

前庭電流刺激による睡眠導入・促進効果の検証： 「ゆりかご効果」の神経基盤の解明

The effects of galvanic vestibular stimulation on sleep physiology in humans

2171008



研究代表者

東京大学大学院教育学研究科

助 教

岸

哲 史

[研究の目的]

私たちは電車で揺られて移動するとき、心地よさを感じながら居眠りを始めることが多い。赤ちゃんも同様に、母親やゆりかごに揺られると、すやすやと眠り始める。このように、適度な揺動感覚が睡眠を促進することは経験的によく知られているが、その背後に存在する神経科学的機序については明らかにされていない。

近年、昼寝時にベッドを低周波 (0.25 Hz) で自動振動させると、無振動時と比較して、被験者の睡眠潜時が有意に減少するとともに、睡眠紡錘波 (NREM 睡眠の Stage2 の特徴的脳波) の出現率および紡錘波帯域のパワー、睡眠徐波 (深睡眠時の特徴的脳波) 帯域のパワーが有意に増加することが報告された (Bayer L, et al., *Curr Biol*, 2011)。また、10 名中 8 名の被験者が、振動条件の昼寝の方が心地よかったと報告していた。このように、適度なベッドの揺れにより、睡眠が促進・改善されることが示唆されている。

本研究では、適度な揺動感覚が睡眠を促進する、「ゆりかご効果」の神経科学的機序を明らかにすることを目的とし、身体の平衡感覚を司る前庭系への電氣的な刺激 (前庭電流刺激 [Galvanic Vestibular Stimulation; GVS]) が、ヒトの睡眠の導入・促進効果を持つか、また睡眠の質を向上させるかを検討した。具体

的には、就床時に感覚閾値下の強度でベッドの揺れを模した GVS 刺激を行い、無刺激 (Sham 刺激) 時と比較して、(i) 脳波から見た睡眠の質 (睡眠潜時、睡眠紡錘波や徐波の出現率および当該帯域のスペクトルパワー、徐波睡眠の総持続時間や連続性)、(ii) 自律神経系から見た睡眠の質 (交感神経系および副交感神経系の活動度)、(iii) 自己評価による主観的睡眠の質 (昼寝前後での眠気や疲労感の改善度、起床後の主観的睡眠感) が向上するかについて検討した。前庭系は睡眠紡錘波の生成源である視床核に解剖学的な結合を有しており、前庭系への周期的な入力が見床-皮質ループの神経活動を同期させることにより、睡眠の促進および睡眠の質の向上がもたらされる可能性が考えられる。

本研究報告書では、GVS が睡眠中の自律神経機能及び主観的睡眠指標に及ぼす影響に焦点を当て、報告する。

[研究の内容・成果]

■方法

健康若年男性 8 名 (23.1±3.6 歳; 平均±標準偏差) を対象として実験を行った。被験者は、実験に先立ち、実験室環境での睡眠に順応するため、1 日実験室での昼寝を行った。その後、刺激なし条件 (Sham 条件) と GVS 刺激条件

(GVS 条件) を、ランダムな順番で行った。直近の睡眠覚醒リズムが結果に影響を及ぼすことが予想されるため、実験前の1週間、被験者は睡眠日誌の記入を行い、実験期間中に規則的な睡眠覚醒リズムを維持していたかを確認した。また、実験期間を通じて、被験者には通常の睡眠覚醒リズムを乱さずに生活すること、激しい運動や飲酒、服薬を避けてもらうことを教示した。被験者の生活パターンを考慮し、条件間は基本的に1週間あけることとした。被験者は実験当日、昼食後13時に実験室に入室し、電極装着後、14時から90分間ベッドで横になり、昼寝を行った。

GVS 刺激条件では、電極を左右の乳様突起に装着し、周波数 0.25 Hz の正弦波状の GVS 刺激を行った。実験に先立ち、各被験者の GVS 刺激に対する感覚閾値を測定し、実験時の刺激強度はその 80~90% に設定した。Sham 条件では、GVS 刺激条件と同様に前庭系に電極を置くが通電はしなかった。

GVS 刺激による揺動感覚の惹起の程度を確認するために、設定刺激強度における足圧中心 (CoP) 変位を、床反力計を用いて計測した。各被験者につき、Sham 条件と GVS 条件を交互に2度ずつ行った。各試行は100秒とし、閉眼・閉足の直立姿勢を保つこととした。

睡眠の測定は、米国睡眠医学会による国際標準法 (2007) に従い、脳波 (F3-A2, F4-A1, C3-A2, C4-A1, O1-A2, O2-A1)、眼電図、オトガイ筋電図、心電図などの生体信号を、睡眠ポリグラフを用いて記録した (図1)。

