

足首ハンガー反射における効果的な圧迫点の調査

Investigation of effective compression points in ankle hanger reflex

○真田 華道 (電通大) 小林 優人 (電通大)
梶本 裕之 (電通大)

Hanamichi SANADA, The University of Electro-Communications, sanada@kaji-lab.jp
Masato KOBAYASHI, The University of Electro-Communications
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications

Hanger-reflex is a phenomenon in which a sense of rotation and haptic force are caused by attaching a wire hanger to the head. In previous studies, we confirmed the occurrence of this phenomena in the head, lumbar region and wrist, but strong expression was not confirmed in the feet. In this paper, we investigated the conditions that efficiently and effectively cause the hanger reflection on the ankle.

Key Words: Pseudo-haptic, Hanger-reflection, haptics

1. はじめに

近年、足へ力覚を提示する装置が多く研究されている[1].これらの装置は歩行感覚提示, リハビリテーションが主な目的となっている[2][3].しかし, 一般的にこれらの装置は複雑で大掛かりになる傾向がある. そのため可搬性や保守性が低下する問題がある. 特に歩行などへの利用を考えた場合, 様々な分野での応用を実現するには軽量で小型, 低消費エネルギーであることは重要な要素である. これらの力覚提示デバイスにおける問題の解決方法として, 我々はハンガー反射という現象に着目した.

ハンガー反射とは針金ハンガーを頭部に巻きつけたときに不随意で首が回旋してしまう現象である[4]. この現象は頭部の特定の箇所に針金ハンガーを装着するだけで容易に発生する. ハンガー反射は現在頭部のみならず, 腰部, 手首部における発生が確認されており, 現象の効率化に関する研究が行われている[5][6][7]. 一方で足においてはその発生はみとめられているものの, 効率的な生起条件やデバイスの作成は行われていなかった. なお本稿では足首におけるハンガー反射を以後足首ハンガー反射と記述する.

頭部におけるハンガー反射の効率的な発現には皮膚の剪断変形と圧迫が重要であることが先行研究によって知られている[8]. また, 特定の二点を圧迫することによりハンガー反射が効率的に発現することが知られている. 本研究では, この特定の点を“ツボ”と呼ぶ.

足首ハンガー反射の効率的な生起においても同様の条件が重要であると考えた. 本稿では皮膚の剪断変形が足首ハンガー反射においても重要な要素であることを確認するため実験を行った. 次に, 足首ハンガー反射における“ツボ”の位置を調査した. 本稿では, これら2つの足首ハンガー反射に関する実験結果について報告する.

2. 実験1: 柔軟な内張りがハンガー反射の発現に及ぼす影響

2.1. 実験装置

中村ら[6]の研究で用いられたデバイスを参考にして足首用ハンガー反射デバイスを3Dプリントで作成した(Fig. 1左, 中). このデバイスを足首に挟み込み, 圧迫することで足首部分への回旋感覚提示や足の回旋が可能となる. 作成した装置の内側にシリコンを貼り付けることによって, 摩擦力の増

大による皮膚剪断変形の増大および圧迫点の範囲拡大が見込めると考えた.

2.2. 実験目的

シリコンを内張りしたデバイスとシリコンを内張りしなかったデバイスを用いて, ハンガー反射の強度に違いが出るか調査した.

2.3. 実験内容・条件

ハンガー反射の強度に関して, 足首に装着した際の回旋感覚の大きさを主観的評価値として, 装着時の実際の足首の回転量を客観的評価値として評価する. この二つの値が大きいほどハンガー反射の強度は大きいものと判断できる. 装置を装着する位置を足の正面から見て-60度~60度の範囲で10度ずつ, 計13地点に設定した. 装着した際の主観的評価をvisual analog scale(以降VASとする)を用いて計測し, 客観的評価を分度器で計測した. 被験者は全員着座状態とた. 男性3名, 女性2名(16~50歳)が参加した. 実験において装着角度はランダム順で装着し, 被験者全員右足で測定した(Fig. 1右).



Fig. 1 Experimental equipment (left: without silicon, center: with silicon) and experimental landscape (right)

2.4. 実験結果

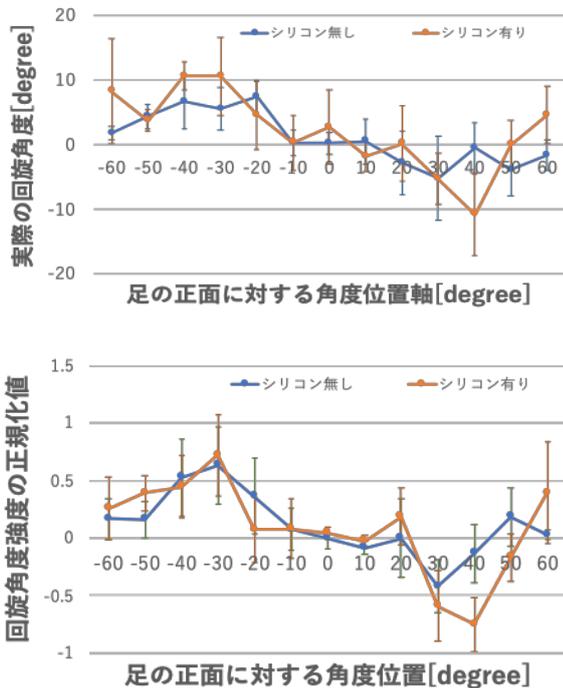


Fig. 2 Experiment 1 Result: Actual rotated angle evaluation for each compression site

