



化学物質を用いたサーマルグリル錯覚における 刺激配置の検討

Stimulus Placement in the Chemical-induced Thermal Grill Illusion

浜崎拓海¹⁾, 金田実久¹⁾, 金子征太郎¹⁾²⁾, 梶本裕之¹⁾

Takumi HAMAZAKI, Miku KANEDA, Seitaro KANEKO and Hiroyuki KAJIMOTO

- 1) 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,
{hamazaki, kaneko, kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)
- 2) 日本学術振興会

概要: サーマルグリル錯覚(TGI)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現象である。我々は2種類の化学物質を用いて隣り合わせに塗布することでTGIが生起することを確認している。本稿ではより強い錯覚を生起させることを目的として化学物質を含ませるガーゼの配置を変化させたときのTGIへの影響を検証する。6種類の配置に対して痛みや温度感を主観的に評価する実験を実施した。

キーワード: サーマルグリル錯覚, ケミカルハプティクス, 錯触覚

1. はじめに

サーマルグリル錯覚(TGI)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][2]。この現象を利用すると皮膚に無害な刺激温度であっても痛覚の生起が可能となるため、バーチャルリアリティ(VR)空間上の痛み提示[3]や痒み抑制[4]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[5]。

本錯覚現象の提示には主にペルチェ素子[6]やヒートランプ、超音波[7]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る課題が存在する。

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。本手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。このような化学物質を用いた手法は温度提示だけでなく触覚提示にも活用されている[8]。

我々はカプサイシンとメントールを隣り合わせに塗布

し温度提示を行うことでTGIが生起することを確認した[9]。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。この時間遅れを補償するように時間差を設けて塗布することで特に強い錯覚が生起し、時間差を設けず塗布することでも弱い錯覚が生起することが確認できた。

本手法を実際に利用する場面では時間差を設けず塗布するだけで強い錯覚が生起することが理想的である。ここで我々は刺激の配置に着目した。先行研究において、温感と冷感が同時に提示された際に発生するサーマルリファレル現象は、配置に依存してその強度が変化することが示されている[10]。これよりTGIにおいても配置に依存して強度が変化することが推測される。本稿では化学物質の塗布する配置を変化させることでより強いTGIが生起するか検証する。

2. 実験

2.1 実験概要

本実験の目的は、温刺激と冷刺激を行う化学物質の塗布する配置によってTGIの感覚が増強するか検証することである。温度提示を行う化学物質としては温刺激にカプサイシン、冷刺激にメントールを用いた。

2.2 実験条件

男性 9 名女性 1 名 (21 歳から 28 歳) の 10 名を被験者として実験を行った。実験は 6 日に分けて行い, 1 日 1 条件の測定を行った。刺激条件は前腕に対して, 横方向の配置, 縦方向の配置, 囲うような配置をそれぞれカプサイシンとメントールの配置を入れ替えることで計 6 条件を行った (図 1)。

本実験で使用するメントールはハッカ油 (健栄製菓, 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。この時, 温刺激と冷刺激の刺激面積は同じになるように統制した。また, 粘着包帯の右上に印をつけ, 印をつけている側が前腕の近位になるように配置した。

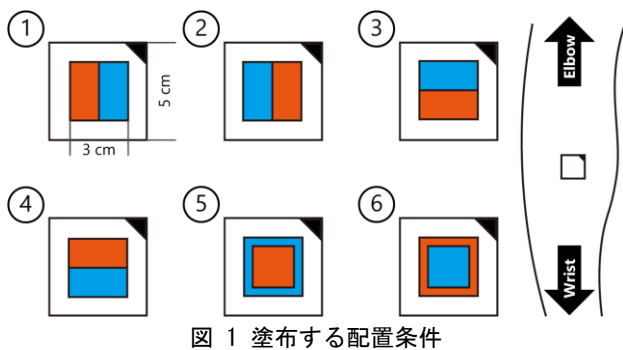


図 1 塗布する配置条件

2.3 実験手順

被験者は前腕の外側 (甲側) 中央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。

2.4 実験結果

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

条件 5 では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, 温度感覚に着目すると減少傾向にあった。条件 5 を除いたほかの条件では痛みが単調に増加し 15 分以降から温度感覚に上昇傾向が見られ, 概形が類似していた。

