



電気刺激を用いたハンガー反射現象再現の検討

Preliminary Observation of Hanger Reflex by Electrical Stimulation

齋藤大雅¹⁾, 宮上昌大¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Taiga SAITO, Masahiro MIYAKAMI and Hiroyuki KAJIMOTO

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

概要：頭に針金ハンガーを装着し，頭部の 2 点を圧迫することで不随意に頭が回旋するハンガー反射現象が知られている．我々は頭部への物理的な圧迫の代わりに電気刺激を用いて圧迫感を提示することでもハンガー反射現象が生起することを発見した．本稿では電気刺激におけるハンガー反射の生起頻度，回旋角度等を評価することでハンガー反射デバイスの小型化，軽量化を検討する．

キーワード：ハンガー反射，電気刺激，疑似力覚

1. はじめに

頭部に針金ハンガーを装着することで不随意に頭が回旋するハンガー反射現象が知られている[1]．ハンガー反射現象は，側頭部前方と側頭部後方のような対抗する 2 点の部位を機械刺激による圧迫刺激を提示することによって発生することが確認されている[2]．今ら[3] は空気袋を用いて頭部の対抗する 2 点へ圧迫を提示し，ハンガー反射現象の再現および制御を実現している．この方式は大面積に適切な圧迫を加えることで痛み無くハンガー反射を生じさせることができるが，圧迫提示時のエアモータの駆動音や空気袋駆動の応答性が低いなどの課題がある．

高い応答性の圧迫刺激を提示する手段として電気刺激があげられる．電気刺激は極性によって生起感覚が異なり，陰極刺激では振動感覚より圧覚が優位に感じられることが知られている[4][5]．我々は側頭部後方に機械刺激による圧迫刺激を提示した状態で側頭部前方に電気刺激による圧迫刺激を行うことによってハンガー反射現象のような頭部回旋現象が生起することを確認した．我々はこの刺激手法を用いることで従来のハンガー反射再現デバイスの応答性向上や小型化が実現できると考えた．また，ハンガー反射現象は現象生起に皮膚のせん断変形が寄与していると考えられているが[6][7]，本手法では現象生起時に皮膚のせん断変形は生起していないため，ハンガー反射現象に皮膚せん断変形が必須であるかどうかという機序解明にも繋がると思われる．

本研究は，電気刺激を用いたハンガー反射現象制御システムを構築することで，頭部ハンガー反射再現デバイスの応答性向上および小型化を目的とする．本稿では特に，電気刺激と機械刺激を組み合わせた刺激，または電気刺激の

みを提示することによるハンガー反射現象の生起頻度等を確認する．

2. 実験

本実験では電気刺激を用いて額に圧迫感を提示することでハンガー反射現象の生起頻度を確認する．また，従来のハンガー反射は対抗する 2 点の圧迫によって生起することが知られているため，本実験においても側頭部前方では電気刺激による圧迫感提示，側頭部後方では機械刺激による圧迫刺激を加えることでハンガー反射現象提示手法を再現し，頭部回旋現象の生起頻度を確認する．

2.1 電気刺激装置

電気刺激は図 1 に示す 128 点の円形電極を 8 × 16 に等間隔で配置した電気刺激装置を用いて行った．各電極の直径は 2.0mm，電極中心間距離は 3.0mm で，電気刺激のパルス幅は 250us，刺激時間は 40ms，刺激周期は 50ms で行った．刺激強度は試行ごとに被験者が痛みを感じない最大の電流値を確認し，これを指令値とした．本実験では，ハンガー反射現象を再現するために頭部へ圧迫感を与える陰極刺激を選択した．また，電極はハンガー反射の生起が確認できた部位に重なるように 1mm のゲル（積水化成，G グレードゲル）を間に挟み，伸縮性のバンドで装着して電極を固定した．ゲルは額の皮膚が薄く電気刺激が強くなり痛みが生じやすくなることを予備的に確認したため，痛みを軽減するために装着した．

