

入眠期の脳波段階とポリソムノグラム

林 光緒・日比野 憲司・堀 忠雄

広島大学総合科学部

Hypnagogic EEG stages and polysomnogram

Mitsuo HAYASHI, Kenji HIBINO and Tadao HORI

*Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University,
Higashi-hiroshima 739-8521, Japan*

Abstract

The aim of this study is to show the polysomnogram of hypnagogic period. Sixteen subjects slept for two nights. Their EEGs (Fz, Cz, Pz, Oz), horizontal and vertical EOGs, submentalis EMG, thoracic and abdominal respiration were recorded. They pressed a button when pip tones (1000Hz, 50dB, max duration: 5s, ISI: 30 - 90s) were presented, and reported their psychological experiences. According to Hori et al. (1994), the hypnagogic EEGs just 5s before the pip tones were classified into 9 stages, as follows; 1) alpha wave train, 2) alpha wave intermittent ($\% \alpha > 50$), 3) alpha wave intermittent ($\% \alpha < 50$), 4) EEG flattening, 5) ripples, 6) vertex sharp wave solitary, 7) vertex sharp wave bursts, 8) vertex sharp wave and incomplete spindles, 9) spindles. The polysomnograms of these 9 EEG stages were presented. Physiological, behavioral and subjective changes were observed as a function of hypnagogic EEG stages.

キーワード：入眠期、ポリソムノグラム、脳波段階、入眠時心像

序

覚醒から睡眠への移行期である入眠期は、脳波が多彩な変化を示すことが知られている。覚醒中に連続的に出現する α 波は、覚醒水準の低下とともに消失し、代わって θ 波や頭頂部鋭波が出現、やがて睡眠紡錘波が出現して浅眠である睡眠段階2へと移行する。このような入眠期脳波の変化に注目したHori et al. (1994)は、入眠期の脳波を9段階に分類し、これを脳波段階とした。段階1は、 α 波が連続している段階。段階2は、 α 波が不連続であるが区間の50%以上を占めている段階。段階3は、 α 波が不連続で区間の50%に満たない段階。段階4は、 α 波が消失し、低振幅不規則波が出現する段階。段階5は、 θ 波が連続的に出現する段階。段階6は、頭頂部鋭波が単発で出現する段階。段階7は、頭頂部鋭波が頻発する段階。段階8は、頭頂部鋭波が出現し、かつ未成熟な紡錘構成波が出現する段階。そして段階9は、紡錘波が出現する段階である。脳波段階1と2が国際判定基準 (Rechtschaffen & Kales, 1968) の覚醒、脳波段階3～8が国際判定基準の睡眠段階1、脳

波段階9が国際判定基準の睡眠段階2に相当する。Hori et al. (1994) は、健常成人にこの脳波段階を適用したが、最近Murphy et al. (1999) は、入眠が遅い不眠症患者や、入眠潜時が非常に短いナルコレプシー患者においても、この脳波段階が適用可能であることを示している。

ところで、睡眠段階判定基準 (Rechtschaffen & Kales, 1968) では、脳波だけでなく、眼球運動と筋電位の測定が必要とされている。これは、REM睡眠の判定基準が、1) 脳波が低電位不規則波であること、2) 急速眼球運動 (rapid eye movement: REM) が出現すること、3) 頤筋・下頤筋の筋電位が最低レベルを示すこと、の3点を満たすことが必要だからである。ナルコレプシー患者では、しばしば入眠直後にREM睡眠 (sleep onset REM period: SOREMP) が出現する (本多, 1994)。健常者でも睡眠中断後に再入眠すると入眠直後にSOREMPが出現する場合がある (Miyasita et al., 1989)。しかし、通常の入眠過程では、睡眠段階は覚醒から睡眠段階1、2へと緩やかに移行するため、入眠期の睡眠段階判定には、脳波だけが用いられ、眼球運動や筋電位はほとんど用いられていない。Hori et al. (1994) の報告でも、9段階の脳波については記載されているが、眼球運動や筋電位など標準的な睡眠段階判定に必要なポリソムノグラムについては記載されていない。

入眠期には、緩徐眼球運動 (slow eye movement: SEM) が出現するとともに、覚醒時と比較して持続的筋電位のレベルが低下する (Rechtschaffen & Kales, 1968)。呼吸運動は腹部優勢となり (Ogilvie & Wilkinson, 1984)、音刺激に対する反応時間が延長、やがて反応が停止する (Hori et al., 1994; Ogilvie & Wilkinson, 1984; Ogilvie et al., 1989)。入眠時心像が出現し、その体験内容も刻々と変化する (林他, 1998)。このように入眠期には、脳波が多彩な変化を示すだけでなく、種々の指標にも多様な変化が現れる。したがって、入眠期の理解には、脳波の変化を検討するだけでなく、他の生理指標や行動指標、さらに入眠期の心理的体験などの主観指標を同時に測定し、指標間の関係を明らかにしていくことも重要である。そこで本研究では、入眠期における研究資料として、脳波9段階のポリソムノグラムを定性的に記載することを目的とした。生理的指標として、脳波、眼球運動、筋電位、呼吸曲線を測定し、行動的指標として、音刺激に対する反応時間を測定すると同時に、主観的指標として音刺激直前の心理的体験の内容を聴取した。

方 法

被験者: 被験者は心身ともに健康で、睡眠障害のない大学生16名 (年齢19~23歳) であった。ポリソムノグラムは被験者毎に2晩記録した。この16名のうち、実験開始後2時間経過しても紡錘波が出現しなかった被験者6名、実験途中で実験中止を申し出た被験者1名、実験後に脳波段階を確認した結果、刺激が呈示されていない脳波段階があった被験者2名を分析から除外した。いずれの睡眠段階のサンプルも採取することができた7名の被験者の中から、特に、 α 波の振幅が大きく、 α 律動が明瞭な女性 (20歳)、頭頂部鋭波が明瞭な男性 (21歳)、睡眠紡錘波が明瞭な女性 (21歳) の3名のポリソムノグラムを選抜した。

ポリグラフ記録: 脳波は、左耳朶を基準として正中線上の前頭 (Fz)、中心 (Cz)、頭頂 (Pz)、後頭 (Oz) の4部位から単極導出した。眼球運動は、両側の耳朶を基準として両眼角外1cmの部位から左右水平方向の眼電位を単極導出するとともに、左眼上下1cmの部位から垂直方向の眼電位を双極導出した。筋電位は頤筋より双極導出した。以上の電極には、Ag-AgCl皿電極を使用し、入力インピーダンスは10K Ω 以下とした。呼吸運動の測定には、ゴムチューブに炭素粉を注入したストレンゲージ法を用いた。胸部及び腹部に包帯でストレンゲージを巻き付け、呼吸曲線として記録

した。時定数は、脳波が0.3s、眼球運動と呼吸運動が3.2s、筋電位が0.03sとした。以上のポリグラフ記録を万能型脳波計（NEC三栄製1A97型）を用いて紙速度1.5cm/sで紙記録するとともに、FMデータレコーダ（TEAC製SR-50型）で磁気記録した。

手続き：被験者は20:00に実験室に入室した。電極類を装着した後、被験者の通常の就床時刻に消灯し、ポリグラフ記録を開始した。消灯後、枕上1.5mに設置したスピーカーから周波数1000Hz、音圧50dB（SPL）のピップ音を60～90sの間隔でランダムに呈示した。頭頂部鋭波が出現する段階は持続時間が短く、瞬時に他の段階へと移行するため（Tanaka et al., 1996）、1分以上のランダム・サンプリングでは、十分なサンプルを得ることが困難なためである。被験者には、ピップ音が聞こえたら直ちに利き手に固定した押しボタンを押すこと、ピップ音呈示直前の心理的体験を口頭で報告することを教示した。ピップ音は、被験者がボタンを押した時点で消音したが、ボタンを押すことができなかつた場合には、5s間持続した。消灯後2時間経過しても紡錘波が出現しない場合か、消灯後3時間経過した時点で実験を終了した。

