

ハンガー反射を用いた前腕への回旋力提示デバイス

A Wrist-Twisting Force Display Using the Hanger Reflex

中村拓人¹⁾, 西村奈令大¹⁾ 佐藤未知¹⁾, 梶本裕之¹⁾²⁾

Takuto NAKAMURA, Narihiro NISHIMURA, Michi SATO, and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1, {n.takuto, n-nishimura, michi, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 科学技術振興機構

概要: ハンガー反射と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る。類似の現象が他の部位でも確認され、我々は前報で手首において回旋に寄与している圧力点を確認した。もし効率的にこの前腕回旋を制御することができれば様々な応用が考えられる。しかし本現象の詳細な発生原因は特定されていない。本稿ではすでに発見された圧力点をもとに、前腕におけるハンガー反射の発生を制御するデバイスの開発を行うと共に、デバイスを用いたハンガー反射を知覚するために必要な圧力の閾値の測定を行った。

キーワード: ハンガー反射, 擬似力覚, 力覚ディスプレイ

1. はじめに

従来、力覚提示には大規模な装置が必要であり、利用できる環境が限られていた。しかし、近年人間の認知の錯覚を用いることで、擬似的に力覚を提示する試みが多数報告されている[1][2][3][4][5]。こうした錯覚現象を利用することで、コンパクトで軽量の力覚提示装置が実現すれば、利用における制限は少なくなり、エンターテインメントやナビゲーションなどの広い分野への応用が可能となる。

擬似的な力覚を提示する錯覚現象の一つにハンガー反射がある。針金ハンガーを頭にかぶると不随意に頭が回旋してしまう現象である[6][7]。佐藤らは対となる側頭部前方及び後方への圧迫が現象発生の鍵となっていることを確認し、確認された圧迫点への圧迫を制御することで、頭部への回旋力提示を行う装置も開発した[8]。

我々は前報において、類似した現象が手首や腰においても生起することを確認した。手首においては回旋力提示の鍵になる圧力点も確認している[9][10]。もし、これらの回旋力提示現象を制御することができれば、圧迫機構を備えた簡便な回旋力提示装置が実現できると考えられる。さらに、すでに発見されている身体部位以外にも同様の現象が確認されれば、全身の各部位への回旋力提示も可能となる。

本稿では全身への回旋力覚提示の第一歩として、すでに確認されている手首におけるハンガー反射を制御する回旋力提示デバイスについて報告する。また開発したデバイスを用いた回旋力を知覚する圧力の閾値測定についても報告する。

2. 回旋力提示デバイス

2.1 手首でのハンガー反射の圧力点

我々は前報において、手首でのハンガー反射時の手首にかかる圧力分布と手首の回旋角度を計測し、どのような圧力分布時に手首の回旋角度が大きくなるかを調査した。計測の結果、図 1 のように尺骨と橈骨を挟む対となる 2 点への圧迫が最も大きな手首回旋を引き起こすことを確認した。回旋方向によって圧力点は異なり、左回旋用と右回旋用の 2 ペアの圧力点を確認された[10]。

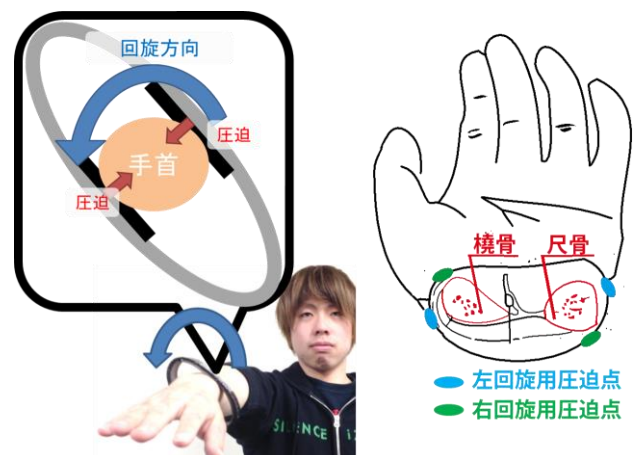


図 1 (左)手首でのハンガー反射誘発デバイス[9] (右)手首におけるハンガー反射に関わる圧迫点[10]