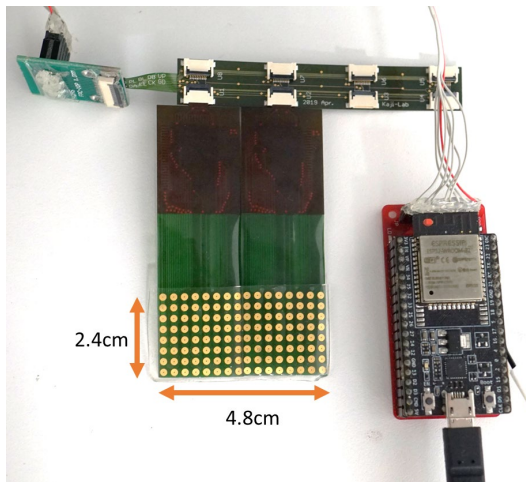


図 1. 電気刺激装置

(左：128 点の刺激電極，右：電気刺激制御装置)

2.2 後頭部圧迫提示

側頭部後方への機械刺激による圧迫刺激は、アルミ製の長さ 8.8cm×幅 8.8cm×高さ 2.6cm の箱状のものを使用した。機械刺激も電気刺激同様に頭部へバンドを用いて固定した(図 2)。本実験では、圧迫による実際の皮膚の変形は確認していないが、機械刺激提示時はハンガー反射現象が生じないことを被験者ごとに確認した。

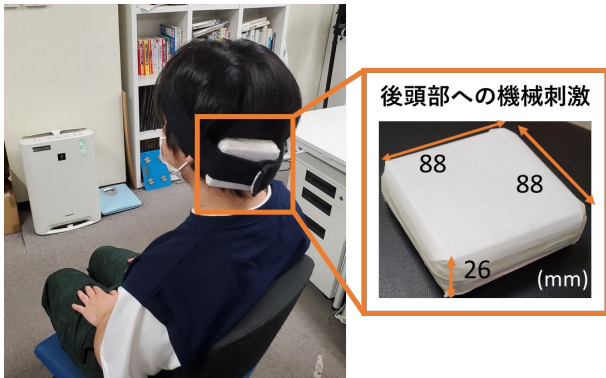


図 2. 後頭部への機械刺激の様子

2.3 回旋角度の計測装置

電気刺激で感じた力覚によって生じた被験者の回旋角度を計測するために、頭頂部に再帰性反射材マーカを取り付け光学式モーションキャプチャシステム(Optitrack Trio, Natural Point, Inc)を用いて計測した。被験者は頭部がトラッキング可能な位置に座らせた。

2.4 実験手続き

被験者は男性 3 名 (21 才-26 才) であった。頭部回旋角度の計測中は感じた力覚に逆らわないように指示を行った。電気刺激とマーカの装着した実験中の状態を図 3 に示す。刺激電極の装着位置は事前に針金ハンガーでハンガー反射現象の生起が確認できた圧迫点に配置した。また、ハンガー反射現象は 2 点の対抗位置を圧迫した際に特に顕著に発生することが知られているため、後頭部への機械

刺激のあり、なしの条件を刺激条件とし、機械刺激ありのときは 8.8 × 8.8 cm の剛体を刺激電極と対抗する位置に配置した(図 4)。

頭部への電気刺激による圧迫感提示は予備実験より同電流値で電極すべてを刺激(全点同刺激)する条件、額の中央から側頭部にかけて電流値を少しずつ下げた刺激を電極すべてに刺激(段刺激)する条件の 2 条件を設定した(図 5 図 5. 実験で使用した 2 つの電気刺激パターン)。また、頭部への機械刺激あり、なしのそれぞれの組み合わせの 4 条件を各 3 試行ずつ、計 12 試行行った。各試行で電気刺激による刺激提示後に頭部を自然にするよう指示し、被験者はこれ以上頭が回旋しないと感じた位置を最終的な回旋角度として計測を行った。その後被験者に回旋方向への力覚強度を 5 段階のリッカートスケール(1:感じない, 5:とても感じる)で回答させた。



