

入眠時の slow eye movement (SEM) ⁽¹⁾

——睡眠状態の指標としての可能性——

広 重 佳 治

著者らは、容積脈波の慣れの研究において、入眠前の覚醒時に慣れを形成してまったく反応が起きないようにしておいても睡眠への移行に伴い反応が回復し始め、睡眠中には慣れが生起しにくいことをみてきた（広重他，1977；広重と永村，1979；広重，1981）。その際問題となったのは覚醒から睡眠への移行状態の判定方法であった。通常，この移行状態は入眠期と呼ばれ，脳波的睡眠段階の分類に従えば睡眠段階1が概ね対応づけられる。脳波的睡眠段階とは，本来刻々と変化している脳波像を一定区間（通常20秒ないし30秒）毎に分割し，その区間内で観察されるアルファ波，睡眠紡錘とK複合，あるいはデルタ波などの基礎律動の多少に応じて脳波像をパターン分類したものをいう。しかし，睡眠段階1はRechtschaffen & Kales (1968) の定義にもあるように，「2～7%波が目立つ，比較的低電位でさまざまな周波数の混在する脳波」像であるため，他の睡眠段階のように特徴的な基礎律動を特定することは難しい。更に，覚醒から段階1への移行時は，覚醒時脳波の基礎律動であるアルファ波の出現が断片的となり，視察による段階判定がかなり困難な時期である。このような段階と段階の臨界点の判定には操作的方法を採用するのが通例である。例えば，APSS方式によれば，一定区間内のアルファ波の占める割合が50%未満となったときを段階1と判定する。しかし覚醒時にアルファ波が少ししかみられない人や，まったくアルファ波を示さない人には，この判定基準はあま

1. 本稿は1983年日本心理学会第47回大会における発表演題「睡眠発生と slow eye movement (SEM)」をまとめ直したものである。

り有効でない。これに関連して、脳波のスペクトル構造の時間的変動から入眠期の脳波像の特徴を記述する試みがある(堀, 1979)。睡眠時脳波のスペクトル分析については、脳波が非定常であるために最適なサンプル長の決め方がきわめて難しい問題として残されており(永村, 1974)、入眠時のように不安定な脳波像を対象とする場合は慎重でなければならないであろう。

睡眠段階が脳波の基礎律動に注目したパターン分類であることは上述した通りであるが、この睡眠段階の判定には眼球運動と筋電図が補助指標として通常用いられる。睡眠時の眼球運動はレム睡眠中の急速眼球運動(rapid eye movement: REM)とオーソ睡眠時の緩徐眼球運動(slow eye movement: SEM)とに区別されており(Aserinsky & Kleitman, 1955)、後者のSEMが段階1の時期にしばしば観察されることは多くの睡眠研究者が経験的に知りえているところである。また、段階1直前のアルファ波期から既にSEMの出現を認めた報告もある(Foulkes & Vogel, 1965; 堀, 1979; 大久保他, 1983)。これらの経験的知識や研究報告から、SEMを入眠時の随伴現象とみなし、SEMの出現から入眠状態を逆に推測するという考え方がでてこよう。しかし、他方では、SEMの出現と段階1の一致は偶然にすぎず、単なる時間効果によるものであろうとする考え方もできる。現在のところ、この時間効果を否定する証拠はなく、またSEMそのものの消長過程に関する資料も乏しいなど、SEMを入眠時随伴現象とみなすに足る資料の蓄積は十分でないように思われる。

本研究は、SEMが入眠状態の判定の指標として有効であるか否かを検討する予備実験であり、覚醒から睡眠に至る経過を脳波、眼球運動、心電図、呼吸曲線、脈波および主観的な眠気反応などのポリグラフにより連続記録し、主にSEMの消長過程と脳波的睡眠経過との対応を調べた。

方 法

被験者 心身とも健康な本学児童教育学科の女子学生6名(21才)を被験者

とした。本実験に参加した被験者はいずれも過去にポリグラフ記録を受けた経験がまったくなかった。

記録 脳波は活性電極を正中線中心部 (Cz), 基準電極を左耳朶 (A1) として単極導出し交流増幅器 (日本光電製 AB—620G, 時定数0.3秒) で増幅した。眼球運動の水平方向は左右の眼窩外側縁部 (E1, E2) より, 垂直方向は左目眼窩上下縁部より双極導出し交流増幅器 (日本光電製 AB—620G, 時定数2.0秒) で増幅した。心電図は第 I 導出法を用い, 交流増幅器 (日本光電製 AB—620G, 時定数0.01秒) で増幅した。呼吸曲線と指部容積脈波は呼吸/脈波カプラー用アンプ (日本光電製 AA—600H) を用いて, それぞれ直流増幅した。主観的眠気反応は, 被験者のスイッチ押しにより TTL のゲート回路を駆動させ, その出力を直流増幅器 (日本光電製 AD—600G) で増幅した。これらの生体情報は熱書記録器 (日本光電製 WT—685G, 紙送り速度1.0cm/秒) で紙記録すると同時に, カセット・データレコーダ (TEAC製 R—81, 回転速度2.375cm/秒, 周波数特性 DC~625Hz) で磁気記録した。⁽²⁾

手続き 実験は通常午前10時~12時の間に行なわれ, 記録時間は約1時間であった。被験者は順応日と実験日の計2回のポリグラフ記録を受けた。順応日は被験者が実験環境に馴れるために用意された。順応日から約1ヶ月後に実験日のポリグラフ記録が実施された。

所定の電極を装着された後にシールドルーム内の安楽椅子に横たわった被験者は, 眼前1mの位置にて0.5Hzの周期で点滅をくり返す赤色LEDを凝視しつつ, その間に眠気を覚えれば右手のスイッチを押し (主観的眠気反応), 眠気が消え去れば左手のスイッチを押すように教示された。眠気に耐えられな

2. 上記の計測記録装置は日本光電製ポリグラフシステムR—6000の構成機器であり, 本システムは1981年度に本学に設置された。尚, 本学の電気生理学的実験システムに関しては別の機会に報告する予定である。

くなった場合は、そのまま眠りに入ることが許可された。

資料の整理 脳波，眼球運動，心拍数 および 主観的眠気反応を分析対象とし，資料の分析区間は30秒とした。睡眠段階の判定は Rechtschaffen & Kales の基準（APSS方式）に準じたが，本実験では睡眠段階4と段階REMは認められなかった。

