

31 ATA, He-O₂環境下のダイバーの姿勢振戦の発現

関 邦博^{*1} 岩崎麻理子^{*2} 桑原信之^{*3}
成相隆之^{*4} 他谷 康^{*1} 中山英明^{*5}

海中産業の分野における水中作業は、ダイバーによって行われているのがほとんどである。深海ダイバーにとっての大きな問題に、He-O₂環境下で出現するHPNS（高圧神経症候群）の克服がある。HPNSの一つの指標である振戦（ふるえ）は人間において16ATA以上のHe-O₂環境下で発現する事が知られている。

本実験は31ATA He-O₂環境下にダイバーを加圧速度25m/hで暴露し、被験者の右手中指に minor tremor センサーを装備、姿勢振戦を記録し、平圧下（1ATA）と高圧下（31ATA）の比較を行った。

その結果、視察評定では、振幅に若干の増大が認められた。周波数とパワースペクトル分析では13～40%の有意な増大が示された。また、姿勢振戦の周波数については有意な変化は見られなかった。ダイバーの自覚的な訴えから企図振戦についての測定も必要であることが示唆された。

Modification of Postural Tremors under a Hyperbaric Heliox Environment at 31 ATA in Four Divers

Kunihiro Seki^{*6} Mariko Iwasaki^{*7} Nobuyuki Kuwabara^{*8}
Takayuki Nariai^{*9} Yasushi Taya^{*6} Hideaki Nakayama^{*10}

The deeper men dive, the greater the increases in new physiological problems. However, thanks to the wisdom of man, these problems are solved as they appear. Concerning ambient pressure diving with an He-O₂ gas mixture, a pressing problem awaiting research development is the examination of HPNS. Tremors are one of the indications of HPNS. It is known that tremors are manifested in a hyperbaric He-O₂ environment under ambient pressure greater than 16 ATA (Bennett, 1965; Zaltzman, 1968). As for

*1 潜水技術部

*2 岐阜大学医学部

*3 上智大学生命科学研究所

*4 九州健康総合センター（元：九州芸術工科大学人間工学教室）

*5 産業医科大学

*6 Manned Undersea Science and Technology Department

*7 Gifu University, School of Medicine

*8 Sophia University

*9 Kyushu University of Design School

*10 University of Occupational and Environmental Health

mammals other than man such as rats, guinea pigs, cats and monkeys, physiological tremors are known to occur in a hyperbaric environment of a He-O₂ gas mixture. As a result of studies undertaken in Europe and the U.S.A., it is reported that physiological tremors of 8-12 Hz appear between 16-31 ATA for men and between 41-51 ATA for other mammals, and that its amplitude increases as ambient pressure augments (Bechrach and Bennett 1973; Hugon, Fagni, 1981; Hugon, Fagni and Seki, 1983).

As to the compression speed and pressure, both are considered to be contributing factors in HPNS manifestation.

The present report deals with a comparison of postural tremors in four divers before and after compression.

1. 序 言

海中産業の分野における水中作業は、ダイバーなくしては成立しない (Delauze 1983)。そのため欧米の海中産業界は、ダイバーによる水中作業システムの研究開発を精力的に進めている。

環境圧潜水でダイバーが深く潜水すればするほど、新しい生理学的な問題が発現してきた。しかし、人間の叡知は、これらの問題を一つ一つ解決してきた。今日の He-O₂ の環境圧潜水で、最も研究開発の急がれているテーマとして高圧神経症候群 (HPNS) の解明がある。

HPNS の一つの指標である振戦 (ふるえ) は、人間において 16 ATA 以上の高圧 He-O₂ 環境下で発現することが知られている (Zaltzman 1967; Bennett 1965 他)。人間以外のは乳動物 (ラット、モルモット、ネコ、サル等) でも高圧 He-O₂ 環境下で生理的振戦の発現することが認められている。その後、欧米での研究の結果、人間においては 16~31 ATA、は乳動物では 41~51 ATA から生理的振戦と呼ばれる 8~12 Hz の振戦が出現し、しかも圧力の増大とともに大気圧状態よりも振幅の増大が生じるという報告がされている (Bachrach & Bennett, 1973; Hugon Fagni & Seki, 1983)。HPNS の発現に関与すると考えられている加圧速度や圧力自体については、多くの報告がある。

本実験では、高圧 He-O₂ 環境下に毎時 25m の加圧速度で 1 ATA から 31 ATA まで 12 時間で直線加圧を行い、加圧前と加圧後のダイバーの姿勢振戦について計測を行ったので報告する。また従来から動物実験によって得られた実験成果と本実験結果の関連性についても、合わせて考察を行った。

2. 方 法

本実験は、海洋科学技術センターに設置されている潜水シミュレータのうち S-1, D-1, W のチェンバーを用いて行った。

シードラゴン-V と名付けられた有人潜水シミュレーション実験のダイブプロファイルを図 1 に示す。

1 ATA, Air の環境下で 3 日間の事前観察 (predive) を行ったのち、毎時 25m の加圧速度で 1 ATA から 31 ATA まで直線加圧を行った。31 ATA 下に 3 日間の保圧を行った。その後 31 ATA から 1 ATA まで 13 日間かけて減圧を行った。そして 1 ATA, Air の環境下で 3 日間の事後観察を行った。減圧速度は、米海軍の減圧表を若干修正して使用した。

