



# 頬部圧覚刺激の提示位置による知覚差異の実験的検討

Exploring the difference in perception of pressure stimulation on a cheek

木村竜<sup>1)</sup>, 中村文彦<sup>1)</sup>, 木村朝子<sup>1)</sup>, 柴田史久<sup>1)</sup>

Ryu KIMURA, Fumihiko NAKAMURA, Asako KIMURA, and Fumihisa SHIBATA

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, ryu-kim@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp)

**概要:** 頬への触覚刺激を利用したバーチャル環境でのインタラクションが模索されている。しかし、頬の位置によって圧覚刺激の知覚が異なる可能性がある。本研究では、頬の位置によって圧覚刺激の知覚が異なるのか検証する。我々は頭部装着型ディスプレイに圧覚刺激提示ユニットを 6 箇所に取り付けた装置を開発した。実験では、頬部に圧覚刺激を提示し、圧覚刺激を知覚してから不快に感じるまでのラックの押し込み量を評価した。実験結果から、耳付近が口唇付近より圧覚刺激の感度が低く、左右の頬部中心で圧覚刺激の感度が異なる可能性が示唆された。

**キーワード:** 顔面触覚, 圧覚刺激, 触覚知覚

## 1. はじめに

Virtual Reality (VR) において、ユーザへの触覚フィードバックは没入感向上に重要である。多くの触覚刺激提示システムでは、触覚受容器が密に分布している手を対象としているが、手と同様に触覚受容器が密に分布している顔面に対して触覚を提示するデバイスも開発されるようになってきている。頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head-Mounted Display) の接顔部に対して振動刺激を提示するデバイス\*やモータによって HMD のヘッドバンドを引き込むことで顔面への正面方向からの力覚を提示する手法 [1] や吸引機構を用いた触覚提示機構 [2] 等が開発されている。また、顔面において広い面積を持つ頬部に対する触覚刺激を用いたインタラクションが試みられている。頬部は触覚提示可能な領域が広いことから、空間情報に対応した触覚刺激の提示によるプレゼンスの向上 [3] や空間誘導 [4] などが行われている。しかし、振動刺激や接触刺激と比較して多様な情報を提示可能な圧覚刺激を頬部に提示する試みはない。

頬部への圧覚刺激の提示においては提示可能な力を決定するために、頬への圧覚刺激を加えた際の知覚を考慮する必要がある。人間の頬部の面積、及び、一次体性感覚野は広いので、頬部の刺激位置によって圧覚刺激に対する感じ方が異なることが考えられる。また、頬部の中でも、目の下部にのみ脂肪が分布しているので、目の下部と耳付近でも圧覚刺激に対する感じ方が異なると推察される。そのため、頬部への圧覚刺激の位置によって刺激閾及び許容可能な力の大きさが異なる可能性がある。

本研究では、頬部に圧覚刺激を提示した時に、頬部の刺激位置によって知覚する力の感覚が異なるのか、実験から

検討する。具体的には、顔面の口唇付近の点と頬部中心の点と耳付近の点の 3 点に対して刺激を提示した際の、刺激を感じる力の強さと不快に感じる力の強さを評価する。我々は実験のために HMD 装着者の頬部への圧覚刺激を提示するデバイスを開発した。デバイスには左右の頬部 3 点を刺激するために、HMD 底部にラック&ピニオンを用いた圧覚刺激提示機構を取り付けた。実験では、開発した圧覚刺激提示デバイスを用いて、実験参加者が圧覚刺激を感じ始めた時と圧覚刺激を不快に感じた時のラックの移動量を評価した。実験参加者は、実験の間、VR コントローラの操作によってラックの移動量を調節する。実験から、頬部の口唇付近と耳付近の間で圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの移動量に差異が見られた。また、左右それぞれの頬部の中心への圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの移動量に差異がある可能性が示唆された。

