



額電気刺激による温度感覚提示における 複数点刺激の効果の検討

Thermal Sensation on Forehead Using Electrical Stimulation - Effect of Multiple Point Stimulation

齋藤大雅¹⁾, 張建堯¹⁾, 亀岡高幸¹⁾²⁾, 梶本裕之¹⁾

Taiga SAITO, Jianyao ZHANG, Takayuki KAMEOKA, 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, {saito, zhang, kameoka, kajimoto}@kaji-lab.jp)
2) 日本学術振興会 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 5-3-1)

概要: VR 空間における臨場感を向上する目的で, 温度感覚提示装置を HMD に組み込み, ペルチェ素子やヒータ, 化学物質を用いて額へ温度感覚を簡便に提示する研究が多数行われている. 我々は額電気刺激を行ったところいくつかの刺激点で安定的に冷覚が生起することを確認した. 本稿では, 額の冷覚が生起した箇所を含む複数点を刺激した時の温度感覚強度, 範囲等を評価することで, 電気刺激によって広い範囲に温度感覚を提示可能か検討する.

キーワード: 電気刺激, 温度感覚, HMD

1. はじめに

VR コンテンツにおいて, 高い没入感を得るために触覚を利用する研究が多くなされている[1]. 中でも温度感覚は, 触っている対象の素材感のみならず, 暑い, 寒いといった環境を提示することで臨場感を向上させることができると期待され, 特に HMD を使用している際に温度感覚を簡便に提示するために HMD 自体に温度感覚提示装置を組み込むことが多数提案されている.

物理的に温度を額に提示する手法として, Peiris ら[2] はペルチェ素子を HMD のクッション部に内蔵して VR 環境の温度や方向の提示を行った. また, 化学的に温度感覚を提示する手法として, Brooks ら[3] はカプサイシンやユーカリプトールを鼻腔に噴霧する手法を提案した. しかし, 従来の温度提示手法は, HMD 内部に熱がこもり急激な温度変化に対応できない, 装置が大きくなる, 温度変化に時間がかかるといった問題点が存在する.

これらの問題を解決する手法として我々は前報で額電気刺激による温度感覚提示について提案した[4] (図 1). この温度感覚提示手法は, 額に電極を配置し, ゲルを間に挟みバンドで装着して額に 1 点ずつ電気刺激することで温冷覚を生起させるものである. 実際に多数の刺激点で温冷覚を生起することが確認されている. しかしこの手法には次のような課題がある.

- 1 点ずつの刺激で生起する冷覚の範囲は非常に狭く「針の先端ほどの範囲で生起する」というコメ

ントがある.

- 電気刺激では圧覚や振動感覚等も同時に生起する. こうした課題を解決するため, 本稿では額電気刺激で広い範囲にロバストに冷覚を生起する方法について調査した.

広い範囲に冷覚を生起させる方法として, 我々は Thermal Referral (TR)[5][6] に着目した. TR は温冷刺激同士を近くもしくは触刺激と隣接する場所に刺激することで温冷刺激していない部位にも冷感を生じる現象である. 冷覚の生起が確認された複数の場所を同時に刺激することで, その間に挟まれた領域にも冷覚が補間されて知覚される可能性がある. また電気刺激によって同時に知覚される圧覚や振動感覚は, 冷覚の知覚を阻害するかもしれないがかえって TR の効果を強める可能性もあると考えられる.



図 1. 額電気刺激による温度感覚提示の提案[4]

本稿では、多数の電極の同時刺激による温度感覚提示の大面积化について検討する。事前に各電極における温度感覚および触覚の生起を調べ、「冷覚のみを感じる点」などの複数の条件を満たす刺激点を同時に刺激することによってどのような冷覚知覚を生じるか調査した。

2. 実験

2.1 実験装置

電気刺激は図 2 に示す 64 点の円形電極を 8×8 に等間隔で配置した電気刺激装置を用いて行った。各電極の直径は 2mm、電極中心間距離は 3mm で、電気刺激のパルス幅は 0.5ms、パルス周期は 11.0ms で陽極刺激と陰極刺激の 2 つの極性で行い、刺激はマイコン (ESP-WROOM-32) で制御した。また図 3 に示すように、電極は額の中央部に 1mm のゲル (積水化成, G グレードゲル) を間に挟み伸縮性のバンドで装着して電極を固定した。装着後にゲルによる冷感を感じなくなってから実験を行った。本実験は電気通信大学倫理委員会の審査を経て実施された (管理番号 20024)。



