



鼻部皮膚温度刺激を介した緊張感制御による 作業能率向上手法の効果検証

Verification of Effectiveness of A Method to Improve Work Efficiency
by Controlling Tension through Nasal Skin Temperature Stimulation

渡邊達也¹⁾, 藤嶋英治²⁾, 森万由花²⁾, 中野拓哉²⁾, 柳田康幸²⁾

Tatsuya WATANABE, Eiji HUIJISHIMA, Mayuka MORI, Takuya NAKANO, and Yasuyuki YANAGIDA

- 1) 名城大学 理工学研究科 情報工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501,
213426025@ccmailg.meijo-u.ac.jp)
- 2) 名城大学 理工学部 情報工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501,
yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: ヤーキーズ・ドットソンの法則とジェームズ・ラング説に基づき、鼻部皮膚への温度刺激により緊張感を制御し作業能率を向上させる可能性について検討している。これまでの研究で、適度な鼻部冷却による暗算課題のパフォーマンス向上が示唆されたが、有意差は認められなかった。本研究では、先行研究における問題点の一つとして考えられる実験課題の難易度の低さを改善して実験を行い、作業能率向上効果を検証した。その結果、当該実験における鼻部皮膚への温度刺激では交感神経を活性化させるほどのストレスを与えられていないことが示唆された。

キーワード: 温冷覚刺激, 緊張感制御, 身体反応, 作業能率向上

1. はじめに

人は緊張していると、本来のパフォーマンスを発揮できないことや作業能率が下がることがある。しかし、緊張は必ずしも悪いものではない。生理心理学分野におけるヤーキーズ・ドットソンの法則によると、作業時にペナルティや緊張などのストレスが全くない時より、適度にある時のほうが高いパフォーマンスを発揮できると言われている。よって、緊張を適度な強度に制御できれば高いパフォーマンスを発揮できると考えられる。また、人間の情動に関する説としてジェームズ・ラング説が提案されている。この説は、情動によって身体反応が起きるのではなく、外部からの刺激や状況を認知した時に身体反応が起き、それを知覚することで情動が発生すると主張している[1]。したがって、外部から刺激を与えて身体反応を疑似的に起こすことで情動を制御することができる可能性がある。これらの説から、緊張も外部からの刺激により制御できると考えられ、緊張を適度な強さに制御することができれば、高いパフォーマンスを実現することができるのではないかという仮説が成り立つ。

人は緊張すると、交感神経が活性化する。交感神経が活性化すると血管の収縮が行われ、血液量が減少することによって皮膚温度の低下が生じる。そのため、温度提示を利

用すれば緊張感を制御させることができると考えられる。実際に、掌への温度提示による情動制御手法が存在する[2]。特に鼻部皮膚では、血管が皮膚と鼻骨の隙間を走っているため、その影響が顕著である。よって、鼻部皮膚温度は心理状態の影響が表れやすく、鼻部皮膚温度をストレス評価に用いた研究は多く存在する[3][4]。

以上の考えに基づき、藤嶋は鼻部皮膚への温度刺激による緊張制御を利用した作業能率向上手法を提案した[5]。作業課題には、交感神経機能を上昇させる負荷試験として効果が確認されている4桁から2桁の減算の暗算課題を用いる[6]。加熱・冷却・制御なしの3つの温度制御条件において、暗算課題のパフォーマンスを調査したところ、分散分析の結果からは回答数・正答率ともに温度制御条件間で有意差は確認されなかった。

そこで本研究では、先行研究の問題点を改善し、新たに被験者を募集して実験を行うことで鼻部皮膚温度刺激による緊張感制御が作業能率向上に効果があるかの検討を行っていく。

2. 先行研究

本研究の目的は、先行研究の問題点を改善・再評価することである。そのため、まずは先行研究について説明する。

2.1 鼻部皮膚温度制御装置の構成

先行研究で用いた鼻部皮膚への温度制御を行うための装置の構成を図 1 に示す。

鼻部皮膚の加熱と冷却には、電流を流す向きによって吸熱面と放熱面を切り替えることのできるペルチェ素子を用いた。鼻部に収まるように、10×10×3.5 (mm) の小さなサイズのものを採用し、放熱の効率化を高めるために裏面にヒートシンクを取り付けた (図 2)。これを鼻の両側に 1 つずつ医療用テープで貼り付けた。

