

REM睡眠期と入眠期の事象関連電位の比較

高原 円・片岡 奈央・入戸野 宏・堀 忠雄

広島大学総合科学部人間行動研究講座

Comparison of the event-related potentials between REM sleep and the sleep onset period

Madoka Takahara, Nao Kataoka, Hiroshi Nittono and Tadao Hori

*Department of Behavioral Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences,
Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, JAPAN*

Abstract : During the tonic period of rapid eye movement (REM) sleep, deviant stimuli elicited a P200 and a late positive wave peaking at 380 ms after stimulus onset. The P200 was more anteriorly and the late positive wave was more posteriorly distributed than the P300 in wakefulness. The amplitude of the late positive wave was larger in the attend condition than in the passive condition. During the sleep onset period, deviant stimuli elicited a P200 and a P400. The P400 was more posteriorly distributed than the P300 in wakefulness. The amplitude of the P400, however, did not differ between the attend and the passive conditions. Our findings suggest that the late positive wave in the REM tonic period resembles the P400 in the sleep onset period but these components are modulated differently by attention.

Key words : REM sleep, sleep onset period, event-related potentials, P300, P400, P200

はじめに

ヒトの意識水準は入眠に伴って低下するが、外界に対する注意機構は失われるわけではなく、睡眠中も持続的に機能していることが示されている。中でもREM (rapid eye movement) 睡眠期の心理・行動特性は、覚醒時の水準に近いと考えられており、外部刺激に対して行動反応することが出来るという報告や、夢見体験という精神活動が多く報告されている (例えばAserinsky & Kleitman, 1953; Dement & Kleitman, 1957; Jouvet et al., 1959)。しかし、脳波パタンは、入眠期の睡眠段階1に近く、低振幅で不規則な状態である。また、入眠期にも、入眠時心像と呼ばれる心理体験が生じることや緩徐な眼球運動 (slow eye movement, SEM) が現れることなど、REM睡眠期と入眠期には共通項が多いといえる。

睡眠中の脳内の情報処理過程を検討する上で、有効な指標として事象関連電位 (event-related potential, 以下ERPと略す) が挙げられる。睡眠中のERPの研究報告は数多く、これらの研究もまた、睡眠中にも脳は外部刺激に対して応答しているという証拠を示している。

本研究では、覚醒時とREM睡眠期と入眠期の外界刺激に対する応答性をERPを用いて比較する

ことを目的とした。まず、実験1として、聴覚オドボール課題遂行中のERPをREM睡眠期と覚醒の間で比較検討した。

オドボール課題とは、高頻度標準刺激から低頻度標的刺激を検出する信号検出課題で、信号検出に伴って出現する代表的なERP成分がP300である。P300は潜時およそ300msで、頭皮上の中心・頭頂領域に出現する陽性成分で、標的刺激の意識的な検出に関連している。標的刺激を検出できなかった場合や、刺激を無視した状態では、P300は出現しない(Hillyard et al., 1971)。

REM睡眠中には、オドボールパラダイムを用いたNiiyama et al. (1994) やBastuji et al. (1995) によって、P300様の後期陽性成分の出現が確認されている。この陽性成分は、覚醒時に比べて振幅が低く、Bastuji et al. (1995)の研究では、潜時も遅れていたことから、覚醒中に見られるP300と同一の成分かどうか議論がなされてきた。これに対して、Cote & Campbell (1999a)は、強度が大きく逸脱した刺激を標的刺激として、潜時300ms付近で頭頂部優位のP300を記録し、覚醒時の成分と同一であるとした。しかし、Cote & Campbell (1999a, 1999b)を含め、これまでに報告されているP300様の後期陽性成分は、頭頂部だけでなく、後頭部にも広がっている(Niiyama et al., 1994; Bastuji et al., 1995)。このような頭皮上分布の違いを考慮すると、この成分が覚醒中のP300と同一の成分であると断定することは難しい。一方、周波数を変化させた標的刺激ではP300を含む後期陽性成分は睡眠中に出現しないと報告もあるように(Nordby et al., 1996)、REM睡眠中の後期陽性成分については、知見は安定していない。

REM睡眠中は、急速眼球運動の有無によってtonic期とphasic期に分類されることが知られている(Moruzzi, 1963)。tonic期は、連続的で安定した活動が持続する期間で、眼球運動などの突発的な変化を示すようなものが見られない区間である。一方、phasic期は、不連続で、眼球運動やPGOスパイクなど突発的な活動を含む区間のことを言う。両区間の外的環境に対する反応について、Sallinen et al. (1996)は、phasic期よりもtonic期の後期陽性成分が大きいことから、phasic期の方が外的環境の変化に対する感受性が低下しているとした。一方、phasic期に鮮明な夢を見ている可能性が高いと言われており(Dement & Kleitman, 1957)、夢見にREM睡眠中の注意資源が割り当てられるために外部刺激に対するERP振幅が低下するという指摘もなされている(Sallinen et al., 1996)。