睡眠の前後で、主観的な眠気と疲労感を Visual Analogue Scale (0~100) により測定した。また、起床時には、主観的睡眠の質について、5件法 (1:まったく心地よくなかった, 2:あまり心地よくなかった, 3:ふつうだった, 4:まあまあ心地よかった, 5:とても心地よかった) で評価した。



図1 睡眠実験の様子。睡眠ポリグラフ記録用の電極と GVS 刺激用の電極を装着した状態で90分の昼寝を行い、睡眠脳波や心拍データを取得した

■データ解析

Sham 条件と GVS 条件における睡眠中の自律神経機能を評価するために、心電図データの解析を行った。平均 R 波間隔 (RRI)、心拍変動の VLF (0-0.04 Hz)、LF (0.04-0.15 Hz)、HF (0.15-0.4 Hz)、LF/HF 成分を条件間で比較した。主観的眠気および疲労感、睡眠前後でのそれらの変化量、起床時の主観的睡眠感についても同様に条件間で比較した。重心動揺の評価は、左右方向の CoP 動揺 (CoPx) の時系列データの周波数解析 (ピリオドグラム) により行った。測定時の技術的問題により、心電図データは6名分、主観的尺度については5名分を解析対象とした。

■結果

1. GVS 刺激が重心動揺に及ぼす影響

Sham 条件では CoPx のスペクトルに明瞭なピークは見られなかったが、GVS 条件では刺激周波数 (0.25 Hz) に対応したピークが観察された (図2)。すなわち、感覚閾値下の刺激強度において、0.25 Hz の GVS により、0.25 Hz の足圧中心動揺が惹起されていたことが確認できた。

2. GVS 刺激が睡眠中の自律神経系の活動に及ぼす影響

GVS 条件では、Sham 条件と比較して、

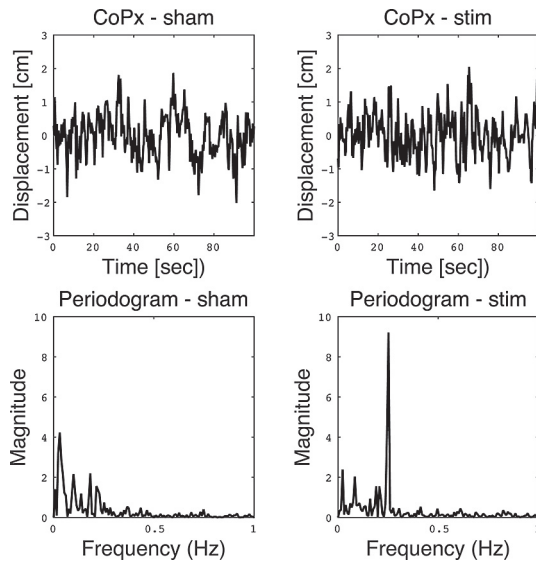


図2 各条件 (Sham または GVS) における x 軸方向の足圧中心 (CoPx) の時間変化の軌跡とそのピリオドグラムの一例

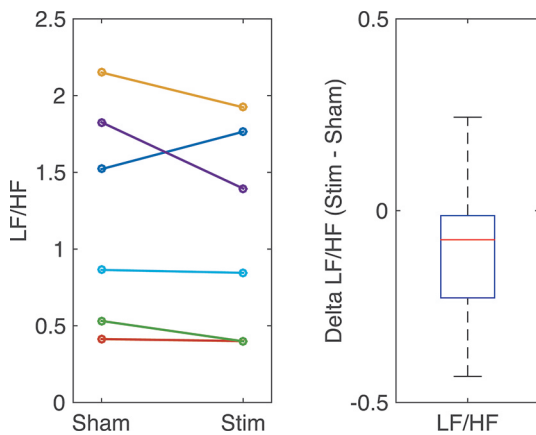


図3 Sham 条件及び GVS 条件における LF/HF およびその個人内での変化量 (Sham 条件から GVS 条件を減じたもの)

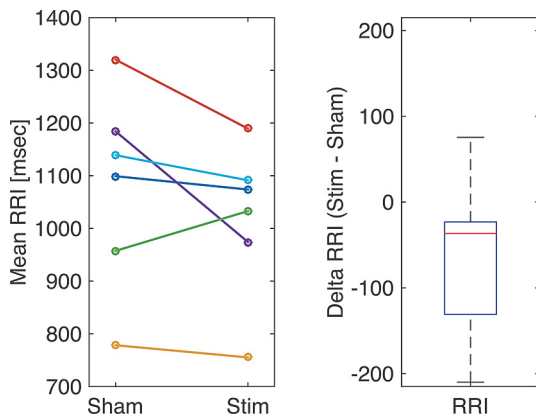


図4 Sham 条件及び GVS 条件における RRI およびその個人内での変化量 (Sham 条件から GVS 条件を減じたもの)

