2013 年 1 月 3 日

博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学
研究科名	スポーツ科学研究科
申請者氏名	守田優子
学位の種類	博士（スポーツ科学）
論文題名	運動技能学習における睡眠の効果とスポーツ現場への応用 The Effect of Sleep on Motor Skill Learning and Application to Sport Fields
論文審査員	主査　早稲田大学教授　内田　直　博士（医学）（東京医科歯科大学）
	副査　早稲田大学教授　彼末　一之　工学博士（大阪大学）、医学博士（大阪大学）
	副査　早稲田大学准教授　正木　宏明　博士（人間科学）（早稲田大学）
	副査　早稲田大学准教授　広瀬　統一　博士（学術）（東京大学）

本博士学位論文は、若年健康成人を対象として、ジャグリング課題による運動スキル学習による手続き記憶の固定化プロセスの睡眠の持つ促進効果について、その行動科学的現象と生理学的メカニズムを明らかにすることを目的としている。これまでの多くの研究で、睡眠が記憶について促進的に働くことが報告されてきている。これらの研究は、睡眠中の脳活動として、睡眠が単に疲労を回復させるためだけのものでなく、脳活動に対してより積極的な役割を持っていることをも示している。これらの研究の多くは、「記憶と学習」という認知科学あるいは神経科学的な枠組みで行われており、記憶についてもエピソード記憶、意味記憶、手続き記憶などにわけて、それぞれの違いについて、分析的研究が行われている。また、それぞれの記憶要素により、関わる睡眠の質（ノンレム睡眠、レム睡眠など）が異なっていることなども示唆されている。

このような基礎科学研究の上に、応用科学として位置づけられるスポーツ科学においても、記憶と睡眠についての研究が重要な課題となってきている。特に、スポーツ科学においては、スポーツのトレーニングという視点から、手続き記憶にあたる運動学習が重要である。更には、これまで行われていた個別的な実験的な運動学習（例えば指による順列押し（sequential finger tapping）など）ではなく、より実際のスポーツ活動に近い全身運動による、そして研究的には系列的記憶要素の少ないより純粋な手続き記憶について、睡眠の及ぼす役割について調べることが課題となってくる。また、このような知見を実際のスポーツ現場に活かせるように、スポーツに通じた研究者がこの

ような研究を行うことが非常に重要である。

本研究はこういった意味で、これまで主には基礎研究者の間で行われた研究を、スポーツ現場に応用するという視点にたって行われた、スポーツ科学に新しい分野を切り開く研究として位置づけることができる。

博士論文の章にそって、審査報告をしたい。

第1章では記憶研究と睡眠の関連についての概説を行なっている。スポーツ科学における記憶研究は、非常に新しい分野であるが、これまでの記憶と学習についての基礎研究について、十分な検討をおこなっている。更には、睡眠が記憶に及ぼす影響についても、記憶の基礎研究をもとに詳細な解説を行なっている。このような知識は、その後の研究を遂行し十分な考察をする上で必要なものであり、必要な知識を獲得していると評価された。

第 2 章では、先に述べた全身運動かつ系列的記憶要素の少ない運動学習に対する睡眠(昼寝)の効果について、行動科学的に調べている。運動課題としては、3つのボールを順に空中に投げ上げキャッチするという動作を繰り返すスリーボールカスケードと呼ばれるジャグリング課題を用いている。この課題は、先に述べたようにこれまでの基礎研究の課題と異なりよりスポーツ科学への応用が可能な課題である。その結果として、午前中にジャグリング学習後に 2 時間の昼寝をすると、ジャグリングパフォーマンスが有意に向上することが示された。研究の方法、結果の解析などについて十分な研究的資質が示されたと評価された。

第 3 章では, 複雑な運動技能学習における睡眠の効果についての、生理学的な背景について、第 2 章で用いた実験で得られた睡眠脳波の解析を行うことにより、詳細な検討をしている。この研究においては、脳波の解析技術についての開発も行い、これまで研究室で用いてきた高速フーリエ変換による脳波解析技術だけでなく、企業研究機関との共同研究で睡眠紡錘波という脳波の特徴的な一過性の規則的な約 14Hz オシレーション波形を自動的に検出するソフトウェアの開発も行なっている。複雑な脳波波形から、生理学的に意味のある重要な波形を検出し抽出する技術の開発は、新しい研究を行う時にこれまで行われていない指標を検討する上で重要な作業であり、これを行ったことで、非常にオリジナリティーの高い研究になっている。

結果として、ジャグリングのような複雑な運動技能学習では、ノンレム睡眠の積極的な関与が示された。特に徐波睡眠中に slow oscillation (0.3-1.0Hz)と睡眠紡錘波の有意な増加が認められ、

