



# 高齢者の歩行訓練のための脚運びを確認可能な 着座式 VR アプリの実装

## Implementation of a Seated Walking VR App for Self-checking of Leg Movements in Walking Training for Elderly People

西野僚馬<sup>1)</sup>, 横山茂樹<sup>2)</sup>, 吉田俊介<sup>1)</sup>

Ryoma NISHINO, Shigeki YOKOYAMA, and Shunsuke YOSHIDA

1) 京都橘大学 工学部 情報工学科 (〒607-8175 京都府京都市山科区大宅山田 34, a601021268@st.tachibana-u.ac.jp)

2) 京都橘大学 理学療法学部 理学療法学科 (〒607-8175 京都府京都市山科区大宅山田 34)

**概要**: 高齢者の歩行訓練の課題として、立位では転倒の危険があり、座位では正しい脚運びを習熟しにくいことがある。本研究で提案する VR アプリでは、360 度映像による室内を座位で安全に歩行できるものである。視線を落とすとパススルー映像にて実際の脚運びが重畳され、加速度センサによる足踏み動作の検出と、手を膝に置くハンドトラッキングを流用した簡便な脚の動きの測定にて、指標となる脚運びからのズレが提示できる。

**キーワード**: スポーツ・健康, 教育・訓練, リハビリ

### 1. はじめに

近年、高齢者の増加に比例する形で、リハビリテーションの需要も高まってきている。歩行能力が低下した高齢者に対する歩行感覚を取り戻すためのリハビリテーションもそのひとつであるが、実際に歩行して訓練することは、転倒のリスクなどの危険性が伴う。このため、椅子に座った状態での歩行動作練習から始めることが望ましい。しかしながら、椅子に座った状態でのトレーニングは歩行の体験と呼ぶには乖離が大きく、モチベーションを維持することも難しい。また、単純な足踏みによるトレーニングでは、歩行につながる正しい脚運びができていないかを本人が認知することが難しい点が課題となっていた。

そこで本研究では、効果的に模擬歩行を体感できる運動イメージトレーニングを行うにあたって、着座した状態でヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) を装着した VR 環境によるトレーニング方法を検討する。

提案する VR アプリは、歩行困難な高齢者でも利用可能な座位でのリハビリテーションを前提とし、足踏み動作を加速度センサによって検出することで歩行動作として扱う。歩行動作に応じた歩行感覚は HMD を通じて視覚的に提示され、360 度映像として撮影された VR 空間内を前進する形で再現される。

実際の歩行トレーニングにおいては、自身の脚が正しく

繰り返しているどうかを確認しつつ進めることも重要である。しかしながら、HMD による没入型の VR 体験では、このトレーニングにおいて重要な指標となる自分の身体に対して脚が正面を向いているのかどうかを確認することが困難である。そこで本研究における実装では、360 度映像とリアルタイムにビデオ撮影されるパススルー映像とを頭の上下の傾きによって滑らかに切り替える仕組みを用意し、HMD を装着した状態でも、体験者が自身の脚が適切に動かしているかどうかを確認できるようにした。また、視覚情報に加えて振動刺激を脚に与えることにより、適切な歩行動作とのズレを直観的に認知できるよう工夫した。

### 2. 関連研究

歩行リハビリテーションを目的として高齢の体験者に歩行感覚を提示する手段を検討するため、これまでに提案されている各手法を、座った状態で利用できるか、転倒の可能性、必要となる機材の量などから次の 3 つに分類して比較する。

1 つ目は、HMD を装着した状態で現実空間を実際に移動し、VR 空間内を歩行する手法である[1]。この手法は、実際の歩行を必要とするために、歩行困難な高齢者を対象とする場合は利用しづらいことや、歩行することによる転

倒の可能性が大きナリスクとなるが、必要とする機材が少なく HMD だけで良いという利点がある。

2つ目は、トレッドミルに代表される装置上を歩行することで、空間を固定したまま現実の脚運びをさせて移動感覚を提示する手法である[2]。これは1つ目と同様に歩行困難者は利用が難しいが、手すりがあるために転倒のリスクは1つ目よりも低い。また、身体をハーネスによって吊り上げる方式[3]では、さらに転倒の危険を減らすことも可能である。しかしながら、大がかりな装置とその設置場所を必要とすることが課題となり、特定施設での運用が想定される。

3つ目は、足踏み動作に連動して VR 空間内を移動する映像を再生し、視覚的な歩行感覚のみを与える手法である[4]。これらの方式は座位での利用も可能であるために、転倒の可能性はなくせる。また必要な装置も、映像提示には HMD が利用でき、足踏み動作の検出に必要な加速度センサなどの装置も製品化されているものが多く、比較的簡便な運用が可能である。

そこで我々は、1) 歩行能力が低い高齢者を想定して座位での利用が可能であること、2) 装置の取扱いに不慣れた医療従事者や高齢者が、色々な場所で利用できるよう特殊な機材を多く要しないこと、3) 実際の歩行の動作に類似し、脚運びを自身で確認しながらリハビリを進められること、などの目的を設定し、3つ目の手法である足踏み動作を用いた VR 歩行リハビリテーションを提案することとした。