Fig. 2の橙線（シリコン内張りあり）と青線（シリコン内張りなし）を比較すると、シリコン内張りありの方が複数の角度位置において実際の回旋角度が顕著に大きくなる傾向にあり、主観評価の大きさもシリコン有りの方が大きい場合が多いことがわかる。従って足首ハンガー反射においてはシリコンの内張りには一定の効果があることがわかる。

3. 実験2：足首ハンガー反射の“ツボ”位置調査

3.1. 実験装置と目的

実験1ではデバイスの内張りの有効性は確認できたが、デバイスの取付角度で議論しており、実際の皮膚に対する圧力分布に関する考察は行われていなかった。よって足首皮膚における詳細な“ツボ”の位置調査を行うため、実験2行なった。実験2では、先行研究に習い[6]、外装をステンレス製のものに変更し、内張りをシリコンではなくウレタン素材とした（Fig. 3）。装置を装着すると同時に16個の圧迫センサを用いることでどの位置で圧迫しているか確認できるようにした。



Fig. 3 Compression device in Experiment 2

3.2. 実験手法と条件

作成したデバイスを右足に装着し、主観の評価として回旋感覚強度を被験者に回答させた。評価と同時に圧迫センサ16個各点の圧迫力を計測した（Fig. 4）。この主観的評価値と各センサの圧迫力を対応づけてグラフを作成した。被験者は男性7名（21~24歳）、全員着座状態で主観評価の回答はVisual Analog Scaleで行なった。このとき圧迫点は16個のセンサの位置上で、ランダム順で装着した。

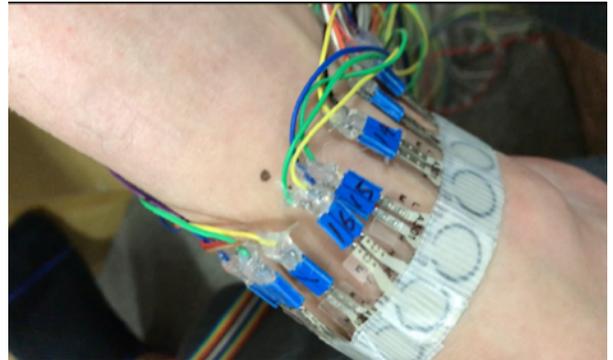


Fig. 4 State of installation of pressure sensor in Experiment 2

3.3. 実験結果と考察

Fig. 5に各センサと圧迫の対応づけた結果を示す。圧力分布と主観評価値の処理方法については先行研究と同様の処理を行った[5]。グラフの半径軸の値が大きいほど、圧迫することで強い回旋感覚を提示できるセンサ点であることを示している。橙線は外側から挟んだ場合であり、青線は内側から挟んだ時の主観評価である。Fig. 5から、右足首においては、外側回転（右回転）では、センサ1とセンサ6の位置を内側から圧迫、内側回転（左回転）は外側からセンサ16とセンサ6に対応する位置を圧迫することで最大の主観的な回旋量が得られる傾向にあることがわかった。

これにより他のハンガー反射同様、二点を圧迫することでハンガー反射の効率的な現象の生起を促せるということがわかった。また、回旋感覚を提示したい方向に対応して装置を装着する方向と位置、“ツボ”が判明した。実際に足首に対して圧迫する点と対応づけた様子をFig. 6に示す。主観的評価値の大きい場所を見ると“ツボ”は足くるぶしや脛、またはその付近のセンサ点と関連している傾向にあることがわかる。つまりくるぶしや脛付近を圧迫することでハンガー反射において重要とされているより大きな皮膚剪断変形を発生させることができ、主観的回旋強度が向上しているのではないかと考えられる。これは頭部ハンガー反射で示唆されていた骨に対する圧迫が重要ということが足首ハンガー反射でも見出されたことを示唆している。

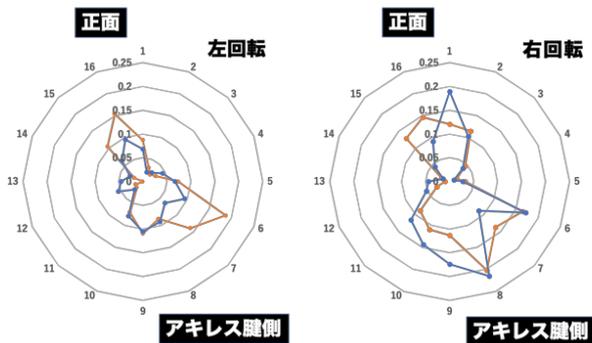


Fig. 5 Experiment 2 Result: magnitude graph of rotation sense per mounting position

