



VR 平均台の高さの変化が歩行安定性に及ぼす影響

The Effect of VR Balance Beam Height Variation on Walking Stability

飯塚巧馬, 河合隆史

Takuma IIZUKA, Takashi KAWAI

早稲田大学 大学院基幹理工学研究科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, info@tkawai-lab.com)

概要: 仮想現実 (Virtual Reality: VR) は, 現実とは異なる視覚効果を提示できる有効な技術であり, スポーツスキルの向上などに活用されている. 本研究は, VR を用いて効率的にバランス能力を向上させるトレーニング手法の検討を目的とした. 実験では, 仮想空間内で, 「低い条件, 高い条件, 再び低い条件」の順に平均台を歩行させ, 意図的に高さの高い条件を挟むことで恐怖感やストレスを増幅させ, 心理的適応の促進を図った. 実験の結果, 仮想平均台の高さ変化が恐怖感の低下や歩行安定性の向上に寄与する可能性が示唆された.

キーワード: バランス能力, 仮想の高さ, 仮想現実, 平均台

1. はじめに

バランス能力は, 日常生活やスポーツパフォーマンスを支える重要な要素である. 特に, 高齢者の転倒予防やリハビリテーション, さらにアスリートの競技力向上において, その重要性は広く認識されている. 一方, 仮想現実 (Virtual Reality: VR) は, 現実とは異なる視覚効果を提示できる有効な技術として注目されており, 野球[1], 卓球[2], けん玉[3]など多くのスポーツ分野で, スキル向上を目的としたトレーニングに活用されている. これらでは, VR 特有の視覚的效果を取り入れることで, トレーニング効果の向上が図られている.

本研究では, VR 技術がバランストレーニングにおいても効果的ではないかという仮説のもと, 仮想平均台を用いた歩行トレーニング手法を検討した. 平均台でのトレーニングは, バランス能力向上に効果的[4]とされているが, 平均台からの落下による怪我のリスクが課題である. そこで本研究では, VR 技術を活用することで安全性を確保しつつ, 現実では困難な環境設定を仮想空間内で自由に再現し, 効率的かつ標準化されたトレーニング環境の構築を目指した.

の平均台を設定し, 2 つのグループで実験を実施した. グループ 1 は「低い条件, 高い条件, 低い条件」の順で, グループ 2 では対照実験として「低い条件」を 3 回連続で試行した.

歩行方法は, 後ろ足のつま先と前足のかかとを接触させながら歩くタンデム歩行を指定し, 歩行方法を統一した.

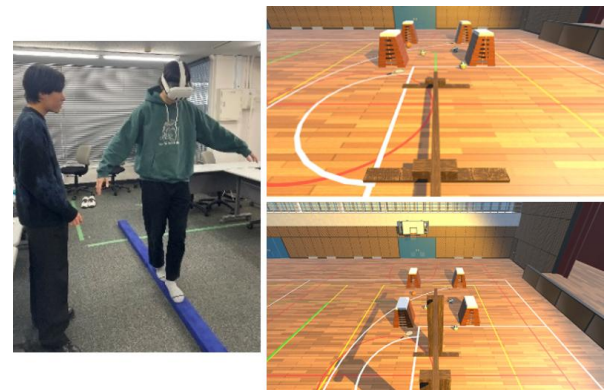


図 1 実験環境

(左: 実験環境 右上: 低い条件 右下: 高い条件)

2. 実験方法

2.1 実験環境

本実験では, 幅 10 cm, 高さ 7 cm, 長さ 4.4 m の平均台を使用し, 参加者には平均台上を 3 m 歩行させた.

2.2 実験条件

仮想環境には高さ 30 cm (低い条件) と 3 m (高い条件)

2.3 評価指標

主観指標としては心理指標である SAM (Self-Assessment Manikin) [5]を用い, 客観指標としては生理指標の RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences), およびバランス能力の評価として歩行時間と頭部動揺を測定した.

2.4 実験装置

刺激の提示, 歩行時間や頭部動揺の取得には, ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) である Meta Quest3 を使用した。心拍の計測には, 生体計測機器の E4 wristband (Empatica Inc.) を用いた。

3. 実験結果

3.1 心理指標

SAM における覚醒度について, グループ間で有意差は認められなかった。一方, グループ内で多重比較を行った結果, グループ 1 では全ての試行条件間で有意差が認められたのに対し, グループ 2 では有意差は認められなかった。また, 試行 1 から試行 3 への覚醒度の減少率は, グループ 1 が 50%, グループ 2 が 26%と, グループ 1 の方が顕著であった。これらの結果から, 高い条件を体験することで低い条件への恐怖感の軽減が促進される可能性が示唆された。

3.2 生理指標

RMSSD について, グループ間およびグループ内共に有意差は認められなかった。しかし, 試行 1 から試行 3 への RMSSD の増加率は, グループ 1 が 24%, グループ 2 が 74%と, グループ 2 の方が顕著であった。これらの結果から, 同一条件の繰り返しが生理的な落ち着きに寄与する可能性が示唆された。

