

## 音刺激提示後に出現する睡眠紡錘波に関する検討

多喜乃 亮 介      宮 内      哲\*

### 目 的

睡眠脳波の特徴のひとつである睡眠紡錘波 (sleep spindle : 以下 spindle) は、前頭～中心頭頂部優位に出現する 11～15Hz, 数 10 $\mu$ V の紡錘状の群発波で通常0.5秒以上連続するものを呼ぶ。臨床上は古くから対称性の欠如や過剰出現が問題とされてきたが<sup>1)~3)</sup>, 睡眠研究では一夜に出現する数が 1,500～3,000 個以上におよび膨大なデータ量となるために, 十分な研究は行われてこなかった。近年コンピュータが比較的手軽に利用できるようになり, 個々の spindle の出現頻度や周波数, 振幅の自動計測が行われるようになり, ようやくその出現パターンが明らかにされるようになってきた<sup>4)~8)</sup>。

我々もマイクロコンピュータを利用した紡錘波検出装置を作成したので<sup>9)</sup>, 今回これを用いて夜間睡眠での spindle の計測を試みた。特に, 睡眠中に音刺激を提示し, その刺激に対する応答としての spindle 帯域の活動を検討した。音刺激に対する反応としては, K-complex の誘発が初期の頃の研究から指摘されている<sup>10),11)</sup>。K-complex は覚醒反応のひとつとも考えられ, 睡眠の進行を考える上で有効な指標と考えられる<sup>12)~17)</sup>。また有意義な刺激にはより多く反応が見られるなど<sup>8),9)</sup>, 心理学的にも興味深い対象である。その一部に spindle を伴うタイプが出現することも指摘されているが, この spindle 帯域を中心とした定量的な検討は特に行われてこなかった。そこで今回は刺激後 2.5 秒までの睡眠脳波記録を対象とし, その間に出現する spindle の出現率, 周波数, 持続時間を求め, 刺激に対応して出現する spindle の可能性を検討した。

### 方 法

20～24歳の健康な男子大学生/大学院生 6 名を被験者とし, 連続 4 夜, 7 時間 30 分の実験室睡眠記録を行った。被験者は室温 22°C, 湿度 58% にエアコンディショニングされた半防音暗室のシールドルームに設置したシングルベッドを用いて実験室睡眠をとった。第 1 夜と第 2 夜は実験室に対する順応のための記録とし, 今回の分析対象からは除外した。第 3 夜は基準夜とし, 第 4 夜を実験夜として音刺激の提示を行った。

第 4 夜の実験夜では, 被験者の入眠後, 脳波記録上に K-complex あるいは spindle の出現を確認の後, 500Hz と 1,000Hz の 2 種類の音刺激をランダムに提示した。音刺激は三栄測器製 PHONO STIMULATOR 3G13 を用いて, 被験者の後方 45cm に設置したスピーカーより, 刺激強度 62.5dB(A), 持続 50ms で提示した。刺激間隔は 30～40 秒でラン

\* 早稲田大学

ダムとした。また、第3夜の基準夜では実験夜と同じ間隔で刺激のマークのみを記録し、これを実際には音刺激は提示されていない偽刺激とし、実験夜の刺激に対する反応との比較に用いた。

記録は銀皿電極を用い、左乳様突起を基準電極とし、Fz, Cz, Ozより単極導出した脳波(時定数0.3秒)、両眼窩外縁に置いた電極から双極導出による水平方向眼球運動(時定数1.5秒)、オトガイ筋筋電図(時定数0.03秒)、胸骨上に置いた電極と乳様突起上の基準電極から心電図(時定数0.005秒)を、三栄測器製ポリグラフシステム142-8を用いて1.5 cm/secで紙記録した。

spindleの検出は我々の作成した検出装置を用い、Czの記録を検出対象とした。検出の基準は基本的に11.2~16.0Hz, 5 $\mu$ V以上の波が4つ以上連続して出現するものとした。この装置は、視察による spindle 検出との一致率が平均89.9%のものである<sup>9)</sup>。

睡眠段階は Rechtschaffen & Kales (1968)<sup>20)</sup>による判定基準に従い30秒ごとに判定した。そのうち spindle が優勢に出現する睡眠段階2の記録を今回の分析対象とした。

## 結 果

spindle の出現数には個人差が認められ、少ないものでは一晩の平均で3.2個/minであり、多い被験者では10.5個/minになった。ただし一夜の経過をみると、どの被験者においてもほぼ同様の出現傾向となり、その平均値はfig.1に示すような結果となった。fig.1では一夜の睡眠を約60~90分周期で出現するREM睡眠を区切りとした睡眠周期ごとに分け、各睡眠周期の睡眠段階2における1分当たりの spindle の出現数を示したものであ

