



吸引圧に対する皮膚知覚感度の増強 -吸引孔配置が刺激閾に及ぼす影響-

Hole Number Effect on Perceptual Sensitivity: Cutaneous Stimulation Using Static Suction Pressure

齊藤薫¹⁾, 昆陽雅司¹⁾, 坂口歳斗²⁾, 荒川尚美²⁾

Kaoru SAITO, Masashi KONYO, Saito SAKAGUCHI, Naomi ARAKAWA

1) 東北大学 情報科学研究科 (〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01, saito.kaoru@rm.is.tohoku.ac.jp)

2) 資生堂グローバルイノベーションセンター (〒 220-0011 神奈川県横浜市西区高島 1-2-11, saito.sakaguchi@shiseido.com)

概要:

吸引による皮膚刺激は皮膚の知覚感度測定や触覚デバイスへの適用が期待される。我々は吸引圧刺激の強度増強法として複数の吸引孔を配置する手法を提案する。具体的には吸引孔の穴の数や中心間距離、配置パターンなど様々な要素を検討し、より知覚感度を増強できる手段を探すと同時に触覚受容器の活動について検討を行う。まずは吸引孔の穴の数が刺激閾に及ぼす影響について調査したので報告する。

キーワード： 触覚, 計測・認識, 知覚感度, 皮膚吸引

1. 緒言

皮膚の知覚感度の測定は心理物理研究の基盤であるとともに、皮膚科学分野における肌状態の評価や、医療分野における末梢神経の感覚障害の診断などにも用いられている。筆者らは皮膚吸引による従来の皮膚の状態測定法を応用し、吸引を皮膚刺激としても用いることで皮膚変形と皮膚知覚感度を同時に計測する手法を提案した [1]。しかし、従来の皮膚吸引による皮膚変形の計測手法はステップ状の吸引圧を用いることが多く、そのような定常的な圧力刺激は知覚感度測定法に用いるには刺激の強度が不十分であった。そこで我々は吸引圧を振動させることで刺激強度を増強する手法を提案し、皮膚変形と感覚感度の同時計測に成功している。

本稿では別の刺激強度の増強法として複数の吸引孔を配置する手法を提案する。具体的には吸引孔の穴の数や中心間距離、配置パターンなど様々な要素を検討し、より知覚感度を増強できる手段を探すと同時に触覚受容器の活動について検討を行う。まずは吸引孔の穴の数が刺激閾に及ぼす影響について調査したので報告する。

2. 吸引による皮膚刺激

本研究で用いる皮膚刺激は吸引圧刺激と呼ばれる手法を利用する。この刺激法はヒトの触覚受容器は皮膚のひずみエネルギーといったスカラ量に反応することから、ある特定条件下における小さな穴からの皮膚吸引では変形のベクトルを識別することはできないという原理に基づいた手法である。この錯覚の生起条件について牧野らのグループにより詳細な報告がなされている [2]。吸引口径については触覚を生成可能な最小のサイズやサイズごとの圧覚として知覚

される割合、痛覚閾値などが確認されている。複数吸引孔の場合についても、2点弁別閾内に複数の吸引孔を配置することで平面荷重に対応する刺激を与えられることや吸引圧力の制御により滑らかな面から鋭いピンのような感覚まで提示できることが報告されている [3]。しかし、吸引孔の数や配置が知覚感度にどう影響するかについての報告はない。そこで我々は、吸引孔数の配置を変え、それぞれの場合の刺激閾を計測することで評価を行う。

3. 実験概要

本稿では吸引孔数が刺激閾へ与える影響について調査を行った。ここでは実験に用いた装置と実験方法について説明する。

3.1 実験装置

装置は文献 [1] で開発した装置を使用した。装置は圧力振動生成部と皮膚吸引部とに分かれている。圧力制御部はリニアアクチュエータによってエアシリンダ内の空気を圧縮膨張させることで吸引刺激を生成する。シリンダの周期的な動作により知覚可能な皮膚刺激を生み出すための振動した吸引圧力を発生させることができる。開発した装置は、ボイスコイル型の直動式リニアアクチュエータ (H2W Technologies, VMS30-090-LB-1) とエアシリンダ (SMC, MQQLL30-100DM) から構成される。アクチュエータの移動量は、光学式エンコーダによるフィードバック制御用コントローラ (Galil, DMC30012) により 1 μm の精度で制御される。この振動はエアチューブを介して皮膚吸引部に伝わる。

