

加算作業による誘発 EEG と MV の変化

永 田 晟* 加 藤 嘉 苗**

Psychological Changes during Kraepplin Test by the Measure of EEG, Evoked EEG, and MV Signals

Akira Nagata* and Kanae Kato**

The purpose of this study was to analyze various psychological conditions at pre, during and at post situations of Kraepplin tests by physiological measurements of Electroencephalogram (EEG), evoked EEG (slow vertex response : SVR), and Microvibration (MV). Those bio-signals were analyzed to compare psychological changes with frequency bands of EEG, lag time and P-P amplitude of SVR, and power spectra and total power of MV. As the mental stressor of this experiment, Kraepplin's adding calculational tasks were adopted to healthy eight subjects (male, mean ages : 36 years) for fifteen minutes at experimental room. EEG signals were recorded from head center point (Cz), and evoked EEG (SVR) were measured by Neuro-pack apparatus used with auditory stimulus (80~90dB and 1/2Hz, punching noises). Also MV sensor were used to collect Microvibration signals from the eyelid during these tasks.

Following items were resulted relating between this stress tests and physiological signals.

1) Calculational tasks did not depend on various frequency bands of EEG and MV of physiological signals. Then, those tasks should not have any effect on psycho-physiological conditions of mental stress.

2) After those stress tasks, much difference between each peak to peak amplitude of SVR waves decreased with remarkably ratio significantly ($P < 0.01$). Then this Kraepplin test should be estimated to attack the mental field of central nervous system of subjects.

3) Integrated total power of MV spectra have changed significantly according to each elapsed stage of this stress task, while that total power of EEG spectra did not change non-significantly, among those mental bands of calculational tasks ($P > 0.05$).

4) In future of such a stress experiment, this evoked EEG (SVR) would be applied for human to detect physical changes of the mental stress quantitatively.

はじめに

生体になんらかの刺激が入り、なんらかの反応を起こす場合、その現象を巧みに計測することによって、生体反応の現象を間接的にとらえることができる。ストレスの場合もストレスラーを限定

することによって、生体反応を正確にとらえることが可能である。本研究は3種類の生体反応を計測し、精神的なストレス状態を考察する目的をもっている。

この3種類の計測方法は以下の通りである。聴性誘発電位は、音刺激によって引き起こされる

*スポーツ科学科

**ミドリ安全㈱

* Department of Sports Sciences

** Midori Safety Co., Ltd.

脳の様々な部位の生理的反応であるが、大きく3つに大別される¹⁾。

- ① 聴性脳幹反応
(Auditory Brainstem Response : ABR)
- ② 聴覚中潜時反応
(Middle Latency Response : MLR)
- ③ 頭頂部緩反応
(Slow Vertex Response : SVR)

このうちABRについては、波形が安定して出現し、再現性が良く睡眠や薬物による影響をうけにくく、また発生機序もかなり明確になっている。

これに引き替えSVRは、刺激の条件、被験者の状態に左右され、特に意識レベル、睡眠ステージの変化などに大きな影響を受けると言われている。発生機序としてこの波形のP1、N1までは大脳皮質聴覚領の2次反応、P2以降の波は非特異的広範投射系 (nonspecific diffuse projection system) で、おそらく台形体核へ下丘などから脳幹網様体や、視床非特異核を経て、大脳皮質の広範囲に興奮を引き起こす系の反応であると考えられている¹⁾。

一方マイクロバイブレーション (Microvibration : MV) は、皮膚表面上の微細振動で随意的な動作を伴わなくても発生するものである²⁾。

発生機序として^{2),3),4),5),6),7),8)}

- ① 自律神経系説
- ② γ 運動系を含む脊髄反射説
- ③ 心弾動図 (Ballistocardiogram : BCG) 説等があげられているが、これらすべてを含めた複合的な要因に由来するものがMVであると考えられる²⁾。

またMVの測定部位は

- ① 眼瞼 (Eyelid)
- ② 上腕二頭筋 (M. Biceps Brachii)
- ③ 拇指球 (Thenar)

の3つが知られているが³⁾、今回は眼瞼を選んだ。MVは多くの学者により精神医学の領域において応用されているが、精神症状とのかなり高い相関を示すと言われ、精神状態の1つの客観的指標として用いる事は意味があると思われる⁴⁾。

生体への刺激源としてのストレスサーとしては、様々なものが考えられるが、肉体的苦痛が少なく、

精神的な面のみ苦痛と感じられ、なおかつ簡便で、実験方法、解析方法が客観化されているものとして、加算作業 (クレペリン検査) を取り上げた。連続的な加算作業は単純な強制作業で精神的な飽和状態を招くと考えられ、個人差はあっても、精神的なストレスと圧迫感を与えるものと考えられる。

今回こうした生体への刺激として加算作業を取り上げ、計測方法として誘発EEG (SVR)、EEGとMVの3つを選び、クレペリン検査による変化を定量的に調べる事を目的とした。これらの生体信号はすべて周波数分析を中心に、加算作業による精神状態を評価しようと試みたものである。

