

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：32504

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12708

研究課題名(和文)半球睡眠を応用した慢性的急性な疲労の回復に関する研究

研究課題名(英文) An exploratory study of recovery from acute and chronic fatigue by applying the unihemispheric sleep like states.

研究代表者

関口 雄祐 (Sekiguchi, Yuske)

千葉商科大学・商経学部・教授

研究者番号：50420386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：半球睡眠とは、一側の大脳半球のみで睡眠脳波が記録される生理的状态である。これまでに、ヒトが半球睡眠を行う脳波上の証拠は得られていない。しかしながら、ヒトが局所睡眠を生じること、また、断片的報告からヒトが半球睡眠を行いうる可能性は高いと我々は考えてきた。本研究課題では、自発的な半球睡眠---脳の活動状態の左右差(大脳の左半球と右半球の活動差)---を生じさせる代わりに、視覚入力を一側(左眼球あるいは右眼球)に制限することにより、疑似的な半球睡眠状態を構築し、その状態の疲労の蓄積・回復を分析した。

研究成果の概要(英文)：Unihemispheric Sleep is a physiological state in which sleep brain waves (slow waves of electroencephalogram) are unihemispherically recorded. There is no evidence that humans can sleep "unihemispherically". We take a hypothesis that humans do "Unihemispheric Sleep", because humans do "local sleep" and some fragmentary reports (such as resting with one eye closed). In this research project, we made "unihemispheric sleep like" states by restricting visual input. We analyzed effect of acute and chronic fatigue with "unihemispheric sleep like" states.

研究分野：行動生理学

キーワード：睡眠 疲労回復 半球睡眠

1. 研究開始当初の背景

睡眠中は、からだを低代謝に保ちエネルギーを保存するという生理学的解釈に基づき、睡眠中は安定した不動状態であると考えられてきた。しかしながら、近年、複数の研究結果は、睡眠は決して安定ではなく、均質な状態ではないことを示している (Nir 2012)。たとえば、鳥類 (Rattenborg 2001 など)、鯨類 (Lyamin 2004 など)、鰭脚類 (Lyamin 2012 など) の半球睡眠 Unihemispheric Slow Wave Sleep (図 1)、あるいはヒトやラットを対象とした局所睡眠 Local Sleep (図 2)、さらには局所覚醒が明らかにされつつある (Vyazovskiy 2011)。つまり、睡眠(あるいは覚醒)をグローバルな状態から、ローカルな状態として捉える概念への転換が必要になってきた。

これまで、申請者は行動学的手法を用いて鯨類の半球睡眠を分析し、泳ぎ続けることが半球睡眠の機能のひとつであることを明らかにし、その結果、水中生活で呼吸の確保、体温の保持が可能となることを示唆してきた (Sekiguchi 2003, 2006 など)。また、一方でヒトの眠気検出にかかわる 21 世紀 COE プログラム (豊橋技術科学大学拠点の“ヒューマンインテリジェントセンシング”) に研究員として参画 (Sekiguchi 2007 など) し、眠気を生じさせる環境下でのビデオ画像解析や生体信号分析から、局所睡眠に相当する睡眠状態を独自に明らかにしつつあった。これらの研究背景から、ヒトにおいても半球睡眠状態が、疲労蓄積の遅延 (半球睡眠効果) を生じさせると仮説を立て、本研究課題を提起した。

ヒトにおける半球睡眠効果の蓋然性について、これまで示されることはなかったが、本研究達成の可能性を示すために、申請者らの予備実験の結果に加えて間接的証拠の事例を以下に示す。申請者が取り組んできた 21 世紀 COE プログラムのプロジェクト研究進行の過程において、モニタ注視作業中に眠気が生じると、片側の顔が顕著に下がってくる被験者が数名あった。これらの被験者は、アンケート結果によると実験終了後の疲労感が少ない傾向が見られた。また、「長時間運転時に眠気を生じた場合、しばらく片目を閉じて運転していると眠気が減る」という申請者自身の経験および複数人の証言があり、さらには、長距離バス運転手のコメントとして「片目だけでもつぶっていれば、ちょっとは違うのです」と朝日新聞記事 (2013 年 6 月 28 日付生活面) にあり、半球睡眠効果を実証する本研究課題遂行の意義はあると考えている。

