

言語学習におよぼす睡眠中の刺激提示の効果

The Effects of Hearing Verbal Stimuli Presented during Sleep on the Verbal Learning

松 田 伯 彦

Michihiko Matsuda

脳波研究の分野の1つに、睡眠中の感覚、夢、ねごとなどの諸行動や睡眠中の学習等の研究がある。最近、眠っている間も活動している脳を利用して学習をおこなおうとする睡眠学習に、特に外国語学習の面から、関心が向けられている。Aarons (1976) は Sleep-Assisted Instruction (SAI, 睡眠学習) のテーマで、この領域の論文をレビューし、睡眠学習はソ連の研究では肯定的な結果を、他方、欧米の研究では否定的結果を示しているとまとめている。しかし、睡眠学習については、経験的、主観的に学習効果を認めたものはあるが、その心理・生理学的研究は十分なされていない。Simon & Emmons (1955) が述べているように、これまでの諸研究はその方法論が誤っているため信頼できず、とくに睡眠中に学習すべき資料を提示している時、はたして睡眠が続いているかどうかを絶えず監視していない点が問題であろう。そこで、かれら (Emmons & Simon, 1956) は、脳波を用いて睡眠の継続的監視を行なう一方、10個の一音節名詞を用いて実験を行なっているが、睡眠中に学習は行なわれないと述べている。また Simon & Emmons (1956a, b) は、睡眠の深度が深まるにつれて被験者が答をきいたことを知らせるために声を出す頻度が漸次低下し、さらに脳の覚醒度がだんだん低下するにつれて、再生テストおよび再認テストによって示される記憶、あるいは学習の量もまた減っていくことを明らかにした。しかし、Granda & Hammack (1961) は、回避反応が脳の覚醒水準によって変らないことを見出している。谷 (1967) が脳波モニター法を用い、5対の有意味語の無関係語を学習材料として行なった睡眠学習の結果によると、入眠期でも学習効果が明らかに認められるが、浅睡眠期に学習材料の提示によって脳波が賦活された場合が最も良好で、深睡眠から賦活の認められない場合の学習効果は認められないが“あいまい”な効果は否定されないとしている。また、谷 (1969) は睡眠脳波と言語学習効果との関連の実験から、睡眠中の学習においては学習材料の提示中に α 波が出現することが学習成立の必須条件ではなかったと報告している。

以上のように Emmons & Simon (1956) や谷 (1967, 1969) の研究は、睡眠中の学習材料の提示後に、再認テストで“睡眠学習”の効果を測定している。しかしながら、最近の記憶に関する仮説や研究 (Hebb, 1945 ; 本川, 1964 ; Kandel & Tauc, 1965 ; 久保田, 1966) から、睡眠中における学習材料の提示効果がその後の学習を促進するのではなかろうかとも考えられる。このような観点から考えると、睡眠中の学習材料の提示後、学習をおこなわせ検討する必要がある。そこで、本研究では、言語学習において睡眠中に言語刺激を与えた場合、それが後の学習にどのような効果をおよぼすかを検討することを目的とする。その際、睡眠と覚醒を区別するために睡眠の客観的示標である脳波を観察しながら実験を行なう。

方 法

被験者 大学生48名（男子26名，女子22名，年令19才～24才）を WAIS の数唱問題の順唱・逆唱の結果によって，ほぼ等質に実験群と統制群の2つに分けた。（平均得点は実験群12.41（SD 1.80）統制群12.51（SD 2.61）で，その差はもちろん有意でない（ $t=0.26$ ， $p>.10$ ）。

