

ハンドトラッキング・セルフタッチによるファントムタッチ錯覚の誘発

概要 本研究は、ファントムタッチ錯覚（感覚情報が脳によって解釈される際に生じる誤った知覚の状態）を VR-HMD を使って誘発するために必要な条件の一つを明らかにすることを目的とし、被験者の感覚体験を分析、示唆する。卒業研究Ⅰでは、現実と VR 空間を比較し、その結果 VR 環境における第三者からの刺激が錯覚の誘発度を下げることが示唆された。それを踏まえて卒業研究Ⅱでは被験者自身にセルフタッチによって錯覚を誘発してもらい、ファントムタッチ錯覚体験を分析すべく新たに実験を行った結果、セルフタッチが錯覚の発生に統計的に有意な関連性はないが、錯覚持続性に影響を与える可能性が示唆された。

キーワード：VR-HMD, ファントムタッチ錯覚, ハンドトラッキング

1. 背景

HMD (Head-Mounted Display) 市場の成長と同時に、VR 技術と医療の組み合わせが注目されている。例えば、脳卒中片麻痺患者のリハビリとして「ミラーセラピー」があり、類似した効果に「ファントムタッチ（ラバーハンド）錯覚」がある。これらの錯覚は VR 空間でも発生することが Slater ら [1] 等によって明らかになっているが、その誘発に必要な条件は定義されていない。そこで本研究では、HMD を活用し、ファントムタッチ錯覚を誘発するために必要な条件の一つを明らかにする。これによって、将来的にコンテンツ開発等を通して麻痺患者のリハビリテーション治療に有効である可能性がある。

2. 目的

卒業研究Ⅰでは、現実と VR-HMD による錯覚誘発の違いを明らかにした。卒業研究Ⅱでは、以下の 3 つの仮説を立て、映像とハンドトラッキング技術を用いてファントムタッチ錯覚を自身で誘発する方法の実証と錯覚の持続性の検証を行う。

1. セルフタッチによって錯覚が誘発される。
2. “初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の比較において、1 回目は有意な差が見られないが、2 回目、3 回目と回数を重ねると“毎回セルフタッチ”を行った方が有意になる。
3. 錯覚の持続性において“毎回セルフタッチ”を行った方が有意である。

これにより、ファントムタッチ錯覚に必要な条件

を示唆する。

3. 研究方法

1) VR 空間でのファントムタッチ実験環境の構築

稼働する机を VR 空間内に設置し、現実空間の机の高さと VR 空間上の机の高さが一致するようにした。また、Bluetooth キーボードで実験者が操作できるようにした。

2) 実験環境を用いた錯覚の実験

被験者自身で自身の手を触る（セルフタッチ）ことで錯覚を誘発させる。3 回の実験の中で「初回のみ錯覚を誘発させたパターン」と「毎回錯覚を誘発させたパターン」の 2 通りで検証する。

4. ファントムタッチ錯覚の実験

4.1 VR 実験環境について

本研究は実験するにあたっての VR 空間を Unity で構築し、実験者が Bluetooth キーボードにて操作可能にした。また、被験者の右手が最初に実際の机に置かれた状態での高さを実験開始直後にトラッキングすることで、実際の机と VR 空間上の机の高さが一致するようにした。



図1 ファントムタッチ錯覚実験の VR 環境

4.2 VR 空間でのハンドトラッキングを使った錯覚誘発検証

被験者には、机の前に座るように指示した。事前に自身で手を触るように指示した際の触れ方について実演し、触れた後は手のひらを机から浮かせるように指示した。その後、HMD を装着し、両手のハンドトラッキングを行った。この際、被験者には現実空間の机に手のひらを当て、VR 空間での高さを測定した後、手のひらを浮かせた状態で待機してもらった。その後3回の試行に渡って、VR 空間上の筆を使用して被験者の中指をなぞる試行を行った。実施パターンとしては、「初回のみセルフタッチしたパターン」と「毎回セルフタッチしたパターン」の2通りで検証を行った。

5. 卒業研究Ⅱでの成果

VR 空間でのハンドトラッキングを使った錯覚誘発検証において、15 人の被験者を対象に「初回だけセルフタッチを行った場合」、「毎回セルフタッチを行った場合」の2通りを行い、「何かしらの違和感、感覚があったか」について調査を行い、3段階で評価した。これにより、ファントムタッチ錯覚の誘発を検証する。はじめに、条件に対する平均の差が統計的に優位か確かめるために、有意水準5%で片側確率の対応のあるt検定を行った。

次に、セルフタッチの有無が錯覚の発生に与える影響を評価するためカイ二乗検定を行った。

最後に、「錯覚が続いた回数」についても対応のあるt検定を行った。これにより、錯覚の持続性を検証した。

5.1 被験者による主観評価の分析

3 回の実験の中で「何かしらの違和感、感覚があったか」という質問回答に対する t 検定の結果は次の通りである。

試行 1 : “初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の間に有意な差は得られなかった ($t(14) = 0.76, p > .05$)。

試行 2 : “初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の間に有意な差は得られなかった ($t(14) = 1.74, p > .05$)。

試行 3 : “初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の間に有意な差は得られなかった ($t(14) = 0, p = .05$)。

以上のことから、セルフタッチの有無は錯覚に及ぼす影響はないと言える。

5.2 セルフタッチの有無が与える影響の分析

計 90 回の実験を行い、要因が 2×2 の実験データを用いてカイ二乗検定を行った結果、錯覚の発生率には統計的に有意な差が見られなかった ($\chi^2(1) = 0.0056, p = 0.940, \phi = 0.073$)。

以上のことから、セルフタッチが錯覚の発生に統計的に有意な関連性がないと言える。

5.3 錯覚持続性の分析

3 回の試行実験で「錯覚が 1 回以上連続した回数」、「錯覚が 2 回以上連続した回数」を t 検定で分析した。

錯覚が 1 回以上連続した回数では、“初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の間に有意な差が得られた ($t(14) = 1.78, p < .05$)。

次に、錯覚が 2 回以上連続した回数では、“初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”の間に有意な差が得られた ($t(14) = 1.87, p < .05$)。

以上のことから、被験者が毎回セルフタッチを行うことで、錯覚持続性に影響を与えることが示唆された。

5.4 まとめ・考察

以上の分析によって、“初回だけセルフタッチ”と“毎回セルフタッチ”において

- ・錯覚が 1 回以上連続した回数
- ・錯覚が 2 回以上連続した回数

が有意差がある結果となった。このことから、本研究では、毎回セルフタッチが錯覚持続性に影響を与える可能性が示唆された。

また、セルフタッチが錯覚の発生に統計的に有意な関連性がないことがわかった。

6. 今後の課題

セルフタッチの有無が主観的な評価における被験者の感覚に変動が少ないことから、錯覚の発生が他の要因である可能性がある。また、実験回数、条件を変えて錯覚持続性に何が影響しているのかを明らかにすることが重要である。

参考文献

- [1]Slater, et al., Inducing illusory ownership of a virtual body, [online]<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/neuro.01.029.2009/full>, 2024 年 2 月 1 日アクセス