図 2. 64 点の刺激電極

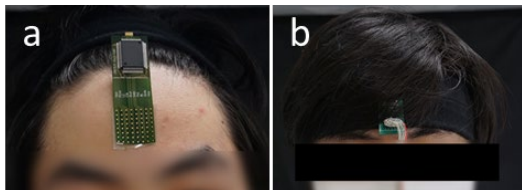


図 3. 提示部への刺激電極の装着
(a: 刺激電極とゲル, b: 刺激電極固定時)

2.2 予備実験

予備実験で使用する電流値を決定するために、電気刺激を感じる電流閾値を陽極刺激と陰極刺激のそれぞれで測定した。実験では測定した電流閾値の 1.5 倍の電流値を刺激電流として使用した。2 倍では痛覚が強く生じる場所が増え、1.2 倍では刺激強度がほとんど変化しないため、1.5 倍とした。

予備実験では電極の 64 点に 1 点ごとの刺激をランダムに行い、これを陽極刺激と陰極刺激の 2 種類で、計 128 試行を行った。各刺激を 5 秒間提示後に刺激点で感じた冷覚強度、圧覚強度、振動感覚強度、痛覚強度を 0 から 9 の 10 段階のリッカートスケールで回答させた。それぞれの強度については、冷覚強度 (0: 常温, 9: 氷に触れている感覚), 圧覚強度 (0: 常温, 9: 指で強く押されている感覚), 振動感覚強度 (0: なし, 9: スマートフォンのバイブレーション), 痛覚強度 (0: なし, 9: 耐えられない痛み) で評価した。また、強度に加えて冷覚が生起した時の範囲 (円と仮定した時の直径) についてアナログスケールで回答させ

た。

2.3 本実験

予備実験で冷覚が生起した点を以下の各条件で選出した。

1. 冷覚が生起した点を同時にすべて刺激した時
2. 冷覚強度の回答が 5 以上
3. 冷覚強度の回答が圧覚強度と振動感覚強度の回答より 3 以上大きい (冷覚 ≫ 圧覚, 振動感覚)
4. 冷覚強度の回答が圧覚強度の回答より 3 以上大きい (冷覚 ≫ 圧覚)
5. 冷覚強度の回答が振動感覚強度の回答より 3 以上大きい (冷覚 ≫ 振動感覚)

各条件のもとで選出した刺激点を同時に刺激した際の冷覚強度、圧覚強度、振動感覚強度、痛覚強度と冷覚が生起している範囲、もしくは冷覚が生起していない時は圧覚や振動感覚が生起している範囲について回答させた。

また、電気刺激は予備実験と同じ電流値で刺激すると痛みが強く生起する可能性があるため、痛みが生起しない範囲で、予備実験で使用した電流値に近い値を用いて行った。被験者は健常な男性 6 名 (21 - 26 才) であった。

3. 実験結果

3.1 予備実験

冷覚が生起した場所と各刺激条件にあう場所を図 4 に示す。1 点ごとに電気刺激を行った時に冷覚が生起する場所 (以降冷点と呼ぶ) と冷覚の強度、冷覚の範囲は人により異なり、冷点数の平均は陽極刺激で 21.2、陰極刺激で 30.7 だった。また、冷覚が生起した範囲 (円と仮定した時の直径) の各被験者の平均は陽極刺激では 0.78cm から 0.19cm、陰極刺激では 0.98cm から 0.22cm の範囲であった。陽極刺激、陰極刺激ともに冷覚を 5 以上と答えるときは圧覚と振動を少なく感じている場合が多かった。また、陰極刺激は陽極刺激より各条件と一致する刺激点が多くみられた。