分析：脳波段階の判定には、Ogilvie et al. (1989) のスポット判定に準じて、音刺激直前5s間の脳波を用いた。ピップ音呈示直前5s間のCz部位の脳波を、Hori et al. (1994) の基準にしたがって、1) α 波連続期、2) α 波不連続期A ($\% \alpha > 50$)、3) α 波不連続期B ($\% \alpha < 50$)、4) 平坦期、5) θ 波期、6) 頭頂部鋭波散発期、7) 頭頂部鋭波頻発期、8) 頭頂部鋭波+紡錘構成波期、9) 紡錘波期の9段階に分類した。なお、睡眠段階の国際判定基準に従えば、脳波段階1と2が覚醒、3～8が睡眠段階1、脳波段階9が睡眠段階2と判定される。

また、ボタン押し直前の心理的体験の内容は、林他 (1998) の基準にしたがって、1) 通常の思考、2) 入眠時心像、3) 無体験、4) 不明瞭・忘却、5) 無回答の5つに分類した。

結 果

各脳波段階のポリソムノグラムを図1～9に示した。音刺激呈示前10sから音刺激呈示後5sまでの15s区間のサンプルである。図1 (α 波連続期)～図5 (θ 波期)と、図7 (頭頂部鋭波頻発期)、および図8 (頭頂部鋭波+紡錘構成波期)は20歳女性のサンプルである。このうち、図5 (θ 波期)は、1夜目のサンプルであり、その他は2夜目のサンプルである。図6 (頭頂部鋭波散発期)は、21歳男性の第1夜目のサンプルである。図9 (紡錘波期)は、21歳女性の第1夜目のサンプルである。以上のサンプルは、各脳波段階の典型例として選抜した。

いずれの図も上から、脳波 (Fz:前頭、Cz:中心、Pz:頭頂、Oz:後頭)、左右水平方向の眼球運動 (H.L.EOG:左眼、H.R.EOG:右眼)、垂直方向の眼球運動 (V.EOG)、頤筋筋電図 (EMG)、胸部および腹部の呼吸曲線 (Thor Resp:胸部、Abdom Resp:腹部)、音刺激に対する被験者の反応時間 (RT)を示している。図中2本の垂直線のうち、右は音刺激が呈示された時点、左は音刺激呈示5s前の時点を示している。各脳波段階は、この2本で囲まれた5s区間を判定したものである。また、右下の文章は、音刺激呈示直前の被験者の心理的体験について口頭で報告した内容を示している。

脳波段階1 (α 波連続期; 図1)： α 波が連続的に出現している。呼吸曲線の振幅は、腹部よりも胸部の方が優勢である。音刺激呈示後、急速眼球運動 (REMs) と、心理的体験の口頭報告のため、一過性に筋電位が増大している。「何も考えていませんでした」という報告は、無体験に分類される。

脳波段階2 (α 波不連続期A: $\% \alpha > 50$; 図2)： α 波の連続性が途絶えているが、区間の50%以上を占めている。区間中に緩徐眼球運動 (SEMs) が見られる。呼吸曲線の振幅は、胸部優勢である。

脳波段階1 (図1) よりも音刺激に対する反応時間は延長しており、被験者は、入眠時心像に分類される「公園の中を歩いているような夢を見ました」という心理的体験を報告している。また、音刺激呈示0.5s後に α 律動が再出現しており、1.5s後には筋電位の増大が認められる。音刺激呈示2.3s後には、垂直眼球運動の記録に皮膚電位反応が混入している。

脳波段階3 (α 波不連続期B: % α < 50; 図3) : α 波の連続性が途絶え、 α 波の出現量は区間の50%以下となっている。区間中にSEMsが見られる。呼吸曲線の振幅は、胸部優勢である。被験者は、「ごちゃごちゃ人が出てきてよくわかりません」という入眠時心像を報告しており、脳波段階2 (図2) と同様、段階1 (図1) よりも反応時間が延長している。また、脳波段階2 (図2) と同様、音刺激呈示後に α 律動の再出現、垂直眼球運動の記録における皮膚電位反応の混入、筋電位の増大が認められる。

脳波段階4 (平坦期; 図4) : α 波は消失し、不規則低振幅波が見られる。また、区間中にSEMsが見られる。呼吸曲線の振幅は、胸部優勢である。音刺激呈示前には、「今日の4コマの授業のことを考えていた」という通常の思考を体験しており、入眠時心像がみられた段階2 (図2)、段階3 (図3) よりも反応時間が短縮している。脳波段階1~3と同様、音刺激呈示後の α 律動の出現、皮膚電位反応の混入、筋電位の増大が認められる。

脳波段階5 (θ 波期; 図5) : θ 波が連続的に出現している。また、SEMが見られる。呼吸曲線の振幅は、胸部と腹部でほとんど差は見られない。「髪型のことを考えていた」は、通常の思考に分類される。音刺激呈示後には、 α 律動の出現とともにSEMが出現している。

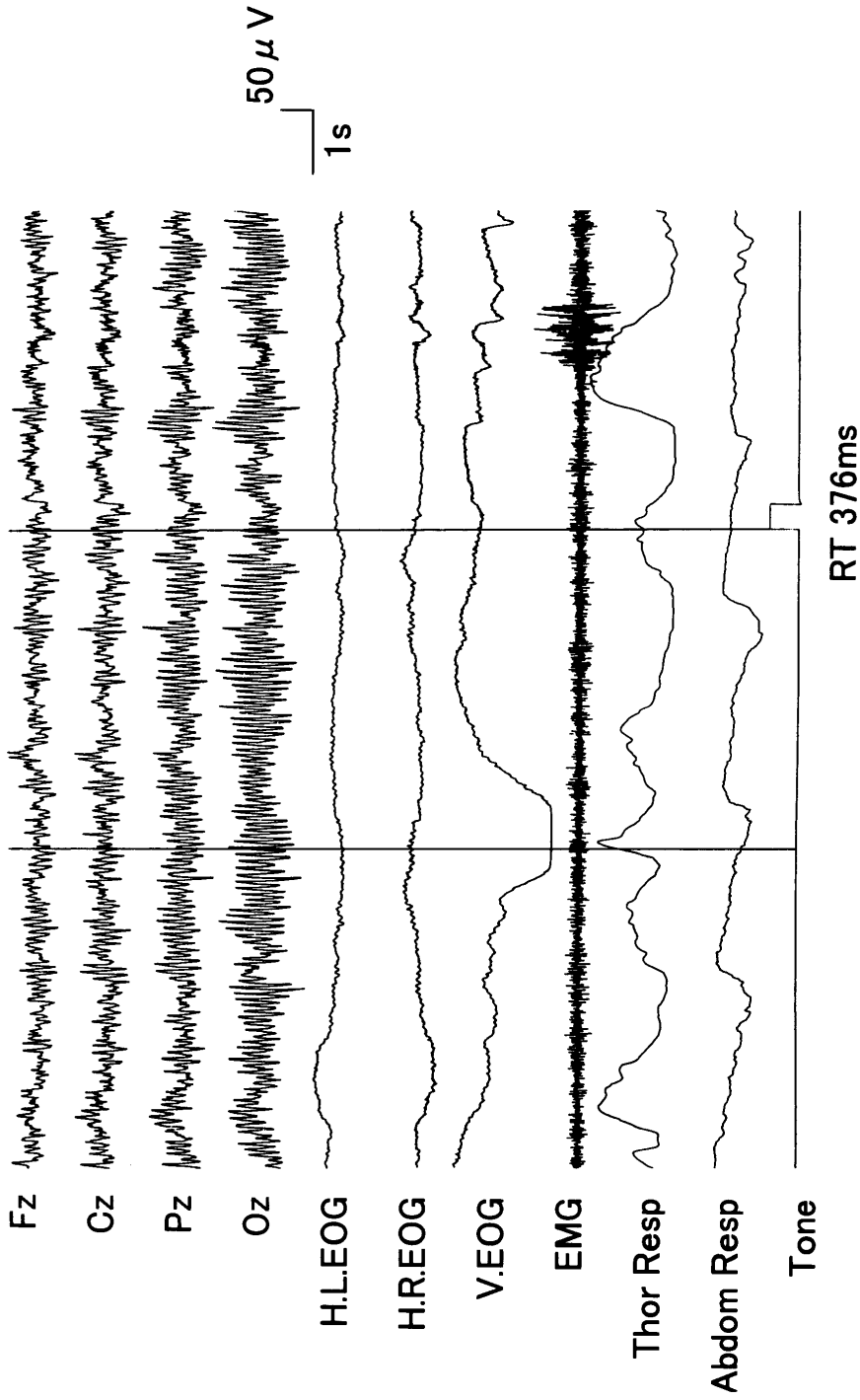
脳波段階6 (頭頂部鋭波散発期; 図6) : 中心部(Cz)と頭頂部(Pz)に明瞭な頭頂部鋭波が2個見られる。このサンプルではSEMsは出現していない。呼吸曲線の振幅は、腹部優勢になっている。反応時間は、1sを超えている。被験者は「大きな恐竜の骨をルーペで眺めていました」という入眠時心像を報告している。音刺激呈示後には、脳波と眼球運動の記録に筋電位が混入している。

