



洗濯ばさみを用いた指への疑似力覚の提示手法

宮上昌大¹⁾, 梶本裕之¹⁾

1) 電気通信大学 大学院情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {miyakami, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要: 我々は洗濯ばさみを指に挟むことにより疑似力覚が生起可能であることを発見した。本手法は指に対して掌側から洗濯ばさみを挟むと屈曲方向に牽引感を感じ、甲側から洗濯ばさみを挟むと伸展方向に牽引感を感じる。本稿では、この現象の生起頻度等を検証し、ヒューマンインタフェースとして利用できる可能性を示す。

キーワード: 洗濯ばさみ, 疑似力覚, 牽引感, ヒューマンインタフェース, バーチャルリアリティ

1. はじめに

人は触力覚情報より触れた物体の硬さや大きさ、質感といった様々な情報を得る。この触力覚情報をバーチャルリアリティ (VR) 空間で再現する手法としては、手に装着する外骨格型デバイス[1][2]や把持型デバイス[3][4]などが提案されている。しかし多くの手法は装置が大型、複雑化しやすいという問題がある。

現在、省エネルギーかつ簡便に力覚を提示するために錯覚現象を利用することによる力覚提示手法が複数提案されている。指先皮膚への圧迫等による圧覚刺激によって疑似的な力覚を提示する手法[5][6][7][8]が提案されている。これらのデバイスは VR 空間において触覚を提示するという目的に対しては好適である。一方で VR 空間に完全に長時間没入し続けるのではなく、例えば頻繁にメカニカルキーボードを用いるような現実的状况では、指腹を完全に覆うこうした手法は指腹の現実の感覚を阻害するという課題を持つ。指の中節や基節付近にデバイスを装着する触覚提示手法[9][10]も提案されているが、いずれも力覚提示というよりは方向知覚を解釈可能な皮膚感覚を提示するものであった。筋電気刺激でも疑似力覚を指先に提示する手法[11][12]は提案されており、これらは指先を覆うことなく疑似力覚が提示可能な手法ではあるが、電気刺激は皮膚のインピーダンスによって刺激強度が変化してしまうという実用上の課題がある。

我々は洗濯ばさみを指に挟むことにより疑似力覚が提示可能であることを発見した。本手法は指に対して掌側から洗濯ばさみを挟むと屈曲方向に牽引感を感じ、甲側から洗濯ばさみを挟むと伸展方向に牽引感を感じる (図 1)。本現象のメカニズムは解明されていないが、洗濯ばさみを

Masahiro MIYAKAMI, Hiroyuki KAJIMOTO

挟んだ際に圧迫及び皮膚変形が生じていることが確認された (図 2)。指の皮膚をせん断変形させることによって姿勢錯誤が誘発されることが知られている[13]。また腱への機械刺激によって感覚神経が刺激され、運動感覚が生じることがある[14][15]。さらに腱自体を物理的に牽引している可能性もある。我々は現時点では本現象ではこれらの一部ないし全体が関わっていると考えている。本研究はこの現象を再現した疑似力覚提示デバイスを作成することを目的とする。本稿ではその予備的検討として、この現象の生起頻度等を検証し、ヒューマンインタフェースとして利用できる可能性を示す。