方 法

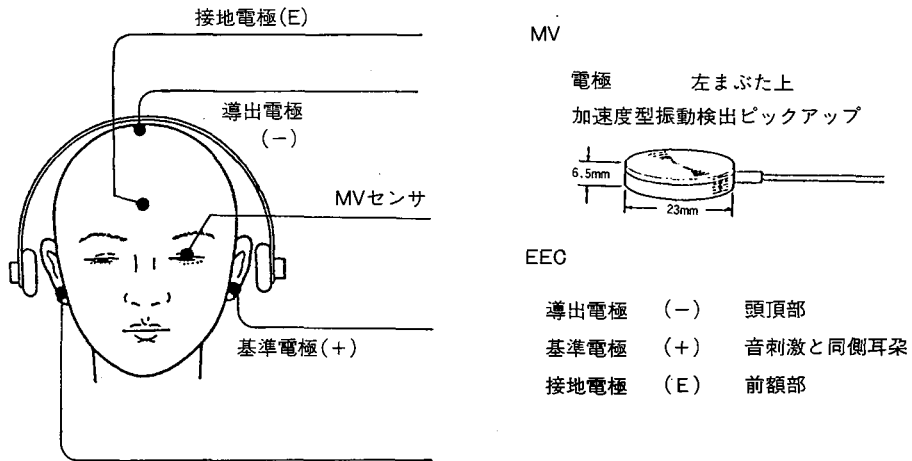
本実験においては以下の手順で実施した。

被験者は、図1の通り健康な男性8名 (平均年齢37歳) を選び、図1のような実験図で実施した。脳波測定用の電極を頭頂部 (Cz) と両側耳朶と前額部にとりつけ、MVセンサは加速度型振動検出ピックアップを使用して左まぶた上に貼布した。

誘発脳波としてSVRを選び、加算作業前後に測定した。音の種類にトーンバーストを使用し、音刺激は90dB、0.5Hz周期で行い、脳電波形を64回加算して求めた。

実験プロトコールは図2のとおりであった。静かな部屋で被験者は椅子にゆったりと腰掛け、4つのステージに分けて実験を行った。まず安静時 (REST) の普通のEEGとMVを測定した。次に同じ状態で音刺激を与え、検査実施前 (PRE-TEST) のSVRとMVを測定した。次に、クレペリン検査 (加算作業) 前半15分間行った (K-TEST1)。5分間の中間の休憩時 (INTERMISSION) に再度SVRとMVを測定した。その後、クレペリン検査を15分間行った後 (K-TEST2)、第3番目に加算作業終了直後 (RECOVERY) にSVRとMVを測定した。

これらの測定波形は一旦データレコーダに収録した。その後再生して、図2のごとくニューロパックとシグナルプロセッサによって、サンプリングタイム120secで、平均加算とフーリエ変換を行い、各波形の振幅、潜時、周波数、振動パター



SUBJECT LIST

S u b.	A g e	M & F
K. S.	24	M
H. G.	24	M
J. H.	26	M
M. Y.	23	M
A. M.	45	M
A. N.	53	M
M. G.	56	M
T. S.	45	M

図1 実験図と被験者一覧

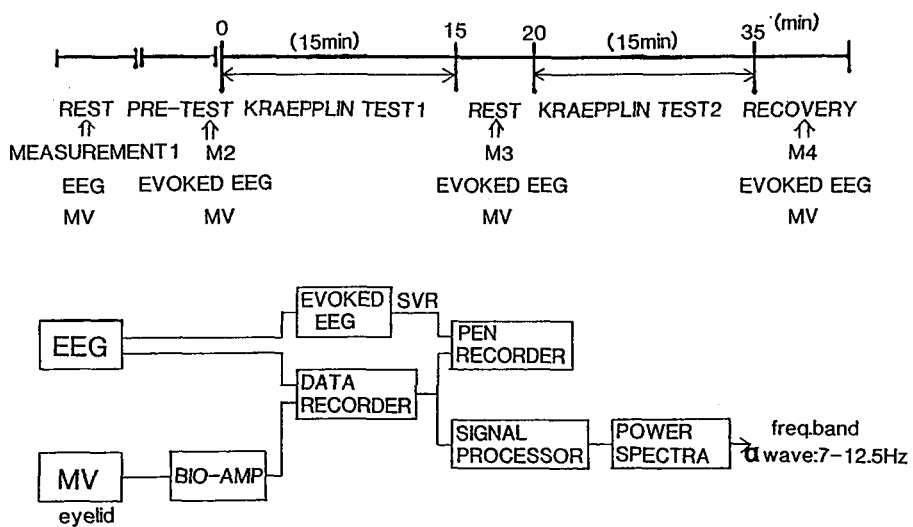


図2 実験プロトコール

ンについてまとめた。

結 果

1. 生体信号の周波数分析

それぞれの EEG と MV の周波数分析を行い、周波数帯域 7.5~12.5 Hz の α 波帯域の出現率に関して調べた。この出現率は個人差が大きく、全被験者の一定の傾向を導き出す事は出来なかった。EEG と MV のスペクトル波形の変動は、統計上有意な傾向はみられなかった ($P > 0.05$)。