結 果

図1(a)~(d)は，磁気記録された脳波，眼球運動（垂直，水平方向）および容積脈波を紙送り速度1mm/秒で熱書記録器上に再生した原波形であり，覚醒から睡眠への移行に際して観察されたSEMの発生から消失に至る経過を例示している。図1(a)は覚醒期（段階W）から睡眠段階1（黒棒線部）が断片的に出現し始める頃の6分間のポリグラフ記録であるが，段階1およびその直前の

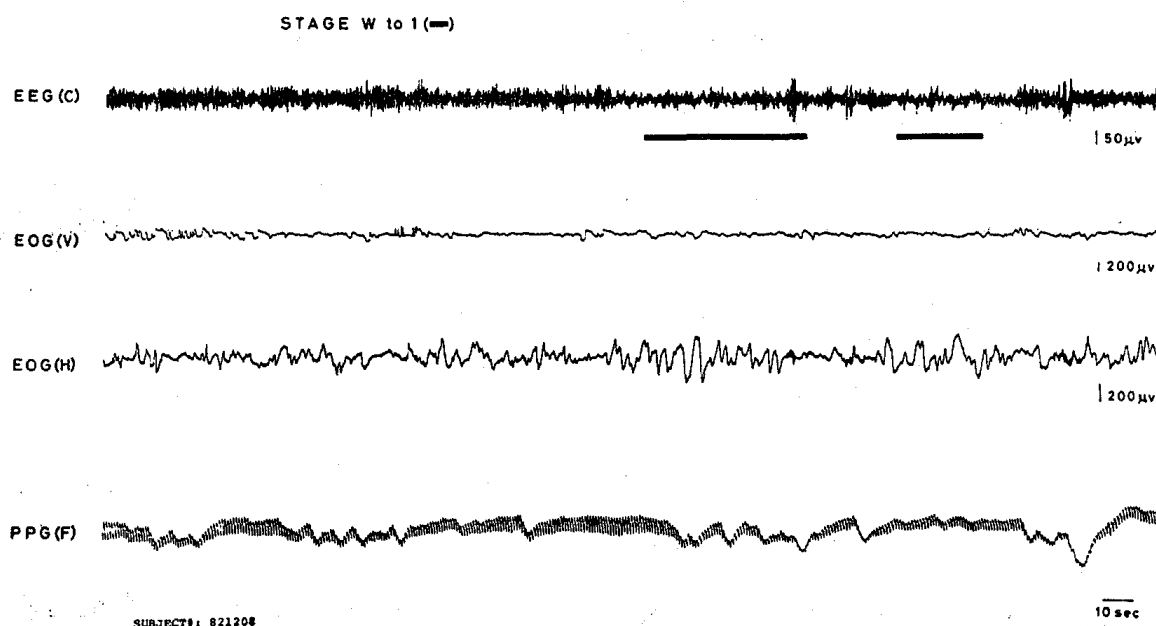


図1(a) 入眠時における緩徐眼球運動 (SEM)

