

前腕部への触刺激に対する温度感覚の重畳

Addition of Thermal Sensation to Tactile Stimulation on the Forearm

渡辺亮¹⁾, 大原淳²⁾, 國安裕生²⁾, 佐藤未知²⁾³⁾, 福嶋政期²⁾³⁾, 梶本裕之²⁾⁴⁾

Ryo WATANABE, Jun OOHARA, Yuki KUNIYASU, Michi SATO, Shogo FUKUSHIMA and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 電気通信学部 人間コミュニケーション学科

2) 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 {r.watanabe, oohara, kuniyasu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp)

3) 日本学術振興会特別研究員

4) 科学技術振興機構さきがけ

Abstract: We found a phenomenon that if a subject is presented heat stimulation and vibratory stimulation simultaneously on the forearm, the subject perceives the heat sensation on the position of the vibratory stimulation. It is a similar phenomenon to the illusion called thermal referral. To reveal the mechanism of the phenomenon, we focused on which kind of mechanoreceptor is responsible for the phenomenon. We varied the frequencies of vibratory stimulation to stimulate different mechanoreceptors.

Key Words: Thermal illusion, Mechanoreceptor, Vibratory stimulation, Heat stimulation.

1. はじめに

温度感覚は触刺激を提示した箇所に誘導されることが知られている。この現象による代表的な錯覚として Thermal Referral が挙げられる[1]。Thermal Referral とはこれまで主に指で観察された温度錯覚で、人差し指、中指、薬指が物体に触れた状態で、人差し指と薬指のみに温度刺激を提示した際に、中指においても温度を知覚するというものである。

我々は Thermal Referral と類似の現象が前腕部においても生起することを観測した。本現象は前腕部において、温覚刺激を提示しながらその近傍に振動刺激を提示すると、振動刺激に温覚が重畳されるというものである。

本研究は、この温覚の重畳現象の機序を解明することを目的とする。被験者の前腕の一部に温覚刺激を提示した状態で異なる部位に振動刺激を提示し、振動刺激に重畳される温度感覚と振動刺激周波数の関係を調べることで、本現象に関与する機械受容器を探る。

2. 実験

2.1 実験システム

図 1 に実験システムの概観を示す。実験システムは温覚刺激提示装置、振動刺激提示装置、腕固定台から構成される。腕固定台に被験者の右前腕を固定し、前腕内側部に上方から温覚刺激と振動刺激を提示する。温覚刺激は被験者の手首に提示し、振動刺激は温覚刺激位置より 140mm 肘側に提示する。これは前腕部における触二点弁別閾 40mm

を十分超える値である[2]。

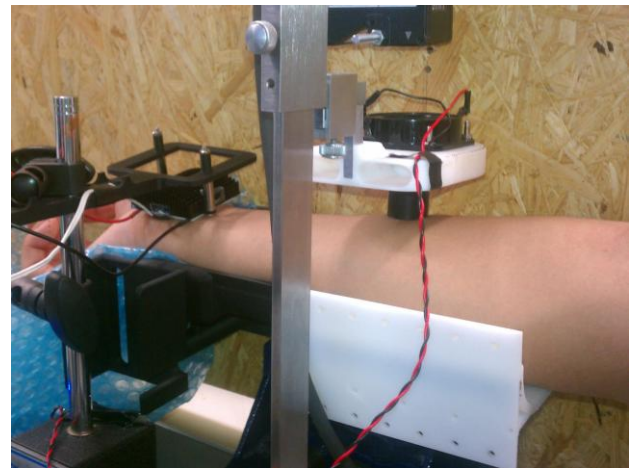


図 1: 装置概観

2.1.1 温覚刺激提示装置

図 2 に温覚刺激提示装置を示す。本装置は 40mm×40mm のペルチェ素子 (TEC1-12712)、放熱板、フィルム状サーミスタ、および固定台から構成される。ペルチェ素子には直流安定化電源 (AD-8723D, エー・アンド・デイ社) より電流を供給し、温覚刺激提示を行う。固定台を上下させることでペルチェ素子を前腕部に接触させる。

