



無関帯での予冷予熱温度の差による Thermal grill illusion 発生 時間の変化

Change in Thermal grill illusion occurrence time due to difference in precooling and preheating temperature in the neutral zone

木本 涼太郎¹⁾, 嵯峨 智¹⁾

Ryotaro Kimoto and Satoshi Saga

1) 熊本大学院 自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 - 1 号)

概要:

我々の以前の研究では予熱予冷を行い Thermal grill illusion を行うと痛みを知覚するまでの時間が短縮されることがわかった。そこで人が温覚冷覚共に順応する無関帯と言われる温度帯である 30 °C から 36 °C の間で予熱予冷の温度の差を ± 1 °C, ± 2 °C, ± 3 °C と大きくして行った場合の痛みを知覚するまでの時間変化を定量的に評価する。

キーワード: サーマルグリル錯覚, 無関帯, 痛覚, ペルチェ素子

1. はじめに

Head Mounted Display (HMD) をはじめとした Virtual Reality (VR) 技術の発展により, 視聴覚のみならず触覚の VR 空間内での提示が実現しつつある。しかし, 触覚刺激の多くは機械刺激のうち, 主に振動刺激に限定された提示に限られることが多く, 痛覚のような感覚提示はまだ汎用的に実現するレベルにない。もし VR 空間において痛覚を提示することができれば, ゲームにおけるリアリティ実現や, 医療行為におけるペインコントロールなど様々な場面での応用が考えられる。

触覚における錯覚刺激の一つとして Thermal-Grill illusion が知られている。この錯覚は, 約 40 °C の温かさと約 20 °C の冷たさが空間的に交錯すると人間は灼熱感が生じるというもので, 1896 年に Thunberg によって観測された [1]。これを利用することで実際には侵害的な痛みを提示することなく痛みとしての感覚を生起することができる。この現象を利用して, Watanabe et al. [2] は痒み抑制を, 吉田ら [3] は辛みを提示する機器を開発している。

一方で, Sato et al. [4] はペルチェ素子を複数枚組み合わせ, 空間的な熱の分布をあらかじめ作ることで, 擬似的に高速に温度変化の感覚を提示する手法を提案している。また, Ahmad et al. [5] により非対称の温度変化による温度上昇感のみを提示する錯覚なども知られており, 温度提示に関する研究が進展している。そこで今回我々は Sato et al. の手法を応用し, Thermal-Grill illusion における熱空間分布と予熱予冷を組み合わせることで, 痛みを引き起こすまでの時間を短縮できることを示した [6]。人は温覚, 冷覚ともに順応することができる温度帯である無関帯がある。

この無関帯は 30-36 °C であり, 無関帯以上あるいは以下の温度では, 例え長時間皮膚温を一定に保ったとしても順応が起こらず温覚あるいは冷覚が持続する [7]。そこでこの範囲内で予熱予冷の温度を ± 1 °C, ± 2 °C, ± 3 °C と変化させたときに痛みを引き起こすまでの時間を短縮できるのかを検証する。

2. 提案手法

Sato et al. はペルチェ素子により, あらかじめやや温かい, もしくはやや冷たい提示のいずれかを交互にユーザに提示しておき, そこからの急激な熱変化により, 通常のペルチェ素子の様な熱分布による変化よりも高速変化を知覚可能な手法を提案した。我々は, Sato et al. の手法を元に, あらかじめ作られた空間的な温度分布と予熱予冷を行うことで Thermal-Grill illusion をより高速に生成する手法を提案する。我々は図 1 のような装置を構成した。図 1 に示すように装置は 4 つの領域に温度提示可能である。今回の手法では, 時間経過と実験過程による実験協力者の指先の温度の変化による結果への影響を排除した結果を得るため, 実験協力者の指先の温度を統一する。実験協力者は図 1 の 4 つの中心に指先をおいてもらい, A の領域には温刺激を, B の領域には冷刺激の提示を割り当てて刺激することで, Thermal-Grill illusion を高速に生成することを狙う。