皮膚吸引部では先端に設けられた開口部から皮膚を吸引して刺激する。皮膚吸引部は取り外し可能となっており、異なる吸引孔配置をもつ部品に交換できるようになっている。

なお、皮膚吸引部は3Dプリンタ（Keyence, AGILISTA-3100）で造形した。また、皮膚への押し付け力を統制するためにばねによる接触力調整機構を設けた。

3.2 吸引孔配置

図1は計測に用いた吸引孔の配置を示している。吸引孔の数は1, 3, 5の3パターン用意した。各吸引孔は2 mm, 中心間距離は4 mm に設定した。

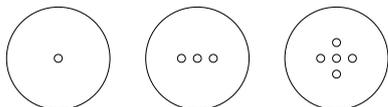


図1: 吸引孔の配置

3.3 刺激閾の計測

前節の装置を用い各吸引孔配置における刺激閾を調査した。被験者は20代の男性5人を対象として、左前腕内側の無毛部において計測を行った。この節では、まず実験環境について説明し、次に具体的な計測法について説明する。

実験の様子を図2に示す。被験者にはアームレストに左肘をおき、腕を立てた姿勢をとらせた。手のひらは軽く開き脱力した状態を保つように指示した。また、デバイスの接触面が完全に密着し、各吸引孔が同じ接触状況になるように、モニターアームでデバイスの角度と位置を皮膚に垂直にあたるように調節した。刺激による皮膚の吸引孔への引き込みが次の条件に影響を与えないようにするため、刺激ごとに一度デバイスから腕を離したうえで、マーカーであらかじめ指定した範囲内で計測位置を15mm程度ずらして次の計測を行うよう指示した。計測中はノイズキャンセリングのヘッドホンによりピンクノイズを提示し聴覚情報を遮断した。

具体的な計測方法を示す。閾値はPEST法により求めた[6]。本稿では -11 kPaから開始し、変動幅が 0.1 kPa以下になり5回続いたとき計測を終了とした。最小の変動幅は閾値付近では刺激の有無の判断が難しく、これ以上小さな変動を定義すると収束させることが難しいため、この値を設定した。計測回数は30回を上限とした。また刺激の提示範囲は -0.05 ~ -13.3 kPaとした。被験者の回答がこの範囲外となったときにはこれらの上限値もしくは下限値を提示した。

計測の際は被験者に刺激を受ける感覚を理解してもらうために、試験開始前にトレーニングを行い、十分に刺激を受ける感覚を理解させた後計測を行った。また計測は各被験者あたり3種の吸引孔数で3回ずつ行った。

4. 実験結果

図3に計測結果を示す。この図では被験者ごとに色分けし、収束したデータを○で、収束しなかったデータを+で表している。また、収束したデータについて箱ひげ図を示している。この結果では、吸引孔数 n が大きくなるにつれて刺激閾が下がる傾向がみられた。また、吸引孔数 $n=1$ では



図2: 実験の様子

刺激を感じる事が難しく、設定した上限の圧力であっても知覚できない被験者が多かった。各吸引孔数の計測結果に対してBonferroni法によりWelchのt検定を行ったところ有意差は確認できなかったものの、中央値には差がみられた。