脳波段階7 (頭頂部鋭波頻発期; 図7) : 前頭部(Fz)と中心部(Cz)に頭頂部鋭波が頻発している。SEMsは見られない。このサンプルでは、垂直眼球運動の記録に、皮膚電位反応が混入している。呼吸曲線の振幅は腹部優勢になっている。反応時間は段階1~5 (図1~5) よりも延長している。「店のショーウィンドウに使うランプを借りていました」は、入眠時心像に分類される。また、前頭、中心部では、音刺激呈示0.5s後にK複合波が出現した後、 α 律動が出現している。 α 律動の出現と同時にSEMが出現し、音刺激呈示1.5s後には、垂直眼球運動の記録に皮膚電位反応が混入している。

脳波段階8 (頭頂部鋭波+紡錘構成波期; 図8) : 音刺激呈示2s前に出現した頭頂部鋭波に続いて、紡錘構成波が出現している。段階1~5 (図1~5) よりも反応時間は延長している。「流しのトースターでパンが2枚焼けているのが見えた」は、入眠時心像に分類される。音刺激呈示後には、前頭と中心部にK複合波様の波形が出現し、その後、 α 律動とともにSEMが出現している。また、音刺激呈示後には、垂直眼球運動の記録に皮膚電位反応が混入するとともに、呼吸曲線の振幅は胸部優勢になっている。

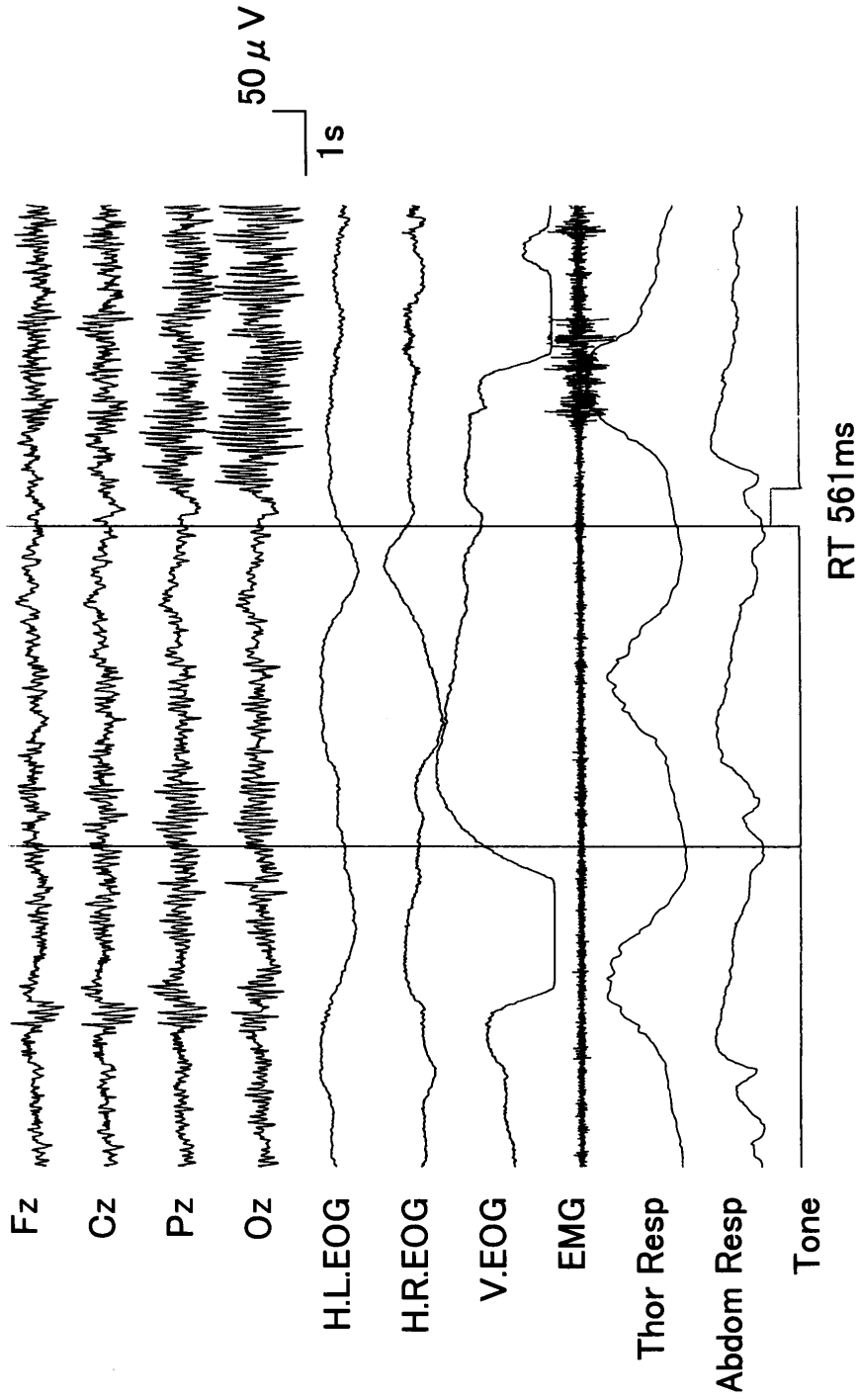
脳波段階9 (紡錘波期; 図9) : 中心部(Cz)と頭頂部(Pz)に明瞭な紡錘波が見られる。このサンプルでは、音刺激呈示中に紡錘波と δ 波が出現しており、音刺激に対する反応時間が3s以上かかっている。SEMsは出現していない。被験者は、音刺激前の心理的体験について「何か見ていたけど思い出せない」と報告している。これは、不明瞭・忘却として分類される。

脳波段階1 (α 波連続期)