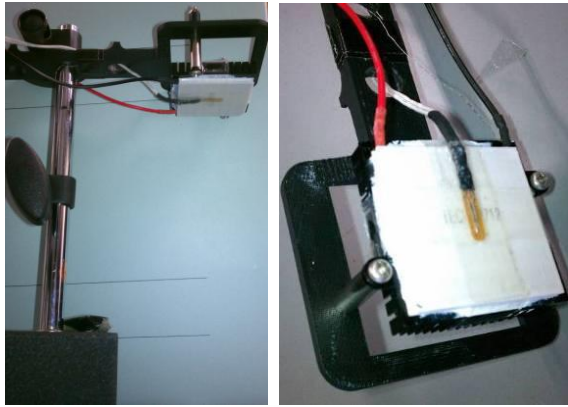


図 2：温覚刺激提示装置
(左：装置全体， 右：温覚刺激提示部)

2.1.2 振動刺激提示装置

図 3に振動刺激提示装置を示す。振動刺激を提示するためにスピーカ (NSW2-326-8A, AURA SOUND 社) を使用する。スピーカのコーン部に直径 20mm の円柱型皮膚接触子 (ABS 樹脂製) をエポキシパテで接着し、これを皮膚に接触させる。またこのスピーカはハイトゲージに固定されており、上下方向に位置調整が可能である。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、振動刺激を制御する。

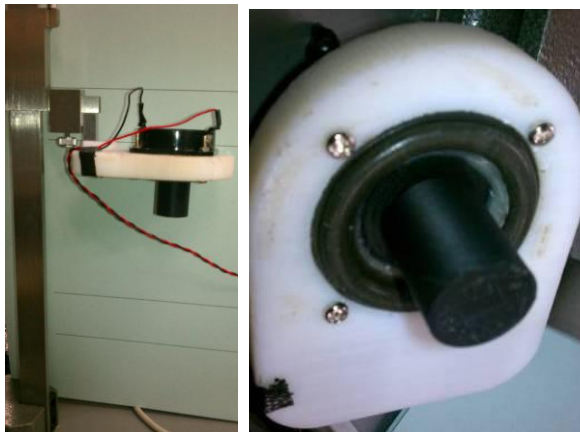


図 3：振動刺激提示装置
(左：装置全体 右：振動刺激提示部)

2.2 実験手続き及び実験条件

実験に参加した被験者は男性 4 名 (年齢 21~25 歳) であり、全員右利きである。本実験の開始前に、上述した振動刺激の接触子を前腕部に接着し、その高さを調節した。また本実験で使用する振動刺激の主観的強度も調節した。これらの本実験前の手続きと本実験の手続きの詳細は以下の通りである。

2.2.1 接触子の高さ調整

被験者は右腕を腕固定台の上に置き、手首部分が温覚刺

激提示装置の真下に来るように前腕の位置を調整した。その状態で振動刺激提示装置を前腕に接着した。接着には皮膚用接着剤 (スピリッツガム・プロ) を用いた。皮膚と接触子を完全に接着するために、15 分の接着時間を設けた。

次に、接触子で皮膚表面にオフセットの歪みが生じる事を防ぐため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押し込んだ状態と引っ張った状態の 2 つの起点から、皮膚歪み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、3 試行ずつ、計 6 試行を行った。なお、最初の 2 試行は訓練試行とし、実際に実験で用いた刺激子の高さは、後の 4 試行の平均値である。

2.2.2 振動刺激の主観的強度調整

本実験前に、被験者ごとに振動刺激の主観的強度を統制した。本実験に用いる振動刺激の周波数は、5, 30, 60, 90, 240 Hz の 5 種類である。240 Hz (電圧 8V) 基準刺激とし、被験者は他の 4 周波数の主観的強度が等しくなるよう制御信号の電圧値を調整した。振動刺激の強度起点を上昇系列と下降系列の 2 種類用意し、各周波数について 2 試行ずつ、計 16 試行をランダムに提示し、主観的強度の統制を行った。本実験ではここで得られた制御信号の電圧を周波数ごとに平均したものをを用いた。