図 3. 電気刺激装置と再帰性反射材マーカの装着

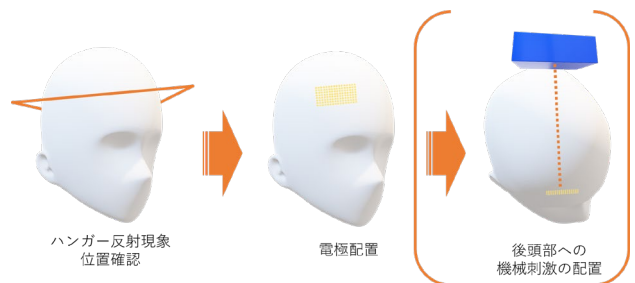


図 4. 刺激電極と機械刺激の位置決定

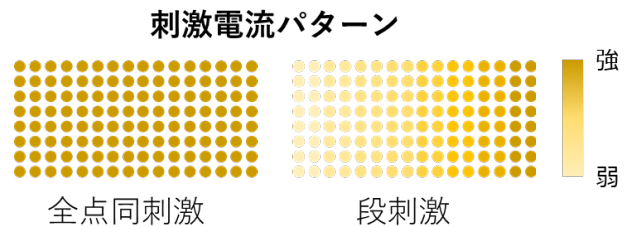


図 5. 実験で使用した 2 つの電気刺激パターン

3. 実験結果

図 6 に被験者が感じた回旋角度への力覚強度についての結果を示す。図 7 に被験者の頭部の回旋角度についての実験結果を示す。頭部回旋角度については後述するように回旋方向が一意に定まらなかったため、個々のデータの

み掲載した。どちらも横軸は刺激条件（1行目：電気刺激パターン、2行目：後頭部への刺激）である。

実験結果から、機械刺激ありの条件の方が機械刺激なしの条件より回旋方向への力覚を感じたと回答する傾向が見られた。また、回旋方向は一意に定まらなかったが、回旋が生起する傾向がみられた。

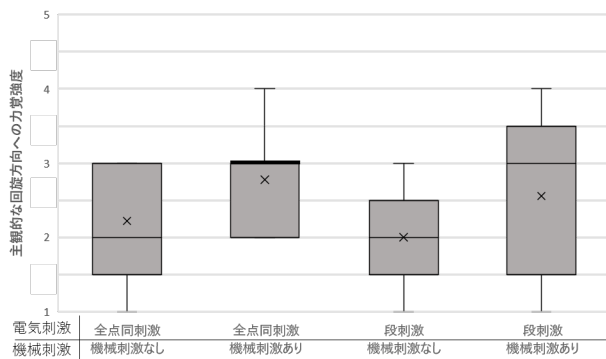


図 6. 感じた回旋方向への力覚強度の回答

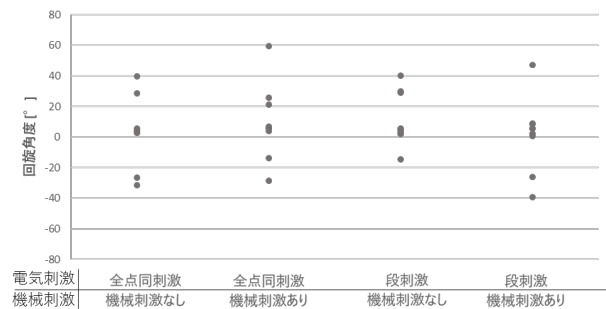


図 7. 各条件における頭部回旋角度
正方向は右回転、負方向は左回転

4. 考察

実験結果より、額に電気刺激を提示することでハンガー反射現象に類似した頭部回旋現象の生起傾向を確認できた。ハンガー反射現象は対抗する2点の圧迫によって生起することが知られているが、本実験で行った側頭部前方のみへの電気刺激によってもハンガー反射現象の生起を確認することができた。

本手法では電気刺激により圧迫感のみを提示しており、機械的な皮膚せん断は行っていない。一方で佐藤ら[8]は皮膚のせん断変形が寄与することを明らかにしており、また宮上ら[9]は皮膚のせん断刺激のみで頭部回旋現象を確認している。本手法による圧迫刺激のみで回旋が生じうるといふ結果は、どのように解釈したら良いだろうか。

