

## 健常者の脳波測定時に出現する $\theta$ 波 — 学生実習データの有効活用 —

岡村 法宜\*

### Theta Activity Recorded on Electroencephalograms of Healthy Persons — Effective Use of the Records obtained from Student Experiments —

Noritaka OKAMURA

Key Words : electroencephalograph, theta rhythm, Fm $\theta$ , normal subject

#### 序 文

臨床検査に利用されている生体電気信号の判定において、脳波ほどその判定に視察が重要な地位を占めるものはない。視察による脳波判定では、判定基準を厳密に規定していたとしても、判読者によって判読結果にバリエーションができる。さらに、判読者は、突発性異常波のように疾患と直結する脳波には注意を向けるが、疾患と関係ない臨床上ほとんど有用ではないとされている所見については、意識していないことも多い。また、そのような所見については、判定基準すら明確化されていないものもある。例えば、基礎律動に含まれる徐波成分について成書などでも、「ごくごく少量の $\theta$ 波以外の徐波をみとめない。」<sup>1)</sup>という曖昧な表現が用いられている。

このように臨床的意義が低いとされている $\theta$ 波ではあるが、前頭正中線 $\theta$ リズム (Frontal midline theta rhythm, Fm $\theta$ ) のように、注意集中や精神作業と密接に関与し、脳内メモリに関する研究等で注目されている $\theta$ 帯域の脳波もある<sup>2)</sup>。さらに、実際に脳波検査をしていると $\theta$ 波の出現をしばしば認める。しかし、医療機関において、臨床上有用でない所見について、様々なコストをかけて詳細に調べることは不可能である。このような理由から、検査中に出現する $\theta$ 波について検討するのは、そのほとんどの被検者が中枢神経系に異常がないと考えられる医療系大学・専門学校などの教育機関での脳波実習データを利用することが適当と考えられる。

今回、正常者の脳波検査時に出現する $\theta$ 波の特徴について検討するために、過去5年間にA大学生理機能検査学実習で記録された90名の学生の脳波について、出現する $\theta$ 波の頭皮上分布、周波数帯域および被検者の覚醒

水準等を解析した。その結果、脳波検査における $\theta$ 波の正常パターンについて再検討したので報告する。

#### 方 法

##### 1. 対 象

対象は、平成18～平成22年度のA大学生理機能検査学実習を受講し脳波を記録した20～21歳の男女大学生(脳波記録時)で、電子メールに添付されたURLにアクセスし、図1に示したメールフォームに記述されているデータ利用に関する説明を読み、利用許諾手続きを行った90名(男性20名、女性70名)である。卒業生、在学生

愛媛県立医療技術大学臨床検査学科卒業生・在学生の皆様へ

現在、本学脳波システムの記憶容量の限界が近づきつつあり、次年度の実習に支障を来さないためにも、過去の脳波データのバックアップまたは破棄の必要性がございます。本学脳波システムのバックアップ媒体は5.25インチ光磁気ディスクを使用しておりますが、このメディアは生産数が少なく高価であるため、必要のない実習データは破棄する予定となっております。一方で、脳波は検診等で記録されることがないため、まとまった健常者データは貴重な研究資料であるとも考えられます。このような背景から、過去の実習で記録された脳波データを判定基準があいまいな $\theta$ 波について、健常被検者の出現様式(出現量や出現時間)を解析する研究に使用させていただきたく、卒業生・在学生の皆様にご了解いただきたくお願い申し上げます。この研究に本大学生理機能検査学実習で記録されたご自身の脳波データの使用を許可していただく場合は、以下のフォームに在学時の学籍番号を入力し、送信して下さい。

脳波データは学籍番号をIDとし、氏名は既に収録してありますので、解析時に本人を確定することはできませんし、当時の記録と照合し本人を確定するようなことはしないことを、お約束します。また、この送信フォームから送信者は特定できないシステムになっています。在学生の皆様におかれましては、脳波実習が終了し、成績評価も提出済みですので、データ使用許可の是非が成績評価等に影響するなどということとは、万が一ないことをお知らせいたします。

愛媛県立医療技術大学  
臨床検査学科 岡村法宜

利用許諾していただける場合は在学時の学籍番号を入力して下さい。

内容確認画面へ

図1. 脳波データ利用許諾に用いたメールフォーム

\*愛媛県立医療技術大学保健科学部臨床検査学科

ともに同様の方法で利用許諾を得たが、在学生については、脳波検査実習が終了し、レポートによる成績評価完了後にメールを送信し利用許諾を得た。

## 2. 脳波記録

被検者の頭部に、国際10/20電極配置法の電極装着部位にAg-AgCl皿電極を装着、またはキャップ電極(ELECTRO-CAP INTERNATIONAL, INC.製、エレクトロキャップ) Mサイズを装着し、脳波測定用リクライニングチェアに座らせ、14素子デジタル脳波計(日本光電社製、EEG-1514)を用いて、図2の手順、表1のモニターで脳波を記録し、記録時間はおおよそ30分である。脳波計の設定は、サンプリング周波数500Hz、システムリファレンスをC3、C4とし、測定した脳波はハードディスク上に保存した。