本実験に参加したダイバーの身体的特徴を表 1 に示す。

測定方法は、被験者の右手中指背面上に Minor

DIVE PROFILE

SEADRAGON-V. 31ATA

Nov. - Dec. 1982

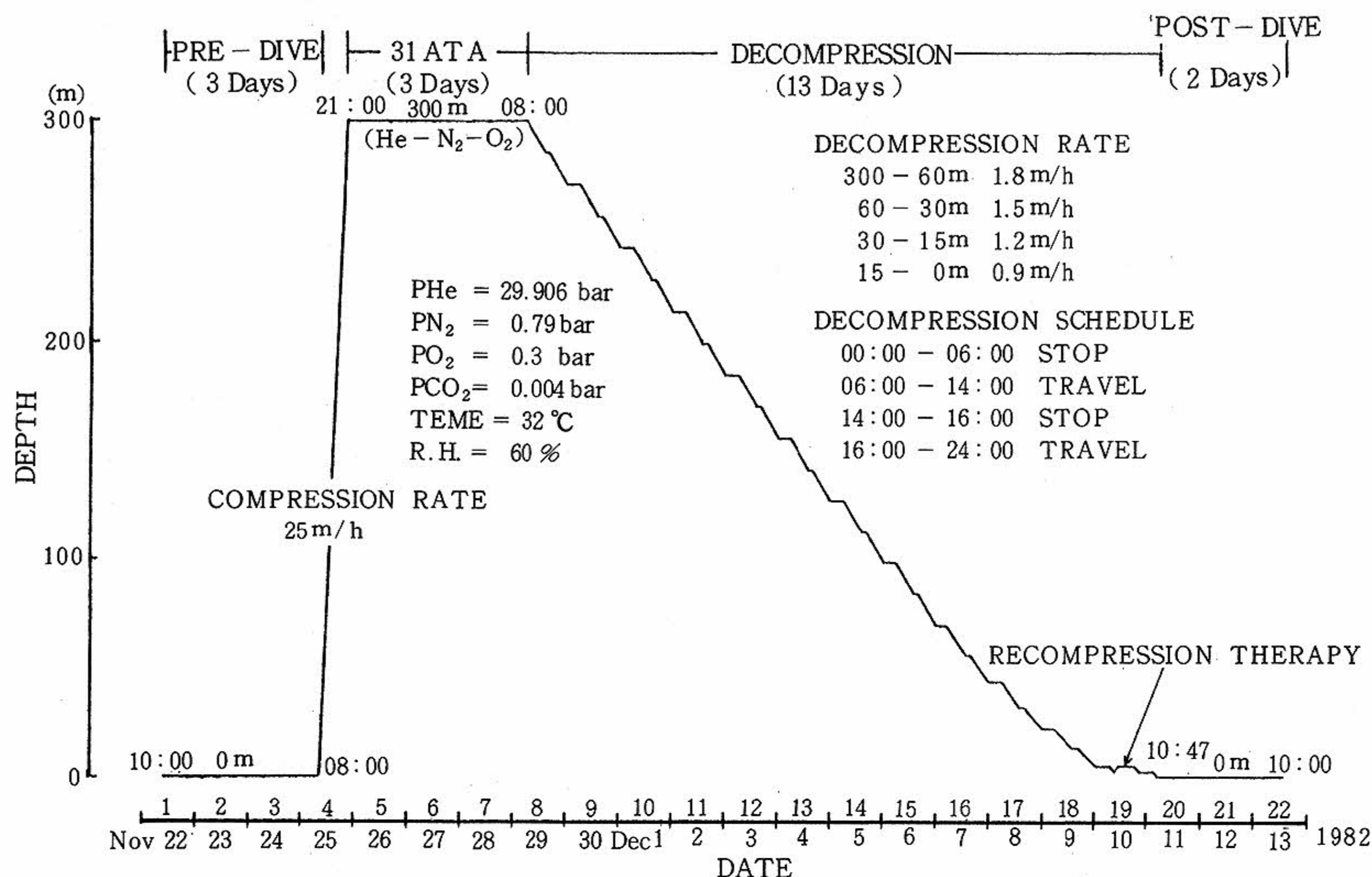


図1 潜水相 (シードラゴンV 1982年 11月~12月)

表1 ダイバーの身体的特徴

Characteristics of subjects SEADRAGON-V
Nov.-Dec.1982

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Surface Area (m ²)
A	39	182.6	86.4	2.08
B	31	168.5	63.0	1.72
C	30	172.6	65.4	1.78
D	41	162.7	62.5	1.67

Tremor センサー (日本光電 MT Pickup) を接着テープで固定, 同時に右前腕橈骨筋上に銀皿電極 (日本光電) 2 個を 2 cm 間隔で電極用ペーストおよび接着テープで装着した。振戦と筋電図 (双極誘導) をチェンバー外のポリグラフ (日本光電 EEG-4214) に記録した。測定時における被験者の姿勢は静止立位とし, 片腕を指先まで伸ばした状態で前方へ肩の高さに 1 分間保持させ記録した。次に両手を

おろし 1 分の休憩。この動作を開眼開眼にて繰り返しおのおの 3 回記録した。チェンバー内への指示はスピーカーを介して行った。

加圧前の 1 ATA での測定値を対照群とし, 31 ATA の測定値との比較検討を行った。また, 測定時刻は 14:00 ~ 15:00 および 19:00 ~ 20:00 の 2 回とした。周波数分析は, MT ピックアップの信号をデータレコーダーに記録し, ATAC1200 (日本光電) を使用して 0 ~ 20 Hz まで 0.5 Hz 間隔でパワースペクトル分析を行い, 算出した。