個人例として図 3 に周波数分析を周波数帯域別 (α 波、 β 波、 θ 波帯域) にまとめたグラフを示した。縦軸はそれぞれの周波数帯域の出現率をあらわし、横軸は各測定ステージを示し、安静時、試験前、中間休憩中、試験終了後をあらわしている。各ステージの解析サンプリングタイムは 120sec であり、それを 30sec ずつに分けて、それぞれの周波数帯域出現率を計算し、4 つの点として結んだ。これらのステージは各被験者の時間的変動を表している。EEG に関しては、安静時、検査前に比べて、中間の休憩中、検査終了直後で α 波帯域 (7.5~10 Hz) が急増した。MV に関しては、特に顕著な変化はみられなかった。しかし 2 つの周波数帯域に分類された。

2. 生体信号のパワースペクトル

EEG と MV のパワースペクトルと経時的なパワーアレイを求めた。周波数帯域同様に個人差が大きく、一定の傾向はみられなかった。一例として、図 3 と同じ被験者について解析したグラフを図 4 に示す。

図 4-1 は EEG のパワースペクトルについて示した。周波数の第 1 ピークが各ステージ (安静、検査実施前、中間の休憩中、検査終了直後) において約 4 Hz から 9~10 Hz の周波数に移動してることがわかる。

図 4-2 は Sub.: JH の EEG の経時的なパワーアレイについて示したものである。5 秒ごとの時間的変化を示し、ピーク周波数が約 4 Hz から 9~10 Hz の周波数に顕著に移動した。図 4-1 と同様な傾向であった。

図 4-3 は同被験者の MV のパワースペクトル

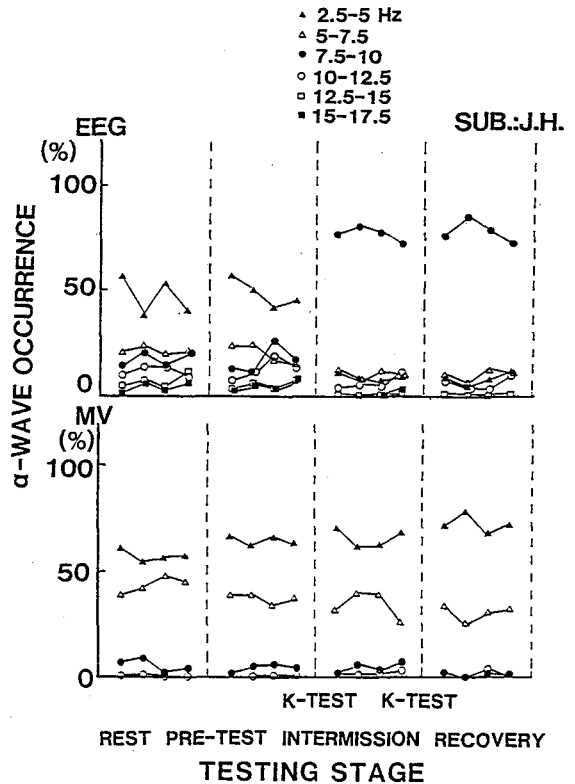


図 3 周波数帯域別分析例

を示したものである。各ステージにおいて、周波数のピーク値には大きな変化はみられなかったが、パワー密度は、安静時、試験前よりも中間の休憩中更に試験終了直後と経時的に急増した。

図 4-4 は MV のパワーアレイを示した。周波数の分布には顕著な変化はみられないがパワー密度は大きく変動した。

3. 誘発 EEG の変化

SVR の波形を 8 名の被験者についてまとめ、各振幅の潜時の平均値を求めた。その結果が図 5-1 であり、各振幅ピークの出現潜時 (latency of various amplitude) を各ステージごとに示したものである。加算作業前後において著しい長短変動はみられなかった。

