第37回若手研究者のための健康科学研究助成成果報告書
2020年度 *pp*.44～50（2023.7）

気分と認知機能を改善する就寝前ストレッチ運動プログラムの開発

諏訪部　和　也*, **　大　槻　　　毅*　　膳　法　亜沙子*
吉　川　　　徹*

DEVELOPMENT OF BEDTIME STRETCHING EXERCISE PROGRAM ENHANCING MOOD AND COGNITIVE FUNCTION

Kazuya Suwabe, Takeshi Otsuki, Asako Zempo-Miyaki, and Toru Yoshikawa

Key words: sleep, electroencephalography（EEG）, Stroop task, mnemonic discrimination, POMS.

緒　　　言

青年期は特有の心理的不安定さに加えて、生活環境の変化からメンタルヘルス(気分や認知機能)の悪化を招きやすい。更に、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行により大学での授業や課外活動の機会が大きく制限され、より深刻な事態が懸念されており、この解決は社会課題である。我々は、大学生1218名を対象に、2020年４～12月、生活習慣（運動，食事，睡眠）および気分に関する質問紙調査を実施した。その結果、調査期間を通じて睡眠質は低い傾向にあり、回答者の約10％は睡眠障害やうつ病患者と同程度まで低下していた[8)]。更に、睡眠質の低下は抑うつ・疲労の増大や活力低下のようなネガティブな気分と相関した。このことから、メンタルヘルス改善には睡眠の質向上をねらった方策が有用である可能性が示された。

そこで、睡眠の質を高める方策として就寝前に行うストレッチングに着目した。永松らは、就寝前に行う10分間のストレッチ運動プログラムが深部体温を緩やかに上昇させ、ストレス反応を軽減し、レム睡眠の出現頻度を増加させるなど、睡眠の質を変化させることを一連の研究から報告している[3-5)]。しかし、これらの研究はいずれも中高齢女性を対象とし、睡眠時脳波計測は昼間睡眠で検討されており、科学的根拠は限定的である。また、徐波睡眠（深い睡眠）の割合が多いことは、実行機能や記憶能などの認知機能に好影響を与えることが報告されており[1,2)]、もし就寝前ストレッチングによってより深い睡眠を誘導できれば認知機能向上につながる可能性があるが、未検討である。

本研究の目的は、若齢成人を対象に就寝前ストレッチ運動プログラムを考案し、その効果を睡眠時脳波、気分、認知機能の観点から検証することとした。就寝前に行うストレッチ運動プログラムは睡眠質改善、特に深い睡眠ステージの増大を介して気分や認知機能を向上させると仮説を立てた。

*　流通経済大学スポーツ健康科学部スポーツ健康科学科　Faculty of Health and Sport Sciences, Ryutsu Keizai University, Ibaraki, Japan.
**　筑波大学体育系ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（ARIHHP）スポーツ神経科学部門　Sport Neuroscience Division, Advanced Research Initiative for Human High Performance（ARIHHP）, Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan.

方　　法

A．実験参加者

健常な若齢成人12名が実験に参加し、実験を完遂した10名のデータを分析対象とした。年齢は21.6±1.0歳、body mass index（BMI）は20.8±2.4 kg/m^2、事前にピッツバーグ睡眠質問票（pittsburgh sleep quality index; PSQI）を用いて評価した睡眠状態は5.3±2.1であった（平均値±標準偏差）。すべての被験者に中枢神経系疾患の既往歴、視覚・色覚の異常がないこと、睡眠薬等使用していないことを確認した。予め被験者には研究の目的、方法、予想されうる危険性を書面にて十分説明したうえで参加の同意を得た。実験はすべて流通経済大学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：第33号）。

B．実験手順

同一参加者がストレッチ条件と対照条件の２条件を無作為な順序で実施するクロスオーバー試験を実施した。５日間のストレッチング（または安静）と睡眠時脳波計測を行い、その翌日（６日目）の午前中に実験室にて認知機能測定・気分・柔軟性の測定を行った。両条件ともに同じ曜日に開始し、条件間を２週間以上空けて実施した。ストレッチ条件では、就寝直前に自宅にて約10分間のストレッチ運動プログラムを実施した。対照条件では、同様の時間、ストレッチ条件と同じ姿勢で安静を保った。ストレッチ運動プログラムは、上肢および下肢の静的ストレッチングを中心に構成し、座位から徐々に仰臥位に移行するように配置した。ストレッチングおよび安静は、動画を視聴しながら実施し、極力画面は見ずに音声ガイドに従って行うように指示した。ストレッチングおよび安静の様子は映像に記録し後日確認した（図１）。