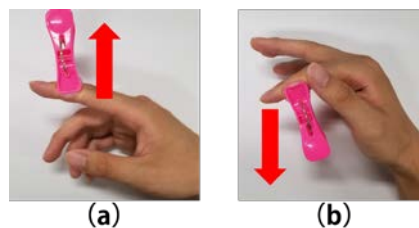


図 1 洗濯ばさみによる疑似力覚提示

(a) 甲側から洗濯ばさみを挟むと伸展方向に、(b) 掌側から洗濯ばさみを挟むと屈曲方向に疑似力覚を感じる

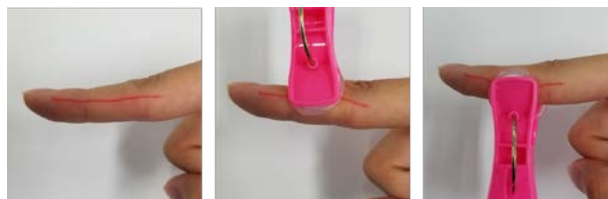


図 2 洗濯ばさみの圧迫により生じる皮膚変形
甲側から挟むと伸展方向に、掌側から挟むと屈曲方向に皮膚変形が生じている

2. 予備実験

2.1 実験概要

本実験では洗濯ばさみを指のどの部位に挟むと伸展方向と屈曲方向に疑似力覚が生じるかを確認するとともに、生じた力覚によって指をどの程度動かされているように感じるかを検証した。

2.2 実験条件

被験者は研究室男性 6 名 (21 歳~24 歳, 全員右利き) で, 実験中は閉眼, 感じる力覚に対して抗わないように指示を行った. 本現象が生起する刺激部位を特定するために図 3 のように指を①~⑤の 5 つの部位に分け, 各部位に対して甲側と掌側から洗濯ばさみをそれぞれ挟む刺激条件を設定した (表 1). ①, ③, ⑤はそれぞれ指の末節, 中節, 基節であり, ②, ④はそれぞれの間の関節部分である.



図 3 指の刺激部位

表 1 刺激条件

条件	洗濯ばさみを挟む方向	刺激部位
1	甲側	①
2		②
3		③
4		④
5		⑤
6	掌側	①
7		②
8		③
9		④
10		⑤

2.3 実験手続き

被験者は図 4 のように肘置きに右の前腕を置き, 実験担当者が被験者の人差し指の特定部位に対して洗濯ばさみを挟む. この時, 被験者に感じた力覚と指の主観的な姿勢位置について 7 段階リッカートスケールでそれぞれ回答させた. 感じた力覚では 4 を”どちらにも感じない”とし, 7 を甲側に, 1 を掌側に力を感じるとした. 指の主観的な姿勢位置では 4 を洗濯ばさみをつけていない状態の位置とし, 7 を甲側に, 1 を掌側に指があるように感じるとした. これを各条件 3 試行ずつ, 合計 30 試行を行った. 条件を提示する順番はランダムで決定した.

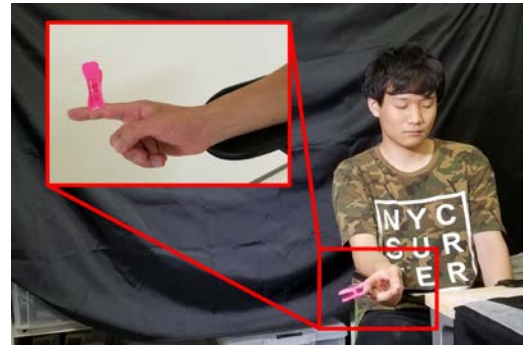


図 4 実験中の様子

2.4 実験結果

図 5 に被験者が感じた力覚についての実験結果を示す. 縦軸は被験者が回答した主観的な力覚強度, 横軸は刺激部位である. 全被験者の通常の力覚強度を 4 と仮定し, Wilcoxon の符号付き順位検定を行った. その結果, 甲①の部位刺激条件以外において被験者の回答結果に有意差が生じた.

図 6 に被験者が感じた指の主観的な姿勢位置についての実験結果を示す. 縦軸は被験者が回答した指の主観的な姿勢位置, 横軸は刺激部位である. 全被験者の通常の指の主観的な姿勢位置を 4 と仮定し, Wilcoxon の符号付き順位検定を行った. その結果, 甲①, 甲②の部位刺激条件以外において被験者の回答結果に有意差が生じた.