図 5-2 は同様に各ピーク間の潜時 (latency of Peak to Peak) を求めたもので 同様に加算作業の影響はみられなかった。

図 6-1 は各ピーク間の振幅 (amplitude of

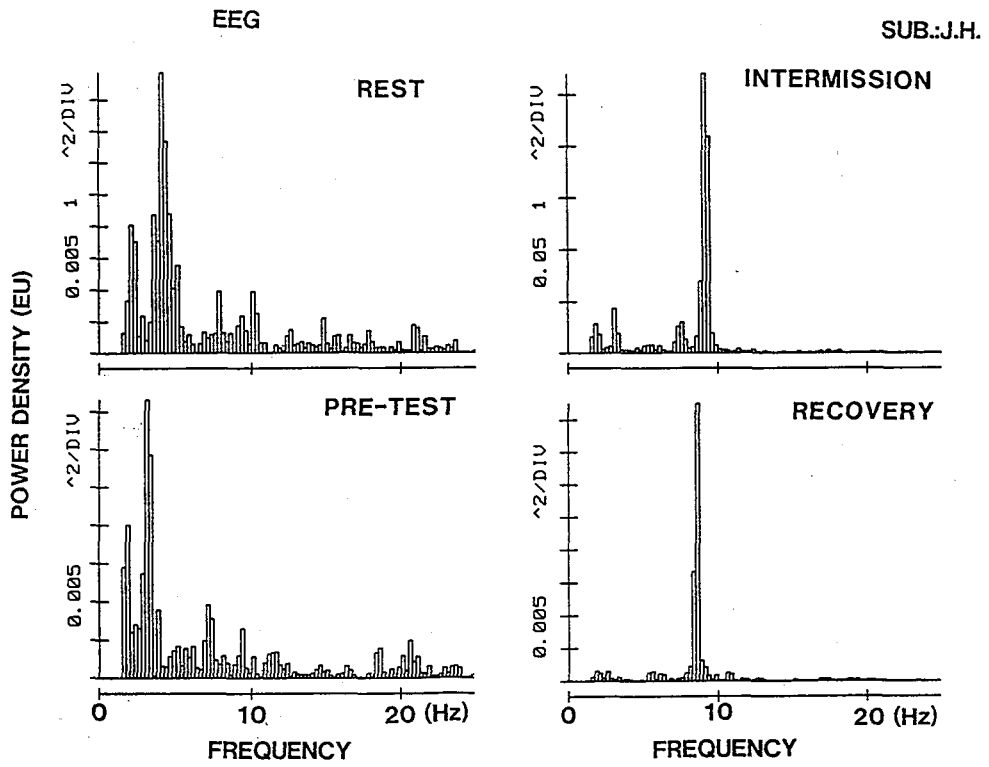


図4-1 EEGのパワースペクトルの例

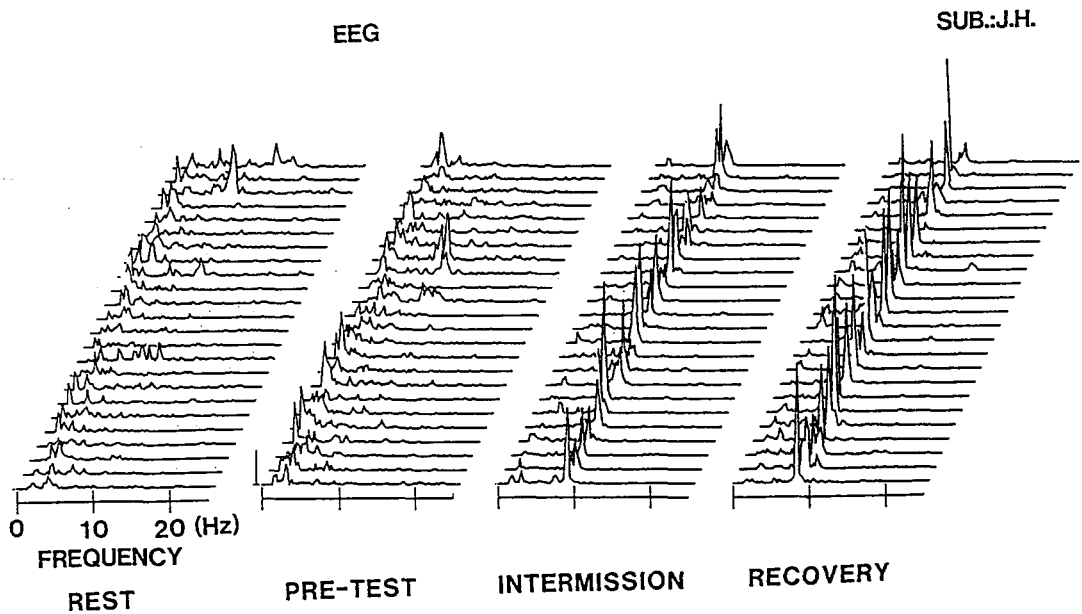


図4-2 EEGのパワーアレイの例

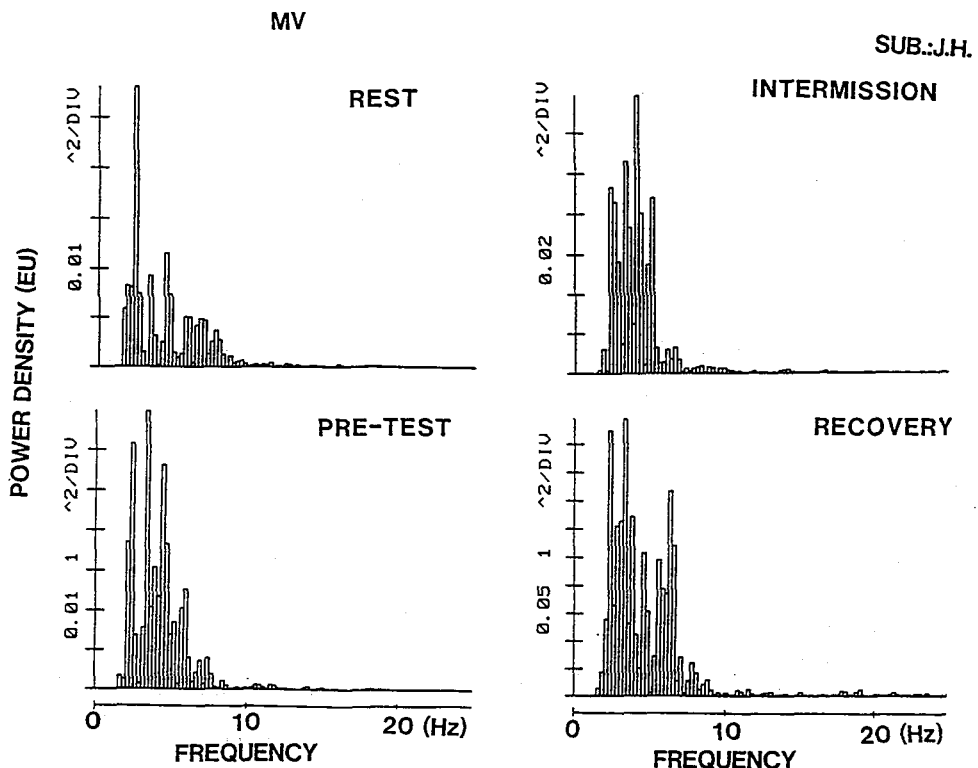


図 4-3 MV のパワースペクトルの例

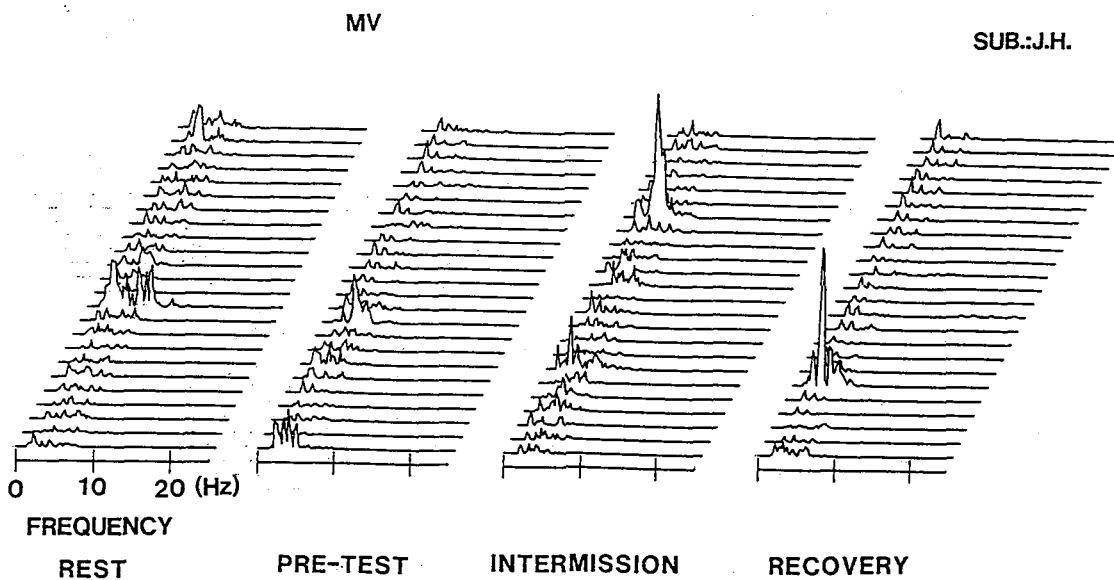


図 4-4 MV のパワーアレイの例

Peak to Peak) を求めたもので、(N1-P2) と (P2-N2) の振幅に、加算作業前から中間の休憩中にかけて若干の減少傾向がみられた。

図6-2は、各ピーク振幅の差 (amplitude difference) [(N1-P2) - (P1-N1)] と、[(P2-N2) - (N1-P2)] を求めた。これは加算作業前から中間の休憩中、そして終了直後にかけて、各ステージ間において統計上有意な減少傾向がみられた (P < 0.05)。

