



化学物質を用いたサーマルグリル錯覚

Thermal grill illusion using chemicals

浜崎拓海¹⁾, 金田実久²⁾, 張建堯²⁾, 金子征太郎²⁾, 梶本裕之²⁾

Takumi HAMAZAKI, Miku KANEDA, Jianyao ZHANG, Seitaro KANEKO, and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, hamazaki@kaji-lab.jp)

2) 電気通信大学 大学院情報学専攻 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kaneda, zhang, kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要 : サーマルグリル錯覚は皮膚上に温刺激と冷刺激を近距離で同時に提示すると痛覚や灼熱感が知覚されるという現象である。本研究ではカプサイシンやメントールといった化学物質によって皮膚温度を変化させない温度提示を行った際にサーマルグリル錯覚が生じるか検証することを目的とした。実験は被験者の各化学物質に対する反応を調べ、その後肌の同一箇所または隣り合わせに2つの化学物質を塗布し、サーマルグリル錯覚の生起を検証した。

キーワード : 触覚, サーマルグリル錯覚, 化学物質, 錯覚

1. はじめに

サーマルグリル錯覚は皮膚上に温刺激と冷刺激を空間的に交互に与えると灼熱感や痛みを感じる錯覚現象である[1]。この現象は皮膚に無害な刺激温度であっても痛覚の生起が可能な点が利点となっており、バーチャルリアリティ (VR) 空間上の痛み提示[2]や痒み抑制[3]に使用されている。サーマルグリル錯覚の痛みは焼けるような痛みに加え、冷たく凍るような痛みも生起することが知られている[4]。

本錯覚現象の提示には主にペルチェ素子[5]やヒートランプ、超音波[6]が使用されている。ただしペルチェ素子は単体で発熱と吸熱が可能であるものの消費電力が大きいという問題がある。また、超音波やヒートランプを使用した温度提示は非接触で行うことが可能だが装置が大がかりになってしまうという課題がある。

これらの物理的に温度を変化させる手法に対してカプサイシンやメントールなどの化学物質を用いた温度提示方法がある。化学的提示方法は塗布するだけで温度提示が可能であるためデバイスの小型化にも適している。例えば Brooks ら[7]は化学物質を用いて鼻腔内の三叉神経終末を刺激し、冷温感提示を行っている。これは鼻に対して刺激して温度を知覚させているが肌に直接温度提示をしているわけではない。またサーマルグリル錯覚が生じるかという観点での検証は行っていない。Schaldemose ら[8]はカプサイシンの熱痛覚過敏と冷熱感覚の低下を利用し温度閾値を下げた後、皮膚に対して直接、物理的な温度提示を用

いて知覚温度の変化やサーマルグリル錯覚が生起するか検証を行っている。これは化学物質と物理温度提示の合成的手段といえるが、化学物質のみを用いて温度を提示していない。

本研究では、物理的な温度提示をすることなく化学物質を用いて冷温感を提示し、サーマルグリル錯覚を生じさせることを提案する。これにより省エネルギーで小さな痛覚提示手法が可能になると考えられる。本稿ではカプサイシンとメントールを用いて痛みや温度感を主観的に評価する実験を行い、化学物質によるサーマルグリル錯覚の生起について考察する。

2. 実験

2.1 実験概要

本実験の目的は、化学物質のみの温度提示で痛覚を生起可能であることを検証することである。温度提示を行う化学物質として温刺激をカプサイシン、冷刺激をメントールとして2種類を用いた。2種類の化学物質単体を塗布した場合、各化学物質を混ぜた溶液を塗布した場合、隣り合わせにそれぞれ塗布した場合、のそれぞれの温度感と痛みを比較した。

2.2 実験条件

被験者は男性9名女性1名(21歳から26歳)の10名を対象に行った。実験は2日に分けて行い、1日2条件の測定を行った。刺激条件はカプサイシン溶液単体、メントール溶液単体、カプサイシンとメントールの混合溶液、カ