覚醒期から段階1の断片的な出現に至る時期

EEG(C): 中心部脳波, EOG(V): 垂直眼球運動, EOG(H): 水平眼球運動,

PPG(F): 指先容積脈波, 被験者番号: 821208

覚醒期において水平眼球運動曲線上に緩徐な揺れが認められる。この揺れが SEM である。この時期の SEM は断片的で、持続性に欠ける。

睡眠段階 1 が安定して持続する時期に入ると、図 1 (b) にみられるように、SEM の出現はきわめて顕著となり、周期性のある正弦波様の動揺がつづく。こ

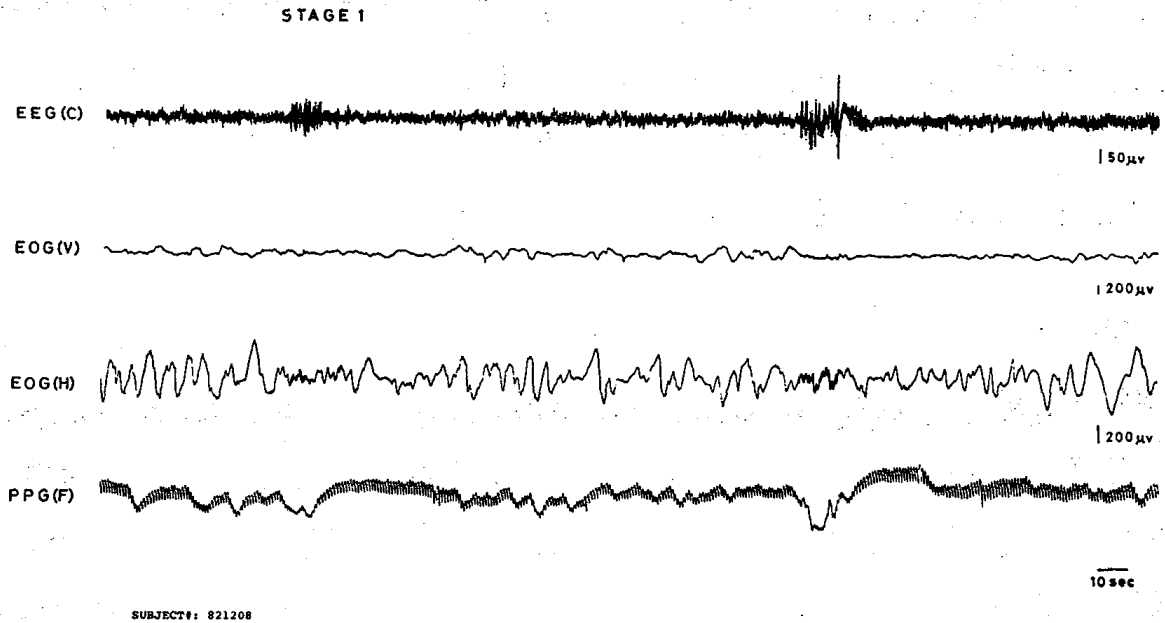


図 1 (b) 入眠時における緩徐眼球運動 (SEM)
段階 1 : 鋭波の発現を認めない時期

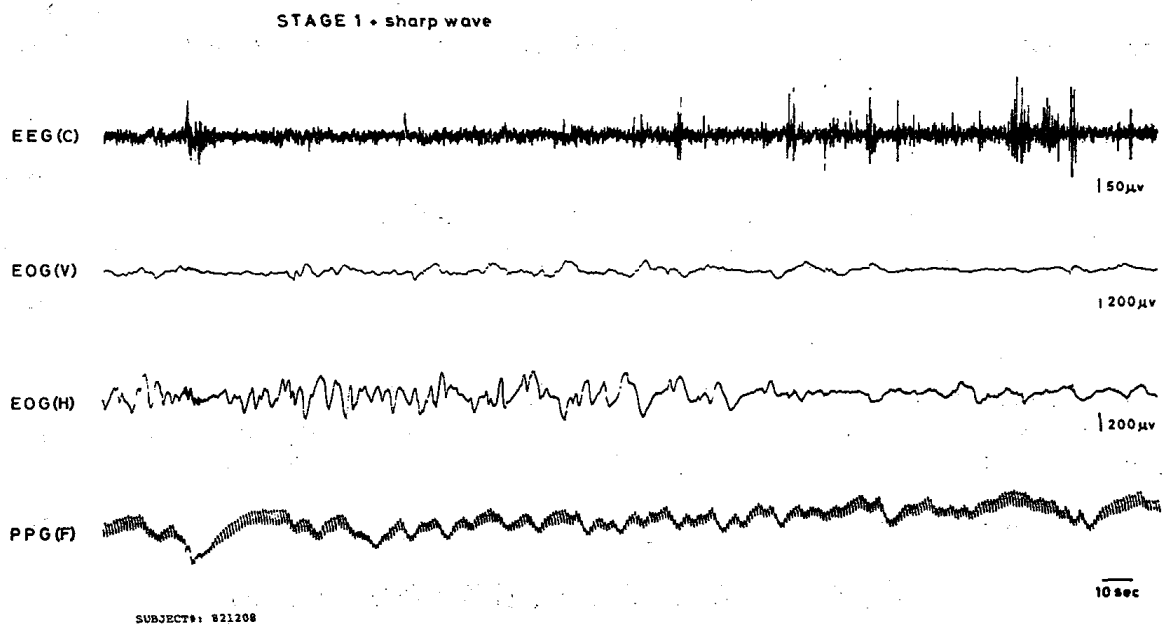


図 1 (c) 入眠時における緩徐眼球運動 (SEM)
段階 1 : 鋭波の発現を認める時期

の時期のSEMは一般的に高振幅である。また、SEMの持続性もよく、例えば、体動によって一時的に出現が抑えられることがあるが（図中の2ヶ所で筋電の発射が認められる）、その後直ちにSEMの回復が起こる。

脳波上に比較的高振幅の鋭波が出現してくる時期になると（図1(c)）、SEMの周期性は乱れ始め、その振幅も漸次減少してゆき、ついにはSEMの消失に至る。この鋭波を伴う段階1の後には、脳波上にK複合と脳眠紡錘の発現を特徴とする段階2が通常到来するが、段階2ではもはや顕著なSEMの出現を認めることはできない（図1(d)）。

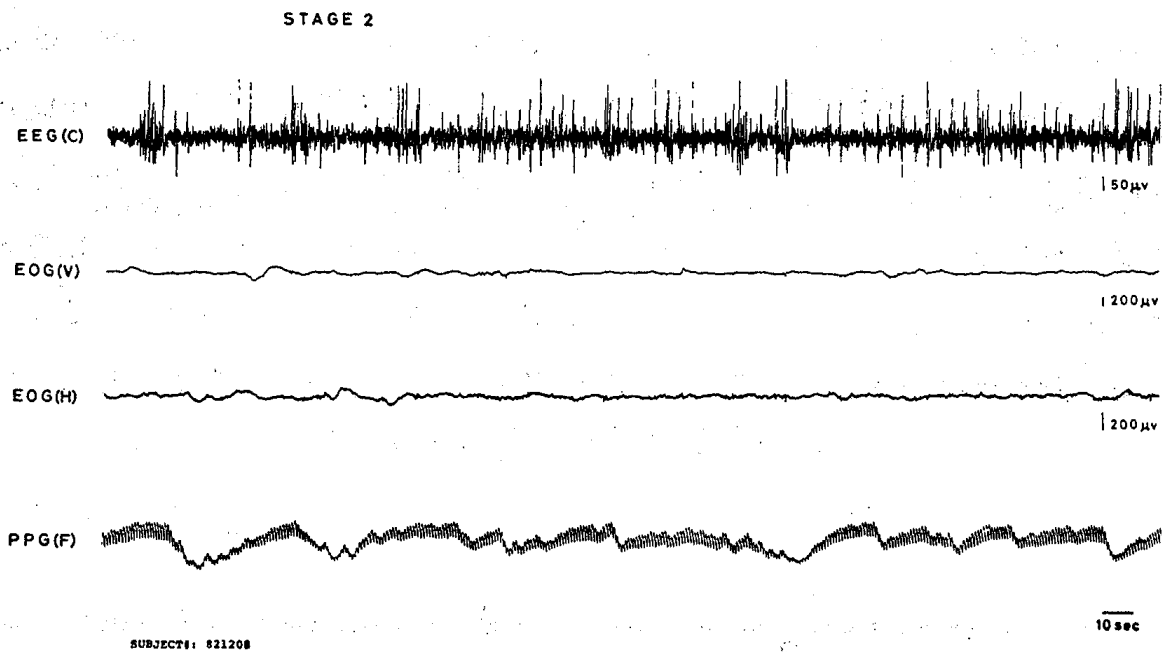


図1(d) 入眠時における緩徐眼球運動 (SEM)
段階2

SEMの出現率 以上の観察から、SEMの出現は睡眠段階によって異なることが予想される。そこで、睡眠段階別にSEMの出現率を被験者毎に算出した。ここでいう出現率とは、各睡眠段階の総区間数に対するSEMを認めた区間数の比率(百分率)である。尚、本実験で観察された睡眠段階は段階W, 1, 2, 3の4段階であった。また、段階1については、脳波上に鋭波の発現を伴わない時期と伴う時期との2つに分けてSEMの出現率をそれぞれ求めた。平

均出現率は、鋭波を伴わない段階1で最も高く(96.7%)、以下、鋭波を伴う段階1(82.9%)、段階W(42.2%)、段階2(17.9%)の順に低下してゆき、段階3では零であった。