2.2 制御する温度範囲

ペルチェ素子を被験者の鼻に直接当てた状態で温度制御を行うため、被験者に火傷や凍傷を負わせないような安全な温度範囲での実験が求められる。

皮膚が 44～50℃程の熱源を長時間接触すると、低温熱傷と呼ばれる火傷を引き起こす恐れがある[7]。また、皮膚の温度が 25℃以下になると、酸素不足によって皮膚が暗紫色状態になる恐れがある[8]。よって、安全のために加熱時はペルチェ素子の表面温度が 40℃以上にならないよう制御を行い、冷却時は 25℃以下にならないよう制御する。

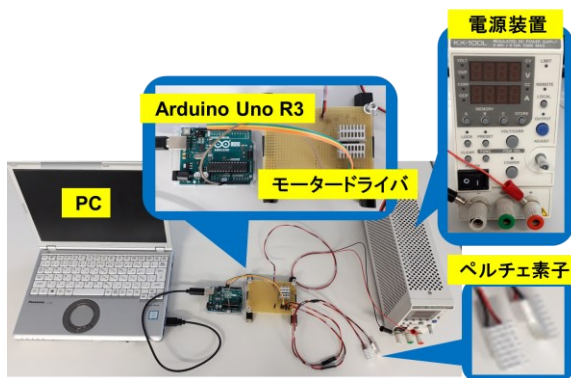


図 1：鼻部皮膚温度制御装置の構成

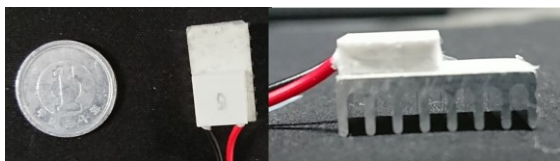


図 2：使用したペルチェ素子 (左：正面, 右：横)

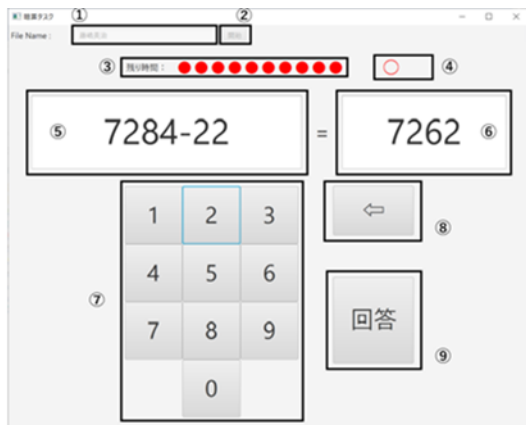


図 3：暗算課題の画面

2.3 実験内容

1 回の計測につき 2 分間の暗算課題を行ってもらった。暗算課題は PC モニタ上で行う。図 3 に実際の暗算課題の画面を示し、画面の説明を以下に記述する。

- ① ファイル名入力欄：回答結果のファイル名を入力
- ② 開始ボタン：暗算課題開始ボタン
- ③ 残り時間表示エリア：10 個の赤丸で残り時間表示
- ④ 正誤表示エリア：前の問題の正誤表示 (○ or ×)
- ⑤ 問題表示エリア：減算の問題を表示
- ⑥ 回答入力表示エリア：入力中の回答を表示
- ⑦ テンキーボタン：回答入力に使用するボタン
- ⑧ 取消ボタン：回答入力を 1 桁取り消すボタン
- ⑨ 回答ボタン：入力を確定して回答するボタン

温度制御条件は、冷却・加熱・制御なしの 3 パターンである。これら 3 パターンの計測を 1 試行とし、順番を入れ替えるため全部で 6 試行を行った。

本計測を始める前に、鼻部皮膚の過熱・冷却テストを行い、被験者が痛みや過度な温冷感を感じないかの確認を行った。

3. 先行研究の問題点と改善

3.1 作業課題の見直し

先行研究では、温度制御条件間で有意差が確認されなかった。その大きな原因として、実施した課題の難易度の低さが挙げられる。実際に、被験者全体の課題の平均正答率は 90 % を超えており、温度制御条件に関わらず高い正答率が出ていた。また、被験者の意見の中に、「出題される減算課題の繰り下がりの有無によって難易度に差が出ている」というものがあった。そこで、各被験者に出題された減算課題を繰り下がりが有る問題と無い問題に分けて結果を比較したところ、全被験者において繰り下がりの有る問題の方が正答率・回答時間のパフォーマンスが悪かった。さらに、繰り下がりの有り問題の出題率が被験者間、温度制御条件間で異なっていることが確認された。

