は特定の神経学的疾患とは対応していないものの、何らかの神経機能の異常を示す現象であると推論している。被験者AとDに出現した $\theta$ 波増強が midline  $\theta$  rhythm と同一の現象であり、加圧による神経機能の何らかの異常を反映している現象なのか、あるいは傾眠にともなう正常範囲内の $\theta$ 波増強なのかについては今後、さらに検討する必要がある。

以上のように、加圧中には性質の異なる $\theta$ 波帯域の増強が生じたが、これらには共通する性質も認められた。それは、これらの $\theta$ 波増強のいずれもが覚醒状態から傾眠、睡眠状態への移行とともに出現したこと、すなわち覚醒水準の低下と関連していたことである。

睡眠状態への移行に伴って、覚醒時には認められなかった様々な異常脳波活動が出現することが

あり、解放現象(release phenomenon)<sup>20)</sup>と呼ばれている。これは、覚醒状態では潜在していた活動が、覚醒水準の低下に伴い抑制機能が弱まるために出現を始める現象であろうと考えられている。加圧中に Cz を中心に増強した $\theta$ 波もこのようなメカニズムによって出現したのかもしれない。また、今後の飽和潜水では、本研究で認められたものとは異なる型の脳波変化が解放現象として出現する可能性も否定できない。

### (3) 覚醒と入眠の交替

今回の潜水で認められた脳波変化の大きな特徴は、いずれの被験者においても13ATA以降になると覚醒状態と入眠状態とが交互に出現し続けたことである。このような脳波状態の周期的な変動は、加圧による覚醒水準の低下という生理的要因だけでは説明は不可能であり、心理的要因も考慮する必要があると考えられる。

つまり加圧中には、耳抜きを行う必要があること、加圧関節痛など様々な身体症状も発生するため身体の状態に注意を向けざるを得ないこと、さらには装置の異常の有無などにも注意を払う必要があることなどの理由により、ダイバーは常にある程度の覚醒水準を維持しなくてはならない状況



に置かれていると考えられる。このような覚醒を維持しようとする心理作用と、ヘリウム加圧がもたらす入眠促進作用との相互作用により、加圧中に覚醒状態と入眠状態の交替現象が生じたのではないかと推測される。一部のダイバーにみられた  $Fm\theta$  は、このような特殊な心理状態と関連がある<sup>17)</sup>と考えられる。

## 2. 保圧の効果について

保圧中に HPNS の諸症状が消失もしくは減弱する現象は、HPNS 研究の当初から観察されており<sup>1)</sup>、大深度への加圧の途中に保圧段階を設定することの根拠とされてきた。にもかかわらず、保圧の有効性についての実証的な研究は極めてわずかである<sup>3)</sup>。今回、保圧後の二次元脳電図を分析したところ、13ATA での10時間後および31ATA での20時間後には、加圧中に増強していた徐波活動が消失して  $\alpha$  波活動優位のパターンが回復していた。従って、脳波に関しては保圧段階中に何らかの順応が生ずることが確認されたと言えよう。

しかしながら、脳波活動が保圧中に完全に加圧前の状態に戻ったわけではなく、 $O_2$  導出の  $\alpha$  波活動には若干の変化が認められた。すなわち、13ATA では振幅値の低下が、そして31ATA ではピーク周波数の減少と slow  $\alpha$  波成分の増加が認められた。このような現象は比較的長時間の保圧後においても軽度覚醒水準の低下した状態が持続していたことを示している。安静時には認められなかった  $\theta$  波が反応時間作業の負荷により誘発されたことも、この軽度の覚醒水準の低下と関連があるのではないかと推測される。保圧が脳波活動に及ぼす効果については、より詳細な研究が必要であろう。