## 3. 脳波の解析

記録した脳波を視察で観察し、1秒以上継続して $\theta$ 波が優位に出現している記録範囲を選び、 $\theta$ 波出現時間を測定し、賦活状況および被検者の覚醒水準等の出現状況を判定した。また、脳波計に組み込まれている脳波解析プログラム(EEGFOCUS2.1)を使用して、出現した $\theta$ 波の周波数特性、頭皮上分布を解析した。視察で選んだ脳波を高速フーリエ変換(FFT)し、振幅スペクトラムを作製し、ピーク周波数を求めた。さらに、ピーク周波数の脳波の左右面、上下面および前後面の頭皮上電位マップを作製した。

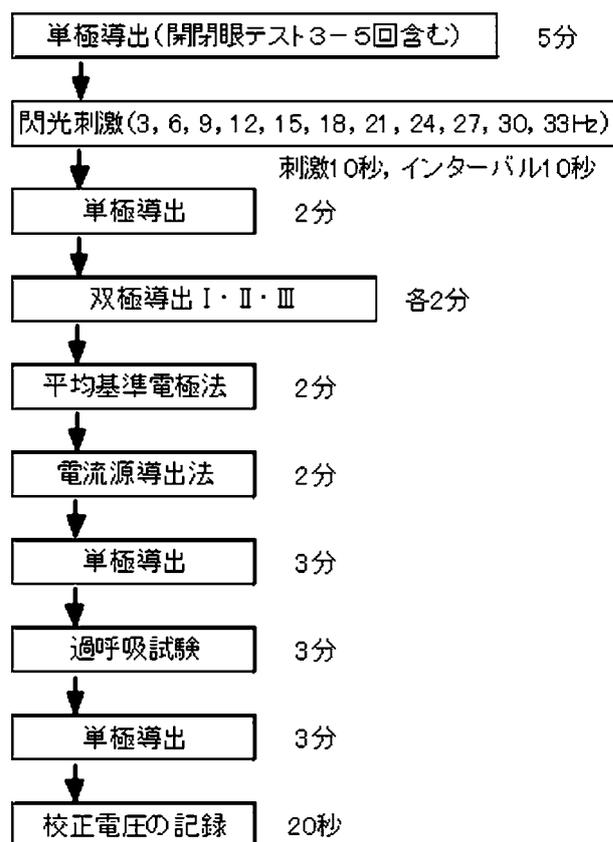


図2. 脳波測定手順

## 4. 統計解析

$\theta$ 波の頭皮上分布から、2タイプの $\theta$ 波が認められたので、ピーク周波数、出現量および出現状況内訳について、Student's t-testを用いて検定した。

表1. A大学生理機能検査学実習で採用しているモニター

	単極導出		双極導出I		双極導出II		双極導出III		平均基準電極法		電流源導出法	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
CH1	Fp1	A1	Fp1	F7	Fp1	Fp2	Fp1	F7	Fp1	AV	Fp1	SD
CH2	Fp2	A2	F7	T3	F7	F3	F7	F3	Fp2	AV	Fp2	SD
CH3	F7	A1	T3	T5	F3	Fz	F3	Fp1	F7	AV	F7	SD
CH4	F8	A2	T5	O1	Fz	F4	F7	T5	F8	AV	F8	SD
CH5	C3	A1	Fp1	C3	F4	F8	T5	O1	C3	AV	C3	SD
CH6	C4	A2	C3	O1	A1	T3	O1	F7	C4	AV	C4	SD
CH7	P3	A1	Fp2	F8	T3	Oz	Fp2	F8	P3	AV	P3	SD
CH8	P4	A2	F8	T4	Oz	T4	F8	F4	P4	AV	P4	SD
CH9	O1	A1	T4	T6	T4	A2	F4	Fp2	O1	AV	O1	SD
CH10	O2	A2	T6	O2	T5	P3	F8	T6	O2	AV	O2	SD
CH11	F7	A1	Fp2	C4	P3	P4	T6	O2	F7	AV	F7	SD
CH12	F8	A2	C4	O2	P4	T6	O2	F8	F8	AV	F8	SD
CH13	Fz	A1	F7	F8	O1	O2	A1	A2	Fz	AV	Fz	SD
CH14	ECG		ECG		ECG		ECG		ECG		ECG	