SEM波形の特徴 SEMは、段階1の時期に典型的にみられたように、周期性のある正弦波様の揺れを特徴とする(図1(b))。これは振子などのように、動く対象を追跡視する時にみられる追従運動(following movement)の曲線によく似ている。このSEMの揺れを定量的に記述することが望まれるが、現在のところ適切な方法を見出しえていない。今回は、SEM波形の視察から得られる印象の近似的な表現として、SEMの持続性に注目した。30秒区間毎に、ピーク間電位が $200\mu\text{V}$ 以上の振れ幅を示すSEMを対象とし、その持続時間の総和が10秒以下のもの(SEM-1)、20秒以下のもの(SEM-2)、および20秒を越えるもの(SEM-3)の3段階に評定してSEMの分類を試みた(図2)。SEMの大きさ(ピーク間電位)は表1に示す通りであるが、SEMの持続時間が長くなるに従って振れ幅も増大する傾向がある。特に、持続の長いSEM-3については 1mV に近い振れ幅を示すものもあった。

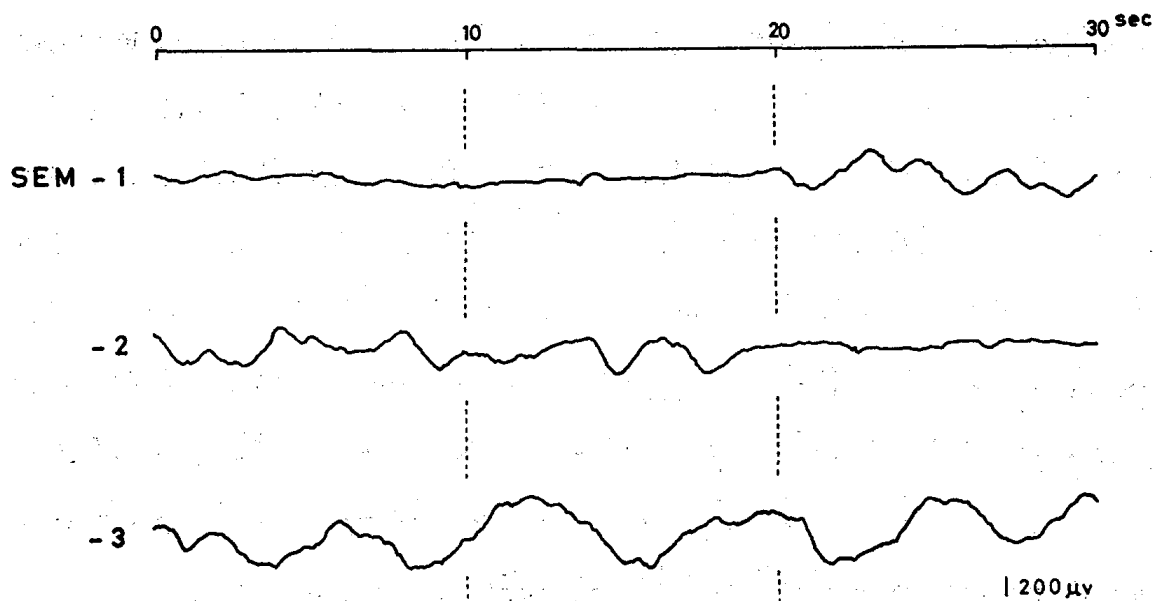


図2 SEMの分類

30秒の分析区間内のSEMの持続時間を3段階に評定する。

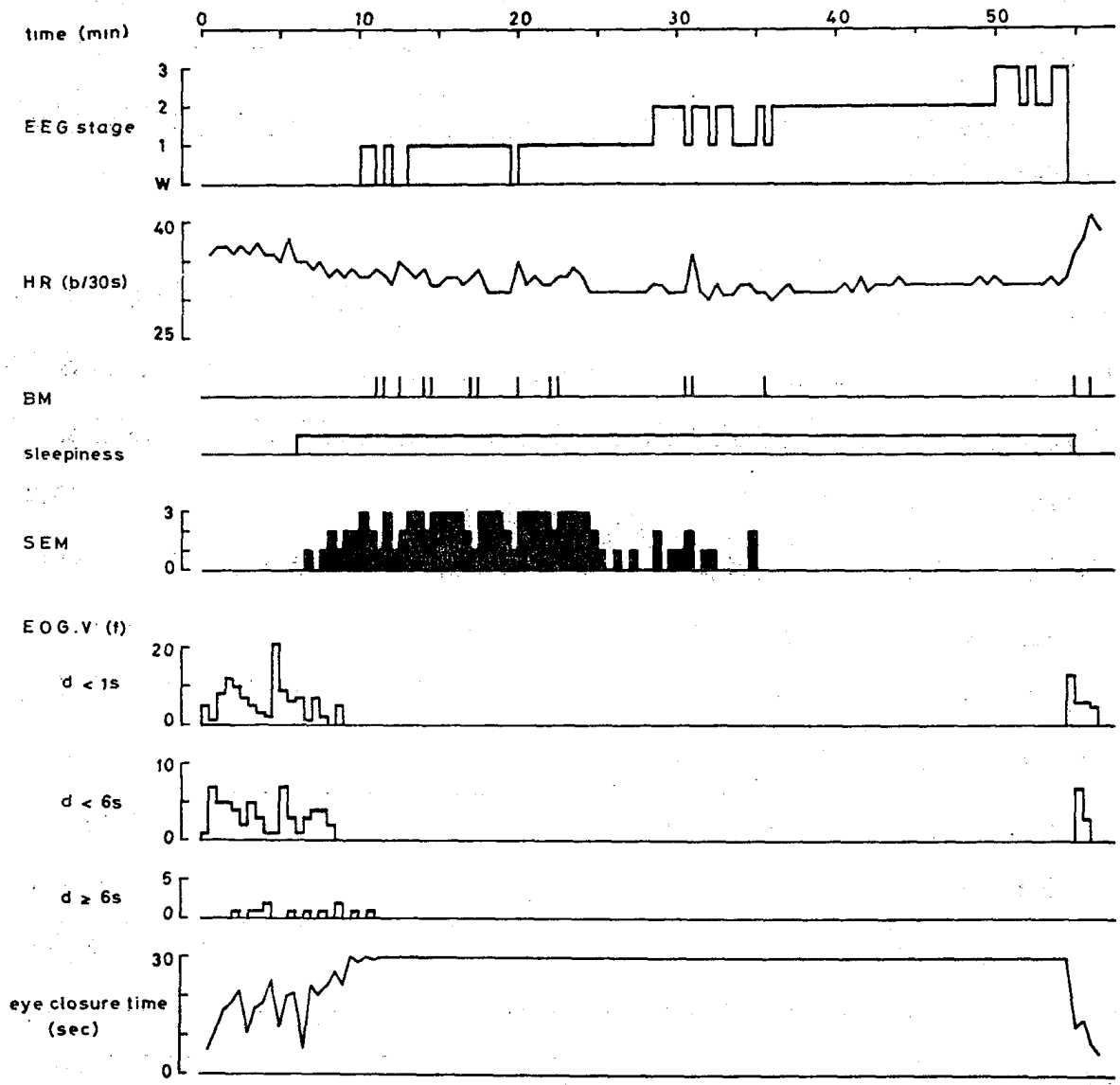
表1 SEMの持続性と大きさ

SEMの分類	持続時間 d	平均ピーク間電位 ⁺	区間数
SEM-1	d ≤ 10秒	263.8(81.96) μV	122
SEM-2	d ≤ 20	365.3(118.56)	103
SEM-3	d > 20	492.7(148.24)	130