ブサイシンとメントールを隣り合わせに塗布する 4 条件で行った (図 1)。1 日目はカプサイシン単体とメントール単体, 2 日目は混合溶液, 隣り合わせの条件で実験を実施した。

カプサイシン, メントールを塗布した際, 実際に感覚を生じ始めるにはそれぞれ数分程度の時間遅れがある。今回は隣り合わせの条件の際にはこの時間遅れを考慮し, 1 日目の結果を踏まえて各被験者に対してカプサイシンとメントールを時間差を設けて塗布し, なるべく同時に知覚が発生するように試みた。

本実験で使用するメントールはハッカ油 (健康製薬, メントール濃度 30%), カプサイシンはエタノール 70% 精製水に溶かし 5% 濃度カプサイシン水溶液を使用した。これらの溶液を図 1 のように 3cm 四方のガーゼに染みこませ皮膚に塗布した。その上から 5cm 四方の粘着包帯を被せることで実験中, ガーゼが乾燥し皮膚から離れないようにした。

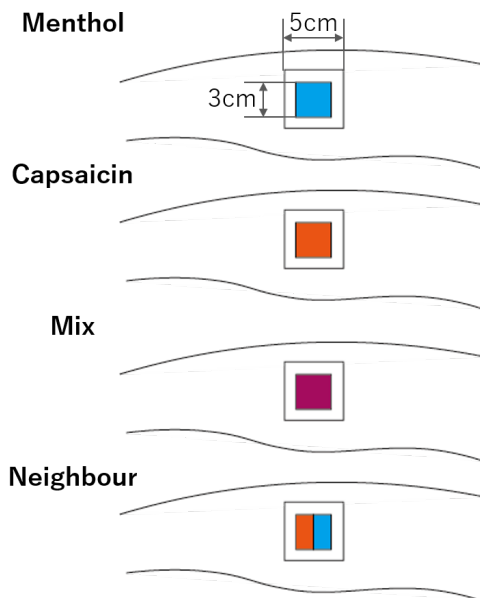


図 1 塗布する条件

2.3 実験手順

被験者は図 2 のように前腕に化学物質を塗布し, 1 条件につき 30 分間刺激した。被験者は 1 分毎に 3 つの尺度で回答を行った, それぞれ, 1) 温度感について 4 から -4 の 9 段階リッカートスケール (4: “とても熱い”, -4: “とても冷たい”), 2) 痛みについて 0 から 4 の 5 段階リッカートスケール (4: “とても痛い”, 0: “感じない”), 3) 質的な主観評価である。質的な主観評価では 10 個の感覚項目を用意し回答時には複数回答可とした。項目はそれぞれ “感覚なし”, “冷たい”, “ひんやりする”, “熱い”, “温かい”, “灼熱感がある”, “凍結感がある”, “気持ちが良い”, “奇妙な”, “痛い” である。

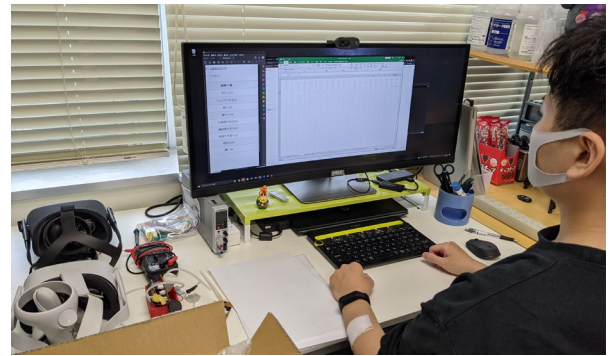


図 2 実験中の様子

2.4 実験結果

まずリッカート尺度を用いた回答を図 3, 図 4, 図 5, 図 6 に示す。なお回答の数値は縦軸を -4 から 4 としているため, 痛みに関してはグラフの上半分のみプロットされている。

メントール塗布時 (図 3) の痛みを見ると常に小さい値を取っており変化量も小さいのに対し, 温度感を見ると単調に減少している。よってメントールは冷刺激が可能で痛みを提示しないことがわかる。対してカプサイシン塗布時 (図 4) は痛み, 温度感ともに単調増加している。よってカプサイシンは温刺激とともに痛みを提示することが可能であることがわかる。なお温度感より痛みが強く表れている。