手続き

実験群 実験群の被験者は夜間できるだけ正常な睡眠がとれるように脳波計室のベッドに横たえられた。そして睡眠脳波をとりたいのでそのまま自然に眠ればよいとだけ教示された。そしてその間実験中の睡眠深度をモニターする脳波，眼球運動，およびマイクロバイブレーションが1分おきに0.5cm/sec，1.5cm/secで連続的に測定された。脳波導出のための電極は円盤電極を用い，電極用ペーストではりつけ，さらに睡眠中のずれを防ぐためにセロイジンで各部に固定した。電極は合計9本，まず耳朵を不関電極として左右2本（RE，LE），頭頂部左右2本（LP，RP），後頭部左右2本（LO，RO），眼球運動を測定するために左眼裂外側部（LAT），及び左眉の上（LF）各1本，そしてマイクロバイブレーションは左手のひらの親指のつけ根から少し下の位置に付置した電極（MV）より誘導した。

さて脳波を記録することにより被験者の意識段階をチェックしていき，睡眠状態に入ったことを確認した段階でベッドのわきにかくしおかれたテープレコーダーにより被験者に学習材料を提示した。使用した学習材料は無連想価60～64（梅本・森川・伊吹，1955）の無意味綴のうちから音声にした場合聞きとりにくいもの10個がえらばれた。それはケネ，ラエ，レク，ツソ，ヌハ，ムユ，ロヘ，スセ，ワノ，ルアで，この一列は約20秒かかる。この系列が10回くりかえして睡眠中の被験者に提示された。音の大きさは被験者にはっきりと聞こえて，しかも眠りをかき乱さない程度にした（約50ホオン）。学習材料の刺激提示を終了した後は30分間そのままの状態におき，引き続き脳波の記録観察をした。30分経過後は脳波記録を終了し被験者を覚醒させた。できるだけ正常の意識状態に引きもどした後，学習を行なった。無意味綴の学習を行なうに際しての教示は次のとおりである。教示：「このテープの中には二つの文字から成る意味のないことば，たとえば“エヒ”といったようなものがいくつか録音してあります。それをこれから聞かせますからよく聞いて覚えて下さい。そしてテープを止めたら覚えた言葉を順序に従って再生して下さい。どうしても思い出せない言葉はとばしてもよいです。全部の無意味綴が順序に従って言えるまで何回でもくり返してテープを聞かせます。再生は毎回，始めから，前に言った言葉も含めて再生して下さい。」以上のような教示を与えた後，睡眠中に与えたものと同じ学習材料で実験を行なった。2試行連続して正しく正しい順序で再生できたときをもって学習が成立したとみなし実験を終了した。

統制群 統制群の被験者は，睡眠をとることなく，昼間，実験群に行なった学習材料と同じもので，無意味綴の学習を行なった。手続き，および教示は実験群と同じである。

結 果

まず実験群の睡眠中における学習材料の提示についてみる。学習材料の提示は，被験者の睡眠状態を脳波により確認してから行なったので，刺激提示前の意識水準はほぼ統制されており，すべての被験者において中等睡眠期あるいは深睡眠状態にあると考えられる。しかし学習材料提示とともにほとんどの被験者において脳波には変化が認められた。これらの脳波像の変化は次のように三つに分けることができよう。

最も多く認められたのは、刺激提示と同時に入眠期にみられる低電圧の脳波に変化した場合 (Fig. 1) で被験者の半数 (12名) がこれに属す。Fig. 1にみられるような脳波像を呈している。脳波図の一番下にみられる矢印が刺激提示開始を示している。これらの脳波像からもわかるように指標中央の刺激開始と同時にあるいは数秒後には脳波が変化している様子が認められる。この被験者の脳波はその後もし同じように軽睡眠の状態を続け刺激後半になり電圧はやや高くなっているがそれ程大きな変化は認められない。

次に刺激提示により脳波が睡眠波から α 波に変化した場合が認められる。これは10名の被験者において認められたが α 波の出現は一定ではなく連続して現われる場合と低電圧の入眠波とのくり返しで出現する場合とがある。

Fig. 2は、刺激提示前の脳波は中等睡眠期の脳波像を呈しているが刺激開始と同時に明らかな α 波の出現が認められた例である。この例ではこの状態は刺激終了まで続きその後もひ