⁺ピーク間電位は30秒区間で観察されたものの中の最大値を用いた。括弧内の数値は電位の標準偏差 (SD) である。

SEMの変動性と睡眠経過 SEMの変動性とはSEMの消長過程（出現区間数の変化）と3段階評定された持続性の変化（図2）とをいう。このSEMの変動性の特徴を脳波的睡眠段階の経時変化と対応づけて調べたが、その際に、被験者の睡眠経過は安定性の点から2群に分けることができた。1つは睡眠経過が比較的安定しており段階3にまで到達した群（3名）であり、他の1つは中途覚醒によって睡眠経過が断続的になり段階1あるいは段階2までの経過を数回くり返した群（3名）であった。そこで、この2群のSEMの変動性を比較検討することにした。

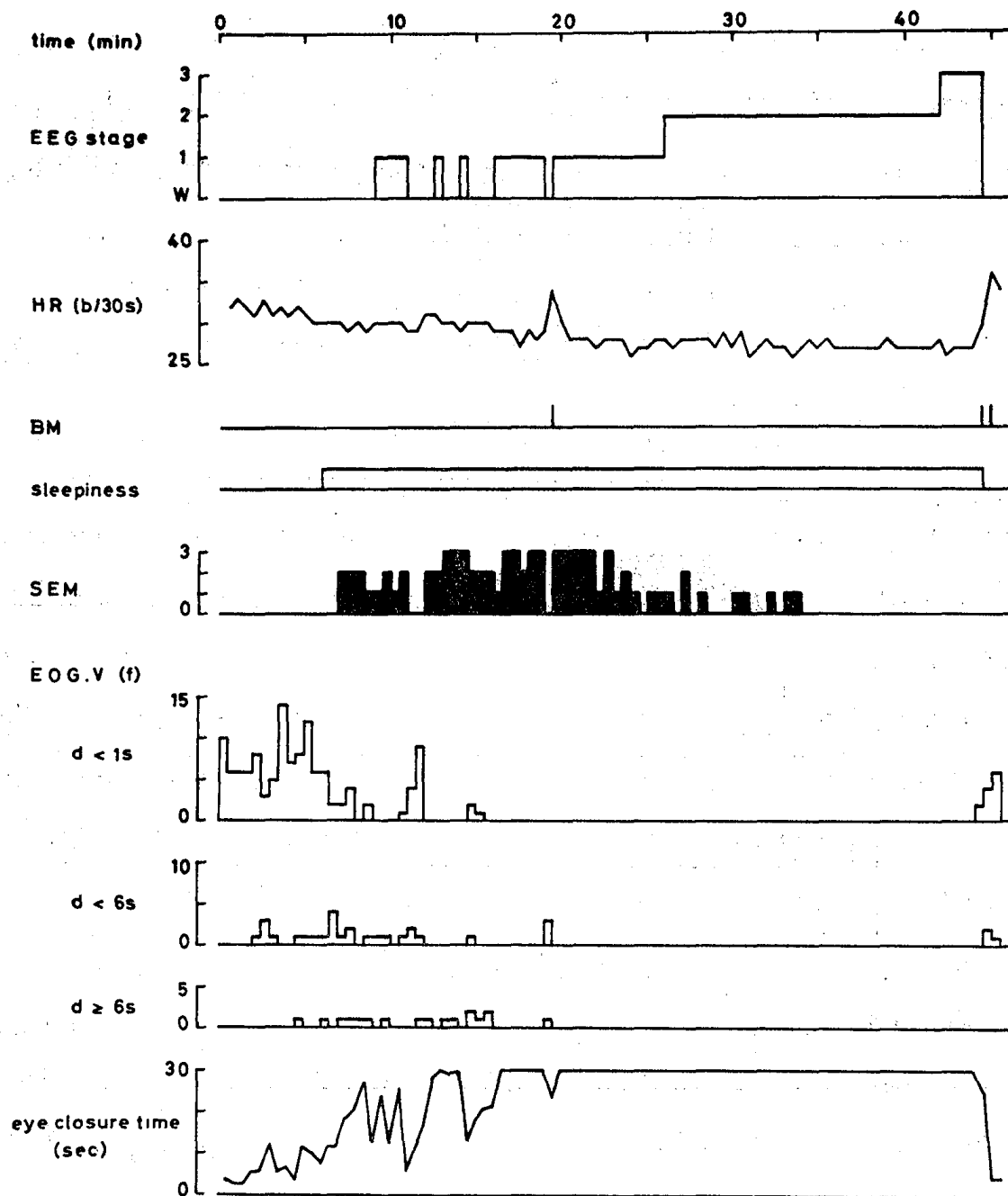
図3(a)と(b)はいずれも睡眠経過が良好で、段階3にまで到達した場合のSEMの変動性を示す。SEMの出現は段階1直前の覚醒期から既に認められるが、その多くは持続の短いSEMであった。段階1が断片的に現われる頃からSEMの出現区間数は増加するが、以前として持続の短いものが多い。やがて段階1の経過が安定してくるに従い、ほぼすべての区間でSEMの出現を認めるようになり、かつ持続の長いSEM-3の出現が顕著となる。しかし、段階1の後半から段階2への移行期にかけてSEMの出現区間は間欠的となり、持続の短いSEMが再び多くみられるようになる。段階2の後半および段階3ではSEMの出現を認める区間は皆無であった。



SUBJECT#: 821208

図 3 (a) 安定した睡眠経過と SEM の変動性

EEG stage: 脳波的睡眠段階, HR: 心拍数, BM: 体動, sleepiness: 主観的眠気反応, SEM: 緩徐眼球運動 (縦軸は図 2 の 3 段階評定である。), EOG (V): 垂直眼球運動 (持続時間 $d < 1s$ はまばたきに対応する。d の総和が閉眼時間である。)