## 2. 圧覚刺激提示デバイス

我々は HMD (Vive Pro, HTC) を用いて頬部に圧覚刺激を提示するデバイスを開発した (図 1)。本デバイスは、マイクロコンピュータ (Arduino Nano Every) と Pulse Width Modulation サーボドライバ (PCA9685, NXP) と圧覚刺激提示ユニット 6 個から構成される。圧覚刺激提示ユニットはラック、ピニオン、刺激提示部、サーボモータ (Micro Servo SG51R, Tower Pro)、圧力センサ (FSR400, Interlink) を用いて作成された。圧覚刺激提示ユニットは 3 次元造形装置によって作成された固定具を用いて HMD に取り付けた。マイクロコンピュータは USB ケーブルを用いてコンピュータとシリアル通信を行った。サーボモータには 5V AC アダプタを用いて電源を供給した。本デバイスの全体の重量は HMD を含めて 1160g であった。

圧覚刺激提示ユニットでは、ラック&ピニオン機構を用い

\*TactVisor, <https://www.bhaptics.com/tactsuit/tactvisor/>, (アクセス日: 6 月 28 日)

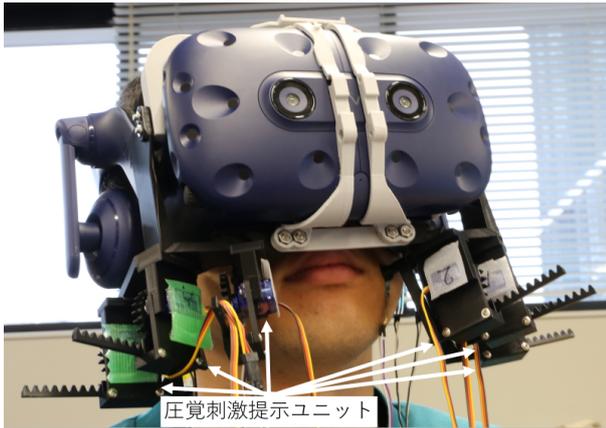


図 1: 圧覚刺激提示デバイス

てサーボモータの回転運動を直線運動に変換し、ラックを頬部に押し込むことによって圧覚刺激を提示する。刺激提示部はねじを用いてラック部に取り付けられた。刺激提示部の高さは刺激提示部位によって異なっており、刺激提示部位 1, 6 では 70mm, 刺激提示部位 2, 5 では 60mm, 刺激提示部位 3, 4 では 50mm であった。刺激提示部の先端は直径 10mm の円形平面であった。ユーザの頬部に加わる圧力を計測するために、刺激提示部の先端に圧力センサが取り付けられた。刺激提示部は 40mm~90mm までの 10mm 間隔でそれぞれ 2 つずつ作成した。

ラックの移動量  $l_{rack}$  [mm] は式 (1) によって計算した。

$$l_{rack} = D_{pinion} \times \pi \times \frac{\theta_{servo}}{360^\circ} \quad (1)$$

$\theta_{servo}$  はサーボモータの回転角度を、 $D_{pinion}$  はピニオンの基準円直径を表す。基準円は、ギアを中心からギア同士が接触する点までの距離を半径とする円を示す。サーボモータの回転がピニオンに伝わるように、ピニオンにはサーボモータのホーンを埋め込んだ。ピニオンの基準円直径  $D_{pinion}$  は 36mm, ピニオンの歯数は 24, ラックの歯数は 14, ラックの全長は 82mm であった。本ユニットに用いたサーボモータのステップ角は 1.80 度であった, そのため, 式 1 から本ユニットによるラックの最小移動量は 0.57mm であった。ラックで制御可能な移動量の範囲は 0.00mm から 56.52mm であった。

頬部は怪我をしやすい部位であり安全に圧覚刺激を提示する必要があることから、圧力センサを用いて皮膚との接触の瞬間を検出することで、頬部皮膚表面の位置を推定する。圧覚刺激提示ユニットの先端に取り付けた圧力センサを用いて、皮膚表面にかかる圧力の検出を試みた。皮膚表面に圧力が加えられたときの圧力センサの値の変化を計測した。接触がない状態の圧力センサの値からの変動  $d_p$  があったときに、刺激提示部が皮膚表面に触れたと判定する。 $d_p$  は経験的に 15 とした。頬部皮膚表面の検出は刺激提示部位毎に行う。