## 結 果

90名の被検者のうち、1秒以上持続する $\theta$ 波が認められたのは、24名で総被験者数の26.7%であった。そのうち、前頭部で優勢な $\theta$ 波（以下、前頭部優位型 $\theta$ 波）が出現する被験者が18名、前頭極、耳朶、後頭結節の高さの頭蓋周囲で優勢な両側同期性の $\theta$ 波（以下、周辺部優位型 $\theta$ 波）が出現する被験者が6名、その両方の部位で優位な $\theta$ 波が出現する被験者はいなかった。

図3に前頭部優位型 $\theta$ 波が出現している脳波を、図4aにその振幅スペクトルを、図4bに $\theta$ 帯域の頭皮上電位マッピングの典型例を示す。図5周辺部優位型 $\theta$ 波が出現している脳波を、図6aにその振幅スペクトルを、図6bに $\theta$ 帯域の頭皮上電位マッピングの典型例を示す。図3～6に示すように、前頭部優位型 $\theta$ 波は前頭極～前頭部の正中線部で $\theta$ 波が優勢だったが、周辺部優位型 $\theta$ 波は全ての導出部位で位相がそろい左右差が認められず、前頭極、耳朶、後頭結節の高さの頭蓋周囲で $\theta$ 波が優勢で、特に耳朶において高振幅だった。また、前頭部優位型 $\theta$ 波の平均ピーク周波数が $6.60 \pm 0.52\text{Hz}$ であったのに対し、周辺優位型 $\theta$ 波の平均ピーク周波数は $7.48 \pm 0.21\text{Hz}$ で、両タイプの $\theta$ 波の平均ピーク周波数に有

意差があった（図7、 $p < 0.01$ ）。

一方で、前頭部優位型 $\theta$ 波、周辺部優位型 $\theta$ 波の両タイプとも、 $\theta$ 波が出現する状況は、安静閉眼時、浅い睡眠時および過呼吸賦活時とその後3分以内（以下、過呼吸賦活時）の3状況だった。前頭部優位型 $\theta$ 波が出現する被験者において、1回の脳波検査中にこのタイプの $\theta$ 波は平均 $29.0 \pm 12.4$ 秒出現したが、一方、周辺部優位型 $\theta$ 波が出現する被験者において、1回の脳波検査中にこのタイプの $\theta$ 波は平均 $6.0 \pm 3.8$ 秒出現した。前頭部優位型 $\theta$ 波は、周辺部優位型 $\theta$ 波に比べ、出現時間が有意に長かった（図8a、 $p < 0.01$ ）。また、前頭部優位型 $\theta$ 波が出現する被験者において、 $\theta$ 波出現時間を100%とした時の出現状況の内訳は、安静閉眼時が $45.9 \pm 4.0\%$ 、浅い睡眠時が $25.5 \pm 9.0\%$ 、過呼吸賦活中が $28.6 \pm 6.8\%$ だった。同様に、周辺部優位型 $\theta$ 波が出現する被験者において、 $\theta$ 波出現時間を100%とした時の出現状況の内訳は、安静閉眼時が $58.3 \pm 49.2\%$ 、浅い睡眠時が $37.5 \pm 49.4\%$ 、過呼吸賦活時は $4.2 \pm 10.2\%$ で、前頭部優位型 $\theta$ 波出現状況に比べ、浅い睡眠時で有意に高値を、過呼吸賦活時で有意に低値であった（図8b、 $p < 0.01$ ）。

