

温冷覚刺激を3点に提示した際に生じる錯覚現象の分析

新井 啓介^{†1} 橋口 哲志^{†1} 柴田 史久^{†1} 木村 朝子^{†1}
立命館大学 情報理工学部^{†1}

1. はじめに

温冷覚刺激を複数箇所提示した際に、温度感覚の知覚位置が変化する Thermal Referral (以下, TR) や知覚される温度感覚が痛覚などに変化する Thermal Grill Illusion (以下, TGI) といった錯覚現象が知られている[1][2]. Watanabe ら[3]は前腕の2点に温冷覚刺激を提示し、被験者が知覚した感覚(温冷の別, 痛覚など)の発生率を指標に「前腕において TR や TGI が発生すること」を確認した. 一方, 同研究の実験結果のグラフに着目してみると, 温冷を組み合わせて提示した場合に, 温覚刺激を冷覚, 冷覚刺激を温覚として回答しているケースが見られる. 同論文内では, この結果について特に議論されていないが, 複数箇所提示する際, 致命的な問題となりうる. そこで, 我々はこの温冷覚の逆転現象について分析を行うことにした. さらに, 提示部位を3点に拡張した場合についても実験を行ったので報告する.

2. 温冷覚刺激

本研究では, 温冷覚刺激の提示装置として, 温度を一定に保つことのできるペルチェ温度コントローラ (VPE20-5-20S, 株式会社ビックス) を用いた (図1). ペルチェ素子の大きさは 40×40mm である. 温冷覚刺激は, この装置を卓上に固定した上で右前腕の腹側に提示した (図2). 装置は前腕の中央と中央から手首・肘側にそれぞれ 100mm 離れた位置, それぞれに1台ずつ, 計3台配置した (図2). また, 被験者の手首と肘を置くための台を手首と肘の位置に1台ずつ配置し, 肘と手首を支え過度な圧力がかからないように配慮した.

実験で提示する温度を決める際には, 人間の温度受容器の特性を考慮する必要がある. 人間は 45 度以上, 10 度以下の温度を痛覚として認識することが知られている[4]. そこで, 本研究では痛覚として認識されない限界の温度として温覚刺激を 44 度, 冷覚刺激を 11 度に設定した. また, 実験は 25 度の一定室温の部屋で行った.

3. 実験1: 温冷覚刺激を2点に提示した場合

3.1. 実験目的

実験1では, まず従来研究と同様に, 温冷覚刺激を前腕の2点に提示した際にその組み合わせを変更することでどのような温度感覚が知覚されるのか確認する.

3.2. 実験条件

実験1では温冷覚刺激の提示数は2点のため, 残りの1点に温覚にも冷覚にも感じないダミー刺激を用意した. 人間の無関感覚は 30~36 度と知られているため[5], 本研究ではダミー刺激を 32 度とした. 予備実験として, 32 度のダミー刺激のみを各提示部位に提示したところ, 被験者 10 名中全員が温覚にも冷覚にも感じないことを確認している.

実験では, 図2のように, 中央に設置した装置が被験者の前腕の中央に当たるように右腕を置かせる. 20 秒

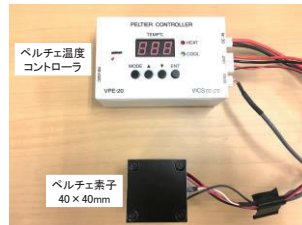


図1 温冷覚提示装置

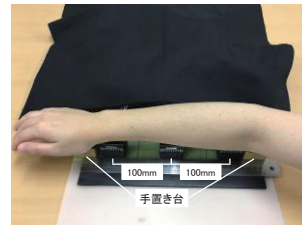


図2 実験風景

後前腕を装置から離し, 3つの刺激提示部(手首側, 中央, 肘側)それぞれについて, 最終的に知覚された感覚を回答させた. 被験者には温度感覚に関する回答の選択肢として「熱い, 何も感じない, 冷たい」の3種類を用意し, その中から1つだけ選択し回答させた. 次に温度感覚とは別に痛覚の有無(痛い or 痛くない)を回答させた. 以上を1試行とし, 被験者は成人男性10名で, 計12試行(表1)をランダムな順序で行った.

3.3. 実験手順

- (1) 被験者の前腕の中心に印をつける
 - (2) 提示パターンから1つをランダムに選出する
 - (3) 温冷覚提示装置の温度を設定し, 設定温度に安定するまで待つ
 - (4) 温冷覚提示装置の上に前腕を乗せさせる
 - (5) 20秒後, 温冷覚提示装置から前腕を離させ, 3点の提示部それぞれで最終的に知覚した温度感覚と痛覚の有無を回答させる
 - (6) 皮膚の温度変化の影響を排除するために十分なインターバル(2分以上)を設ける
 - (7) 残りのパターンについて(2)~(6)を繰り返す
- ただし, 手順(5)で被験者がやり直しを希望した場合, 十分な休憩を挟み, その試行についてやり直した.