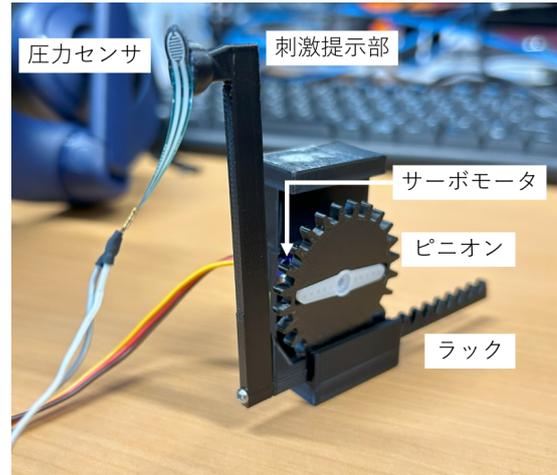


図 2: 圧覚刺激提示ユニット



図 3: 刺激提示部位

### 3. 実験

本実験では、頬部に圧覚刺激を提示した際の刺激提示位置による主観的感覚の差異について検討した。顔面において、口唇周囲が機械的的刺激に敏感な部位であることから、頬部の口唇付近と耳付近において圧覚刺激に対する感度に差がある可能性がある。また、口唇付近と耳付近の間でどのように圧覚刺激に対する感度が変化するかは明らかになっていない。そこで、本実験では、左右の頬部における口唇付近・頬部の中心・頬部の耳付近の 3 箇所、合計 6 箇所 (図 3) の圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの押し込み量を評価した。圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの押し込み量は、圧覚刺激を提示した時に、実験参加者が圧覚刺激を感じ始めてから圧覚刺激を不快に感じ始めるまでのラックの移動量の差として計算した。実験参加者は、我々の圧覚刺激提示デバイスを用いて圧覚刺激を提示した時の、実験参加者が圧覚刺激を感じ始めたラックの移動量と、圧覚刺激を不快に感じ始めたラックの移動量を VR コントローラを用いて回答した。実験参加者は 22 歳から 25 歳 (平均:

