



足首形状補完による 足首ハンガー反射の効率化に関する研究

Efficiency improvement of ankle hanger-reflex by ankle shape supplementation

眞田華道¹⁾, 小林優人²⁾, 中村拓人²⁾³⁾ 梶本裕之²⁾,

Hanamichi SANADA, Masato KOBAYASHI, Takuto NAKAMURA, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学部 総合情報学科 (改行)

(〒182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1, sanada@kaji-lab.jp)

2) 電気通信大学 大学院情報学専攻

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

3) 日本学術振興会特別研究員

Abstract: 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。現在ハンガー反射は頭以外に腰や手首、足首において同様の現象が観測されている。しかし、足首におけるハンガー反射は他の部位に比べ強い回旋力は確認されていなかった。我々はこの原因を足首の形状によるものであると考えた。本稿ではシリコンゴムを用いた足首形状補完による効果的な発現の実験について報告する。

キーワード: ハンガー反射, 擬似力覚, 皮膚変形

1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) の分野においては力覚を提示する装置により、使用者は VR 世界で実際の反力を感じられるようになった。しかし、その多くが手掌部への感覚フィードバックであり、足における力覚提示は比較的少なく、歩行感覚提示が主な目的となっている [5]。足にたいしても手掌部と同等の力覚提示が可能となれば、リハビリテーション等に利用可能と思われる [6][7]。

VR 空間、及び実空間での使用を目的とした高度で情報量の多い力覚提示装置は、一般的に装置が複雑で大掛かりになるため、結果として可搬性や保守性が低下する問題がある。特に足への利用を考えた場合、広範囲の応用を可能とするにはウェアラブルタイプである必要があり、軽量、低消費エネルギーであることは重要となる。この問題を解決し得る技術の候補として、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。この現象は頭部に針金性ハンガーを装着するだけで発生する。この現象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、現象の効率化等の研究が

行われている [1][2][3][4]。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。

足首付近でハンガー反射を生じさせる際には、足首が身体他の部位とはことなり楕円形状の断面をもっていないことが問題となる。現在までの研究ではハンガー反射は 2 つの押さえる点とせん断力(皮膚を横ずれさせる力)によって引き起こされるとされている [1][2]。本研究ではこれに習い、シリコンをつけることで足の歪な形状を補完し、摩擦力向上によるせん断力向上を行うこととした。なお足首でのハンガー反射は頭部や手部ほど強く作用しないため、今回は実際に曲がった角度ではなく曲がった感覚を評価の基準とすることとした。

2. 提案手法

2.1 仮説と手法

中村らの研究[4]において足首のハンガー反射を実現するために用いられたデバイスを参考とした。作成した装置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せん断の増大およびハンガー反射の効率化が見込めると考えた。

2.2 実験装置

装置の外観を図 1 に示す。この形状は中村らの研究[4]で使用したステンレス制デバイスの最も作用する幅を用いて 3D プリンタで製作した。図 1 の右図は作用側面、足に直接接触する側面にシリコンを貼り付けたものである。図の左右両装置とも足のくるぶしの上部に挟み込むことでハンガー反射を足首に発生させることのできる装置となっている。今後シリコンを貼り付けていない装置を「シリコン無し」、シリコンを貼り付けた装置を「シリコンあり」と呼ぶ。



図 1 足首ハンガー反射デバイス. (左)シリコン無し, (右)シリコンあり

3. 実験

3.1 予備実験

本実験の前に、作成した装置で足首ハンガー反射が実際に起こることを確認する実験を行った。被験者は 3 人で、3 人とも足の特定部位においてハンガー反射が生じていることを目視で確認、ハンガー反射による足が曲げられる感覚を確認できたと回答した。これにより本研究に用いた装置の有効性が示された。

3.2 実験条件と手順

3.2.1 実験条件

被験者は男性 4 名 (20~24 歳, 右利き 4 人) で行なった。被験者には実験の前にハンガー反射とはそもそも何かということを経験してもらうため、感覚が似ている手首におけるハンガー反射を経験してもらった。この体験には先行研究[3]を参考にした。

足の装着位置は、足首の外周を紙で巻きつけ、その

長さを測定し、紙に目盛りを振ることで正面からの簡易的な角度を算出した。なお足首は円形状ではないため正確な角度とは言えないが、今回はこの簡便な手法でも被験者間の統制はとれると考え角度として採用した。

実験を行う際、被験者は全員椅子の上に立ってもらい、右足を椅子の外に出し足を脱力状態にしてもらう形で左片足立ちしてもらった (図 2)。



図 2 実際の実験の様子と装置の装着時の状態

3.2.2 実験手順

-60° , -45° , -30° , -15° , 0° , 15° , 30° , 45° , 60° の 15° 刻み 9 条件, シリコンの有無 2 条件の合計 18 条件を 5 回ずつ, 合計 90 試行を行った。すべての条件はランダム順に行った。

一試行ごとに図 3 の VAS (Visual Analog Scale) で足の回旋した感覚の強度を回答してもらった。RIGHT なら右回旋が強く, LEFT なら左回旋力が強いという評価となる。なお最大値は、事前に実際に被験者の右足を左回転方向, 右側回転方向に可動域限界まで手動で回転させて, その力を各方向の最大値として評価してもらった。