そこで、課題の平均正答率を 50% まで下げることと難易度を統一することを目標に、出題する問題と制限時間の 2 点に対して以下の変更を加えることにした。

まず、出題する問題に対しては、先行研究では繰り下がりの無い問題によって正答率が高くなっていたため、繰り下がりの有る問題のみに統一させる。繰り下がりの有る問題として、一の位のみ繰り下がり、十の位のみ繰り下がり、一の位と十の位の両方で繰り下がりの 3 種類を使用する。これら 3 種類の出題率を全ての被験者と温度制御条件間で統一し、同一条件で実験が行えるようにした。また、先行研究では、実験前に被験者に対して速く正確に解くように指示していたが、本研究では、正答率を上げるためとにかく早く解くように指示をした。

次に、制限時間の変更点について説明する。先行研究で

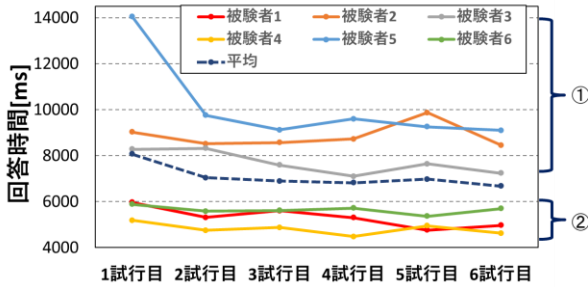


図 4：全温度制御条件における平均回答時間

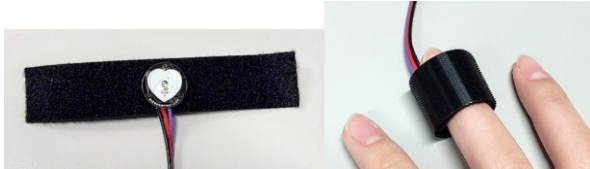


図 5：心拍センサ（左：装置本体，右：装着した様子）

は、課題全体で2分という制限時間はあったものの1問ずつには設けられていなかった。そのため、時間に余裕が生まれ、1問1問に時間をかけて解くことができ、正答率が高くなった被験者が見られた。そのため本研究では、出題する合計問題数を固定する代わりに、1問ずつに非常に短い制限時間を設ける。こうすることで、常に時間に追われている状態を作り出し、正答率を下げることができると考えられる。先行研究の実験データを使い、各被験者の回答時間を比較すると図 4 のようになる。①のように常に平均を上回っている人もいれば、②のように常に下回っている人もいる。そのため、被験者ごとに個別の制限時間を設定した方が良いと思われる。よって1問の制限時間は、被験者毎に1問にかける時間を事前に計測し、それよりも1秒短い時間に設定した。

3.2 心拍センサの導入

交感神経の活性化による身体反応として心拍の上昇があり、緊張と心拍数には相関があると考えられる。そのため、心拍センサを導入することで、生理指標からも鼻部皮膚温度制御装置の効果を評価できるようにする。心拍センサには、温度制御に用いている Arduino Uno R3 との接続に適している SparkFun Pulse Sensor を採用した。使用した心拍センサと心拍センサを指に装着した様子を図 5 に示す。

3.3 慣れの影響

先行研究では、被験者に練習として1回だけ予備試行をしてもらった後、本計測を6試行実施していた。しかし、先行研究の6試行分の正規化された平均回答数を表した図 6 を見ると、1試行目の回答数がそれ以降に比べて低い。よって、1試行目では、それ以降の試行よりも回答に時間が掛かる傾向があることが分かる。この影響を排除するために、予備試行の後に、さらに1回計測を行い、その後に6試行実施する。

