



# バーチャル歩行体験における観察姿勢の効果

## Effect of observation posture in virtual walking experience

中村純也<sup>1)</sup>, 北崎充晃<sup>1)</sup>

Junya NAKAMURA, and Michiteru KITAZAKI

1) 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, nakamura.junya.ap@tut.jp, mich@tut.jp)

**概要** : 脚の物理的な動きを伴わないバーチャル歩行システムは、座位や仰向け姿勢で体験できる利点を持つ。オプティックフローと足裏振動の組み合わせによってバーチャル歩行体験を誘発できるが、姿勢の影響はあまり検討されていない。本研究は、オプティックフローと足裏振動によるバーチャル歩行体験において、姿勢（立位、座位、仰向け姿勢）の変化による効果を検討した。実験より、仰向け姿勢は座位姿勢と同様の歩行体験を生起させることが示された。

**キーワード** : 歩行, オプティックフロー, 姿勢

### 1. はじめに

バーチャル歩行体験は、バーチャル環境での歩行を再現するマルチモーダル刺激を提示することにより、誘発できる。事前に記録した歩行者視点のステレオ映像と、歩行者の足音と同期したリズムカルな足の振動は、ユーザーにバーチャル歩行感を生起させる[1]。また、足の接地時の刺激を視覚的および触覚的振動に再現することで、バーチャル歩行体験を強化できる[2][3]。足の振動と組み合わせた、バーチャル環境を歩行する自己身体アバターを観察することでも、歩行体験が強化される[4]。これらの研究は、参加者の体が動かさず、受動的に刺激を受ける状態で、座った姿勢で行われた。歩行感覚に対するリズムカルな振動の影響は強力であるが、被験者の身体姿勢が歩行体験に及ぼす影響は十分に明らかでない。

Saint-Aubert らは、歩行感覚に対する身体姿勢の影響について実験し[5]、ファウラーの姿勢(背もたれに傾斜した姿勢)は、立位姿勢と座位姿勢と比較して、歩行感覚と身体の所有感が弱いことを示した。一方で、彼らの研究は視覚刺激に焦点を当てており、視覚刺激と触覚刺激を組み合わせる効果は検討されていない。触覚刺激は、歩行するアバターへの身体所有感を高め、実際の身体姿勢とバーチャル身体姿勢の不一致を改善する可能性がある。また、ファウラー姿勢とは異なる完全な仰向け姿勢(仰臥位)における歩行感覚については明らかになっていない。この姿勢は、重力の効果を除けば、座位姿勢よりも立位姿勢や実際の歩行時の姿勢に近い。

そこで、身体姿勢と足の振動を組み合わせがバーチャル

歩行体験に及ぼす影響を検討することとした。我々は、歩行に同期する足裏振動刺激は、姿勢に関係なく歩く感覚を改善することができ(H1)、仰向け姿勢においても座位姿勢と同等の歩行感覚が得られる (H2)と仮定した。

### 2. 方法

#### 2.1 被験者

20名の被験者が実験に参加した。サンプルサイズは、中程度の効果量( $f=0.25$ )、有意水準  $\alpha=0.5$ 、検出力  $\text{power}=0.8$ 、被験者内要因  $2 \times 3=6$  水準として、G\*Power 3.1により決定した。全ての被験者は実験の前に説明を行い、同意を書面で得た。本実験は豊橋技術科学大学の人を対象とする研究心理審査委員会の承認を得て実施した。

#### 2.2 装置

実験の環境は Unity (2020.3.20f1) を用いてバーチャルな環境を構築し、提示刺激を制御した。視覚刺激は HMD (HTC Vive Pro Eye, 1440[width] × 1600[height]) 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) を用いて、左右の足の前足部と踵に提示した。足裏振動装置は、調節可能なストラップを使用して、あらゆる姿勢で参加者の足に合うよう、調整した。振動子の聴覚刺激を排除するために、参加者はノイズキャンセリングヘッドフォン (SONY WH-1000XM4) を着用し、振動子が動作している間、ホワイトノイズ (70 dBA) を提示した。

### 2.3 刺激・条件

Unity シーン上に、地形と構造物で構成された領域 (250m[width] × 250m[depth]) を作成し、中央部に平坦な歩行可能な領域 (10m[width] × 120m[depth]) を設定した。参加者は、この歩行領域を一方の端からもう一方の端まで歩行した。また、2枚の鏡 (2.5m[width] × 1.25m[height])、アバターの前方4m) を開始点と終了点に配置した。