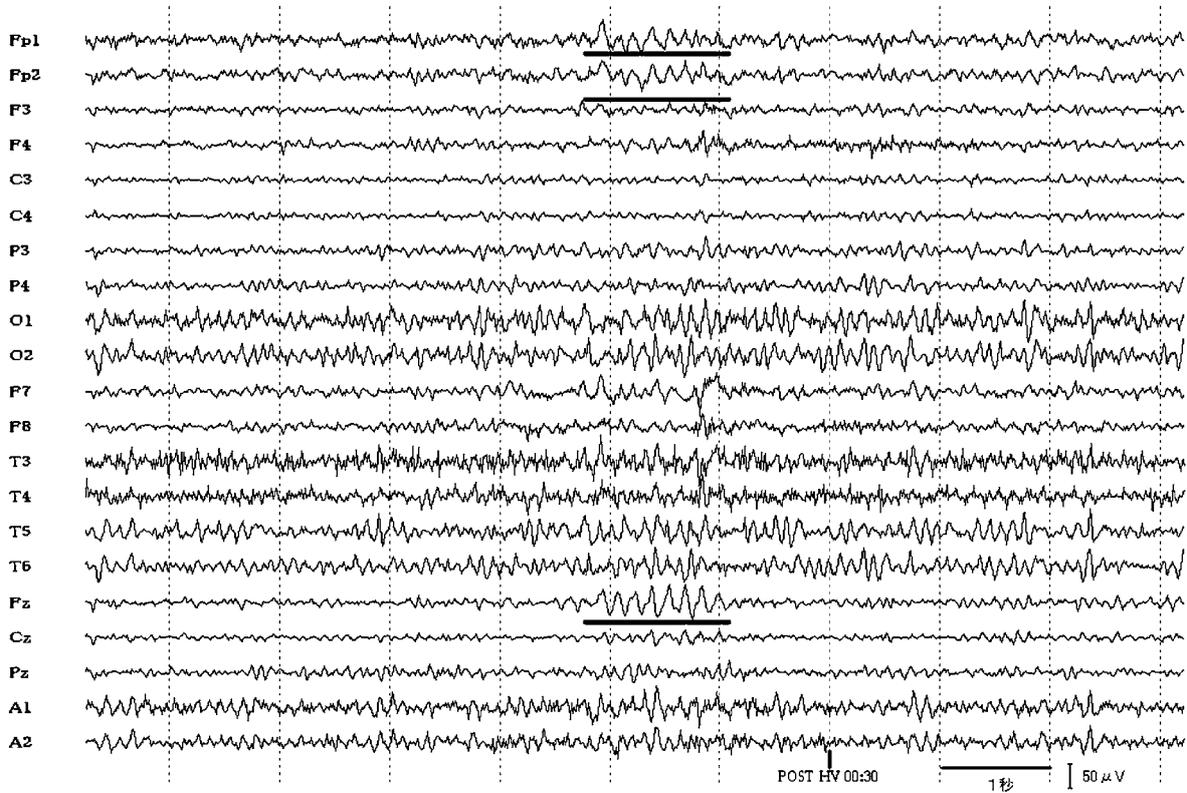


図3. 前頭部優位型 $\theta$ 波の一例  
アンダーライン部分が $\theta$ 波で、前頭正中線部（Fz）で最大振幅を呈している。

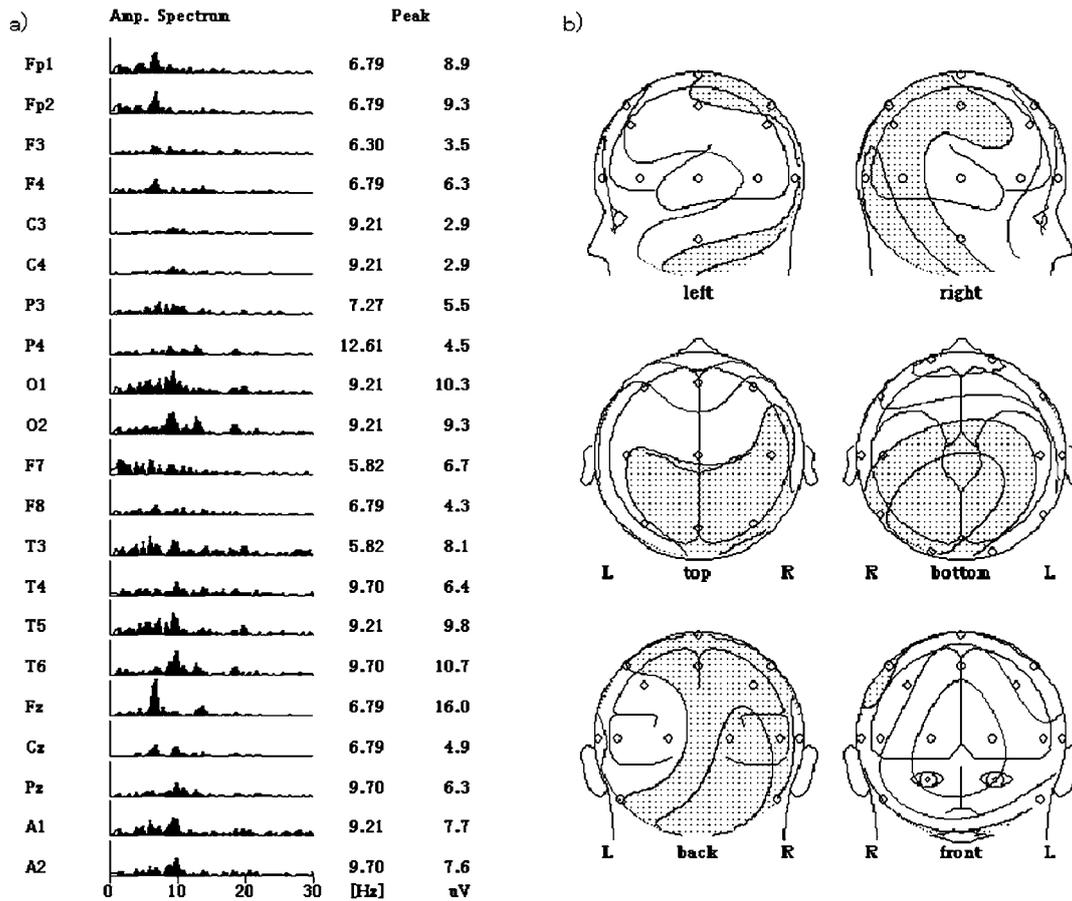


図4. 前頭部優位型θ波出現時の周波数スペクトラムa)とθ帯域頭皮上電位マッピング