実験期間中、普段どおりの生活を心がけ、高強度・長時間の運動、飲酒および14時以降カフェインの摂取を控えるように参加者に指示した。また、寝室の環境（室温・光・音）はできる限り一定に保つようにさせた。認知機能測定の当日は運動を禁止し、食事は実験開始２時間前までに完了させた。

C．認知課題

前頭前野の実行機能評価課題としてストループ課題（Color-word Stroop task）、海馬の類似記憶弁別能の評価課題として類似物体を用いた再認課題を用いた。

１．ストループ課題

上段の文字の色と下段の文字の意味が一致しているかについてできるだけ素早く回答させた。単純に色について回答するNeutral課題とインクの色とその意味が一致しない色名単語の色について回答するIncongruent課題を各30問提示した（図２A）。画像提示時間は２秒間とした。Incongruent課題の反応時間からNeutral課題の反応時間を差し引くことでストループ干渉時間を算出し、実行機能の評価指標とした。更に、ストループ課題の担当脳部位である左背外側前頭前野（dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC）の活動を機能的近赤外

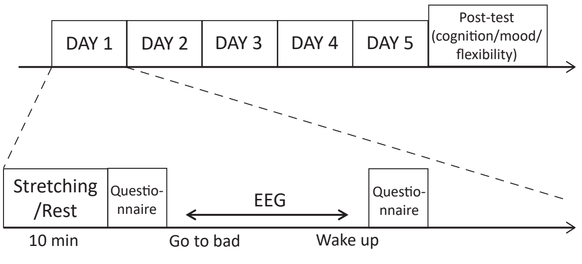

図１．実験手順

Fig.1.　Experimental procedure.

Participants performed 10 minutes stretching program or resting control on just before going to bed, then measured sleep electroencephalogram（EEG）during five days. On the sixth day, participants performed cognitive tasks in the experimental room.

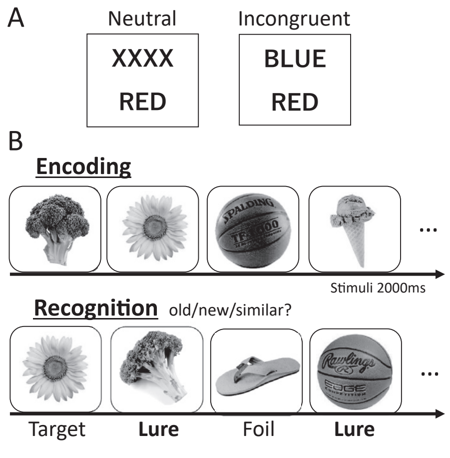

図２．認知課題の例

Fig.2.　Examples of cognitive task.

（A）Color-word Stroop task.（B）Mnemonic discrimination task.

光分光分析法（functional near-infrared spectroscopy; fNIRS）を用いて計測し、ストループ干渉に伴う活動（Incongruent – Neutral）を分析した[10]。

2．記憶課題

記銘課題（Encoding）では、日常生活で目にする物体の写真196枚をスクリーンに提示し、注視させた。再認課題（Recognition）では、同一刺激（Target）64枚、類似刺激（Lure）128枚、無関連刺激（Foil）64枚の計256枚の画像を提示し、それが記銘課題で提示された画像と全く同じか、似ているが少し違うか、初めて出てきた新しい画像かの三択で回答させた（図２B）。画像提示時間は２秒間とした。類似刺激は、先行研究[7]を参考に５段階の類似度に分類した。類似刺激に対して正しく「似ている」と回答できた割合（正答率）から、無関連刺激に対して誤って「似ている」と回答してしまった割合（誤答率）を差し引いた値を類似刺激弁別指数（lure discrimination index; LDI）とし、類似度ごとに算出した。