### 3. VR アプリを利用した高齢者の歩行訓練

#### 3.1 提案するシステムの概要

本アプリケーションは、様々な要因で歩行が困難となった高齢者に対して、理学療法士など（以下、指導者）が補助しながら歩行のリハビリテーションをするシナリオを想定して作成したものである。

訓練を受ける者（以下、体験者）は、椅子に座ったうえで HMD を装着し、各手に加速度センサを握り、両膝の上にそれぞれの手を載せる。図 1 に、体験者が装置を装着して利用している様子を示す。



図 1: 提案システムを利用している様子

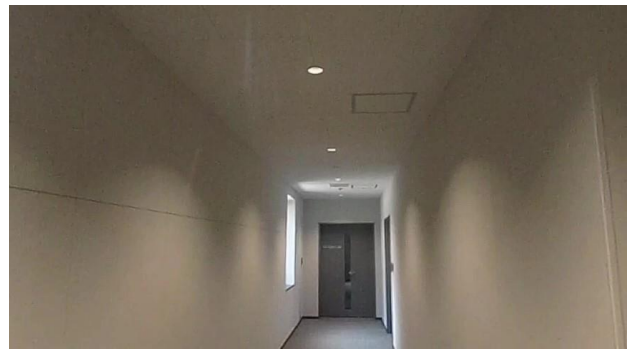


図 2: 提示する 360 度映像

体験者の視界には 360 度映像が表示されており、頭の向きを変えることで任意方向の風景を観察することができる。映像は足踏みの動作に応じて前方に進行するように変化する。例えば図 2 に示すような廊下の風景では、初期位置の廊下の入り口から前方のドアに向かって歩行するような視覚的体験ができる。

体験者の足踏みの動作は、膝の位置の加速度センサ（図 1 では、膝に置いた手の下に隠れている）の値により判断する。体験者の足踏み動作から検出された加速度の値が一定値以上となった場合を歩行状態とし、360 度映像の時間を進める。360 度映像は一定の速度で前進しつつ撮影しているため、加速度の大きさに合わせて 360 度映像の再生時刻の位置を調整することにより、歩行の様子が視覚的に再現される。

加えて、本アプリケーションの特徴として、体験者が自身の脚運びを確認しつつ歩行訓練を実施できることが挙げられる。体験者が視線を下に落とすと、HMD に付属するカメラのビデオ映像がパススルーされ、自身の脚の映像と VR 空間とが混合表示されて確認できる。これにさらに重畳する形で、適切な脚運びの指標となる直方体のバーチャルオブジェクトが表示される。

訓練では始めに、指導者の確認の元、体験者の脚と VR 空間内に表示されている指標とが重なるように位置や姿勢を調整する。その後、足踏み動作を開始する。体験者は時折自分の脚の状態を目視で確認しつつ前進を行う。足踏みの最中にそれぞれの脚が指標から一定量離れた場合、加速度センサと一体化している振動子が動作し、ズレ量がそれに対応する振動の強弱として提示される。これら視覚的および触覚的な体験をもって、体験者が指標とのズレを認識しつつ、適切な脚運びへと自身で誘導できることを期待する。

#### 3.2 360 度映像による歩行感覚の提示

今回の実装にあたっては、病院で利用するための可搬性や、比較的安価で台数が揃えやすい、標準機能でカラービデオのパススルー映像が利用できるなどの理由から、HMD に Meta 社 Quest 3 [5]を採用した。

本実装において歩行空間を人工的にモデリングされた CG の VR 空間ではなく、360 度映像により撮影された実世界の空間とした理由は、高齢である体験者がより自然と

感じる普段の生活環境に近い映像内を歩行することにより、余計な刺激を低減しつつトレーニングに集中できると考えたためである。

360度映像は RICOH 社 THETAX を用いて撮影したものであり、体験者が歩行するルートの始点から終点に向かって一定の速度で前進するように動画で撮影した。これを足踏み動作で検出された歩行のテンポに従って時間軸を進めつつ再生することにより、前進する歩行感覚を視覚的に提示した。

### 3.3 脚運びの確認と指標の提示

自身の脚運びを確認するためのパススルー映像への切り替えは、今回は正面を見据えた頭の水平方向を 0 度とし、下方向に頭を一定角度傾けると 360 度映像からパススルー映像へと徐々にブレンディングしながら変化するように実装した。具体的には、変化の開始角度を 20 度とし、30 度に到達すると完全にパススルー映像に切り替わるように設計した。

脚運びを確認するための指標としては、ヒトの脛の平均サイズを参考に 10 cm 角の高さ 50 cm の直方体を用意した。訓練前に指導者が実空間に足を模った紙を、体験者の左右の足の幅に合わせて床に配置する。同時に、VR 空間では紙の位置に上記の指標が直立するバーチャルオブジェクトとして観察できるように設定する。訓練者は紙に左右の足を合わせるようにして着席し、脛と腿がそれぞれ垂直と水平になるように椅子の位置を調整する。これらの手順により、足踏みをする動きと指標とのズレが視覚的に提示される。