サーマルグリル錯覚が発生すると期待される混合溶液塗布時 (図 5), 及び隣り合わせ条件 (図 6) の概形はそれぞれメントール塗布時とカプサイシン塗布時に類似している。混合溶液では痛みが大きく生じなかったのに対し, 隣り合わせ条件は痛みが生起していることがわかる。

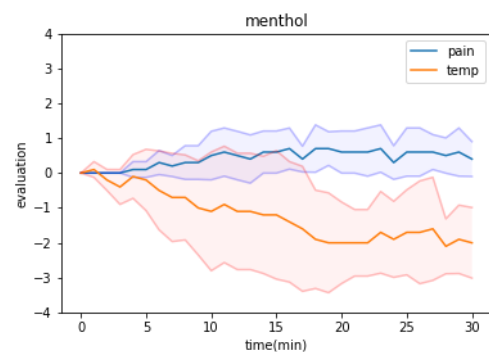


図 3 メントール塗布時の時間変化

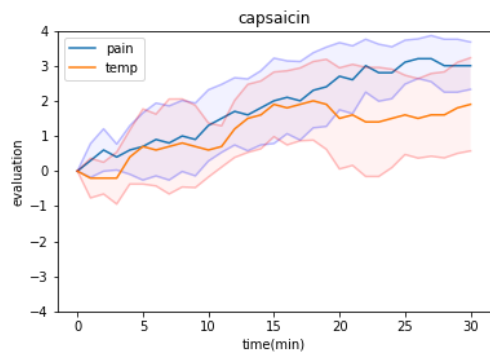


図 4 カプサイシン塗布時の時間変化

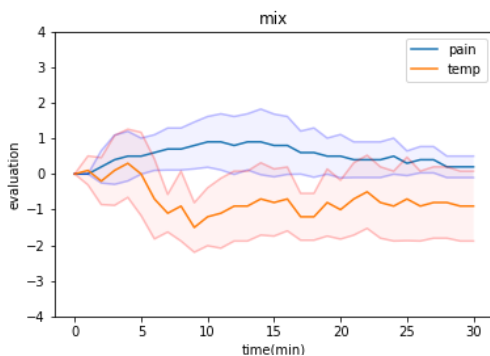


図 5 混合溶液塗布時の時間変化

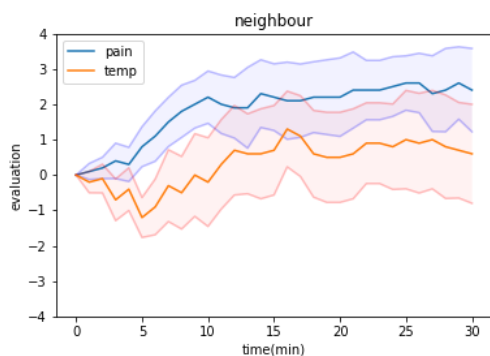


図 6 隣合わせ条件の時間変化

隣合わせ条件とカプサイシン単体の概形は類似しているが時系列データの前半に多少の差異が見られる。このことから各条件において時間に着目した調査を行った。5分後、10分後、15分後の結果を図7、図8、図9に示す。各組み合わせに対して Wilcoxon の符号順位検定を行うことで有意性を評価した。塗布5分後の結果では、混合液はどの条件とも有意な差はなかったが隣り合わせの条件はカプサイシン単体と同様程度の痛みが生じ、カプサイシン単体やメントール単体と比較し有意に冷たく感じていることが示された。塗布10分後の結果では、隣り合わせ条件の痛みはカプサイシン単体よりも有意に高い傾向にあった ($p<0.1$)。温度感に関してはばらつきが大きく、被験者が一意に知覚していないといえる。塗布15分後の結果では隣り合わせ条件はカプサイシン単体より知覚する