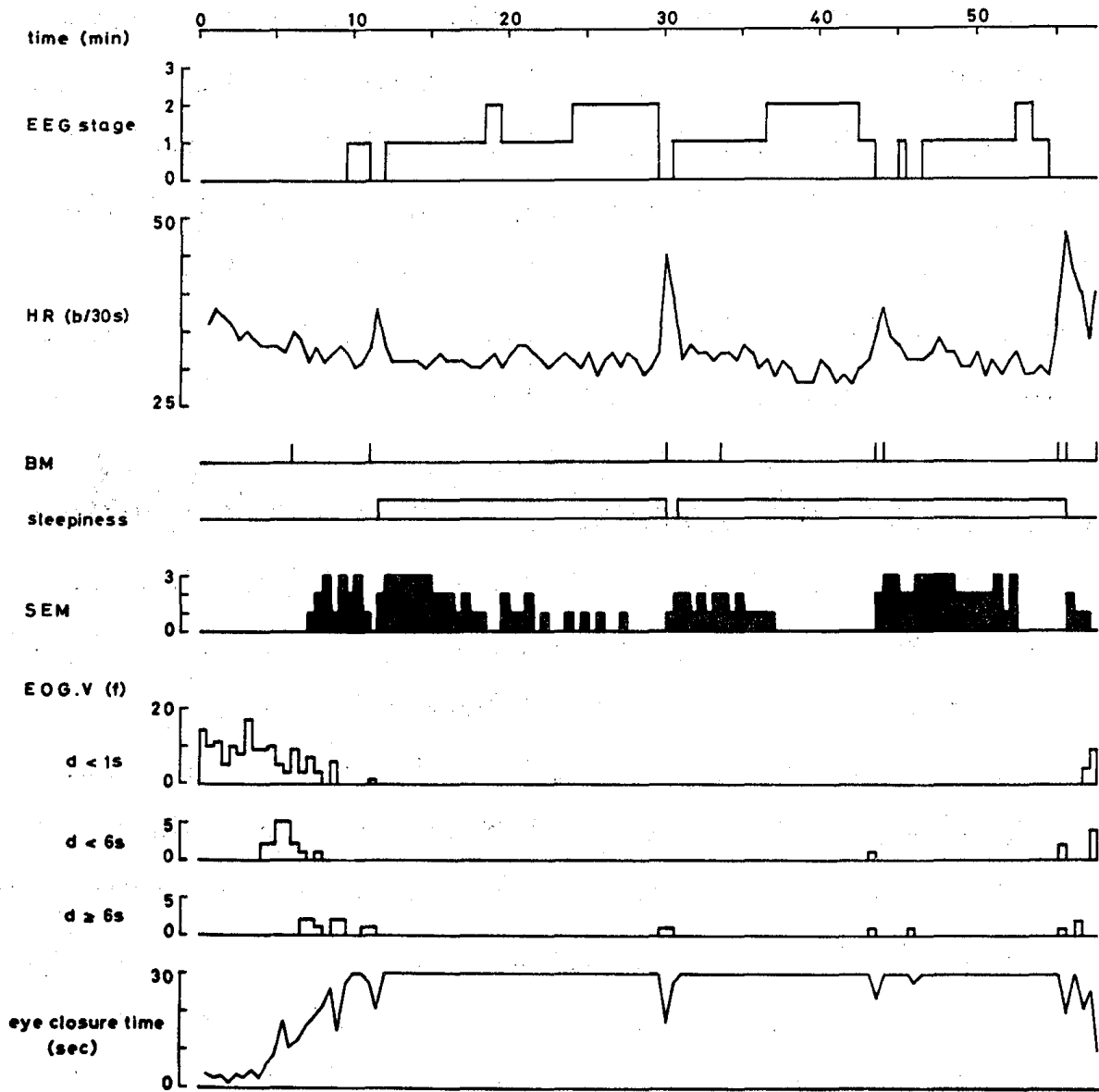


SUBJECT#: 821206

図3(b) 安定した睡眠経過とSEMの変動性

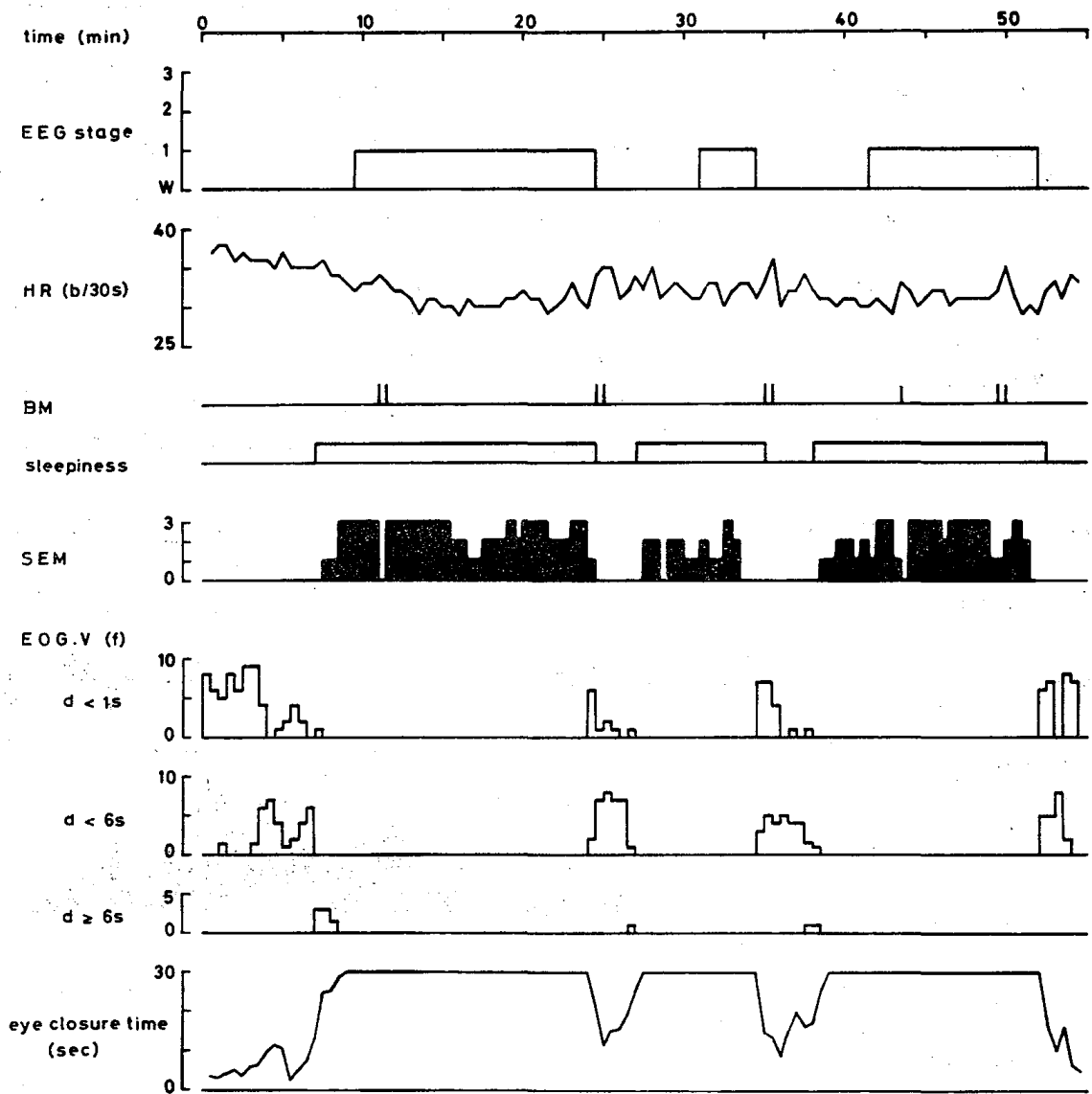
図4(a)は中途覚醒により睡眠経過が断続的となり、段階2までの経過を3回くり返した場合のSEMの変動性を示す。覚醒から段階1への移行期における持続の短いSEMの発生、安定した経過を示す段階1における持続の長いSEM—3の頻発、段階1から段階2への移行期におけるSEMの消失過程が、図3と同様に、認められる。本例は、上述したSEMの変動性と段階2までの断続的な睡眠経過との対応がくり返し観察されるという、SEMの再現性をよく示している。このSEMの再現性はSEMの出現が単なる時間効果によるものではなく、ヒトの状態あるいは意識水準の変化に伴伴する現象であることを物語っている。同様に、段階1を断続的に3回くり返した例においても(図4(b))、SEMの再現性を認めることができる。