なお、被験者はイヤホンでホワイトノイズを聞きながらこれらの強度調整を行い、振動提示部位が見えないよう布で覆った。この時、腕は布に触れないようにした。

2.2.3 本実験：振動刺激部位への温覚重畳実験

本実験は温覚刺激と振動刺激を同時に提示した際の振動刺激提示部位に知覚される温覚 (熱さ) を評価することが目的である。ただし類似の現象である Thermal Referral では温覚提示部位と触覚提示部位の温覚が平均化され、例えば温覚提示部位の温度が下がったように感じられることが知られている [1]。よって本錯覚生起中にも温覚刺激提示部位の主観的強度が変化する可能性があると考えられる。このことから、錯覚生起「中」の温覚刺激を基準に振動刺激の温覚を評価すべきではないと考え、まず温覚刺激のみを提示し、その際に知覚した温覚刺激を基準の温覚 (熱さ) とし、次に振動刺激をさらに加えて、その際の振動刺激提示部位と温覚刺激提示部位に知覚した温覚をそれぞれ評価した。本実験の手続きは以下の通りである。

まず温覚刺激提示装置を手首に接触させ、温覚刺激のみを提示する。被験者はその際に知覚した温覚 (熱さ) を評価基準として覚えた (図 4上)。被験者が評価基準を覚え終えた後、温覚刺激に加えて振動刺激を 15 秒間提示した。その後、温覚刺激提示装置を手首から離し、温覚刺激と振動刺激の両方に対して図 5に示すアナログスケールを用いて温覚の程度を回答させた (図 4下)。

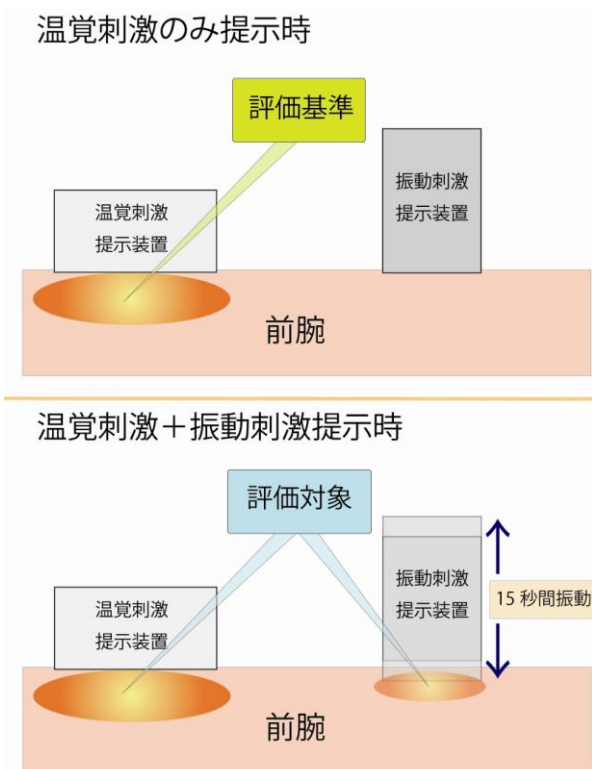


図 4：評価基準と評価対象（上：評価基準，下：評価対象）

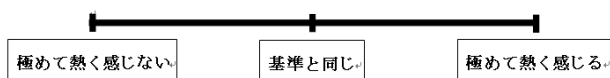


図 5：実験で用いたアナログスケール

この1連の試行を振動刺激周波数ごとに各5試行ずつ、計25試行を行った。なお振動刺激周波数の提示順はランダムである。被験者には実験中、常にホワイトノイズを提示した。実験時の様子を図6に示す。



図 6：実験風景

3. 実験結果

実験結果の解析を行うため、アナログスケールの中央「基準と同じ」を0、左端「極めて熱く感じない」を-1、右端「極めて熱く感じる」を1として正規化した。なお、

「極めて熱く感じない」とは全く熱を知覚しない、つまり振動刺激提示前の皮膚温と等しく知覚していることを示し、「極めて熱く感じる」は知覚した熱さが基準より極めて大きいことを示す。

振動刺激周波数ごとに知覚した熱さの平均を図7に示す。縦軸が基準と比較した熱さ、横軸が振動周波数である。エラーバーは標準偏差を表す。このグラフは振動刺激提示中の各提示部位での熱さを表しており、青が振動提示部位に、赤が温覚刺激提示部位にそれぞれ知覚された熱さを表す。