D．睡眠時脳波計測

睡眠評価のゴールドスタンダードは睡眠ポリグラフ（polysomnography; PSG）であるが、専用の実験施設と高額な費用がかかる。本研究では、自宅で簡便に繰り返し測定可能であるInSomnograf（株式会社S’UIMIN）を用いて睡眠時脳波を計測した。この測定方法は、PSGとほぼ同等の精度であることが確認されている[6]。前額部と両耳の後ろに計５箇所電極を貼付し、入床とともに測定を開始、起床後直ちに測定を終了した。総記録時間、入眠潜時（sleep latency）、総睡眠時間、入眠後覚醒時間、睡眠効率、各睡眠ステージ（N１：浅いノンレム睡眠，N２：中程度の深さのノンレム睡眠，N３：深いノンレム睡眠，REM：レム睡眠）の出現率を評価した。

E．気分・疲労度・主観的睡眠質・柔軟性

介入期間中毎日､就寝時および起床時の気分（元気度・リラックス度）を−５から５の11段階で測定した。また、就寝時の疲労度および主観的な睡眠の質（起床時に記録）をそれぞれ０から10の11段階で測定した。高値は、各度数および睡眠質が高いことを示す。

ストレッチングまたは安静を５日間実施した翌日、認知機能に加えて気分と柔軟性を測定した。気分（怒り，抑うつ，疲労，緊張，活気，不安）は、気分プロフィール検査（Profile of Mood States; POMS）により測定した。柔軟性は、長座体前屈により測定し、２回実施した平均値を算出した。

F．データ解析

睡眠時脳波および毎日測定した気分・疲労度・主観的睡眠質のデータは、５日間のうち３日間の平均値を各個人の代表値として分析した。原則、最後の３日間（３日目から５日目）を分析対象とし、データ収集の不備が認められた場合には代わりに１日目、２日目のデータを分析に用いた。平均値および標準誤差、効果量（Cohen’s d）を算出し、対応のあるｔ検定を用いて有意性を検定した。有意水準は0.05とし、$0.05 \leqq P < 0.1$を有意に近い水準とした。

結　　果

A．睡眠への効果

まず、総記録時間（time in bed）において条件による差は認められなかった。各指標への効果を確認したところ、有意水準で差は認められなかったものの、入眠潜時はストレッチ条件で短い方向に大きな効果量があり、P値は有意に近い水準であった。主観的な睡眠の質はストレッチ条件で良い方向に中程度の効果量があり、P値は有意に近い水準であった（表１）。

B．気分・疲労度・柔軟性への効果

入床時の疲労度、入床時および起床時の気分（元気度・リラックス度）とその変化にはいずれも有意な差は認められなかった（表１）。POMSで測定した５日間の介入後の気分でも、有意な差は認められなかった（表１）。柔軟性においても、ストレッチングの効果は認められなかった（表１）。

C．認知機能への効果

ストループ課題について、Neutral課題とIncongruent課題の正答率、反応時間は表２に示すとおりである。実行機能の指標であるストループ干渉時間は、有意水準で差は認められなかったものの、ストレッチ条件で短い（優れている）方向に大きな効果があり、P値は有意に近い水準で

表1．睡眠・気分・柔軟性に対する効果
Table 1. Effects of stretching on sleep parameters, mood and flexibility.

