



仰臥位でのバーチャル歩行体験を促進するための 疑似起き上がり動作

坂田龍星¹⁾, 中村純也^{1*)}, 北崎充晃¹⁾

Ryusei SAKATA, 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,
sakata.ryusei.bs@tut.jp, nakamura.junya.ap@tut.jp, mich@tut.jp)

概要: 足裏振動とオプティックフローを用いたバーチャル歩行システムは仰臥位のユーザーにも歩行体験を誘発可能であるが、姿勢の不一致が歩行感覚を阻害する。そこで、擬似的な起き上がり動作を導入した実験を行った。その結果、つま先に力を入れるとそれに連動して起き上がる一人称視点映像を提示すると、つま先に一瞬力を入れるだけや何もしなくても起き上がり時映像が提示される条件よりも歩行感覚が増強した。

キーワード: クロスモーダル, 身体性認知, 歩行, オプティックフロー

1. はじめに

歩行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り、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]。トレッドミルとヘッドマウントディスプレイ (HMD) を組み合わせるなどユーザーの下肢を実際に動かすシステム[1]のみならず、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ことで足を動かさずにバーチャルな歩行体験を提供するシステムがある[2-5]。

従来のバーチャル歩行研究の多くは、立位や座位の状態を前提としており、ユーザーがある程度身体を動かせることが前提とされてきた。しかし、身体的制約を持つ高齢者や身体障害者など、姿勢制御が難しい人々に対しても、仰臥位で安全かつ安定した状態のまま、かつ身体的負担の少ない楽な姿勢で VR による歩行感覚を提供できれば、長時間の使用も可能となり、身体的負担を抑えながら多様な体験を提供できる有効な手段となる。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、ユーザーの没入感を損なう原因となることが報告されている[6]。

これに対して、仰臥位での歩行体験において、視覚的な鉛直情報と、仰臥位から立位への視点の変化（視覚的姿勢遷移）を最初に体験することで、人は仰臥位のままでも、現実には起き上がる際に見慣れた視覚的变化を体験することで、自身の身体が実際には起き上がっていると知覚する可能性が示唆された[7]。

本研究では、こうした視覚的姿勢遷移に加え、より現実的な身体感覚の再現を目指し、ユーザーが自ら能動的に起き上がり動作を制御する状況を創出し、さらに背面からの振動刺激を組み合わせることで、姿勢の変化を多感覚的に提示する手法の効果を検討した。

2. 方法

2.1 参加者

大学生・大学院生 25 名（男性 21 名、女性 4 名、 $M=21.72$, $SD=1.372$ ）が実験に参加した。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。

2.2 装置

実験にはコンピュータ（Intel Core i7 10700, NVIDIA GeForce RTX 3060, DDR4 32GB）を使用し、Unity（2020.3.20f1）で刺激を制御・提示した。参加者はベッドで仰向け（仰臥位）になり、頭部に HMD 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 1440×1600 pixel, リフレッシュレート: 90 Hz, 視野角: 最大 110° ）で提示し、視線計測を行った。振動刺激は 4 つの振動子（Acoupe 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した

* 現在は NHK 放送技術研究所に所属

めに、参加者が装着したノイズキャンセリングヘッドホン（SONY WH-1000XM4）にホワイトノイズ（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、踵部と前足部の振動の開始時間の差を 100[ms]に設定した。

地形や構造物が存在する空間を歩行する映像を使用した。疑似起き上がり動作を再現した動作が始まる方法について 3 条件を設定した。受動的起き上がり条件では、参加者は何もすることなく、ランダムなタイミングでアバターの起き上がり動作が始まった。単発入力条件では、参加者が右足に力を入れると、そのタイミングから自動的にアバターが起き上がった。連続入力条件では、参加者が右足に力を入れると、その強さに応じて徐々にアバターが起き上がった。参加者は、アバターの一人称視点からの映像を仰臥位のまま観察した。また、起き上がり動作時に、背面振動の提示する条件と提示しない条件を設定した。

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。その後、視線のキャリブレーションを行い、背中位置に振動装置を合わせベッドの上で仰向けの姿勢になった。実験が始まると暗転し実験開始時と休憩後の実験再開時に圧力センサーのキャリブレーションを行った。その後、画面上に注視点（5 秒）が表示され、試行シーンに切り替わった。試行では、静止（5 秒：音が鳴る）、疑似起き上がり動作、静止（1 秒）、歩行の観察（30 秒）を行った。被験者は刺激観測の後、歩行評価（4 項目）と身体性評価（8 項目）、Virtual Reality Sickness Questionnaire（VRSQ、9 項目）に回答した。

歩行評価は、移動感覚（VE1）、歩行感覚（WA2）、脚運動感（ST3）、臨場感（TE4）の 4 評定について 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。また、VAS の回答は 0-100 に離散化して分析に用いた。この評定項目は先行研究[1-3]に基づいた。