図6-3は、各ピーク間振幅の比率 (変動率, amplitude ratio) を示したもので、以下のような算出式で振幅変動を求めた。

$$\text{振幅比} = \frac{N1-P2}{P1-N1} \times 100$$

$$\frac{P2-N2}{P1-N1} \times 100$$

この比率は加算作業検査前から中間の休憩中、そして終了直後にかけての各ステージ間において、統計上有意な減少傾向がみられた (P < 0.01)。

4. 生体信号のトータルパワー値

EEG や MV のスペクトル波形の時間的積分量としてトータルパワー値 (T.P.) を求めた。T.P. は、パワースペクトルの面積を示す指標で、周波数とパワー密度のかけ算であらわされる。図7に各ステージ別の T.P. 値の変化を棒グラフで示した。EEG においては、大きな変化はみられないが、MV においては、安静時、加算作業前に比べて、中間の休憩中、終了直後において著しく増加し、統計的にも有意であった (P < 0.05)。

考 察

1. 加算作業の生体負担度

今回の実験において、クレペリン検査による加算作業を実施し、その作業をストレスラーと考えた。さらに検査の中間の休憩中と作業終了直後に多くの精神的な負担が加わると考えた^{9,10}。実験後の被験者の感想において、精神的な圧迫よりも身体的な負担を訴える人が多かった。細かい数字を見続け、時間に追われて加算していく作業は「目