	Control	Stretching	d	*P*
Sleep parameters				
Time in bed, min	340.5（19.0）	339.7（16.4）	0.01	0.95
Sleep latency, min	14.6（3.0）	7.9（1.1）	**0.93**	**0.07**
Total sleep time, min	314.4（16.4）	318.7（14.0）	0.09	0.63
WASO, min	11.5（2.0）	13.1（3.7）	0.16	0.50
Sleep efficiency, %	92.3（0.7）	93.9（0.9）	**0.60**	0.19
N1, %	5.9（1.2）	5.8（0.8）	0.04	0.87
N2, %	44.7（1.4）	45.6（1.0）	**0.23**	0.58
N3, %	23.2（2.2）	24.7（1.3）	**0.25**	0.40
REM, %	24.1（2.4）	23.5（1.3）	0.11	0.74
Subjective sleep quality	4.5（0.5）	5.4（0.5）	**0.60**	**0.09**
Mood				
Fatigue at go to bed	4.9（0.6）	5.1（0.3）	0.09	0.84
Vitality at go to bed	0.1（0.5）	−0.4（0.3）	**0.35**	0.44
Vitality at wake up	1.8（0.4）	1.6（0.4）	0.14	0.63
ΔVitality	1.7（0.5）	2.0（0.5）	0.19	0.66
Stability at go to bed	1.5（0.4）	1.3（0.5）	0.15	0.65
Stability at wake up	1.8（0.5）	1.5（0.6）	0.19	0.48
ΔStability	0.3（0.5）	0.2（0.7）	0.06	0.85
POMS				
Tension	5.2（1.3）	5.6（1.3）	0.10	0.70
Depression	2.5（0.7）	2.6（1.0）	0.04	0.85
Anger	0.9（0.5）	2.4（0.9）	**0.63**	0.11
Vigor	10.8（1.6）	10.2（1.8）	0.11	0.57
Fatigue at go to bed	4.8（1.2）	5.6（1.4）	0.20	0.58
Confusion	4.0（0.9）	5.7（1.7）	**0.40**	0.20
Total Mood Disturbance	6.6（4.2）	11.7（5.6）	**0.33**	0.28
Flexibility				
Sit-and-reach, cm	45.1（3.3）	46.8（3.0）	0.17	0.15

Values are mean（standard error）, WASO=wake after sleep onset, REM= rapid eye movement, POMS= Profile of Mood States.

あった（図3A）。また、ストループ干渉に伴う左DLPFCの活動は、有意水準で差は認められなかったものの、ストレッチ条件で高い方向に大きな効果があり、*P*値は有意に近い水準であった（図3B）。

記憶課題について、各刺激条件（Target, Lure, Foil）に対する各反応（old, similar, new）の回答率は表2に示すとおりである。5段階の類似度別に算出したLDIでは、類似度3においてストレッチ条件で高い方向に中程度の効果があり、*P*値は有意に近い水準であった（図3C）。他の類似度では差は認められなかった。

D．睡眠質と認知機能の関係

対照条件におけるN3ステージの出現率と各認知課題成績の関係を調べたところ、有意水準での関係性は認められなかったものの、N3出現率とストループ干渉時間は負に相関（図4A）、N3出現率と類似度3におけるLDIは正の相関関係（図4B）の方向に大きな効果があった。また、ストレッチングによるN3ステージの出現率の変化（ストレッチ条件－対照条件）と各認知課題成績の変化（ストレッチ条件－対照条件）の関係においても有意水準での関係性は認められなかったものの、N3出現率の変化とストループ干渉時間の

表２．各認知課題の成績
Table 2.　Cognitive performance in each task.

	Control	Stretching
Stroop task		
Accuracy, %		
Neutral	98.5(1.1)	98.5(0.8)
Incongruent	96.5(0.8)	97.0(1.1)
Response time, ms		
Neutral	871.4(30.8)	889.6(32.1)
Incongruent	967.5(47.7)	940.3(33.9)
Mnemonic discrimination task		
Target_old, %	82.6(3.2)	85.2(2.2)
Target_similar, %	11.6(2.5)	11.7(2.2)
Target_new, %	5.8(0.9)	3.1(0.6)
Lure_old, %	31.7(3.4)	34.2(4.7)
Lure_similar, %	53.1(4.1)	57.7(5.1)
Lure_new, %	15.0(1.9)	8.1(2.7)
Foil_old, %	1.4(0.4)	1.7(0.8)
Foil_similar, %	13.3(2.1)	12.3(3.4)
Foil_new, %	85.2(2.2)	85.9(3.3)

Values are mean(standard error).