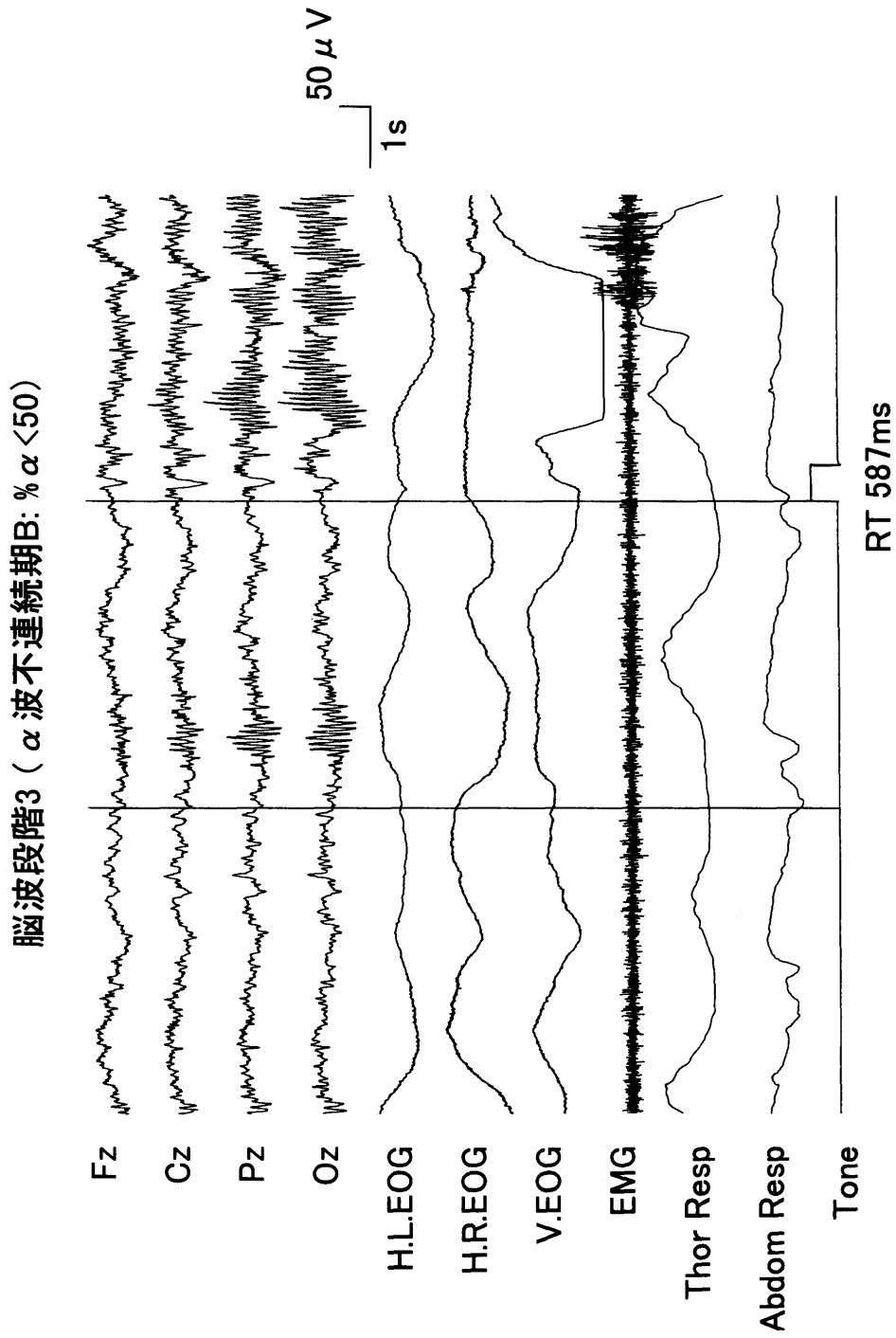
何も考えていませんでした

脳波段階2 (α波不連続期A: %α>50)



公園の中を歩いているような夢を見ました

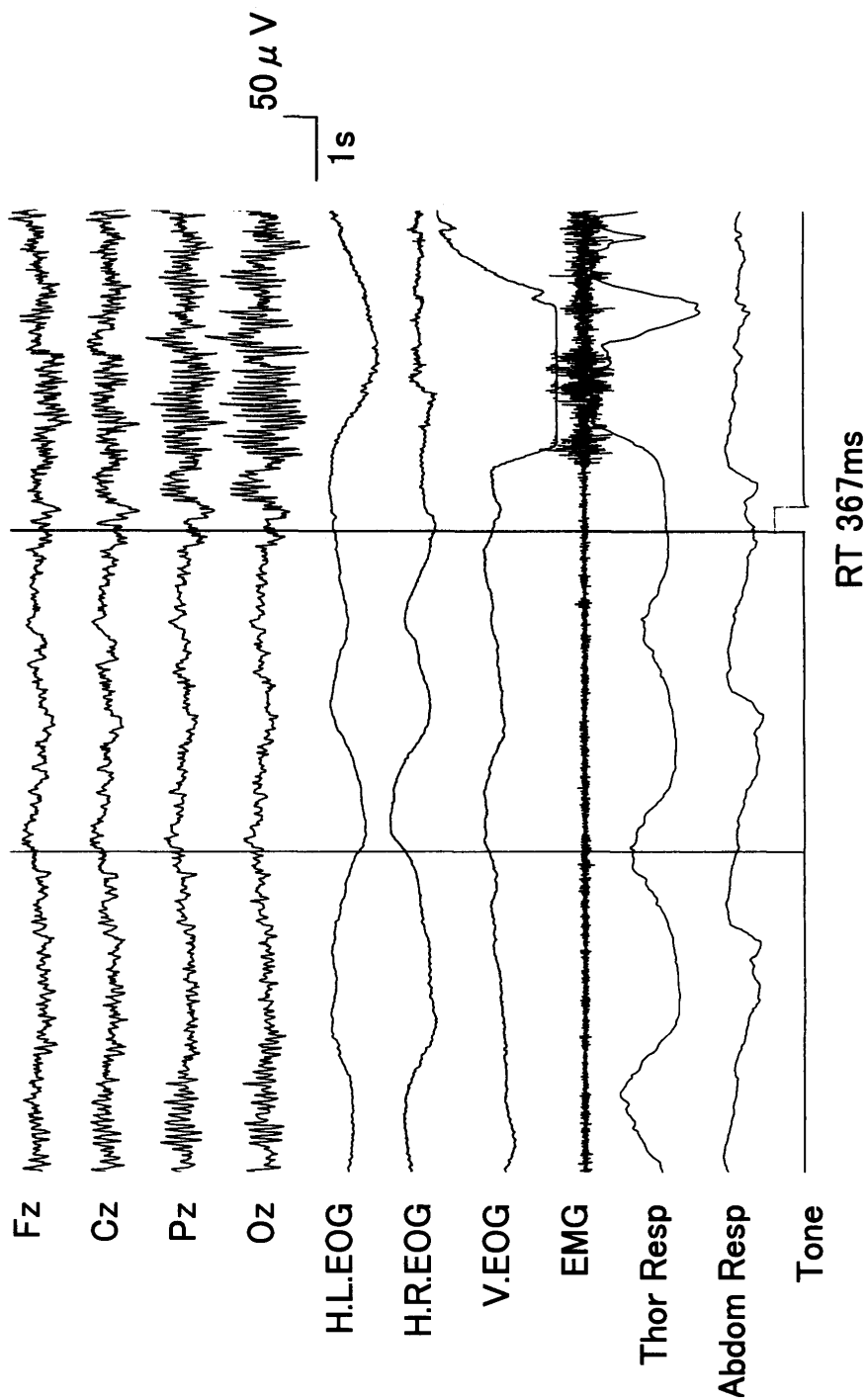
Fig. 2. 脳波段階2: α波不連続期A (%α>50)。20歳女性の記録。