3. 実験手法

今回は実験協力者として 22-24 歳の健康な男性 5 名に実験参加してもらった。実験はまず指先の皮膚温度を統一するために, 約 33 °C または約 34 °C に設定したペルチェ素子に 3 分間指先を置いてもらう。その後, 予冷予熱を行っ

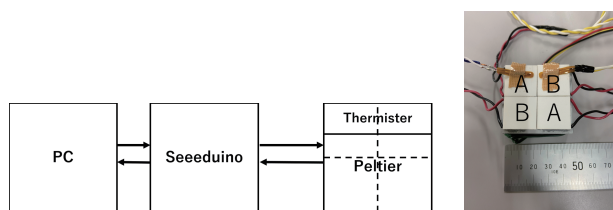


図 1: 左: 実験システム, 右: 熱提示部位

た別のペルチェ素子に指を置いてもらい刺激開始から痛みを感じるまでの時間を計測する。

今回実験協力者の指先の温度を 33°C または 34°C に設定したのは、人は $30\text{--}36^{\circ}\text{C}$ は、無関帯と言われる温度帯であり、この帯域では温度感覚の完全な順応の起こる温度範囲のためである。実験は予熱予冷の温度が統一温度の 34°C から $+1^{\circ}\text{C}$, -1°C の場合、 34°C から $+2^{\circ}\text{C}$, -2°C の場合と 33°C から $+3^{\circ}\text{C}$, -3°C の場合の 3 つのパターンで 10 回ずつの計 30 回一人の実験協力者で測定を行った。ペルチェ素子の温度変化の推移を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ と $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の場合を図 2 に示す。

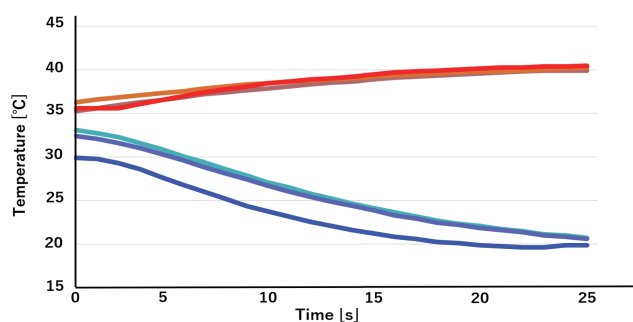


図 2: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ と $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 実験に使用するペルチェ素子の温度の推移

温度設定をした実験装置 (図 1) の 4 つのペルチェ素子の中心に右手の人差し指を置いてもらい、実験協力者に実験開始のテンキーを押してもらい、テンキーを押してもらったとペルチェ素子の温度が約 40°C と約 20°C に変化するので、実験協力者が痛みを感じた時点でもう一度テンキーを押してもらい、1 回の測定が終わったら 3 分休憩をとる。測定を行うにあたり、実験協力者には予熱予冷温度に差異があることは伝えずに行った。実験協力者が痛みを感じてテンキーを押した後に、痛みの強さについての痛くない、少し痛い、痛い、まあまあ痛い、とても痛いの 5 段階での回答と痛みの質についての主観評価を回答してもらい、収集した。

4. 実験結果

それぞれの実験協力者の予熱予冷を温度差 1°C と温度差 2°C , 温度差 3°C で行った場合の結果を図 3 に示す ($p < 0.05$)。

以上の結果より、すべての実験協力者において、予熱予冷温度が $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の場合痛みを感じるまでの平均時間が短縮

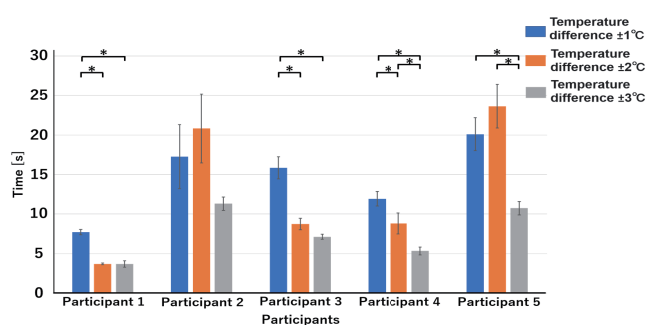


図 3: 各実験協力者の結果

されていることが分かった。また、One - way repeated - measures ANOVA での有意差確認ののち、多重比較検定として Scheffe の検定を実施したところ、図 3 に示すように、予熱予冷温度が $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の場合多くのパターンで有意差が確認された ($p < 0.05$)。