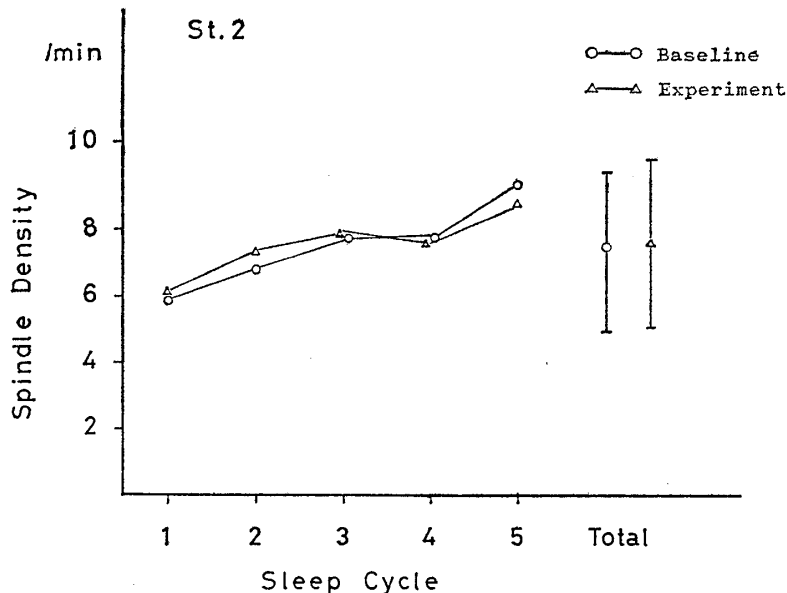


fig.1 Spindle density of each sleep cycle in St.2 sleep.

図の縦軸は1分当たりの spindle の出現数を示す。横軸はREM睡眠までを1周期とした睡眠周期を示し、図の右端には一夜の1分当たりの平均出現数を示した。図中白丸で示す値は、音刺激の提示が行われなかった第3夜目の基準夜の出現数であり、白三角で示す値が、音刺激提示を行った第4夜目の実験夜の出現数である。出現数は睡眠段階2の記録で紡錘波検出装置によって検出された数である。

る。この図によると、第1周期が平均で5.87個/minと少なく、明け方に近づくにつれて徐々に多くなる傾向がある。ただし、5.5個/minと比較的出現数の少ない被験者が、第5周期まで至らずに覚醒となったために、第5周期の平均値が高くなっている。そこで、第1周期の出現密度は少ないが、それ以降はほぼ同程度の出現密度を示す結果といえることができる。

基準夜と実験夜で比較した場合、どちらの条件においても同じ出現傾向が認められ、条件に特有の変動はなく、一夜の平均で、基準夜は7.4個/min (sd=2.401)、実験夜では7.58個/min (sd=2.523)と両条件に有意な差は認められなかった。

次に、音刺激提示後出現する spindle を検討するために、睡眠段階2で提示された音

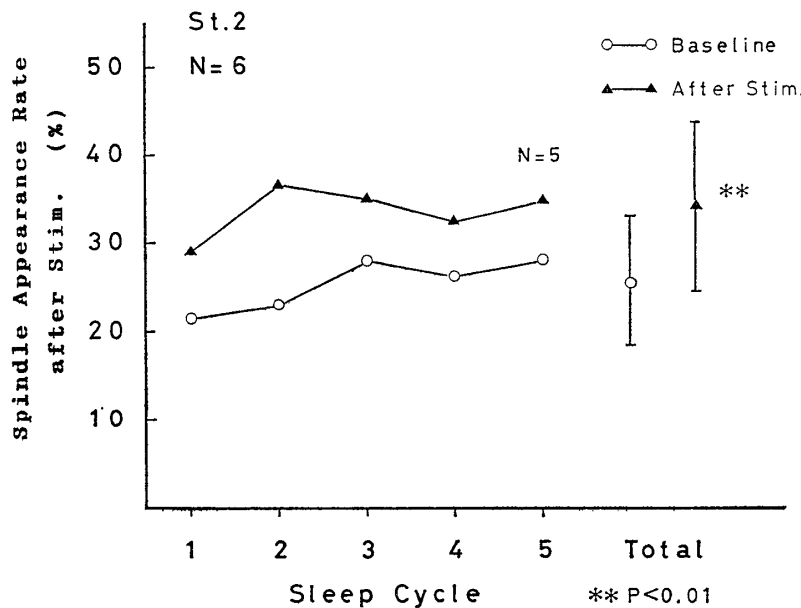


fig.2 Spindle appearance rate after tone stimulus in St.2 sleep.