2.2 システム構成

本デバイスは手首にある圧迫点をリニアアクチュエータで圧迫することでハンガー反射を発生させる。リニアア

クチュエータは確認された 4 点の圧力点付近に配置されており、アクチュエータ先端に取り付けた接触子によって圧迫点を圧迫する(図 2(a))。また、リニアアクチュエータの設置位置を移動させ、腕の太さによって異なる手首の圧迫点に対応する。リニアアクチュエータの先端には接触子を取り付けられている。接触子は 2 パーツによって構成され、間にフィルム状力センサが貼り付けられており、手首に加えている圧迫を計測する(図 2(b))。計測された圧迫を用いて、手首に角の圧迫が加わらないよう制御を行う。またフィルム状力センサによって力を計測しながら圧迫を行えば、任意の力でハンガー反射を発生させることができ、提示する回旋力の制御も行うことができる。

実際に数人の手首にデバイスを装着させ、リニアアクチュエータによって圧迫点を圧迫すると、回旋力を感じると回答した。

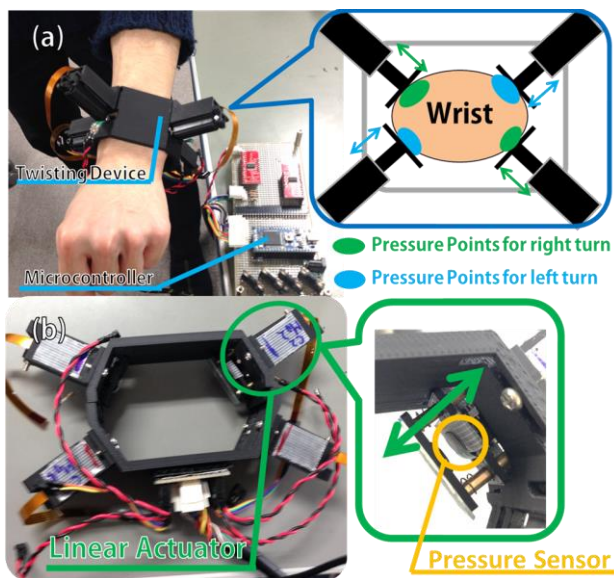


図 2 (a) デバイスの概観及び仕組み (b) デバイスの構造

2.3 回旋力発生原因の考察

ここで圧迫によって回旋力が発生する原因を考察する。デバイスによって圧迫点を圧迫されている手首を観察すると、回旋力を感じている間は常に手首の皮膚が水平方向変形していた。これはリニアアクチュエータの圧迫によって手首表面に生じたせん断力によるものである。Kuniyasuら[11][12]は前腕を牽引された際の皮膚変形を再現することで、ユーザに牽引力提示を行っている。また、Berkら[13]は前腕の皮膚をつねることで前腕の角度提示を行っている。このように人は少なくとも前腕への皮膚変形の方向を知覚でき、皮膚変形の提示によっては牽引力のような力覚を感じることが分かる。

本デバイスが手首を圧迫した際には、手首にはねじられているような皮膚変形が見られた。我々は、人間はこの皮膚変形を本能的に解除しようとし、無意識的に回旋力を提示しているのではと考えた。

3. 実験

3.1 実験概要

開発した回旋力提示デバイスによって、手首に定量的に圧力を加える事が可能となった。そこで人が手首でのハンガー反射によって回旋力を感じる圧迫力のおおよその閾値を調査する実験を行った。被験者の左手首に本デバイスを装着し、7段階の圧力を加えていった際に回旋力を感じた強さを回答させた。

3.2 実験条件

被験者は 5 名(男性 5 名, 22 から 26 歳)が参加した。被験者には事前に回旋力提示デバイスによるハンガー反射が左手首で起きることを確認しており、提示される回旋力の感覚を覚えさせた。