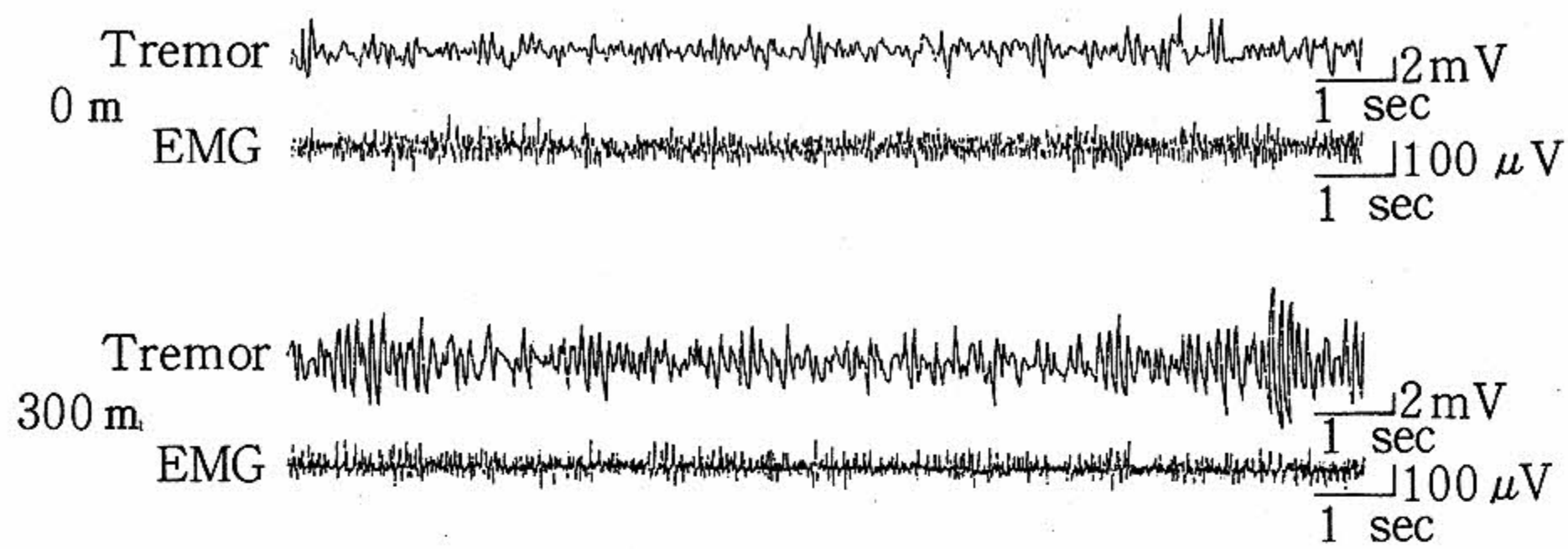
3. 結 果

3.1 視 察 評 定

各被験者の開眼-閉眼および 1 ATA と 31 ATA における姿勢振戦 (postural tremor) と筋電図の結果を図 2 ~ 図 5 に示した。

視察評定では Subj. A と Subj. C では 31 ATA 下での振戦は明らかに周期性を示し, 振幅の増大が認められた。

Subj. A Eye Opened



Subj. A Eye Closed

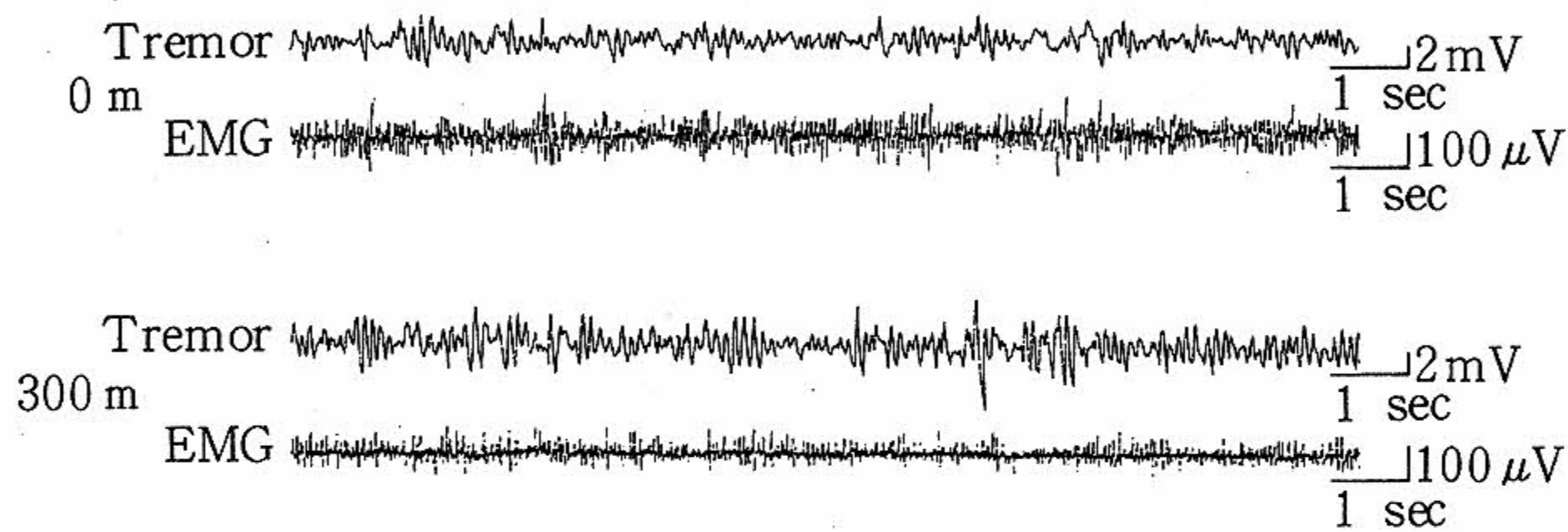
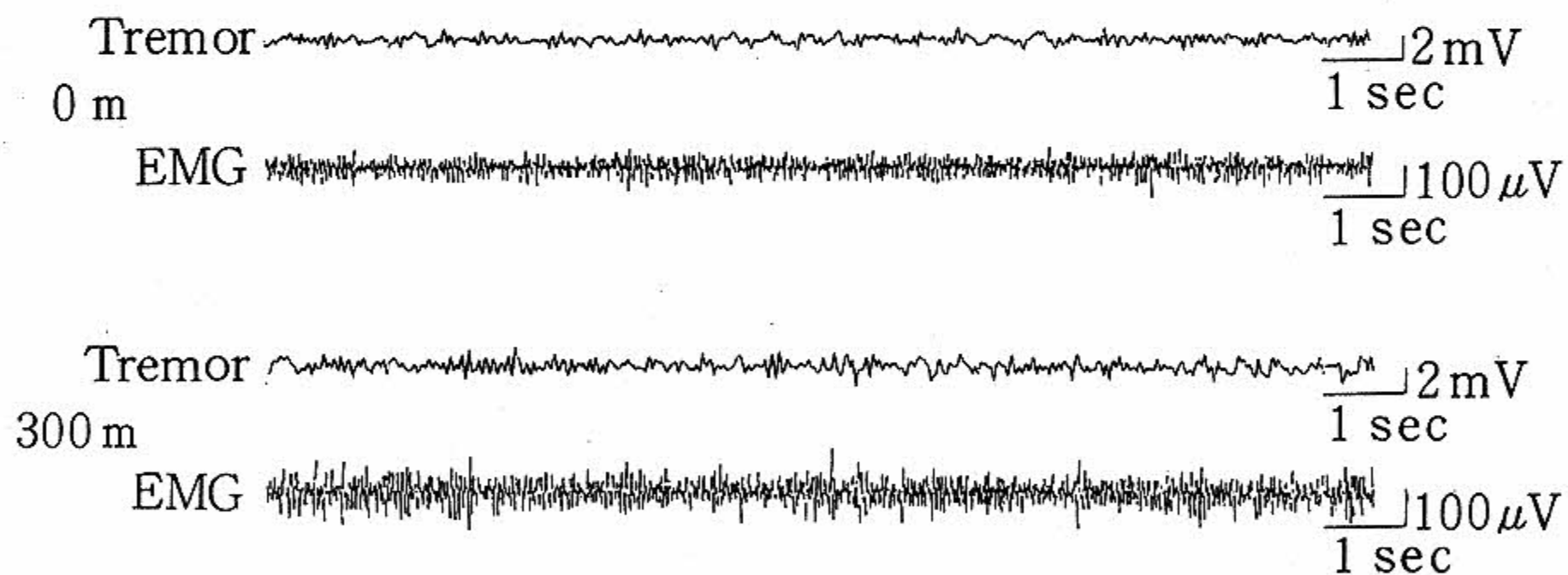


