

VR とモバイルモーションキャプチャーを用いた 膝伸ばし運動訓練支援システム

Leg Extension Exercise Training Support System using VR and Mobile Motion Capture Approach

杉本 拓真^{*1}, 岡本 勝^{*1}, 松原 行宏^{*1}, 毛利 考佑^{*1}

Takuma SUGIMOTO^{*1}, Masaru OKAMOTO^{*1}, Yukihiro MATSUBARA^{*1}, Kousuke MOURI^{*1}

^{*1}広島市立大学大学院 情報科学研究科

^{*1}Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

Email: mj67004@e.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし：本稿では VR 空間内での膝伸ばし運動訓練を支援するシステムを提案する。本システムでは、モバイルモーションキャプチャーから推定された姿勢情報をもとに、膝伸ばし動作に対して VR 空間内での高さおよび速さによるフィードバックをリアルタイムで生成しユーザーに提示する。評価実験を通じて、足に負荷をかけた学生が本システムを問題なく使用できることを確認した。

キーワード：VR, モバイルモーションキャプチャー, 運動訓練支援, レジスタンス運動

1. はじめに

厚生労働省「2022 (令和 4) 年国民生活基礎調査の概要」の第 13 表によると、要支援者(要介護状態になるおそれがある者)の介護が必要となった主な原因の上位は、関節疾患 (19.3 %)、高齢による衰弱 (17.4 %)、骨折・転倒 (16.1 %) と、筋骨格系疾患が全体の多くを占めている⁽¹⁾。特に加齢による筋肉量の減少と筋力の低下は、歩く、立つといった基本動作能力の低下や歩行困難を引き起こす。予防および改善には定期的な強い活動が必要であり、レジスタンス運動と呼ばれる、標的となる筋肉に抵抗する動作を繰り返し行う運動が推奨されている⁽²⁾。

本研究では、歩行能力が低下している人に焦点を当て、抗重力筋である大腿四頭筋を標的とし、座位で行えるレジスタンス運動としてレッグエクステンション(膝伸ばし運動)を採用する。1人での運動訓練における最も大きな問題は、訓練者自身で動きの正誤を判断しづらいことである。そのため、VR とモバイルモーションキャプチャーを用い、訓練者が自身の動きをリアルタイムで正確に確認できるシステムを構築し、効果を考察する。

2. 提案システム

2.1 入出カインターフェース

動作の入力には加速度や角速度をセンサーで検知することでユーザーの位置・姿勢を推定できる mocopi を用いた。mocopi は頭、手足、腰の 6 か所に小型のセンサーデバイスを取り付けることで、フルボディートラッキングが可能なモバイルモーションキャプチャーである。小型・軽量であり、過度なストレスや負荷がかからない設計となっている。また、カメラや専用スーツが不要であるため、スペースやコストを抑えることが可能である。実際に mocopi を装着し、実空間で取った動きをアバターがアプリ上です

る様子を図 1 に示す。本システムでは下肢の運動を採用したため、図 2 のように下肢にトラッキング部を増やすことで遅い動きなどに、より高い精度が期待できる下半身優先モード(頭、腰、膝、足首へのセンサーデバイスの装着)で mocopi を使用した。

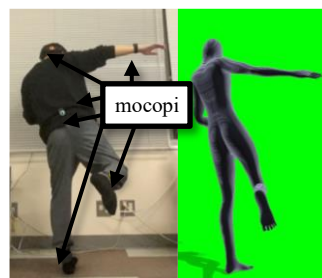


図 1 実世界での動きに対するアバターの様子

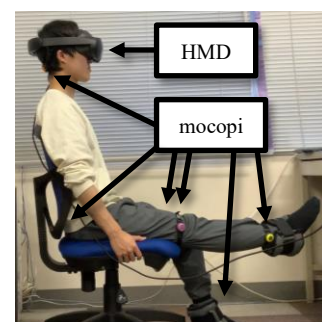


図 2 システムの入出カインターフェース

mocopi で取得したモーションデータは Bluetooth を介して mocopi スマートフォンアプリへ送信される。次に mocopi アプリから Unity へは高速通信を重視した通信プロトコルである UDP 通信によりモーションデータが送信され、Unity 内のアバターの動きに反映される。PC とヘッドマウントディスプレイ(HMD)は有線接続され、HMD のディスプレイ上に Unity で作成した本システムが出力される。HMD

には Meta Quest Pro を用いた。

2.2 運動訓練支援

図3にシステムの仮想環境と発射装置を拡大した図を示す。ユーザは、仮想環境内で正面に現れる発射装置から発射されるボールに足先を合わせるイメージで膝伸ばし運動を行う。ボールは物理演算がされており、発射装置からの出現と同時に方向ベクトルとターゲットを与えることで発射している。アバターの座標を逐一取得して発射しているため、仮想環境内での運動位置のずれに対応している。また、ボールの発射角度、発射スピード、左右の発射位置、実時間による発射時間間隔などは、ユーザごとに指定可能である。