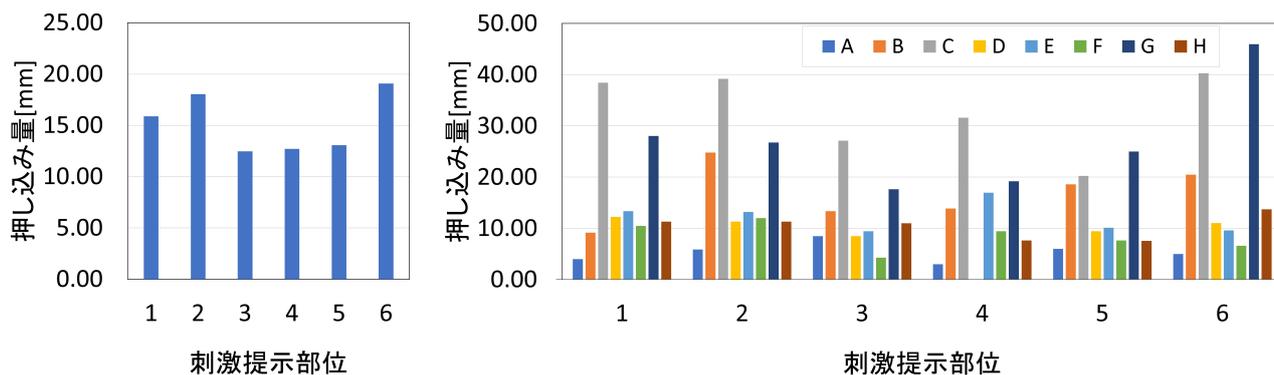


図 4: 実験結果。(左) 各刺激提示部位における結果。(右) 各実験参加者の刺激提示部位毎の結果。

23.0 歳、標準偏差 1.0 歳) の男性 5 名、女性 3 名の計 8 名だった。

### 3.1 手順

実験は以下の手順で行われた。

1. 実験者が実験参加者に実験内容の説明をした。
2. 実験参加者が椅子に座り、HMD を装着した。
3. 実験者が実験参加者にラックの移動量の調整方法について説明した。
4. 実験者が本システムによる頬の皮膚表面位置計測を行った、
5. 本システムが刺激提示部を頬の皮膚表面から 2.00mm 離れた位置に動かした。
6. 実験参加者が VIVE コントローラを用いてラックの移動量を変更した。実験参加者が圧覚刺激を感じ始めた時に VIVE コントローラのボタンを押下した。
7. 実験参加者が VIVE コントローラを用いてラックの移動量を変更した。実験参加者が圧覚刺激を不快と感じ始めた時に VIVE コントローラのボタンを押下した。
8. 実験参加者がステップ 4. からステップ 7 までを各圧覚刺激提示位置で行った。圧覚刺激を提示する位置の順番はランダムだった。

実験参加者には、不快と判断するときにはラックを押し込んだ時の振動については考慮しないように指示した。また、圧覚刺激提示時における頬部の皮膚変形による怪我を防ぐために、実験参加者には実験中に口を動かさないように指示した。

### 3.2 結果

圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの押し込み量の各刺激位置における平均を図 4 左に、各実験参加者の各刺激位置における差を図 4 右に示す。圧覚刺激を不快に感じるまでのラックの押し込み量は、刺激提示部位 1 では平均 15.88mm、標準偏差 10.68mm、刺激提示部位 2 では平均 18.05mm、標準偏差 10.41mm、刺激提示部位 3 では平均 12.47mm、標準偏差 6.63mm であった。また、刺激提示部位 4 では平均 12.72mm、標準偏差 9.42mm、刺激提示部位 5 では平均 13.07mm、標準偏差 6.68mm、刺激提示部位 6 では平均 19.08mm、標準偏差 14.62mm であった。実験参加者 C と

G は、圧覚刺激を不快と感じる前にラックの移動量の最大値に達したため、不快と感じた時のラックの押し込み量をラックの最大の移動量と圧覚刺激を感じ始めたラックの移動量の差とした。図 4 左の結果から、頬の内側よりも頬の外側の方が圧覚刺激を不快と感じたラックの押し込み量が大きかった。また、左右の頬部で中間の点における圧覚刺激に対する押し込み量に差がみられた。

### 3.3 考察

図 4 左の結果から、頬の口唇付近の刺激提示部位は耳付近の刺激提示部位と比較して圧覚刺激を不快に感じるまでの押し込み量が小さいことが示された。人間の一次体性感覚野において口唇周辺が占める領域が広いことから、口唇の周囲においては圧覚刺激に対する高い感度で圧覚刺激を感じられたため、顔の中心側の点への圧覚刺激は不快に感じやすかったことが考えられる。一部の実験参加者から、中心側に圧覚刺激を加えた時に、歯の付近に圧覚刺激を提示したので、不快を感じやすかったという内観報告があった。一方で、耳付近の刺激点の方が口唇付近の刺激点よりも押し込み量が大きかった。耳付近の方には脂肪が分布していないので、圧覚刺激を加えた場合には骨に刺激が伝わりやすいと考えられる。しかし、圧覚刺激を不快に感じるまでの押し込み量に差があったことから、耳付近の方が圧覚刺激に対する感度が低かったと考えられる。一方で、本実験の途中で耳付近の刺激点(刺激提示部位 1, 6)において刺激提示部位が曲がるがあったので、刺激提示部位 1, 6 においては圧覚刺激が一定以上伝わりづらかった可能性がある。そのため、デバイスの改良を行った上での不快に感じるまでの押し込み量を検証する必要があると思われる。