ごちゃごちゃや人が出てきてよく分かりません

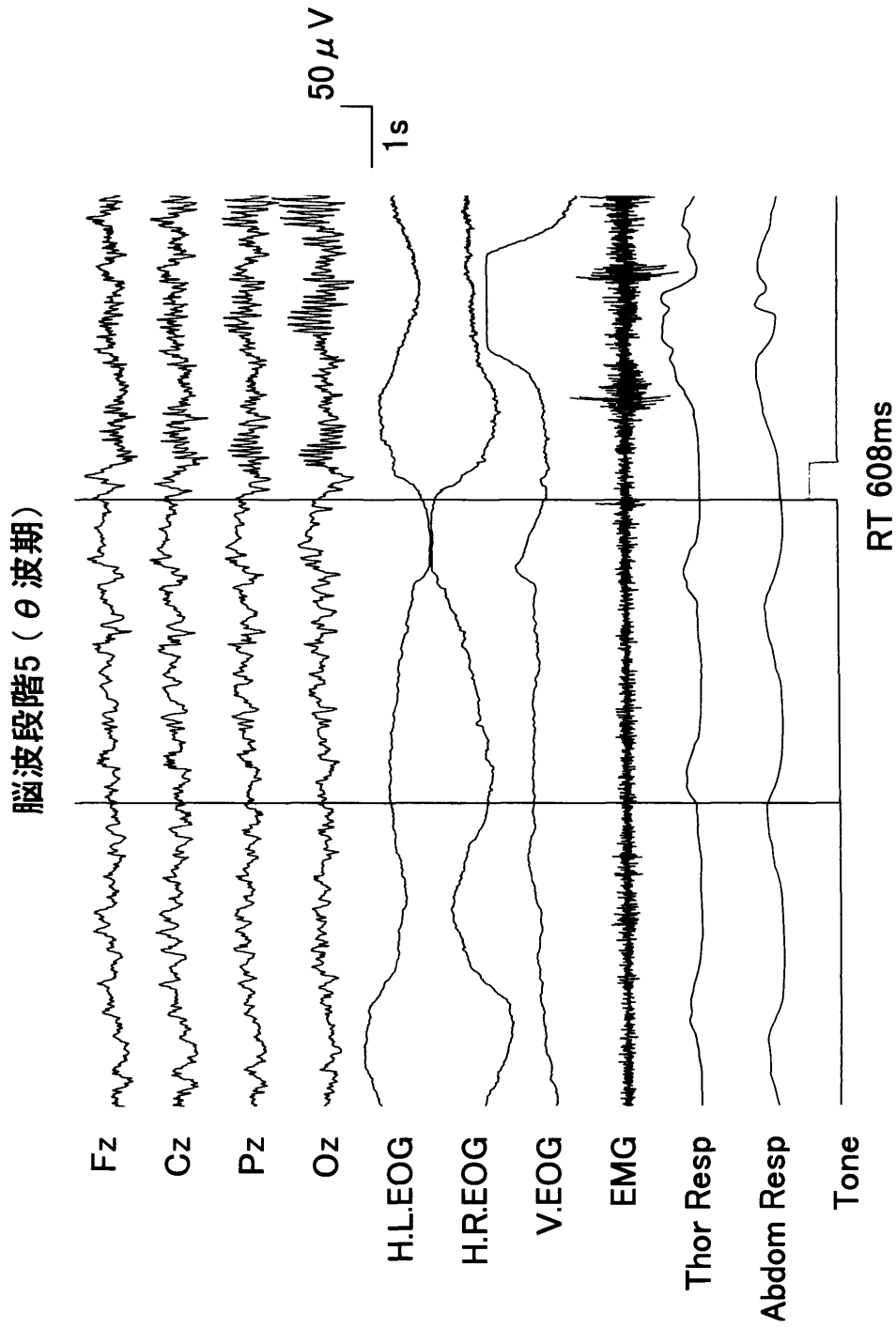
Fig. 3. 脳波段階3: α波不連続期B (%α<50)。20歳女性の記録。

脳波段階4 (平坦期)