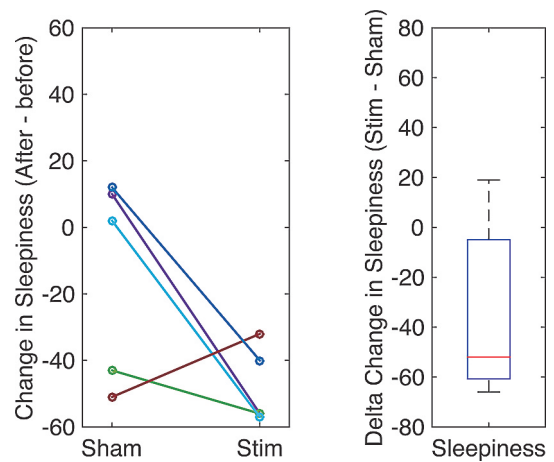


図5 Sham 及び GVS 条件における眠気の変化量 (昼寝後－昼寝前)

表1 Sham 条件および GVS 条件における自律神経系の評価

	Sham	GVS
RRI (msec)	1079.7±188.8	1019.5±147.6
VLF (ms ²)	308.5±169.9	332.0±167.7
LF (ms ²)	1232.6±781.4	1360.5±697.8
HF (ms ²)	1395.2±987.9	1975.5±1826.6
LF/HF	1.2±0.7	1.1±0.7

表2 Sham 条件および GVS 条件における主観的眠気、疲労感、睡眠感の評価

	Sham	GVS
Before nap		
Sleepiness	49.8±20.8	65.0±8.0
Fatigue	28.0±28.0	32.4±22.7
After nap		
Sleepiness	32.0±19.6	16.5±13.8
Fatigue	28.0±32.6	17.2±19.3
Sleep quality	3.6±1.1	3.1±1.2

LF/HF が低下する傾向にあること (6 名中 5 名が低下; 図 3), また RRI が短縮する傾向にあること (6 名中 5 名が短縮; 図 4) が確認された。VLF, LF, HF については, 条件間の違いに一貫した傾向は特に認められなかった (表 1)。

3. GVS 刺激が主観的睡眠の質に及ぼす影響

GVS 条件では, Sham 条件と比較して, 睡眠前後での眠気の改善度が大きい傾向にあることが確認された (5 名中 4 名改善; 図 5)。疲労感および主観的睡眠感については, 条件間の違いに一貫した傾向は特に認められなかった (表 2, 図 6)。

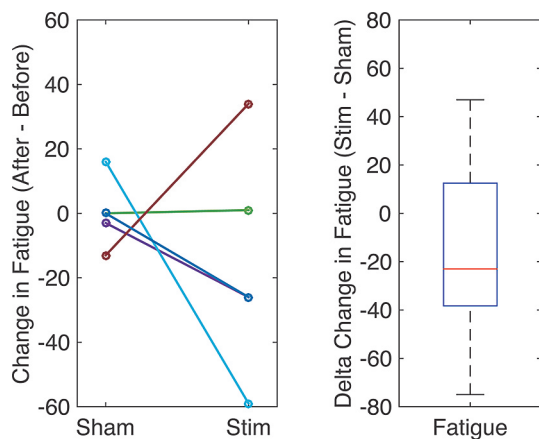


図6 Sham 及び GVS 条件における疲労感の変化量（昼寝後－昼寝前）

から、GVS が睡眠の質を高める効果がある可能性が示唆された。しかしながら、RRI は短縮する傾向が見られており、引き続き検討する必要がある。今回得られた結果を基盤とし、今後は十分な被験者数を準備した本実験に進み、脳波データと突き合わせた形での検討を行う必要がある。本研究で示唆された新規な手法による睡眠導入・促進効果が実証できれば、その成果は将来的に良質な睡眠を獲得するための技術開発につながることを期待され、基礎的にも応用的にも意義深いものと考ええる。

[成果の発表]

[今後の研究の方向性・課題]

本研究は、経験的にはよく知られているものの、科学的には全く明らかにされていない「適度な揺れが眠りを誘う」現象の神経科学的機序についてヒトを対象として明らかにしようとしたものがある。本研究では、GVS 条件において LF/HF が低下すること、眠気が改善すること

- [1] 岸哲史, 東郷史治. 「揺動感による睡眠促進効果とその神経機序に関する研究」. 東京大学発達保育実政策学センター中間研究報告会. 東京大学, 2017 年 8 月 6 日. (ポスター発表)
- [2] 岸哲史, 東郷史治. 「揺動感による睡眠促進効果とその神経機序に関する研究」. 東京大学発達保育実政策学センター最終研究報告会. 東京大学, 2018 年 1 月 28 日. (ポスター発表)