身体性評価は、姿勢一致性、身体所有感、行為主体感について 7 段階のリッカート尺度を用いて測定した。

VRSQ は、目の疲れ、ふらつき感について 4 段階のリッカート尺度を用いて測定した。

参加者は 18 試行（疑似起き上がり入力条件 3 水準 × 背面振動条件 2 水準 × 繰り返し 3 試行）を無作為順で観察した。

3. 結果

各評価値について、整列ランク変換による被験者内要因二元配置分散分析（ART-ANOVA）（疑似起き上がり入力条件 3 水準 × 背面振動条件 2 水準）を行った。

3.1 歩行評価

移動感覚について、受動的起き上がり入力条件よりも連続入力条件の方が高かった（図 1）。歩行感覚について、受動的起き上がり、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高かった。脚運動感については、受動的起き上がり、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高く、背面振動なし条件よりもあり条件の方が高かった。臨場感については、受動的起き上がり条件よりも連続入力条件の方が高く、背面振動なし条件よりもあり条件の方が高かった。

3.2 身体性評価

姿勢一致性については、受動的起き上がり、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高かった（図 2）。身体所有感については、受動的起き上がり、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高く、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高かった。また、背面振動条件においては、なし条件よりもあり条件の方が高い効果を得た。行為主体感については、疑似起き上がり入力条件では、受動的起き上がり、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高く、単発入力条件よりも連続入力条件の方が高かった。また、背面振動条件においては、なし条件よりもあり条件の方が高い効果を得た。

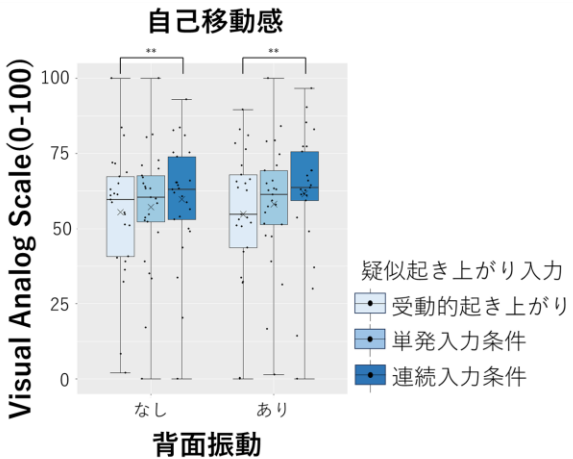


図 1： 自己移動感の結果

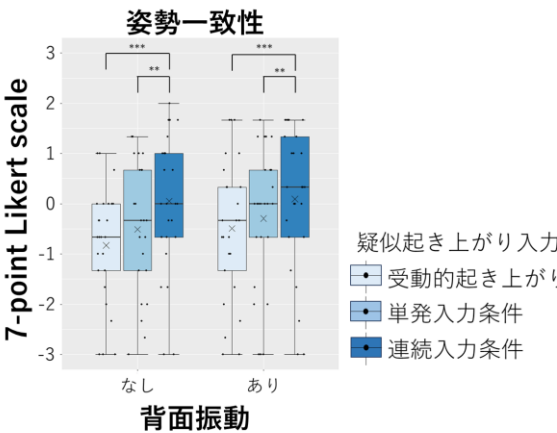


図 2： 姿勢一致性の結果

3.3 VRSQ

目の疲れ、ふらつき感については、いずれの主効果、交互作用も得られなかった。

4. 考察

より能動的な動作は、歩行評価、身体性評価を向上させた。また、背面振動も身体所有感や行為主体感、脚運動感、臨場感を向上させた。仰向け姿勢でも、現実で起き上がる視野を体験することに加え、より現実の動作のような能動的な動作を加えることで歩行体験の向上が示唆された。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP23H03882; JP23K17460) の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Iwata, H. (2002). The torus treadmill: Realizing locomotion in VEs. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(6), 30-35.
- [2] Kitazaki, M., Hamada, T., Yoshiho, K., Kondo, R., Amemiya, T., Hirota, K., & Ikei, Y. (2019). Virtual walking sensation by prerecorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration. *i-Perception*, 10(5), 2041669519882448.
<https://doi.org/10.1177/2041669519882448>
- [3] Terziman, L., Marchal, M., Multon, F., Arnaldi, B., & Lécuyer, A. (2012). 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.
<https://doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184179>
- [4] Saint-Aubert, J., Manson, J., Bonan, I., Launey, Y., Lécuyer, A., & Cogné, M. (2022). Effect of vibrations on impression of walking and embodiment with first-and third-person avatar. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(12), 5579-5585.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3212089>
- [5] Matsuda, Y., Nakamura, J., Amemiya, T., Ikei, Y., & Kitazaki, M. (2021). Enhancing virtual walking sensation using self-avatar in first-person perspective and foot vibrations. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 654088.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2021.654088>
- [6] Saint-Aubert, J., Cogné, M., Bonan, I., Launey, Y., & Lécuyer, A. (2022). 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.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3161130>
- [7] Nakamura, J., & Kitazaki, M. (2024). Enhancing Virtual Walking in Lying Position: Upright Perception by Changing Self-Avatar's Posture. *2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 837-838.
<https://doi.org/10.1109/VRW62533.2024.00215>