

周期的な前腕運動中における手掌部の皮膚感覚抑制による 弾性物体把持錯覚の研究

電気通信大学 ○蜂須 拓, 大島 沙也佳, 橋本 悠希, 梶本 裕之

Haptic Illusion of Elasticity by Tactile Suppression on Palm during Periodical Forearm Motion

○Taku HACHISU, Sayaka OOSHIMA, Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO
University of Electro-Communications

Abstract: We found a haptic illusion as if elastic object bounced on a palm if we gave a steadily vibratory tactile stimulation to the palm while moving the forearm. This paper proposes the mechanism underlying the illusion, focusing on the change of vibratory sensitivity during periodical forearm motion.

1. はじめに

これまでの触覚研究において、「アリストテレスの錯覚」のように、交差した人差し指と中指の先端に1本の細い棒を当てると触れている棒が2本に感じられる、といった静的な皮膚感覚における触錯覚や、「仮現運動」のように、実際には運動していないが類似した刺激を次々に与えることで運動があるかのように感じられる、といった動的な皮膚感覚における触錯覚が数多く報告されている[1].

こうした中で我々は、前腕を上下に振る動作中に手掌へ定常的な振動触覚を与えると、前腕の動作に合わせて手掌上で弾性物体が弾んでいるかのような錯覚が生じることを発見した[2]. 本錯覚は手掌への定常的な振動呈示による皮膚感覚と、前腕の上下運動による固有受容感覚変化によって生じる複合錯覚である。

本錯覚は前腕の運動に合わせて弾性感が生じることから、前腕運動と手掌における振動覚の感度の間には相関があると考えられる。前腕運動と触覚の知見として、能動触と受動触ではテクスチャ認識において差がないことが報告されている[3]. その一方、任意の方向をもった刺激が指先に呈示された際の方向知覚は、前腕の運動状態が静止状態、受動状態、能動状態の順で鈍くなることも明らかにされている[4]. そしてChapmanらは前腕を周期的に動かすことにより、振動覚の閾値が増大することを報告している[5]. しかしながら、未だ前腕運動中の手掌における振動覚の感度の時間的変化に関する知見は無い。そこで我々は前腕が周期的な運動をしている際、手掌における振動覚の時

間的变化を計測する実験を行った[2].

本論文では、周期的な前腕運動中に手掌へ与えられた振動に対する皮膚の刺激感度の時間的変化と手掌の加速度を比較し、本錯覚の発生機序について考察する。

2. 実験

この章では、我々が前回の報告[2]において周期的な前腕運動中における手掌の振動に対する感度の時間的変化を明らかにした実験の概要を示す。

2.1. 実験装置

本実験では振動子としてスピーカ（リードサウンド株式会社, LW060P1-W）を使用した。

また本錯覚の生成には前腕を振る動作を伴うので、手掌からスピーカがずれるのを避けるためスピーカを手掌に固定するためのマジックテープを取り付けた（Fig. 1）。振動刺激はPCよりDAボード（Interface社, PCI-3523A）を介し、オーディオ用アンプで増幅されスピーカより出力された。



Fig. 1 Speaker for Stimulator

2.2. 実験手順

Fig. 2 に示すように、被験者は左肘を軽く曲げ左手掌を上に向けた状態で椅子に座り、スピーカコーンと左手掌が密着するようにスピーカを手掌上にマジックテープで固定した。そして被験者は振幅 10cm, 周波数 1Hz で上下に単振動する PC モニタ上の球体に合わせて左前腕を振った。その間手掌にはスピーカから一定時間毎に振動刺激が与えられた。被験者はキーボード操作により、振動刺激の振幅を手掌で振動が感じられる最小の値に増減する調整法を用いて、手掌が振動を感じる閾値を求めた。