覚醒中のP300は、標的刺激の呈示確率が低いほど振幅が大きくなるが、課題関連性の効果により、同じ呈示確率でも、無視させるよりも積極的に弁別反応を行わせた方が振幅は大きくなる(Duncan-Johnson & Donchin, 1977)。REM睡眠中の後期陽性成分についても同じことが言えるかどうかは、これまでに検討されていない。そこで、本研究では、睡眠中も弁別反応を課した場合と課さない場合における、REM睡眠中のERP成分の違いについて比較検討した。REM睡眠期に出現する後期陽性成分が覚醒期のP300と同様の課題関連性をもつとするならば、弁別反応を課した場合にERP成分の振幅が大きくなると考えられる。

実験 1

方 法

参加者

心身ともに健康で睡眠障害のない大学生・大学院生10名(男性4名、女性6名、平均年齢21.5歳)が実験に参加した。すべての参加者の利き手は右手であった。睡眠実験の経験がないものについては

1 晩実験室で睡眠をとる順応夜を設けた。実験当日は普段通りに起床し、仮眠をとらないこと、実験前日からアルコールを摂取しないこと、過度の運動は控えることを教示し、実験当日はカフェインや薬物の摂取がないことを確認した。実験前日までに実験の概要を説明し、実験参加同意書に署名を得た。実験終了後は、実験前の説明と実際の実験内容に相違がなかったことを確認し、得られたデータを分析に用いることについての同意を得た。

手続き

各実験参加者は、注意条件夜と無視条件夜の2晩の実験に参加した。それぞれの実験日では、被験者の通常就床・起床時刻に合わせて終夜睡眠ポリグラフ記録を行った。就床時刻の2時間前に実験室に入ってもらい、実験の概要を説明した後、電極を装着した。覚醒セッションは、反応ボードを取り付けた安楽椅子に座った状態で15分間行った。次に、睡眠セッションとして、ベッドに横になってもらい、イヤホンを両耳に固定し、消灯を合図に終夜の実験を行った。

課題

標準刺激 1000 Hz (90%)、逸脱刺激 2000 Hz (10%) の純音を用い、イヤホンを両耳に固定して 60 dB で呈示した。刺激の持続時間は 50 ms、立ち上がり / 立ち下がり時間を 10 ms とした。刺激間隔は 1.5s で固定し、逸脱刺激間の間隔を 5 s 以上とした。これは、反応潜時を 5 s とするためである。200 刺激を 1 つのブロックとし、1 ブロック 5 分の内に逸脱刺激が 20 個含まれるようにランダム配置した。覚醒セッションでは 1 ブロックごとに 1 分程度の休憩を挟み、3 ブロック行った。睡眠セッションでは、同様のブロックで、終夜繰り返し呈示した。

注意条件では、逸脱刺激に対し、反応ボードにより、右手第 2 指の挙上による反応を求めた。覚醒セッション中は椅子に座った状態で、音に注意を向けながら、眼前 1.5 m に置かれた絵 (10 cm × 15 cm) を注視し、瞬き・体動はなるべく控えるように教示した。睡眠セッションでは、逸脱刺激に対して反応しながら眠くなれば眠っても良いが、睡眠中も逸脱刺激が聞こえたらできるだけ反応するように教示した。また、本実験で最も睡眠中の反応数が多かった者には、賞品が与えられることを教示した。無視条件では、呈示される刺激を無視するように教示した。覚醒セッション中は、椅子に座った状態で、音に注意を向けないようにしながら、注意条件と同じように、眼前の絵を注視させた。睡眠セッションでは、刺激に注意を向けないようにして眠るように教示した。

ポリグラフ記録

脳波は、国際 10-20 法に従って、Fp1, Fp2, F7, F8, Fz, F3, F4, T3, T4, Cz, C3, C4, T5, T6, Pz, P3, P4, O1, O2 及び左右マストイド (M1, M2) から、鼻尖を基準部位として導出記録した。時定数は 3.2 s、ハイカットフィルタ 60 Hz とした。眼球運動は、左右水平方向の眼球運動を、左右眼角外 1 cm に装着した電極から、左耳朶 (A2) を基準として記録し、上下垂直方向の眼球運動を左眼窩上下に装着した電極から双極導出した。時定数は 3.2 s、ハイカットフィルタは 60 Hz とした。頤筋電図を表面電極法により、時定数 0.03 s、ハイカットフィルタ 60 Hz で記録した。電極は脳波記録には Ag-AgCl コロジオン型電極を使用し、顔面部分には Ag-AgCl 皿電極を使用し、生体電気抵抗は 5 kΩ 以下とした。生体信号は、生体現象用増幅器 (NEC 製 BIOTOP 6 R12-4) で増幅し、多用途脳波計 (日本電気三栄製 1A97 型) によって紙記録すると共に、パーソナルコンピュータ (DELL 製 OptiPlex GX1) によって、サンプリング周波数 200Hz で A/D 変換して記録した。デジタル記録されたデータは、実験終了後、オフラインで分析された。