温度が低い傾向にあり ($p<0.1$)、痛みの知覚は同程度であった。また、隣り合わせ条件は混合溶液に比べて痛みの値が高い傾向にあった ($p<0.1$)。

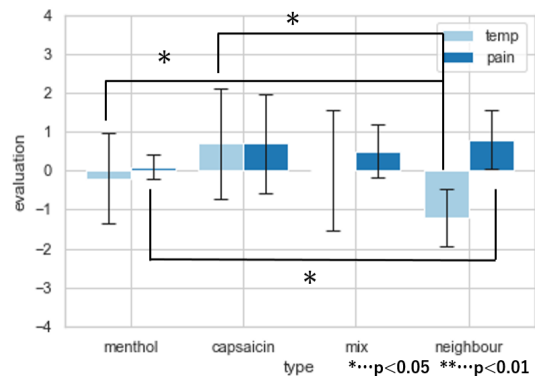


図 7 塗布5分後の結果

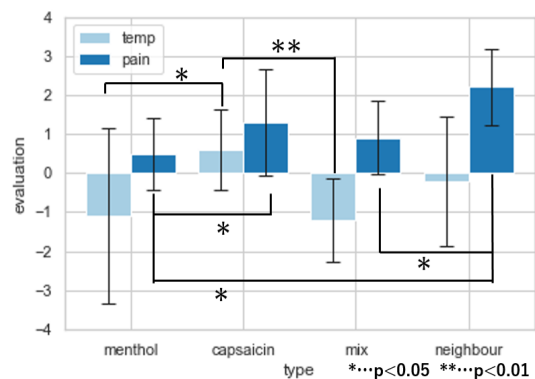


図 8 塗布10分後の結果

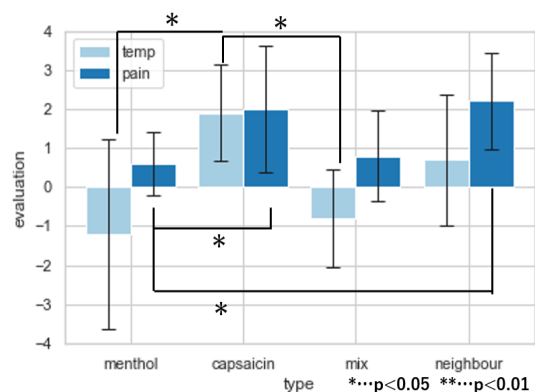


図 9 塗布15分後の結果

最後にカプサイシン単体の場合と隣合わせ条件の1分ごとの回答時における主観評価の回答数を全被験者に対してまとめたものを図10、図11に示す。本稿ではカプサイシン単体と隣り合わせ条件の比較を行うために温度に関する主観評価の回答数のみを選定した。カプサイシン単体は“温かい”、“熱い”、“灼熱感がある”といった温かさに関する回答が多いのに対し、隣り合わせ条件は“ひんや

りする”, “冷たい”といった冷たさに関する回答が多く, “灼熱感がある”といった回答はカプサイシン単体と同程度であった. 以上のことからカプサイシン単体と隣り合わせ条件では生起する温度感は異なっているものであると言える.