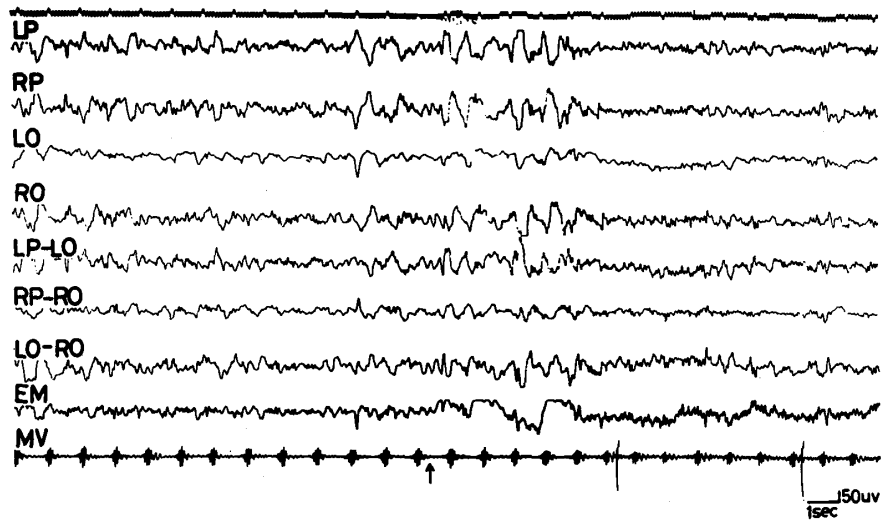


Fig. 1. A typical example, in which EEG changed into low voltage of the light sleep state after the presentation of the materials.
↑: The moment of the presentation of the materials.

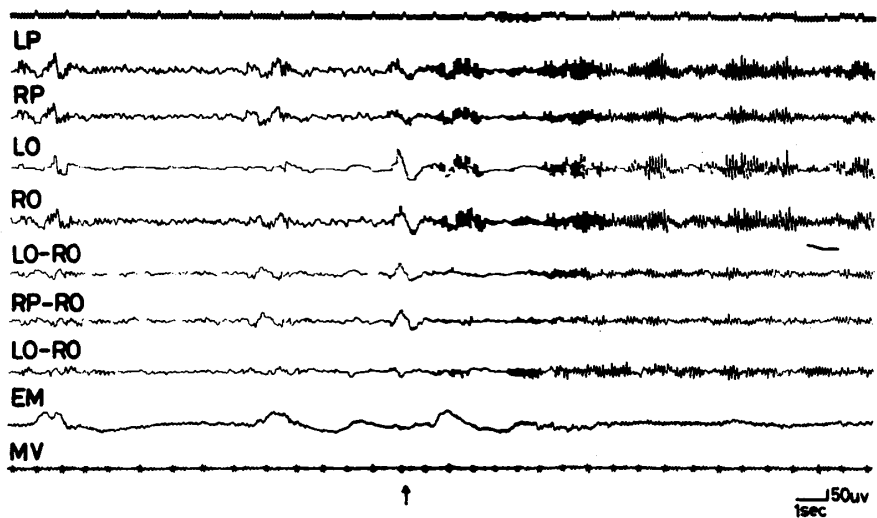


Fig. 2. A typical example, in which α wave appeared after the presentation of the materials.