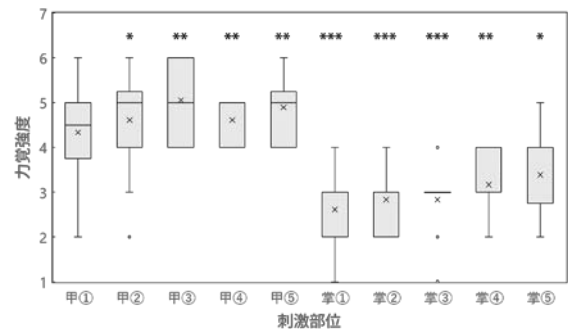


図 5 感じた力覚についての回答結果 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

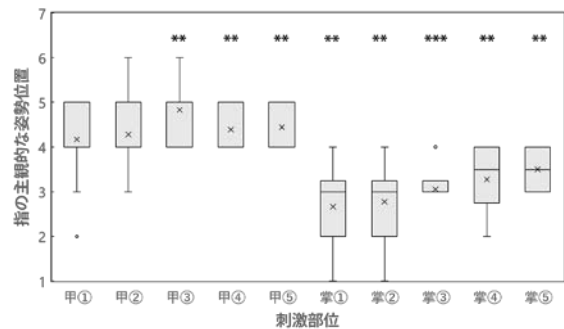


図 6 指の主観的な姿勢位置についての回答結果 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

3. 考察

実験結果より本現象が指先付近の甲側から洗濯ばさみを挟んだ際に伸展方向の疑似力覚が生起しないことが確認され、それ以外の部位では伸展方向と屈曲方向の両方が生起することが有意に確認された。また、指の主観的な姿勢位置の結果から被験者が指を動かされたという感覚が有意に生じていることから VR 空間上で物体に触れる感覚などが提示可能ではないかと考える。

本現象と類似した現象としてハンガー反射があげられる。ハンガー反射は針金ハンガーを頭に被ると不随意に頭が回旋してしまう現象であり、手首や腰部など複数の部位において生起が確認されている[16][17]。また、ハンガー反射はハンガーの圧迫により発生し[18]、回旋方向は皮膚せん断変形方向と同じであることが報告されている[19]。本現象でも同様に洗濯ばさみを挟んだ際に指が圧迫され皮膚変形が生じるが、その方向はユーザが知覚する疑似力覚の方向と同じである。つまり本現象はハンガー反射と同様のメカニズムで生起している可能性があり、ハンガー反射再現デバイスと同様のアプローチ[20]で疑似力覚を提示できることが期待される。

4. おわりに

本稿では被験者に対して本現象が指のどの部位を刺激すれば疑似力覚が生起するかを検証した。その結果、指先の甲側から洗濯ばさみを挟む条件以外において伸展方向と屈曲方向への牽引感が生起することが有意に確認された。