今日の4コマの授業のことを考えていた

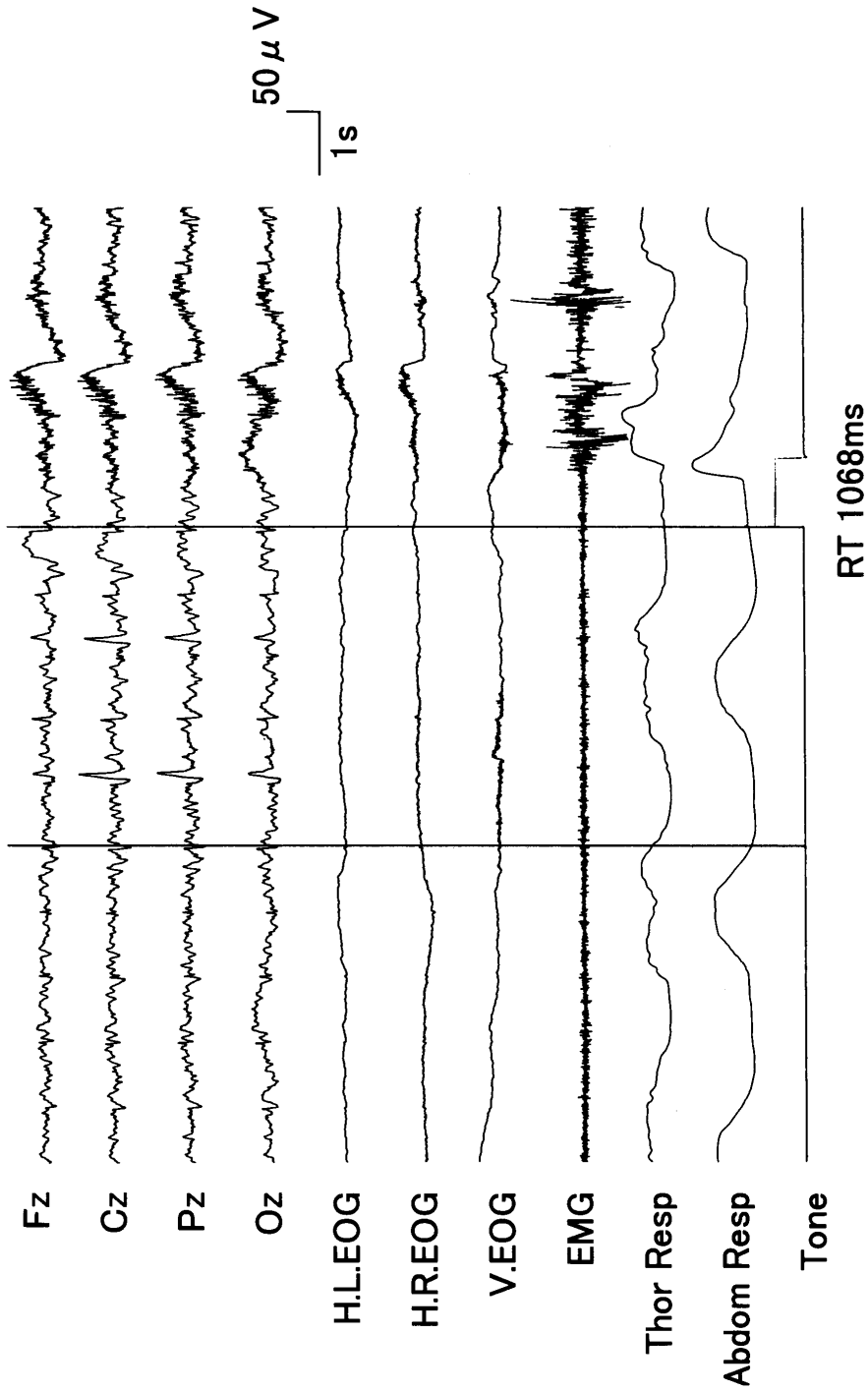
Fig. 4. 脳波段階4: 平坦期。20歳女性の記録。



髪型のことを考えていた

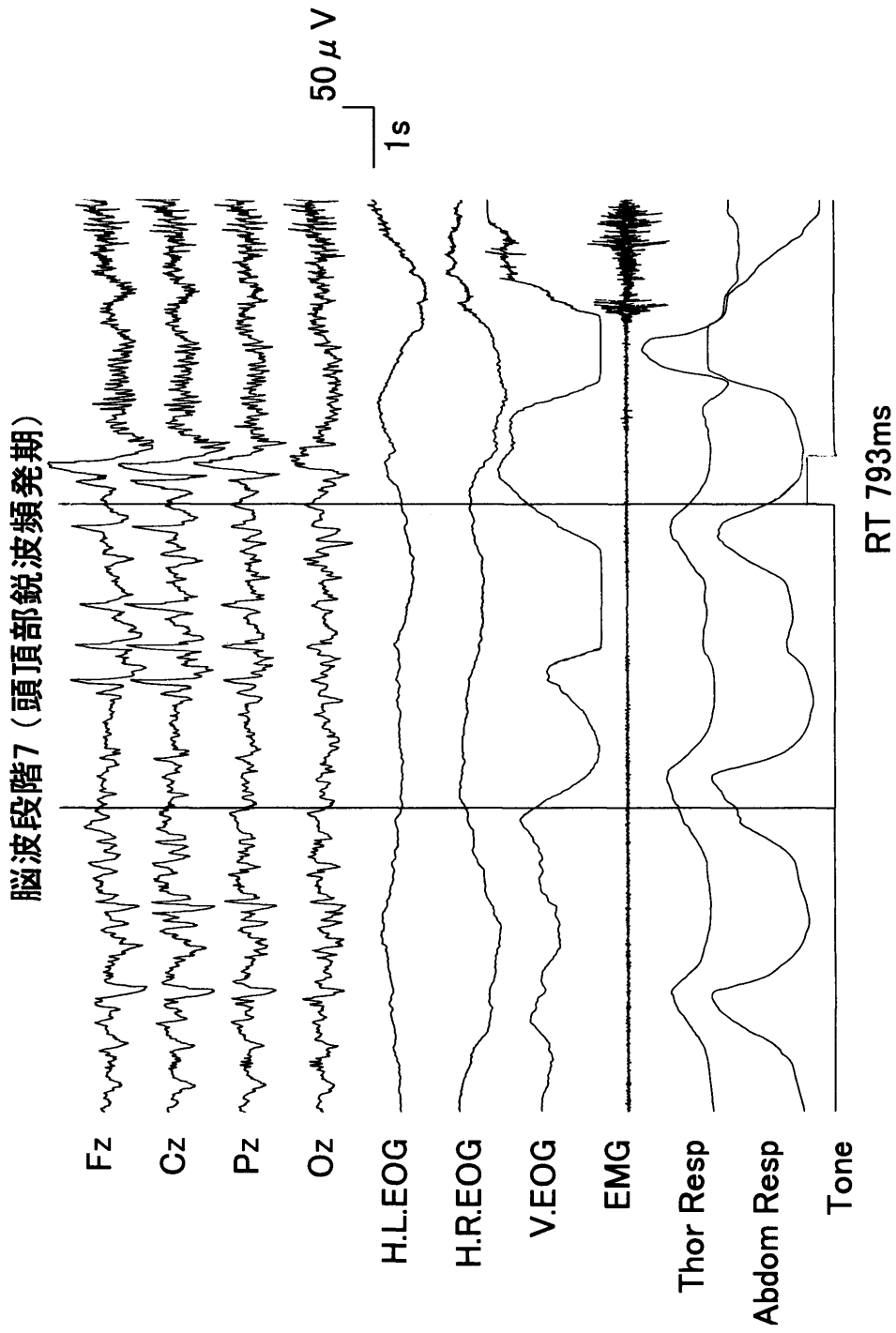
Fig. 5. 脳波段階5: θ波期。20歳女性の記録。

脳波段階6 (頭頂部鋭波散発期)