分 析

睡眠段階判定：脳波は、紙記録から Rechtschaffen & Kales (1968) の基準に従って 30 s ごとに睡眠段階判定し、覚醒中と REM 睡眠中の試行について分析した。さらに、REM 睡眠は tonic 期と phasic 期を厳密に分類するために、REM 睡眠区間を 3 s ごとに区切り、眼球運動のない区間を tonic 期、眼球運動のある区間を phasic 期として分類した。

ERP 分析：各被験者について、刺激呈示前 100 ms から刺激呈示後 900 ms の脳波を状態ごと、条件ごとに加算平均して ERP を求めた。ベースラインは、刺激呈示前 100 ms の平均振幅とした。体動などの影響で、脳波、眼球電図、筋電図のいずれかの振幅が $\pm 100 \mu V$ を超える試行は除外した。加算回数が 20 回以上得られたものを分析対象とした。状態ごと、条件ごとに、全被験者の総加算平均波形を算出した。

ERP 成分の同定に関して、各成分の潜時ウィンドウ等の条件は次のように設定した。覚醒中の P300 及び REM 睡眠中の後期陽性成分は 250-600 ms に陽性方向の振れを持つ成分、P200 は 150-250 ms に陽性方向の振れを持つ成分とした。

統計分析：各 ERP 成分は、最大振幅の部位の頂点潜時 ± 50 ms の区間平均電位を用い、条件 (注意、無視) \times 刺激 (標準、逸脱) \times 部位 (Fz, Cz, Pz, O1, O2) の繰り返しのある 3 要因の分散分析を行った。覚醒中の P300 と REM 睡眠中の後期陽性成分は、注意条件における頂点潜時について条件 \times 部位の繰り返しのある分散分析を行った。分散分析の際は、Huynh-Feldt の調整自由度を用い、多重比較には Tukey の HSD 検定を用いた。有意水準は 5 % とした。

トポグラフィ分析：状態ごとに、各 ERP 成分についてトポグラフィ分析を行った。総加算平均から、最大頂点振幅を含む部位の頂点潜時での振幅値を用いてトポグラムを作成した。

結 果

REM 睡眠期と覚醒期の ERP 総加算波形から 4 部位を図 1 に示した。覚醒期は、注意条件において、逸脱刺激に対して中心・頭頂領域優位の P300 が見られた。P300 は、分散分析の結果、条件の

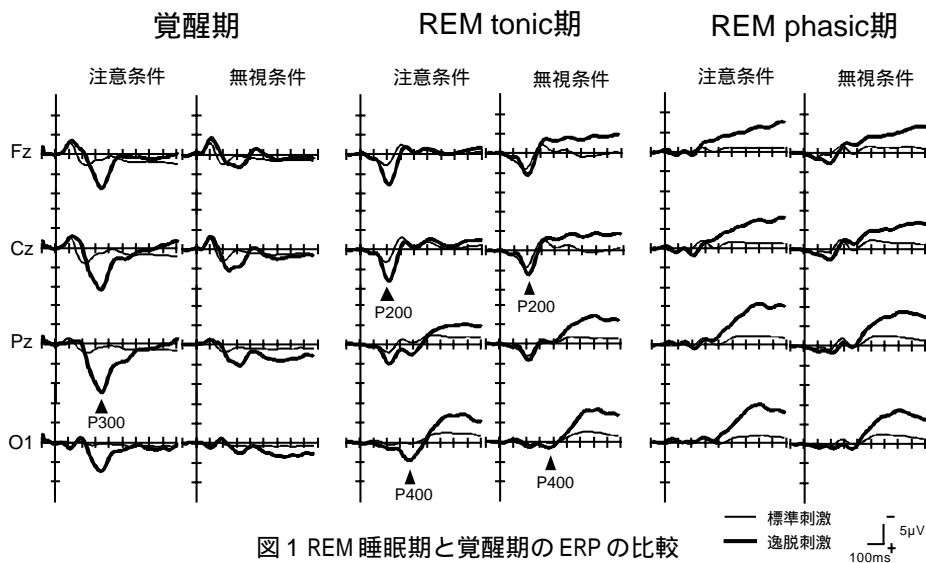


図 1 REM 睡眠期と覚醒期の ERP の比較

Fz：前頭部，Cz：中心部，Pz：頭頂部，O1：後頭部 (N = 10)