図2 被験者Aの開眼, 閉眼時における振戦

Tremor with eyes opened and closed at 0 m and at 300 m

Subj. B Eye Closed



Subj. B Eye Opened

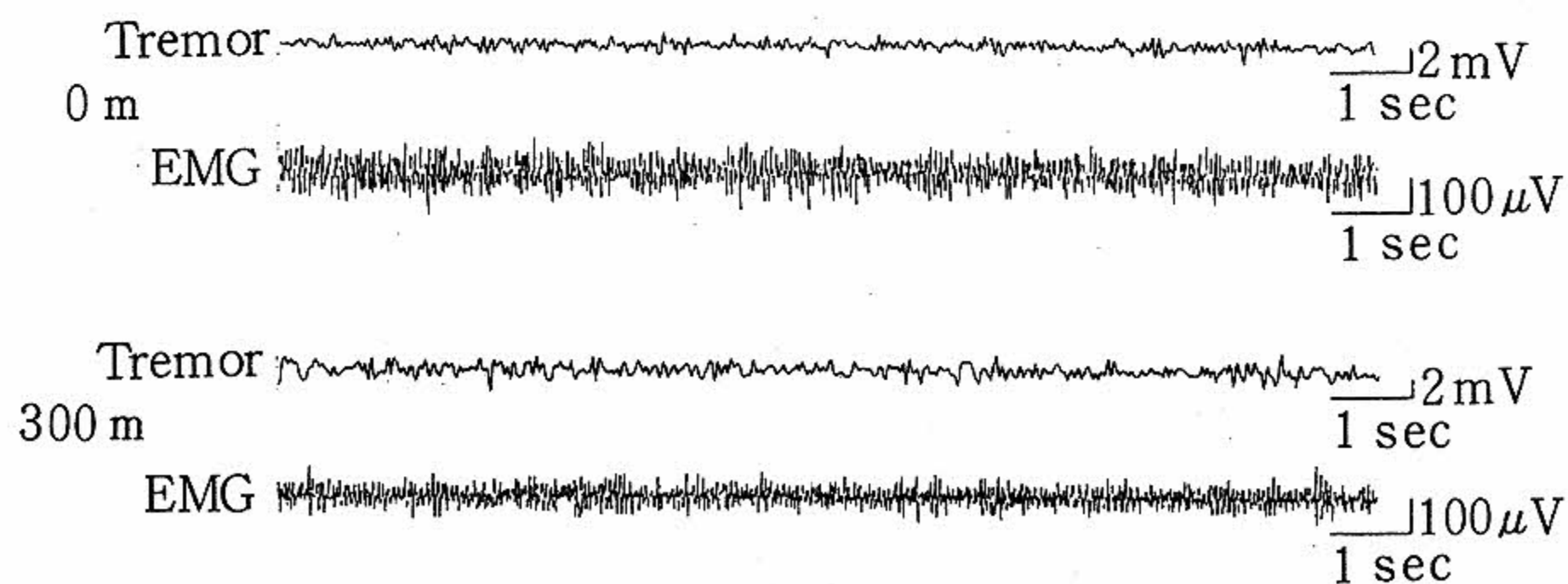
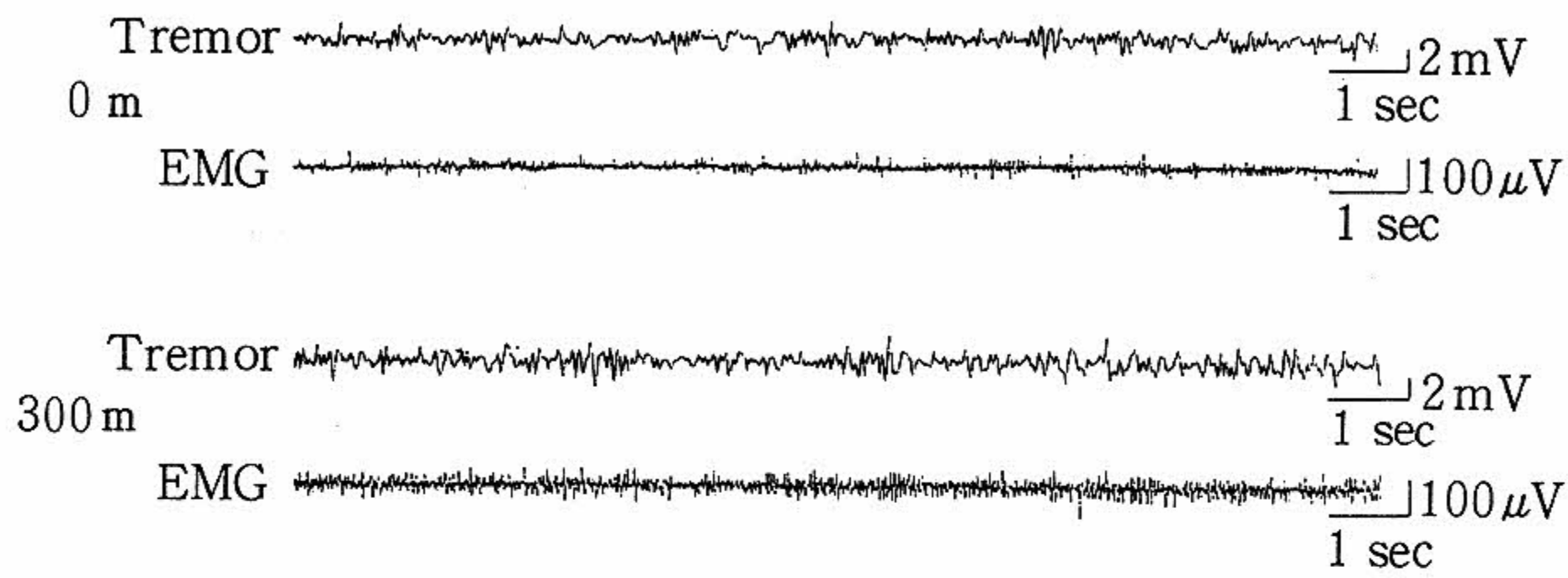


図3 被験者Bの開眼, 閉眼時における振戦

Tremor with eyes opened and closed at 0 m and at 300 m

Subj. C Eye Closed



Subj. C Eye Opened

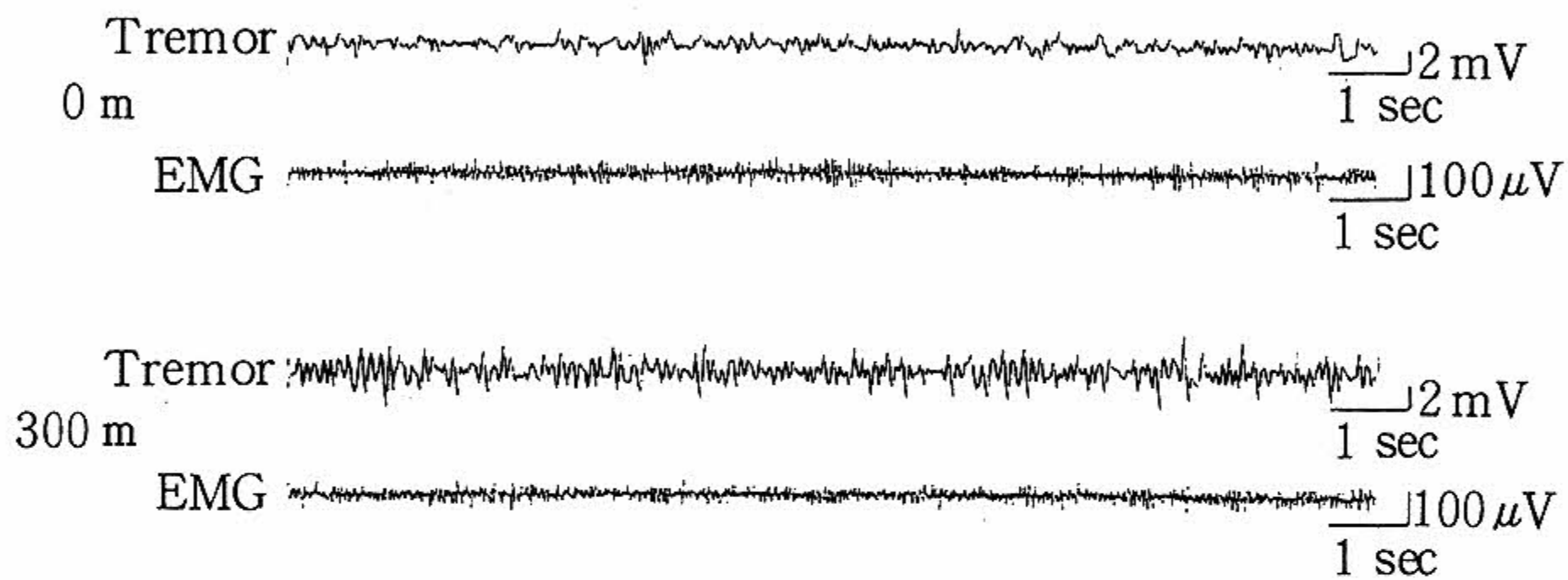
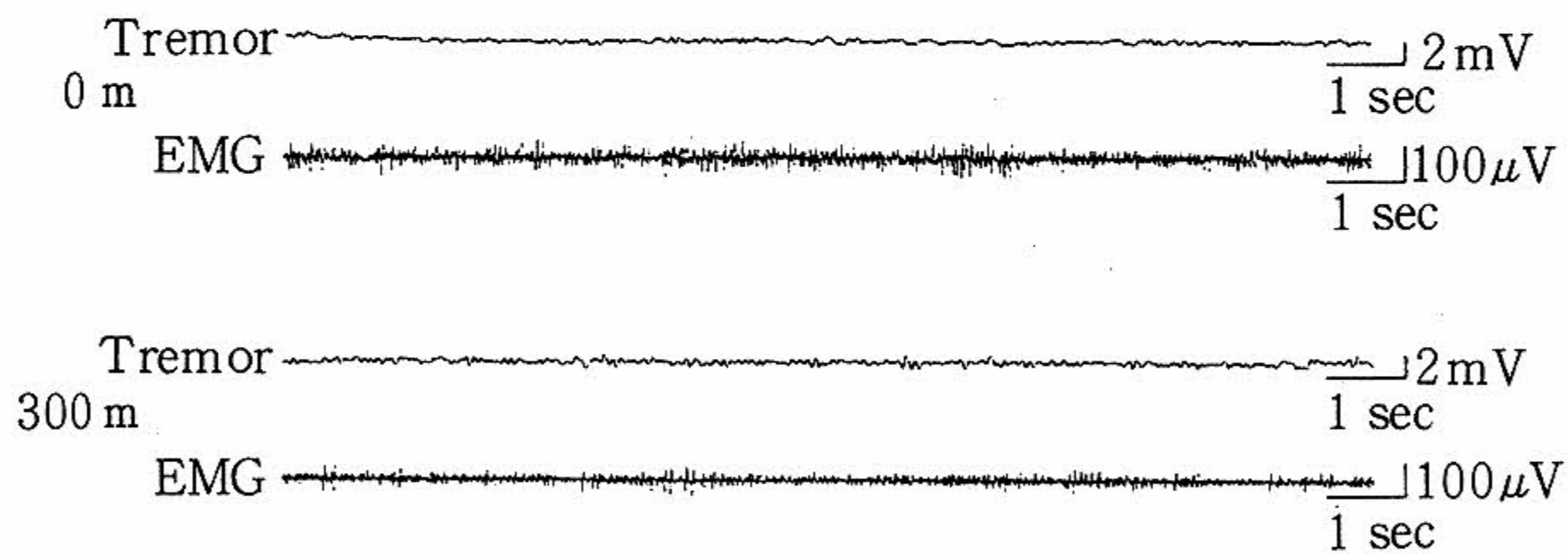