3.4. 実験結果・考察

実験結果を表1に示す. 表中の“HHN”, “CCN”, “HCN”などの文字は提示パターン(H: 温覚刺激, N: ダミー刺激, C: 冷覚刺激)を示し, 左から順に手首側, 中央, 肘側に提示した刺激の種類を示す. また, 表中の数値は各提示部で知覚された温度感覚および痛覚の回答率を示す. 表1の中で, 提示刺激通りに知覚したという回答は点で塗りつぶしている. 二重線が引かれた箇所は, 真逆の温度を知覚した割合が高かったところである.

表1より次のことが分かる.

- (i) 同一の温冷覚刺激を提示するパターン(HH, CC)では, 概ね提示刺激通りに知覚されている. 一方, ダミー刺激の提示部では温覚刺激のみを提示した際には熱い, 冷覚刺激のみを提示した際には冷たいと知覚されることがあった.
- (ii) 温冷覚刺激を交互に提示するパターン(HC, CH)では, 温冷覚刺激を隣り合わせて提示するパターン(HCN, CHN, NHC, NCH)で提示刺激通りに知覚された割合が(i)の結果と比べ低くなっている. その際, 知覚した温度感覚に関して, 「何も感じない」, 「提示刺激と真逆の温度を知覚する(温を冷, 冷を温)」といった回答が見られた. 特に HCN, NHC

“Analysis of Illusion Caused by Presenting Thermal Stimulation on Three Places”
^{†1} College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

表 1 温冷覚刺激を 2 点に提示した際のパターン毎の温度感覚と痛覚の回答率 (被験者数: 10 名)

刺激	回答				刺激	回答				刺激	回答				刺激	回答				
	熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い	
手首	H	80%	20%	0%	10%	C	10%	0%	90%	10%	H	80%	20%	0%	0%	C	0%	0%	100%	10%
中央	H	70%	30%	0%	10%	C	0%	20%	80%	20%	C	30%	10%	60%	30%	H	60%	30%	10%	0%
肘	N	70%	30%	0%	0%	N	0%	80%	20%	0%	N	20%	50%	30%	0%	N	90%	10%	0%	0%
手首	H	70%	30%	0%	0%	C	0%	0%	100%	0%	H	70%	20%	10%	0%	C	0%	0%	100%	10%
中央	N	70%	30%	0%	0%	N	0%	20%	80%	0%	N	20%	40%	40%	20%	N	20%	80%	0%	0%
肘	H	90%	10%	0%	10%	C	0%	10%	90%	0%	C	0%	20%	80%	10%	H	100%	0%	0%	0%
手首	N	40%	60%	0%	0%	N	0%	80%	20%	0%	N	70%	30%	0%	0%	N	20%	40%	40%	0%
中央	H	70%	30%	0%	10%	C	0%	20%	80%	0%	H	40%	30%	30%	10%	C	10%	30%	60%	20%
肘	H	90%	10%	0%	10%	C	0%	0%	100%	0%	C	10%	0%	90%	10%	H	70%	10%	20%	10%

※表中の提示パターンは上から順に手首側、中央、肘側に刺激を提示したことを示す
 ※H, N, Cは提示刺激の種類を示す(H:温覚刺激, N:ダミー刺激, C:冷覚刺激)
 ※点で塗りつぶされた箇所は提示刺激通りに知覚した回答を示す
 ※二重線が引かれた箇所は真逆の温度を知覚した割合が特に多いことを示す

表 2 温冷覚刺激を 3 点に提示した際のパターン毎の温度感覚と痛覚の回答率 (被験者数: 10 名)

刺激	回答				刺激	回答				刺激	回答				刺激	回答				
	熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い		熱い	何も感じない	冷たい	痛い	
手首	H	90%	10%	0%	0%	H	80%	10%	10%	10%	C	0%	10%	90%	0%	H	60%	10%	30%	0%
中央	H	100%	0%	0%	20%	H	70%	0%	30%	0%	C	30%	10%	60%	10%	C	40%	0%	50%	40%
肘	H	100%	0%	0%	0%	C	30%	0%	70%	0%	H	80%	10%	10%	10%	H	90%	0%	10%	0%
手首	C	10%	10%	80%	0%	C	0%	0%	100%	0%	H	60%	40%	0%	10%	C	10%	10%	80%	10%
中央	C	0%	20%	80%	0%	H	70%	10%	20%	30%	C	30%	10%	60%	40%	H	60%	0%	40%	20%
肘	C	0%	0%	100%	10%	H	90%	0%	10%	0%	C	20%	0%	80%	0%	C	50%	0%	50%	10%

