恒暗環境下における覚醒水準の低下が 徐波睡眠に及ぼす影響

広島大学 森川俊雄 林 光緒 堀 忠雄

The influence of lowered vigilance under the continuous dark environment on the slow wave sleep

MORIKAWA, Toshio, HAYASHI, Mitsuo, & HORI, Tadao

Department of Behavioral Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences,
Hiroshima University,
Higashi-Senda, Nakaku, Hiroshima 730, Japan

The effects of lowered EEG vigilance under the continuous dark environment on the amount and the duration of slow wave sleep (Stage 3+4 : SWS) were examined on 7 male subjects (19-26y). Two of 7 subjects gave up the experiment, so that the data of those 2 subjects were omitted from present analysis.

They lived alone for 72 h under the sound-proofed environment with no time cues and constant darkness, and their polygraphic recordings were monitored. Referential central (C₃) and occipital (O₁) EEGs were frequency-analyzed every 15 min for a duration of 61 s, when the C₃ EEG was showing stage W (EEG waking). Peak analysis of power spectra in alpha band (8-13Hz) showed that the peak alpha frequency (frequency of the maximal peaks in alpha band) in the waking periods decreased from the first day of experiment to the end (mean 1.85Hz, SD 0.71Hz, range 1.0-3.0Hz). This decline of peak frequency was stepwise in each subject. The results of principal component analysis confirmed this tendency and the factor loading patterns well demonstrated the stepwise shift points of alpha peak. Then we divided the experiment periods in accordance with the peak shift points so as to equalize the level of EEG vigilance and gathered the sleep stage data in each of these periods.

The results of this study showed that the level of EEG vigilance in the waking periods did not affect the amount of SWS, but the duration of SWS. The occurrence of fragmented SWS increased in parallel with the lowering EEG vigilance.

We conclude that the appearance of SWS depends not simply on the quantity of waking period but the quality of the period.

Key words: continuous dark environment, peak alpha frequency, slow wave sleep, EEG vigilance level, principal component analysis.

実験の遂行から資料整理に至るまで多大な協力をいただいた大塚 洋氏に深く感謝します。なお、本研究の一部は昭和61年度文部省科学研究費補助金（研究課題番号61450016、代表黒川正流）の援助を得て実施された。

1988. 8. 19 受稿

1988. 10. 31 受理

周波数が0.5Hzから2Hzで、振幅75 μ V以上の高振幅徐波(δ 波)を主成分とする睡眠第3段階と第4段階(Rechtschaffen & Kales, 1968)をあわせて、徐波睡眠(Slow Wave Sleep: SWS)と呼ぶ。このSWS時に被験者は自覚体験として熟眠感を持ち、行動的にも感覚刺激に対する閾値が高まっていることから、深い睡眠であると考えられている。こうしたSWSの精神生理学的特性は、睡眠の量と質を評価する上で重要な指標となり、これまでにSWSの出現量に影響を及ぼす要因についての実験的検討が数多く行われてきた。

Webb & Agnew (1971)は、8時間の睡眠を2つに分けた分割睡眠について検討を行い、SWSの出現量は先行する覚醒時間の長さに依存するとした。この知見は、全断眠後の朝と夜の回復睡眠についてみた Benoit, Foret, Bouard, Merle, Landau, & Marc (1980)や、睡眠時間帯の acute reversal について検討を行った Weitzman, Kripke, Goldmacher, McGregor, & Nogeire (1970)の研究等によって支持されている。

一方、これに対して昼間睡眠がその後の夜間睡眠に対してどのような影響を与えるかについて検討した Karacan, Finley, Williams, & Hirsch (1970)は、睡眠段階4には一定の充足量があり、それが満たされるとそれ以上の出現はしなくなるという説を主張した。また、彼らと同様に昼間睡眠の影響について検討した宮下・市原・宮内・石原・新美(1978)や、夜間の仮眠がその後の昼間睡眠に与える影響について検討した松本(1982)は、一定時間当りの覚醒時間が一定であればSWSの出現量は一定であるという結論に達し、Karacan et al.の説を支持している。加えて、長時間睡眠者と短時間睡眠者の睡眠内容について比較検討を行った福田・犬上・宮下(1984)はSWSの出現量については両者の間に有意な差を得ることができなかった。また、1週間の絶対臥褥条件下での睡眠・覚醒リズムの検討を行った太田(1983)も、総睡眠量が1日目から3日目にかけて減少を