仮想環境上のアバターの足と発射装置、ボールの色は対応しており（右足：赤、左足：青）、脚上げを促す発射装置には上矢印、脚下げを促す発射装置には下矢印を表記した。正しく膝伸ばし運動ができている場合、足先にボールが当たり跳ね返るため、ユーザは自ら膝伸ばし運動の完成度を確認できる。

さらに、脚上げ時には Unity 座標系におけるアバターの膝の y 座標と足先の y 座標の差、脚下げ時は両足間の足先の y 座標の差に基づいた、一動作ごとの詳細な高さのフィードバックがリアルタイムにディスプレイ上に表示される。また、反動による動作で運動効果が低下しないよう、脚の動きが速い場合には注意表示を行う速さのフィードバックや、左右それぞれで正しく脚が上げられた回数の表示も行う。

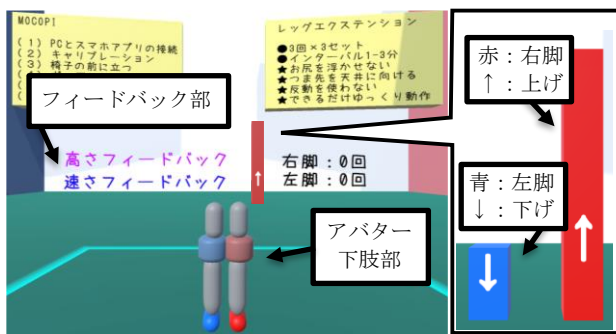


図3 仮想環境と発射装置の拡大図

3. 検証実験

検証実験は学生3名を対象に行った。被験者には左右の足首に2kgのアンカーウェイトを装着し、脚に負荷をかけることで、歩行能力が低下している人の状況を模擬することを目的とした。各被験者は左右それぞれ5回ずつの膝伸ばし動作を行い、その各フィードバック値（右脚上げ、右脚下げ、左脚上げ、左脚下げ）の誤差平均の推移を図4に示す。結果、目標位置との誤差は概ね15cm以下であり、足に負荷をかけた状態でも本システムを用いた運動が可能であることが確認された。また、比較的大きな誤差があった被験者も、試行回数を重ねるごとに高さフィードバック値が改善する傾向が見られ、フィー

ドバックが正確な運動動作に寄与していることが示唆された。

さらに、学生4名に対しシステムの使用前後での楽に上げられる脚の高さを測定し、飯田らの研究⁽³⁾を参考に10m歩行テストを実施して、歩行速度及び歩幅を計測した。脚上げ高さの結果を図5に示す。短期間の使用であったこともあり、大きな歩行速度や歩幅の向上は確認できなかったが、脚を楽に上げられる高さは向上が見られた。

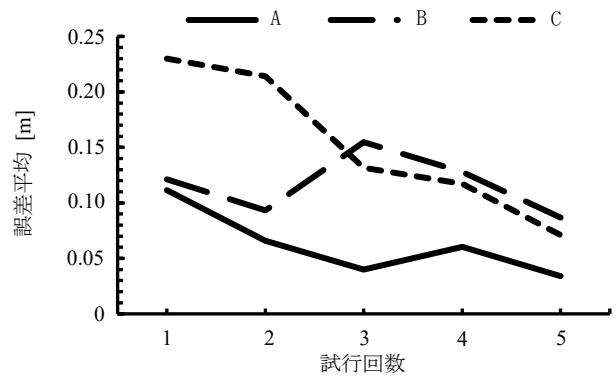


図4 高さフィードバックの誤差平均の推移

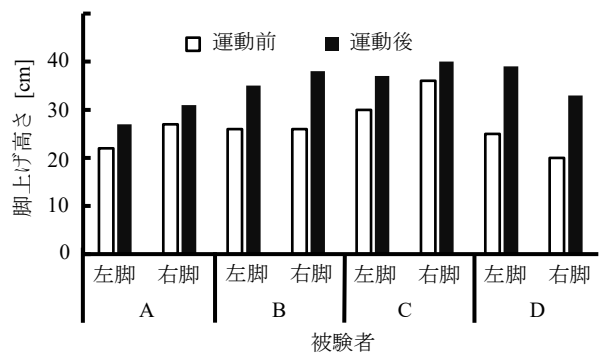


図5 運動前後での脚上げ高さ結果

4. まとめと今後の課題

本稿ではフィードバックで正誤が判断できる膝伸ばし運動訓練支援システムを提案した。本システムを用いた運動が可能であることが確認でき、リハビリや筋力トレーニングにも適用可能であることが期待される。今後の課題として運動種の拡張や長期使用による効果を検証する継続実験などが挙げられる。

参考文献

- (1) 2022(令和4)年国民生活基礎調査の概況, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/dl/14.pdf> (24/5/28)
- (2) 杏澤智子：“サルコペニアとフレイル”，日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌，第29巻，第3号，pp.359-364 (2021)
- (3) 飯田修平，青木主税：“10 m 歩行テストの信頼性[第一報] — 最速歩行と通常歩行の計測順序の違いによる影響—”，理学療法科学，第32巻，第1号，pp.81-84 (2017)