図の縦軸は音刺激後2.5秒以内に出現した回数を分子とし、刺激提示数を分母とした刺激後の spindle の出現率を示す。基準夜では刺激提示のかわりに記録上に実験夜と同じ刺激間隔で記録されたマークを pseudo-stimulus とし、そのマークの2.5秒以内に出現した spindle の出現率を求めた。横軸は fig.1 と同じく睡眠周期を示す。図中の白丸で示すデータは基準夜の pseudo-stimulus による spindle の出現率であり、図中の黒三角で示すデータが実際の音刺激後に出現する spindle の確率になる。

table 1. Spindle appearance rate after stimulus (pseudo-stimulus) in St.2

sub.	psuedo-stim.	stimulus	$\chi^2$	df	P	
1	30.9%	41.8%	10.772	1	<0.005	**
2	31.7%	43.9%	13.709	1	<0.001	**
3	13.1%	18.1%	3.689	1	<0.1	†
4	24.0%	40.0%	21.883	1	<0.001	**
5	33.9%	36.9%	0.757	1	>0.3	
6	20.4%	24.1%	1.453	1	>0.2	

\*\* P < 0.01

† P < 0.10

刺激の回数を分母にとり、刺激後2.5秒以内に spindle が検出された回数を分子とした、刺激後の spindle の出現率を求めた。基準夜では実際には音刺激は提示されていないが、実験夜の音刺激と同じ30~40秒の間隔で記録紙上にマークされた psuedo-stimulus を用い、マーク直後2.5秒以内に自発的に出現した spindle の出現率を求めた。これは、spindle が自発的に頻出する現象であるために、刺激が与えられなくとも見掛け上刺激によって出現したように見える可能性が考えられるので、基準夜のデータであらかじめその確率を求めおき、実験夜でその水準を有意に上回るかを検討するためである。

fig. 2 は各睡眠周期ごとに6名の被験者の刺激後の spindle の出現率の平均を示したものである。第1睡眠周期でやや低い出現率が認められるが、基準夜では平均21~28%の出現率に対し、実験夜では平均29~37%と、どの睡眠周期においても基準夜より実験夜で刺激後の spindle の出現率が高くなっている。一晩の総刺激に対する出現率を検討すると、どの被験者でも実験夜で刺激後の spindle の出現率が高くなっており、一夜の出現率を各被験者の代表値として対応のある t-test を行うと、統計的にも有意な結果を得た ( $t = 4.302, df = 5, P < 0.01$ )。ただし、それぞれの被験者で刺激数が400回前後と母数を大きくとることができるので、被験者ごとに刺激後の spindle の出現率を基準夜と実験夜で比較したところ、実験夜で出現率は高くなっているものの被験者によっては統計的に有意差は認められず (table 1)、実験条件と被験者の交互作用の検定結果も  $\chi^2 = 17.637, df = 5, P < 0.005$  と有意差が認められ、個人差が指摘される。

今回用いた spindle の検出装置では、spindle を構成する一つひとつの波の周期と持続時間を計測しており、それを基に、検出された個々の spindle の周波数と持続時間を求め

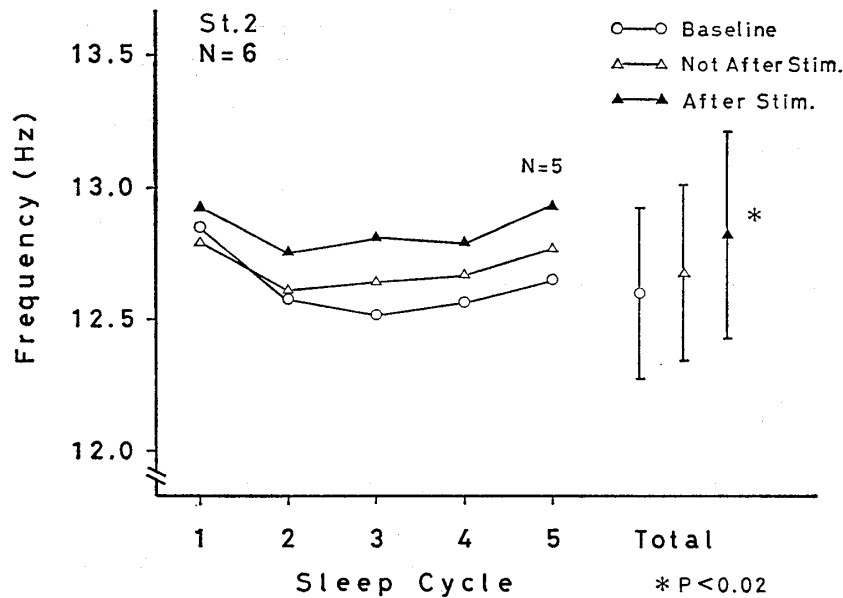


fig. 3 Mean frequency of detecteds spindles for each condition.