示してもSWSの出現量が一定であったことを示した。これらもまたKaracan et al.の説を支持する結果となっている。

また一方で、入眠前に活発な精神活動を行わせること(Horne & Minard, 1985)、日中に視覚的負荷をかけること(Horne & Walmsley, 1976)、日中に運動負荷をかけること(Bunnell, Bevier, & Horvath, 1983)により夜間睡眠時のSWSの出現量が増加するという報告がある。逆に、実験室における第1夜効果(堀・宮下, 1969)や入眠前にストレスを与えること(Cluydts & Visser, 1980)により出現量が減少するという報告もある。これらの知見は、睡眠中のSWSの出現量は、入眠前の覚醒期の状態に影響を受けることを示唆するものである。しかし、これらは覚醒水準を高めるように覚醒期を操作しSWSの出現量への影響をみるものであり、覚醒水準の低下とSWSの出現量について言及したものはほとんどない。

木田・杉本(1973)は、覚醒水準の変動を量的にとらえる指標として α 波の中心周波数を用い、外界の刺激が極端に削減された環境(刺激欠乏環境)に置かれた被験者の覚醒水準の変動について検討を行っている。これによれば、48時間の実験セッションで約2Hz以上の α 波の周波数の低下を認め、このような状況は被験者の覚醒水準を低下させる効果を持つとしている。

そこで、今回は被験者を特に視覚刺激が完全に遮断された恒暗環境下に置き、自由に睡眠がとれる状況を設定した。全実験区間を実験開始から時計時刻にあわせて24時間ずつに区分する分析はすでに報告しており、その中では覚醒時間とSWSの出現量との対応関係を中心に検討を行い、覚醒時間が延長してもSWSの出現量は一定であることについて報告した(Hayashi & Hori, 1988; 林・堀, 1988)。今回は特に恒暗環境下に発生する覚醒水準の低下と、SWSの出現量および出現動態との関連性の検討を行った。そのために、覚醒時の脳波に対して周波数分析を行い、 α 帯域のピー

ク周波数の変化を指標として用い、脳波から推定した覚醒水準の変動を定量化することにした。

方 法

1. 被験者

通常7～8時間の睡眠をとると報告した男子大学生及び大学院生7名で、年齢は19～26歳（平均22.1歳）であった。

2. 実験手続き

第1日目の10:00から脳波・眼球運動測定用の電極を装着し、12:00から昼食をとらせた。13:00に被験者を有効寸法 $3100^W \times 2680^D \times 2300^H$ mmの空調・防音シールド室にいれ、消灯を合図に、実験を開始し実験中は常に消灯状態とした。実験室の室温は 22.5 ± 1 ℃を標準とした。被験者の行動を2台の赤外線カメラでモニタしながら連続ポリグラフ記録を行った。室内にはマット、毛布、トイレを設置して、常温で保存可能な食料と水をあらかじめ搬入しておいた。食事・睡眠・用便等の被験者の行動はすべて自由としたが、実験中実験者との接触は行わなかった。しかし、不測の事態や健康上の理由等で、被験者が実験の続行が不可能であると判断した場合の意思表示用として、入口のドアの横に非常用スイッチを設置した。このスイッチを入れれば、いかなる場合においてもその時点で実験を中止できること、実験者が常に待機していることを教示し、被験者の不安を極力排除するよう努めた。72時間経過後の4日目の13:00に被験者をシールド室から出し、内省報告をとった。