a) 電極配置部位では、Fzで6.79Hzのθ波が最大振幅を示し、b) 前頭極の正中線部に陽性頂点が存在することを示している（網掛け部は陰性振幅）。

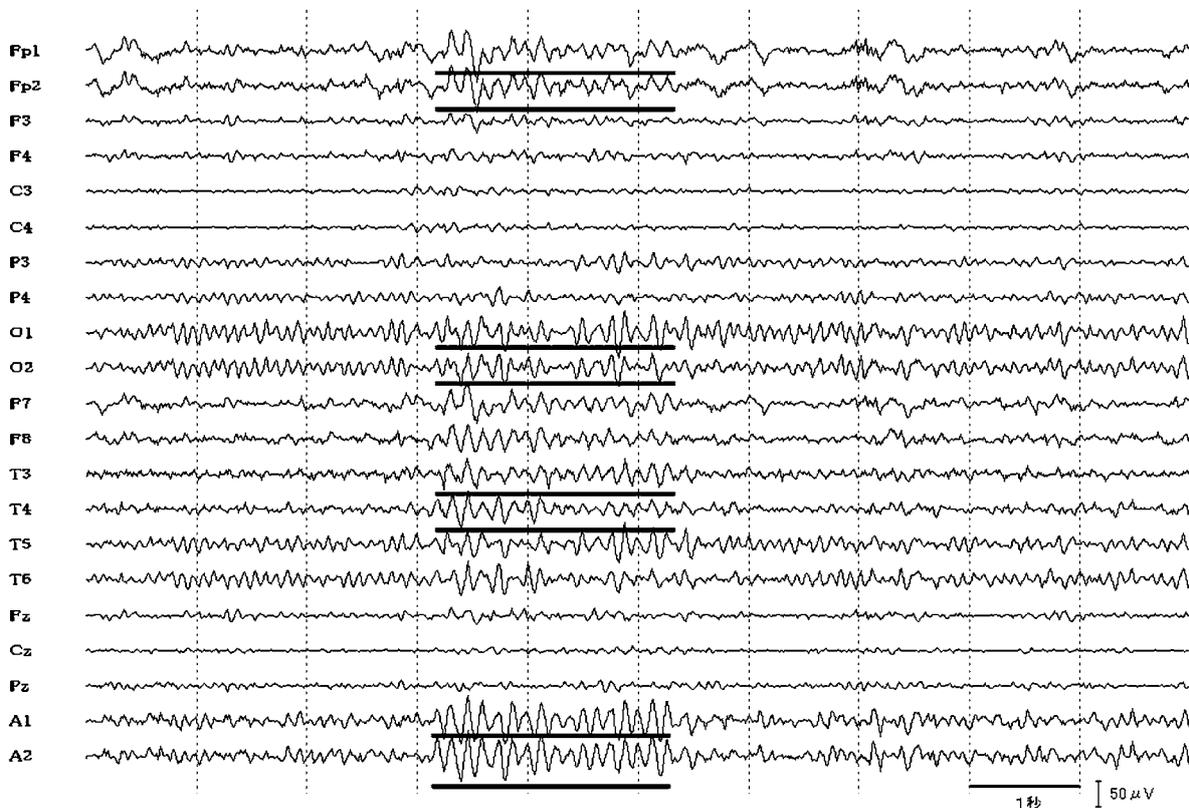


図5. 周辺部優位型θ波の一例

アンダーライン部分がθ波で、前頭極 (Fp1, Fp2), 側頭葉 (T3, T4), 後頭葉 (O1, O2), 耳朶 (A1, A2) で振幅が高い。

