



VR アバターにおける視触覚統合を用いた 皮膚変形感覚の誘発

Induction of Skin Deformation Sensation using Visual-haptic Integration in VR Avatar

原口岳丸¹⁾, 北崎充晃²⁾

Gakumaru HARAGUCHI and Michiteru KITAZAKI

- 1) 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 情報・知能工学専攻 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1 番地 1, haraguchi.gakumaru.hl@tut.jp)
- 2) 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 情報・知能工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1 番地 1, mich@tut.jp)

概要: 本研究では, HMD を用いた視触覚刺激提示によって前腕の皮膚が変形した感覚が生じるかを調べた。バーチャル環境でオブジェクトがアバターの腕に当たった時の視覚的な変形量 3 水準 (0, 1, 3 cm), 振動刺激提示位置 3 水準 (一致, 不一致, 振動なし) を組み合わせて提示した。被験者は皮膚変形感覚, 柔軟感, 凹み感覚, 身体所有感についての質問に 7 段階で回答した。実験の結果, 振動がある場合には位置の一致性に関係なく, 振動がない場合よりも皮膚が変形し, 腕が柔らかくなる感覚が生じることが示唆された。ただし, 概ね, 錯覚は弱かった。

キーワード: クロスモーダル・マルチモーダル, 感覚・知覚, 触覚

1. はじめに

伸長する腕[1]やスライムハンド錯覚[2]など物理的な身体ではありえない変形に対し, その変形が実際に自分の身体に生じているかのような錯覚を覚える現象が報告されている。本研究では, HMD (Head Mounted Display) を用いた視触覚刺激提示によって前腕の皮膚が変形した感覚を誘発できるかを調べた。

2. 方法

2.1 被験者

18 名の大学生・大学院生 (平均年齢 21.8±1.4) が実験に参加した。すべての被験者は正常な視力 (矯正視力), 触覚, 聴覚機能を有し, 精神疾患がないと申告した。被験者数は G*Power3.1 を用いて中程度の効果量 ($f=0.2$, $\alpha=0.05$, 検出力 $\beta=0.8$) で 22 名に決定した。実験は豊橋技術科学大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得た。

2.2 装置

コンピューター (Intel Core i7-10700, Nvidia GeForce RTX3060, MS-Windows 10) と Unity (2021.3.25f1) を用いて HMD (Valve Index, 1440 [幅] × 1600 [高] ピクセル,

視角 130 度, リフレッシュレート 120Hz) にバーチャル環境を作成し, 参加者に提示した。バイプロトランスデューサ (Acouve Lab Vp210. 16-15,000 Hz, 直径 43 mm, 厚さ 15 mm, 49 g) とプリメインアンプ (Denon PMA-60) を用いて触覚刺激を提示した。

2.3 刺激と条件

視覚刺激として HMD を用いてリアルな左腕のアバターの左前腕が凹む様子を提示した。アバターの左腕は台の上に置いたような姿勢にした。一辺が 1 センチメートル

ルで黒色の立方体が二つ左前腕の上に現れてからひとつずつ落ち、当たった瞬間にその場所が凹むように変形した。立方体は当たった瞬間に消えた。触覚刺激は被験者の左前腕に取り付けた二つのバイプロトランスデューサ（間隔 4 cm）から提示した。触覚刺激としてバーチャル環境の黒い立方体がアバターの腕に当たると同時に振動刺激（30 Hz の矩形波， デューティ比 0.5）を与えた。

立方体が腕に当たった場所の視覚的変形量 3 水準（0 cm, 1cm, 3 cm），振動刺激提示位置 3 水準（一致，不一致，振動刺激なし）の 9 条件の刺激を用意した。

2.4 手続き

始めに被験者は HMD とイヤホンに身に着けた。次にアバターの左前腕と被験者の左前腕の位置が一致するように位置を調整した。その後、すべての条件の刺激を無作為な順序で提示した。1, 4, 7 試行目の前にはアバターへの所有感を生起させるため筆で同期した視触覚刺激を与えた。刺激を提示したあと毎回被験者は四つの質問に対して 7 段階（まったくそう思わない(-3) ~ 強く思う(3)）で回答した（表 1）。