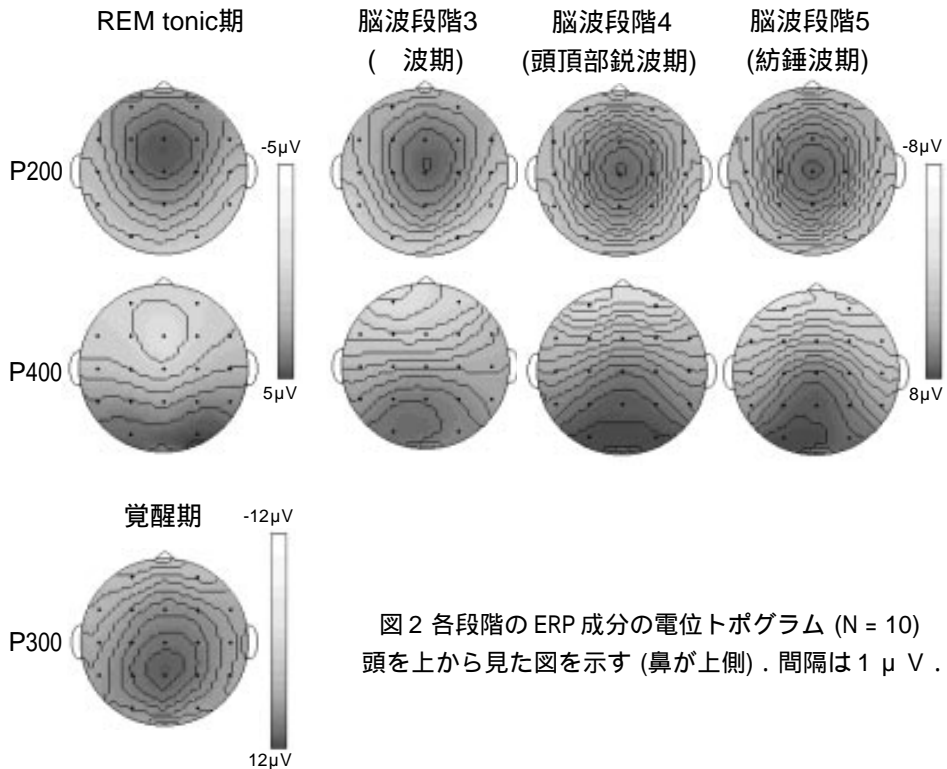


図2 各段階のERP成分の電位トポグラム (N = 10)
頭を上から見た図を示す (鼻が上側) . 間隔は $1 \mu V$.

効果が認められ、注意条件の方が無視条件よりも振幅が大きかった ($F(1,9) = 12.38, p < .01$) . 条件ごとにみると、注意条件では部位 ($F(4,36) = 8.61, p < .001$) の効果が有意で、多重比較より Cz, Pz が O1, O2 より有意に高振幅だった .

REM tonic 期 (急速眼球運動なし) では、逸脱刺激に対し、前頭・中心部優位に P200 が見られ、後頭部優位に後期陽性成分が見られた . 分散分析の結果、P200 に条件差は認められなかったが、注意条件で比較すると、刺激 ($F(1,9) = 12.70, p < .01$) と部位 ($F(4,36) = 11.74, p < .001$) の主効果が有意で、多重比較により、Fz, Cz の振幅が他の部位よりも大きかった . 無視条件では、部位と刺激の交互作用が有意で ($F(4,36) = 10.98, p < .001$) , Fz, Cz の振幅が他の部位よりも大きかった . 後期陽性成分は、条件の効果が有意 ($F(1,9) = 9.19, p < .05$) だった . 注意条件では、刺激 ($F(1,9) = 6.59, p < .05$) と部位 ($F(4,36) = 20.16, p < .001$) の効果が有意で、多重比較により Pz, O1, O2 の振幅が Fz, Cz よりも大きかった . 無視条件では、部位 ($F(4,36) = 10.04, p < .001$) の主効果が有意で、Pz, O1, O2 の振幅が他の部位よりも大きかった .

覚醒期の P300 と REM tonic 期の後期陽性成分について、条件をプールして頂点潜時を比較すると、REM tonic 期の方が有意に長かった ($F(1,9) = 9.70, p < .01$) .

図2に覚醒期の P300 と REM tonic 期の P200 , 後期陽性成分について頭皮上分布を示した . P300 は頭頂部 Pz を中心に、REM 期の P200 は前頭・中心部優位に、後期陽性成分は後頭部優位に出現していることがわかる .

REM phasic 期 (急速眼球運動あり) では両条件で顕著な ERP 成分は見られなかった .