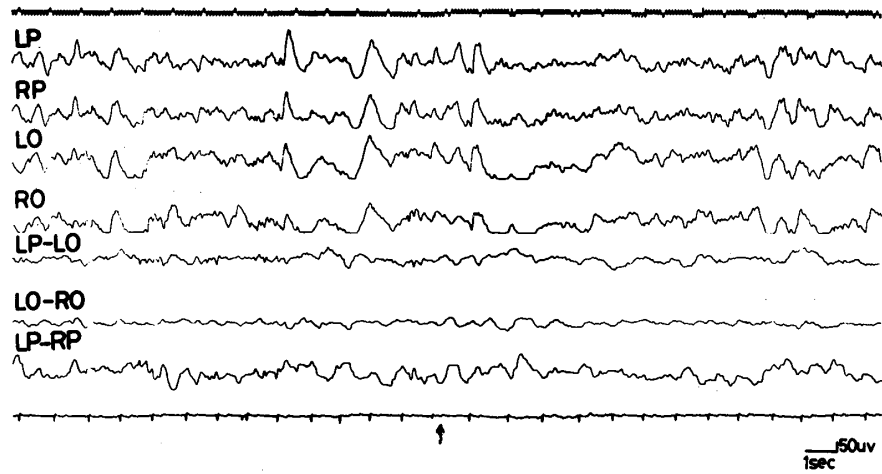


Fig. 3. A typical example, in which EEG changed little after the presentation of the materials.

き続き同じような様子を示している。

最後に Fig. 3 にみられるように刺激提示後しばらくの間脳波の変化が認められない場合で 2 名の被験者がこれに属した。しかし彼らにおいても前半は変化が認められなかったものの刺激提示後半になって α 波と軽睡眠波が交互して出現しその後も同じような状態を続けている。

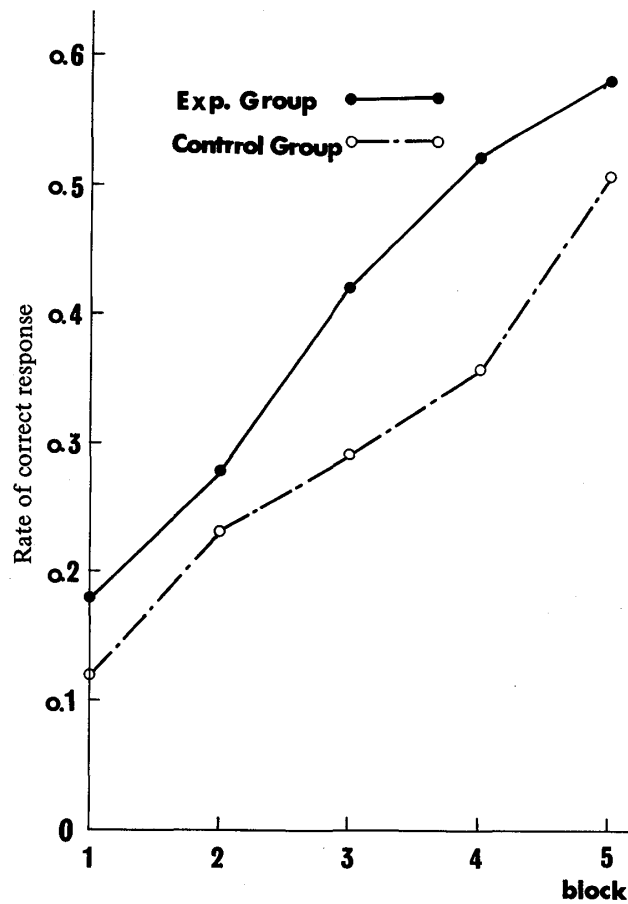


Fig. 4. Rates of correct responses in the correct order.