縦軸は、紡錘波検出装置によって測定された個々の spindle 周波数の平均値を示す。横軸は fig. 1 と同様に睡眠周期と一夜のトータルを示す。白丸で示すデータは、基準夜に出現した全 spindle の平均周波数である。三角で示すデータは音刺激提示を行った実験夜の spindle の平均周波数になる。そのうち黒三角で示す値は、実験夜のうち刺激後2.5秒以内に出現した spindle の周波数であり、白三角はそれ以外の実験夜に検出された spindle の周波数を示す。

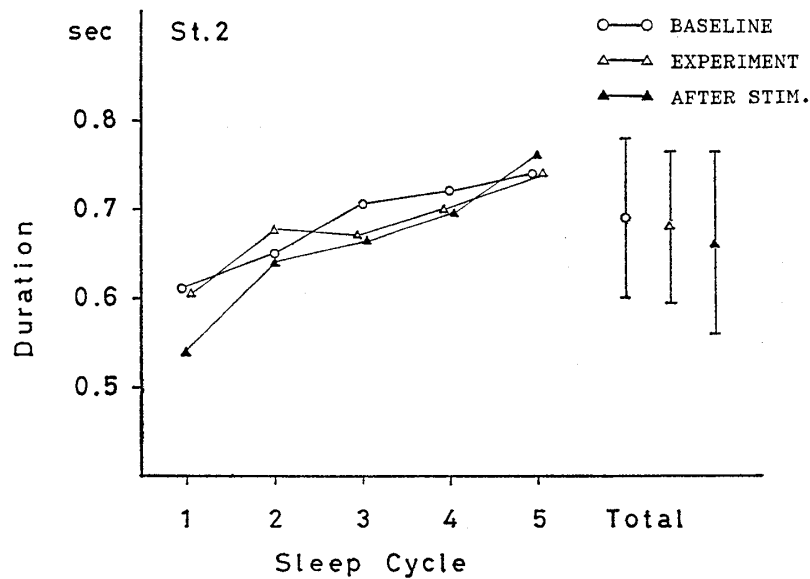


fig. 4 Mean duration of detected spindles for each condition.

縦軸が紡錘波検出装置によって測定された個々の spindle の持続時間の平均値を示す以外は Fig. 3 と同様である。各睡眠周期と、一夜のトータル平均持続時間を基準夜と実験夜でそれぞれに求めた。実験夜のデータは刺激後の spindle とそれ以外の spindle でそれぞれに持続時間を求めた。

ることが可能である。fig. 3, fig. 4 は各被験者の周波数, 持続時間を fig. 1 と同様に睡眠周期ごとに平均して一夜の経過をみたものである。

fig. 3 に示される平均周波数では, 基準夜, 実験夜とも第 1 周期がやや速い周波数を示すものの, 一夜を通じてほぼ一定の値を示している。ただし, どの被験者においても実験夜の spindle の周波数が基準夜の spindle より速い周波数を示し, 実験夜の spindle のなかでも特に音刺激後に出現する spindle の周波数が速くなる傾向を示した。実験夜に出

table 2. Mean frequency of spindles after/not-after stimulus in St.2

sub.	Baseline Night		Experimental Night				P
	Ave.	SD	NA	A	t	df	
1	12.59	0.48	12.70	12.79	2.371	2139	<0.02 *
2	12.42	0.48	12.58	12.83	6.456	2547	<0.001 **
3	12.76	0.58	12.76	12.90	1.910	787	<0.06 †
4	12.99	0.54	13.20	13.42	4.384	1480	<0.001 **
5	11.99	0.47	12.07	12.08	0.216	2270	>0.80
6	12.82	0.52	12.78	12.88	1.918	1360	<0.06 †

NA: not after stimulus

A: after stimulus

\*\*P<0.01

\*P<0.05

†P<0.10

table 3. Mean duration of spindles after/not-after stimulus in St.2

sub.	Baseline Night	NA	A	Experimental t	Night df	P	
1	Ave. 0.778	0.761	0.789	0.907	2139	>0.36	
	SD 0.413	0.390	0.355				
2	Ave. 0.762	0.761	0.672	2.779	2547	<0.01	**
	SD 0.417	0.425	0.287				
3	Ave. 0.572	0.562	0.541	0.646	787	>0.51	
	SD 0.268	0.262	0.216				
4	Ave. 0.666	0.662	0.596	2.305	1480	<0.03	*
	SD 0.347	0.347	0.237				
5	Ave. 0.778	0.781	0.804	0.570	2270	>0.56	
	SD 0.447	0.455	0.430				
6	Ave. 0.581	0.590	0.575	0.534	1360	>0.59	
	SD 0.276	0.273	0.275				