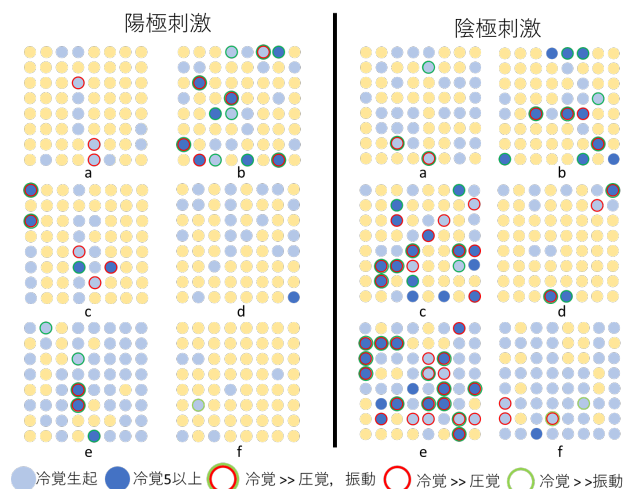


図 4. 陽極刺激と陰極刺激の各被験者の冷覚生起点

3.2 本実験

5条件で刺激を行った時の各刺激強度と冷覚を感じた範囲を予備実験における一点での刺激の場合と比較した結果を図5と図6に示す。冷覚強度は、中央値を見ると陽極刺激と陰極刺激ともに「冷覚>>圧覚、振動感覚」条件で時に冷覚が強く生起し、冷覚が生起した点をすべて同時に刺激した時はかえって冷覚強度が弱くなった。

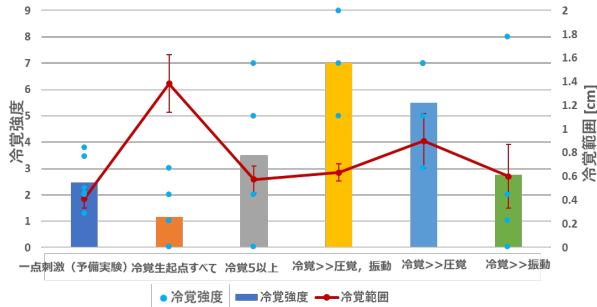


図 5. 陽極刺激による各条件での冷覚強度と冷覚範囲

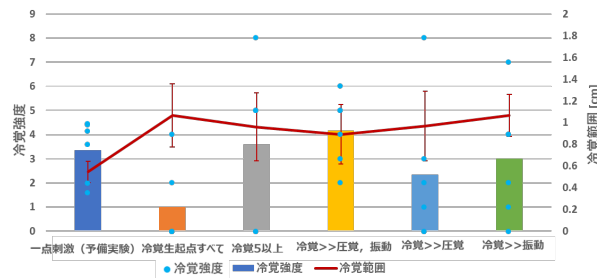


図 6. 陰極刺激による各条件での冷覚強度と冷覚範囲

陽極刺激と陰極刺激で各条件に合った冷覚が生起した刺激点を同時に刺激した時の冷覚、圧覚、振動感覚、痛覚強度を図7と図8に示す。振動感覚強度が大きいと冷

覚強度が小さく、振動感覚強度が小さいと冷覚強度が大きくなっていった。そのため、冷覚強度と振動感覚強度には関係がある傾向がみられた。

4. 考察

図5と図6の結果から陽極刺激と陰極刺激ともに、冷覚生起点をすべて同時に刺激すると1点で刺激したときより広い範囲で冷覚を感じることが多かった。電極が配置されている範囲の直径は2.3cmであるため広範囲で冷覚を提示できる傾向がみられた。しかし、冷覚強度は1点の時と比べて小さくなった。冷覚は64点すべての電極で生起するわけではないので、生起した冷覚がTRによって冷覚が生起しない部位と冷覚が生起した部位とで温度が平均化されたことで冷覚強度が低くなったのではないかと考えられる。

図5から陽極刺激では冷覚が生起したすべての点を同時に刺激した時と他の条件で刺激した時で冷覚を知覚する範囲が大きく異なることが分かる。図4を見ると「冷覚刺激点すべて」以外の条件では刺激可能な点は非常に少なく、また離れていたためTRが生じやすく、冷覚範囲が1点の場合と同等になったと考えられる。

図7と図8の結果から「冷覚>>圧覚、振動感覚」の条件でばらつきが少なく冷覚強度も高い結果となった。図3から1点ごとの刺激では、冷覚強度を5以上と回答するときは圧覚、振動感覚の強度が低い場合が多いことが見てとれる。加えて、冷覚強度と振動感覚強度が相反している傾向がみられることから、圧覚や振動感覚が冷覚強度に影響しており、特に振動感覚によって冷覚がマスクされていると考えられる。そのため、冷覚のみを生起させる方法を見つけることで、純粋な強い冷覚のみを提