考 察

REM tonic期の後期陽性成分は、後頭部優勢で潜時が覚醒期のP300よりも長いことが示された。頭皮上分布と潜時から、この成分は覚醒期のP300ではなく、むしろ入眠期のP400 (堀他, 1999) の特徴に近いことがわかった。そこで、このREM tonic期の後期陽性成分をP400とした。

tonic期のP400振幅は、刺激に対して反応を要求し意図的に注意を向けさせることで増大した。REM睡眠期には、刺激に対して強い回避動機づけを負荷することで、飛躍的に行動反応が向上することが報告されている (Williams, 1967)。意図的な注意を喚起したことの影響がERP振幅に敏感に反映されたのかもしれない。

P200は、前頭、中心部優位に出現していた。この結果はNordby et al. (1996)のREM睡眠中の知見と一致している。また、P200には条件(注意/無視)の効果は見られなかった。このことは、この成分が、外部から聴覚刺激が入力された後、定的に処理している過程を反映していると考えられる。

phasic期には有意な主効果が得られなかったため、顕著なERP成分は出現していないと考えた。これはSallinenら(1996)の知見と一致しなかった。phasic期は、後期に陰性方向のシフトがおこることから、十分に陽性変動を示すことができなかった可能性がある。彼らの研究では、時定数が1sであり、潜時400-600ms付近の現象について議論することは難しい。眼球運動によるアーチファクトは取り除いているので、急速眼球運動の影響とは考えられない。Sallinenら(1996)は、phasic期の夢見の報告が多いことと関連付けて、phasic期は夢に没頭しているためphasic期はtonic期に比べてREM睡眠中の後期陽性成分の振幅が低いとした。入眠期においても、入眠期心像ありの方がERPが小さいという報告がある (Michida et al., 1998)。phasic期に顕著なERPが認められなかったことは、phasic期の夢見体験によって、外的環境に向けられる情報処理活動が少なくなったことを示唆している。

実 験 2

実験1で得られた結果がREM睡眠期に特有のものなのか、睡眠中に共通したものであるのかを確認するため、覚醒から入眠期に至るまでを検討した。入眠期では、低頻度逸脱刺激に対してP200 (P210, P220と呼ばれることもある)と潜時400-500msに頂点をもつ後期陽性成分であるP400 (P420, P450とも呼ばれる)が出現することが確認されている (Nielsen-Bohlman et al., 1991; Salisbury et al., 1992; Winter et al., 1995; Harsh et al., 1994, 堀他, 1999)。堀他(1999)は、覚醒期のP300が頭頂部優勢であるのに対し、入眠期のP400は後頭部優勢であること、P300が消えた後に振幅が増大することから、両者は異なる発現機構をもつ成分であると提案した。

入眠期では、刺激に注意を向ける課題を与えた場合、P200, N300, P400振幅が大きくなるという知見 (Harsh et al, 1994) や、睡眠段階2でK-complexの成分であるN550振幅が大きくなるという知見が得られている (Niiyama et al., 1995)。実験1と同様に後期陽性成分の頭皮上分布と刺激に対する意図的な注意の効果について検討することとした。

方 法

以下、実験1との相違点のみを記す。

参加者

心身ともに健康な大学生・大学院生 16 名 (男性 8 名, 女性 8 名, 平均年齢 22.3 歳) が実験に参加した。

課題

各脳波段階の加算回数を確保するため, 標準刺激 85%, 逸脱刺激 15% の呈示確率とした。また, 注意条件と無視条件は被験者間比較とした。無視条件の場合は, 呈示される刺激を無視しながら, 眼前 1.5 m に設置したテレビモニタの映像を見るよう教示した。

睡眠セッションは, 消灯後約 120 分間行い, 睡眠段階 2 が 3 分以上続いた場合は, 実験者がインターホンで呼びかけて覚醒させた。次の 4 つの場合は実験を終了した。(1)参加者の希望があった場合, (2)消灯後 120 分が経過した場合, (3)睡眠セッション開始後 1 時間 波が消失しない場合(入眠困難), (4)実験者による強制覚醒が連続して 3 回続いた場合である。

分析

睡眠段階判定: 脳波段階の判定は, 5 段階の脳波段階 (Hori et al., 1994) を用いた。脳波段階 1 (波期), 脳波段階 2 (平坦期), 脳波段階 3 (波期), 脳波段階 4 (頭頂部鋭波期), 脳波段階 5 (紡錘波期) からなる。脳波段階の判定には, Cz 部位を用い, 5 s ごとに視察判定した。徐波や K-complex が出現している区間, アーチファクトが混入している区間は分析から除外した。

統計分析: 各 ERP 成分の平均振幅値を用い, 条件ごとに, 段階 × 刺激 × 部位の繰り返しのある 3 要因分散分析を行った。段階は, 成分ごとに出現の認められた段階ごとに検定した。段階ごとに条件 × 刺激 × 部位の繰り返しのある 3 要因分散分析を行った。