3. 記録と分析

1) ポリグラフ測定 脳波・眼球運動を万能脳波計（三栄測器製1A57型、14チャンネル）に紙記録し、同時にデータレコーダ（TEAC製SR-10）に磁気記録した。脳波は前頭（ F_2 ）、左右の中心（ C_3 , C_4 ）、頭頂と側頭の中点（ W_1 , W_2 ）、後頭（ O_1 , O_2 ）の計7部位について、両耳垂を基準部位として記録した。眼球運動は両眼角外1cmの位

置から、水平眼球運動の測定用に同側耳垂を基準部位として記録した。

2) 睡眠段階の判定 睡眠段階の判定は C_3 を対象として、Rechtschaffen & Kales (1968)の判定基準に準拠し1分区間毎に行った。

3) 脳波の分析 睡眠段階の判定に用いた中心部（ C_3 ）、覚醒時の α 波が最も優勢であるとされる後頭部（ O_1 ）について、被験者が覚醒（睡眠段階W）していれば、シグナルプロセッサ（三栄測器製7T07A型）により15分毎にパワスペクトル解析した。サンプリング間隔10msでAD変換した1024個のサンプルにFFTを実行した。また、スムージング処理としてハニングウインドウを用いた。これを6回単純加算平均して平滑化を行った。従って、1回の抽出標本長は約61秒で周波数分解能は0.1Hzである。演算結果はRS-232Cインターフェイスを介して、マイクロコンピュータシステム（PC-9801m）に転送し、主成分分析等の統計処理を行った。

4) 資料の整理 得られたパワスペクトルのうちで、アーチファクトの混入の可能性の大きい1Hzから3Hzの δ 帯域を除く4Hzから16Hzのデータを主成分分析に用いた。計算段階で隣合うパワを加算して分解能を0.2Hzとし62点で読み取り、各スペクトル間の相関行列を求め、これに基づき累積寄与率が80%をこえるか、因子数が8つになるまで主成分を導出し、それぞれにつき因子負荷量及び寄与率を計算した。さらに、基準化バリマックス法によって軸を回転し単純構造の抽出を計った。

本研究に用いられた標本数はSub. 1が98, Sub. 2が81, Sub. 3が107, Sub. 4が103, Sub. 5が100であった。

結 果

7名のうち1名は実験開始後32時間24分経過後、他の1名は7時間32分経過後に、非常用スイッチを入れて実験中止の意思表示を行ったの

で、直ちに開扉して実験を中止した。従って、この2名のデータは以下の分析から除いた。実験を完遂した他の5名はおよそ20時間経過後まで軽躁状態を示し、発語数も多かったが、30時間を経過する頃から発語数も減少し動作数も減少した。また、食事や飲水行動も実験の後半から減少し、何もせず座位または横臥位のままじっとしていることが多かった。このように、5名のいずれの被験者においても動作が緩慢になり寡黙になる傾向が認められた。

Fig. 1はC₃とO₁の脳波記録から得られたパワースペクトルを、横軸に周波数を、縦軸にパワーをとり、時間軸にそって縦に書きならべたCSA (Compressed Spectral Array) である。また、CSAの空白部分は睡眠期を示している。

例えば、O₁についてみてみると、ほぼ単峰性のシャープなスペクトルが連続して出現している

Fig. 1 Analysis of power spectrum derived from C₃(left central) and O₁(left occipital) under the continuous dark environment. Relative power units are represented on y axis, frequency (4-13Hz) on the x axis and time on the z axis from bottom to top of each series. Auto spectra from about 61 s samples every 15 min when the C₃ EEG was showing the Stage W are displayed in the temporal sequence and spectral resolution is 0.1Hz. Blanks in this figure show sleep periods.

