

触覚刺激提示部位への温度感覚転写現象の解明

Understanding the Mechanism of Addition of Thermal Sensation to Tactile Stimulation

○渡辺 亮（電気通信大学） 大原 淳（電気通信大学） 國安 祐生（電気通信大学）
佐藤 未知（電気通信大学） 福嶋 政期（電気通信大学） 梶本 裕之（電気通信大学）

Ryo WATANABE, The University of Electro-Communications, r.watanabe@kaji-lab.jp
Jun OOHARA, The University of Electro-Communications
Yuki KUNIYASU, The University of Electro-Communications
Michi SATO, The University of Electro-Communications
Shogo FUKUSHIMA, The University of Electro-Communications
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications

When the heat stimulation is presented to tip of the index finger and the vibratory stimulation is presented to tip of the middle finger, the middle finger is also perceived to be warm. This phenomenon is known as a kind of the thermal illusion called Thermal Referral. To reveal the mechanism of the Thermal Referral, we focused on tactile mechanoreceptors. We varied the frequencies of vibratory stimulation to stimulate different mechanoreceptors, and we evaluate the mechanoreceptors concerned with Thermal Referral.

Key Words: Thermal referral, Tactile illusion, Thermal illusion, heat sensation

1. 緒言

近年、映画や TV 番組、ビデオゲーム等の視聴覚コンテンツにおける臨場感向上が様々な角度から試みられている。視聴覚からのアプローチはもちろん、触覚や温度感覚に注目した研究も多数存在する[1]。

将来的には、さらなる臨場感の向上のため、触覚と温度感覚を同時提示することが考えられる。そのために、振動子と温度素子を離散的に配置する実装が考えられるが、この時 Thermal referral という錯覚現象が生起することが考えられる[2]。Thermal referral とは、皮膚上の二点において温度刺激と触刺激が同時に提示されたとき、触刺激提示部位にも温度感覚が生じる錯覚現象である。Thermal referral の生起する条件についてはいまだ明らかでない部分が大きいため、触覚、温度感覚の同時提示の際、意図とは異なる温度感覚が生起する恐れがある。

だが逆に Thermal referral の機序が明らかとなり、完全に制御することができれば、意図した位置へ触覚、温度感覚が提示可能となり、上記の問題は解決すると考えられる。そこで本研究では Thermal referral の生起条件の解明を目的とした。

本稿では、Thermal referral を構成する 2 種の刺激、つまり触覚刺激、触覚刺激のうち、触覚刺激に注目した Thermal referral の生起条件の検証を行った。具体的には、触刺激の条件を変化させた際に生起される温度感覚の変化を調べた。

2. 実験装置

実験装置は温度刺激提示装置、振動刺激提示装置から構成される。Fig. 1左に温度刺激提示装置を、右に振動刺激提示装置を示す。

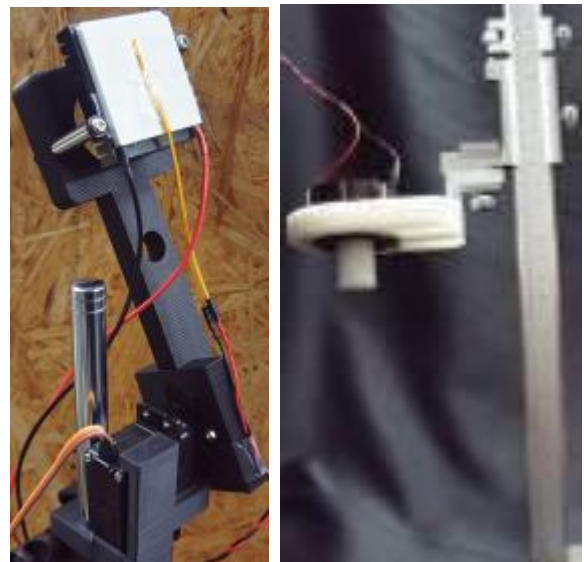


Fig. 1 Stimulators

(Left : Thermal stimulator,
Right : Vibrational stimulator)

温度刺激提示装置は 22.4mm×22.4mm のペルチェ素子 (T151-40-071S)、放熱板、フィルム状サーミスタから構成される。手首への接触を RC サーボの駆動により行うことで、温度刺激提示部位にかかる力を一定にした。

