



# 仰向け姿勢での鉛直情報の視覚刺激提示が バーチャル歩行感覚に与える効果

The effect of providing visual stimuli conveying vertical information  
in a supine position on the sense of virtual walking

坂田龍星<sup>1)</sup>, 中村純也<sup>2)</sup>, 北崎充晃<sup>2)</sup>

Ryusei SAKATA, Junya NAKAMURA, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学 工学部

2) 豊橋技術科学大学 大学院工学研究科

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, [sakata.ryusei.bs@tut.jp](mailto:sakata.ryusei.bs@tut.jp),  
[nakamura.junya.ap@tut.jp](mailto:nakamura.junya.ap@tut.jp), [mich@tut.jp](mailto:mich@tut.jp))

**概要:** オプティックフローと足裏振動を利用して、静止観察者にバーチャル歩行感覚を誘発できる。仰臥位でバーチャル歩行体験ができれば、身体能力に制限されず多くの人に旅行体験や身体的コミュニケーションを提供できる。ただし、仰臥位で歩行映像を体験すると、前庭感覚と知覚の不整合が生じる。そのため、身体的には仰臥位を維持しつつ、視覚的起き上がる動作を提示すること、および視覚的な鉛直情報を追加することが、バーチャル歩行体験に及ぼす効果を検討した。

**キーワード:** 歩行, オプティックフロー, 姿勢

## 1. はじめに

歩くことは人間の日常生活における基本的な身体活動の一つである。バーチャルリアリティ (VR) で歩行感覚を生成する研究が進められている[1-5]。歩行感覚の生成には全方位トレッドミルとヘッドマウントディスプレイを組み合わせた研究のように下肢を実際に動かすもの[1]と、静止した観察者に視覚、聴覚、触覚刺激などを組み合わせて提示するものがある[2-5]。

多くの研究では、座位の観察者にバーチャル歩行体験を提示しているが、仰臥位でバーチャル歩行体験ができれば、身体能力に制限されず、身体障害のある人など多くの人に旅行体験や身体的コミュニケーションを提供できる。ただし、仰臥位で歩行映像を体験すると、前庭感覚と視覚の不整合が生じる。バーチャル歩行体験に対する姿勢の効果を調べて研究では、立位、座位、上半身を起こした仰臥位を比較し、立位および座位に比較して上半身を起こした仰臥位はバーチャル歩行体験が有意に阻害されることが示されている[6]。

前庭感覚と視覚の矛盾を低減するために、本研究では、視覚的な鉛直情報を追加すること、および仰臥位から立位への視覚的な姿勢変化を最初に体験することによる効果を検討した。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

実験には 20 名 (男性 17 名, 女性 3 名,  $M=20.85$ ,  $SD=1.388$ ) の大学生・大学院生が参加した。全ての参加者は、裸眼または矯正視力が正常であった。本実験は豊橋技術科学大学の人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。実験は被験者に実験の説明を行い、同意を書面で得て実施した。被験者のサンプルサイズは中程度の効果量 ( $f=0.25$ ), 有意水準  $\alpha=0.05$ , 検出力  $power=0.8$ , 被験者内要因  $3 \times 2=6$  水準として,  $G^*Power3.0$  によって計算し決定した。

### 2.2 装置

実験にはコンピュータ (Intel Core i7 10700, NVIDIA GeForce RTX 2070 Super, DDR4 32GB) を使用し, Unity (2020.3.20f1) で提示刺激を制御した。参加者はベッドで仰向け (仰臥位) になり, 頭部にヘッドマウントディスプレイとヘッドホンを装着し, 足裏振動装置に足を置いた。

視覚刺激は HMD (HTC Vive Pro Eye, 片目あたり  $1449 \times 1600$  pixel, リフレッシュレート: 90Hz, 視野角: 最大  $110^\circ$ ) で提示し, 視線計測を行った。振動刺激は 4 つの振動子 (Acouve Lab Vp408) で左右の足の前足部と踵に提示した。

振動子や外部環境から発生する聴覚刺激を打ち消すために、参加者はヘッドホン (SONY WH-1000XM4) を装着した。刺激の提示中にヘッドホンのノイズキャンセリングを使用し、ホワイトノイズ (70dBA) を提示した。

### 2.3 刺激・条件

振動刺激はスニーカーで歩行した音を録音して使用した。振動刺激の提示タイミングは動画の歩行 (120-124[steps/min]) に同期させ、踵部と前足部振動タイミングの差を 100[ms] に設定した。

映像刺激は、地形や構造物が存在する領域 (250m[width] × 250m[depth]) の内部に平坦で歩行可能な道路領域 (10m[width] × 120m[depth] × 5m[height]) を作成し、この領域を端部から歩行する映像を使用した。歩き出す前の視覚的姿勢変化 (リダイレクション) は仰臥位から足を軸に 90 度起き上がるアニメーション動作、仰臥位から足を曲げて実際に起き上がり立位になるまでのアニメーション動作、そして姿勢変化なしの 3 水準を設定した。視覚的な鉛直情報として雪のパーティクル (70m[width] × 140m[depth] の領域内に高さ 40m[height] から速さ 2m/s で 1000 個/秒落下) を用意し、パーティクルはありとなしの 2 水準を設定した。