測定中は被験者の左手首に回旋力提示デバイスを装着させ、直立状態で手の甲が体の外を向いた姿勢をとらせた。さらにアイマスクを装着させ視覚を遮断、ヘッドホンでホワイトノイズを聞かせ聴覚を遮断した(図 3)。

3.3 実験手続き

本実験では、回旋力知覚閾値を測定するために極限法を用いた。7 段階の圧力(4.43N, 4.65N, 5.63N, 6.01N, 6.81N, 7.75N, 8.82N)を用意し、上昇する順番、下降していく順番それぞれで圧力を加え、回旋力を感じるか回答させた。今回はおおまかな回旋力知覚閾値を求めるため、制御の簡便さから等間隔の圧力ではなく、等間隔の力センサ値をもとに制御を行った。よって用意した 7 段階の圧力は等間隔の力センサの値を圧力に変換したものである。

回旋力を誘発する圧力提示には本デバイスを用い、圧力点 2 点に対して同時に圧力を加えた。圧力が上昇する順番での回旋力を感じ始めた圧力を下閾値、下降していく順番での回旋力を感じなくなった圧力を上閾値とし、下閾値と上閾値の平均値をその被験者の回旋力知覚閾値とした。

測定は圧力 1 種類ごとに回旋力を感じるかを回答させた。回答の際は手首を軽く動かすなどして、回旋力を感じているか確認しても良いこととした。測定は左回旋の上昇順下降順、右回旋の上昇順下降順の順番で行い、左回旋と右回旋の測定の間に休憩を挟んだ。



図 3 実験の様子

3.4 実験結果・考察

本実験結果を図 4(左回旋)および図 5(右回旋)に示す。両グラフは各被験者のハンガー反射による回旋力を知覚する圧力の閾値、及びその平均値を表している。左回旋における回旋力知覚閾値は 5.73N から 7.28N であり全体の平均(標準偏差)は 6.47N(± 0.63 N)、右回旋における回旋力知覚閾値は 5.03N から 7.28N であり全体の平均(標準偏差)は 5.86N(± 0.92 N)であった。

左回旋力と右回旋力の平均知覚閾値を比較してみると、右回旋の方が約 0.6N 少ない圧迫によって回旋力が知覚され、知覚が容易であったと言える。被験者も左回旋よりも右回旋のほうがより回旋力を感じやすく、より大きな回旋力を感じると実験後のインタビューにおいてコメントした。これは実験時の姿勢が関係していると推測される。測定中は手の甲が外を向く姿勢を取るよう指示した。この姿勢では体の外へ腕が回る左回旋と体の内側に腕が回る右回旋では腕の可動角度が異なる。圧力を加えない状態で被験者に腕を回させた際も左回旋よりも右回旋のほうが腕の可動域が広いとコメントした。よって今後は複数の腕の姿勢での測定を行う必要がある。

今回の実験で使用した測定手法の極限法は閾値の測定は可能なものの、正確性に欠く測定手法であった。よって今後は得られた結果を踏まえた上で正確性のより高い恒常法を用いた心理物理実験を行う必要がある。また提示する圧力も等間隔の圧力値を用意し、より解像度の高い閾値の測定を目指す。

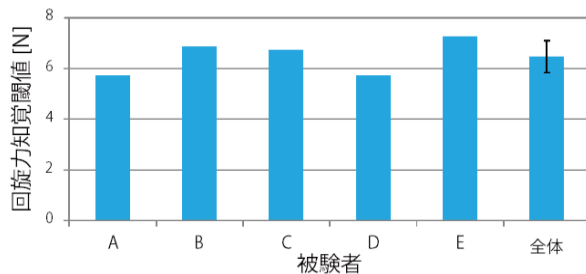


図 4 実験結果(左回旋)