### [参 考 文 献]

- 1) Bennett, P.B.: The high pressure nervous syndrome in man. In Bennett, P.B. & Elliot, D. H. (Eds.), *The Physiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work*. London: Baillière Tindall. 1982. 262—296
- 2) Török, Z.: Behavior and performance in deep experimental diving with man—a review of recent work. In Bachrach, A.J. & Matzen, M.M. (Eds.), *Underwater Physiology VIII*. Bethesda, MD: Undersea Medical Society. 1984. 739—760
- 3) Lemaire, C. & Rostain, J.C.: The High Pressure Nervous Syndrome and Performance. Marseille: Octares. 1988. 11—25. 55—56
- 4) Brauer, R.W.: Seeking man's depth level. *Ocean Industry*. 3: 28—33. 1968
- 5) Rostain, J.C. & Charpy, J.P.: Effects upon the EEG of psychometric Performance during dives in helium-oxygen atmosphere. *EEG Clin Neurophysiol*. 40: 571—584. 1976
- 6) Vaernes, R., Hammerborg, D., Ellertsen, B., Peterson, R. & Tonjum, S.: Central nervous system reactions during heliox and trimix dives to 51 ATA, DEEP EX 81. *Undersea Biomed Res*. 10: 169—192. 1983
- 7) Bennett, P.B., Janke, N., Kolb, E. & Schwieger, E.: Use of EEG digital filtering and display for HPNS diagnosis. *Undersea Biomed Res*. 13: 99—110. 1986
- 8) Tatsuno, J., Ohiwa, H. & Ozawa, K.: Changes in EEG topography induced by compression with hyperbaric helium-oxygen gas. In Bove, A.A., Bachrach, A.J. & Greenbaum, L. J., Jr (Eds.), *Underwater and Hyperbaric Physiology IX*. Bethesda, MD: Underwater and Hyperbaric Medical Society. 1987. 285—296
- 9) Ozawa K. & Tatsuno, J.: Continuous changes in electroencephalographic topograms and auditory reaction time during simulated 21 ATA heliox saturation dives. *Ann Physiol Anthropol*. 8: 247—266. 1989
- 10) 上野照剛, 松岡成明: 徐波を示す異常脳波の抽出とその表示法, *医用電子と生体工学*, 14: 118—124. 1976
- 11) Kiloh, L.G., McComas, A.J., Osselton, J. W. & Upton, A.R.M.: *Clinical Electroencephalography* (4th ed.). London: Butterworth. 1981 (中川泰彬 監訳 臨床脳波学, 新潟, 西村書店, 1986. 52—57)
- 12) 島園安雄, 喜多村孝一, 大友英一 (編) 脳波アトラス 1 正常/睡眠/脳波賦活, 東京, 文光堂, 1977. 74—76
- 13) 一瀬邦弘, 小島卓也, 安藤晴延, 島園安雄, 安藤克巳: 覚醒水準の変動に伴う閉眼時眼球運動の性質, *精神医学*, 20: 537—544. 1978
- 14) Fructuse, X. & Rostain, J.C.: HPNS: a clinical study of 30 cases. In Shilling, C.W. & Beckett, M.W. (Eds.), *Underwater Physiology VI*. Bethesda, MD: FASEB. 1978. 3—8
- 15) 松岡成明, 奥田直也, 和田伸一, 角谷千登士, 石川忠広, 山本栄, 毛利元彦: 高圧環境下のトポグラフィ, *臨床脳波*, 29: 584—593. 1987
- 16) 山口雄三:  $Fm\theta$  (III), *臨床脳波*, 25: 425—431. 1983

- 17) 小沢浩二, 西野秀治: 高圧ヘリウム酸素混合ガス環境下で出現する  $Fm\theta$  の特徴, 臨床脳波, 32: 85—90, 1990
- 18) Corriol, J., Chouteau, J. & Catier, J.: Human simulated diving experiments at saturation oxygen-helium exposures up to 500 meters: electroencephalographic data. *Aerospace Med.* 44: 1270—1276. 1973
- 19) Westmoreland, B.F. & Klass, D.W.: Midline theta rhythm. *Arch Neurol.* 43: 139—141. 1986
- 20) 大熊輝雄: 臨床脳波学(第3版), 東京, 医学書院, 1983. 48—49