3. 結果

あらかじめ設計した例数に達しなかったため統計的検定は行っていない。各被験者の 5 回分の回答の平均値をその被験者の回答とした。18 人分の被験者の回答を質問ごとに条件別にプロットした（図 1）。皮膚変形感覚 (Q1) について、変形量が 0 cm より 1 cm, 3 cm の方がスコアが高いように見受けられた。ただし、その条件で中央値は正だが 1 に満たなかった。また、変形量が 1, 3 cm の条件では振動があった方がスコアが高く、分散も小さいように見受けられた。さらに、柔軟感 (Q2) について、変形量が 0 cm より 1 cm, 3 cm のほうがスコアが高いように見受けられた。凹み感覚 (Q3) について、変形量が 0 cm より 1 cm, 3 cm のほうがスコアが高いように見受けられた。変形量が 1,3cm の場合、振動有の方が振動無よりもスコアが高いように見受けられた。身体所有感 (Q4) について、変形量が 0 cm より 1 cm, 3 cm のほうがスコアが高いように見受けられた。どの変形量条件でも振動があった方がスコアが高いように見受けられた。

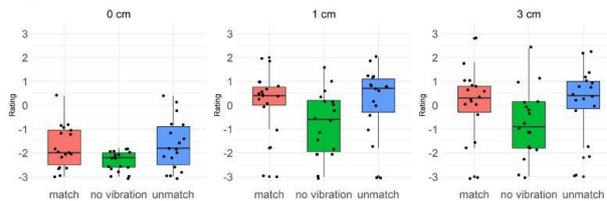
4. 考察

実験の結果、振動がある場合には位置の一致性に関係なく、振動がない場合よりも皮膚が変形し、腕が柔らかくなる感覚が生じることが示唆された。ただし、概ね、

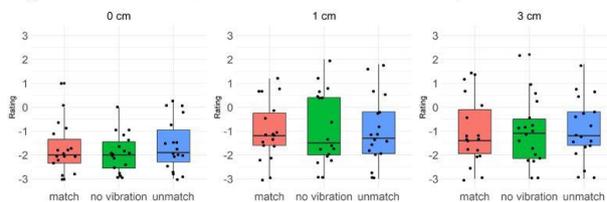
表 1: 質問

Q1. 自分の左前腕の皮膚が変形したように感じた。
Q2. 自分の左腕が柔らかくなったように感じた。
Q3. 自分の左前腕の一部が凹んだように感じた。
Q4. バーチャルな左腕が自分の左腕であるかのように感じた。

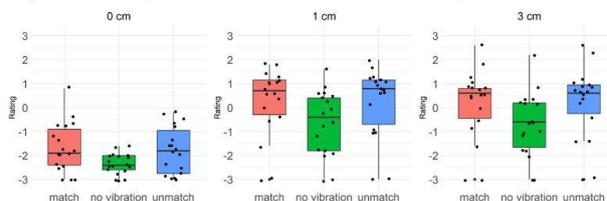
Q1. 自分の左前腕の皮膚が変形したように感じた。



Q2. 自分の左腕が柔らかくなったように感じた。



Q3. 自分の左前腕の一部が凹んだように感じた。



Q4. バーチャルな左腕が自分の左腕であるかのように感じた。

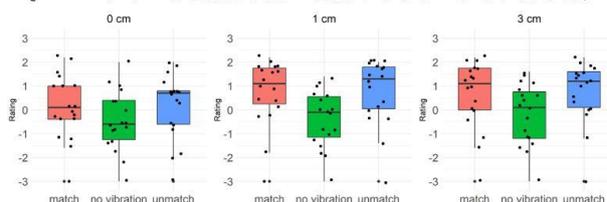


図 1: 結果

錯覚は弱かった。また、変形量が 0 cm より 1 cm, 3 cm のほうがスコアが高いように見受けられた。

謝辞 本研究は、JST OPERA JPMJOP1834 および JSPS 科研費 (JP 22H04774) の補助を受けて行われた。

参考文献

[1] Shunki Yamashita, Ryota Ishida, Arihide Takahashi, Hsueh-Han Wu, Hironori Mitake, and Shoichi Hasegawa. 2018. Gum-gum shooting: Inducing a sense of arm elongation via forearm skin-stretch and the change in the center of gravity. In ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies. 1–2.

[2] Kenri Kodaka, Yutaro Sato, and Kento Imai. 2022. The slime hand illusion: Nonproprioceptive ownership distortion specific to the skin region. *i-Perception* 13, 6, 20416695221137732.