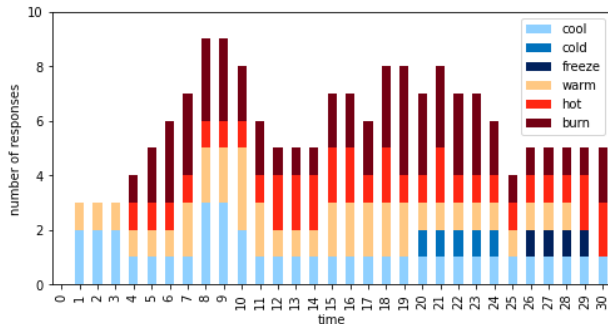


図 10 カプサイシンの温度に関する主観評価

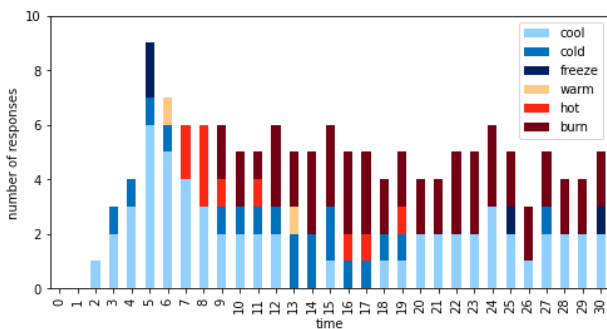


図 11 隣り合わせの温度に関する主観評価

3. 考察

実験の結果より化学物質を隣り合わせで塗布して温度提示を行うことで痛みが生起し, それぞれの化学物質を単独で塗布するときと比較し温度感が異なることがわかった. 先行研究からサーマルグリル錯覚が生起する痛みは燃えるような痛みとともに凍るような痛みが生起する[4][9]とされている. これに基づくと隣り合わせに塗布したときはサーマルグリル錯覚が生じていたことが示唆される. つまり化学物質を用いたサーマルグリル錯覚の生起は可能であることが示唆された.

対して混合溶液を塗布したときはメントール単体と類似した傾向がみられた. この結果はカプサイシンの温刺激がメントールの冷刺激にマスキングされていた可能性がある. カプサイシンとメントールは塗布されてから温度感覚が提示されるまでの時間に差があるため, 混合溶液ではサーマルグリル錯覚が生じなかったとも考えられる.

隣り合わせ条件は温刺激と冷刺激を近づけて温度提示することで痛みが生起するという従来のサーマルグリル錯覚の提示方法と一致しており, 実際に観測された結果からも同様の錯覚が生じていることが示唆される.

本実験の提案手法の制約として化学物質を塗布してから温度感覚が提示するまでに時間を要するため従来の温

度提示手法と比較し時間応答性が低いことが挙げられる. また, 化学物質を使った温度提示は効果が消えるまでに時間がかかるなど調整することが困難であるがアプリケーションを工夫することで解消できると考える.

4. おわりに

本研究では, 物理的な温度提示をすることなく化学物質を用いて温度を提示し, サーマルグリル錯覚を生じさせることを提案した. 実験の結果, カプサイシンとメントールを隣り合わせに貼ることでサーマルグリル錯覚が生じていることが示唆された.

今回はカプサイシン, メントールに対して塗布後に感覚を生起するまでに時間を計測し, 隣り合わせ条件ではその時間差を加味して同時に知覚されるように提示開始時刻をずらした. 今後は全被験者で時間差を統一する条件や, 同時に塗布する条件を追加して実験を行う予定である.

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP20H05957 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] AD Craig and MC Bushnell: The thermal grill illusion: unmasking the burn of cold pain, *Science*, Vol. 265, Issue 5169, pp. 252-255, 1994.
- [2] ThermoReal : “ Thermoelectric Device TEGWAY ” , TEGWAY, <http://tegway.co/tegway/>.
- [3] 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*, Vol.16, No.1, 2017.
- [4] Patrick Bach, Susanne Becker, Dieter Kleinböhl, and Rupert Hölzl : The thermal grill illusion and what is painful about it. *Neurosci Lett*, 2011.
- [5] 吉田 圭祐, 小川 剛史:サーマルグリル錯覚を用いた辛み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.
- [6] Mitsuru Nakajima, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda : Noncontact Pain Display by Temperature Control, *IEEE World Haptics Conference*, pp.9-12, 2019.
- [7] Jas Brooks, Steven Nagels and Pedro Lopes : Trigeminal-based Temperature Illusions, in *CHI2020*.
- [8] Ellen L. Schaldemose, Emilia Horjaes-Araujo, Peter Svensson, Nanna B. Finnerup : Altered thermal grill response and paradoxical heat sensations after topical capsaicin application, *PAIN*, Vol.156, No.6, pp.1101-1111, 2015.
- [9] Michihiro Osumi, Masahiko Sumitani, Satoshi Nobusako, Gosuke Sato and Shu Morioka : Pain quality of thermal grill illusion is similar to that of central neuropathic pain rather than peripheral neuropathic pain, *Scandinavian Journal of Pain*, 2021.