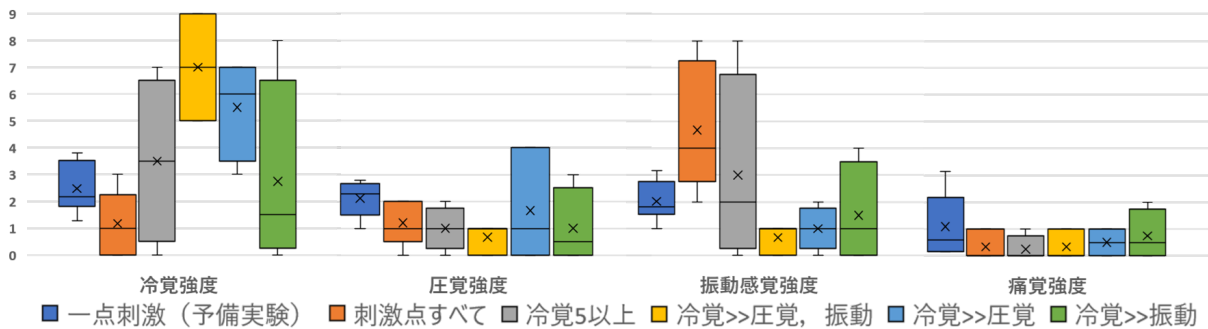


図 7. 陽極刺激による各刺激パターンにおける各強度の回答

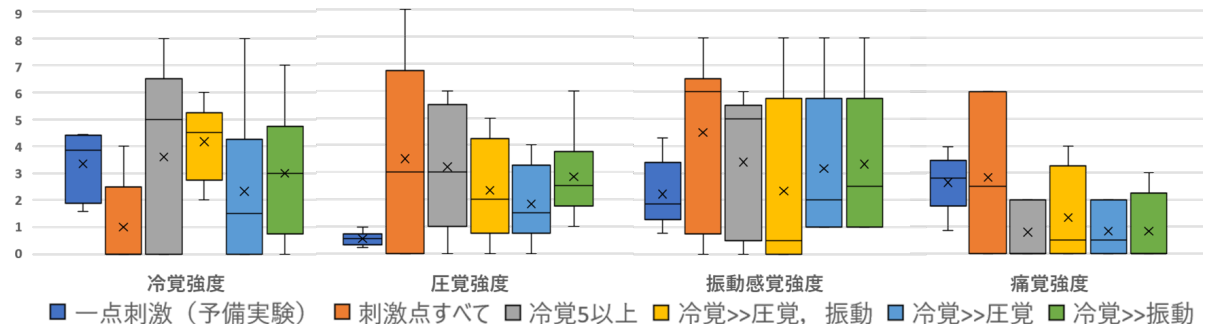


図 8. 陰極刺激による各刺激パターンにおける各強度の回答

示可能だと考えられる。

5. おわりに

額電気刺激による温度感覚提示は、冷覚が生起した範囲を同時に複数点刺激することで、冷覚を感じる範囲が広がる傾向がみられた。また、冷覚が圧覚と振動感覚との知覚強度の差が大きい条件で生起している場所を同時に刺激することで、冷覚強度が強い状態でかつ広い範囲に冷覚を提示できることが示唆された。一方で振動が強く生起している場所が刺激点に入ると冷覚を感じる範囲は広くなりやすいが冷覚がマスクされ、冷覚強度が小さくなることも示唆された。

今後は、被験者数を増やすとともに、事前の予備実験の必要性は簡便に使うための阻害となるため、冷点位置の特定方法の時間短縮方法について検討する。また、VRアプリケーションの開発とHMDへの組み込みを行い、評価していく。

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] Dangxiao Wang, Kouhei Ohnishi and Weiliang Xu, “Multimodal Haptic Display for Virtual Reality: A Survey,” IEEE Trans. on Industrial electronics, Vol. 67, No. 1, pp.610-623, 2020.
- [2] Roshan Lalintha Peiris, Wei Peng, Zikun Chen, Liwei Chan and Kouta Minamizawa, “ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays,” Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 5452-5456, 2017.
- [3] Jas Brooks, Steven Nagels and Pedro Lopes, “Trigeminal-based Temperature Illusions,” Conference on Human Factors in Computing Systems, 2020.
- [4] Taiga Saito, Zhang Jianyao, Takayuki Kameoka and Hiroyuki Kajimoto, “Thermal Sensation on Forehead Using Electrical Stimulation: comparison with other tactile modalities,” World Haptic Conference 2021, 2021.
- [5] H.-N. Ho, J. Watanabe, H. Ando, and M. Kashino, “Mechanisms underlying referral of thermal sensations to sites of tactile stimulation,” Journal of Neuroscience, vol. 31, no. 1, pp. 208–213, 2011.
- [6] Antonio Cataldo, Elisa Raffaella Ferrè, Giuseppe di Pellegrino and Patrick Haggard “Thermal referral: evidence for a thermoceptive uniformity illusion without touch,” Scientific Reports, 2016.