睡眠段階1出現前後のSEMの変化 図5は段階1出現前後の各9分間のポリグラフ上の変化を7例について示す。SEMは段階1出現後にはほぼ全例に認められ、鋭波の発現を伴わない段階1の初期に持続の長いSEM—3(黒い部分)の出現例数が多い。一方、段階1出現前のSEMの変化をみると、早いものでは8分前頃から出現する例もあるが、ほぼ3~4分前からSEMの出現例数の増加が顕著となる。この段階1出現前3~4分間のSEM増加期における他の指標の変化をみると、心拍数の減少(ほぼ段階1の水準に近づく)、まばたき数の激減、閉眼時間の延長、眠気反応の発生といった特徴がある。このSEM増加期は、脳波像の点では30秒区間内に占めるアルファ波の割合(percent time alpha)が50%を越えていて覚醒期と判定されるが、上述した交感性自律機能の低下や主観的眠気の発生などの特徴から入眠にきわめて近い状態であると考えられる。



SUBJECT#: 821215b

図 4 (a) 中途覚醒による断続的な睡眠経過と SEM の変動性



SUBJECT#: 821215a

図 4 (b) 中途覚醒による断続的な睡眠経過と SEM の変動性

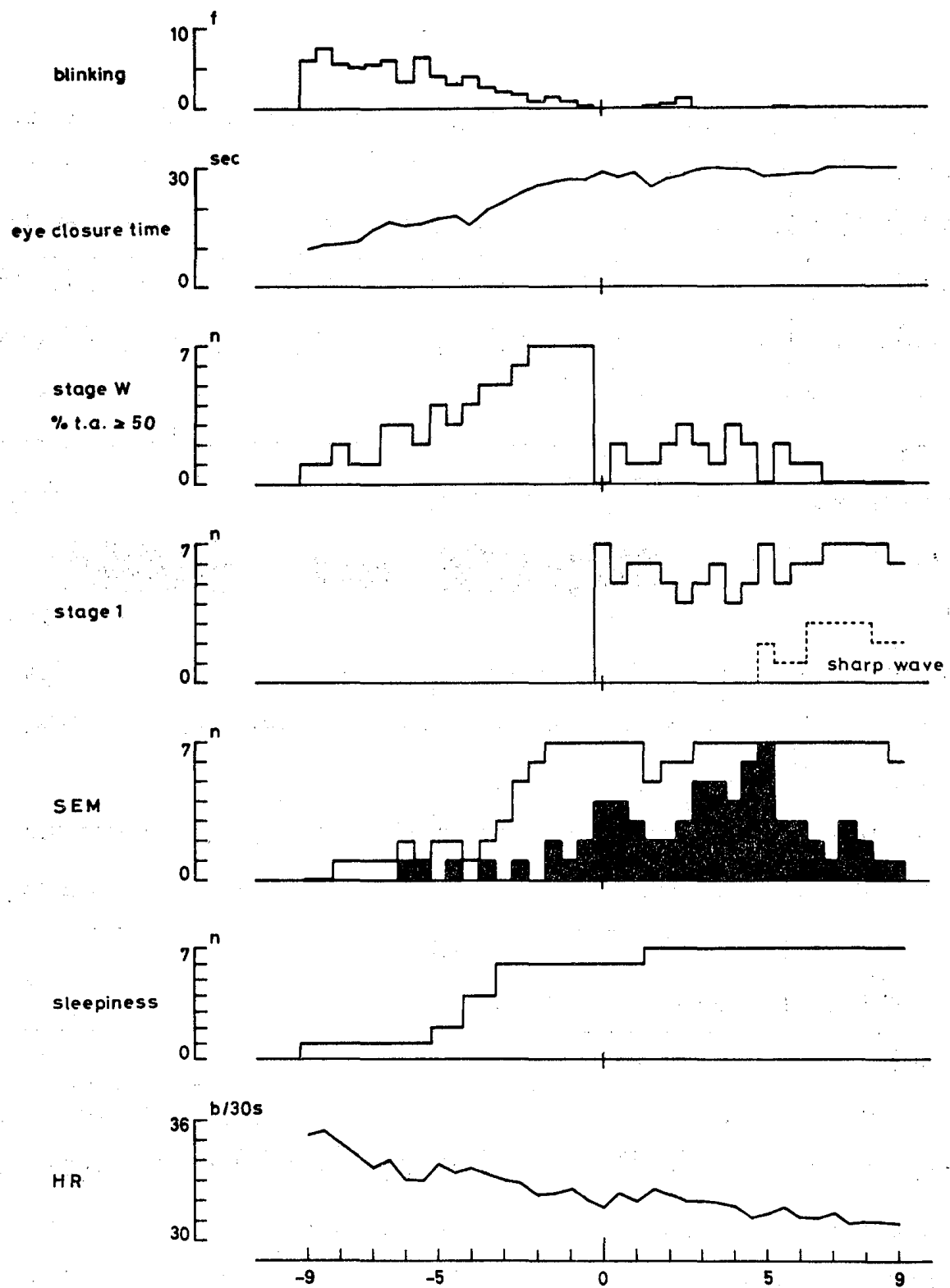


図5 段階1出現前後のSEMの変化

横軸は時間(分)を示す。負の領域は段階1出現前、正の領域は段階1出現後の各9分間である。% t. a. : per cent time alpha

考 察

本研究は、水平方向の緩徐眼球運動SEMは段階1直前の覚醒期より発生して段階1の前半（鋭波を伴わない時期）に頻発し、段階2の前兆である鋭波が脳波上に認められる頃より消失してゆく経過を辿り、またその経過に再現性があることを示した。つまり、SEMは脳波像で定義される覚醒から睡眠（段階2以降）への移行時にみられる過渡的現象であった。その意味において、SEMはヒトの状態の推移を反映するもう1つの指標としての可能性をもつものと期待される。また、本研究は、段階1直前にSEMが増加するアルファ波期に交感性自律機能の低下や主観的な眠気の訴えがみられたことから、このSEMを伴うアルファ波期を入眠にきわめて近い状態にあると推測した。このアルファ・SEM期には夢様体験が報告されるという Foulkes & Vogel の知見を考え合わせると、その時期を入眠の開始時点とみなすこともできそうである。要するに、SEMの消長過程を知ることから入眠状態の時間的範囲を定めることができるのではないかと考えられる。

SEM波形の記述について、本研究は30秒区間毎にSEMの持続時間を3段階に評定したが、これはあくまでも視察から得られる印象を表現する簡便法であった。電気生理学的現象は、本来、電位の時系列として扱われるべき性質のものであるから、本研究の評定法は適切さを欠いているかもしれない。SEMの時系列的特徴を定量化するには、まず、その原波形の特徴を知らねばならない。例えば、図1(b)あるいは(c)にみられるように、SEMは追従運動によく似た緩かな正弦波様の動揺をくり返した。この点を考慮すれば、追従運動の定量分析の方法が参考になるかもしれない⁽³⁾（藤沢，1983）。しかし、SEMの原波形の特徴に関する資料は本研究だけでは不十分であり、更に実験を重ねる必要があると考える。

3. 1983年日本心理学会第47回大会における藤沢清教授の助言。

本研究は記録チャンネル数の制約から双極導出により眼球運動の記録を行なったが、この導出法は眼窩外側縁部の電極からのアーチファクトを検出できないという欠点がある。この電極に由来するアーチファクトの検出はSEMのように緩徐な現象を記録する場合は必要な条件とされている (Rechtschaffen & Kales)。現在進めている実験においては、左右の眼窩外側縁部においた各1本の電極と左耳朶においた基準電極からの電位を別々のチャンネルで記録する単極導出法を採用している。この単極導出で観察されるSEMの特徴については現在検討中である。

文 献

Aserinsky, E., & Kleitman, N. Two types of ocular motility occurring in sleep.

Journal of Applied Physiology, 1955, 8, 1-10.

Foulkes, D., & Vogel, G. Mental activity at sleep. *Journal of Abnormal Psychology*, 1965, 70, 231-243.

広重佳治・永村寧一・八重沢敏男・吉田茂・岩原信九郎　くり返し音刺激に対する覚醒・睡眠時の血管反応　日本心理学会第41回大会発表論文集, 1977, 56.

広重佳治・永村寧一　連続6夜の刺激睡眠における血管反応の慣れ　日本心理学会第43回大会発表論文集, 1979, 111.

広重佳治　睡眠発生と慣れの解除——末梢血管反応について——　親和女子大学研究論叢, 1981, 14, 73-90.

堀　忠雄　入眠時脳波の時間変動特性。昭和54年度科学研究費補助金(総合研究B)研究報告「心理現象(睡眠と学習)の神経生理学的対件に関する学際的研究」, 1979, 61-70.