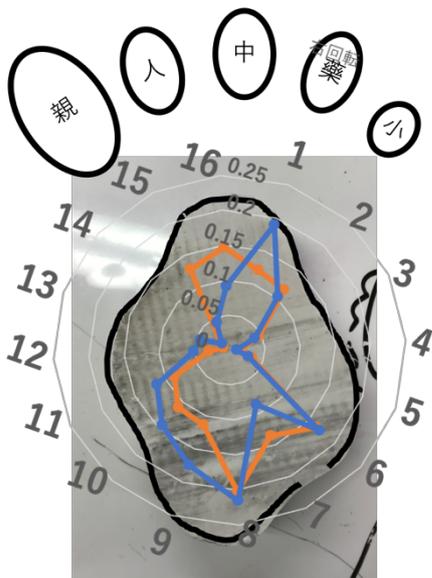


Fig. 6 Strength of right turn presentation by hanger reflection by compression position

4. 考察

実験1では、3Dプリントしたハンガー反射デバイスを用いることでシリコン製の内張りありとなしによる回旋強度への影響を測定した。その結果、内張りが足首においてより効果的に回旋感覚を生じるという結果が得られた。またこの実験において特定の角度位置で強い回旋が生じたことから“ツボ”の存在が示唆された。

実験2では足首ハンガー反射における“ツボ”の探索を行なった。圧力センサを用いて圧迫している点の認識を行い、主観評価値との対応をすることで“ツボ”の探索を行なった。Fig. 7は結果をまとめたものであり、写真の石膏は右足首の型取りをしたものである。外側回転(右回転)を効果的に提示したい場合はFig. 7における青線が対応し、内側から青線の位置にデバイスを挟み込むことで最も大きな回旋感覚を提示できる。内側回転(左回転)は橙線のように外側からデバイスを圧迫することが効果的であるとわかった。このポイントは足くるぶしや踵に関係するポイントと関連している傾向にあることがわかる。この点を圧迫することでハンガー反射において重要とされている皮膚剪断変形をより大きく引き起こすことができ、回旋強度が向上しているのではない

かと考えられる。

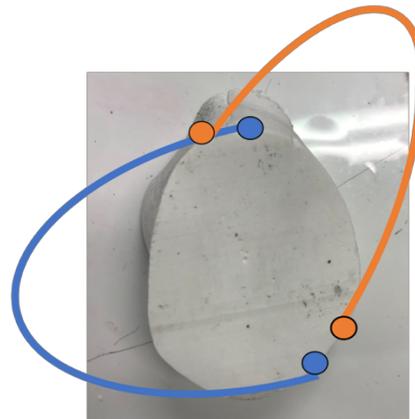


Fig. 7 The most efficient mounting method of the device in the ankle hanger reflex (Orange line: state of compression of the device when left turning, blue line: state of press of the device when right turn)

5. おわりに

本稿では足首ハンガー反射を効果的に発生させるための条件調査を行った。“ツボ”の詳細な位置を知ることはハンガー反射の効率的な生起において重要である。本研究で得られた結果から、装着が容易で回旋感覚を提示できるデバイスの作成が可能となったと考えられる。今後は現象の動的な生起を目的としたデバイスの作成や、さらに詳細な足首ハンガー反射の機序解明を予定している。

参考文献

- [1] D. Schmidt, R. Kovacs, V. Mehta, U. Umaphathi, S. Köhler, L. Cheng, P. Baudisch, “Level-Ups,” Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '15, pp. 359-362, 2015.
- [2] A. Sie, J. Realmuto, E. Rombokas, “A Lower Limb Prosthesis Haptic Feedback System for Stair Descent,” 2017 Design of Medical Devices Conference, 2017.
- [3] M. Schirmer, J. Hartmann, S. Bertel, F. Echter, “Shoe me the Way : A Shoe-Based Tactile Interface for Eyes-Free Urban Navigation,” MobileHCI, pp. 327-336, 2015.
- [4] 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回テレイグジスタンス研究会, pp. 2-5, 2014.
- [5] T. Nakamura, N. Nishimura, M. Sato, H. Kajimoto, “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.
- [6] T. Nakamura, Y. Kon, M. Sato, T. Asahi, H. Kajimoto, “Hanger Reflex that occurred on the Whole Body.” 第16回力触覚の提示と計算研究会, 2015.
- [7] 中村拓人, 西村奈令大, 佐藤未知, 梶本裕之, “手首と体幹部におけるハンガー反射,” 第18回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクシオン, 2014.
- [8] M. Miyakami, Y. Kon, T. Nakamura, H. Kajimoto, “Optimization of the Hanger Reflex (I): Examining the Correlation Between Skin Deformation and Illusion Intensity,” EuroHaptics, 2018.