



皮膚せん断刺激の多点化が 頭部回旋現象に及ぼす影響の調査

The effect of multiple point shear stimulation for head rotation phenomenon

宮上昌大¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Masahiro MIYAKAMI, Hiroyuki KAJIMOTO

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：側頭部前方に皮膚せん断刺激を提示することにより、頭部が回旋する現象はハンガー反射として知られている。本現象はこれまで眉やこめかみの高さで確認されているが、今回頬骨部分においても同様の回旋現象の生起を確認した。本稿では、頬骨部分に皮膚せん断刺激を提示した際の頭部回旋現象の生起頻度等を確認するとともに、側頭部前方と頬骨部分を同時に皮膚せん断刺激することによる頭部回旋現象への影響について調査する。

キーワード：ハンガー反射、疑似力覚、皮膚せん断、バーチャルリアリティ

1. はじめに

頭部に針金ハンガーを装着することにより、頭が不随意に回旋するハンガー反射現象が知られている[1] (図 1)。ハンガー反射現象はこれまで報告されている疑似力覚提示手法[2][3]の中でも身体を動かすほどの強い運動を生起させる現象であり、医療や歩行ナビゲーション、バーチャルリアリティ (VR) 等への応用など多岐に渡る提案がされている。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 点を圧迫することによって生起する現象であり[4]、現在の頭部ハンガー反射再現デバイスではこの対抗する 2 点の圧迫を再現することで現象の再現および制御を実現している[5]。また、圧迫提示には空気袋を採用しており、刺激提示部分は小型かつ軽量であるが、圧迫提示の際の垂直方向の力を逃さないために身体周囲に硬い外殻 (フレーム) を備える必要があり、結果として装置がやや大型になるという課題がある。

ハンガー反射は皮膚せん断変形の方向により、回旋運動の方向が決定されること[6]、皮膚のせん断変形と錯覚強度の間には相関関係があること[7]が報告されている。我々はこれらの報告より、皮膚のせん断変形がハンガー反射現象生起に大きく寄与していると考え、側頭部前方部分に皮膚せん断刺激のみを提示し、頭部回旋現象が生起することを報告した[8]。本現象は従来のハンガー反射現象の再現手法とは「皮膚に対しての刺激をせん断刺激のみに限定していること」「1 点の刺激のみで回旋運動が生起すること」の

2 点で異なっている。本手法は身体周囲に硬いフレームを必要としないため、従来のハンガー反射再現デバイスの更なる小型化が期待できる (図 2)。今回我々は、頭部回旋現象が生起する刺激部位として、これまで確認してきた側頭部前方の他に、頬骨部分でも同様の現象が生起することを確認した。ハンガー反射現象では皮膚の変形量と錯覚強度の間に相関関係があるため、本現象においても側頭部前方と頬骨部分を同時に刺激し、皮膚の総変形量を増加させることで錯覚強度の増強が期待できると考えた。

また、頬骨付近でのハンガー反射現象の生起は、次のような重要な応用につながると思われる。第一に頭部搭載型ディスプレイ (HMD) に本手法を再現した機構を内蔵することである。前方側頭部も頬骨付近も、共に HMD の皮膚接触部に当たるため、HMD への内蔵が容易であると考えられる。第二にマスクに本手法を再現した機構を内蔵することである。昨今の COVID-19 に伴う社会情勢の変化により、我々は日常的にマスクを装着することになった。このマスクに内蔵する (マスクによって隠される) ナビゲーションインタフェースとして、頬骨部分へのハンガー反射現象による疑似力覚提示が利用できる可能性がある。

本稿では、HMD が接する側頭部前方と頬骨部分に着目し、これらの部位を独立または同時に皮膚せん断刺激した時の頭部回旋現象の錯覚強度に及ぼす影響について検証する。

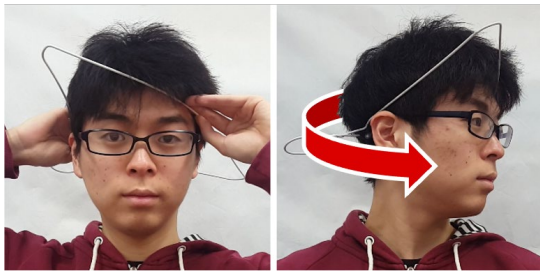


図 1 ハンガー反射現象[1]