図4 被験者Cの開眼，閉眼における振戦

Tremor with eyes opened and closed at 0 m and at 300 m

Subj. D Eye Closed



Subj. D Eye Opened

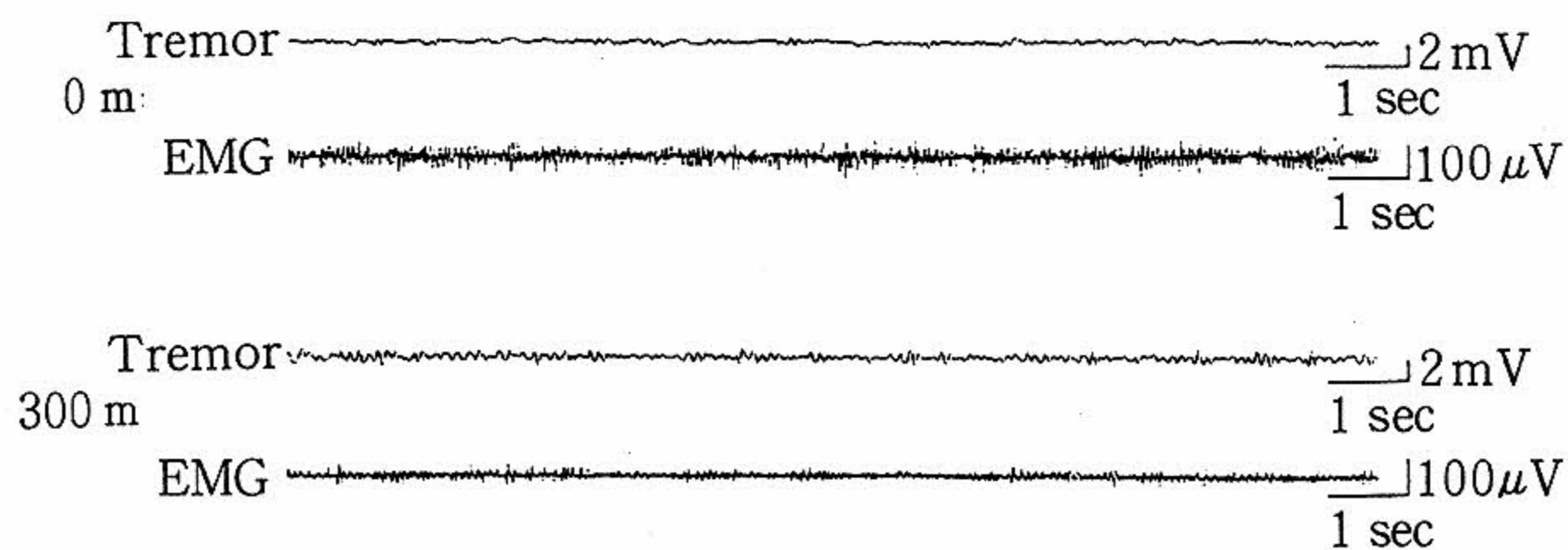


図5 被験者Dの開眼，閉眼における振戦

Tremor with eyes opened and closed at 0 m and at 300 m

しかし、筋電図においては1 ATAと31 ATAにおいて視察評定では顕著な変化は見られなかった。Subj. Bは、1 ATAと31 ATAにおいて振戦に変化は見られなかったが、開眼時の振戦に若干の周期性が認められた。また、1 ATA下での開眼時の筋電図では振幅は高く、反面、31 ATA下では減少する特異的なパターンを示した。しかしながら、閉眼時においては開眼時と逆の傾向が認められた。Subj. Dには開眼、閉眼ともに31 ATA下で1 ATAと比較して若干の振幅の増大が見られた。筋電図では振戦に同期したgroupingが見られているが1 ATAと31 ATAで顕著な変化は見られなかった。

以上の結果から Subj. A, Subj. Cにおいて、31 ATA下で振戦の周期性と若干の振幅の増大が見られ、反面 Subj. B, Subj. Dにおいては顕著な変化は見られなかった。しかしながら、両者には31 ATA下で若干の振戦発現の周期性が見られた。

筋電図においては、各被験者とも振戦に同期したgroupingが見られたが、1 ATAと31 ATAでの差異は見られなかった。

3.2 周波数分析の結果

Subj. Aの振戦についての周波数分析の結果を図6に示した。なお、他の3名のパワースペクトルも、これとほとんど同じ傾向を示し、約8~12 Hzにピークを持つ山型のグラフであった。またこの波形のpeak powerと周波数については表2に示す結果であった。

表2から分かるとおり、t分布を用いての平均値の差の検定から、1 ATAではpeak powerにもその周波数にも開眼-閉眼の有意差は見られなかった。なお、1 ATA下でのSubj. Dのデータは、データレコーダーの4チャンネルが不良のため記録できなかった。

表3は、同じ条件の31 ATAの振戦のpeak powerとその周波数を開眼と閉眼で比較したものである。この場合にもt検定において有意差は見られなかった。したがって開眼と閉眼の比較においても、1 ATA, 31 ATAともにpeak powerとその周波数に大きな差は認められなかった。そこで、開眼と閉眼は同じ動作であるとみなして、1 ATAと31 ATAの間のpeak powerとその周波数を比較してみた(表4)。