ことがわかる。8~13Hzのいわゆる α 帯域内で最も大きなパワーを持つ点をピーク周波数とみなすと、ピーク周波数は実験の進行に伴い、およそ11Hzから9Hzへと低下し、約2Hzの低下を示している。C₃についてもほぼ同様の経過が認められる。このようなピーク周波数の低下は全被験者でみられた(平均1.85Hz, S D 0.71Hz, range 1.0-3.0Hz)。また、この低下は直線的に進行するのではなく、一定区間ほぼ同じピーク周波数を維持した後に0.5Hz前後の幅でピーク周波数が順次移行する、階段型の変化を示す傾向がうかがわれた。そこで、ピーク周波数が等しい区間を統計的に決定するために主成分分析を行ったところ、寄与率80%で各被験者の各部位ごとに2~4の主成分にまとめることができた。さらに、主成分構造の単純化を計るために、バリマックス回転を行った。

どのようなスペクトルの構造上の特徴から区分が行われたかをみるために、各主成分毎に因子負荷量が高いスペクトルをCSAから5本ずつ選んで重ね書きしたものがFig. 2である。この例は3つの主成分に分かれた被験者の例である。これらのスペクトルは、各主成分の中で最も代表的なも

Fig. 2 The representative five sample spectra of the each principal component. Relative power units are represented on y axis, frequency (4-13Hz) on the x axis. PC : Principal Component.

のであると考えることができる。図からも明らかのように、主成分分析の結果はピーク周波数がよく似たスペクトルをグルーピングしていることがわかった。

各主成分の因子負荷量を時間軸に合わせて表示したものが Fig. 3 である。因子負荷量とは、合成されたスペクトルと原データとの相関係数である。つまり、これは両者の類似度が高ければ高いほど大きな値をとる。この図は Fig. 2 と同じ被験者のものであり、合成されたスペクトルのピーク周波数が高い順に各主成分を並べかえてある。各主成分についてみると、因子負荷量がまとまって高い値をとっている時間帯があることがわかる。すなわち上段の PC-2 では前半に、中段の PC-3 では中間に、下段の PC-1 では後半に因子負荷量が高くなっている。さらにこの図では上、中、下段とピーク周波数が低くなるように主成分を並べかえてあるので、これらの時間帯はピーク周波数の低下に対応して推移していることになる。そこで、全体の50%の分散量を説明する因子負荷量0.7以上で各主成分をまとめると、ピーク周波数がある値のまま一定区間続き、さらにピーク周波数の低い次の主成分に変化する点（区分点）を時間軸上にプロットすることができ

Fig. 3 The comparison of factor loading pattern of three principal components. Blanks in the figure show sleep periods and lines show the loading level for each sample spectra to the principal component. Horizontal broken line on the each figure shows a 50% level of communalities.

た。これらの結果は、CSAの段階で視察された階段型の変化とよく対応しており、統計的に区分点を確認同定することが可能であると判断した。

その結果を全被験者について時間軸上に表示したものが Fig. 4 である。各被験者の上側が C_3 、下側が O_1 、▲は時間軸を区分する点を示している。これを同図下のように、 C_3 の最初の区分点 [17:43~22:18, med. 20:28] でそろえると、次の区分点の中央値は2日目の23:05 [20:13~3:53] となり、最初の区分点から26時間37分後に次の区分点があることがわかった。そこで、 C_3 の区分点を基準として、実験期間の区分を試みた。 C_3 に区分点が1つしかない場合 (Sub. 1) には、補助的に O_1 の区分点を用いた。そして、3つの区間 (第1区間: 1707.4 ± 603.6 分, 第2区間: 1516.2 ± 122.9 分, 第3区間: 1096.4 ± 580.6 分) に区分し、区間内の睡眠覚醒の分布についてみた。

Fig. 4 The shift points of peak frequency in alpha band of all subjects. The upper line shows C_3 , the lower line shows O_1 and ▲ indicates the discriminated peak shift point. Upper part: the real time scale. Lower part: relative time scale. The first peak shift point of C_3 was set to zero for each subject and used as the reference.