Fig. 2 Picture of Experiment

振動刺激は、PC モニタ上で単振動する球体の周期 1s を時間軸で 9 分割した区間 (0~0.11, 0.11~0.22, 0.22~0.33, 0.33~0.44, 0.44~0.56, 0.56~0.67, 0.67~0.78, 0.78~0.89, 0.89~1.00) の一つがランダムで選ばれ、その区間で提示された。従って振動提示時間は 0.11s, 提示間隔は 1s である。

PC からの出力波形を Fig. 3 に示す。出力波形は事前に予備実験を行った結果、30Hz の正弦波を提示した場合に最も顕著に弾性物体把持錯覚生じることより、30Hz の正弦波を用いた。また被験者が正弦波の立ち上がりインパルスを強く感じてしまう可能性を考慮し、30Hz の正弦波にハミング窓を乗算した。

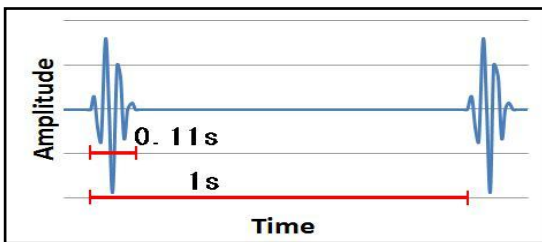


Fig. 3 Output from PC

本実験では、20 代男性 5 名と女性 1 名の被験者に対し、前腕静止時において 3 回、前腕運動時においては 9

つの各時間区間に対して 3 回、計 27 回の測定が行われた。また被験者には実験中聴覚的影響を排除するため、イヤホンを通じてホワイトノイズが提示された。実験にかかった時間は 1 人あたり約 1 時間であった。

2.3. 実験結果の解析

実験で得られたデータは PC からの出力値である。このデータのままで評価が困難であるため、前腕運動時における振動覚の閾値の平均値を前腕静止時における振動覚の閾値の平均値で正規化した。

これにより、静止時における振動覚の閾値を 1 としたとき、運動時における振動覚の閾値がどれほど変化したかを評価した。

3. 実験結果

実験結果および手掌の位置を Fig. 4 に示す。主縦軸は前腕静止時における振動覚の閾値の平均値を 1 とした時の前腕運動時における振動覚の閾値の平均値を、第 2 縦軸は手掌の位置を、横軸は時間を示す。また、エラーバーは実験結果の標準偏差を示す。

前腕運動時における振動覚の閾値の平均値はいずれの時間区間においても 1 を超えていることより、前腕静止時に比べ、振動覚の閾値が増大していることが分かる。これは Chapman らの報告[5]と同様の傾向を示すものである。

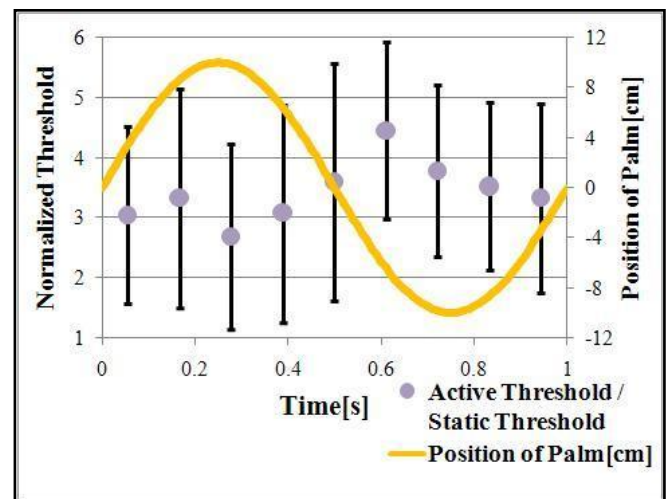


Fig. 4 Threshold of Vibration Perception and Position of Palm

Fig. 5 は実験結果の変移および手掌の加速度を示す。主縦軸および横軸は Fig. 4 と同様であり、第 2 縦軸は手掌の加速度を示す。手掌の加速度がピークに達する少し前に、手掌の振動覚における閾値の変移がピークに達し、その後閾値が減少していることが分かる。