その結果 Subj. Aと Subj. Cにおいて、peak powerが31 ATAでは1 ATAと比較してt分布を用いた平均値間の差の検定で有意差が見られた。また、Subj. Bにおいてもpeak powerは1 ATAより大きなものであった。このことは昭和53年度に実施したSeadragon-IIIの結果と同様のものではあった。一方、peak powerの出現する周波数は、1 ATAでも31 ATAでも差がなく同じ値を示した。

3.3 Clinical observation

1 ATAから31 ATAに加圧中、ダイバーへの問診によって次のことが明らかとなった。

8 ATAから12 ATAに加圧が進んだ所で、被検者A, B, Cに一次的な筋肉痛(myalgia)の訴えが認められ、その発現部位は、背筋下部と腰部であった。9 ATAで被験者Dに一次的な関節痛(ひざ, ひじ)また、21~26 ATAでも被験者BとDに一次的な関節痛(arthralgia)の訴えがあった。加圧にともない、被験者Cは11 ATA附近から頭がぼんやりすると訴えがあった。21 ATAから被験者Bに加圧感(sens of compression)の出現、被験者Aは、頭がぼんやりしてきたと訴えた。31 ATAに到達直後は、4名のダイバーに、頭がぼんやりする、動作がぎこちない、といった共通の訴えがなされたが、筋肉痛、関節痛の訴えはなかった。しかし、被験者Cに一次的な吐き気または悪心(nausea)が生じたと訴えがなされた。被験者Cの悪心は、HPNSの発現というよりは、むしろ平衡感覚系の機能障害による要因かもしれない。

また、採血時(28 ATA)に手が震えたとの訴えが、被験者Cに見られた。21 ATAから被験者AとCは平衡感覚が悪化したとの訴えがなされた。しかし開眼、閉眼のfinger to finger testでは、平衡機能障害を示す所見は得られなかった。

4. 考 察

HPNS発現の一指標としての振戦発現の報告は欧米で多数報告されており、19 ATA, He-O₂下で手や腕における発現(Bennett 1965), 20 ATA, He-O₂下で両手指の振戦(Hamilton 1966), 14~16 ATA, He-O₂下で上肢に発現(Zalzman 1967)等がある。

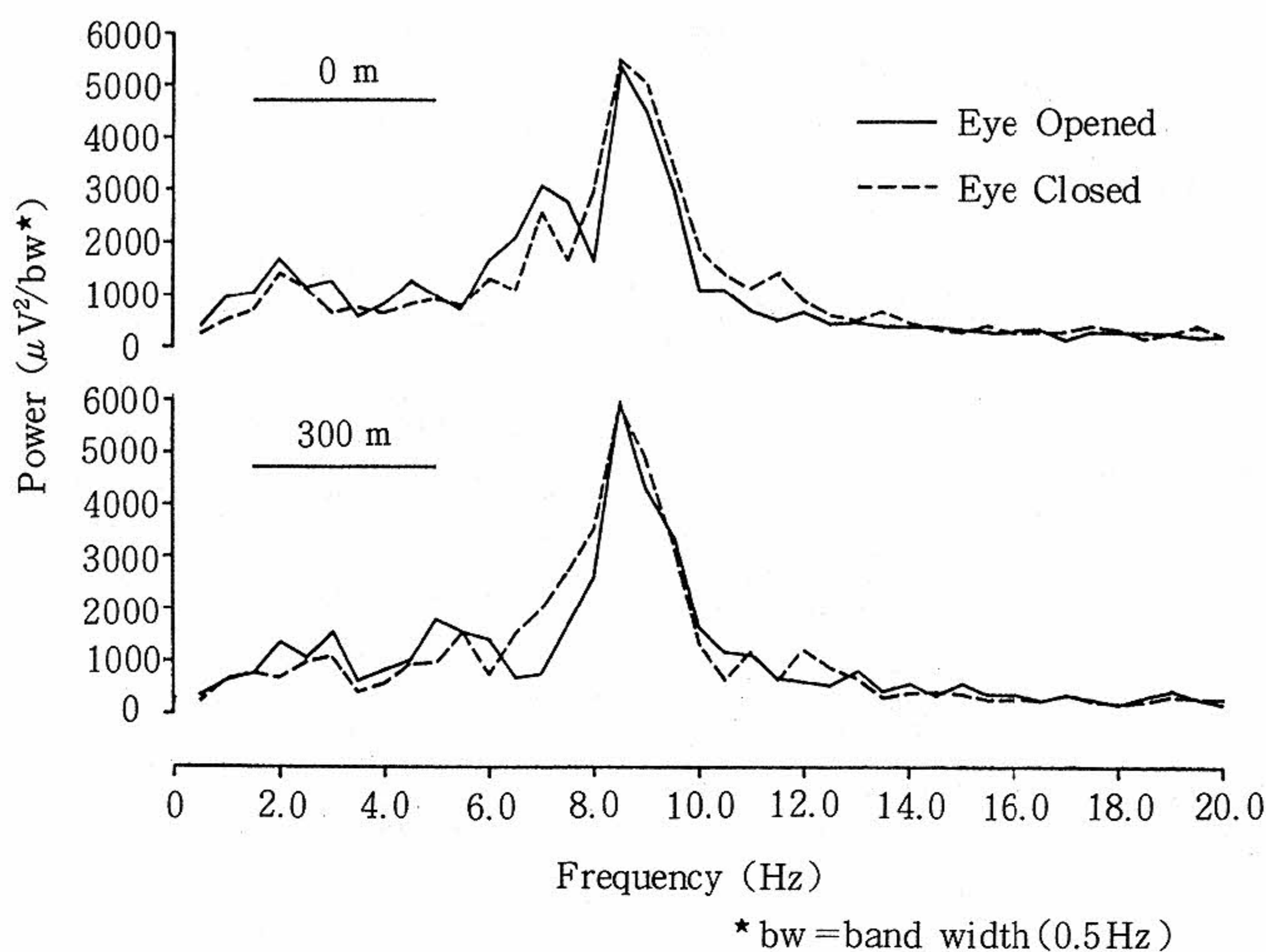


図6 姿勢振戦のパワースペクトラムの代表例
Typical shapes of Tremor power spectrum (subj. A)

表2 1 ATAにおけるピークパワーと周波数
Peak power and its frequency at 1 ATA

Subj	Eye Opened		Eye Closed	
	Power ($\mu V^2/bw$)	Frequency (Hz)	Power ($\mu V^2/bw$)	Frequency (Hz)
A	5136 (± 1745)	8.8 (± 0.6)	5403 (± 1172)	8.5 (± 0.4)
B	1994 (± 458)	10.4 (± 0.8)	1745 (± 541)	10.7 (± 1.0)
C	2711 (± 415)	10.8 (± 1.7)	2373 (± 417)	11.9 (± 0.3)
D	—	—	—	—

Values are means($\pm$ SD), bw=band width (0.5 Hz)