結果

入眠期の ERP 波形を図 3 に示した。入眠期が進行するにつれ, 両条件で, 特に脳波段階 3 以降, P300 に代わって P200, P400 振幅が増大していくのが観察された。そこで, 覚醒期の P300 は覚醒と脳波段階 1 ~ 3, P200, P400 は脳波段階 3 ~ 5 について統計的検定を行った。覚醒期の P300 は, 両条件で段階の主効果が有意だった (注意条件: $F(3,21) = 15.15, p < .001$; 無視条件: $F(3,21) = 9.14, p < .001$)。下位検定の結果, 注意条件では, 覚醒期, 脳波段階 1, 2 の振幅が, 脳波段階 3, 4, 5 の振幅より大きく, 無視条件では, 覚醒期, 脳波段階 1, 2, 3 の振幅が脳波段階 4, 5 より大きかった。部位の効果も認められ (注意条件: $F(4,28) = 19.42, p < .05$; 無視条件: $F(4,28) = 4.66, p < .05$)。下位検定の結果, 注意条件では Fz, Cz より Pz で振幅が大きかった。覚醒期, 脳波段階 1, 2 で条件の効果が認められた (覚醒期: $F(1,7) = 26.76, p < .001$; 脳波段階 1: $F(1,7) = 7.47, p < .001$; 脳波段階 2: $F(1,7) = 9.89, p < .01$)。

P200 振幅は, 両条件で段階の効果が認められ (注意条件: $F(2,14) = 26.02, p < .001$; 無視条件: $F(2,14) = 36.41, p < .001$)。下位検定の結果, 注意条件では, 覚醒期, 脳波段階 1, 2 より脳波段階 3, 4, 5 で有意に大きく, 無視条件では, 覚醒期, 脳波段階 1, 2, 3 より脳波段階 4, 5 で有意に大きかった。また部位の効果も有意で (注意条件: $F(4,28) = 5.36, p < .001$; 無視条件: $F(4,28) = 36.41, p < .05$)。下位検定の結果, 注意条件では Cz が Fz, Pz よりも大きく, 無視条件では, Pz より Cz で有意に振幅が大きかった。脳波段階 3 から脳波段階 5 までの振幅値について, P200 振幅には条件の効果は認められなかった。

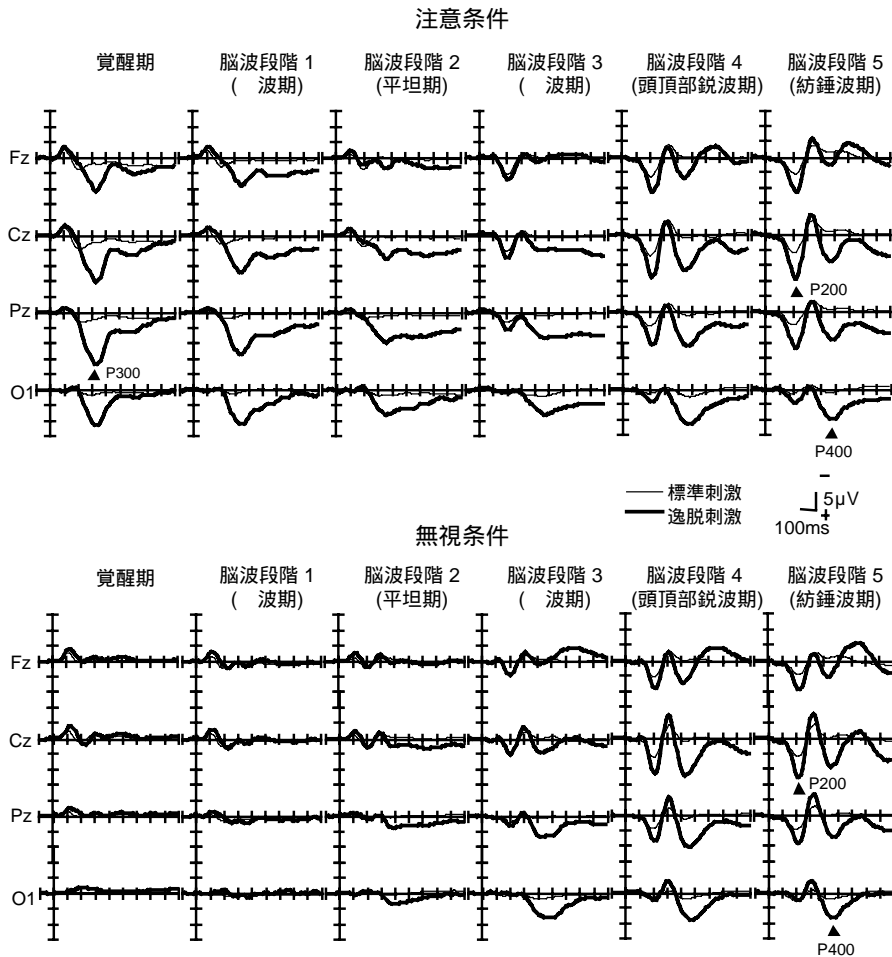


図3 入眠期と覚醒期のERPの比較

Fz : 前頭部, Cz : 中心部, Pz : 頭頂部, O1 : 後頭部 (N = 10)