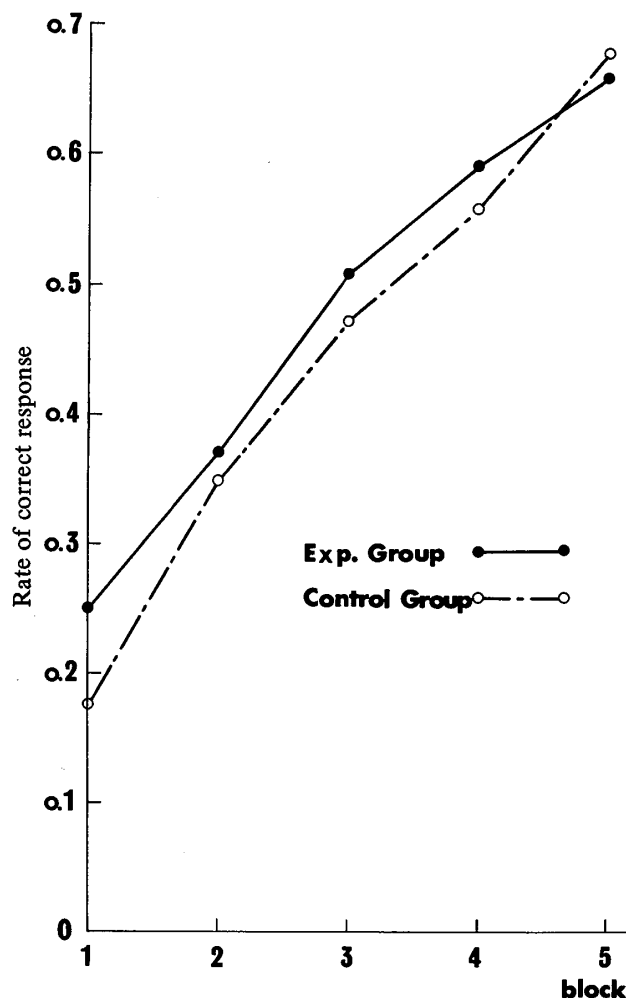


Fig. 5. Rates of correct responses regardless of the order.

睡眠中に学習材料を提示すると上述のような脳波の変化がみられた。また睡眠から覚醒させ、学習させる直前に“眠れたかどうか”、“夢をみなかったか”、“その他何か聞いたりしたことは?”等の内省を求めたところ、睡眠脳波が刺激提示後に α 波に変化した者と入眠期と α 波が交互に出現した者14名が“なにかが聞えた”とか“なにか聞えたような気がする”とか報告した。そこで統制群、実験群のうち内省がなかった者と実験群のうち内省があった者の3群の習得水準に達するまでの平均試行数を比較すると、各々15.1, 14.9, 13.1となり、3群間に有意差はない ($F=0.68$, $df=45$)。

習得水準に達するまでの試行数を実験群と統制群についてみると、実験群の平均試行数は13.9, 統制群のそれは15.1で、両群間に有意差はみられない ($t=0.89$, $df=46$)。

2 試行を1ブロックとし、5ブロック間の正反応率を実験群と統制群について比較するとFig. 4とFig. 5のようになる。Fig. 4は再生の順序が正しくかつ綴も正しい時を正反応とした場合であり、Fig. 5は再生の順序にかかわらず再生された綴が正しければ正反応とした場合である。分散分析の結果は、Fig. 4とFig. 5に対応して、Table 1とTable 2である。これからわかるように、順序の正しい再生を正反応とした場合においてのみ、実験群の方が正反応率が高い傾向がみられる。

最後に、正しい順序での正反応率と順序に関係しない正反応率の差をみてみると、実験群

TABLE 1 Analysis of variance based on Fig. 4.

Source	df	SS	MS	F
Between-Subjects	47	8.306		
B (Sleeping)	1	0.556	0.556	3.30*
error (b)	46	7.750	0.168	
Within-Subjects	192	8.956		
A (Block)	4	4.587	1.1468	49.61**
AB	4	0.115	0.0288	1.24
error (w)	184	4.254	0.0231	
Total	238	17.262		

* $p < .10$, ** $p < .05$

TABLE 2 Analysis of variance based on Fig. 5.

Source	df	SS	MS	F
Between-Subjects	47	6.106		
B (Sleeping)	1	0.039	0.039	—
error (b)	46	6.067	0.132	
Within-Subjects	192	9.023		
A (Block)	4	6.086	1.5214	96.55**
AB	4	0.038	0.0095	—
error (w)	184	2.899	0.0158	
Total	238	15.129		

** $p < .05$

では、その差は第1ブロックから第5ブロックまで順に0.07, 0.09, 0.09, 0.07, 0.08とほぼ一定であるのに対して、統制群では、その差が第1ブロックから第5ブロックにかけて、0.06, 0.12, 0.19, 0.20, 0.17と増加の傾向がみられる。