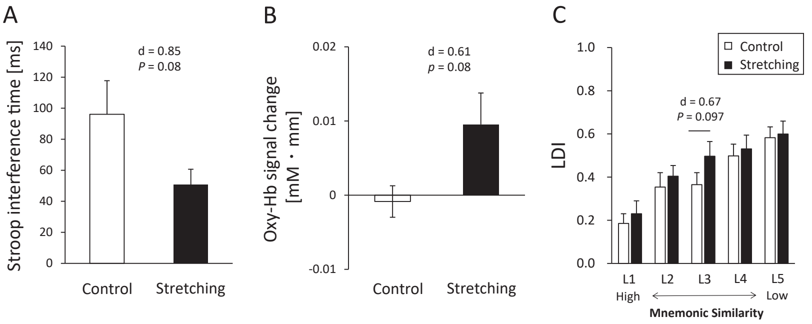

図３．認知パフォーマンスに対するストレッチングの効果
Fig.3.　The effects of stretching on cognitive performance and prefrontal activation. Stretching had a positive large effect on Stroop interference time(A)and cortical activation in the DLPFC(B)compared to resting control condition. Stretching had a positive moderate effect the LDI in middle similarity bins compared to resting control condition(C). Values are mean ± standard error.
DLPFC; dorsolateral prefrontal cortex, LDI; lure discrimination index.

変化との間に負の相関関係（図４C）、N３出現率と類似度５における LDI の変化との間に正の相関関係（図４D）の方向に大きな効果がみられた。

考　　察

本研究は、10分間の就寝前ストレッチ運動プログラムの５日間の実践が睡眠、気分および認知機能に及ぼす影響を明らかにすることを目的に実験を行った。就寝前ストレッチングは、睡眠潜時を短縮させ、主観的な睡眠の質を高める傾向があった。気分改善効果は認められなかったものの、実行機能の指標であるストループ干渉時間および課題遂行中の左 DLFPC の活動、海馬の記憶能の指標である類似記憶弁別能を向上させる傾向がみられた。横断的検討から、対照条件において深い睡眠ステージ（N３）の出現率が高い者ほどストループ課題および記憶課題の成績が優れている傾向がみられ、就寝前ストレッチングによる認知機能の

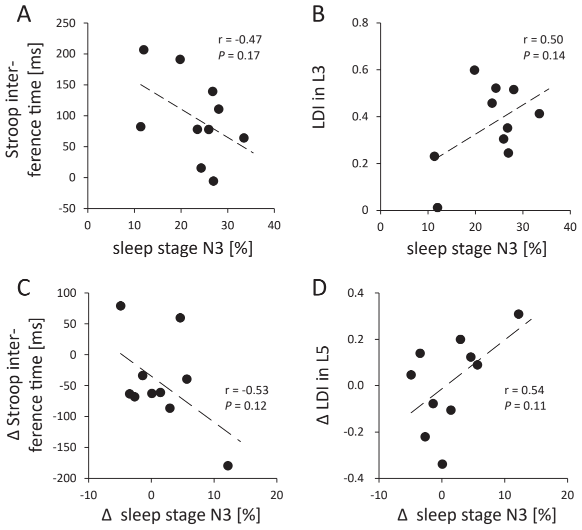

図４．N3出現率と認知機能の関係

Fig.4. The relationship between sleep stage change and cognitive performance change.
The ratio of sleep stage N3 in control condition are（A）negatively correlated with Stroop interference time and（B）positively correlated with LDI in L3 in control condition. The ratio of sleep stage N3 changes are（C）negatively correlated with Stroop interference time and（D）positively correlated with LDI in L5.

変化は、Ｎ３出現率の変化と関係していた。これらは、就寝前ストレッチングの実践がより深い睡眠を誘導することで実行機能や記憶能に好影響を与えるとする仮説を支持する結果であり、若齢成人のメンタルヘルスを維持向上するための方策として、誰でも簡単に実践できる就寝前ストレッチングの可能性を示すものである。

ストレッチングは、主観的な睡眠質および脳波から客観的に評価した入眠潜時に好影響を与えた。両者は負の相関関係にあり（r = −0.60）、入眠がスムーズだったことで、主観的な睡眠質の向上に結びついた可能性が考えられる。中高年女性を対象にした先行研究においても、３週間の就寝前ストレッチング介入が通常生活対照群に比べて睡眠潜時を短縮させる効果が報告されており、本研究の結果と一致する[5)]。ただし、本研究でみられた入眠潜時の短縮効果は、入床時刻の影響を受けていた可能性があり、結果の解釈には注意が必要である。本実験では、両条件でできるだけ普段どおりの生活リズムを保つように指示し、対照条件でもストレッチ条件と同様の時間安静を保たせたところ、入床時刻の平均値は対照条件24時55分、ストレッチ条件25時13分であった。各条件の入床時刻の差と入眠潜時の差の間には負の相関関係があり（r = −0.43）、ストレッチ条件において入床が遅かった参加者において入眠潜時が短縮した傾向がみられた。