グラフがすべて負の値を示すことから、温覚刺激提示部位、振動刺激提示部位のどちらも基準以上の熱さを知覚しなかったと考えられる。また、いずれの周波数においても振動提示部位で熱さを知覚していたことがわかる。以上により、今回使用したすべての周波数で本現象が生起されることが示唆された。振動提示部位で知覚する熱さは基準の5割前後であった。

被験者が知覚した熱さの平均のみに着目した場合、他の周波数に比べ、60,90Hzにおいてやや高く熱さを知覚すると考えられる。ただし分散分析の結果、有意差を認めるには至らなかった。

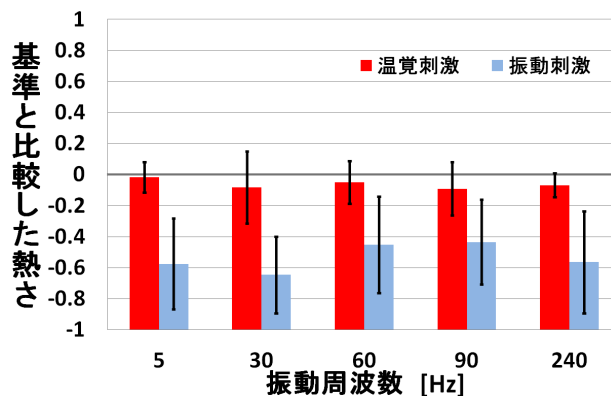


図 7：振動提示時に知覚された温覚

4. 考察

分散分析において、振動刺激周波数間の有意差は見られなかったものの、結果から60,90Hzにおいて、振動提示部位にやや高く熱さを知覚することが示唆された。仮に本現象が60,90Hzにおいて鮮明に知覚されるとすれば、メルケル盤やパチニ小体よりも大きな関与をしている受容器が存在する可能性がある。

本稿では有毛部で実験を行ったため、マイスナー小体は存在せず、代わりに毛包受容器が存在する。毛包受容器が最も高頻度で発火する振動刺激の周波数が100Hz程度であると述べている先行研究[3][4]が存在しており、我々の実験結果から得られた、本現象が鮮明に生じる振動刺激周波数の近傍であると考えられる。そのため、毛包受容器が我々の着目した現象に大きく寄与している可能性があると考えられる。

一方、振動刺激提示時の温覚刺激提示部位で知覚される熱さは基準とほぼ同等であることから、**Thermal Referral**で生じていたような温度感覚の再分配が生じているとは考えにくい[1]。つまり類似に見える二つの現象は、異なる機序に基づいている可能性がある。

また、本稿実験では、被験者の触覚刺激の主観的強度を統制し、実験を行った。しかし被験者間の主観的強度の分散が大きく、結果に影響を及ぼしたと考えられる。今後実験を行う場合、強度の調整方法について考慮する必要がある。

5. 結論

本稿では、前腕部において温覚刺激を皮膚に提示しつつ、その近傍に振動刺激を提示すると振動刺激に温覚が重畳されるという現象に着目し、本現象と機械受容器の関係を調べた。その結果、60Hzと90Hzの振動刺激を提示した際に本現象が比較的鮮明に知覚されることが示唆された。

今後は、関与が大きいことが示唆された振動周波数である60Hz、90Hz近傍において、より詳しい本現象と振動周波数の関係を調べる。

また、無毛部においても本現象が生起するかを調べる。

無毛部と有毛部での本現象の機序に差異があるかを比較・検討することで、無毛部と有毛部で温覚を知覚する機序の差異を考察する。

参考文献

- [1]H.Ho et al : Mechanisms Underlying Referral of Thermal Sensations to Sites of Tactile Stimulation, The Journal of Neuroscience,31(1),pp. 208-213, 2011.
- [2]Weinstein S : Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex, and laterality., The Skin Senses,pp.223-261,1968.
- [3]S. J. Bolanowski et al : Hairy skin: psychophysical channels and their physiological substrates., Somatosensory & Motor Research, Vol. 11, No.3, pp. 279-290, 1994.
- [4]T.Miyaoka et al : MEASUREMENTS OF DETECTION THRESHOLDS PRESENTING NORMAL AND TANGENTIAL VIBRATIONS ON HUMAN HAIRY SKIN, The 22nd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics, Vol.22, pp.229-232, 2006.