の中央で提示刺激と真逆の温度を知覚したという回答は 3 割であった。一方、ダミー刺激の提示部ではダミー刺激として正しく知覚できない場合があり、熱い、冷たいと知覚されることがあった。

- (iii) 痛覚に関して、中央で知覚しやすい傾向がみられた。特に温冷覚刺激を交互に提示するパターンの中の HCN, HNC, NCH でその割合は 2, 3 割であった。

以上の結果より、温冷覚刺激を前腕の 2 点に提示した際、その提示パターンによって提示刺激と異なる温度感覚に知覚されることが確認された。特に交互に提示するパターンにおいて、人の温冷覚が錯綜しやすくなること分かる。具体的には、先行研究と同様、提示刺激と真逆の温度を知覚する現象が確認された。また、温冷覚刺激の同時提示により TGI が発生し、痛みが知覚された点も従来研究と同様であった。

4. 実験 2: 温冷覚刺激を 3 点に提示した場合

4.1. 実験目的

実験 2 では、さらに温冷覚刺激を前腕の 3 点に提示した際にその組み合わせを変更することでどのような温度感覚が知覚されるのかを確認する。

4.2. 実験条件・手順

実験 2 では温冷覚刺激の提示数は 3 点のためダミー刺激は使用せず、温覚刺激 44 度と冷覚刺激 11 度の 2 種類いずれかを提示する。実験は、各被験者に対して、計 8 試行 (表 2) をランダムな順序で実施した。その他の実験条件・手順は実験 1 と同様である。

4.3. 実験結果・考察

実験結果を表 2 に示す。表より次のことが分かる。

- (i) 同一の温冷覚刺激を提示するパターン (HHH, CCC) では、概ね提示刺激通りに知覚されている。
- (ii) 同一の温冷覚刺激が 2 つ隣り合うパターン (HHC, CCH, HCC, CHH) では、提示刺激通りに知覚された割合が (i) の結果と比べ低くなった。また知覚された温度感覚に関して「何も感じない」、「提示刺激と真逆の温度を知覚する」という回答が見られた。
- (iii) 温冷覚刺激を交互に提示するパターン (HCH, CHC) では、提示刺激通りに知覚された割合が (i), (ii) の結果と比べ低くなった。特に、提示刺激と真逆の温度を知覚したという回答は HCH と CHC の中央で

4 割、CHC の肘側では 5 割となり、被験者の半数が温冷覚を真逆に知覚していた。

- (iv) 痛覚に関して、中央で知覚しやすい傾向があった。特に温覚刺激と冷覚刺激が隣り合うパターンの中の CHH, HCC, HCH でその割合は 3, 4 割となった。

以上の結果より、温冷覚刺激を前腕の 3 点に提示した際、その提示パターンによって実験 1 と同様、提示刺激と異なる温度に知覚されることが確認された。また、これらの現象は中央で生起率が高いことが分かった。

ここで実験 1 と実験 2 の結果を比較すると、温冷覚刺激の提示数を 2 点から 3 点に増やすことで、提示刺激と真逆の温度を知覚する現象 (温を冷、冷を温) の生起率が増加することが確認された。また同様に、痛覚の生起率も増加していることが確認された。これは、温冷覚刺激の提示数が増えたことにより、TR や TGI といった錯覚現象の発生率が高くなり、各錯覚現象が生起し合うことで、正しい温度の識別が困難になったためであると考えられる。

5. むすび

本稿では、温冷覚刺激を前腕の 2 点もしくは 3 点に提示した際に、それぞれの提示部でどのような温度感覚として知覚されるのかについて実験を行った。

今後は、温冷覚刺激の提示温度や提示位置などのパラメータを変更し、本稿で確認した提示刺激と真逆の温度を知覚する現象や痛覚の生起する要因について詳細に調べていく予定である。

参考文献

- [1] B. G. Green: "Localization of thermal sensation: An illusion and synthetic heat," Perception & Psychophysics, Vol. 22, No. 4, pp. 331 - 337, 1977.
- [2] P. Bach, S. Becker, D. Kleinböhl, and R. Hölzl: "The thermal grill illusion and what is painful about it," Neuroscience letter, Vol. 505, No. 1, pp. 31 - 35, 2011.
- [3] R. Watanabe, R. Okazaki, H. Kajimoto: "Mutual Referral of Thermal Sensation between Two Thermal-tactile Stimuli," IEEE Haptics Symposium, pp. 299 - 302, 2014.
- [4] 熊本栄一, 藤田亜美: "末梢から脊髄後角へ入力する痛み情報の制御: シナプス伝達と神経伝達の修飾", 日本疼痛学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 197 - 214, 2011.
- [5] 岩村吉晃: "タッチ", 医学書院, 2011.