



# バーチャルリアリティを併用した義足荷重練習が静的立位バランスに与える即時効果 -模擬義足を用いた予備的研究-

Acute Effect of Prosthetic Foot Loading Practice with Virtual Reality on Static Standing Balance  
-A Preliminary Study Using Simulated Prosthetic Foot-

堤 省吾, 前田慶明, 黒田彩世, 重國佳寛, 長尾拓海, 小宮 諒, 浦辺幸夫  
Shogo TSUTSUMI, Noriaki MAEDA, Sayo KURODA, Yoshihiro SHIGEKUNI,  
Takumi NAGAO, Makoto KOMIYA, and Yukio URABE

広島大学大学院 医系科学研究科 (〒734-8553 広島県広島市南区霞 1-2-3, shogo-tutumi@hiroshima-u.ac.jp)

**概要:** バーチャルリアリティは下肢切断者のリハビリテーションに応用できる可能性があるため、模擬義足を用いて予備的実験を行った。平行棒内での単純な足踏み練習を行い、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、VR 映像の視聴を併用した VR 群と HMD を装着しない Control 群の 2 群を設けた。練習を実施した前後で立位バランスを比較した結果、VR 群でのみ重心動揺の項目が介入後に有意に改善した。VR を併用した足踏み練習によって下肢切断者の立位バランスが向上したことから、下肢切断者のリハビリテーション補助的ツールとして効果的である可能性が示唆された。今後は実際の下肢切断者を対象とした効果検証を重ねていく。

**キーワード:** リハビリテーション, 下肢切断, 立位バランス

## 1. はじめに

下肢切断後の義足を用いたリハビリテーションでは、限られた入院期間で左右対称に近い荷重ができるようになることは歩行能力の再獲得に重要である。下肢切断者は、健常者と比較して左右非対称な歩行パターンを示すことが報告されている[1]。非対称な歩行パターンは、非切断側への負担や新たな障害発生に繋がる恐れがある。

近年、模擬義手による模倣運動練習にバーチャルリアリティ (以下、VR) を併用することで、運動学習の効果が向上したことが示された[2]。また下肢切断者に対しては、VR を用いたリハビリテーションが応用できることが報告されているが[3]、どの程度の効果があるのかは不明である。

我々は模擬義足を用いた荷重練習に VR を併用することで、歩行能力の向上に効果的であることを報告した[4]。しかし、どのような機序で歩行能力が向上したのかは分かっていない。そのため、今後はより基礎的な部分に焦点をあてることで、下肢切断のリハビリテーションに VR が与える効果を追求していく必要がある。

本研究の目的は、VR を併用した荷重練習が立位バランスに与える影響を、模擬義足を用いて調査することとした。

## 2. 方法

### 2.1 対象

対象は模擬義足歩行の経験がない健常成人男性 12 名とし、Control 群 6 名と VR 群 6 名に無作為に群分けした (表 1)。包含基準は①18-25 歳、②神経疾患、整形外科疾患の病歴がない、③模擬義足を使用した歩行経験がない、とした。除外基準は、①模擬義足の装着が困難な者、②視覚障がいのある者、とした。本研究は、広島大学倫理審査委員会の承認を得て実施した (承認番号:E-2398)。

### 2.2 介入方法

対象者は、利き脚に模擬義足を装着するように指示された。全対象が右脚だった。事前練習として、はじめに平行棒内で 5 分間の歩行練習時間を設けた。介入前評価として立位バランスを測定した。その後、両群ともに平行棒内で 5 分間その場足踏みをするよう指示した。ただし、VR 群はヘッドマウントディスプレイ (Mirage Solo with Daydream、Lenovo) を装着し、義足歩行を主観的に撮影した VR 映像

表 1: 各群の基本情報

	Control群 (n=6)	VR群 (n=6)	p-value
年齢 (歳)	20.8 ± 1.8	21.6 ± 1.5	0.476
身長 (cm)	169.5 ± 1.6	168.5 ± 2.0	0.365
体重 (kg)	61.0 ± 7.2	61.9 ± 5.8	0.826
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.2 ± 2.2	21.8 ± 2.3	0.652



図 1: VR を併用した荷重練習の様子

の視聴を併用した。まるで歩いているような映像に合わせて足踏みをするよう指示した(図 1)。介入後、再度立位バランスの評価を実施した。

### 2.3 立位バランスの評価方法

立位バランスは重心動揺計 (Zebris PDM-S システム, Zebris 社) を用いて、閉脚立位で各 30 秒間測定した。条件は開眼、閉眼の 2 条件で 3 回ずつ測定した。測定項目は、重心動揺の総軌跡長 (mm)、矩形面積 (mm<sup>2</sup>) とした。

### 2.4 統計学的解析

各群での介入前後での立位バランス項目を比較するために、対応のある t 検定を用いた。有意水準は 5% とした。

## 3. 結果

重心動揺の総軌跡長、矩形面積の結果を表 2 に示す。VR 群では、介入前と比較して、介入後に開眼での矩形面積、閉眼条件での総軌跡長、矩形面積が有意に低下した ( $p < 0.05$ )。コントロール群では介入前後で有意な差がなかった ( $p > 0.05$ )。