振動刺激提示装置は、スピーカ (NSW2-326-8A, AURA SOUND 社)、円柱型皮膚接触子 (ABS 樹脂製、直径 20mm)、ハイトゲージにより構成される。振動刺激を提示するためにスピーカのコーン部に皮膚接触子をエポキシパテで接着し、これを皮膚に接触させる。PC の DA ボード (PCI 3523A, インタフェース社) から制御信号を出力し、オーディオ用デジタルアンプ (RSDA202, ラステーム・システムズ社) により制御信号を増幅し、指先に提示する振動刺激を制御した。

3. 実験 1 : Thermal referral と振動周波数

実験 1 では Thermal referral と振動周波数の関係を検証した。Thermal referral を利用した触覚、温度感覚の同時提示の際に、どのような種類の触刺激を与えればどの程度の温度感覚が生起するかという知見は重要な指針となることが考えられる。仮に特定の種類の触刺激によって Thermal referral が強く生起されるとすれば、その刺激を受容する機械受容器が Thermal referral 生起に寄与する可能性が大きい。その場合、寄与する受容器の共振周波数の振動刺激が、Thermal referral 生起に最適な触刺激であると考えた。

右手首に温度刺激を提示した状態で振動刺激を提示した際、振動刺激提示部位に生起される温度感覚と振動刺激周波数の関係を調べた。

3.1 実験手順

被験者は右腕を腕固定台の上に置き、中指末節が皮膚接触子の真下に来るように手の位置を調整した。その状態で皮膚接触子の中指末節に接着した。接着には皮膚用接着剤 (スーパーシリコン, インクリーズヘアー社) を用いた。Thermal referral が僅かな押し込みや引っ張りなどの触刺激によっても生起する可能性を考え、振動刺激提示を行わない状態での皮膚表面の歪みが生じないように接触子の高さを調整法により調整した。被験者は皮膚を接触子で十分押し込んだ状態と十分引っ張った状態の 2 つの起点から、押し込みや引っ張りを知覚しない状態に高さを調節した。これをそれぞれの起点に対して、2 試行ずつ、計 4 試行を行った。

次に本実験で使用した 6 種類の周波数の振動刺激の主観的刺激強度を統制した。被験者に 3 種類の周波数の振動を提示し、振動を知覚できる閾値の刺激強度を記録した。振動刺激強度の調整起点には上昇系列と下降系列の 2 系列を用意し、各周波数について 2 系列、計 12 試行を被験者にランダムな順序で提示した。

ここで得られた閾値の振動刺激強度の電圧値を周波数ごとに平均し、それを 5 倍した値を本実験では用いた。なお、被験者には聴覚手がかりを与えないよう、常にホワイトノイズをイヤフォンで提示した。

まず両手首に 32℃ のペルチェ素子を 5 秒間接触させた。次

に温度刺激提示装置を両手首に接触させ、温度刺激を提示し、その状態で右手首へ振動刺激を 15 秒間提示した。その後、温度刺激提示装置を両手首から離し、左手首の温度の熱さを基準に、右手首と振動刺激提示部位に知覚された熱さをアナログスケールで回答させた。この一連の流れを 1 試行とした。

振動を提示しない手 (左手) への温度刺激提示部位に知覚した温度を基準としたのは、指先の Thermal referral では同一の手に提示された温度刺激提示部位で知覚する温度と触刺激提示部位に知覚する温度が平均化されることが報告されているためである [3]。よって本錯覚生起中にも温度刺激提示部位の主観的温度が変化する可能性があると考えられる。なお、被験者には実験中、振動刺激部は見ないように指示した。

3.2 実験条件

本実験では用いた振動周波数は、5, 30, 60, 90, 120, 240 Hz の 6 条件である。温度刺激は 39℃ である。

3.3 実験結果

結果を Fig. 2 に示す。振動刺激提示部位の熱さに着目した場合、条件間に目立った差は見られない。分散分析、多重比較の結果、周波数間に有意差は見られなかった。

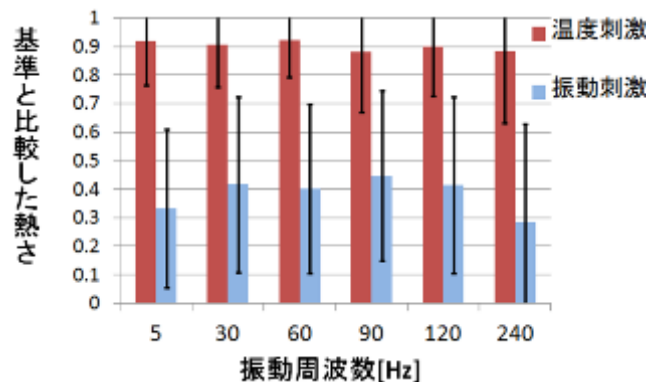


Fig. 2 Result of experiment 1

4. 実験 2 : Thermal referral と触刺激の種類

Thermal referral 生起時に振動刺激を用いた場合と圧刺激を用いた場合の知覚される温度の差異を検証した。実際に Thermal referral を用いた温度感覚提示デバイスの作成を考える場合、圧刺激を用いるか振動刺激を用いるかにより実装も大きく変化するためである。