開始点の鏡は、試行の開始と同時に15秒間提示され、歩行移動が開始されると非表示となった。その後75秒間の歩行移動観察の後、歩行移動が停止すると、終点の鏡が5秒間提示された。アバターは前方に歩行し(5.16km/h, 2.20step/s)。被験者は、アバターの視点(一人称視点)からシーンを観察した。

振動刺激は、スニーカーで歩く音を録音したデータから作成した。踵部と前足部の振動タイミングの差を100[ms]に設定した。本実験では観察姿勢条件(立位, 座位, 仰向け)と振動条件(同期, 非同期)の組み合わせを設定した(図1)。被験者は18試行(姿勢条件3水準 × 振動条件2水準 × 繰り返し3回)をランダムな順序で観察した。

姿勢条件における立位と座位水準では、被験者の垂直軸とバーチャル環境のアバターの垂直軸は一致していたが、仰向け姿勢水準では、バーチャル環境の垂直軸を80度回転させて、被験者とアバターの垂直軸をほぼ一致させた。

振動条件において、同期条件はアバターの歩行アニメーションと同期して振動を示し、非同期条件は同じ数の振動をランダムに提示した。

### 2.4 手続き

被験者はHMD、足裏振動装置、ヘッドフォンを着用した。実験開始後に姿勢の指示がHMDに表示され被験者は姿勢を変更した。その後、注視点(5秒)が表示され、刺激観察シーンへ遷移した。被験者は鏡の中のアバター(15秒)を観察後、歩行アニメーションを観察し(75秒)、再び鏡の前に静止した(5秒)。その後、歩行に関する主観評定に回答した。

歩行に関する主観評定は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に離散化した。設問は先行研究[1]に基づいた。

1. 自分が移動している感じがする(移動感, Self-motion)
2. 自分が歩行している感じがする(歩行感, Walking)
3. 自分が脚を動かして地面を踏んでいる感じがする(脚運動感, Leg action)
4. 自分がその空間にいるような感じがする(遠隔臨場感, Telepresence)

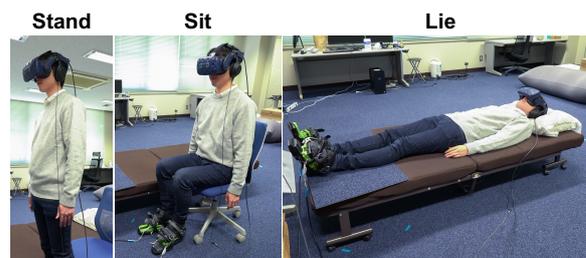


図1: 姿勢条件.

### 3. 結果

歩行に関する評定について、はじめにShapiro-Wilk検定( $\alpha = 0.05$ )を使用し、正規性を検定した。一部が正規性を満たさなかった( $p < 0.05$ )。被験者内要因の二元配置分散分析を行うために、ノンパラメトリック検定である、整列ランク変換分散分析(ART-ANOVA)[6]を行った。

全ての評価項目において、振動条件における有意な主効果が認められた[self-motion:  $F(1,19)=13.13, p = .002, p.\eta^2=0.41$ , walking:  $F(1,19)=52.40, p < .001, p.\eta^2=0.73$ , leg action:  $F(1,19)=71.57, p < .001, p.\eta^2=0.79$ , telepresence:  $F(1,19)=18.79, p < .001, p.\eta^2=0.50$ ]。同期振動は全ての評価項目において、非同期よりも評価が高かった。また、姿勢条件における有意な主効果が認められた[self-motion:  $F(2,38)=22.28, p < .001, p.\eta^2=0.54$ , walking:  $F(2,38)=15.69, p < .001, p.\eta^2=0.45$ , leg action:  $F(2,38)=12.57, p < .001, p.\eta^2=0.40$ , telepresence:  $F(2,38)=17.30, p < .001, p.\eta^2=0.48$ ]。

