

覚醒-睡眠

森川 俊雄

広島県警察本部刑事部科学捜査研究所

The topographical EEG features and th in waking-sleeping transition period

Toshio MORIKAWA

*Forensic Science Laboratory, Hiroshima Prefectural Police ea uarter
Kohnan, Naka-Ku, Hiroshima, 730-0825, Japan*

第1章 入眠期研究の現状と本研究の目的

覚醒期と睡眠期の中に存在する入眠期では、入眠 覚と 睡眠 の とは、パフォーマンスの急激な低下 の、心理学や人間工学において注目すべきテーマ に てき。入眠期は生理的機能が覚醒系から睡眠系へと切り替わる時間帯であることから、生理学や臨床脳波学の分野からも注目されている。ところが、覚醒-睡眠移行期の脳波は、優勢周波数成分やトポグ 特徴が瞬時に変化することから不規則で不安定とされ、入眠期に特徴的な 変化) と が判定基準の睡眠段階1に統合された (Rechtschaffen & Kales, 1968)。その結果、睡眠段階1が入眠期、睡眠段 2以降 -とし とと。一方で、覚醒-睡眠移行期に焦 に、睡眠 1開始前に覚醒期とは異なる状

(δ 帯域: 2.5~3.0Hz、 θ 帯域: 3.5~7.5Hz、 α 1 帯域: 8.0~9.0Hz、 α 2 帯域: 9.5~11.0Hz、 α 3 帯域: 11.5~12.5Hz、 σ 帯域: 13.0~15.0Hz) に分割し、それぞれの帯域のトポグラフィ特徴の変化やパワ及びコヒーレンスの時間変動特性についての検討を行った。

第 2 章 入眠期脳波のパワスペクトル分析

第 2 章では、覚醒-睡眠移行期における主要変動成分毎によく似た時間変動特性を示す部位をまとめ込み、それぞれの領域の時間変動特性について検討した。

睡眠段階 1 開始前に変化を示したのは覚醒期の α 2 帯域のみで、この帯域は前頭極-中心と頭頂-後頭に分離され、いずれの領域も睡眠段階 1 開始 1 分前から有意な低下を開始しそのまま NREM 睡眠の水準に達した。全ての部位が一つの主成分にまとめ込まれた δ 、 θ 帯域は、睡眠段階 1 開始後から一斉にパワが上昇し NREM 睡眠の水準に達する時間変動特性を示した。また、fast spindle の周波数に対応する σ 帯域は α 3 帯域の周波数領域にも睡眠段階 2 開始後から有意な増加を開始し NREM 睡眠の水準に達した。 α 3 帯域は 2 つの領域に分離され、slow spindle の活動を反映していると考えられる前頭極-頭頂が、 α 1 帯域は前頭極-中心と頂後域には分離され、

NREM

2 NREM

NR

2 つのパタンが交代した (α 3 帯域: 後頭優位パタンから前頭優位パタン、 σ 帯域: 平坦パタンから前頭-頭頂優位パタン)。いずれも睡眠段階 1 開始前にパタンの交代は発生しなかった。一方、 δ 帯域、 θ 帯域、 α 1 帯域はいずれも 1 つのパタンに集約されたことから、同じパワ変動特性を示す領域のパワ増大が明らかになった。これらの結果から、睡眠機構に関連する背景脳波の変化が睡眠段階 2 開始前にすでに発生していることが示唆された。

第 4 章 コヒーレンスによる入眠期

第 4 章では、頭皮上における任意の 2 部位間の脳波の同期性の指標とされるコヒーレンスの時間変動曲線を用いて覚醒-睡眠移行期における脳波の共変動成分について検討した。

各帯域毎によく似た時間変動特性を示す領域を特定し、その結果、全帯域において頭皮上のほとんどすべてをカバーする分布特徴を示す汎性成分と、一部の部位に局在する局在性成分の存在が明らかとなった。それぞれの帯域における汎性成分の時間変動特徴の順

序性について整理する。1、 α 2 帯域の低下、 δ 帯域の一過的な上昇、 σ 帯域の上昇、 α 3 帯域の上昇、 θ の の の の

第2章、第3章におけるパワの分析結果と本章の結果を総合的に考察すると、 α 2 帯域の活動には1開始後には前者から後者へと交代している可能性が指摘された。また、NREM睡眠中の δ 、 θ 、 α 1 帯域の活動は複数のジェネレータから構成されている可能性が示唆された。一方、fast spindle及 slow spindleについては、それぞれに対応する皮質下の個別のジェネレータの存在が推定され、その活動開始の順序から、前者が睡眠の開始、後者が睡眠の維持に関与している可能性が指摘された。

第5章 総括

第5章から第4章の時間構造について整理した。

最も最初に発生する変化は、国際判定基準では「覚醒」として判定される睡眠段階1開始前に覚醒中のピーク周波数に対応する α 2帯域のパワの変化に注目することで、最も早く入ることができるものとえられた。

睡眠段階1開始から睡眠段階2の開始直後に、 α 1、 α 2帯域のコヒーレンスが有意なNREM睡眠の水準に達した。それと同時に、 δ 帯域と θ 帯域のパワと δ 帯域のコヒーレンスが有意なNREM睡眠の水準に達した。 α 1、 α 2帯域と δ 、 θ 帯域にこのような順序性があることは、 α 1、 α 2帯域のコヒーレンス

た、この時点で α 2帯域のトポグラフィパターンがNREM睡眠のパターンに変化した。睡眠に密接に関連する δ 帯域のこの関係は、覚醒期がこの時点で終了していることを示すものであると考えられた。