図 4 左の結果を見ると、左右の頬部の中間の刺激点(刺激提示部位 2, 5)で不快に感じるまでのラックの押し込み量に差があった。また、図 4 右の結果を見ても、ほとんどの実験参加者で刺激提示部位 2 の結果が刺激提示部位 5 よりも高かった。このことから、左右で圧覚刺激に対する主観的感覚が異なる可能性が示唆された。左右で異なる結果となった原因として、人の顔面は左右非対称であることが多く、脂肪や筋肉などが左右で異なる場合があることと、本実験で用いた圧覚刺激提示デバイスは、構成上、必ずしも実験参加者の頬皮膚表面に対して垂直に圧覚刺激を提示し

なかったことが考えられる。本結果について、より深い検証が必要と考えられる。

本研究で開発した皮膚表面の検出では、一部の実験参加者で圧力センサによる皮膚表面の位置が検出できなかった。これは、我々の圧覚刺激提示デバイスが常に実験参加者の頬皮膚表面の正面からの圧覚刺激を提示できなかったからと考えられる。今後、圧覚刺激提示ユニットが頬の表面の傾斜を考慮して刺激を提示する方向を調整する。

#### 4. まとめ

本研究では、HMD ユーザの頬部に圧覚刺激を提示した際に、頬部の刺激位置によって知覚する主観的な感覚に差異があるか、実験を通して検討した。実験では、左右の頬部の口唇付近の点、頬部の中心の点、耳付近の点の合計 6 か所に対して圧覚刺激を提示した時の、刺激を感じた圧覚刺激と不快に感じた圧覚刺激を評価した。実験のために、我々はラック&ピニオンを利用した圧覚刺激提示ユニットを HMD に 6 個取り付け付けた圧覚刺激提示デバイスを開発した。開発したデバイスを用いて、8 名の実験参加者に対して実験を行った。実験参加者は、圧覚刺激を感じ始めた時と、圧覚刺激を不快に感じ始めた時のラックの移動量を回答した。圧覚刺激を感じ始めた時点から刺激を不快に感じるまでのラックを押し込んだ距離を評価したところ、耳付近の刺激点の方が口唇付近の刺激点よりもラックの押し込み量は大きかった。また、左右の頬部の中間の刺激点の間でラックの押し込み量の差が見られた。そのため、頬部の耳付近と口唇付近では、耳付近の方が圧覚刺激を不快に感じにくく、また、左右で圧覚刺激を不快に感じるまでの押し込み量に差異がある可能性が示唆された。

今後の課題として、圧覚刺激提示デバイスの改良が挙げられる。実験において、圧覚刺激提示ユニットによる耳付近の頬部への刺激提示時に、刺激提示部が曲がることがあったので、ラックの移動量と圧覚刺激が必ずしも対応していなかった可能性がある。そのため、頬部に圧覚刺激を提示する際に、湾曲しないように刺激提示部の構造を設計する必要がある。また、一部の実験参加者で圧力センサを用いた頬の皮膚表面検出ができなかったことから、圧覚刺激提示ユニットのための刺激方向の調整機構を設計する。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科学研究費 (24K20823) の助成を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] Chang, H.-Y., Tseng, W.-J., Tsai, C.-E., Chen, H.-Y., Peiris, R. L. and Chan, L.: FacePush: Introducing Normal Force on Face with Head-Mounted Displays; Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.927-935, (2018)
- [2] Kameoka, T., Kon, Y., Nakamura, T. and Kajimoto, H.: Haptopus: Transferring the Touch Sense of the

Hand to the Face Using Suction Mechanism Embedded in HMD; Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Spatial User Interaction, pp.11-15, (2018)

- [3] Wilberz, A., Leschtschow, D., Trepkowski, C., Maiero, J., Kruijff, E. and Riecke, B.: FaceHaptics: Robot Arm Based Versatile Facial Haptics for Immersive Environments; Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-14, (2020)
- [4] Nakamura, F., Verhulst, A., Sakurada, K., Fukuoka, M. and Sugimoto, M.: Evaluation of Spatial Directional Guidance Using Cheek Haptic Stimulation in a Virtual Environment; Frontiers in Computer Science, 4, 16 pages, (2022)