3.3 歩行時間

歩行時間について, グループ間で有意差は認められなかった。一方, グループ内で多重比較を行った結果, グループ 1 では試行 1 と 3, 試行 2 と 3 の条件間で有意差が認められたのに対し, グループ 2 では有意差は認められなかった。また, 試行 1 から試行 3 への歩行時間の減少率は, グループ 1 が 11%, グループ 2 が 3%と, グループ 1 の方が顕著であった。これらの結果から, 高い条件を体験することで歩行時間が短縮され, 歩行への適応が促進されると考えられる。

3.4 頭部動揺

頭部の水平方向の動揺について, グループ間およびグループ内共に有意差は認められなかった。また, 試行 1 から試行 3 への頭部動揺の減少率は, グループ 1 が 6%, グループ 2 が 20%と, グループ 2 の方が顕著であった。しかし, 個別データを確認すると, 試行 1 から試行 3 にかけて, 動揺が減少した被験者もいれば, 増加した被験者も一定数存在していた。

そこで, 試行 1 から試行 3 への変化率に関して, 歩行時間と頭部動揺の相関を調べたところ, グループ 1 では正の相関 ($r=0.54$), グループ 2 では負の相関 ($r=-0.55$) が確認された。これにより, グループ 1 では歩行時間が短くなると共に頭部動揺も減少し, 歩行の安定性が向上した可能性があるのに対し, グループ 2 では歩行時間が短くなると共に頭部動揺が増加する傾向が見られた。これらの結果から, 高い条件を体験することで, 歩行時間と頭部動揺が共に減少し, 歩行の安定性向上に寄与することが示唆された。

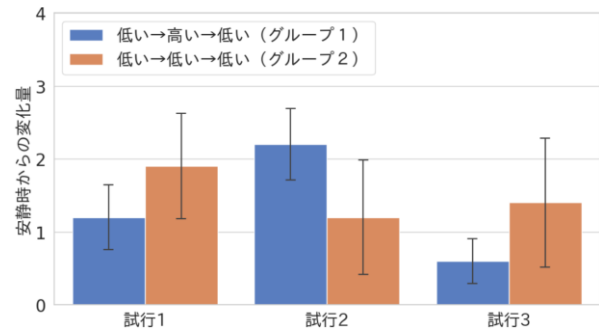


図2 SAMの安静時からの変化量 (覚醒度)

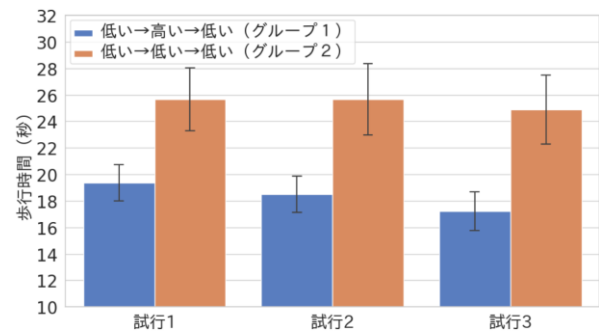


図3 歩行時間

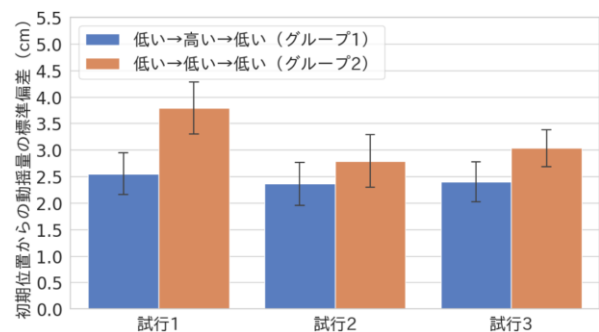


図4 頭部の水平方向の動揺

4. 結論

本研究では, 仮想平均台の高さ変化によって生じる心理的变化を活用し, バランス能力向上への効果を検証した。その結果, 高さ条件を変化させることで, 覚醒度 (恐怖感) の低下, 歩行時間の短縮, および頭部動揺の減少が確認された。これにより, VR 環境における高さ変化が恐怖感の緩和を通じて心理的適応を促進し, 歩行パフォーマンスの向上に寄与する可能性が示唆された。

また, 各試行の時間が1分未満という短時間で有意な効果が確認された点は, VRの即時性や没入感といった特徴を示唆していると考えられる。このことは, 限られた時間内でも心理的および身体的な変化を引き出すVRの可能性を示す一方で, 短時間だからこそ生じた一過性の効果である可能性も否定できない。今後は, 実環境との併用や長期的な介入を通じた効果検証を進め, VRの特性を活かしたより実践的かつ効果的なトレーニング手法の確立が求められる。

参考文献

- [1] Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. *Frontiers in Psychology*, 8, 2183. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02183>
- [2] 大橋快生, 高橋秀智 (2020). 拡張現実を用いた卓球初心者のトレーニングシステム-第 1 報 システム提案と基本性能の評価-. 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 25.
- [3] 川崎仁史, 脇坂崇平, 笠原俊一, 齊藤寛人, 原口純也, 登嶋健太, 稲見昌彦.(2020). けん玉できた！VR : 5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集,26-32.
- [4] Yu, Q., Pan, X., Liu, Z., & Deng, C. (2025). Effect of gymnastics on balance ability in children aged three to six years. *Frontiers in Psychology*, 16, 1549741. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1549741>
- [5] Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1),49-59.[https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)