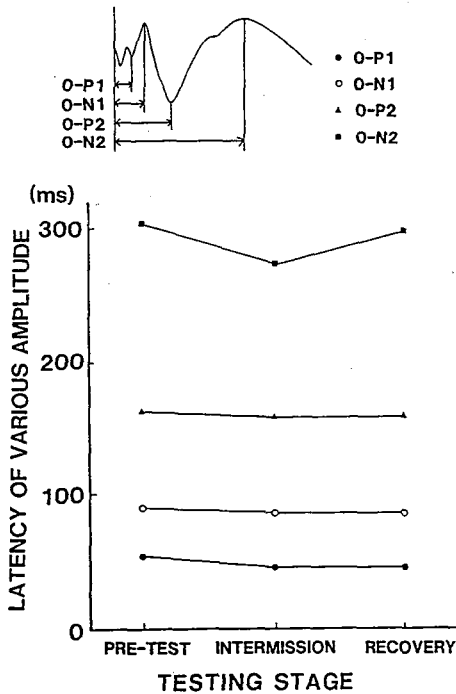


図5-1 各振幅ピークの出現潜時と実験ステージとの関係

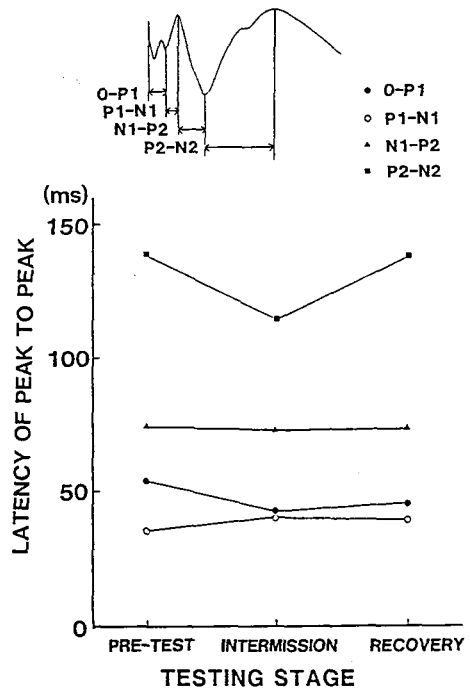


図5-2 各振幅ピーク間の出現潜時と実験ステージとの関係

加算作業による誘発EEGとMVの変化

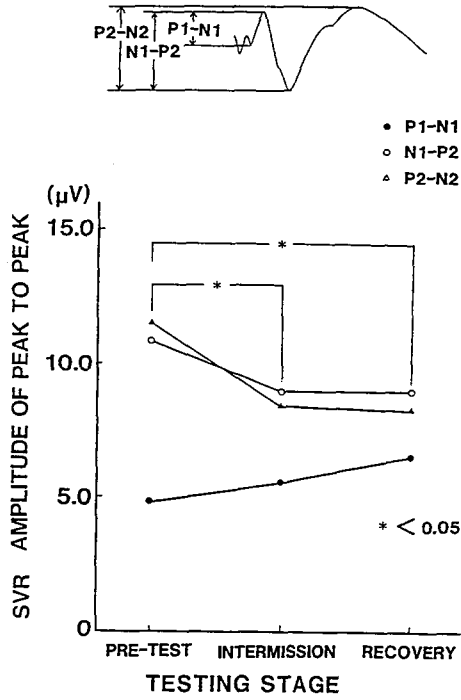


図 6-1 各ピーク間の振幅と実験ステージとの関係

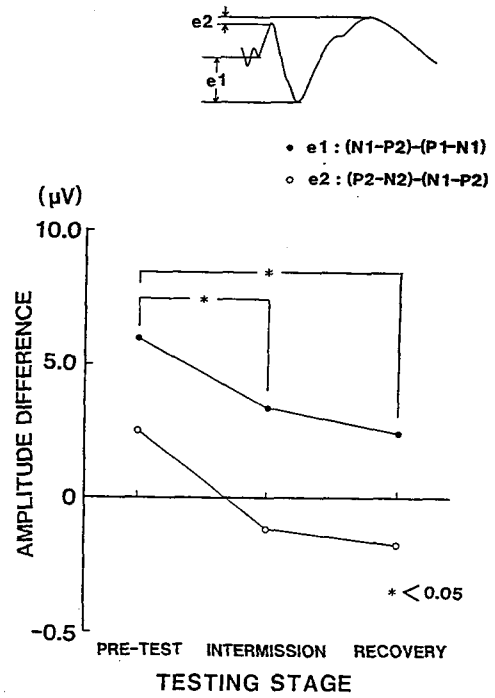


図 6-2 各ピーク間の振幅の差と実験ステージとの関係

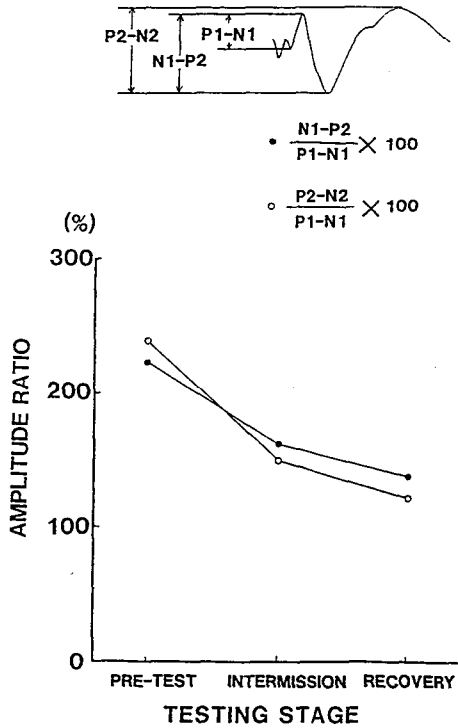


図 6-3 各ピーク間の振幅の比率 (変動率) と実験ステージとの関係

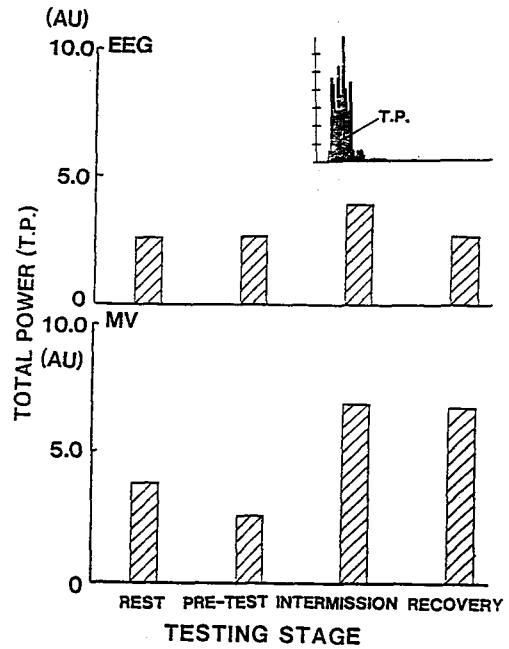


図 7 各実験ステージ別のトータルパワー値の変化

が疲れる」。また、数字を早く書こうとするため、「手が疲れる」、「肩が凝る」等々、今回の実験において、こうした愁訴のすべてをストレス現象と考え、加算作業の影響と見なした。

また、クレペリン検査自体について良く知っている人と、全く知らない人の経験差によって、検査前の精神的な緊張感が違うとも考えられた。本作業検査終了後の感想においても「終わってほっとした」と言っている人も多かった。検査中の EEG や MV を測定することは、生体動揺によって計測不能の場合が多いため、検査途中の休憩中と終了直後に測定せざるを得なかった。検査中に一過的にストレスが惹起された精神状態であったとしても、終了時には急激に解消されてしまう可能性も考えられる。また、加算作業に慣れている被験者は、全くストレスを感じない場合もあった。

以上の事により、ストレスラーとして加算作業を課した事は、今後に多くの問題点を残し、ストレス課題を再検討せざるを得ないだろう。そして一過的な生体ストレスの評価方法にも問題をもっていると考えられる。

2. 誘発 EEG (SVR) と精神的作業の関係

SVR 波形は大脳皮質聴覚領の二次反応と非特異的広範投射系によるものと考えられている。日常生活でも一事に熱中している時や、勤務後の疲労時において、特定刺激に対する鈍い反応がよく観察される^{9),10)}。SVR においても同様に大脳皮質に興奮を引き起こす応答系の反応が遅くなり、各誘発波形ピーク間の出現潜時は長くなり、各ピーク間の振幅値も小さくなることが予測された。