条件 5 を除いたほかの条件では概形は類似しているが時系列データの後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。それぞれの条件における塗布 20 分後, 25 分後の結果を図 2, 図 3 に示す。痛みは各条件において差が見られた。温度感覚はどの条件でも分散が大きく, 条件 5 を除いた条件では被験者によって温冷の識別が大きく異なっていた。Friedman 検定を行った結果, 温度感覚において配置における主効果は見られず痛みにおいて認められた。その後, 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 20 分後の結果では, 縦置きに配置し塗布する向きだけが異なる条件 3, 4 間で有意差があった。条件 5 は他の条件と比較し, 低い値を取っており条件 2 と条件 4 より有意に低いことが得られた。また, 塗布 25 分後の結果では条件 5 と条件 6 を除いたすべての条件間で有意差があった。以上の結果から配置や向きによって生起する痛みの強さが異なることが明らかとなった。

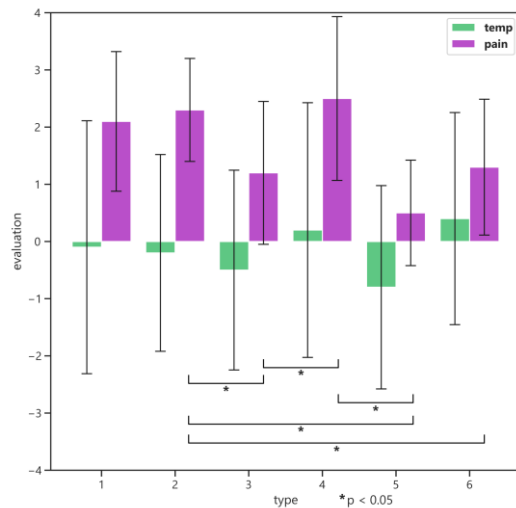


図 2 塗布 20 分後の結果

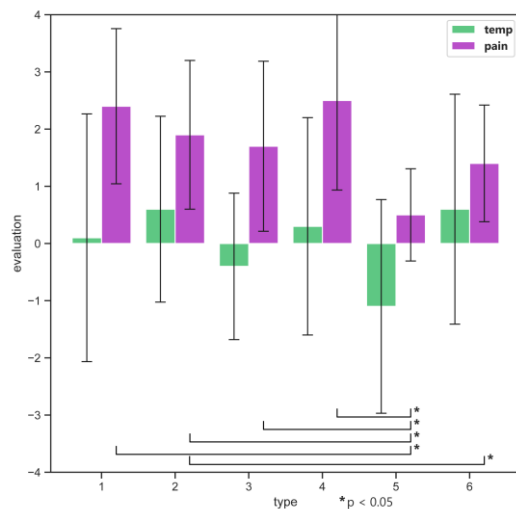


図 3 塗布 25 分後の結果

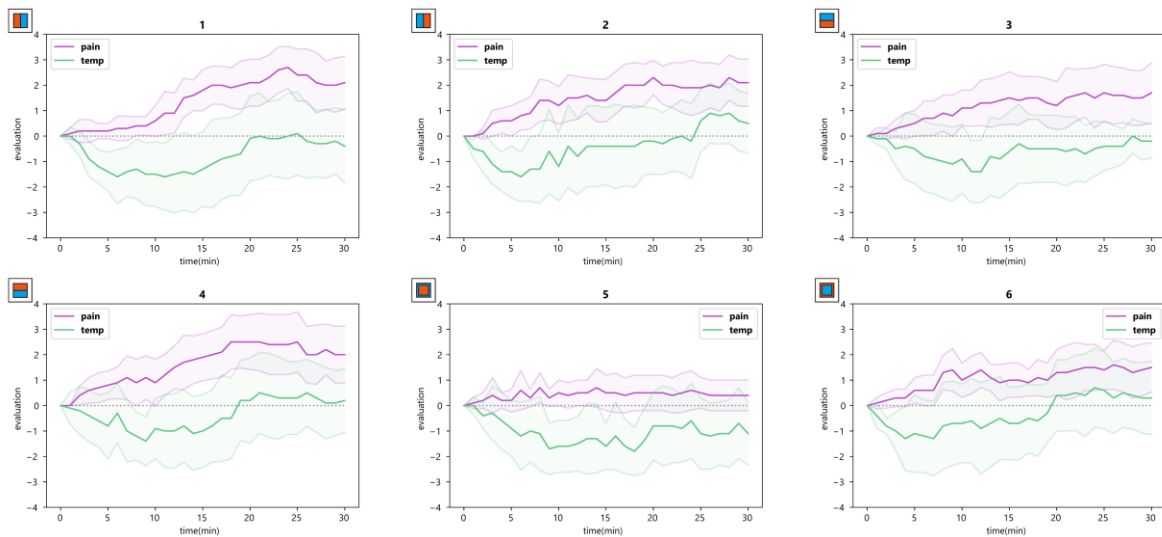


図 4 各配置条件における温度感覚、痛み感覚の時間変化

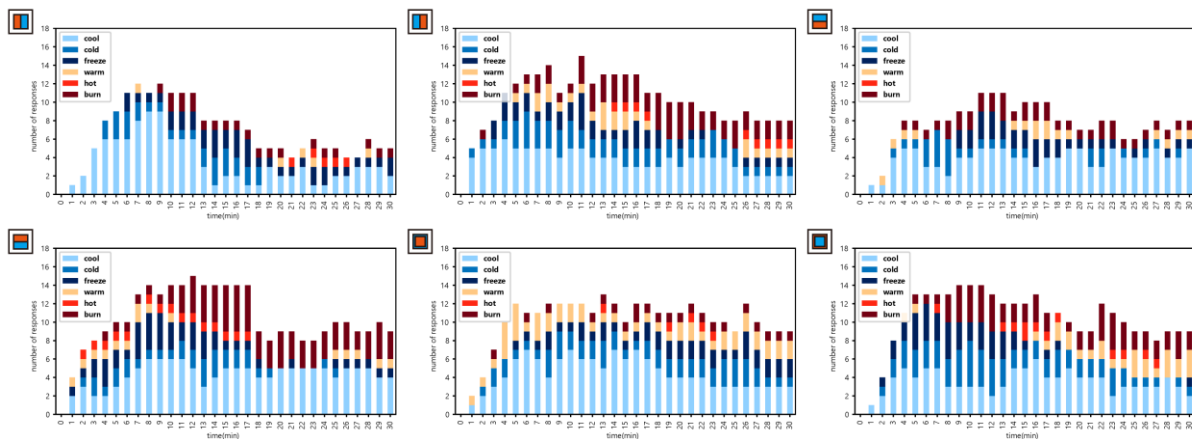


図 5 各配置条件における主観評価

最後に各条件の 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 5 に示す。本稿では識別が異なっていた温度感覚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。条件 5 では“灼熱感がある”, “凍結感がある”といった極端な温度感覚に関する回答が全くなく, “ひんやりする”, “冷たい”といった冷たさに関する回答が大半であった。他の条件では“灼熱感がある”, “凍結感がある”といった回答が見られた。特に条件 4 では多くの回答があり, 向きだけが異なる条件 3 やほかの条件と比較し灼熱感を感じていた。