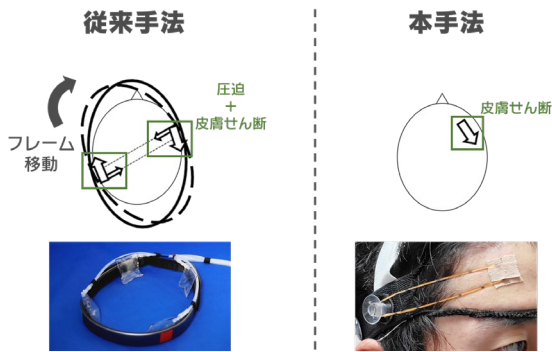


図 2 従来手法[5]と本手法[8]

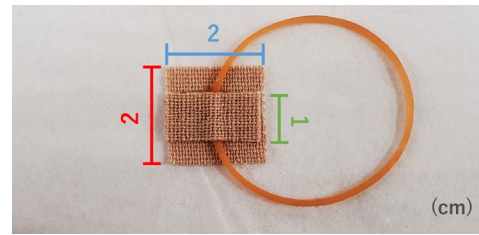


図 3 実験で使用した 2×2 cm のキネシオテープ

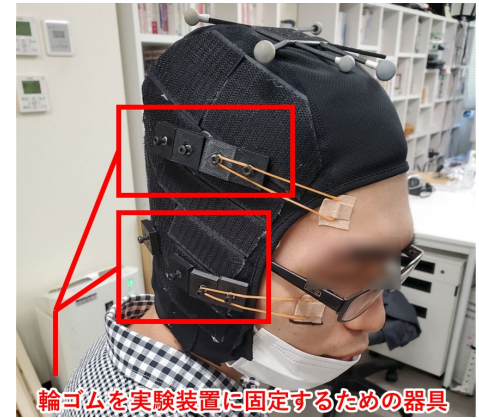


図 4 実験装置を装着する被験者

2. 実験

2.1 実験概要

本実験はテープを用いた皮膚せん断刺激を側頭部前方と頬骨部分にそれぞれ適用することで頭部回旋現象の生起頻度を調査する。また、側頭部前方と頬骨部分を同時に刺激する条件と独立に刺激する条件を比較することで、生起する回旋現象の錯覚強度に及ぼす影響を確認する。刺激条件ごとに主観的な力覚強度のアンケートによる評価と物理的な回旋角度の計測を行う。

2.2 実験条件

被験者は針金ハンガーによってハンガー反射現象を生起し、かつ側頭部前方に皮膚せん断刺激を提示したときに頭部回旋現象が生起する男性 7 名 (23~28 歳) で行った。皮膚のせん断刺激は筆者らの研究[8]を参考にテープと輪ゴムを用いた手法で行った。使用するテープは Hamadan ら[9]の皮膚せん断変形手法を参考にキネシオテープを用いた。テープの大きさは筆者らの研究より現象の生起頻度が高かった 2×2 cm とした (図 3)。輪ゴムをキネシオテープの非粘着面の中央に設置し、その上から幅 1cm のキネシオテープを接着剤で接着することで固定した。刺激条件はせん断力の強さを 50 gf、100 gf、150 gf、200 gf の 4 条件、刺激部位を側頭部前方 (T)、頬骨 (C)、側頭部前方及び頬骨 (TC) の 3 条件、これらを組み合わせた合計 12 条件を設定した。頭部回旋角度の計測中は閉眼し、頭は知覚した力覚に抗わないように指示した。実験中、感じた力覚によって回旋した被験者の頭部角度を計測するため、頭頂部に再起性反射材マーカを取り付けた実験装置を装着し、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 (図 4)。

2.3 実験準備

今回は、将来的な HMD への内臓を念頭に、次のような手順で刺激提示位置を決定した。実験担当者は針金ハンガーの長辺部分が被験者の右前方側頭部に当たるように装着するよう指示し、ハンガー反射現象の生起を確認した。確認できた場合、針金ハンガーの長辺部分で圧迫していた位置の皮膚に印をつけた (図 5(a))。次に HMD を映像がはっきり見える位置に装着するよう指示し、HMD の皮膚との接触部分と、前述の針金ハンガーを用いた実験でつけた印からの垂直線との交点に印をつけた (図 5(b)の緑の点)。印の位置にテープを貼り付け、輪ゴムで牽引した。輪ゴムの牽引力が設定値になる位置を 3 軸力センサ (DSA-03A, Tec Gihan) を用いて見つけ、その位置に輪ゴムの固定器具 (図 6) をマジックテープで貼り付けた。図 4 には輪ゴム固定器具が貼付されている様子を示している。