次に、温度変化の推移と各実験協力者がどの時点で痛みを感じたのかを図 4 に示す。

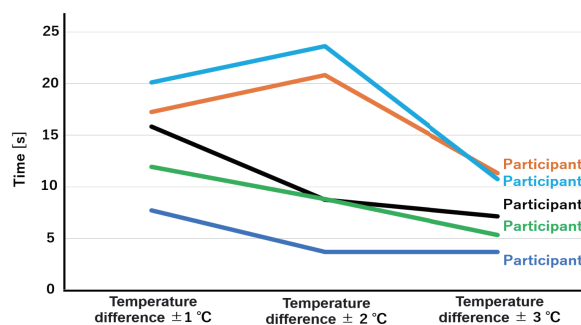


図 4: 各実験協力者のそれぞれ温度帯での痛みを感じるまでの時間

予熱予冷温度が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の場合より $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の場合のほうが痛みを感じるまでの短かった実験協力者 2 と 5 は、実験後の聞き取りから冷え性であることが分かっている。しかしその冷え性の実験協力者 2 と 5 についても $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の場合に一番早く痛みを感じていることがわかる。このことから、冷え性であっても、予熱予冷の温度が一定のラインを超えると冷え性でない人と同様に予熱予冷の効果が表れている可能性が考えられる。

次に全実験協力者の結果をまとめたものを図 5 に示す ($p < 0.05$)。

One - way repeated - measures ANOVA での有意差確認ののち、多重比較検定として Scheffe の検定を実施したところ、以上の結果より温度差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ と $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の場合のみ有意差が認められなかったが、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ と $\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の間では有意差が認められた。

また、先ほど冷え性であることが分かっていた実験協力者 3 と 5 の結果を除いたものを図 6 に示す ($p < 0.05$)。

実験協力者 3 と 5 を抜いた場合には $\pm 2^{\circ}\text{C}$ と $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の間での有意差がなくなり、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ と $\pm 2^{\circ}\text{C}$ での有意差が認

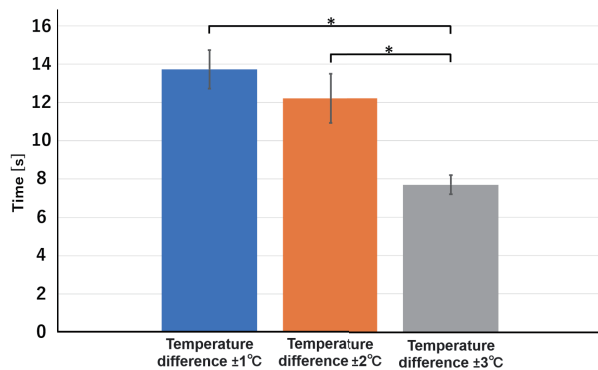


図 5: 全実験協力者の結果

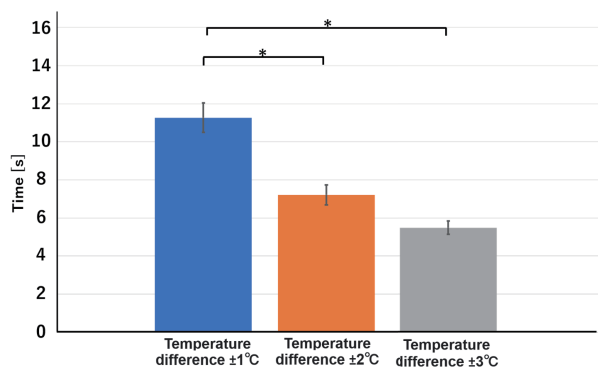


図 6: 全実験協力者の結果

められるようになった。

次に痛みの強さについてのアンケート結果を図 7 に示す。今回痛くないを 1 点、少し痛いを 2 点、痛いを 3 点、まあまあ痛いを 4 点、とても痛いを 5 点として各実験協力者の回答結果をそれぞれの予熱予冷温度ごとにまとめ、試行回数で割ることで平均の痛みの強さを算出した。