永村寧一　脳波の多変量解析　心理学評論, 1974, 17, 45-64.

大久保善朗・松浦雅人・一瀬邦弘・小島卓也・福沢等・山本紘世・島藺安雄　入眠時の脳波と眼球運動の定量的研究　脳波と筋電図, 1983, 11, 41.

Rechtschaffen, A., & Kales, A. (Eds.) *A Manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages for human subjects*. Public Health Service, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1968, NIH Publication No. 204.

SUMMARY

SLOW EYE MOVEMENTS (SEM) IN DROWSY STATE

—The possibility of SEM as an index of sleep state—

Yoshiharu Hiroshige

Experimental Psychology Unit, Shinwa Women's College

EEG sleep stages, classified according to criteria of the Association for Psychophysiological Study of Sleep (APSS), are effective in giving an outline of over-night sleep process. But we often feel difficulties in categorizing such transitional epochs as EEG state with discontinuous and low alpha waves or that with low amplitude mixed wave frequencies. There seem at least three approaches to those difficulties. The first approach is an operational definition of sleep stages; APSS suggests that EEG state with less than 50% of subject's EEG recording occupied by alpha waves should be called stage 1 (drowsy state). The second one is EEG spectral analysis to detect frequencies common to all stages as well as those unique to a specific stage of sleep. The third is a combination of EEG and other reliable indexes, such as EMG and rapid eye movements which led to a finding of stage REM sleep.

The present preliminary study is one of the third approach and aims at slow eye movements (SEM), observed on horizontal eye movement recordings, to see if SEM can be used as a reliable and distinguishing index of sleep state. This study revealed that SEM, being a sine-like oscillation, was a transient phenomenon accompanying the changes in subject's state; SEM began to appear slightly in waking state, got most frequent at EEG stage 1, and decreased quickly toward the end of stage 1 and the beginning of stage 2. No visible SEM was observed at all during slow wave sleep. This process of SEM was recoverable in character; when the subject fell asleep again after he had awakened temporarily from sleep, the same development and decay process of SEM occurred repeatedly. The results of this study suggest that a time span or range of drowsy state might be detected by using SEM.