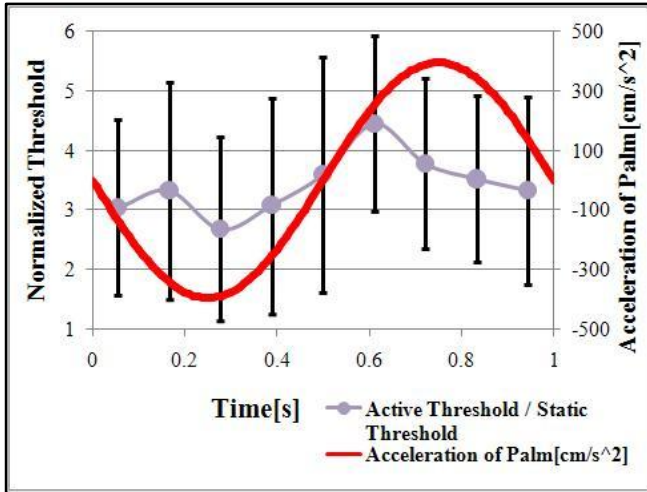


Fig. 5 Threshold of Vibration Perception and Acceleration of Palm

4. 考察

Fig. 6 は、手掌と錘の間に粘弾性物体がある状況を示している。この状態で前腕が上下に振られると、手掌の加速度に対して時間遅れをもって錘から手掌に刺激が生じる。Fig. 7 に手掌の加速度と錘から手掌に粘弾性物体を介して伝わる刺激量の変移をイメージしたものを示す。ここでは吸引、すなわち負の力も触覚的に正の刺激となると考え、負の部分を折り返している。

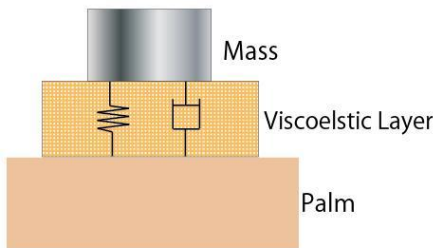


Fig. 6 Viscoelastic Layer between Palm and Mass

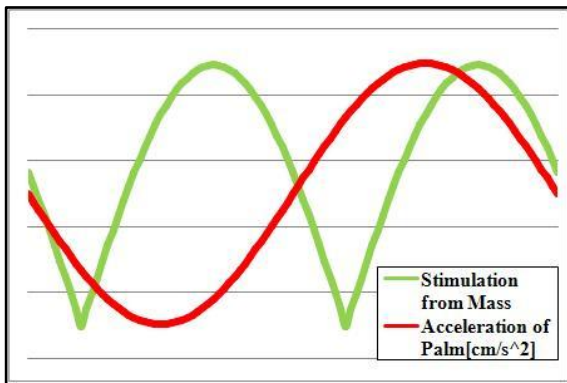


Fig. 7 Image of Stimulation from Mass to Palm

また本実験結果から、前腕が周期的な運動している際、手掌の振動覚における閾値の時間的な変移が明らかになった。手掌の振動覚における閾値の高低は振動の感じ難さを示している。従って手掌の振動覚における閾値の逆数は振動の感じやすさ、つまり手掌の振動覚における感度を示すといえる。Fig. 8 に実験結果の逆数をとった値の変移と手掌の加速度を示す。