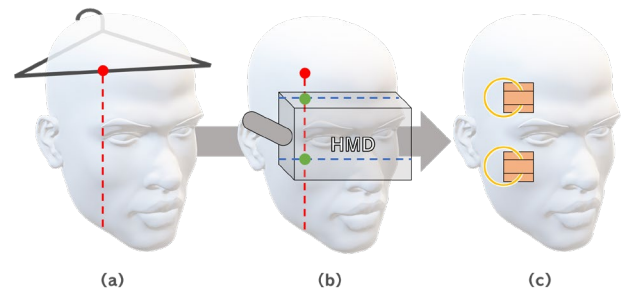


図 5 テープを貼り付ける位置の決定

- 針金ハンガーを装着し、刺激部位の垂直軸を決定、
- HMD を装着し、2つの刺激部位の水平軸を決定、
- 垂直線と水平線の交点を刺激部位と定め、それぞれにテープを貼付

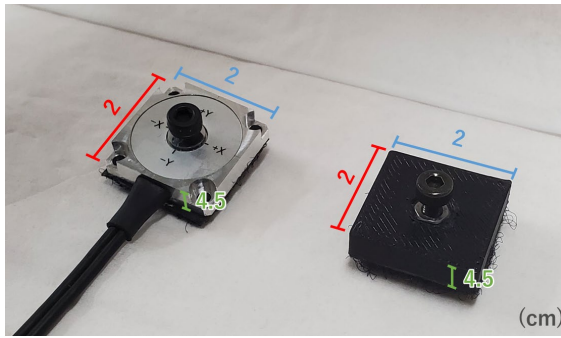


図 6 (左) 3 軸力センサ、(右) 固定器具

2.4 実験手続き

被験者は頭部に実験装置を装着し、光学式モーションキャプチャシステムによって頭部がトラッキング可能な位置に座った。実験担当者は前述の準備によって貼付された固定器具を用いて指定された力で刺激提示を行った。刺激提示から頭部回旋角度の計測を開始するまでに時間がかかることから、刺激への順応を防ぐために刺激提示後、力覚を感じても正面を向き続けるよう指示した。その後、被験者の手で 2 箇所刺激部位に対して皮膚のせん断方向とは逆向きの方向に皮膚をせん断させた後、頭部回旋角度の計測を開始し、開始直後に手を離すように指示を行った。このとき、閉眼および感じた力に抗わないよう指示した。被験者の頭部がこれ以上力覚によって動かないと感じた位置を最終的な回旋角度とし、計測を行なった。その後、感じた力覚について 7 段階リッカートスケールで回答させた。回答について、1 を「感じない」とし、7 を「とても強く感じる」とした。回答後は実験担当者が輪ゴムを刺激固定装置から外し、再度特定の条件で輪ゴムを刺激固定装置に設置し、刺激を行った。これを各条件 1 試行ずつ、合計 12 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。

2.5 実験結果

図 7 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、横軸は刺激条件 (1 行目が刺激部位、2 行目が刺激強度) である。

図 8 に被験者の頭部回旋角度についての実験結果を示す。縦軸は被験者の頭部回旋角度、横軸は刺激条件である。それぞれの実験結果に対し、刺激部位ごとの違いを見るため、刺激部位間で多重比較 (Bonferroni 法) を行った。

感じた力覚についての実験結果では、100gf と 150gf、200gf の刺激強度条件で TC と T の間に有意差が生じた。一方でどの刺激強度条件においても TC と C の間に有意差は生じなかった。これに加え、100、200gf 条件では T と C の間に有意差が生じた一方で 200gf 条件では TC と C の間に有意差は生じなかった。

頭部回旋角度についての実験結果では、100gf、150gf 条件において TC と T の間に有意差が生じ、150gf 条件では T と C の間にも有意差が生じた。

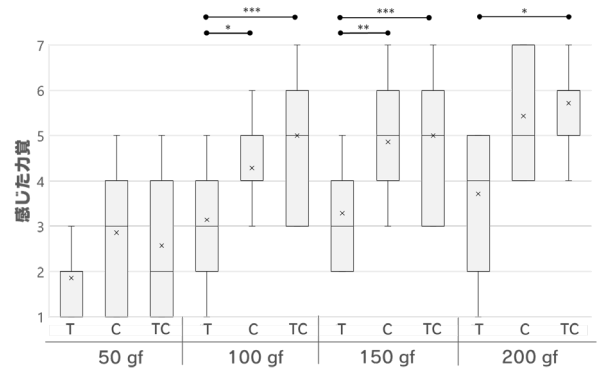


図 7 感じた力覚についての回答結果

(*** : $p < 0.001$, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$)