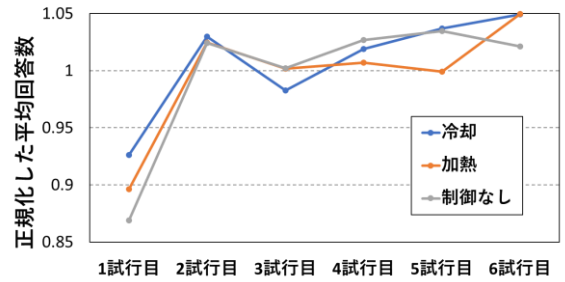


図 6：正規化された試行回数別回答数の比較

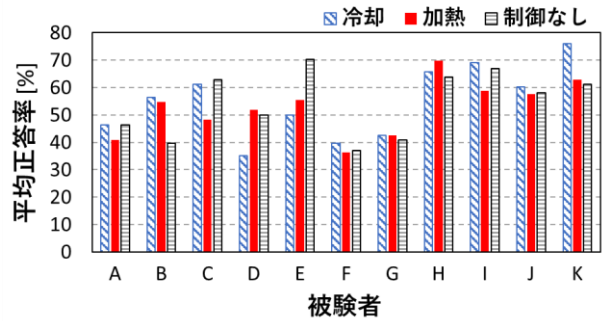


図 7：被験者毎の温度制御条件別の平均正答率

4. 実験内容

被験者の鼻部皮膚に温度制御装置を、指に心拍センサを装着した状態で暗算課題を解いてもらう。鼻部皮膚への温度刺激の条件は加熱・冷却・制御なしの3パターンとする。本計測前に、鼻部装置の温度と制限時間の設定のためのテストを行う。本計測では、1回予備試行を行った後に3通りの温度制御条件をランダムな順序で19回(1回+6試行)計測を行い、1回終了毎に一定の休憩を挟んだ。温度制御装置のみ付けて計測した者が6名、心拍センサも付けて計測した者が5名、計11名に対して実験を行った。

4.1 実験結果

被験者全体の平均正答率は53.9%であった。被験者毎の暗算課題の平均正答率を温度制御条件別に表したものが図 7 である。図 7 を見ると、最高平均正答率は11名中7名が冷却時に、3名が加熱時に、3名が制御なしに現れていることが分かる(内2名は重複)。しかし、正答率には大きな差は見られず、分散分析の結果、被験者全体でも被験者毎でも温度制御条件間で有意差は見られなかった。

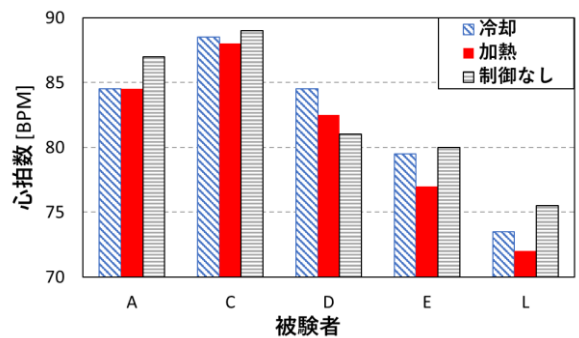


図 8：被験者毎の温度制御条件別の平均心拍数

次に、心拍センサを装着した5名の平均心拍数を温度制御条件別に棒グラフで表したものである。を見ると、最も高い心拍数は1名が冷却時に、4名が制御なし時に現れ、最も低い心拍数は1名が冷却時に、4名が加熱時に、1名が制御なし時に現れている（内1名は重複）。

先行研究では、実験後のアンケートにて、温感よりも冷感のほうが感じやすかったという意見が多く、冷却刺激によって気が散っている可能性があった。しかし、今回の実験では、全被験者が、気が散ることはなかったと答えている。先行研究に比べ、問題の難易度が高いことや、制限時間が短く焦りを感じていたことが理由として考えられる。

5. 考察

先行研究よりも平均正答率が下がったこと、冷却刺激によって気が散ったという意見がなかったこと、全試行の正答率に大きな差が見られなかったことから、先行研究の課題であった、正答率の高さや冷却刺激による集中力の低下、慣れの影響の問題は解消されたと考えられる。

しかし、最高平均正答率や心拍数からは、温度制御条件間での有意差が確認されなかったことから、鼻部皮膚への温度制御による作業能率向上手法の効果は確認されなかった。この原因として、以下の2つが考えられる。