本実験後、被験者から「電気刺激による圧迫感によって横ずれ感を感じた」というコメントがあった。そのため、圧迫刺激を皮膚せん断変形と解釈し、その結果としてハンガー反射を生起している可能性がある。今後は主観的な回旋方向への力覚強度だけではなく、皮膚感覚の種類についての質問を行う必要がある。

図6の結果より、後頭部に機械的な圧迫刺激があると回旋方向への力覚を感じやすい傾向がみられた。また、被験者のコメントもこれを裏付けている。ハンガー反射現象は頭部2点の対象となる部位を刺激することで発生することが知られていることから、後頭部への圧迫が回旋方向としての知覚に影響を与えていると考えられる。今回は側頭部前方の刺激も機械的な圧迫で行う実験は行っていないが、その場合と電気刺激で置き換えた場合の比較も検討する必要がある。一方で、機械刺激の有無で回旋角度の大きさ自体に変化はあまり見られなかった。ただし被験者数の少なさから傾向がまだつかめないため、より多くの被験者による実験で傾向を確認する必要がある。

図7の結果から分かるように電気刺激を用いたハンガー反射現象の再現では回旋方向が一意に定まらなかった。本実験では被験者に対して圧迫感の知覚に関する評価は行わなかったが、実験後に額に対して圧迫感を感じる事ができたとコメントがあったことから、電気刺激による圧迫感の提示は行うことができたと考えられる。今回の刺激条件で額の中心部と側面で圧迫強度を変えることによって額がどちらの方向に圧迫されているのかを知覚させるために段刺激の刺激条件を設定した。しかし、実験後に刺激パターンの違いを知覚できなかったというコメントがあったことから、段刺激では空間的な刺激パターンの強弱を十分に再現できず、方向手掛かりにならなかったと考えられる。今後は、電流値によって刺激パターンに強弱変化をつけるのではなく、刺激の頻度によって変化させるなど様々な刺激パターンで実験を行う必要があると思われる。

5. おわりに

本稿では、額電気刺激でハンガー反射現象の生起頻度を確認した。また、後頭部の機械刺激が電気刺激によるハンガー反射現象へ及ぼす影響について検討した。その結果、針金ハンガーを使用したハンガー反射現象と比較すると錯覚強度は強くないが、額電気刺激でも機械刺激を行わずに頭部を回旋する傾向を確認した。加えて、後頭部への機械刺激を付与した額電気刺激条件の方が、機械刺激を提示しない条件と比較して主観的な力覚強度が強く出る傾向がみられた。

今後は被験者を増やすとともに皮膚せん断によるハンガー反射現象との比較を行うことで圧迫感や皮膚せん断感覚がハンガー反射現象に与える影響について調査する。

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] Michi Sato, Rika Matsue, Yuki Hashimoto and Hiroyuki Kajimoto “Development of a head rotation interface by using hanger reflex,” Proc. of 18th IEEE Int. Symp. Robot Human Interact. Comm. (RO-MAN), pp. 534–538, 2009.

- [2] 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.
- [3] Yuki Kon, Takuto Nakamura, Rei Sakuragi, Hiroataka Shionoiri, Vibol Yem and Hiroyuki Kajimoto “HangerOVER: Development of HMD-Embedded Haptic Display Using the Hanger Reflex and VR application,” IEEEVR2018, pp. 765-766, 2018.
- [4] Yem, Vibol, and Hiroyuki Kajimoto. “Comparative evaluation of tactile sensation by electrical and mechanical stimulation,” IEEE transactions on haptics 10.1, 2016 pp. 130-134.
- [5] Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Taro Maeda, and Susumu Tachi, “Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation,” 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT99), 1999.
- [6] 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回テレインジスタンス研究会, 2014.
- [7] Masahiro Miyakami, Yuki Kon, Takuto Nakamura, and Hiroyuki Kajimoto “Optimization of the Hanger Reflex (I): Examining the Correlation Between Skin Deformation and Illusion Intensity,” Euro Haptics 2018, pp 36-48, 2018.
- [8] 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,” バーチャルリアリティ学会 2014.
- [9] 宮上昌大, 梶本裕之, “テープと輪ゴムを使用したハンガー反射現象再現の検討,” 日本バーチャルリアリティ学会 2020.