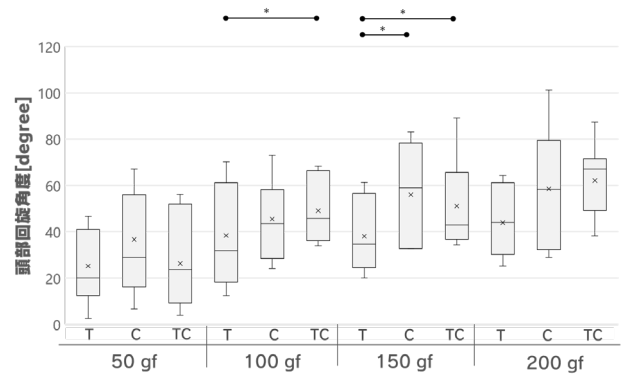


図 8 頭部回旋角度についての計測結果

(*** : $p < 0.001$, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$)

3. 考察

実験結果より、T (側頭部前方) よりも C (頬骨) の刺激条件の方が主観的な力覚強度および回旋角度が大きく、錯覚現象としては強く生起する傾向が確認された。

Luboz ら[10]は頬骨部分よりも額部分の方がヤング率が高いことを報告している。このことから額部分は皮膚の変形が頬骨部分よりも生起しにくく、側頭部前方部分と頬骨部分をそれぞれ同じ力でせん断刺激を提示した際に皮膚変形量としては頬骨部分の方が多く変形した可能性が考えられる。ハンガー反射現象の錯覚強度は皮膚の変形量との間に相関関係があることが分かっており[7]、皮膚の変形量の違いから頬骨部分の方が回旋現象が強く生起したと考える。ただし今回は実際の皮膚変形量は観察していない。

皮膚せん断刺激の多点化が回旋現象に及ぼす影響については、TCとFの間に有意差を確認することはできたが、どの刺激条件間においても、TCとCの間に有意差を確認することはできなかった。実験後の被験者より、TCとCを比較するとわずかに回旋感覚が増強されている感覚があるとコメントがあったことから、皮膚せん断刺激の多点化は少なからず回旋現象に影響を及ぼしている可能性があると考えられる。これを確認するため、より大規模な実験を行う予定である。

4. おわりに

本稿では、HMD 内蔵型の力覚提示装置設計のため、

HMD のクッション部分が接する側頭部前方と頬骨部分に着目し、これらの部位に対して皮膚せん断刺激を提示した際の回旋現象の生起頻度を確認した。その結果、頬骨部分の刺激時は側頭部前方部分と比較して生起する錯覚強度が強い傾向があることが確認された。側頭部前方部分と頬骨部分を同時に刺激した条件ではそれぞれを独立的に刺激した条件と比較して現象の強度が上昇する傾向にあった。また、頬骨部分のみをせん断刺激を提示した刺激条件でも強い回旋現象が生起する傾向が確認されたため、HMD への応用以外にもマスクなどへの組み込みも可能であると考え。今後はソレノイドや形状記憶合金等のアクチュエータをHMDのクッション部分に内蔵した力覚提示装置を開発し、VRアプリケーション上での評価を行う。

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. In: Proc. of 18th IEEE Int. Symp. Robot Human Interact. Comm. (RO-MAN), pp. 534–538, 2009.
- [2] Amemiya Tomohiro: Haptic interface technologies using perceptual illusions. In: Proc. of International Conference on Human Interface and the Management of Information. Springer, Cham, 2018.
- [3] Hirao Yutaro, Tuukka M. Takala, and Anatole Lécuyer: Comparing motion-based versus controller-based pseudo-haptic weight sensations in VR. In: Proc. of 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). IEEE, 2020.
- [4] 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.
- [5] Yuki Kon, Takuto Nakamura, Rei Sakuragi, Hirotaka 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.
- [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 テレグジスタンス研究会, 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] 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, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2020.9, オンライン開催.
- [9] Nur Al-huda Hamdan, Adrian Wagner, Simon Voelker, Jürgen Steimle and Jan Borchers: Springlets: Expressive, flexible and silent on-skin tactile interfaces. In: Proc. of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-14.
- [10] Luboz Vincent, Emmanuel Promayon, and Yohan Payan: Linear elastic properties of the facial soft tissues using an aspiration device: towards patient specific characterization. Annals of biomedical engineering 42.11, pp. 2369-2378, 2014.