NA : not after stimulus  
A : after stimulus

\*\*P<0.01  
\*P<0.05

現した spindle を音刺激後2.5秒以内に出現したものとそれ以外の spindle に分け、各被験者ごとに t-test による平均周波数の差の検定を行ったところ一例を除いて統計的にも有意差あるいは有意な傾向が認められた (table 2)。有意差が認められなかった被験者は、table 1 によれば、音刺激後に spindle の出現率が有意に高くならなかった被験者であることがわかる。

一方、持続時間は条件による系統的な差は認められず (table 3)、刺激後の spindle とそれ以外の spindle を区別するものは見られなかった。ただし fig.4 に示されるように、睡眠の経過により持続時間が漸増する傾向が、基準夜、実験夜の条件を問わずに認められた。

## 考 察

今回の実験は、睡眠脳波に特有に出現する睡眠紡錘波と呼ばれる 12~14Hz 近辺の周波数を持つ律動波形に注目し、音刺激を提示した直後にその出現率が高くなることを示すものであった。従来、spindle と外部刺激との関わりでは、刺激による誘発はみられないとする報告があるのみである<sup>21),22)</sup>。今回も、1分当たりの spindle 数を見た場合には、刺激提示の無かった基準夜との違いは認められていない。しかし、刺激潜時を 2.5 秒まで延長した場合、実際に刺激のあった実験夜で刺激後の spindle の出現率が多くなる結果を得た。これは一次的な誘発反応とは言えないものの、外部刺激と関連して spindle が出現する可能性を示している。しかも、刺激後に出現する spindle の周波数はそれ以外のものに比べて速い周波数を示すことから、刺激後に特有の出現機序が示唆される。ただし、spindle 総数は変化しないことから、刺激によって spindle 出現の配置に変化が生じると言うこともできるであろう。

睡眠脳波に見られる誘発反応としては、K-complex が古くから知られている。従来の

研究では、自律系の反応を伴い<sup>12)・14)</sup>、有意な刺激により誘発され<sup>18)・19)</sup>、体動やポリグラフ記録上の一過性の覚醒との関連が認められることなどから<sup>10)・11)・15)~17)</sup>、一般に覚醒反応、あるいは知覚反応の一種と考えられている。K-complex の出現後に刺激提示を行うと、被験者が応答できるとする報告もある<sup>13)</sup>。ただしこれらの研究では K-complex の徐波成分に主に注目したものであり、spindle 成分の記述がある場合でも定量的な分析はされていない。Rechtschaffen & Kales (1968)<sup>20)</sup> による睡眠脳波の判定基準によれば、K-complex は「はっきりと見分けられる陰性鋭波で、すぐ後に陽性成分がつづく脳波パターン。持続は0.5秒以上なければならない。12~14Hz 波が K-complex の一部に含まれていることもあるし、含まれていないこともある。」と定義され、ここでも spindle 成分の記述はあるものの必ずしも必要条件とはなっていない。

Ehrhart et al. (1981)<sup>15)</sup> は、ポリグラフ記録上の覚醒に注目し、その直前に自発性の K-complex の出現率が高まることを報告した。またその際の K-complex には、spindle を伴わないタイプの出現が多かった。この場合、K-complex の徐波成分には覚醒反動的な性格が考えられ、spindle には睡眠の進行を維持する性格が考えられた。ただしこれは自発性の現象の対応関係をみたものであり、覚醒のために spindle が出現していないのか、spindle が出現しなかったことから覚醒に至ったのかについて結論づける事はできない。しかし、今回の実験で刺激に対応して spindle が出現する可能性が示されたことから、単に睡眠状態であれば spindle 帯域の脳波リズムが形成されやすいのだと考える以上に、K-complex の徐波成分と同様に spindle の出現そのものが外部の環境変化に対応しており、睡眠の進行に積極的に関与している可能性が示唆されるだろう。