## 4. 考察

本研究の結果より、従来のリハビリテーションで多用される義足への荷重練習に VR を組み合わせることが、下肢切断者の立位バランス改善に効果的であることが示唆された。義足装着後の初期段階では、義足側に荷重をかけることで、歩行能力が向上することが示唆されている[5]。そのため、模擬義足を用いた荷重練習(その場足踏み)は、義足初心者にとって効果的な手法であるといえる。

VR 群の介入による立位姿勢の変化の一例を図 2 に示す。介入前後で義足側への荷重が変化していることは一目瞭然である。歩行動作を実施する前に、立位時点で義足側に荷重できるか否かを評価することは、切断者の二次障害予防のためにも重要であると考えられる。

表 2: 荷重練習前後での閉脚立位バランスの変化

	Control群 (n=6)			VR群 (n=6)		
	Pre	Post	p-value	Pre	Post	p-value
<b>開眼条件</b>						
総軌跡長(mm)	444.6 ± 90.5	419.1 ± 78.9	0.361	409.3 ± 124.0	351.0 ± 109.0	0.222
矩形面積(mm <sup>2</sup> )	150.5 ± 15.8	174.5 ± 32.1	0.052	199.8 ± 75.8	150.3 ± 84.7	<b>0.042</b>
<b>閉眼条件</b>						
総軌跡長(mm)	804.6 ± 173.9	769.7 ± 255.5	0.520	757.1 ± 289.7	618.6 ± 266.7	<b>0.017</b>
矩形面積(mm <sup>2</sup> )	326.2 ± 53.1	330.3 ± 99.5	0.918	377.0 ± 226.8	251.4 ± 157.5	<b>0.048</b>

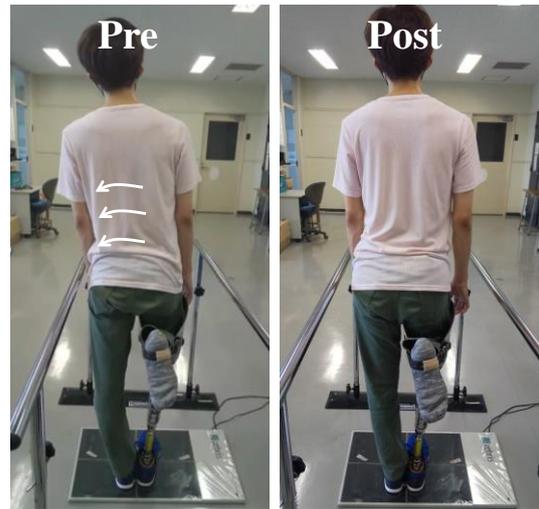


図 2: VR を併用した荷重練習前後での閉脚立位姿勢の変化

ある方向の運動の視覚を観察すると、観察者はその運動がまるで反対方向であるように知覚する。この現象はベクション効果と呼ばれる[6]。本研究では、対照的な歩行パターンで歩行する人の主観的な視覚を VR 群の介入に用いた。以上のことから、VR 群はベクション効果によりその場で片脚荷重を繰り返すだけで理想的な歩行、すなわち荷重応答が促進され、立位バランスの向上に繋がった可能性がある。

## 5. 結論

模擬義足者の立位バランスは、バーチャルリアリティを併用した荷重練習により改善することが明らかとなった。バーチャルリアリティは下肢切断者に対するリハビリテーションにおいて有用なツールとなることが示唆された。

**謝辞** 本研究に際し、模擬義足準備の際にご助言いただいた森川将徳先生、ならびに研究に参加いただいた方々に心より感謝致します。

## 参考文献

- [1] Skinner, H.B. et al. Gait analysis in amputees. Am. J. Phys. Med. 1985, 64, 82-89.
- [2] Yoshimura, M. et al. Virtual reality-based action observation facilitates the acquisition of body-powered prosthetic control skills. J. Neuroeng. Rehabil. 2020, 17, 1-12.
- [3] Sheehan RC. et al. Inclusion of a Military-specific, Virtual Reality-based Rehabilitation Intervention Improved Measured Function, but Not Perceived Function, in Individuals with Lower Limb Trauma. Mil. Med. 2021, 186, e777-e783.
- [4] Fukui, K. et al. Walking Practice Combined with Virtual Reality Contributes to Early Acquisition of Symmetry Prosthetic Walking: An Experimental Study Using Simulated Prosthesis Symmetry. 2021, 13, 2282.
- [5] VanRoss, E.R. et al. Effects of early mobilization on

unhealed dysvascular transtibial amputation stumps: A clinical trial. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2009, 90, 610-617.

[6] Palmisano, S. et al. Future challenges for vection research:

Definitions, functional significance, measures and neural bases.

Front. Psychol. 2015, 6, 193