δ 、 θ 帯域の変化が2が開始する直前に、 α 3帯域と σ 帯域のトポグラフィパターンが前頭及び前頭-頭頂優位のNREM睡眠のパターンへと変化し、それと同時に σ 帯域のコヒーレンスも有意な上昇を示しNREM睡眠の水準に達した。睡眠に密接に関連する δ 、 α 3帯域のこのような順序性から、 δ 、 θ 帯域のパワとコヒーレンスの変化を見ることで、背景的な睡眠紡錘波の出現を予測できるものと考えられた。また、 σ 帯域のパワが上昇してこの帯域が睡眠期の活動水準に到達するまで δ 帯域のこのfast spindleが安定して出現するようにするに階2の開始直前に α 3帯域と σ 帯域のトポグラフィパターンが変化した。このことは、これら両帯域のトポグラフィパターンを見ることで、睡眠段階2の開始を的確に予測できることを示すものであると考えられた。睡眠段階1で睡眠と密接に関連していると考えられる δ 、 α 3、 σ 帯域の活動が睡眠中の構造へと変化を開始しているという結果は、睡眠段階1で睡眠機構が活動を開始していることを示唆するものであった。

一方、slow spindleの周波数に対応した α 3帯域のパワとコヒーレンスがNREM睡眠の水準に達するのは、 α 1、 θ 帯域と同時であり、 σ 帯域とそれに続く α 2帯域がNREM睡眠の水準に達した後であった。このことから、主観的な睡眠感の成立過程にはslow spindle (α 3帯域)だけでなく、 α 1

帯域や θ 帯域がNREM睡眠の水準に達する必要があることを推察した。覚醒-睡眠移行期における脳波の変化は、 δ 帯域のコヒーレンスがNREM睡眠の水準に達するまで、 δ 帯域のトポグラフィが変化し、 δ 帯域の変化が終了してから θ 帯域の変化が開始し、 θ 帯域の変化が終了してから σ 帯域の変化が開始し、 σ 帯域の変化が終了してから $\alpha 2$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 2$ 帯域の変化が終了してから $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が終了してから δ 帯域の変化が開始し、 δ 帯域の変化が終了するまでの5段階で終了した。

以上の結果は、これまで不規則で不安定とされてきた覚醒-睡眠移行期の異なるトポグラフィ特徴の変化と時間変動特性を示しつつ、一定の順序をたどりながら覚醒期の脳波構造から睡眠期の脳波構造へと系統的に再構成されていることを示唆するものであった。これらの主要変動成分の変化から、入眠期は均質なものではなく、第I段階： $\alpha 2$ 帯域のパワの減少から $\alpha 2$ 帯域のトポグラフィが変化し、 δ 帯域の変化が開始し、 δ 帯域の変化が終了してから θ 帯域の変化が開始し、 θ 帯域の変化が終了してから σ 帯域の変化が開始し、 σ 帯域の変化が終了してから $\alpha 2$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 2$ 帯域の変化が終了してから $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が終了してから δ 帯域の変化が開始し、 δ 帯域の変化が終了するまでの5段階で終了する。このことから、今回の結果と睡眠に対して様々な愁訴を持つ不眠症患者や高齢者の覚醒-睡眠移行期における脳波の変化パターンとを比較検討することにより、これらの人々の入眠過程の「歪み」が明らかになるものと期待される。

健康な男子大学生および大学院生であった。したがって、今回明らかとなった覚醒-睡眠移行期における脳波のトポグラフィ特徴の変化と時間変動特性を示しつつ、一定の順序をたどりながら覚醒期の脳波構造から睡眠期の脳波構造へと系統的に再構成されていることを示唆するものであった。これらの主要変動成分の変化から、入眠期は均質なものではなく、第I段階： $\alpha 2$ 帯域のパワの減少から $\alpha 2$ 帯域のトポグラフィが変化し、 δ 帯域の変化が開始し、 δ 帯域の変化が終了してから θ 帯域の変化が開始し、 θ 帯域の変化が終了してから σ 帯域の変化が開始し、 σ 帯域の変化が終了してから $\alpha 2$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 2$ 帯域の変化が終了してから $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が開始し、 $\alpha 1$ 、 θ 、 $\alpha 3$ 帯域の変化が終了してから δ 帯域の変化が開始し、 δ 帯域の変化が終了するまでの5段階で終了する。

本研究の結果から、覚醒-睡眠移行期の脳波は頭皮正中線上を前後方向に変化することが明らかとなった。したがって、少なくとも正中線上4部位（Fz、Cz、Pz、O1）の脳波をモニタし、トポグラフィ特徴をつかみながら入眠を促すことが可能となるであろう。また、軽量のデジタルポリグラフが普及し、コンピュータの性能も飛躍的に向上したことから、旧来の特定睡眠移行期の研究と応用が可能となるであろう。

引用文献

- Harter, M., & H. R. H. (1982) ERP and behavioral changes during the wake/sleep transition. *Psychophysiology*, 31:244-252.
- Hori, T. (1982) Electrodermal and electro-oculographic activity in a hypnagogic state. *Journal of Psychophysiology*, 1:1-10.
- Kamiya, J. (1981) Subjective and physiological aspects of drowsiness and sleep. In: D.W. Fiske & S.R. Maddi (eds.), *Function and Dysfunction of Sleep*. Illinois, Pp.145-174.
- Ogilvie, R.D., & Wilkinson, R.T. (1984) The detection of sleep onset: behavioral and physiological convergence. *Psychophysiology*, 21:510-520.
- Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968) *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*. Public Health Service, U.S. Government printing office: Washington, D.C.