頭皮上で観察される脳波リズムの形成場所としては、ネコのバルビツレート系の麻酔下で出現する spindle による研究から、視床が有力視されている<sup>23)~25)</sup>。主に  $\alpha$  波の出現メカニズムのモデルと考えられており、ヒトにおいても外科手術中に視床と頭皮上の  $\alpha$  波の対応を見た報告がある<sup>26)</sup>。その他の spindle 帯域の脳波リズムとして、意図的に運動を抑制するとき感覚・運動野近辺の皮質脳波に Sensory Motor Rhythm (SMR) が出現することがネコを用いた実験で観察されており<sup>27)・28)</sup>、この発生に関しても視床の関与が考えられている<sup>29)</sup>。この SMR の条件付けを行うと夜間の spindle の出現も増加することから、両者には共通する神経メカニズムを有することが示唆されている<sup>30)</sup>。Sermanらはこのリズムが運動の抑制に関連することに注目し、この帯域の周波数の脳波をフィードバック訓練することで、ヒトのてんかん発作の治療への応用を試みている<sup>31)~33)</sup>。

一方、最近の研究では spindle とてんかんの発作波の関連を指摘したものがある。ペニンシリンを筋注して皮質の興奮性を上昇させると、視床の電気刺激による頭皮上の spindle が、しだいにてんかん発作時の波形に移行するという<sup>34)・35)</sup>。また、視床に線維連絡のある基底前脳を破壊した場合は、spindle が出現しなくなり<sup>36)</sup>、睡眠が妨げられ、同時にてんかん発作の閾値が上昇している<sup>37)~38)</sup>。ヒトの臨床脳波では、睡眠中発作波が認められる者には spindle の変形も多く認められることから、両者の出現に共通する機序の存在を示唆する報告もある<sup>39)</sup>。同じ視床を起源とした皮質上の律動波であっても、SMR に基づいた研究結果とは正反対の性格が示唆されるといえよう。Feeney ら(1988)<sup>38)</sup> は、定量的に分析したわけではないが、こうした違いが spindle 周波数の定義の違いによるのではないかと考えた。今回の実験結果も条件差が spindle 周波数に反映されており、周波数の情

報が spindle 出現時の生体の機能や状態を考えるうえで重要な意味を持つことが示唆される。

最近、ヒトの深部電極を用いた記録で視床と皮質上の spindle に対応が見られない例の報告<sup>40)</sup>があるほか、視床以外に前頭葉の深部（眼窩皮質）や海馬にも spindle の出現することが知られるようになり、spindle 様を呈する脳波リズムは、脳内のさまざまな部位でさまざまな意識水準で出現することが指摘されている<sup>41)</sup>。臨床脳波では古くより、中心部優位に出現する spindle は 14Hz 中心の周波数を持ち、前頭部優位の spindle は 12Hz 中心の周波数であることが指摘されているが<sup>42)</sup>、自動分析装置による終夜睡眠記録による結果ではそのような差を認めない報告もある<sup>4)</sup>。spindle 帯域の波形全体を平均値としてみた場合に、特定の周波数のピークを求めることが困難であることが示されよう。しかし今回のように音刺激後に限定すると、同一部位から記録されるものであっても周波数の異なる spindle が出現しており、一夜に出現する spindle には、それぞれの条件に応じて異なる発生機序をもつものが混在している可能性が示唆される。今後 spindle については、単一の現象として取り扱うよりは、周波数の違いに注目し、多部位の記録による頭皮上の分布などから多角的に検討する必要があるだろう。

一方、持続時間に関しては今回の実験では条件差を認めなかった。刺激後に出現するものも、そうでない spindle も、睡眠周期が進むにつれて持続時間が延長する傾向が認められた。また1分あたりの出現数についても同様で、第1周期で少なく明け方に多く出現する傾向を示した。一般に明け方になるに従い徐波睡眠の出現量は減少し、REM 睡眠は増加する。spindle に関する持続時間や出現数といった情報は、刺激に対応する phasic な情報を反映するというよりは、徐波睡眠量や REM 睡眠量、体温リズムといった睡眠構造の影響を受ける可能性が考えられよう。最近、睡眠段階による睡眠図から、spindle の出現数と徐波睡眠で睡眠図を再構成する試みも見られるようになっている<sup>17), 43)</sup>。

また、今回の実験で刺激に対して有意に spindle の出現率が上昇しなかった被験者では周波数にも有意な変化が認められなかった。これは、その被験者の刺激に対する spindle の出現閾値が高かったためと考えられる。spindle の出現数そのものも個人差の大きい現象であるが、こうした個人差が睡眠内容とどのように関係してくるかは、今後例数を増やして検討する必要があるだろう。

## Reference

- 1) Gibbs, E. L. and Gibbs, F. A., *Extreme spindle: Correlation of EEG sleep pattern with mental retardation*. Science, 138: 1106-1107, 1962.
- 2) 清水健太郎, 脳波と臨床, 臨床電気生理学, 清水・藤森(編), 医学書院, 東京, pp.115-139, 1955.
- 3) 内海庄三郎・京井喜久男・宮本誠司・三宅康三, 睡眠紡錘波の類型, 臨床脳波, 19: 498-505, 1977.
- 4) Gondeck, A. R. and Smith, J. R., *Dynamics of human sleep sigma spindles*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 37: 293-297, 1974.
- 5) Smith, J. R., Funke, W. F., Yeo, W. C., and Ambuehl, R. A., *Detection of human sleep EEG waveforms*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 38: 435-437, 1975.
- 6) Silverstein, L. D. and Levy, C. M., *The stability of the sigma sleep spindle*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 40: 666-670, 1976.