### 3.4 脚位置の検出とズレの提示

本実装における足踏み動作の検出には、加速度センサを備えており比較的安価で調達しやすく、脚に装着して振動刺激を与えることもできる装置として任天堂社製の Joy-Con を採用した。

一方で、加速度センサを用いた本装置単体での位置検出が困難であったため、簡便に膝位置を算出する手法として、本実装においては HMD が備えるハンドトラッキング機能を流用することとした。具体的には、Joy-Con を持った手を膝に置くことで HMD が手の位置を検出することができ、これを膝の位置と設定することにより指標とのズレ量の計算を行った。

このズレ量に応じた振動刺激を Joy-Con から出力することにより、脚運び確認の助けとなるよう設計した。

## 4. 考察

### 4.1 360 度映像とパススルー映像の切り替え

今回の実験に用いた HMD である Quest 3 は、ディスプレイ面に表示できる上下方向の視野角が 96 度とされている[5]。ヒトの太腿の長さや座高を基準にすると、注視する視線を膝の位置まで見下ろす角度は 60 度付近である。これより、20 度頭を下に傾けると概ね膝が Quest 3 の映像内に表示されるようになり、さらに頭を 30 度

まで傾けることでより表示映像の中央に膝が近づくため、後は視線を少し移動させることで容易に膝が確認できるようになる。文献[6]では頭の向きが下に向くほど、0 度の状態から 15 度で 2 倍、30 度で 3 倍の頭部の重みによる首への負荷が生じるとされており、この値を参考に 30 度で制限することが妥当であると考えた。

次に、360 度映像とパススルー映像の切り替えにおけるブレンディングの効果について考察する。上述のように本実装においては、映像の透過率を調整することで映像間の切り替えをゆるやかに行っているが、ある頭部の角度の段階にて 2 つの映像を即座に切り替える表現も候補であった。図 3 に、パススルー映像に完全に切り替えた視界に、指標のバーチャルオブジェクトを重畳した映像を示す。この方法で予備実験を行ったところ、パススルー映像に完全に切り替えた状態では 360 度映像で示される進行方向を認識しづらいことが判明した。そこで図 4 に示すように、360 度映像とパススルー映像をブレンディングして表示することにより、360 度映像に示される進行方向が認識しやすくなり、体験者は進行方向に対する脚運びをより適切に行いやすくなることが分かった。



図 3: パススルー映像のみの映像



図 4: 進行方向が透過表示された映像

### 4.2 歩行の指標とのズレ量に応じた振動提示

図 5 に示すように、体験者は Joy-Con を握った手を両膝に置き、足踏み動作をするが、歩行中に理想の脚運びから逸脱することで振動刺激が提示される。

今回の実装における振動は、指標オブジェクトと膝との距離に応じて強さが変化するように設計した。指標であ

る直方体と膝との最短距離を測り、一定量離れた時点から振動を開始し、距離が大きくなるほど振動を強くした。この強弱によって体験者に適切な脚運びからの逸脱を認知させる。

映像の切り替えという視覚的な情報に加えて、逸脱を振動の大きさによって示すことにより、視力の衰えた高齢者にも直観的に伝わりやすい情報提示ができると考える。



図 5:Joy-Con の装着イメージ

## 5. まとめ

本研究では、高齢者の歩行訓練を目的に、座位での利用を前提とした VR 歩行リハビリテーションアプリを提案した。初期実装を通じて映像表現や、振動の提示方法について検討して考察した。

本アプリケーションは、歩行が困難となった高齢者が、指導者の補助を受けながら歩行のリハビリテーションを

行うことを想定して作成したものであり、360 度映像により撮影された空間を採用することで、自然と感じる空間を再現した。また、指標となるヒトの脛の形に合わせた直方体を用意し、脚運びを視覚的かつ触覚的に提示する仕組みを設計した。

今後は、本研究で実装したアプリを高齢者の歩行訓練に実際に利用してもらい、提案手法の効果について検証を進めたい。また、各設計項目の妥当性についての実験を行い、アプリの改善を進めたい。

## 参考文献

- [1] 西山ら: 身体がない仮想現実環境において歩行と視点移動の同期が臨場感を伴う, 日本感性工学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 243-248, 2021.
- [2] 宇野病院: 部分負荷トレッドミル歩行訓練, <https://www.uno.or.jp/2022/04/01/treadmill/>.
- [3] 小川ら: 体幹伸展機能を付加した BWSTT (Body Weight Support Treadmill Training)用ハーネスの開発, Vol. 29, No. 4, 2013.
- [4] 石原ら: Virtual-ISU: 座位姿勢での疑似歩行運動による歩行感覚提示インタフェース, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016, pp. 867-871, 2016.
- [5] Meta Quest 3: <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>.
- [6] KK Hansraj: Assessment of Stresses in the Cervical Spine Caused by Posture and Position of the Head, Surg Technol Int., 25:277-9, 2014.