つまり、条件はリダイレクション条件 3 水準と鉛直情報条件 2 水準であった。

### 2.4 手続き

参加者は HMD, ヘッドホン, 足裏振動装置を装着後、ベッドで仰臥位をとり実験を開始した。実験が始まると画面が暗転し注視点 (5 秒) が表示された。その後映像刺激表示された。静止 (5 秒)、リダイレクション (4 秒)、静止 (1 秒)、最後に歩行の観察 (65 秒) を行った。被験者は刺激観測の後、歩行に関する主観評価と姿勢評価と Simulation Sickness Questionnaire (SSQ) に回答した。

歩行に関する主観評価は VAS (Visual Analogue Scale) を用いて測定し、左端を「全くそう感じない」、右端「現実と同じに感じる」とした。質問項目の順番は、試行毎にランダムに表示した。また、VAS の回答は 0-100 に離散化して分析に用いた。この評価項目は以前の研究 [1-3] に基づいた。

姿勢評価は以下の 3 つの項目について 7 段階のリッカート尺度を用いて測定した。質問項目の順番は、試行毎にランダムに表示した。

1. 試行のどこかの時点から、自分のアバターと同じ姿勢を取り始めているように感じた (姿勢一致性)
2. アバターが自分の身体であるかのように感じた (身体所有感)
3. アバターを自分の身体のようにコントロールできそうに感じた (行為主体感)

参加者は 18 試行 (Redirection 3 水準 × Particle 2 水準 × 繰り返し 3 試行) を無作為順で観察した。

## 3. 結果

各評価について、被験者内要因二元配置分散分析 (リダイレクション 3 水準 × パーティクル 2 水準) を行った (図 1)。歩行感覚については、いずれの主効果・交互作用もなかった。姿勢一致性においてリダイレクションの条件で有意な主効果 ( $p=0.029$ )、があり、足を曲げる起き上がり動作のアニメーションでは視覚映像がない条件よりも有意に一致性が高いと判断された。

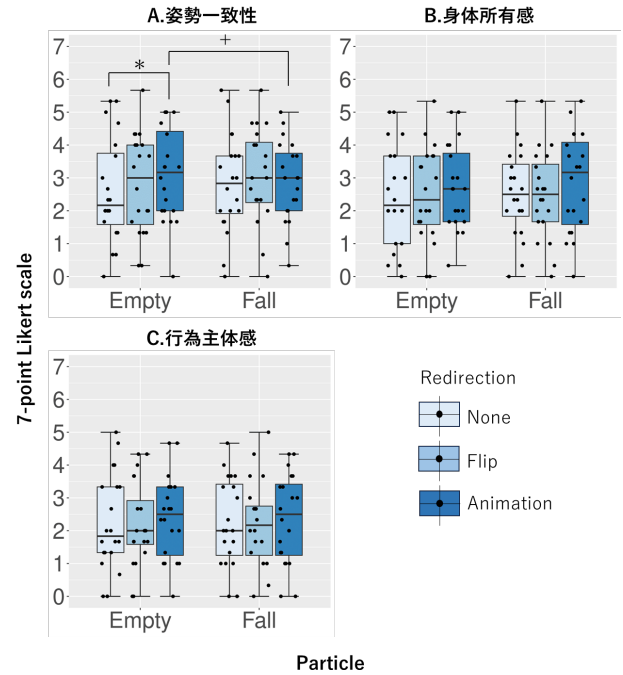


図 1. 結果

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP22J21664; JP20H04489; JP23H03882) の補助を受けて行われた。

## 4. 考察

リアルな起き上がり表現する視覚的な姿勢変化は、姿勢一致性を向上した。しかし、アバターへの身体所有感や行為主体感、そして歩行感覚には効果がなかった。人は現実で起き上がる時に見る視野を体験することで自分が寝た状態にもかかわらず起き上がった状態だと認識することが示唆された。

### 参考文献

- [1] Iwata, H. (1999). The torus treadmill: Realizing locomotion in Ves. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(6), 30-35.
- [2] Michiteru Kitazaki, Takeo Hamada, Katsuya Yoshiho, Ryota Kondo, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, and Yasushi Ikei. 2019. Virtual walking sensation by prerecorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration. *i-Perception* 10, 5 (2019), <https://doi.org/10.1177/2041669519882448>

- [3] Léo Terziman, Maud Marchal, Franck Multon, Bruno Arnaldi, and Anatole Lécuyer. 2012. The King-Kong effects: Improving sensation of walking in VR with visual and tactile vibrations at each step. In Proceedings of 2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). IEEE, Costa Mesa, CA, 19–26.  
<https://doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184179>
- [4] Justine Saint-Aubert, Julien Manson, Isabelle Bonan, Yoann Launey, Anatole Lécuyer, and Melanie Cogne. 2022. Effect of vibrations on impression of walking and embodiment with first-and third-person avatar. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3212089>
- [5] Yusuke Matsuda, Junya Nakamura, Tomohiro Amemiya, Yasushi Ikei, and Michiteru Kitazaki. 2021. Enhancing virtual walking sensation using self-avatar in first-person perspective and foot vibrations. *Frontiers in Virtual Reality* 2, 654088 (2021), <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.654088>
- [6] Justine Saint-Aubert, Melanie Cogne, Isabelle Bonan, Yoann Launey, and Anatole Lécuyer. 2022. Influence of user posture and virtual exercise on impression of locomotion during VR observation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3161130>.