- 7) 阿住一雄・白川修一郎, 正常成人における睡眠紡錘波出現の周期性, 臨床脳波, 19: 506-514, 1977.
- 8) 太田龍朗・寺島正義・石井直宏・上田賀一・石井豊子・岩田宗久・岡田 保, 終夜睡眠脳波における睡眠紡錘波の特徴抽出, 臨床脳波, 28: 527-533, 1986.
- 9) 宮内 哲・多喜乃亮介, 紡錘波自動分析装置(ASPA)の製作と評価, 生理心理学と精神生理学, 2: 33-39, 1984.
- 10) Davis, H., Davis, P. A., Loomis, A. L., Havey, E. N., and Hobart, G., *Electrical reactions of the human brain to auditory stimulation during sleep*. J. Neurophysiol., 2: 500-514, 1939.
- 11) Roth, M., Shaw, J., and Green, J., *The form, voltage distribution and physiological significance of the K-complex*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 8: 385-402, 1956.
- 12) Ackner, B. and Pampiglione, G., *Some relationship between peripheral vasomotor and EEG changes*. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 20: 58-61, 1957.
- 13) Vetter, K. V. and Boker, W., *Zur function des K-complexes im<sup>2</sup>schlaf elektroencephalogram*. Nervenarzt, 33: 390-394, 1962.
- 14) Johnson, L. C. and Karpan, W. E., *Autonomic correlates of the spontaneous K-complex*. Psychophysiol., 4: 444-452, 1968.
- 15) Sassin, J. F. and Johnson, L. C., *Body motility during sleep and its relation to the K-complex*. Exp. Neurol., 22: 133-144, 1968.
- 16) Ehrhart, J., Ehrhart, A., Schieber, J. P., and Naitoh, P., *K-complexes and sleep spindles before transient activation during sleep*. Sleep, 4: 400-407, 1981.
- 17) Naitoh, P., Antony-Baas, V., Muzet, A., and Ehrhart, J., *Dynamic relation of sleep spindles and K-complexes to spontaneous phasic arousal in sleeping human subjects*. Sleep, 5: 58-72, 1982.
- 18) Oswald, I., Taylor, A. M., and Treisman, M., *Discriminative responses to stimulation during human sleep*. Brain, 83: 440-453, 1960.
- 19) Mc Donald, D. G., Schicht, W. W., Frazie, R. E., Shallenberger, H. D., and Edwards, D. J., *Studies of information processing in sleep*. Psychophysiol., 12: 624-629, 1975.
- 20) Rechtschaffen, A. and Kales, A. (Eds.), *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1968.
- 21) Johnson, L. C., Hanson, K., and Bickford, R. G., *Effect of flurazepam on sleep spindles and K-complexes*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 40: 67-77, 1976.
- 22) Church, M. W., Johnson, L. C., and Seales, D. M., *Evoked K-complexes and cardiovascular responses to spindle-synchronous and spindle-asynchronous stimulus clicks during NREM sleep*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 45: 443-453, 1978.
- 23) Andersen, P. and Eccles, J. C., *Inhibitory phasing of neuronal discharge*. Nature, 196: 645-647, 1962.
- 24) Andersen, P. and Sears, T. A., *The role of inhibition in the phasing of spontaneous thalamo-cortical discharge*. J. Physiol., 173: 459-480, 1964.
- 25) Andersen, P., Andersson, S. A., and Lømo, T., *Some factors involved in the thalamic control of spontaneous barbiturate spindles*. J. Physiol., 192: 257-281, 1967.
- 26) 三村恭永・谷川雇洋・別宮博一・松本圭蔵, 視床と頭皮上脳波における $\alpha$  rhythmの相関, 臨床脳波, 16: 417-426, 1974.
- 27) Roth, S. R., Sterman, M. B., and Clemente, C. D., *Comparison of EEG correlates of reinforcement, internal inhibition, and sleep*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 23: 509-520, 1967.
- 28) Wyrwicka, W. and Sterman, M. B., *Instrumental conditioning of sensorimotor cortex EEG spindles in the waking cat*. Physiol. Behav., 3: 703-707, 1968.
- 29) Howe, R. C. and Sterman, M. B., *Cortical-subcortical EEG correlates of suppressed motor behavior during sleep and waking in the cat*. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 32: 681-695, 1972.
- 30) Sterman, M. B., Howe, R., and MacDonald, L. R., *Facilitation of spindle-burst sleep*

