

# 視覚-運動学習における睡眠の効果に関する精神生理学的研究

玉 置 應 子

広島大学大学院生物圏科学研究科，東広島市 739-8521

## Psychophysiological study of the function of sleep for visuomotor learning

Masako TAMAKI

*Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University,  
Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

**Key words:** 睡眠，手続き的記憶，運動技能，睡眠紡錘波，Fast Spindle, Slow Spindle

### 第1章 視覚-運動学習における睡眠の効果

近年，運動技能課題のトレーニング後に睡眠をとることで，パフォーマンスは飛躍的に向上することが示されており，睡眠における運動技能の促進的な効果が認められている．Walker (2005) は運動技能の習得過程について，獲得段階，構築段階に次ぐ，再構築段階を想定している．再構築段階では，睡眠中の脳状態に依存した神経回路の再統合が行われ，この段階を経ることで長期記憶は強化され，課題成績の向上として顕現化されると考えられている．近年，ノンレム睡眠段階2に特徴的に出現する脳波活動である睡眠紡錘波が記憶の再構築に重要であることが示唆されている (Gais et al., 2002)．本研究では，睡眠中の脳波を定性的，定量的に分析し，視覚-運動学習における睡眠の機能を精神生理学的に検討した．

### 第2章 視覚-運動学習における終夜睡眠の効果

第2章では，新しく獲得した技能と既に獲得し

ている技能の学習における終夜睡眠の効果を検討した．参加者は健康な大学生・大学院生の男女20名であった (平均年齢 $23.4 \pm 0.42$ 歳)．実験日には，学習セッションとテストセッションにおいて，右に90度回転させた図形 (回転図形) と正立図形を交互に呈示した．正立図形はあらかじめ練習していた．覚醒群は午前中に学習セッションを実施し，約7.5時間後の夕方にテストセッションを実施した．睡眠群は，就床前に学習セッションを実施し，約7.5時間の通常の睡眠期間をはさみ，起床後にテストセッションを実施した．その結果，回転図形の描写時間は，覚醒群では学習セッションからテストセッションにかけて明瞭な変化を示さなかったのに対し，睡眠群では学習セッションからテストセッションにかけて描写時間は顕著に短縮し，20.1%の向上が認められた．一方で正立図形を描写する課題の描写時間には，群の違いはみられなかった．このことから睡眠は，特に新しく獲得する難易度の高い視覚-運動技能の向上に効果のあることが示された．睡眠中には脳内で，手続き的記憶の再構築と定着が進行し，覚醒時に形成された視覚-運動協応がこの過程で強化されると考えられた．

### 第3章 睡眠紡錘波の活動性と手続き的記憶の再構築

第3章では、睡眠紡錘波をSlow SpindleとFast Spindleの2種類に分類し、それぞれの手続き的記憶の再構築との関連を検討した。また睡眠紡錘波の活動性を睡眠周期ごとに分析し、手続き的記憶の再構築に寄与する時期を検討した。参加者は健康な大学生・大学院生の男女12名であった（平均年齢 $22.3 \pm 0.50$ 歳）。就床前に新規な課題を行い（学習セッション）起床後に同じ課題を行う（テストセッション）学習夜と、学習を行わない非学習夜の2条件に参加した。実施した課題は第2章と同様であった。回転図形の描写時間は学習セッションからテストセッションへと睡眠を介し20.6%短縮した。運動技能課題の短縮率が高いほど、Fast Spindleは高密度、高振幅、長持続であり、学習夜では学習をしなかった夜の非学習夜よりも、高振幅、長持続であることが明らかとなった。この現象は全ての睡眠周期において認めることができた。このことから終夜を通じてFast Spindleの活動性は、手続き的記憶の再構築において機能していると考えられた。一方でSlow Spindleの活動性には運動技能課題の短縮率との間に有意な相関関係はみられず、手続き的記憶の再構築には関与していない可能性が考えられた。Fast Spindleの発生機構である視床-皮質経路は、睡眠維持という役割を果たす一方で睡眠中に進行する脳の可塑性にも寄与していると考えられた。

### 第4章 睡眠紡錘波の発生機構と睡眠期における記憶再構築

第4章では、視覚-運動学習に関わるFast Spindleの電流発生源を検討した。参加者は健康な大学生・大学院生の男女8名であった（平均年齢 $21.8 \pm 0.53$ 歳）。実施した課題は第2章、実験手続きは第3章と同様であった。回転図形の描写時間は学習セッションからテストセッションへと睡眠を介し23.3%短縮した。睡眠紡錘波を構成する波の振幅を条件間で比較した結果、学習夜では非学習夜と比較し、左前頭部においてFast Spindleの活動性が高まっていた。sLORETA (Standardized

Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography: Pascual-Marqui, 2002) により、Fast Spindle電位の電流発生源を比較検討した結果、左中前頭回におけるFast Spindleの活動性が学習夜で局所的に増大していることが明らかとなった。手続き的記憶の再構築時には、視覚-運動学習に関与する脳部位において、Fast Spindleの活動性が脳内で高まっていると考えられた。この部位において、長期増強 (long term potentiation: LTP) などの脳の可塑性が引き起こされ、関連するネットワークが強化されていることが示唆された。

### 第5章 総合考察

本研究の結果、視覚-運動学習は睡眠期間を介することで飛躍的に向上し（第2章）、Fast Spindleの活動性は視覚-運動学習に関連する（第3章）ことが明らかとなった。学習に関連する脳部位においてFast Spindleの電位が局所的に増大することも明らかとなった（第4章）。Fast Spindleの発生機構は、睡眠を保護し維持する機能を果たす (Ueda et al., 2001) 一方で、学習に関連する脳部位においてLTPを引き起こす刺激として働き、数日にわたる持続的な脳の可塑性に寄与すると考えられた。

以上を受けて本研究では、連続処理仮説 (sequential hypothesis: Ambrosini & Giuditta, 2001) に、Fast Spindle発生時に神経ネットワークが強化されるという仮説を追加したモデルを提案する。ノンレム睡眠期には①徐波活動発生時に、覚醒期に十分に活性化しなかった脳部位で活動性の抑制 (long term depression: LTD) が進行し、②Fast Spindleの発生時には、覚醒中に強く活性化した脳部位で活動性の強化 (LTP) が促進していると考えられる。この両機構が相補的に関与することで神経ネットワークのS/N比が高まると考えられる。レム睡眠期には、ノンレム睡眠期に取捨選択された脳部位間において神経ネットワークの結合が強化され、運動の自動化、効率化が進行していると考えられる。今後、睡眠紡錘波や徐波活動の出現前後、レム睡眠期の特定の時期における脳活動状態を詳細に検討し、この仮説を検証する必要がある。

## 引用文献

- Ambrosini, M. V., & Giuditta, A. (2001). Learning and sleep: the sequential hypothesis. *Sleep Medicine Reviews*, 5, 477-490.
- Gais, S., Mölle, M., Helms, K., & Born, J. (2002). Learning-dependent increases in sleep spindle density. *The Journal of Neuroscience*, 22, 6830-6834.
- Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24, 5-12.
- Ueda, K., Nittono, H., Hayashi, M., & Hori, T. (2001). Spatiotemporal changes of slow wave activities before and after 14 Hz/12 Hz sleep spindles during stage 2 sleep. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 55, 183-184.
- Walker, M. P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *The Behavioral and Brain Sciences*, 28, 51-64.