考 察

まず、結果をまとめてみる。実験群の中等睡眠期あるいは深睡眠期に学習材料を提示すると、脳波に浅睡眠波あるいは α 波があらわれた。 α 波がみられた者は睡眠中に何か聞えたとの内省があった。しかし、この内省の有・無の2つの群および統制群の3群間に習得水準に達するまでの試行数に差はみられなかった。また、実験群と統制群の習得水準に達するまでの試行数に差はみられなかったが順序の正しい再生の正反応率において実験群が高い傾向がみられた。正しい順序での正反応率と順序に関係しない正反応率の差は、習得が進んでも実験群ではほぼ一定であるが、統制群は増加する傾向がみられた。

Hebb(1949)は、記憶の基礎過程として次のような仮説を述べている。“細胞Aの軸索が細胞Bに興奮を解発するほど十分に接近しており、反復的にあるいは持続的に細胞Bに発射活動を起こさせること(firing)にあずかると、ある成長過程、つまり物質代謝の変化が一方または双方の細胞に起こって細胞Bに発射活動を解発するいくつかの細胞の一つとしての細胞Aの効率が増大する”しかしながら、Hebbの仮説は生理学的、解剖学的裏付けに欠けている。しかし、次のような単純な生理学的例もある。すなわち、神経筋接合部に軽いクラレ麻

酔を施した状態では、神経に加えた単一刺激は筋の収縮をひきおこすことはできないが、神経をくりかえし強直的に刺激したあとでは単一刺激も有効となる(本川, 1964)。これは、先行するくり返し刺激によって、通過し難かった神経接合部が通りやすくなるという現象である。本研究の実験群が統制群より、順序の正しい再生の正反応率が高い傾向がみられるということも、上述のことで説明出来るのではなからうか。

また、睡眠中に綴を聞くことは、綴そのものの学習よりも、その順序の学習に役立っていることが本実験の正しい順序の再生率と順序に関係しない再生率の差の結果から示唆されよう。したがって、たとえば外国語学習において、その言語の特徴(たとえば、リズム)を学習するのに有利に働くかも知れない。

Simon & Emmons (1955) は、それまでの報告を展望し、睡眠中に記憶材料を与えていられるけれども、それにより一時的な覚醒がおこり、その間に記銘される可能性を除外しえないことを指摘した。そして、彼ら (Simon & Emmons : 1956 a, b) は、脳波を用いて睡眠の深さを監視しつつ実験を行ない、刺激材料を与えた時、脳波上に覚醒パターンが見られない時は、その後に刺激材料が想起されることがないことを報告した。Koukkou & Lehman (1968) は、徐波睡眠中に音刺激を与え、この刺激の想起の可否をためすことにより、正しい想起が得られるためには、少なくとも25秒以上の α 波の誘発が必要であることを示した。また、Bruce, Evans, Fenwick, & Spencer (1970) も睡眠学習の可能性を否定している。わが国では、吉川(1959)、谷(1967, 1969)や志水・高橋・角辻・田中・吉田・金子(1971)らの研究がみられ、いずれも睡眠中の記憶には α 波の出現が必須条件である点で一致している。本研究の実験群の学習直前の内省において、無意味綴を記憶していた者は1名もみられなかった。しかし、その後の学習への効果は否定しきれない。このように、従来の研究はすべて睡眠中に提示された刺激材料そのものの覚醒時の記憶を問題にし、その効果に否定的であるけれども、たとえそのような直接的な睡眠学習がなくとも、覚醒時の再学習に潜在的な効果を持ちうるかも知れないということは十分に考えられる。この点について本実験は綴そのものでなく順序(リズム)を記憶しているのではないかとの示唆を与えたが、さらに実験をつみかさねる必要があろう。また、上述の従来の研究は、Koukkou & Lehman (1968) 以外すべて刺激材料が有意味である点で、本研究とは異っている。この点も検討を要するであろう。