P400 振幅は、両条件で刺激の効果が認められた (注意条件: $F(1,7) = 41.31, p < .001$; 無視条件: $F(1,7) = 30.93, p < .001$)。また部位の効果も有意で (注意条件: $F(2,12) = 44.53, p < .001$; 無視条件: $F(2,12) = 12.85, p < .01$)、下位検定の結果、Fzの振幅が他の部位より小さかった。脳波段階3から脳波段階5までの振幅値について、P400 振幅に条件の効果は認められなかった。

P200, P400の出現した脳波段階3～5について各成分の頭皮上分布を見ると(図2)、REM睡眠期の成分と同様に、P200は前頭・中心部優位に、P400は後頭部優位にみられた。

考 察

入眠とともに、覚醒中のERP成分であるP300は減衰していき、波が連続して出現する脳波段階3から、中心部優位のP200、後頭部優位のP400が成長するのが観察された。これらの結果は先行研究と一致していた(堀他, 1999; Winter et al., 1995)。このことは、入眠によって、覚醒期から睡眠期特有の情報処理過程に切り替わっていることを示唆している。

P200, P400 には, 条件 (注意 / 無視) の効果は見られなかったことから, REM 睡眠期と同様に, 外部からの聴覚刺激に対し定量的に処理している過程を反映していると考えられる。入眠期に注意の効果を経験した Harsh et al. (1994) の研究では, 睡眠段階 1 を 波期, 平坦期 (1A) と平坦期以降 (1B) に分類するという方法をとっており 本研究で用いた Hori et al. (1994) とは異なるものであったため, 入眠期の前半の結果が混入した可能性がある。

総合考察

本研究では, 覚醒時と REM 睡眠期と入眠期の外界刺激に対する情報処理過程を ERP を用いて比較することを目的とした。実験 1 と実験 2 の結果をまとめると, 次のように言える。

覚醒時は, 逸脱刺激によって中心・頭頂部優位の P300 成分が生じた。P300 振幅は注意条件の方が無視条件と比較して大きかった。

REM 睡眠中には, tonic 期に限り, P200 と P400 が出現した。P200 は前頭・中心部, P400 は後頭部で優位だった。

入眠期の脳波段階 3 (波期) 以降は P200, P400 が認められた。

REM 睡眠期の P400 の振幅は無視条件と比較して注意条件で大きかったが, 入眠期の P400 には同様の効果は得られなかった。

以上のことから, REM tonic 期の情報処理過程は, 覚醒期よりも, 入眠期により近いことが示された。REM tonic 期の脳波像は REM phasic 期に比べても, 初期の入眠期 (脳波段階 1, 2, 3) のものに近く, 急速眼球運動が頻発する REM phasic 期とは区別して考える必要がある。

しかし, REM 期と入眠期における ERP の相違点もある。REM tonic 期の P400 は後頭に偏って出現しているが, 入眠期の P400 は, より前方にもひろがっていた。このことは, P400 が複数の発生源を持つ可能性を示唆しており, REM 期には機能しない発生源がある可能性がある。PET の研究では, REM 睡眠期に, 覚醒期と比べて背側前頭前野皮質の活性が低下していることが示されている (Braun et al., 1997)。

覚醒期, REM 睡眠期には, 刺激に対して反応させ, 意図的に注意を向けることで P300, P400 振幅が増大したが, この効果は, 入眠期には見られなかった。これらの違いから, REM 期と入眠期で P400 は, 異なる機能を有している可能性がある。このことについて, 今後, 更に検討していく必要がある。

また, 入眠期の頭頂部鋭波期以降に出現している P400 振幅は 8-10 μ V 程度だが, REM 睡眠期の P400 振幅は 5 μ V 程度と, 振幅が小さかった。REM 睡眠期の脳波像もまた, 入眠期のように不規則で一定ではなく, REM tonic 期の脳波像は, 低振幅で頭頂部鋭波は含まれないので, 入眠期の中でも特に平坦期, 波期に属すると考えられる。この段階では, P300 から P400 へと切り替わる時期で, P400 が十分に成長していない状態である。このことが, 振幅の違いを説明すると考えられる。

睡眠段階 2 以降に特有の K-complex は外部刺激によって出現する。この反応性 K-complex の ERP 分析を行った研究 (Niiyama et al., 1995, Salisbury et al., 1992, Winter et al., 1995) では P400 の記載は全くなされていない。本研究の紡錘波期は Rechtschaffen & Kales (1968) の分類では段階 2 に相当するが, K-complex が出現する時期とそれ以降は含んでいない。このことから, P400 は, K-complex が出現する状態まで NREM 睡眠が進行すると消失する, 浅眠状態に特有の成分である可能性が示された。入眠期前半に出現する成分と REM tonic 期に出現する成分が似ていることから,