就寝前ストレッチングを５日間継続することで、認知機能が向上する傾向がみられた。前頭前野が担う実行機能を評価するストループ課題のストループ干渉時間に対して、ストレッチングは大きな効果（d = 0.85）を有した。また、中程度の類似度における類似記憶弁別能に対して中程度の効果（d = 0.67）がみられた。中程度の類似度で効果が顕著であった理由は、他の類似度に比べて難易度が適切だったため検出力が高かったと考えられる[9)]。興味深いことに、対照条件において深い睡眠ステージ（Ｎ３）の出現率が高い者ほど認知パフォーマンスが高く、ストレッチングによるＮ３出現率の変化は認知パフォーマンスの変化と相関性がみられた（図４）。本研究では、ストレッチングがＮ３出現率を増大させるかどうかは明らかにならなかったが、増大させる方向に小さな効果が確認された（d = 0.25）。先行研究では、徐波睡眠の増大が実行機能[1)]や類似記憶弁別能[2)]における高いパフォーマンスと関連することが報告されており、一部の参加者ではストレッチングが徐波睡眠を増大させることで認知機能を向上させた可能性がある。

仮説に反し、ストレッチングは気分に影響しなかった。気分に対する就寝前ストレッチングのポジティブな効果を報告した研究も存在するが[3)]、対象者や実施期間の違いが結果に影響した可能性がある。また、本研究では介入前後での気分の変化を検討できておらず、介入前の気分による影響も考えられる。

本研究は、十分な検定力を得るためのサンプルサイズを得ることができなかった。今後、更なる検証が必要である。

総　　括

就寝前ストレッチ運動プログラムは、実行機能や課題中の前頭前野活動、記憶機能を高める傾向がみられ、認知パフォーマンスの変化の背景に徐波睡眠の増大がかかわる可能性が示された。今後

の研究から就寝前ストレッチングのメンタルヘルスに対する効果が明らかとなれば、日常生活で実践可能なセルフマネジメントの手段として若者のみならず広く一般市民の健康増進に役立てることができる。

謝　　辞

本研究は、公益財団法人明治安田厚生事業団第 37 回若手研究者のための健康科学研究助成を受けて遂行されました。

参 考 文 献

1) Ferrarelli F, et al. (2019): An increase in sleep slow waves predicts better working memory performance in healthy individuals. Neuroimage, **191**, 1-9.
2) Hanert A, et al. (2017): Sleep in humans stabilizes pattern separation performance. J Neurosci, **37**, 12238-12246.
3) Kai Y, et al. (2016): Effects of stretching on menopausal and depressive symptoms in middle-aged women: a randomized controlled trial. Menopause, **23**, 827-832.
4) 永松俊哉ら(2008)：ストレッチを用いた低強度運動プログラムの実施が中高年女性勤労者の睡眠に及ぼす影響．体力研究，**106**, 1-8.
5) 永松俊哉ら(2014)：低強度のストレッチ運動が軽度睡眠障害者の睡眠およびストレス反応に及ぼす影響．体力研究，**112**, 1-7.
6) Seol J, et al. (2022): Bidirectional associations between physical activity and sleep in older adults: a multilevel analysis using polysomnography. Sci Rep, **12**, 15399.
7) Stark SM, et al. (2013): A task to assess behavioral pattern separation (BPS) in humans: data from healthy aging and mild cognitive impairment. Neuropsychologia, **51**, 2442-2449.
8) 諏訪部和也ら(2021)：スポーツを学ぶ大学生を対象としたコロナ禍におけるクラウド型教育支援サービスを利用した健康教育の試みとその成果．流通経済大学スポーツ健康科学部紀要，**14**, 123-131.
9) Suwabe K, et al. (2017): Aerobic fitness associates with mnemonic discrimination as a mediator of physical activity effects: evidence for memory flexibility in young adults. Sci Rep, **7**, 5140.
10) Suwabe K, et al. (2021): Positive mood while exercising influences beneficial effects of exercise with music on prefrontal executive function: a functional NIRS study. Neuroscience, **454**, 61-71.