さて、最後に問題点について考えよう。第1は統制群についてである。本研究では、統制群は昼間学習を行なったのであるが、厳密には実験群と同じように夜間睡眠をとらせてから学習を行わせるべきであろう。生活のリズム(Rohles, 1968, 桑原, 1969)から考えても、このことは重要な意味を持つ。第2に、学習材料の問題である。無意味綴は実験条件の統制が容易である反面、Berlyne (1965) がいうように、行動に有効な情報を収集するとともに、不適切な情報を拒否するということが睡眠中に生起していることも考えられるので、学習材料についてさらに考慮しなければならない。第3は睡眠深度の問題である。睡眠中の脳波を観察することによって刺激提示前の睡眠深度を統制することはかなりの程度可能であるが、刺激提示中の脳波は刺激提示ということが刺激となって、個人によって様々に変化し、統制することは困難である。また、Oswald (1962) が述べているように睡眠と覚醒の交替は短時間の間にも起りうるので一層複雑である。この問題を解決する1つの方法は、さらに多くの被験者を用い刺激提示中の睡眠深度、状態を分類段階づけした研究を行なうことであろう。Aarons (1976) が指摘しているように睡眠学習の重要な変数として、被験者の年齢、性、健康状態、覚醒中の学習能力、被暗示性などが挙げられよう。その他、学習材料の提示回数や

刺激強度も検討されねばならない問題である。

要 約

睡眠中における学習材料の提示がその後の学習にどのような影響を与えるかを検討する。被験者は男女大学生で実験群24名、統制群24名の計48名から成る。実験群は用意されたベッドで夜間睡眠をとらせ、脳波を観察しつつ睡眠を確認した段階であらかじめ録音されたテープを通じて学習材料を提示した。学習材料は無意味綴10個を用い、音声で10回連続提示した。刺激提示終了後、30分経過して覚醒の状態での学習を行なわせた。すなわち10個の無意味綴の音声による提示後ただちに再生させ、2試行つづけてすべての綴が正しい順序で再生される状態をもって習得水準とした。統制群は睡眠をとらせることなく、実験群と同じ学習材料を用いて同じ学習を行なわせた。

結果は次のようである。

1. 実験群のすべての被験者においては、刺激提示前には脳波からみて中等睡眠期あるいは深睡眠期であったが、刺激提示後脳波像は浅眠波あるいは α 波に変化した。そして、実験群を睡眠中になにか聞こえたかどうかの有無により2群に分け、統制群との3群について習得水準に達するまでの試行数を比較したが有意差はみられなかった。なお、実験群で覚醒後に睡眠中に何か聞こえたと報告した者は刺激提示後 α 波がみられたものであった。
 2. 習得水準に達するまでの試行数に関して実験群と統制群との間に差はみられなかった。
 3. 正反応率を実験群と統制群について比較したところ、順序の正しい再生を正反応とした場合に実験群の方が高い正反応率を示す傾向があった。
 4. 正しい順序での正反応率と順序に関係しない正反応率の差は、実験群においては学習過程に関係なく一定であるが、統制群では学習が進むにつれて増加の傾向がみられた。
- 以上の結果から、睡眠中に綴を聞くことは綴そのものの学習よりもその順序（たとえばリズム）の学習に役立っていることが示唆された。また、二、三の問題点を指摘した。