本現象ではどのようなメカニズムで指に対して疑似力覚が生起するのかは分かっておらず、洗濯ばさみで挟んだ際の圧迫により生じた皮膚変形が寄与しているのか、または腱への機械刺激によって駆動しているのかなどいくつかの可能性が考えられる。今後は、指装着型の皮膚変形ベースのデバイスや圧迫ベースのデバイスなどを作成し、その評価実験を行うことで本現象の原因を調査する。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP18H04110 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, Naoki Kawakami, Susumu Tachi: Haptic teleexistence. In ACM SIGGRAPH emerging technologies, Article No. 10, 2007.
- [2] EXOS, exiii, <http://exiii.jp/exos/>, 2017.
- [3] Seahak Kim, Shoichi Hasegawa, Yasuharu Koike, Makoto Sato: Tension based 7-DOF force feedback device: SPIDAR-G. In IEEE Virtual Reality, Proceedings. pp. 283-284, 2002.
- [4] Philippe Garrec, Jean P. Friconeau, François Louveau: Virtuouse 6d: A New Industrial Master Arm using Innovative Ball-Screw Actuators, In Proceedings of International Symposium on Robotics, 2004.
- [5] Vibol Yem, Ryuta Okazaki, Hiroyuki Kajimoto: Vibrotactile and pseudo force presentation using motor rotational acceleration, in Proceedings of IEEE Haptics Symposium, pp. 47-51, 2016.
- [6] Kouta Minamizawa, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami and Susumu Tachi: Wearable Haptic Display to Present Gravity Sensation - Preliminary Observations and Device Design, In Proceedings of IEEE World Haptics Conference 2007.
- [7] Massimiliano Solazzi, William R. Provancher, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco: Design of a SMA actuated 2-DoF tactile device for displaying tangential skin displacement, In Proceedings of IEEE World Haptics Conf, pp. 31-36, 2011.
- [8] Go Inaba, Kinya Fujita: A pseudo-force-feedback device by fingertip tightening for multi-finger object manipulation, in Proceedings of EuroHaptics, pp. 475-478, 2006.
- [9] Kouta Minamizawa, Koichi Tojo, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Susumu Tachi: Haptic Interface for Middle Phalanx Using Dual Motors, In Proceedings of the EuroHaptics 2006 Conference, pp. 235-240, 2006.
- [10] Claudio Pacchierotti, Gionata Salvietti, Irfan Hussain, Leonardo Meli, Domenico Prattichizzo: The hRing: a Wearable Haptic Device to Avoid Occlusions in Hand Tracking, In Proceedings of IEEE Haptics Symposium 2016, pp. 134-139, 2016.
- [11] Emi Tamaki, Takahashi Miyaki, Jun Rekimoto: PossessedHand: Techniques for Controlling Human Hands using Electrical Muscles Stimuli, In Proc. of the SIGCHI 2011, ACM, pp. 543-552, 2011.
- [12] Vibol Yem, Kevin Vu, Yuki Kon, Hiroyuki Kajimoto: Softness-Hardness and Stickiness Feedback Using Electrical Stimulation While Touching a Virtual Object, IEEEVR2018, 2018.
- [13] Benoni B. Edin, Niclas Johansson: Skin strain patterns provide kinaesthetic information to the human central nervous system, Journal of Physiology, Vol. 487(1), pp. 243-251, 1995.
- [14] D. F. Collins, K. M. Refshauge, G. Todd, S. C. Gandevia: Cutaneous receptors contribute to kinesthesia at the index finger, elbow, and knee, Journal of Neurophysiology, Vol.94 (3), pp. 1699-1706, 2005.
- [15] 財津 義貴, 稲見 昌彦, 前田 太郎, 舘 障: 腱反射を利用した新たな運動提示装置の提案, 日本バーチャルリアリティ学会 論文誌 Vol.6 No.2, pp. 99-105, 2001.
- [16] Takuto Nakamura, Narihiro Nishimura, Michi Sato, Hiroyuki Kajimoto: Application of Hanger Reflex to wrist and waist, In Proc. of IEEE VR 2014, pp. 181-182, 2014.

- [17] Yuki Kon, Takuto Nakamura, Michi Sato, Hiroyuki Kajimoto: Effect of Hanger Reflex on walking, In Proc. of IEEE Haptics Symposium 2016, pp. 313–318, 2016.
- [18] 佐藤 未知, 松江里佳, 橋本悠希, 梶本裕之: ハンガー反射-頭部圧迫による頭部回旋反応の条件特定と再現-, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.2, pp. 295-301, 2014.
- [19] 佐藤 未知, 中村拓人, 梶本裕之: ハンガー反射における皮膚せん断変形による触錯覚と運動誘発, 第 5 回テレグジスタンス研究会, 2014.
- [20] Yuki Kon, Takuto Nakamura, Rei Sakuragi, Hirotaka Shionoiri, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto: HangerOVER: Development of HMD-Embedded Haptic Display Using the Hanger Reflex and VR application, IEEEVR2018, 2018.