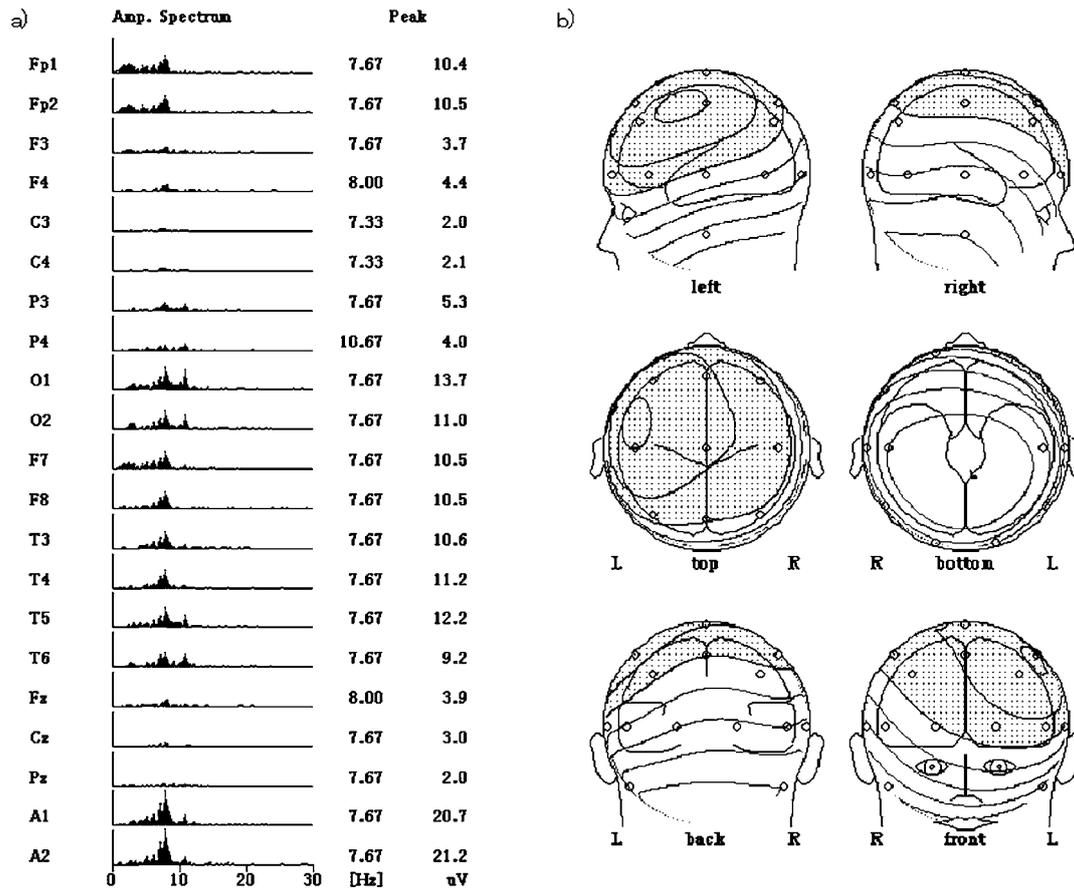


図6. 周辺部優位型  $\theta$  波出現時の周波数スペクトラム a) と、 $\theta$  帯域頭皮上電位マッピング  
a) 電極配置部位では、耳朶で7.67Hzの  $\theta$  波が最大振幅を示し、b) 脳底部に近い頭部外周で高振幅であることを示している（網掛け部は陰性振幅）。