3. 考察

実験の結果より化学物質の塗布する配置を変化させることで異なった感覚が生起することがわかった。中心にカプサイシン,それを囲うようにメントールを配置した条件 5 では時間変化や各時間の結果から痛みがあまり生起しないことが得られた。主観評価でも TGI が生起しているときに生起するような“灼熱感がある”, “凍結感がある”といった回答はあまり見られなかった。対して条件 5 を除いた

条件では時間変化や各時間の結果から痛みが生起し, 主観評価でも“灼熱感がある”, “凍結感がある”といった回答が見られた。以上の結果から条件 5 では TGI が生起せず, 他の条件では TGI が生起していることが示唆される。

前腕の近位方向にメントール, 遠位方向にカプサイシンを配置する条件 3 と向きだけが異なる条件 4 では各時間の結果では有意差が見られ, 主観評価の結果からも条件 4 のほうが強い TGI が生起していることが考えられる。渡辺ら [10]は触刺激提示部の知覚温度決定の際に, 別位置に提示された温度を参照するサーマルリファレンス現象が前腕の近位, 遠位によって参照されやすい温度感覚が異なることを発見している。これは熱い感覚は中心に向かって広がり, 冷たい感覚は末梢に向かって広がるためだと考察している。新井ら [11]は前腕の 3 点に温刺激と冷提示を同時に提示した際に温刺激を冷たく, 冷刺激を温かいと知覚する現象を発見している。彼らは前腕の手首 (遠位), 中央, 肘 (近位) に温冷感覚を組み合わせ刺激しており中央の刺激が熱いときは肘の地点で, 中央の刺激が冷たいときは手首の地点で逆の温度を知覚する傾向にあることも発見し

ている。この結果も渡辺らの考察と一致しているためだとしている。本実験の結果も、向きが異なっていることで知覚が変わるという点ではこれらのサーマルリファレルの先行知見と一致している。ただし彼らの結果ではサーマルリファレルは近位に冷刺激、遠位に温刺激の時に生じやすい（我々の条件では条件3）であり、我々の結果と異なっている。