- by conditioning of EEG activity while awake.* Science, 167 : 1146-1148, 1970.
- 31) Serman, M.B. and Friar, L., *Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feed-back training.* Electroenceph. clin. Neurophysiol., 33 : 89-95, 1972.
  - 32) Serman, M.B., MacDonald, and Stone, R.K., *Biofeedback training of the sensorimotor electroencephalogram rhythm in man : Effects on epilepsy.* Epilepsia, 15 : 395-416, 1974.
  - 33) Serman, M.B. and Shouse, M.N., *Quantitative analysis of training, sleep EEG and clinical response to EEG operant conditioning in epileptics.* Electroenceph. clin. Neurophysiol., 49 : 558-576, 1980.
  - 34) Kostopoulos, G., Gloor, P., Pellegrini, A., and Siatitsas, I., *A study of the transition from spindles to spike and wave discharge in feline generalized penicillin epilepsy : EEG features.* Exp. Neurol., 73 : 43-54, 1981.
  - 35) Gloor, P., *Mechanism of generalized spike and wave discharge.* 脳波と筋電図, 13 : 109-123, 1985.
  - 36) McGinty, D. and Szymusiak, R., *The basal fore brain and slow wave sleep : Mechanistic and functional aspects.* In : Slow Wave Sleep : Physiological, Pathophysiological and Functional Aspects. Wauquier, A., Dugovic, C., and Radulovacki, M. (Eds.), Raven Press, New York, pp. 61-73, 1989.
  - 37) Feeney, D.M., Gullotta, F.P., and Pittman, J.C., *Slow-wave sleep and epilepsy : Rostrol thalamus and basal forebrain lesions suppress spindles and seizures.* Exp. Neurol., 56 : 212-226, 1977
  - 38) Feeney, D.M., *Forebrain lesions produce sensory neglect and suppress spindles and seizures.* In : Neurophysiology and Psychophysiology : Experimental and Clinical Applications. Galbraith, G.C., Kietzman, M.L., and Donchin, E. (Eds.), Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, pp. 44-52, 1988.
  - 39) 坂本秀実・井上 健・勝田洋一・篠崎和宏・志水 彰, 睡眠紡錘波とてんかん性異常波の関連, 脳波と筋電図, 17 : 10-19, 1989.
  - 40) Gücer, G., Niedermeyer, E., and Long, D.M., *Thalamic EEG recording in patients with chronic pain.* J. Neurol. (Berlin), 219 : 47-61, 1978.
  - 41) Jankel, W.R. and Niedermeyer, E., *Sleep spindles.* J. Clinical Neurophysiol., 2 : 1-35, 1985.
  - 42) Gibbs, F.A. and Gibbs, E.L., *Atlas of electroencephalography.* Addison-Wesley Press, Massachusetts, pp. 90-96, 1950.
  - 43) 阿住一雄・白川修一郎, 紡錘波・デルタ波睡眠図の開発, 臨康脳波, 29 : 775-781, 1987.

たきの りょうすけ (心理学)

みやうち さとる (心理学)

## Summary

Sleep spindles during sleep stage 2 were measured using the automatic spindle analyzer to examine the effect of the tone stimulus on the appearance of spindle waves. All-night polygraphic sleep recordings were made on six normal human male subjects for four consecutive nights. The fourth night was used as the experimental night, and tone stimuli (62.5 dB(A), 50 msec, 500/1,000Hz) were presented over the night at 30~40 sec ISI. The third night was used as the baseline night, and the tone stimulus was not presented, but only the stimulus marks were recorded on the chart and used as the pseudo-stimulus.

There were no significant differences in spindle rate per minute among the baseline night and the experimental night. However, the spindle appearance rate within 2.5 sec after the tone stimulus was significantly elevated in the experimental night compared to the baseline night. And the frequency of spindle waves detected after the tone stimulus was faster than the other spindles. There were no significant differences in the spindle duration.

The relation between the spindle and the K-complex, and the possible function of the spindle appearance in the sleep process were discussed. And some kinds of spindles and/or spindle-wave-like activities were compared and the importance of measuring the frequency of spindle waves was discussed for the study of the sleep spindle activity.