表3 31 ATAにおけるピークパワーと周波数
Peak power and its frequency at 31 ATA

Subj.	Eye Opened		Eye Closed	
	Power $\mu V^2/bw$	Frequency (Hz)	Power $\mu V^2/bw$	Frequency (Hz)
A	6013 (± 1644)	8.8 (± 0.3)	5955 (± 1357)	8.8 (± 0.5)
B	2024 (± 532)	10.9 (± 1.4)	1848 (± 421)	11.0 (± 1.5)
C	3948 (± 1157)	9.7 (± 1.3)	3288 (± 842)	10.6 (± 1.8)
D	1522 (± 651)	8.9 (± 0.8)	1476 (± 533)	8.4 (± 0.8)

Values are means ($\pm$ SD), bw=band width(0.5Hz)

表4 1 ATAおよび31 ATAにおける
ピークパワーと周波数
Peak power and its frequency at 1 and
31 ATA

Subj.	1 ATA		31 ATA	
	Power $\mu V^2/bw$	Erequence (Hz)	Power $\mu V^2/bw$	Frequency (Hz)
A	5273 (± 1471)	8.6 (± 0.5)	5984* (± 1491)	8.8 (± 0.4)
B	1853 (± 515)	10.6 (± 0.9)	1949 (± 492)	10.9 (± 1.5)
C	2566 (± 448)	11.3 (± 1.4)	3618* (± 1064)	10.2 (± 1.6)
D	—	—	1500 (± 589)	8.7 (± 0.8)

Values are means ($\pm$ SD), bw=band width(0.5Hz)

* Significance in difference between 1 and 31
ATA : $p < 0.02$

本実験では31 ATA, He-O₂ 下で加圧速度25 m/hr にもかかわらず, ダイバーに重大な影響をおよぼす振戦の発現は見られなかった。関(1979)の報告等に見られるように, HPNS 発現の因子として呼吸用混合ガス分圧, チェンバー内の温度, 湿度, 加圧速度, 適応時間, ダイバーの身体的適性等が考えられるが, 本実験の諸条件は HPNS に対して大きな感受性を示さなかった。しかし4名中2名に若干の振戦の振幅の増大が見られた。また, 周波数分析の結果, ピークパワーに有意差が見られたが, それらの増加は Subj. A で13%, Subj. B で5%, Subj. C で40%であった。Rostain (1972), Bennett (1973) らの報告によれば, 62 ATA, He-O₂ 環境下での振戦は100~120%の増加を示し, 31 ATA, He-O₂ 環境下400%の増加が見られたという。本実験では彼らの研究結果とは異なり, 100~400%以上の顕著な増加は見られなかった。本実験結果での有意な増加とはいえ, HPNS の発現閾値と呼ばれている Rostain & Naguet (1979, 1980) らの示す100~200%もの増大ではなかった。

本実験では, 測定時刻, 企図振戦(intentional Tremor), 加圧中の振戦, については考慮しな

ったが, COMEX 社(仏)の Sagittaire-IV (62 ATA 50時間)においては, 夕方より朝方に姿勢振戦の振幅の増大が見られたと Rostain et al (1976) は報告している。また Bennett (1971), Zaltzman (1967), Rostain (1972), Spencer (1979) は, 加圧中に顕著な振幅の増大が見られ, また保圧中には振戦の振幅が減少したという。

今後は, 姿勢振戦と企図振戦では収縮筋肉が異なり, 測定方法も異なってくるが, HPNS の徴候を明確に把握するためには, 測定時間, 加圧中の測定方法, 企図振戦の計測の併用を合わせて検討する必要があると思われる。

振戦の発現機序として幾つかの仮説が提唱されている。特に Hugon, Fagni, Seki (1983) の研究によれば次のような機序によって高圧 He-O₂ 下で振戦が発現することが提唱されている。

Hugon (1980, 1981) は, 生理振戦と呼ばれる振戦の発現機序として脊髄上の神経による歩調取り(pace maker)や伸張振動(myotatic oscillation)あるいは, この両者が連動して発現するという Desmedt (1978) の仮説を裏付ける実験結果として, 脊髄切断ネコに Harmaline を投与しての振戦出現, 同じく90 ATAの高圧 He-O₂ 環境にネコを暴露しての振戦の出現を見ている。

伸張振動による振戦は, 筋に負荷を与えることによって筋と脊髄回路系自体に発現する。振動は, 閉鎖回路網を形成し機械的神経回路(mechanical-neural loop)を十分に興奮させるものがあれば, 振動を引き起こすことが可能という仮説である。この仮説は, 興奮の質的な面を Bouaziz, Bouaziz and Hugon (1975) らが検証し, 隔絶感覚系(sensory partitioning)では Binder and Stuart (1980) によって検証された。

促通性の筋単位の収縮は, 紡錘活動による休息(pause)と腱組織の golge 体からのインパルスによる斉射(volley)を同時に誘発する。

IA ニュロンと IB ニュロンを介してインパルスが α 運動ニューロンに伝達されると脱伸展が引き起こされ, 同時に運動ニューロンと連合して抑制系に傾くことになる。少し遅れて沈黙期(silent)をとり, 筋単位は弛緩することになる。インパルスの伝達信号は, 逆転して脱収縮を招くことになる。腱収縮は休息状態を示し, 筋紡錘は脱収縮から収

縮期に移行することになる (Hagbarth Wallin, Burke and Lofstedt, 1975)。この、運動単位群に連続して発現する事象によって、局部的に機械的な動きをする振戦が生じる。この局部の事象は、筋単位と腱組織間の同調性の低下を考慮するほどのものではない。しかし、連続性の意味付けとしては、筋自体運動器部 (motor pool) 筋紡錘の感受性の増大、また反回副行 (recurrent collaterals) や Renshaw 細胞の関与のための脱同調活動の欠陥が起こることが推察され (Elble and Randall 1976)、その結果、腱振戦 (tendon tremor) が知覚される。

伸張振動の周期性は、筋紡錘と腱組織の感覚系脊髄反射回路を介して調整されている。この脊髄反射は筋の弛緩-収縮の遅延時間を計測することによって把握することができる。特に筋への負荷を与えた場合、等尺性の収縮、屈曲によって Golgi 体への強度の抑制を引き起こしたりすることによって、腱の高い張力はさらに増大し、運動単位は早く急速に脱収縮となる。そして紡錘性興奮と運動ニューロンの興奮の発現が起こる。任意の刺激に対して潜時 25ms の最初の反応が出現し、続いて感覚系は 75ms の潜時での反応が見られる。このことから、 $25\text{ms} + 75\text{ms} = 100\text{ms}$ という一つの回路系を考えると、これは約 10 Hz という振動を発現させる原因として推察することができる。

Elble and Randall (1976) は、Renshaw 細胞の抑制と興奮後の脱抑制の両者によって、局部的に強い振動が発現することを実証した。

高圧 $\text{He}-\text{O}_2$ 環境下でサルを用いて Hoffman(H) 反射の回復曲線を求める実験から得られた知見は、遅い抑制 (late inhibition) に変化が見られた (Hugon et al 1980)。それは、1 ATA の空気環境下で Atrorpine (3 mg/kg, サル) を投与した時と同一結果であったという (Hugon and Fagni 1981)。

Ryall (1970) は脊髄同側部の腹根の運動反射の反回斉射 (recurrent volley) のインパルスを誘発させ、Renshaw 細胞に早い抑制 (early inhibition) と遅い抑制を示すように活動するものがあることを見いだした。この二つの活動性は、運動反射の開始から休息に至る 60~200 ms の間に分けることができるという。Renshaw 細胞の中で早い活動性を示すものは、nicotinic と呼ばれるコ