Fig. 5 は、これまでの操作によって区切られた3つの区間の長さとその区間内の覚醒時間との関連についてみたものである。相関係数は

0.84で1%水準で有意であった。このことは、脳波から推定した覚醒水準が一定に維持されている期間では、その期間内に占める覚醒時間の割合が一定であることを示している。そこで、次にこの区分を用いて区間内のSWSの出現量について検討した。

Fig. 5 Scatter diagram and regression lines between epoch duration and total wake time in each epoch.

Fig. 6 上側は、区間の長さとそのに含まれるSWSの出現量との関係についてみたものである。相関係数は0.45で有意な相関関係はみられなかった。また、Fig. 6 下側は区間内の覚醒時間とSWSの出現量との関係についてみたものである。相関係数は0.33でこれにも有意な相関関係はみられなかった。これらのことから、区間の長さとはSWSの出現量、区間内の覚醒時間とSWSの出現量との間に一貫した関連性がみられないことが示唆される。

一方、SWSの出現量と、脳波から推定した覚醒水準との間の関係についてみたものがFig. 7である。横軸は先ほどの区分に対応している。区間の進行に伴いピーク周波数は低下していることから、これは覚醒水準の低下に関連づけることができる。フリードマン検定の結果、覚醒水準の低下に対応して有意な変化はみられないことがわかった。このことは、覚醒水準が低下してもSWSの出

Fig. 6 Upper part : Scatter diagram and regression lines between epoch duration and total SWS time in each epoch. Lower part : Scatter diagram and regression lines between total wake time in each epoch and total SWS time in each epoch.

Fig. 7 Comparisons of the relative amount of SWS among three epochs.

現量は一定であることを示唆するものである。次に SWS の質的側面、特に持続時間と覚醒水準の低下との間の対応関係について検討を行った。

Fig. 8 は、持続時間が 5 分以下の SWS, 5 分から 20 分以下の SWS, 20 分より長い SWS についてそれぞれの出現率を個人ごとにプロットしたものである。持続性のある 20 分より長い SWS の出現率はフリードマン検定の結果、3 区間に有意な変化はみられない。しかし、持続が中程度の 5 分から 20 分の SWS の出現率は第 1 区間から第 2・第 3 区間へと有意 ($P < .05$) に減少している。これに対応して持続の短い 5 分以下の SWS の出現率は第 1 区間から第 2・第 3 区間へと有意 ($p < .05$) に増加していることがわかった。これらのことから、脳波から推定した覚醒水準の低下に対応して SWS の持続性が損なわれることが示唆された。

Fig. 8 Comparisons of the frequencies of SWS among short duration (≤ 5 min), moderate duration (5-20 min), and long duration (> 20 min). The fragmentation of SWS developed as a function of decline in level of EEG vigilance.

考 察

本実験の結果から、今回のような恒暗閉鎖環境状況下に被験者を置くと、覚醒中の脳波の α 帯域内でのピーク周波数の低下は直線的な変化を示すものではなく、一定区間の安定がみれた後に、覚醒中のさらに低い次の段階へ移行するという階段

型の変化を示すことが統計的に確かめられた。

今回の実験は、臨床社会心理学的な観点から、「災害時の孤立状態のシミュレーション」を主目的として、特に恒暗閉鎖環境という条件下で実験を行ったものである。このため恒明条件あるいは明暗サイクルを与えた対照条件を検討していない。従って、今回みられた脳波の変化を一義的に恒暗条件に関連づけることはできない。

これまでに、恒薄明条件下に 72 時間隔離した場合 (Sugimoto, Kida & Teranishi, 1969) にも、恒暗条件下 (木田・杉本, 1973) と同様の α 波の徐波化がみられるが、その徐波化の程度は恒暗条件の方が恒薄明条件よりも大きいことが報告されている。このことは、程度の差はあれ α 波の徐波化が恒常条件下に共通して発生する現象であることを示している。しかし、これらの報告は徐波化の進行がどのような時間パターンをとるのかは言及していない。今回みられた階段型の変化が、恒常条件下に共通してみられるものか、あるいは明暗サイクル等の同調因子が存在する環境下でもみられるかは、今後検討すべき興味ある課題である。