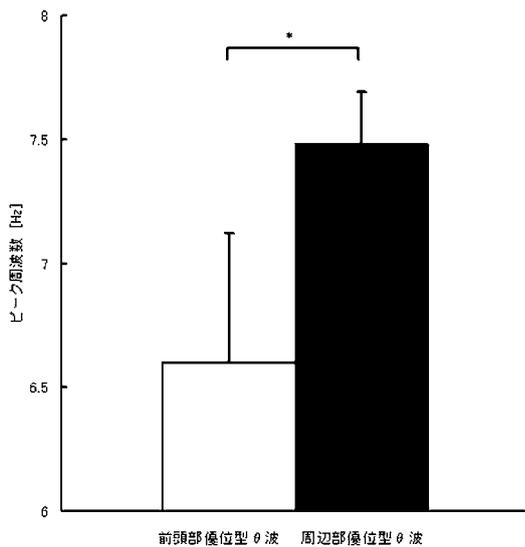


図7. 前頭部優位型  $\theta$  波と周辺部優位型  $\theta$  波の平均ピーク周波数  
\*: p<0.01, n=22

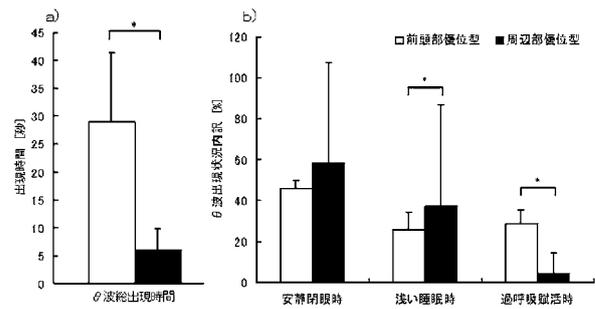


図8. 前頭部優位型  $\theta$  波と周辺部優位型  $\theta$  波の総出現時間 a) と、出現状況内訳 b)  
\*: p<0.01, n=22

## 考 察

前述したように、脳波検査において混入する徐波成分は、「ごくごく少量の $\theta$ 波以外の徐波をみとめない。」という曖昧な記述をしている文献が多い。しかし、今回、90名の被検者のうち、1秒以上持続する $\theta$ 波が26.7%の被検者で認められ、前頭部優位型 $\theta$ 波が出現する18名の被検者では、 $\theta$ 波の平均出現時間は29秒であり、これは脳波記録時間のおよそ1.6%を占める。ただし、今回はある程度律動性を維持している脳波を対象としたため、持続時間が1秒以上の $\theta$ 波のみを解析したので、実際の $\theta$ 波出現時間は、これよりも長いことが明白である。今回記録された前頭部優位型 $\theta$ 波は、Fm $\theta$ であったと考えられる。Fm $\theta$ は、日本人研究者によって命名された特殊脳波で、第5回Fm $\theta$ 研究会で、Fm $\theta$ を次のように定義している。「前頭正中線部に附近に最も優勢に出現するtheta rhythmで、ふつうは6-7Hzの周波数を持ち、精神作業などで増強される。一定の睡眠段階にあらわれることがある。」<sup>3)</sup> 今回記録された前頭部優位型 $\theta$ 波は、平均ピーク周波数 $6.60 \pm 0.52$ Hzで前頭正中線部で最も高振幅であった点はFm $\theta$ の定義と一致するが、最も長く $\theta$ 波が記録された状況は安静閉眼時で、次いで過呼吸賦活時、浅い睡眠時であった点は一部Fm $\theta$ の定義と異なっている。しかし、安静閉眼時といってもヒトは思考を完全に停止しているとは限らず、シールドルーム外の物音に注意を向けたりしている。実際に、ペーパーテストなどを用いない状態で、被検者に「脳波計のモーター音に注意させる」「身体のしびれやかゆみに注意させる」などの想像的課題試行中にも、Fm $\theta$ が出現することが報告されている<sup>4)</sup>。また、過呼吸賦活時に被検者は、検者のかけ声に合わせて深呼吸を行っているので、「脳波計のモーター音に注意させる」課題と同じような状況にあると考えられる。さらに、過呼吸による呼吸性アルカローシスは脳血管の攣縮を生じさせ、手足のしびれを感じさせることが多々ある。周波数特性、頭皮上分布および出現状況を総合すると、今回記録された前頭部優位型 $\theta$ 波は、Fm $\theta$ と考えられる。

一方で、周辺部優位型 $\theta$ 波は、90名中6名つまり6.7%の被検者でのみ認められた。その出現時間も平均6.0秒とおよそ30分間の脳波検査時間の僅か0.3%にすぎなかった。さらに、平均ピーク周波数が $7.48 \pm 0.21$ Hz、前頭極、耳朶、後頭結節の高さの頭蓋周囲で優勢で、特に耳朶において高振幅を示す $\theta$ 波という記述は、過去の報告を検索しても見当たらなかった。学生実習であるため電極装着部位が不正確になることがあること、耳朶において最も高振幅であることを考慮すると、実は側頭部で優勢な $\theta$ 波である可能性がある。浅い睡眠時での出現が前頭部優位型 $\theta$ 波より高い比率を示したことから、