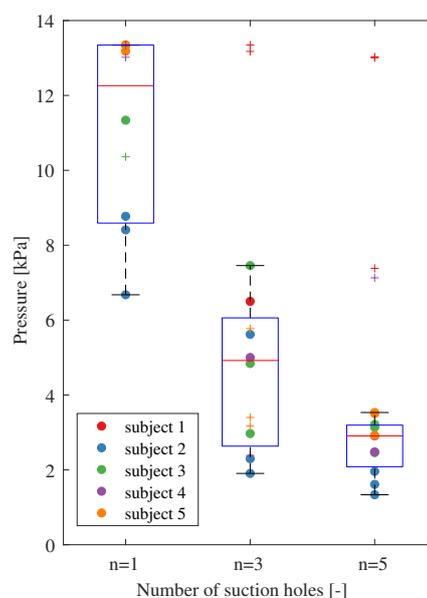


図3: 吸引孔数と刺激閾

5. 考察

前節から、吸引孔数を増やすことで刺激を知覚しやすくなる傾向が示めされた。全体では有意差がみられなかったが、 $n=1$ と $n=3$ 及び $n=5$ の間には有意差が確認され、少なくとも吸引孔数が1つよりも3つの方が刺激閾が下がることが確認できた。

本稿では刺激閾が下がった原因について断定することはできないが、以下、この現象について考察する。

考えられる要因としては前腕の受容器配置による影響である。被験者が刺激を感じるか感じないかは、皮膚構造と受容器配置に依存する。今回の実験ではおおよそ同じ位置で計測を行ったため皮膚構造の差は少ないと思われ、受容器の影響が大きいと考えられる。具体的には、吸引孔が

受容器に近い位置に配置された場合には皮膚内部のひずみが受容器周辺で大きくなるため知覚しやすく、受容野の端に配置された場合はひずみが小さくなり知覚しにくかったのではないかと考えられる。吸引孔数が閾値に影響した理由は、吸引孔の数が増えた分だけ刺激を感じやすい場所にあたる可能性が上がるため、結果的に吸引孔数が大きくなることにより刺激閾が下がった可能性が考えられる。実際、被験者の多くから腕のなかでも刺激を感じやすい部位と感じにくい部位が明確に存在するという言及があった。n=5の時の閾値がn=1やn=3の時の閾値よりもばらつきが少くないのはこのためではないかと思われる。

今後、さらに吸引孔を増やした場合や各吸引孔の中心間距離を変えた場合などについて引き続き調査を行う。

6. 結言

皮膚吸引による刺激提示において吸引孔の配置が刺激の値に与える影響について調査を行なった。吸引孔の数が1, 3, 5の場合で皮膚吸引によるヒトの知覚感度の評価試験を行った結果、ほぼすべての被験者で吸引孔の数が増えるにしたがって刺激閾が下がる傾向が確認できた。この結果から吸引孔を増やすことにより知覚する吸引刺激の強度を増幅することができる可能性を示せた。今後、さらに吸引孔を増やした場合や各吸引孔の中心間距離を変えた場合など更なる調査を行うことで知覚する刺激の強度を高めるための条件と要因についてより詳細に検討していく。

参考文献

- [1] Saito Kaoru, Konyo Masashi, Saito Sakaguchi, Naomi Arakawa : Simultaneous Measurement of Skin Deformation and Perceptual Sensitivity with Suction Pressure, IEEE World Haptics Conference, 265-270, 2019.
- [2] 牧野泰才, 篠田裕之 : 吸引圧刺激を用いた触覚生成法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Mar, 2006.
- [3] 牧野泰才, 浅村直哉, 篠田裕之 : 吸引圧を用いるマルチプリミティブ触覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Sept, 2002.
- [4] 下条誠, 前野隆司, 篠田裕之, 佐野明人 編 : 触覚認識メカニズムと応用技術触覚センサ・触覚ディスプレイ-増強版, S & T 出版株式会社, pp.3-17, pp51-65, 2014.
- [5] G.A.Gescheider 著 (宮岡徹監訳) : 心理物理学-方法・理論・応用 (下巻), 北大路書房, 2003.
- [6] G.A.Gescheider : 心理物理学-方法・理論・応用(下巻), 北大路書房, pp.31-32, 2003.
- [7] 渡辺亮, 大原敦, 國安裕生, 佐藤未知, 福嶋政期, 梶本裕之 : 前腕部への触刺激に対する温度感覚の重畳, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Sept, 2011.