C_3 の最初の区分点でそろえると、次の区分点までの間隔の中央値は 26.5 時間であった。つまり、最初の変化の発生はまちまちであるが、2 度目の変化の発生までの間隔はほぼ一定で、その間隔がサーカディアン周期に近似していることが注目される。このピーク周波数のシフト現象が一定の周期性を持つものかどうかは今回のデータ長では言及できない。しかし、日常の環境下ではこのようなピーク周波数のシフト現象は発生しないことから、覚醒水準を維持するなんらかのリセット機構が区分点で作動している可能性が示唆される。

今回のように、脳波から推定した覚醒水準が一定となるようにデータを分割すると、区間の長さは異なるが、各区間内の覚醒時間と睡眠時間の割合が一定となった。これは、従来の時計時刻で 24 時間ごとにデータを分割して検討を行った脱同調

実験 (Campbell, 1984; Campbell & Zulley, 1985), 恒暗環境下での隔離実験 (Hayashi & Hori, 1988; 林・堀, 1988)あるいは, 絶対臥褥 (Nakagawa, 1980; 太田, 1983) の結果と大きく異なるところである。24時間ずつ実験期間を区切って区間内の睡眠・覚醒時間を集計した場合には, いずれも区間内の覚醒時間が日を追って延長する。この覚醒時間の増加傾向がデータの分割方法に起因した“みかけ”の増加現象であるとしたら, SWSの出現量と覚醒時間の関係を議論することができない。今回のデータ分割方法では, 区間内に占める覚醒時間の割合は一定であった。この条件下で集計しても SWS の出現量と覚醒時間との対応関係はみられず, 区間の長さとも対応関係はみられなかった。つまり, 今回の結果は SWS の出現量は入眠前の覚醒時間の長さに依存するという Webb & Agnew (1971) の説を支持せず, SWS の出現量には一定の充足量があるとする Karacan et al. (1970) の説を支持する結果となった。また, 今回の結果から, SWS の出現量は覚醒水準の低下とも関係なく維持されていることが指摘できる。

SWS の持続時間と, 脳波から推定した覚醒水準の低下の間の関連性について検討すると, 20分以上の比較的持続の安定した SWS の出現率には変化がみられないが, 5分以下の持続時間が短い SWS が覚醒水準の低下に対応して出現率が有意に増加し, 逆に 5分~20分の持続時間が中程度の SWS の出現率が有意に減少した。このことは, 覚醒期の覚醒水準の低下に対応して, SWS の持続性が失われることを示すものである。つまり, 覚醒水準の低下は SWS の持続性の維持を困難にする方向に作用することが考えられる。また, SWS の分断化が進行しても区間内の SWS の出現量が一定範囲内にとどまったことは, 持続時間の短い SWS と中程度の SWS が拮抗的に変化しているために, 全体的な SWS の出現量には変化が及ばなかったことが考えられる。

SWS の出現量が今回のような分割法でも一定

であることは, この睡眠が必須睡眠 (Obligatory sleep: Baekeland & Hartmann, 1970) であることを示すものと考えることができる。一方, Bonnet (1986) は, 睡眠を分断して日中の眠気に及ぼす影響について検討している。この報告によれば, 日中の眠気に及ぼす影響が大きいのは, 総睡眠時間や各睡眠段階の量といった要因よりも, 睡眠の連続性が重要であるという。このことから考えれば, 脳波から推定した覚醒水準の低下が進行するに伴って, SWS の持続性が失われ, 持続が5分以下に分断化したことは, 単に, SWS の出現量だけでは捕らえることのできない睡眠の質的な変化が進行していることを示している。このように考えると, 覚醒水準の低下すなわち覚醒の質的变化は, SWS の量ではなく質的な部分に大きな影響を及ぼすことが示唆される。