思春期から若年成人で出現することがある眠気時律動性側頭部 $\theta$ 群発 (Rhythmic mid-temporal discharges, RMTD)<sup>5)</sup>の可能性も考えられる。しかし、RMTDは、持続時間が5秒~1分程度あり、周波数も4~7Hzであることから、1回の脳波検査で平均6秒しか記録されず平均ピーク周波数が7.48Hzだった今回記録された周辺部優位型 $\theta$ 波がRMTDと同じ脳波単位とは考えがたい。浅い睡眠時に出現し、持続時間が短い側頭部優勢の $\theta$ 波といえ、Maynardら<sup>6)</sup>が報告したBORTT (Burst of rhythmic temporal theta) も考えられるが、BORTTは50才代に多く、左側頭部で優勢なことから、両側で耳朶で優勢な今回の $\theta$ 波と性質が異なる。その他の睡眠時にも覚醒時にも出現することがある側頭部優勢の $\theta$ 波<sup>7,8)</sup>のどれにも、今回記録された周辺部優位型 $\theta$ 波はあてはまらなかった。周辺部優位型 $\theta$ 波は、前頭極、耳朶、後頭結節の高さの頭蓋周囲で優勢であることから、脳底に近い深部で発生した脳波が頭蓋周囲に波及した可能性がある。大脳の深部で発生する $\theta$ 波で代表的なものに動物の海馬で記録される海馬覚醒 $\theta$ 波<sup>9)</sup>があるが、ヒトでは下等哺乳類ほど海馬覚醒 $\theta$ 波は顕著ではなく、睡眠時に抑制されることから海馬覚醒 $\theta$ 波との関連はないと考えられる。今回記録された周辺部優位型 $\theta$ 波に左右差がないことや、全導出部位で位相がそろっている事などから、この $\theta$ 波が発生したメカニズムは、安静閉眼時に出現する $\alpha$ 波と近い発生機序か、脳底に近い大脳深部で発生した $\theta$ 波が周囲に波及したと考えられる。

以上のことから、被検者によっては、脳波検査中に主にFm $\theta$ と考えられる $\theta$ 波が「ごくごく少量」という表現以上に長時間記録されていた。しかし、このような $\theta$ 波の正常範囲を規定するには、さらに多くの正常脳波を解析する必要があるだろう。さらに、今回記録された周辺部優位型 $\theta$ 波については、出現者数、出現時間ともに少ないため、正常な脳波として取り扱うべきかどうかは、より多くの脳波について解析を行わなければならない。その際には、アーティファクトでないことを慎重に確認し、今までに報告されている異常な $\theta$ 波との鑑別を厳密に行う必要があるだろう。

## 引用文献

- 1) 丹羽真一 (2000) : 臨床脳波と脳波解析. 「脳波判読の実際」. 鶴紀子編, p.26-52, 新興医学出版社
- 2) Payne, L., Kounios, J. (2009): Coherent oscillatory networks supporting short-term memory retention. *Brain Res*, 126-132.
- 3) 山口雄三 (1983) : Fm $\theta$  (Ⅲ). *臨床脳波*, 25, 425-431.
- 4) 山口雄三 (1983) : Fm $\theta$  (Ⅱ). *臨床脳波*, 25, 352-358.
- 5) Hughes, J. R. (2001): The continuous rhythmic mid-

- temporal discharge. Clin Electroenceph, 32, 10-13.
- 6) Maynard, S. D., Hughes, J. R. (1984): A distinctive electrographic entity: bursts of rhythmical temporal theta. Clin Electroenceph, 15, 145-150.
- 7) Zumsteg, D., Andrade, D. M., Wennberg, R., et al. (2006): Parietal lobe source localization and sensitivity to hyperventilation in a patient with subclinical rhythmic electrographic discharges of adults (SREDA). Clin Neurophysiol, 117, 2257-2263.
- 8) Chapman, R. M., Armington, J. C., Bragdon, H. R. (1962): A quantitative survey of kappa and alpha EEG activity. Electroenceph Clin Neurophysiol, 14, 858-868.
- 9) Holmes, J. E., Adey, W. R. (1960): The electrical activity of the entorhinal cortex during conditioned behavior. Am. J. Physiol, 199, 741-744.
- 

## 要 旨

本研究は、A大学学生実習で記録された90名の脳波とデジタル脳波計に標準で付属している機能を使用して、脳波検査実習時に記録された $\theta$ 波の出現様式について解析した。成書では、基礎律動に混入する徐波について、「ごくごく少量の $\theta$ 波以外の徐波をみとめない。」とされているが、Fm $\theta$ と判定できる前頭部優位型の $\theta$ 波が18名で出現し、その18名については1回の脳波検査で平均29秒の持続時間1秒以上の $\theta$ 波が出現していた。この結果より、脳波検査時の $\theta$ 波の出現量に関してより多くの正常脳波を解析して、正常な $\theta$ 波の基準を設ける必要があると考えられた。さらに、6名の被検者では、前頭極、耳朶、後頭結節の高さの頭蓋周囲で優勢な持続時間が1秒以上の両側同期性の $\theta$ 波が僅かではあるが認められた。このタイプの脳波は今までに報告されておらず、このタイプの $\theta$ 波が正常者でも出現することがある特殊脳波に位置づけて良いか、より詳細な分析が必要と考えられた。