大きな恐竜の骨をルーペで眺めていました

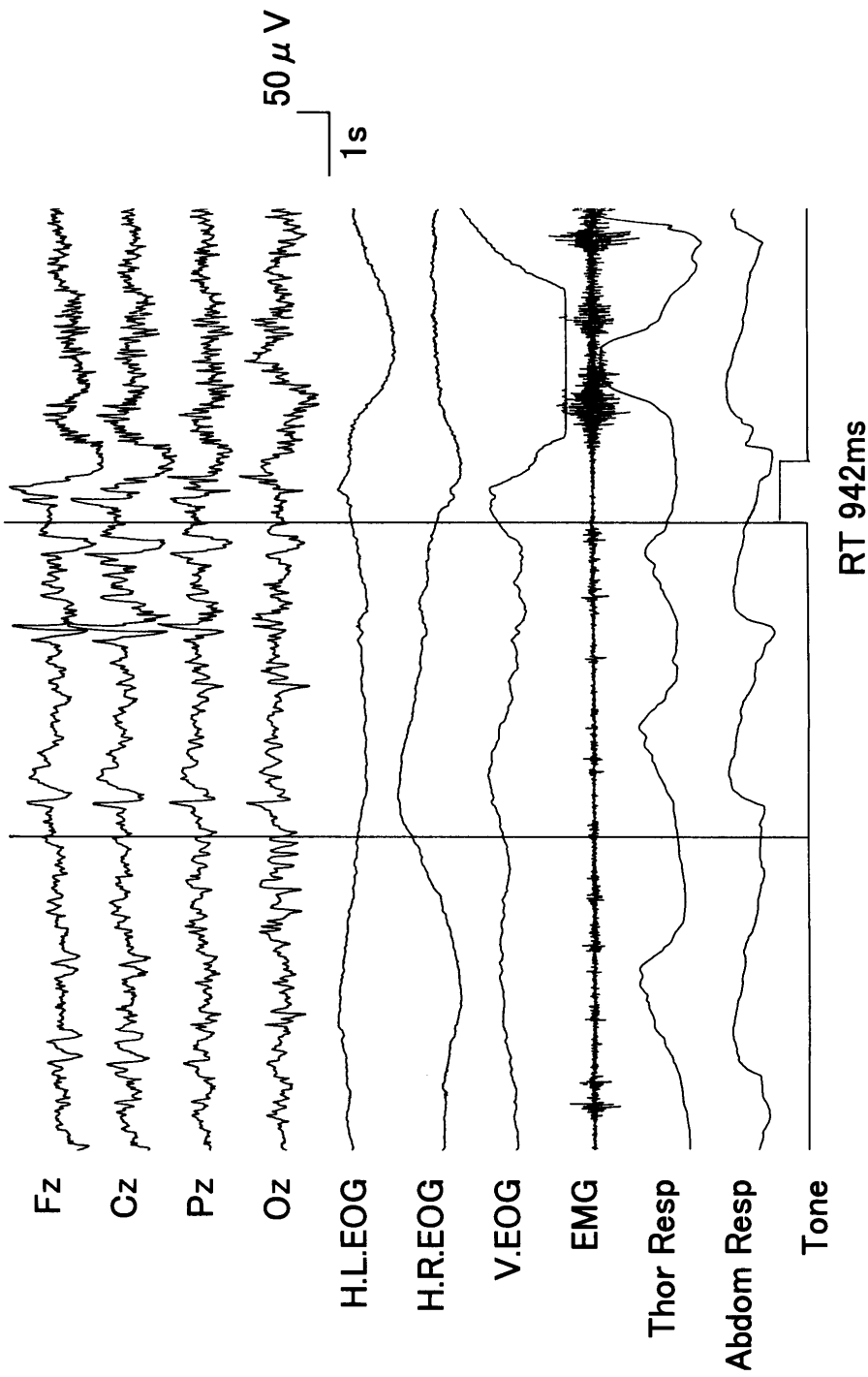
Fig. 6. 脳波段階6: 頭頂部鋭波散発期。21歳男性の記録。



店のショーウィンドウに使うランプを借りていました

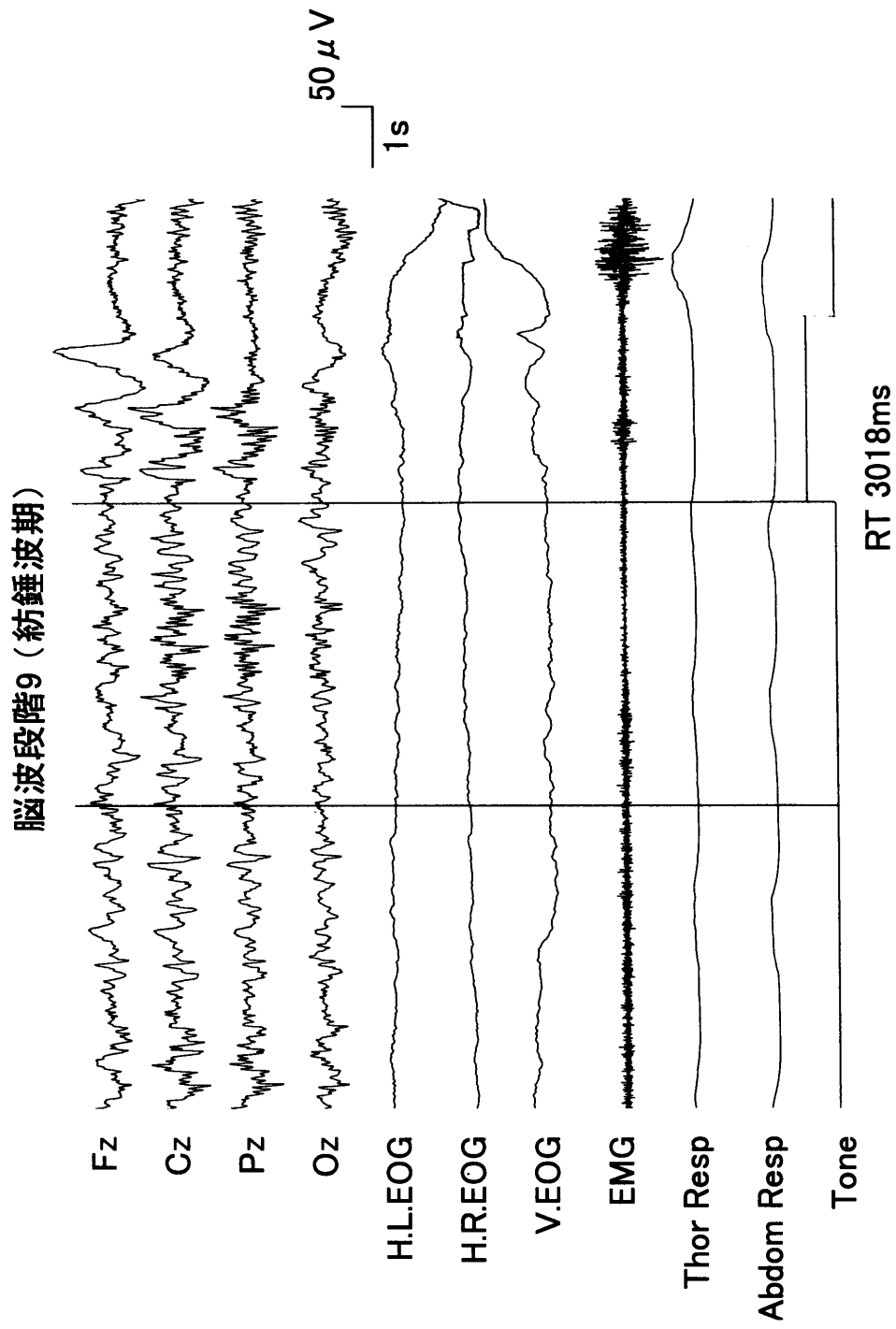
Fig. 7. 脳波段階7: 頭頂部鋭波頻発期。20歳女性の記録。

脳波段階8 (頭頂部鋭波 + 紡錘構成波期)



流しのトースターでパンが2枚焼けているのが見えた

Fig. 8. 脳波段階8: 頭頂部鋭波 + 紡錘構成波期。20歳女性の記録。



何か見ていたけど思い出せない

Fig. 9. 脳波段階9: 紡錘波期。21歳女性の記録。

考 察

入眠期に関する研究は、1) 入眠時点の同定に関する研究、2) 眠気や覚醒水準の測定に関する研究、3) 入眠時心像など主観的体験に関する研究、の3つに大別することができる(堀, 1984)。これらの研究では、その目的によって、脳波活動や眼球運動、呼吸運動などの生理的指標や、反応時間などの行動的指標、また、眠気や主観的体験の聴取などの主観指標が用いられている(広重, 1997, Ogilvie et al., 1989)。本研究では、入眠期の脳波段階における典型的なポリソムノグラムを掲載した。脳波活動に加えて、眼球運動と呼吸運動、反応時間、主観的体験を同時に測定しており、入眠期研究の基礎的資料として利用することができる。

本研究で示したHori et al. (1994) の脳波段階は、段階の進行とともに音刺激に対する反応時間が延長すること(Hori et al., 1994, 林他, 1998)、隣合う段階と比較的滑らかな移行関係にある(Tanaka et al., 1996)ことから、覚醒水準の変化に対応した妥当性のある分類法であると言える。しかし、これらの段階の中には、比較的持続時間が長く安定した段階と、持続時間が短く、瞬時に他の段階へと移行する不安定な段階が存在する(Hori et al., 1994, Tanaka et al., 1996, 林他, 1998)。前者は、 α 波が出現している段階1~3、 θ 波が出現する段階5、紡錘波が出現する段階9であり、後者は、低振幅不規則波が出現する段階4と、頭頂部鋭波が出現する段階6~8である。今回、60~90sのランダム間隔で音刺激を提示するとともに、実験者が30s以上の間隔で任意なタイミングで音刺激を呈示したが、50~70s間隔で提示した林他(1998)と同様、頭頂部鋭波が出現する段階6~8のサンプル数は少なかった。このことは、これらの段階の不安定さを支持する結果であると言える。

一方、消灯から2時間経過しても紡錘波(睡眠段階2)が出現しない被験者が存在するため、被験者16名中、9段階全てのサンプルが得られた被験者は7名であった。林他(1998)や本研究のように、全脳波段階のサンプルが得られた被験者は、20名中、7名であった。今回と前著のように音刺激の呈示と、被験者反応を負荷すれば、入眠期のサンプル数を増やすことはできるが、刺激の反復呈示が被験者の入眠を妨害するため、入眠期後半のサンプルは得にくくなる。これに対し、刺激を呈示しない自然睡眠を記録した場合には、全段階のサンプルを得ることはできるが、瞬時に終了する不安定な脳波段階のサンプル数が少なくなる。以上の点を解決するためには、単に被験者数を増やすだけでなく、同一被験者で複数夜のポリグラフィ記録をする必要があるだろう。