2. 研究の目的

申請者らは、少数の被験者を対象とした予備実験により、片眼に眼帯を付けた長時間作業では、疲労が通常の作業時よりも抑制されるデータを得てきた。本研究では、第一にこ

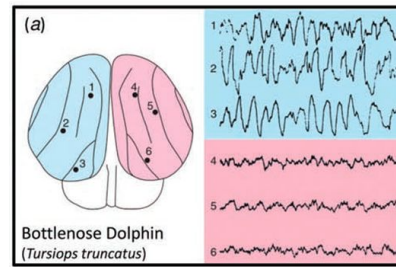


図 1. 半球睡眠時の脳波。大脳の右半球が覚醒状態、左半球では睡眠状態となっている。

のデータの再現性の精査を、第二にこれに基づく社会的な応用の検討を目的とする。生理学的に睡眠を理解することは重要であるが、実社会で必要とされるのは“居眠り”による社会的損失の抑制である。基礎研究における睡眠のしくみの理解が壁を迎えつつある現状、まず結果を理解することが、しくみの理解に必要な知見になると考えてきた。

半球睡眠や局所睡眠が、神経細胞レベルで明らかにされつつある中、本研究は、社会的要求に基づく逆のアプローチで睡眠を理解しようとするものである。すなわち、睡眠の脳科学的、あるいは神経生理学的な理解は、科学としてももちろん必要なものであるが、社会的により必要とされるのは、“居眠り”による社会的損失の抑制である。たとえば、長時間単純作業中に半球睡眠効果を用いることができれば、作業の負担軽減を図ることが可能になる。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の提案

動物の行動の中で最も機能的に卓越しているのが睡眠であると、Lima は総説の中で述べている (2005)。その他の行動が全て消耗する行動であるのに対して、睡眠は回復を目的とする唯一の行動であるからだ。本研究では、半球睡眠 (図 1) や局所睡眠 (図 2) という形で部分的に生じる回復機能が、ヒトにおいても全体的な疲労を遅延あるいは減少させる (半球睡眠効果) と考えて、後述するような複数の状況を想定した対象に複数の実験

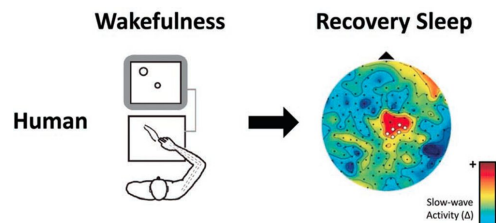


図 2. 局所睡眠。特定の脳部位が活性化される作業を行うと、その後の睡眠で、その部位の徐波が強化される。すなわち使った部位が深く眠る。

方法を組みあわせることで、客観的な評価を試みる。

(2) 半球睡眠様状態を仮定

両目に眼帯やアイマスクを装着し視覚系の情報入力を閉ざすことで、脳波の変化が生じる(アルファ波が生じる)ことは古くから知られているものの、睡眠との関係は詳しく調べられたことは無かった。ただし、視覚を閉ざすことが眠りを惹起することは、生理的な解釈として妥当であろう。同様に、覚醒状態を維持するには、閉眼よりも開眼状態が必要だとすることも一般的に理解が得られよう。この考え方をもとに、本研究では、一方の眼からの視覚信号は覚醒を維持させ、もう一方の視覚信号は閉ざすことで、実験的に脳内に半球睡眠状態を作り出す試みを行う。

(3) 急性疲労検証

負荷。

深夜0時から約4時間の覚醒維持を負荷し、その間、右目の視覚入力制限、左目の視覚入力制限、および対照(視覚制限なし)実験を行った。

記録項目

負荷の前後で、以下の項目を記録した。作業効率(単純計算課題の正答数・時間)および、唾液アミラーゼモニター(ニプロ社製)を用いた唾液に含まれるアミラーゼ量(ストレスの指標として分析)。さらに、眠気の指標を、Epworth sleepiness scale にならい、「ほとんどない・少しある・半々くらい・高い」の4段階記で録した。