1つ目は、温度制御の仕方に問題があったということである。実験では、安全面を配慮した温度設定であったこと、制御箇所が鼻部皮膚のみであったことから、外部刺激が弱すぎて差が見られなかった可能性がある。今回の実験よりも温度範囲を広げると、痛みや火傷を引き起こす可能性があるため、鼻部皮膚以外の刺激箇所を検討する必要がある。

2つ目は、緊張の制御方法に問題があったということである。先行研究と本研究では、過去の論文が多く実験でも扱いやすいという理由で温度刺激を採用した。しかし、温度制御では効果が見られない可能性があるため、他の緊張制御手法を検討する必要がある。例えば疑似心拍は、振動刺激による緊張緩和効果を示した研究[9]や、心拍の虚偽情報を表示することで心拍数を操作できる可能性を示した研究[10]などが行われており、疑似心拍が緊張の制御方法として利用できる可能性がある。

6. おわりに

先行研究で提案された鼻部皮膚温度制御を介した緊張制御手法では、適度な鼻部冷却によるパフォーマンスの向上は示唆されたが、統計的に有意な効果は示されなかった。しかし、作業課題の難易度が低いことや、その難易度が条件間・被験者間で異なっていることなどの問題点が見つかり、温度制御による効果を正しく評価できていない可能性があった。

本研究では、出題する問題を繰り返り下りの有る問題に限定した上で、1問ごとに短い制限時間を設け、難易度の向上を図った。また、問題の難易度を条件間・被験者間で揃えたり、慣れの影響を排除したりすることで、平等な条件

下で評価を行えるようにした。さらに、心拍センサを導入し、生理指標からの評価も試みた。

以上の変更点を加え、先行研究と同様の実験を行った結果、正答率・心拍数の分析結果からは、温度制御条件間で有意差は確認されなかった。よって、我々が用いた鼻部皮膚温度制御装置では、作業能率向上の効果は示唆されないということと、心拍に影響を与えるほどの変化は起こせないことが分かった。

参考文献

- [1] James, William: *Emotion, Psychology: The briefer course*, pp.240-242, Henry Holt and Company, 1892.
- [2] 牛尾大翔, 水口充: 温度提示による情動制御手法の提案, エンターテインメントコンピューティングコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, pp.99-102, 2020.
- [3] 坂本涼, 野澤昭雄, 田中久弥, 水野統太, 井出英人: 顔面熱画像によるドライバーの覚醒評価一周辺温度と風量の影響一, 電気学会論文誌 C, Vol.126, No.7, pp.804-809, 2006.
- [4] 隈元美貴子, 柳田元継, 保富貞宏, 西田綾美, 玄松玉, 杜小沛, Rodis, M. M. Omar, 假谷直之, 西村美智子, 松村誠士, 下野勉: ストレスおよびその回復の評価法に関する研究, 小児歯科学雑誌, Vol.46, pp.578-584, 2008.
- [5] 森万由花, 藤嶋英治, 柳田康幸: 鼻部皮膚温度刺激を介した緊張感制御による作業能率向上手法の提案, 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2B1-1, 2021.
- [6] 大久典子, 鈴木真悠子, 佐々木春香, 山家智之, 吉田克己, 張替秀郎, 賀来満夫: 計算負荷における心拍変動と脳神経細胞の酸素代謝, 自律神経, Vol. 40, No.2, pp.166-169, 2003.
- [7] 一般社団法人 日本創傷外科学会, やけど(熱傷) | 一般社団法人 日本創傷外科学会 一般の皆様へ, <https://www.jsswc.or.jp/general/yakedo.html>, 2022/07/15 閲覧.
- [8] 凍傷(外傷|焼傷・電撃傷・凍傷など)とは - 医療総合QLife, https://www.qlife.jp/dictionary/item/i_311245000/, 2022/07/15 閲覧.
- [9] Mingdi Xu, Takeshi Tachibana, Nana Suzuki, Eiichi Hoshino, Yuri Terasawa, Norihisa Miki, Yasuyo Minagawa: The effect of haptic stimulation simulating heartbeats on the regulation of physiological responses and prosocial behavior under stress: The influence of interoceptive accuracy, *Biological Psychology*, Vol.164, 108172, 2021.
- [10] 中村憲史, 片山拓也, 寺田努, 塚本昌彦: 生体情報の可視化システムにおける虚偽情報の影響の評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-UBI-30, No. 1, 2011