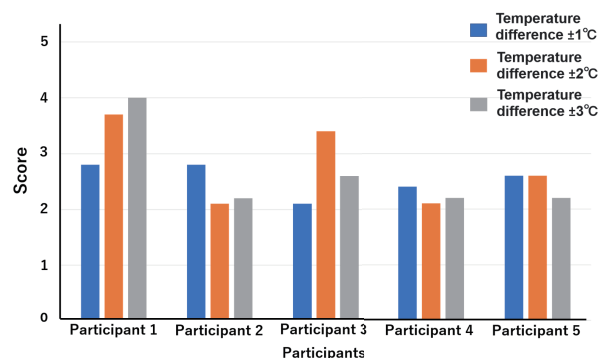


図 7: 全実験協力者の痛みのスコア

以上の結果より、痛みを感じるまでの時間と痛みの強さの間に関係性を見出すことはできなかった。

5. まとめと今後の展望

本実験では予熱予冷の温度を無関帯の範囲内で変化させた場合痛みを感じるまでの時間に変化があるのかを確認した。実験結果の図 3 より実験協力者 2 と 5 については温度差が 2°C の場合より 1°C の場合のほうが痛みを感じるまでの時間が短かったが、それ以外の協力者は予熱予冷の温度差が大きくなると痛みを感じる前での時間が短くなることが分かった。また、実験協力者 2 と 5 についても予熱予冷の温度差が 3°C の場合が最も痛みを感じるまでの時間が短いことが分かった。実験協力者 1 の結果を見てみると予熱予冷温度が $\pm 2^\circ\text{C}$ の場合と $\pm 3^\circ\text{C}$ の場合を比べるとわずかに $\pm 3^\circ\text{C}$ 場合のほうが痛みを感じるまでの平均時間は短くなっているが、ほとんど変化がなく有意差もないことから、この実験協力者のこの手法での痛みを感じるまでの時間の最小値に近づいているのではないかと考えられる。また図 7 より痛みの強さについては、痛みを感じるまでの時間との関係性を見つけることができなかった。

今後は実験のデータを増やすだけでなく、冷え性の実験協力者ではそうでない実験協力者と差があるのかの確認や予熱予冷温度差が大きいほうがより早く痛みを感じる可能性があるので、無関帯の範囲を超えた温度 $\pm 4^\circ\text{C}$ などでも実験を行っていきたいと考えている。またほかの実験協力者でも実験協力者 1 のように温度差を大きくして言った場合に結果収束していくのかなどを確認していく必要があると考えている。

参考文献

- [1] Torsten Thunberg. Förmånelserne vid till samma ställe lokaliserad, samtidigt pågående köld-och värmeretning. *Uppsala Läkkfören*, Vol. 2, pp. 89–95, 1896.
- [2] Ryo Watanabe and Hiroyuki Kajimoto. Development and evaluation of vibration and alternating temperature stimuli of a roller-type itch-relief device. *International Journal of Affective Engineering*, pp. IJAE–D, 2016.
- [3] 吉田圭佑, 小川剛史. サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 189–196, 2018.
- [4] Katsunari Sato and Takashi Maeno. Presentation of rapid temperature change using spatially divided hot and cold stimuli. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 25, No. 3, pp. 497–505, 2013.
- [5] Ahmad Manasrah, Nathan Crane, Rasim Guldiken, and Kyle B Reed. Perceived cooling using asymmetrically-applied hot and cold stimuli. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 10, No. 1, pp. 75–83, 2017.
- [6] 木本涼太郎, 嵯峨智. 温冷刺激の空間分割提示による Thermal-Grill illusion 発生時間高速化手法の検証. ハプティクス研究会, pp. 32–33, 2020.
- [7] Robert F. Schmidt, editor. 感覚生理学. 金芳堂, 1982.