リン作動性シナプスが関与し、遅い活動性を示すものとして muscarinic と呼ばれるシナプスが関与するという。

間発休息 (intercurrent pause) は、nicotinic の Renshaw 細胞の抑制と脱抑制による反回促進 (recurrent facilitation) の関与という相互作用によって起こるといふ。

Hugon (1981) は、Hoffman 反射の回復曲線の早い抑制 (early inhibition) は、Renshaw の発射によるものとしている。遅い抑制については、muscarinic のブロックによってもたらされたものと推察している。また間発促進は、Atropin の投与や高圧 $\text{He}-\text{O}_2$ 環境への暴露によって、増大したり、長く持続することを見いだしている。

高圧 $\text{He}-\text{O}_2$ 環境下で発現する振戦の機序について Hugon (1981) は、遅い抑制の反回抑制の減少が続くことによって発現するのであろうと推察している。

高圧 $\text{He}-\text{O}_2$ 環境下では乳類に発現する振戦の機序について、動物実験によって得られた成果を含めて考察を行った。いまだ研究が続けられている最中であるため、より詳細な点については今後の研究を待たねばならない。いずれにしても近い将来、この高圧 $\text{He}-\text{O}_2$ 環境下で発現する振戦の機序は解明され、対処方法も開発されるものと思われる。

5. 結 論

4 名のダイバーを、1 ATA から 31 ATA までを毎時 25 m の加圧速度を用いて、 He によって加圧を行った。加圧前と加圧直後のダイバーの姿勢振戦の周波数と振幅の変化について比較検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。

(1) 31 ATA と 1 ATA 下の値を比較すると 4 名中 2 名に視察評定で振幅の若干の増大が認められた。ミニコンを用いた周波数帯域ごとに解析した結果による振幅は、4 名中 2 名に 13%、40% の有意な増大が示された。

(2) 姿勢振戦の周波数については、4 名とも開眼、閉眼；1 ATA、31 ATA どの組み合わせにおいても有意な変化は見られなかった。

(3) 手に負荷のかかる作業を 31 ATA 下で行うと振戦が発現するというダイバーの自覚的な訴え

から、今後はさらに企図振戦についても併せて測定する必要がある。

文 献

- 1) Bachrach, A.J. and Bennett, P.B., 1973, "Tremor in Diving", *Aerospace Med.*, 44 (6), 613-623
- 2) Bennett, P.B., "The Action of Inert Gas at Hyperpressure", *Proc. 2nd. Intl Sympo. Underwater Med., Ustia, Palermo (Italy), Mondo Sommerso (1965)*, 1124-1127
- 3) Bennett, P.B. and Towse, E.J., 1971, "The High Pressure Nervous Syndrome during a Simulated Oxygen-Helium Dive to 1500 feet", *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 31, 383-393
- 4) Binder, M.D. and Stuart, D.G., 1980, "Motor Unit-Muscle Receptors Interactions; Design Features of the Neuromuscular Control System. In: "Spinal and Supraspinal Mechanisms of Voluntary Motor Control and Locomotion", *Prog. Clin. Neurophysiol.* 8, Desmedt, J.E. ed. (1980), Karger, Basel, 78-98
- 5) Bouaziz, Z. et al., 1975, "Modulation of Soleus Electromyogram by Electrical Stimulation of Medical Gastrocnemius Nerve in Man", *Electromyography*, 15, 31-42
- 6) Delauze, H., 1983, 私信
- 7) Desmedt, J.E., "Physiological Tremor, Pathological Tremors and Clonus. A Multiple-authors Works", *Prog. Clin. Neurophysiol.*, 5, Desmedt, J.E. ed. (1978), Karger, Basel
- 8) 後藤文男, 岩垣皓之, 1974, "内科疾患における振戦", *神経内科*, 1, 411-420
- 9) Elbes, R.J. and Randall, J.E., 1976, "Motor Unit Activity responsible for 8 to 12 Hz component of Human Physiological Finger Tremor", *J. Neurophysiol.* 39, 370-383
- 10) Hagbarth, K.E. et al., 1975, "Effect of the Jendrassik Maneuver on Muscle Spindle Activity in Man", *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 38, 1143-1153
- 11) Hamilton, R.W. et al., "Saturation Diving at 650 ft", *Tech. Memo-BI 411*, (1966), Ocean Systems Inc.
- 12) Hugon, M., et al., "Somatic Evoked Potentials and Reflexes in Monkey during Saturation Dives in Dry Chamber", Bachrach, A.J. and Matzen, M.M. ed., *Underwater Physiology*, (1981), Undersea Med. Soc., 381-390
- 13) Hugon, M., 1981, "La Physiologie de la Plongée", *La Recherche*, (127), 1224-1234
- 14) Hugon, M. and Fagni, L. 1981, "Neurophysiological Difficulties Elicited by High Gas Pressures", *Jpn. J. EEG-EMG, Suppl.* 11, 85-92
- 15) Hugon, M., et al., 1983, "Deep Sea Diving; Human Performance and Motor Control under Hyperbaric Conditions with Inert Gas", In: "Motor Control Mechanisms in Health and Disease", Desmedt, J.E. ed. (1983), Raven Press, 829-849
- 16) 岩田 誠, 1974, "企図振戦", *神経内科*, 1, 397-409
- 17) Rostain, J.C. and Naquet, R., 1972, "Results Preliminaires d'une Etude Comparative de l'Effet des Melanges Oxygen-Helium et Oxygen-Hydrogene et des Haute Pressions sur Babouin Papio Papio", *Proc. 3ème Intl. Hyperbaric Physiol. Subaqua.*, Marseille, 1970-6, Doin, (1972), 44-49
- 18) Rostain, J.C., 1976, "Tremblement au Cours de Décompressions Rapides: Influence de l'Azote dans le Mélange Respiratoire", *Med. Subaq. Hyperbare*, 15, (60), 267-270
- 19) Rostain, J.C. and Naquet, R., "Human Neurophysiological Data obtained from Two Simulated Heliox Diver to a Depth of 610 meters", Schilling, C.W. and Beckett, M.W. ed., *Underwater Physiology IV*, (1978),

Fed. Am. Soc. Exp. Biol., 9 -19

- 20) Rostain, J. C., "Le Syndrome Nerveux des Hautes Pressions chez l'Homme et le Singe Papio Papio", France Université d'Aix-Marseille-I, 1980, Thèse D.Sc. Nat.
- 21) Ryall, R. W., 1970, "Renshaw Cell mediated Inhibition of Renshaw Cells ; Patterns of Excitation and Inhibition from Impulses in Motor Axon Collaterals", J. Neurophysiol. 32, 257 - 270
- 22) 関 邦博, 1979, "高圧神経症候群", 呼吸と

循環, 27 (8), 839-848

- 23) Spencer, J. W. et al., 1979, "Tremor and Somatosensory Studies during Chamber He-O₂ Compressions to 13.1, 25.2, 37.3 and 49.4 ATA", J. Appl. Physiol 47, 804 - 812
- 24) Zaltsman, G. L. "Physiological Principles of a Sojourn of a Human in Conditions of Raised Pressure of the Gaseous Medium", Leningrad, 1961, English trns. Foreign Technol. Div. Wright-Patterson AFB, 1967, AD-655360