(4) 慢性疲労検証

負荷

左右の視覚入力制限をそれぞれ約1時間、合計約2時間、視覚入力制限で過ごす。通常の睡眠時間を確保(自由な就床、起床時間)する連続した7日間・通常よりも1時間程度減眠(平均的な就床時間から1時間遅らせる)する連続した7日間・および対照(視覚入力制限なし)を行う。

記録項目

スタンフォード眠気尺度(7段階)により主観的眠気を、起床後・午前11時・午後3時・就床前に記録。スマホアプリを使用して、注意力(間違い探し)と作業効率(単純計算)およびストレス値(スマホのカメラを使用して血流の輝度変化からRR間隔の変動を検出し自律神経指標として算出)を記録。

4. 研究成果

(1) 急性疲労検証結果

対照実験データの適切性などを精査したところ、4名の記録が分析に耐えうると判断した。ただし、定量的分析を進めるにはデータ数が不足のため、仮説に対する定性的分析

結果を以下に示す。

対照実験(視覚入力制限なし)では、負荷作業後には作業効率の低下、ストレス値の上昇が予想される。

結果、作業効率は、正答率下降が4名中2名(以下すべて4名中)、計算時間の延長も2名であった。ストレス値は3名が上昇した。

視覚入力を制限することによって、半球睡眠様状態となるのであれば、対照実験より制限状態のほうが負荷後の作業効率の低下は少なく、ストレス値の上昇も抑制されることが予想される。

結果1、右目への視覚入力を制限した場合には、作業効率は、正答率下降が4名中1名(以下すべて4名中)、計算時間の延長は3名であった。ストレス値は1名で上昇した。

結果2、左目への視覚入力を制限した場合には、作業効率は、正答率下降が4名中1名(以下すべて4名中)、計算時間の延長は1名であった。ストレス値は3名で上昇した。

結果3、右目左目へ2時間ずつ視覚入力を制限した場合には、作業効率は、正答率下降が4名中1名(以下すべて4名中)、計算時間の延長は1名であった。ストレス値は1名で上昇した。

以上から、実験例数の少ない定性的な傾向ではあるが、右目への視覚入力を制限と左目への視覚入力を制限とを両方行うことで、深夜0時頃から仮眠をとることなく作業を4時間ほど継続しても作業効率の低下及びストレス値を少なく抑えることが確認できた。

(2) 慢性疲労検証結果

対照実験データの適切性などを精査したところ、7名の記録が分析に耐えうると判断した。分析にあたっては、それぞれのターム(連続した7日間)の後半5日間の平均値を代表値とした。ただし、定量的分析を進めるにはデータ数が不足のため、仮説に対する定性的分析結果を以下に示す。

視覚入力を制限することによって、半球睡眠様状態となるのであれば、対照実験より制限状態のほうが日中の眠気は減少することが予想される。

結果、午前11時の眠気は、7名中4名で対照実験よりも低下し、午後3時の眠気は7名中6名で対照実験より低下した。

視覚入力を制限することによって、半球睡眠様状態となるのであれば、対照実験より制限状態のほうが「減眠時でも」日中の眠気は減少することが予想される。

結果、対照実験に比較して、午前11時、午後3時とも、5名中5名で眠気が低下した。

減眠しても就床前の時間まで注意力・作業効率の低下が無く、ストレス値の上昇が無く

れば入力制限することが「回復」に関与している可能性を示唆できる。

結果、注意力については、5名中3名が低下。作業効率については、5名中0名が低下(5名全員が上昇)。ストレス値は、5名中1名が上昇であった。作業効率、ストレス値から判断すると、入力制限が「回復」もしくは「疲労抑制」として機能し得ることを示唆する。いっぽうで、注意力は対照実験よりも低下する場合も多く、全体を通して更なるデータの積み上げ、分析が必要である。

7名の被験者の結果について、個別に検討を行った結果を示す。

被験者A；強いポジティブな結果を示した。視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ67%、58%)。また制限状態で減眠(対照実験より睡眠時間が平均55分減少)すると、起床時の眠気が140%に増大し、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ83%、67%)。ただし、入力制限のみに比べると、入力制限+減眠のほうが眠気は高まっている。これらのことから、約2時間の入力制限による「回復」効果は、55分の睡眠時間減少を補うには不十分である可能性が考えられる。いっぽうで、入力制限+減眠において、就床前の注意力・作業効率は上昇(119%、145%)、ストレス値は減少(79%)していることから、実験環境が夜間のパフォーマンス低下抑制に影響する可能性がある。