自然睡眠時における入眠期脳波の分析には、スペクトル分析やコヒーレンス分析が行われている。入眠期に安定して出現する α 波、 θ 波、紡錘波に注目し、これらの周波数帯域を分析すると、 α 帯域では、 α 波の消失とともにパワーが低下し、部位間の同期性も低下する(Tanaka et al., 1997)。これに対して、 θ 帯域では、頭頂部鋭波が出現する以降にパワーが増大し、部位間の同期性も上昇する(Morikawa et al., 1997)。一方、音刺激を反復呈示し、ボタン押し反応を負荷することによって入眠期の事象関連電位を検討すると、覚醒中に出現するN100、P300成分は α 波の消失とともに低下し、睡眠中に現れるP200、N300、P400、N550成分は、 θ 波や頭頂部鋭波が出現する段階から増加する(Michida et al., 1999)。これらの結果は、 α 波の消失とともに覚醒期が終了すること、頭頂部鋭波が出現する時期からすでに睡眠機構が作動していること(Morikawa et al., 1997)を示唆している。

α 波の消失とともに覚醒期が終了することは、SEMsの出現や、入眠時心像の出現からも示唆される。今回提示したサンプルでは、SEMsは、脳波段階2(α 波不連続期A: % α >50; 図2)から、段階5(θ 波期; 図5)において観察できた。睡眠段階の国際判定基準(Rechtschaffen & Kales,

1968) に従えば、脳波段階 2 は α 波が区間の 50% 以上を占めるため、覚醒と判定される。しかし、SEMs が覚醒中から出現し、覚醒から睡眠段階 1 への移行期で最大、睡眠段階 1 の進行とともに減少、紡錘波 (睡眠段階 2) ないし徐波 (睡眠段階 3) の出現で停止することは、これまですでに報告されている (Hori 1982; 広重 1997)。

SEMs の出現とともに、入眠期には、 α 波が消失して θ 波が出現するまでに腹部呼吸曲線の振幅が低下することが報告されている (Ogilvie et al., 1984)。これは特に、男性において優勢にみられる現象である。これに対して、分時換気量については、男女ともに α 波の消失とともに低下することが報告されている (Colrain et al., 1990)。しかし、今回の結果では、各段階に特徴的な腹部/胸部呼吸曲線の変化は観察できなかった。今回、 α 波が消失してから θ 波が出現するまでのサンプルは、女性の被験者から得られたものであったこと、また、ゴムチューブによるストレインゲージ法を用いたが、この方法は体動などの影響を受けやすいことなどが、その主な原因であると考えられる。今後、男女差などの個人差の検討や、サーミスタの使用など測定方法の改善が望まれる。

一方、夢体験は REM 睡眠時のみならず、覚醒中にも入眠期にも NREM 睡眠時にも出現することが報告されている (Vogel, 1991, 林他, 1998)。林他 (1998) は、 α 波が消失して θ 波が出現する時期には、静的物体が次々と出現したり、ストーリー性のある入眠時心像が出現することを報告した。本研究のデータでは、入眠時心像は、段階 2 (α 波不連続期: % $\alpha < 50$) から段階 8 (頭頂部鋭波 + 紡錘構成波期) まで出現しており、 α 波の消失が覚醒期の終了であるという考え方 (Morikawa et al., 1987) に一致する。

ところで、音刺激に対する反応時間は、段階の進行とともに延長する傾向を示した。また、音刺激呈示後のポリグラフィの特徴も段階の進行とともに変化していた。 α 波が消失する α 波不連続期 A (% $\alpha > 50$: 脳波段階 2) から平坦期 (脳波段階 4) では、音刺激呈示後 0.5s で α 律動が出現しており、音刺激の呈示とともに覚醒機構が回復していることがわかる。しかし、 θ 波期以降では、 α 律動が出現するだけでなく、同時に SEMs が出現していることから、睡眠慣性の影響を強く受けていることがわかる。さらに頭頂部鋭波頻発期 (脳波段階 7) では、音刺激呈示後、睡眠段階 2 の指標である K 複合波が出現していた。この結果は、K 複合波の構成成分が、頭頂部鋭波が出現する段階から増加すると報告した Michida et al. (1999) の結果と一致しており、この時期からすでに睡眠機構が作動しているという報告 (Morikawa et al., 1997) を支持している。このように音刺激に対するポリグラフィの変化をみると、 α 波が消失する段階、 θ 波が出現する段階、頭頂部鋭波が出現する段階、紡錘波が出現する段階では、それぞれ異なる機構が働いていることが示唆され、これは従来の知見に一致する (Hori et al., 1994; Morikawa et al., 1997; Tanaka et al., 1997; Michida et al., 1999)。

以上、本研究では、入眠期の基礎的資料として利用可能な入眠期のポリソムノグラムを定性的に提示し、入眠期における脳波段階の変化と、それに随伴する眼球運動の変化や入眠時心像の出現について記述した。また、音刺激に対するポリグラフィの変化を記述するとともに、脳波段階の妥当性について論じた。今後、入眠期における測定指標について、さらに定量的に検討していく必要があるだろう。

文 献

- Colrain, I. M., Trinder, J. & Fraser, G. 1990 Ventilation during sleep onset in young adult females. *Sleep*, 13: 491-501.

- 林 光緒・加藤孝一・堀 忠雄 1998 脳波段階の入眠時心像の変化. 広島大学総合科学部紀要Ⅳ理系編, 24, 59-73.
- 広重佳治 1997 入眠期・うたたねの生理心理学. 柿木昇治・山崎勝男・藤澤 清編, 生理心理学の応用分野. 北大路書房, pp.98-109.
- 本多 裕 1994 ナルコレプシー. 日本睡眠学会 (編) 睡眠学ハンドブック. 朝倉書店, 180-187.
- Hori, T. 1982 Electrodermal and electro-oculographic activity in a hypnagogic state. *Psychophysiology*, 19: 668-672.
- 堀 忠雄 1984 入眠期の精神生理学的研究と展望. 早稲田心理学年報, 16: 1-8.
- 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 Processes*. Washington, D.C.: American Psychological Association, pp.237-253.
- Michida, N., Ebata, A., Tanaka, H., Hayashi, M. & Hori, T. 1999 Changes of amplitude and topographical characteristics of event-related potentials during the hypnagogic period. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 53: 163-165.
- Miyasita, A., Fukuda, K. & Inugami, M. 1989 Effects of sleep interruption on REM-NREM cycle in nocturnal human sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 73, 107-116.
- Morikawa, T., Hayashi, M. & Hori, T. 1997 Auto power and coherence analysis of delta-theta band EEG during the waking-sleeping transition period. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103, 633-641.
- Murphy, T., Ogilvie, R. D., Doerfling, P., Alloway, C. & Lamarche, C. 1999 Evaluation of the Hori 9-stage sleep onset scoring system in unintentional sleep onset, narcolepsy and insomnia. *Proceedings of the 24th annual meeting of Japanese Society of Sleep Research*, 137.
- Ogilvie, R. D. & Wilkinson, R. T. 1984 The detection of sleep onset: Behavioral and subjective convergence. *Psychophysiology*, 21: 510-520.
- Ogilvie, R. D., Wilkinson, R. T. & Allison, S. 1989 The detection of sleep onset: Behavioral, physiological and subjective convergence. *Sleep*, 12: 458-474.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. 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.
- Tanaka, H., Hayashi, M. & Hori, T. 1996 Statistical features of hypnagogic EEG measured by new scoring system. *Sleep*, 19: 731-738.
- Tanaka, H., Hayashi, M. & Hori, T. 1997 Topographical characteristics and principal component structure of the hypnagogic EEG. *Sleep*, 20: 523-534.
- Vogel, G. W. 1991 Sleep-onset mentation. In A.M. Arkin, J. S. Antrobus, S. J. Ellman (eds.), *The mind in sleep: psychology and psychophysiology*, 2nd ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp.125-142.