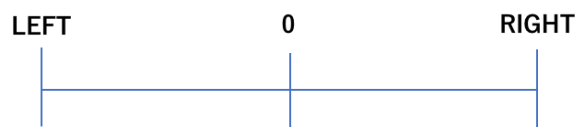


図 3 使用した回答用紙

実験終了後, 左回転方向を負, 右回転方向を正として $-1 \sim +1$ の範囲で正規化した。

4. 実験結果

図4に実験結果をグラフで示す。

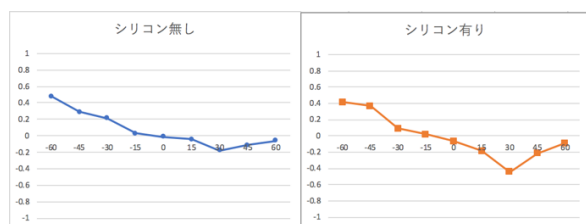


図4 被験者全員のハンガー反射平均強

縦軸は被験者のハンガー反射の主観的強度を正規化したものであり、横軸は装着位置の正面から見た角度である。なお今回は被験者数が少ないため統計的処理は行っていないが、4人から得られたグラフはすべて、ほぼ同型のグラフであった。

5. 考察

図4から、シリコン無しとシリコンありを比較するとシリコンありの方が反応する幅が広い（すなわち装着位置が最も良い場所からずれても反応する）ことがわかる。またシリコンありの場合、全体的に回答が負側にシフトしており、左回旋、すなわち今回のセットアップでは足の内側方向への回転がより生じやすくなっていることがわかる。中村ら[3]の手首ハンガー反射の“ツボ”と足で今回得られた結果を比較すると、各関節を上から見た際の右前方向、左前方向(本実験でいうところの30°、-45°付近)が最も効果を得ている点において類似の結果が得られていると言える。また外側、内側回転の方向と押下位置の関係は被験者間で一致しており、足首においても“ツボ”に類するポイントが存在することが再確認された。

手首の場合とツボの位置がやや異なる原因としては、骨の配置および形状の違いが考えられる。手首では骨は足に比べ横一直線上に配置されている(改行不要)

図5は足首のアキレス腱の少し上の断面図である。これは足の型を取り石膏で作成したものであり、オレンジの点が右回旋を引き起こすときの押下位置の中心、緑の点が左回旋を引き起こすときの押下位置の中心である。これらはくるぶしの突起付近の斜面部に位置しており、つまりこうした突起部の斜面を押さえればより効率的にハンガー反射を引き起こせることがわかる。これは手首ハンガーで結論づけられている結果と同様の内容であり、両部位ともに骨が重要であるというハンガー反射の発生の解明に寄与できる内容である。

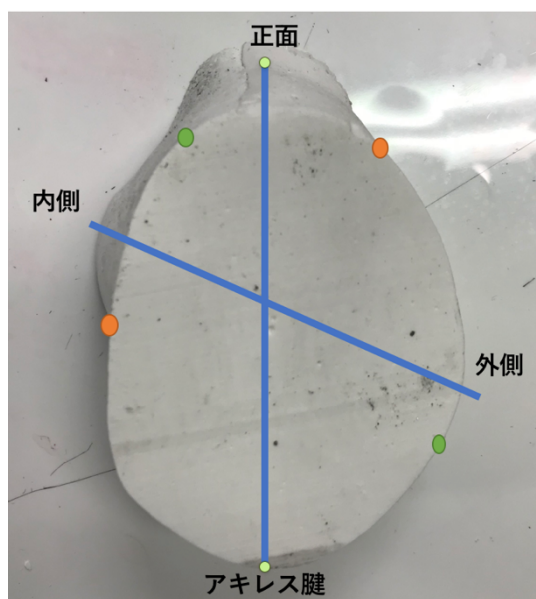


図5 足首周りの型

シリコンをつけることによるハンガー反射の効率化については、シリコンをつけることで摩擦力が増大することに加え、シリコンの変形によって皮膚との接触面が増大している点が寄与しているのではないかと考えられる。

6. おわりに

今回の実験結果から、足首のハンガー反射の適切な部位は骨の位置に強く影響を受け、せん断変形を生じやすい突起部付近側面が特に効率的に生起することが確認された。また足でハンガー反射を起こす際、左回旋、右回旋のどちらともを強く出すためにはシリコンを貼り付けた方がいいという結論も得られた。今後は最適なシリコン形状や駆動手法を検討し、VRやナビゲーション応用に展開していく。

参考文献

- [1] 佐藤, 中村, 梶本: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回レイグジスタンス研究会,2014
- [2] 中村, 西村, 佐藤, 梶本: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 インタラクション(2014年 2-3月 東京)
- [3] 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)
- [4] 中村, 今, 佐藤, 旭, 梶本: 身体全体でのハンガー反射, 第16回力触覚の提示と計算研究会, 2015.11, 立命館大学くさつキャンパス.
- [5] S. Maximilian, H. Johannes, B. Sven, E. Florian : Shoe

me the Way : A Shoe-Based Tactile Interface for Eyes-Free Urban Navigation, MobileHCI, 2015

- [6] Inñaki Díaz, Jorge Juan Gil, and Emilio Sánchez : Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges , J. Robotics, Vol. 2011, Article ID 759764, 2011.
- [7] Richard E. Fan, Martin O. Culjat, Chih-Hung King, Miguel L. Franco, Richard Boryk, James W. Bisley, Erik Dutson, and Warren S. Grundfest : A Haptic Feedback

System for Lower-Limb Prostheses, IEEE Trans. Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 16, No. 3, pp.270-277, 2008.