本実験の SVR のデータでは、出現潜時にはほとんど長短の変化はみられなかったが、各ピーク間の振幅に若干の減少傾向が観察された。特にピーク間振幅の差や比率(変動率)に統計上有意味な減少傾向がみられたことは、加算作業の影響があったことを示すものであり、生体になんらかのストレスが加わったことを示すものであろう。この減少率を加算作業の影響だと考えると、大脳における判断と反応するまでの時間遅れではなく、ストレスラーに対する反応の強さに変化が現れたと考えられる。

3. EEG と精神的作業の関係

人間がリラックスした状態では α 波帯域の出現率が増加することが知られている^{9),10)}。

今回の実験における加算作業中には、 α 波の周波数帯域の出現率が減少し、 β 波帯域などの別の周波数帯域の出現率が増加した。この出現率の変動は個人差が大きく、全被験者の一定の傾向を示すものではなかった。本来、脳波の周波数帯域は個人差が大きく、作業の影響度には強弱があると報告されている。個人別の生体負担の精神状態評価に問題がある現状では、EEG のみの周波数分析と個人の精神的変動状態との関係を推論し、一定の傾向を導き出すことは不可能と思われる。今後、ストレスラーの選択とストレスのかかり具合、そして EEG のみの分析ではなく、複数の計測パラメータによって評価する必要があるだろう。

4. MV と精神的負担の関係

MV の複雑波形の発生機序として、自律神経系説、 γ 運動系を含む脊髄反射説、心弾動図説等があげられているが、これらすべてを含めた複合的な要因に由来するものと考えられる。しかし特に精神状態の変動との高い相関を示すと考えられる。その理由として神経症や精神分裂症の患者の被験者では、健常者の MV よりも α 周波数帯域の出現率が減り、 β 周波数帯域の出現率が高くなるという報告もあるからである⁶⁾。

今回の実験の加算作業により、一種の精神的興奮状態となり、細かいふるえ(β 周波数帯域)が増えることが予想された。しかし、この β 周波数帯域の出現率は、EEG と同様に個人差が大きく、全被験者の一定の変動傾向を導き出す事は出来なかった。

しかし、MV 波形のパワー密度(トータルパワー)を抽出すると、本実験において大きく変動するデータが得られた。これはスペクトル波形の時間的な積分量を表す指標で、脳神経の興奮活動状態を表すと言われている。加算作業により、脳神経の活動が盛んになり、大きく増大したと思われ、作業負荷と MV のトータルパワーの関係は統計的に有意であった。