これらの波形と運動技能の学習が関連していることが強く示唆されている。また、レム睡眠中の急速眼球運動もジャグリングパフォーマンスの向上率との間に関係が認められたことから、運動技能学習後のレム睡眠の質的変化も記憶の固定化プロセスに何らかの関与をしている可能性が示唆された。これまでの研究において、手続き記憶はレム睡眠に関連があることが示されているが、今回の結果はむしろノンレム睡眠との関連が強く示唆された。これについては、複雑な運動技能学習の初期は手続き記憶であっても学習の内容が意識下に上がらない潜在記憶よりも学習内容が意識に上がる顕在記憶要素の割合が大きいことに起因すると考えられると、考察をしている。これらの考察は推測の域をでないが、今後の研究の方向性を示唆するという点でアイディアに富んだものであると評価された。

第 4 章では、昼寝によるパフォーマンス向上効果と夜間睡眠後の翌朝のパフォーマンスについて検討している。すなわち、第 2 章に示したようにいかに昼寝によってパフォーマンスが向上したとしても、その後の夜間睡眠によって両群に差がなくなってしまっては、スポーツ科学の現場では役に立つものではなくなってしまう。このような発想は、基礎科学研究という視点だけでなく、常に現場への応用を意識する中で出てくる研究の方向性であり、応用科学としてのスポーツ科学の方向性を正しく意識したものであると評価される。

結果として、学習後の昼寝によって向上したジャグリングのパフォーマンスは、その後の夜間睡眠をとった翌朝にはさらなる向上を示した。さらに興味深いことは、学習直後に昼寝をしなければ、その後の夜間睡眠においてもパフォーマンスの有意な向上は生じないことが示された。これにより、運動学習後比較的早い時期に昼寝を行うことが運動学習を促進させる重要な要因になることが示された。

第 5 章の総合考察ではこれまでの研究結果をまとめ、複雑な運動技能学習における睡眠の効果とそのメカニズムについて総合考察を行っている。

まず、これまで行われてきた記憶と睡眠に関する研究に用いられてきた記憶課題を、よりスポーツ現場で行われる全身運動の記憶課題に置き換え、これが昼寝によって増強され、更には昼寝をした後の夜間睡眠によってさらに増強されることを実証的に示した。また、脳波の結果から睡眠中の脳波成分の変化についての生理学的な意味付けを考察している。これらの考察は、生理学的な基礎研究に基づいたものであり、基礎研究についての十分な理解がなければできないものである。特に、視床皮質路および海馬における神経ネットワークのメカニズムに結びつけた考察は、推論の

域を出るものではないが、行動科学的に現象を捉えるだけでなくその背後にある生物学的なメカニズムにも言及し、総合的に現象を捉える考え方が示されている。総合的に考えると今回の結果は、ジャグリング学習の初期の学習段階には、顕在学習の要素が強いことが考察されているが、これは今後の研究課題として、学習が進むにつれて睡眠の保つ役割も変わっていく可能性が示唆され、今後の研究についても興味深い方向性が示されたものと考えられた。

全体として本研究は、スポーツ科学の分野に、新しい睡眠研究という分野を導入したという点で、評価できるものである。更には、スポーツとの関連を強く意識するという視点で、如何に現場に基礎研究の結果を還元できるのかというアイディアを常に持ちながら研究を行なっている内容となっていることが評価できる。このような実証的な結果があれば、スポーツ現場においても研究の結果を応用する工夫を考える動機が生まれる。このような工夫が、スポーツ科学の研究と現場を融合させる強い力となるのであり、博士課程の中でスポーツ科学の研究の方向性をしっかりと見据えながら実験を進めていった結果の実績であると評価できた。

以上により、守田優子に対して、博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上

【原著論文一覧】

1. Morita, Y. , Ogawa, K., Uchida, S., 2012, The Effect of a Daytime 2-hour nap on complex Motor skill learning. Sleep and Biological Rhythms, Vol.10-4, 302-309.
2. Uchida, S., Nishida, M., Shioda, K., Morita, Y., 2010, Understanding human biological rhythm. Therapeutic principles of bright light and melatonin for sleep disorders of circadian rhythm. Indian Journal of Sleep Medicine Vol.5, No.1, p.8-12.
3. Uchida, S., Shioda, K., Morita, Y., Kubota, C., Ganeko, M., Takeda, N., 2012, Exercise effects on sleep physiology. Frontiers in Neurology. Vol. 3. P.1-5.
4. Morita, Y., Iida, Y., Uchida, S. Does skill acquired by observational learning transfer? Perceptual and Motor Skills. (under review)