引 用 文 献

- Aarons L. 1976 Sleep-Assisted Instruction. *Psychol. Bull.*, 83, 1-40.
- Berlyne, D.E. 1965 Structure and direction in thinking. John Wiley & Sons, Inc. (橋本七重・小杉洋子訳 1970 思考の構造と方向 明治図書)
- Bruce, D. J., Evans, C. R., Fenwick, P. B. C. & Spencer, V. 1970 Effects of presenting novel verbal material during slow-wave sleep. *Nature*, 225, 874-875.
- Emmons, W. H. & Simon, C. W. 1956 The non-recall of material presented during sleep. *Amer. J. Psychol.*, 69, 76-81.
- Granda, A. M. & Hammack, G. T. 1961 Operant conditioning during sleep. *Science*, 133, 1485-1486.
- Hebb, D. O. 1945 The organization of behavior. John Wiley & Sons. (白井常訳 1955 行動の機構 岩波書店)
- Kandel, E. R. & Tauc, L. 1965 Mechanism of heterosynaptic facilitation in the giant cell of the abdominal ganglion of *Aplysia depilans*. *J. Physiol.*, 181, 28-47.
- Koukkou, M. & Lehmann, D. 1968 EEG and memory storage in sleep experiments with humans. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 25, 455-462.
- 久保田競 1966 ネウロンと記憶 神経進歩, 10, 601-605.
- 桑原万寿太郎 1969 Biological clock (体内時計). 医学の歩み編 生体の制御機構 医歯薬出版

322—325.

本川弘一 1964 大脳生理学 中山書店.

Oswald, I. 1962 *Sleeping and waking*. Elsevier Publishing Co. (平井富雄訳 1969 睡眠と覚醒 みすず書店).

Rohles, F. H. 1969 Circadian rhythms in nonhuman primates. *Biolothea Primatologia*, No. 9.

志水彰・高橋尚武・角辻豊・田中迪生・吉田功・金子仁郎 1971 睡眠中の記憶 神経進歩, 14, 705—710.

Simon, C. W. & Emmons, W. H. 1955 Learning during sleep? *Psychol. Bull.*, 52, 328-342.

Simon, C. W. & Emmons, W. H. 1956a Responses to material presented during various levels of sleep. *J. exp. Psychol.*, 51, 89-97.

Simon, C. W. & Emmons, W. H. 1956b EEG, consciousness, and sleep. *Science*, 124, 1066-1069.

谷嘉代子 1967 睡眠中の精神活動と脳波 臨床脳波, 9, 192—202.

谷嘉代子 1969 睡眠脳波と言語学習効果との関係について 臨床脳波, 11, 445—453.

梅本堯夫・森川弥寿雄・伊吹昌夫 1955 清音 2 音節の無連想価および有意味度 心研, 26, 148—155.

吉川侑男 1959 睡眠時の夢と記憶に関する脳波的研究 大阪大医誌, 11, 4329—4336.

ABSTRACT

The Effects of Verbal Stimuli Presented during Sleep on the Verbal Learning

by

Michihiko Matsuda

Chiba University

The purpose of the study was to examine the effect of hearing the learning materials during sleep on the verbal learning. Ss of the experimental group heard verbal materials which were sounded by a tape-recorder during sleep, state of which was monitored by EEG. The materials were 10 nonsense syllables. At 30 minutes after the presentation of the materials Ss were awaked and were asked to memorize the materials. The materials were presented repeatedly and Ss tried to recall them after each presentation, until Ss could reach the criterion of the learning which was set as all correct responses continuing for 2 trials. Procedures of the control group were the same as that of the experimental group except no sleep.

The results were as followings.

1. It was confirmed by EEG that Ss of the experimental group showed the middle sleep state or the deep sleep state before the presentation of the materials, and that the presentation of the materials changed their sleep state into the α wave or the light sleep state. In numbers of trials to reach the criterion, there was no significant difference among three groups, that is, the control group, some of the experimental group who reported having heard something during the sleep, and the others of the experimental group who reported having heard nothing during the sleep.

2. In numbers of trials to reach the criterion, there were no differences between the experimental group and the control group.

3. There was a tendency that the mean rate of correct responses in the correct order of the experimental group was higher than that of the control group. But there was no differences between the two groups in the mean rate of correct responses regardless of the order.

4. In the experimental group differences between the rate of correct responses in the correct order and that regardless of the order were almost constant through the learning process, but in the control group those increased with progress of the learning.

From these results, it seems that hearing of the verbal materials during sleep might have some effect on the learning of the order of materials (for example, rythms) rather than the learning of materials themselves.