REM睡眠期の脳の活動水準は、浅い入眠期のレベルに相当し、比較的高い覚醒水準状態を示していると考えられる。本研究では、REM睡眠期を眼球運動の有無から2分割して検討したが、REM睡眠中に観察される様々な脳波像を分類せず一括して分析した。今後は、この入眠期の結果をふまえて、さらに脳波像の推移に関連させた検討が必要である。

引用文献

- Aserinsky, E. & Kleitman, N. 1953 Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena during sleep. *Science*, 118: 273-274.
- Bastuji, H., Garcia-Larrea, L., Franc, C. & Mauguiere, F. 1995 Brain processing of stimulus deviance during slow-wave and paradoxical sleep: A study of human auditory evoked responses using the oddball paradigm. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 12(2): 155-167.
- Braun, A.R., Balkin, T.J., Wesensten, N.J., Carson, R.E., Varga, M., Baldwin, P., Selbie, S., Belenky, G. & Herscovitch, P. 1997 Regional cerebral blood flow throughout the sleep-wake cycle. An H₂¹⁵O PET study. *Brain*, 120: 1173-1197.
- Cote, K. & Campbell, K. 1999a P300 to high intensity stimuli during REM sleep. *Clinical Neurophysiology*, 110: 1345-1350.
- Cote, K. & Campbell, K. 1999b The effects of varying stimulus intensity on P300 during REM sleep. *NeuroReport*, 10: 2313-2318.
- Dement, W. & Kleitman, N. 1957 Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 9: 673-690.
- Duncan-Johnson, C.C. & Donchin, E. 1977 On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14: 456-467.
- 堀 忠雄・江畑昭之・上田一貴・田中秀樹・道田奈々江・林 光緒 1999 入眠期におけるERP中・後期成分のトポグラフィ変動 臨床脳波, 41(10): 637-642.
- Harsh, J., Voss, U., Hull, J., Schrepfer, S. & Badia, P. 1994 ERP and behavioral changes during the wake/sleep transition. *Psychophysiology*, 31: 244-252.
- Hori, T., Hayashi, M., & Morikawa, T. 1994 The topographical changes of EEG and the hypnagogic experience. In R.D. Ogilvie, & J.R. Harsh (Eds.), *Sleep Onset, Normal and Abnormal Process*. Washington: American Psychological Association. Pp. 237-253.
- Hillyard, S.A., Squires, K.C., Bauer, J.W. & Lindsay, P.H. 1971 Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, 172: 1357-1360.
- Jouvet, M., Michel, F. & Courjon, J. 1959 Sur un stade d'activite electrique cerebrate rapide au cours du sommeil physiologique. *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie*, 153: 1024-1028.
- Michida, N. Hayashi, M. & Hori, T. 1998 Comparison of event related potentials with and without hypnagogic imagery. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 52: 145-147.
- Moruzzi, G. 1963 Active processes in the brain stem during sleep. Harvey Lecture. 58: 233-297.
- Nielsen-Bohlman, L., Knight, R., Woods, D. & Woodward, K. 1991 Differential auditory processing continues during sleep. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 79: 281-290.
- Niiyama, Y., Fujiwara, R., Satoh, N. & Hishikawa, Y. 1994 Endogenous components of event-related potential appearing during NREM stage 1 and REM sleep in man. *International Journal of Psychophysiology*, 17: 165-

174.

- Niiyama, Y., Fushimi, M., Sekine, A. & Hishikawa, Y. 1995 K-complex evoked in NREM sleep is accompanied by a slow negative potential related to cognitive process. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **95**: 27-33.
- Nordby, H., Hugdahl, K., Stickgold, R., Vronnick, K. & Hobson, A. 1996 Event-related potentials (ERPs) to deviant auditory stimuli during sleep and waking. *NeuroReport*, **7**: 1082-1086.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. 1968 *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Los Angeles: Brain Information Service, U.C.L.A.
- Salisbury, D., Squires, N.K., Ibel, S. & Maloney, T. 1992 Auditory event-related potentials during stage 2 NREM sleep in humans. *Journal of Sleep Research*, **1**: 251-257.
- Sallinen, M., Kaartinen, J. & Lyytinen, H. 1996 Processing of auditory stimuli during tonic and phasic periods of REM sleep as revealed by event-related brain potentials. *Journal of Sleep Research*, **5**: 220-228.
- Williams, H.L. 1967 The problem of defining depth of sleep. In S.S.Kety, E.V.Evarts & H.L.Williams (eds.) *Sleep and altered states of consciousness*. Baltimore: Williams & Wilkins. Pp. 277-287.
- Winter, O., Kok A., Kenemans, L. & Elton, M. 1995 Auditory event-related potentials to deviant stimuli during drowsiness and stage 2 sleep. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **96**: 398-412.