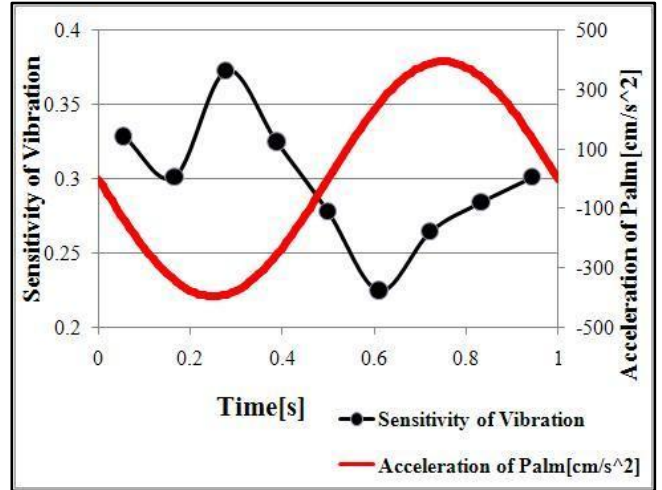


Fig. 8 Sensitivity of Vibration and Acceleration of Palm

Fig. 9 に Fig. 7 と Fig. 8 の比較を示す。手掌に粘弾性物体を介して伝わる刺激量の変移のイメージと手掌の振動覚における感度を示す曲線は類似した傾向を示している。このことにより弾性物体把持錯覚が生じた原因は、前腕の周期的な運動による手掌の振動覚における感度の周期的な変化であると考えられる。

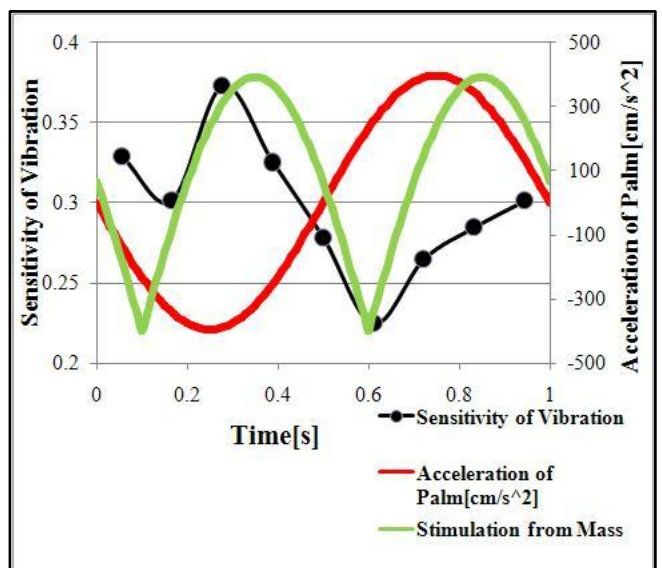


Fig. 9 Comparison between Sensitivity of Vibration and Stimulation from Mass to Palm

5. 結論と今後の展望

本論文では、前腕の周期的な上下の運動中における手掌の振動に対する感度の変移と手掌の加速度に着目し、錘から手掌に粘弾性物体を介して伝わる刺激量の変移との類似性を示し、本錯覚の発生機序を考察した。

本実験は、最も顕著に錯覚が生じた 30Hz の振動刺激を用いて行われた。本錯覚の発生機序が前腕の周期的な運動による手掌の振動覚における感度の周期的な変化であるならば、錯覚の生じにくかった周波数の振動刺激が呈示された場合、手掌の振動に対する感度と加速度の変位は異なった傾向を示すはずである。今後は異なる振動周波数を与えた場合に、手掌における振動覚の感度と手掌の加速度は如何なる傾向を示すかを検証していく予定である。この検証により、本論文で考察した錯覚の発生機序に対する妥当性が明らかになると考えられる。

参考文献

- [1] 大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正: 新編 Part 2 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.392-420, 2007
- [2] 蜂須拓, 大島沙也佳, 橋本悠希, 梶本裕之: 手掌振動刺激と前腕運動による弾性物体把持錯覚の研究, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2009
- [3] S. J. Lederman: The perception of surface roughness by active and passive touch, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol.18(5), pp. 253-255, 1981
- [4] Marco P. Vitello, Marc O. Ernst and Michael Fritschi: An instance of tactile suppression: Active exploration impairs tactile sensitivity for the direction of lateral movement, *proceedings of the EuroHaptics 2006 International Conference*, pp. 351-355, 2006
- [5] L. J. Post, I. C. Zompa, C. E. Chapman: Perception of vibrotactile stimuli during motor activity in human subjects, *Exp. Brain Res.* 100, pp. 107-120, 1994