我々は前報[9]の実験の中でメントールとカプサイシンの混合溶液を用いる条件も検討し、また本実験の条件5, 6のように片方の刺激でもう片方を困うようにして温度提示を行った。これらは温覚と冷覚をほぼ同じ場所に感じさせることでTGIを生じやすくなると期待していたが、実際にはいずれの場合も他の条件と比較し弱い錯覚しか生じなかった。そのため、TGIを生じさせるための温度提示は、むしろ冷覚と温覚が空間的に混じり合わないと感じさせることが必要ではないかと考えられる。また、本実験は先行研究と比較し、温度提示の面積が小さく、温冷刺激の間隔も狭いため、これらの影響も考えられる。

皮膚の表面は皮膚分節と呼ばれる領域に分けられている。1つの皮膚分節は、1つの脊髄神経根から伸びている感覚神経が支配する領域である。Francescaら[12]は無害な寒暖に反応する有髄A δ 線維と無髄C線維といった求心性神経間のセグメント距離を考慮して皮膚分節内および皮膚分節を越えた温冷刺激を行った。結果としてTGIの強さは求心性神経間のセグメント距離に依存した。セグメント距離が遠いものとして条件1, 2のように前腕に対して横向きな刺激のもの、近いものとして条件3, 4のような前腕に対して縦向きな刺激が挙げられた。そのため、条件4でTGIを強く生じたことはこれらの結果と一致している。また、条件2でもTGIが強く生じた理由として本実験で提示した場所は前腕の中央であったため横方向の皮膚分節間の境界にあたり、皮膚分節を超えずに皮膚分節内に刺激が提示されたことが考えられる。

本手法を実際に応用する際は、長時間強い痛みが生起する配置が適している。本実験で強いTGIが生起し、同一皮膚分節内に刺激が容易である条件4が適していると考えられる。化学物質のみを用いた温度提示は効果が消えるまでに時間がかかることや調整を行うことが困難であることから、リアルタイムに変化する環境を提示するVR用途よりは、痒み抑制のパッチ等への利用が見込まれる。

4. おわりに

本研究では、化学物質を塗布する配置を変化させ温度感覚を提示し、より強いTGIが生起させることを提案した。実験の結果、前腕の近位方向にカプサイシン、遠位方向にメントールを配置することでより強いTGIが生起することが示唆された。

今回は化学物質のみでの検証を行った。本論文で得られた結果が化学物質特有の熟知覚の影響であるか解明するために、今後はペルチェ素子や水といった物理的な温度感

覚提示を用いて同様の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] Patrick Bach, Susanne Becker, Dieter Kleinböhl, and Rupert Hölzl : The thermal grill illusion and what is painful about it. *Neurosci Lett*, 2011.
- [3] ThermoReal : “Thermoelectric Device TEGWAY” , TEGWAY, <http://tegway.co/tegway/>.
- [4] 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.
- [5] Patrick Bach, Susanne Becker, Dieter Kleinböhl, and Rupert Hölzl : The thermal grill illusion and what is painful about it. *Neurosci Lett*, 2011.
- [6] Massimiliano Gabardi, Daniele Leonardis, Massimiliano Solazzi and Antonio Frisoli: Development of a miniaturized thermal module designed for integration in a wearable haptic device, *IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 100-105, 2018.
- [7] Mitsuru Nakajima, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda : Noncontact Pain Display by Temperature Control, *IEEE World Haptics Conference*, pp.9-12, 2019.
- [8] Jasmine Lu, Ziwei Liu, Jas Brooks, and Pedro Lopes: Chemical Haptics: Rendering Haptic Sensations via Topical Stimulants, *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21)*, pp.239-257, 2021.
- [9] Takumi Hamazaki, Miku Kaneda, Jianyao Zhang, Seitaro Kaneko and Hiroyuki Kajimoto: Chemical-induced Thermal Grill Illusion, *IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 1-6, 2022.
- [10] Ryo Watanabe, Ryota Okazaki and Hiroyuki Kajimoto: Mutual referral of thermal sensation between two thermal-tactile stimuli, *IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 299-302, 2014.
- [11] Keisuke Arai, Miki Matsumuro, Satoshi Hashiguchi, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura: Hot-Cold Confusion: Inverse Thermal Sensation When Hot and Cold Stimuli Coexist in a Thermal Localization Task, *Perception*, Vol.50, No.6, pp.508-523, 2021.
- [12] Fardo, Francesca, Nanna Brix Finnerup, and Patrick Haggard: Organization of the thermal grill illusion by spinal segments, *Annals of neurology*, Vol.84, No.3, pp. 463-472, 2018.