引用文献

- Baekeland, F., & Hartmann, E. 1970 Sleep requirements and the characteristics of some sleepers. In E. Hartmann (Ed.) *Sleep and Dreaming*. Boston: Little Brown. Pp. 33-43.
- Benoit, O., Foret, J., Bouard, G., Merle, B., Landau, J., & Marc, M. E. 1980 Habitual sleep length and patterns of recovery sleep after 24 hour and 36 hour sleep deprivation. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 50, 477-485.
- Bonnet, M. H. 1986 Performance and sleepiness as a function of frequency and placement of sleep disruption. *Psychophysiology*, 23, 263-271.
- Bunnell, D. E., Bevier, W., & Horvath, S. M. 1983 Effects of exhaustive exercise on the sleep of men and women. *Psychophysiology*, 20, 50-58.
- Campbell, S. S. 1984 Duration and placement of sleep in a "Disentrained" environment. *Psychophysiology*, 21, 106-113.

- Campbell, S. S., & Zulley, J. 1985 Ultradian components of human sleep/wake patterns during disentrainment. In H. Schulz & P. Lavie (Eds.) *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag. Pp. 234-255.
- Cluydts, R., & Visser, P. 1980 Mood and sleep II. Effects of aversive pre-sleep stimulation. *Wak. Sleep.* 4, 199-203.
- 福田一彦・犬上 牧・宮下彰夫 1984 長時間睡眠者と短時間睡眠者の睡眠内容の比較 脳波と筋電図, 12, 129-136.
- 林 光緒・堀 忠雄 1988 72時間の恒暗・隔離環境下における睡眠・覚醒パタンの検討 脳波と筋電図, 16, 362-368.
- Hayashi, M., & Hori, T. 1988 Sleep-wake patterns under 72-hour continuous dark environment. *Jpn. J. Psychiat. Neurol.*, 42, 114.
- 堀 忠雄・宮下彰夫 1969 脳波の推移より見た睡眠の実験室順応現象 心理学研究, 40, 39-44.
- Horne, J. A., & Minard, A. 1985 Sleep and sleepiness following a behaviourally 'active day'. *Ergonomics*, 28, 567-575.
- Horne, J. A., & Walmsley, B. 1976 Daytime visual load and the effects upon human sleep. *Psychophysiology*, 13, 115-120.
- Karacan, I., Finley, W. W., Williams, R. L., & Hirsch, C. J. 1970 Changes in stage 1-REM and stage 4 sleep during naps. *Biol. Psychiatry*, 2, 261-265.
- 木田光郎・杉本助男 1973 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究(Ⅶ-2) 48時間暗条件下の脳波 環境医研年報, 24, 39-42.
- 松本一弥 1982 夜間時における仮眠がその後の昼間睡眠と体温に及ぼす影響 脳波と筋電図, 10, 266-275.
- 宮下彰夫・市原 信・宮内 哲・石原金由・新美良純 1978 夜間睡眠に及ぼす昼間睡眠の影響 脳波と筋電図, 6, 183-191.
- Nakagawa, Y. 1980 Continuous observation of EEG patterns at night and in daytime of normal subjects under restrained conditions. I. Quiescent state when lying down. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 49, 524-537.
- 太田龍郎 1983 一週間の絶対臥床条件下における健常者の睡眠・覚醒リズム 精神経誌, 85, 302-330.
- Rechtschaffen, A., & Kales, A. (Eds.) 1968 *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*. Washington D. C.: Public Health Service, U. S. Government Printing Office.
- Sugimoto, S., Kida, M., & Teranishi, T. 1969 Frequency changes of alpha brain waves during 3 days of sensory deprivation. *Ann. Rep. Res. Inst. Environ. Med. Nagoya Univ.* 17, 73-78.
- Webb, W. B., & Agnew, H. W. Jr. 1971 Stage 4 sleep : Influence of time course variables. *Science*, 174, 1354-1356.
- Weitzman, E. D., Kripke, D. F., Goldmacher, D., McGregor, P., & Nogueira, C. 1970 Acute reversal of the sleep-waking cycle in man. Effect on sleep patterns. *Arch. Neurol.*, 22, 483-489.