被験者B；ポジティブな結果を示した。制限状態で減眠(対照実験より睡眠時間が平均40分減少)すると、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ69%、93%)が、起床時の眠気および就床前の諸要素に大きな影響はなかった。

被験者C；ポジティブな結果を示した。視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ79%、59%)。また制限状態で減眠(対照実験より睡眠時間が平均72分減少)すると、起床時の眠気が114%に増大し、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ95%、86%)。ただし、被験者Aと同様で、入力制限のみに比べると、入力制限+減眠のほうが眠気は高まっている。これらのことから、約2時間の入力制限による「回復」効果は、72分の睡眠時間減少を補うには不十分である可能性が考えられる。いっぽうで、入力制限+減眠において、就床前の注意力・作業効率は上昇(121%、115%)、ストレス値は減少(64%)していることから、実験環境が夜間のパフォーマンス低下抑制にポジティブな影響を及ぼしている可能性がある。

被験者D；強いポジティブな結果を示した。視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対

照実験のそれぞれ90%、71%)。制限状態で減眠(対照実験より睡眠時間が平均36分減少)すると、起床時の眠気が減少(73%)し、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ70%、57%)。被験者A、被験者Cと異なり、入力制限のみに比べると、入力制限+減眠のほうで眠気が減少しており、約2時間の入力制限による「回復」効果は、36分の睡眠時間減少を補うに十分であった可能性が考えられる。いっぽうで、入力制限+減眠において、就床前の注意力は減少(94%)、作業効率は上昇(114%)、ストレス値は減少(72%)していることから、実験環境が夜間のパフォーマンス低下抑制にポジティブな影響を及ぼしている可能性がある。

被験者E；ネガティブな結果を示した。視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時、午後3時がともに上昇した(対照実験のそれぞれ138%、175%)。また、起床時の眠気は減少(86%)、就床時の眠気はやや増加(104%)した。

被験者F；ネガティブな結果を示した。視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時には増加(対照実験の160%)し、午後3時には減少した(対照実験の56%)。また、起床時の眠気は減少(88%)、就床時の眠気はやや増加(107%)した。

被験者G；視覚入力を制限することにより、日中の眠気午前11時、午後3時がともに減少した(対照実験のそれぞれ93%、88%)。制限状態で減眠(対照実験より睡眠時間が平均97分減少)すると、起床時の眠気が増加(147%)し、日中の眠気午前11時、午後3時はともに減少した(対照実験のそれぞれ93%、82%)。いっぽうで、入力制限+減眠において、就床前の注意力は減少(89%)、作業効率は上昇(121%)、ストレス値も増加(131%)している。

以上から、視覚入力を制限することにより、疲労の蓄積からの「回復」もしくは「疲労抑制」として機能し得る可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

関口 雄祐, 半球睡眠究明のための行動研究, 勇魚, 査読なし, 67, 2017, 8-13

[学会発表](計 1件)

関口 雄祐, 井上 聡, 荒井 一利, 飼育下バンドウイルカにおける出生直後から4歳齢までの睡眠行動の発達, 日本睡眠学会第43回定期学術集会, 2018

[図書](計 1件)

関口 雄祐, 洋泉社, 眠れなくなるほどおもしろい睡眠の話, 2016, 208

〔その他〕

（講演）水族館と太地での経験から，第3回水族館大学（京都），2018年3月

（寄稿）識者論評「新たな飼育の形を探れ」，共同通信配信，2017年4月

（講演）ヨーロッパと日本で発達した睡眠研究，市川市民アカデミー，2015年12月

（講演）泳ぎなら寝るイルカたち，環世界展～生物は世界をどう見ているか～（会場，ダーウィンルーム）関連プログラム，2015年11月

6．研究組織

(1)研究代表者

関口 雄祐（Yuske, Sekiguchi）

千葉商科大学・商経学部・教授

研究者番号：50420386