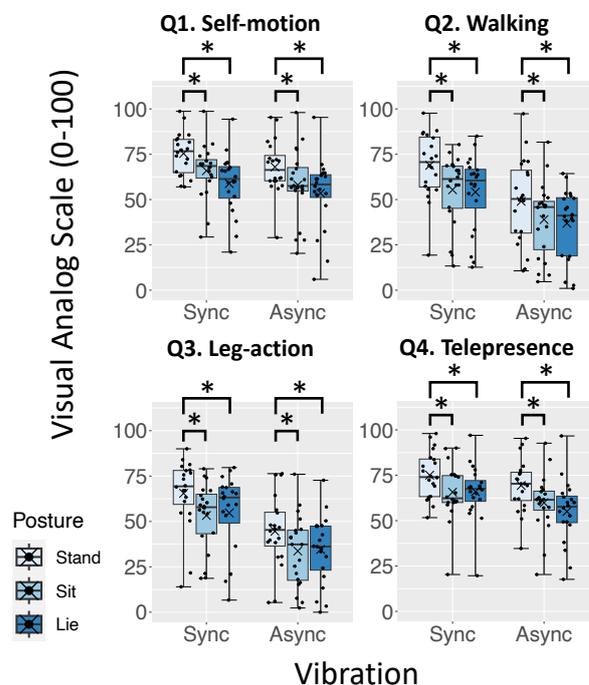


図2: 歩行に関する感覚評定の結果。×は平均値。

姿勢条件の事後分析では、全ての評価項目において、立位姿勢は座位姿勢よりも優位に高かった[self-motion:  $t(38)=4.17, \text{adj.}p < .001$ , walking:  $t(38)=4.52, \text{adj.}p < .001$ , leg action:  $t(38)=4.72, \text{adj.}p < .001$ , telepresence:  $t(38)=4.56, \text{adj.}p < .001$ ]。また、立位姿勢は仰向け姿勢よりも有意に高かった[self-motion:  $t(38)=6.60, \text{adj.}p < .001$ , walking:  $t(38)=5.13,$

adj.p <.001, leg action:  $t(38)=3.82$ , adj.p =.001, telepresence:  $t(38)=5.50$ , adj.p <.001]。また、相互作用は認められなかった。

#### 4. 考察

歩行に同期する足裏振動の効果は、立位、座位、仰向けの全ての姿勢で、バーチャル歩行体験を強化することが明らかとなった。したがって、仮説 H1 が支持され、以前の研究の結果を支持した [1]-[4]。

仰向け姿勢による固有受容、あるいは前庭情報と視覚情報との間に矛盾があったとしても、足の振動は効果的だった。これは、振動刺激が人間の多感覚統合の過程で歩行感覚を得るための重要な要素であることを示唆している[7]。また、バーチャルな歩行感覚は、座位姿勢と仰向け姿勢と比較し、立位姿勢で強く、以前の研究の結果と一致する[5]。

座位姿勢と仰向け姿勢は、同様のレベルのバーチャル歩行感が得られ、仮説 H2 を支持した。これは座位姿勢時の脚の姿勢が歩行時の姿勢とは異なることによる姿勢の差異と、仰向け姿勢の前庭情報が歩行時の姿勢とは異なることによる前庭の差異の間のトレードオフによって引き起こされると考えられる。試行における、歩行開始前の鏡の中の自己身体アバターの観察とその後の足への触覚提示は、視覚情報と前庭情報との不一致の悪影響を弱めることができるように、アバターへの身体所有感を改善することが示唆された。

このバーチャル歩行システムは、ベッドから出られないような身体的制限によらず、ある程度の歩行体験を提供できるだろう。

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

#### 参考文献

- [1] M. Kitazaki, T. Hamada, K. Yoshiho, R. Kondo, T. Amemiya, K. Hirota, and Y. Ikei. Virtual walking sensation by pre-recorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration. *i-Perception*, 10(5), 1-14. 2019.
- [2] L. Terziman, M. Marchal, F. Multon, B. Arnaldi and A. Lécuyer, The King-Kong Effects: Improving sensation of walking in VR with visual and tactile vibrations at each step. *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 19-26, 2012.
- [3] J. Saint-Aubert, J. Manson, I. Bonan, Y. Launey, A. Lécuyer and M. Cogné, Effect of Vibrations on Impression of Walking and Embodiment With First- and Third-Person Avatar. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2022.
- [4] Y. Matsuda, J. Nakamura, T. Amemiya, Y. Ikei, and M. Kitazaki. Enhancing Virtual Walking Sensation Using Self-Avatar in First-Person Perspective and Foot Vibrations. *Frontiers in Virtual Reality*, 2(26), 2021.
- [5] J. Saint-Aubert, M. Cogné, I. Bonan, Y. Launey and A. Lécuyer, Influence of User Posture and Virtual Exercise on Impression of Locomotion During VR Observation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(8), 3507-3518, 2023.
- [6] J. Wobbrock, L. Findlater, D. Gergle, and J. Higgins, The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, 143-146, 2011.
- [7] M. Ernst, and M. Banks. Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429-433, 2002.