ま と め

5. 生体ストレスの計測方法

人体に加えられたストレスを生理学的な指標によって測定する場合、まず問題となるのは、実験室的にどのようにストレスを人為的に作り出しコントロールするかであり、その時の生体の変動状態や外部環境をどのように規定するかである。今回は、ストレッサーとして加算作業（クレペレン検査）を使用した。生体負担度のかかり具合が定量化されない問題が残っている。また外部環境や生体の変動状態の計測には、様々な刺激の多い実験室で計測している限り、全く同一化する事は難しいだろう。しかし人間をそのような外界刺激の遮断状態におく事自体が、生体へのストレスとなり、倫理上（人道上）の問題が生じるだろう。そして、実験に対する恐れや構えを生じさせる可能性が高く、ストレッサーとは別の要因が生じるだろう。また、どういう状態をストレスと規定するかとの定義についても、問題は多く考えられる。同じ刺激を与えた場合でも、人によってストレスと感ずるかどうかの尺度に大きな違いがあるが、その個人感覚のみでストレスの度合を測る事は不可能であるし、全く同じストレッサーを与えたからといって、同じ状態だと定義することも無理がある。ストレッサーやストレス状態を定量化できないところに、一般的に定義することの難しい問題が多々あると思われる。

次に生理的指標や計測の場合、現在、研究者によって様々な指標を使った実験が行われているが、今回の実験のデータから、加算作業により誘発 EEG (SVR) の変化に統計上有意な差がみられたことから、今後のストレス実験において、SVR は、かなり有効な指標となる可能性があると思われる。また EEG, MV 等の周波数分析に関しては、非常に個人差が多くみられたために、これらの周波数分析結果は、ストレス状態の定義において、もう少し細かく規定する必要があるだろう。今後とも、一定の傾向が得られるように、トータルパワーやスペクトル密度などの新しい指標を作っていく必要があるだろう。今後もこの2つの指標を使いストレスの実験を続けていく必要があると思われる。

精神的なストレスを生理学的な客観量として測定することは難しいが、なんらかの生体情報の変化として捉えることを目的として、クレペレン検査（加算作業）をストレッサーとして考えて実験した。様々な生体信号のうち、誘発 EEG (SVR)、EEG と MV を選び、安静時、加算作業前、中間の休憩中、作業終了直後で測定し、これらの信号の変化を中心に、精神状態の変化を調べた。

① 生体信号のうち EEG と MV の周波数分析を行い、周波数 7.5～12.5 Hz の α 波帯域の出現率に関して調べた。その結果、この出現率は個人差が大きかった。しかし、全被験者のうち、 α 波出現率に変動を示したものもみられた。

② EEG と MV のパワースペクトルと経時的なパワーアレイを求めた。周波数帯域の変動と同様に個人差が大きく一定の傾向はみられなかった。しかし、なんらかのストレスの影響が、これらのスペクトル情報の中にあらわれていることがわかった。

③ 誘発 EEG (SVR) の波形を分析した結果、各振幅ピークの出現潜時と、各振幅ピーク間の出現潜時は、加算作業前後において著しい長短変動はみられなかった。しかし、各ピーク間の振幅は、加算作業前から中間の休憩中にかけて若干の減少傾向がみられた。

各ピーク間の振幅の差や、各ピーク間振幅の比率（変動率）は、各ステージ状態において統計上有意な減少傾向がみられた。

④ 各生体信号のパワースペクトルの時間的積分値としてトータルパワー値 (T.P.) を求めた。このトータルパワー値は、EEG の場合大きな変化はみられなかったが、MV においては、安静時や加算作業検査前の値を基準とすると、中間の休憩中や検査終了直後に著しく増加した。

⑤ 今後のストレス研究において、誘発 EEG (SVR) は有力な生理・心理学的な評価指標となり得る事が考えられる。そのためにストレッサーとしての精神的負担課題を慎重に選択し、生体にかかるストレスの影響を客観的に研究する必要がある。

参考文献

- 1) 船坂宗太郎, 大西信治郎: 聴性脳幹反応—その基礎と臨床, メジカルビュー社, 381-392, 1985
- 2) 佐久間春夫, 永田晟: バイオフィードバックによる MICROVIBRATION 制御について, バイオフィードバック研究, 11巻, 1984
- 3) 佐久間春夫, 坂本和義, 永田晟, 室増男, 臼井利朋, 村上慶郎: 筋ジストロフィー患者のマイクロバイブレーションに関する研究, バイオメカニズム 7, 26-35, 1983
- 4) 稲永和豊: マイクロバイブレーション—精神医学の立場から—, 臨床生理 4(1), 23-27, 1974
- 5) 尾崎俊行: マイクロバイブレーション—生理学的立場から—, 臨床生理 4(1), 28-34, 1974
- 6) 菅野久信, 稲永和豊: こまかいふるえの発生機序, 脳と神経 10, 769-780, 1958
- 7) 尾崎俊行: マイクロバイブレーションと自律神経機能, 日本医事新報, No.2846, 43-50, 1978
- 8) 尾崎俊行, 工藤洋子, 五十嵐勝朗: 眼瞼上体表面 MV の生理的性質, 臨床脳波 16, 553-558, 1974
- 9) 苧阪満里子: 精神作業と α 波ピーク周波数の関連—task difficulty の効果について—, 脳波と筋電図 11(4), 248-254, 1983
- 10) 苧阪満里子: 精神作業時の脳波のスペクトル分析, 心理学研究 50, 45-48, 1979