振動刺激提示装置から純粋な圧刺激が提示されている場合、圧刺激と振動刺激が同時に提示されている場合、刺激が提示されない場合の 3 条件間で Thermal referral により知覚される温度に差が生じるか検証した。

4.1 実験手順

実験 1 に準ずる。ただし振動刺激の主観的刺激強度統制は本実験で使用した 1, 90, 240 Hz の 3 種類の周波数の振動につ

いて行い、本実験では得られた閾値の振動刺激強度の電圧値を周波数ごとに平均し、それを5倍した値を用いた。

4.2 実験条件

実験で用いた振動をTable 1右側に示す。

Table 1 vibrating condition

条件	実際に提示した振動
静止	接触のみ
圧刺激	1Hz 振動
圧刺激+振動刺激	1Hz 振動と 90Hz 振動の合成波
	1Hz 振動と 240Hz 振動の合成波

今回の実験では、1Hz の振動刺激を圧刺激とみなした。つまり、ある周波数の振動刺激と圧刺激を同時に提示するという事は、ある周波数の振動刺激と 1Hz の振動刺激の合成波を提示するという事である。温度刺激は 39°C である。

4.3 実験結果

結果をFig. 3に示す。振動刺激提示部位の熱さに着目した場合、静止条件のみ極端に弱く、それを除いた3条件間では目立った差は見られない。分散分析、多重比較の結果、周波数間に有意差は見られなかった。静止条件とその他3条件のそれぞれに対して有意差がみられた。

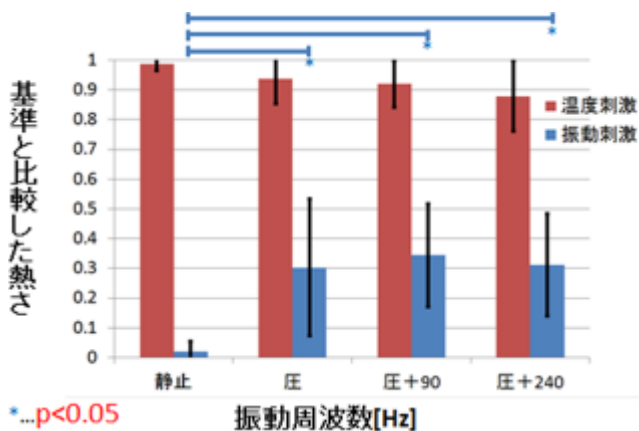


Fig. 3 Result of experiment 2

5. 考察

振動周波数と知覚される温度の間に関係性が見られないことから、特定の受容器の活動が thermal referral に寄与する可能性が低いことが示唆された。

圧刺激のみを提示した条件と、圧刺激に加え振動刺激を提示した条件において知覚した温度は同程度であり、ほとんど差がみられなかった。また、静止条件においては振動提示部にほとんど温度を知覚しなかった。しかし、接触子と皮膚は皮膚用接着剤により接着されており、わずかではあるが触覚が生じているはずである。つまり、知覚されないレベルの触覚では Thermal referral は生起しないことが示唆された。注意の向かない程度の触覚では生起しないことから、触覚自体ではなく、触覚刺激提示部位に注意が向いていることが重要である可能性がある。

6. 結論

本稿では、触刺激に注目した Thermal Referral の検証を行った。その結果、触覚自体ではなく、触覚刺激提示部位に注意が向いていることが重要である可能性が示唆された。

今後は Thermal referral において刺激提示開始-温度感覚生起間の時間の検証、触刺激を触錯覚によって代替した場合に生起されるか等を検証する予定である。

参考文献

- [1] Lemmens, P et al : A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing ,Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Salt Lake City, 2009
- [2] Green, B. G. : Localization of thermal sensation: An illusion and synthetic heat. Perception & Psychophysics, 22,331-337,1977
- [3] Ho, H. : Mechanisms Underlying Referral of Thermal Sensations to Sites of Tactile Stimulation, The Journal of Neuroscience, 31(1), 208-213, 2011.