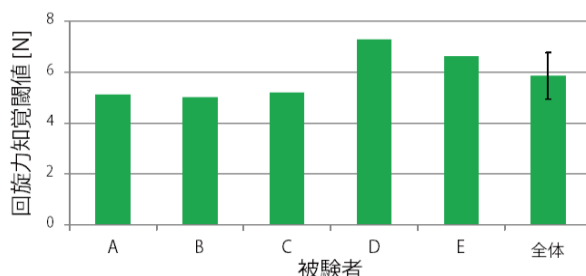


図 5 実験結果(右回旋)

4. 終わりに

本稿では既に発見されていた手首でのハンガー反射効率的に誘発する圧力点をもとに、手首に回旋力の提示を行うデバイスを開発した。また、開発したデバイスを用いて

心理物理実験を行い、手首におけるハンガー反射の知覚圧力閾値を測定した。

今後はより正確なハンガー反射知覚圧力閾値の測定や提示されている回旋力の主観的等価値の測定を始めとしたハンガー反射の現象自体の解明や本稿で開発したデバイスのアプリケーションの開発などを行っていく。

参考文献

- [1] Amemiya, T., Ando, H., and Maeda, T. Phantom-DRAWN: direction guidance using rapid and asymmetric acceleration weighted by nonlinearity of perception. In *Proc. 2005 Int. Conf. Augmented Tele-existence*, ACM Press (2005), 201–208.
- [2] Amemiya, T., Ando, H., and Maeda, T. Directed force perception when holding a nongrounding force display in the air. In *Proc. EuroHaptics* (2006), 317–324.
- [3] Rekimoto, J., Traxion: a tactile interaction device with virtual force sensation. *Proc. 26th ACM Symp. User Interface Software and Tech.* ACM Press (2013).
- [4] Minamizawa, K., Prattichizzo, D., and Tachi, S. Simplified design of haptic display by extending one-point kinesthetic feedback to multipoint tactile feedback. In *IEEE Haptics Symp.*, IEEE (2010), 257–260.
- [5] Solazzi, M., Provancher, W.R., Frisoli, A., and Bergamasco, M. Design of a SMA actuated 2-DoF tactile device for displaying tangential skin displacement. In *IEEE World Haptics Conf. (WHC)*, IEEE (2011), 31–36.
- [6] 松江里佳, 佐藤未知, 橋本悠希, 梶本裕之: 側頭部圧迫による反射運動の研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, (2007 年 9 月).
- [7] Matsue, R., Sato, M., Hashimoto, Y., and Kajimoto, H. Hanger reflex: a reflex motion of a head by temporal pressure for wearable interface. In *SICE Ann. Conf.* (2008), 1463–1467.
- [8] Sato, M., Matsue, R., Hashimoto, Y., and Kajimoto, H. Development of a head rotation interface by using hanger reflex. In *18th IEEE Int. Symp. Robot Human Interact. Comm. (RO-MAN)*, IEEE (2009), 534–538
- [9] Nakamura, T., Nishimura, N., Sato, M., and Kajimoto, H. Application of hanger reflex to wrist and waist. In *IEEE Virtual Reality (VR)*, IEEE (2014), 181–182.
- [10] 中村, 西村, 佐藤, 梶本: 手首でのハンガー反射発生時の手首圧力分布の計測, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 (2014 年 5 月 富山市総合体育館)
- [11] Kuniyasu, Y., Fukushima, S., Furukawa, M., and Kajimoto, H. Weight illusion by tangential deformation of forearm skin. In *Proc. 2nd Augmented Human Int. Conf.*, ACM Press (2011), 10.
- [12] Kuniyasu, Y., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H. Transmission of forearm motion by tangential

deformation of the skin. In *Proc. 3rd Augmented Human Int. Conf.*, ACM Press (2012), 16.

[13] Bark, K., Savall, J., Cutkosky, M., Wheeler, J., and

Lee, G. A wearable skin stretch device for haptic feedback.

In *IEEE World Haptics Conf.*, IEEE (2009), 464–469.