

VRによる視覚刺激が踏み込み動作に及ぼす影響

職業能力開発総合大学校 ○増井 丈了, 新家 寿健, ◎池田 知純, 垣本 映

要旨

日常生活動作を維持し健康寿命を延伸するためには、自立歩行に必要な下肢筋群の機能維持・向上が不可欠である。身体所有感是自己身体モデルの生成、運動主体感は運動能力向上の改善に寄与するとされている。本研究では、クロスモーダル現象を利用した下肢機能訓練システムの構築を目指している。本報告では、VRによる視覚刺激が踏み込み動作に及ぼす影響について述べる。

1. はじめに

令和2年度高齢化社会白書¹⁾によると、平成30年の平均寿命は男性81.25歳、女性87.32歳となり、今後平均寿命は延びていくことが予想されている。一方で、心身ともに自立し、健康的に生活できる健康寿命と平均寿命との差は縮まっていない。

健康寿命延伸への取り組みとして、ロコモティブシンドロームの予防啓発活動が実施されている²⁾。ロコモティブシンドローム(ロコモ)とは、「運動器の障害によって、移動機能の低下をきたした状態」のことであり、2007年に日本整形外科学会が提唱した概念である。ロコモは高齢者だけの問題ではなく、予防を含め全世代で取り組むべき課題となっており、その予防としてロコモーショントレーニング(ロコトレ)が推奨されている。ロコトレを継続的に行う上で、目標設定しやすく、楽しく、効果を実感できることが重要とされている。

近年、ゲーム感覚を取り入れながら効果の高い訓練を提供する技術として仮想現実技術(VR技術)が注目されている。VR技術の利点には、運動機能の向上にかかわる身体所有感と運動主体感を人工的に創り出せること、バーチャル空間における感覚間相互作用を利用して疑似的な感覚をユーザに提示できることなどがある^{3,4)}。このようなメリットを活かした取り組みが、リハビリテーションやスポーツ分野などで実践されている⁵⁾。

本研究の最終目標は、VR技術を用いてロコトレに活用する下肢機能訓練システムを構築することである。本報告では、足関節に着目し、VRによる視覚刺激が踏み込み動作に及ぼす影響について検討した結果を述べる。

2. システム構成

図1に本研究で提案する下肢機能訓練システムのイメージ図を示す。訓練システムは、教示動作と疑似感覚を提示する感覚提示モジュールと身体運動情報を取得する運動計測用モジュールで構成する。感覚提示モジュールは、VR空間に主観的視点の教示動作を提示するHead Mount Display(HMD)、聴覚刺激を提示するスピーカー、触覚刺激を提示する触覚インタフェースからなる。運動計測用モジュールは、主として動作計測センサからなり、運動中の身体挙動を計測する。教示動作は運動計測用モジュールの情報から生成可能である。

本研究では、HMDとしてOculus Riftを使用し、VR空間や物体3DモデルはゲームエンジンUnityで構築する。Oculus Riftは、ヘッドセットの位置をOculusセンサが認識し、現実での視点移動をVR空間内に反映させることが可能である。Unityは、クロスプラットフォームに対応し、プログラミングがしやすく、C#による高度なプログラミングが可能であるなどの特徴がある。動作計測センサには、気圧温湿度複合9軸センサ(9軸センサ:BNO055、気圧温湿度センサ:BME280)を使用する。センサに搭載されたマイコンにより、加速度・角速度のデータからクォータニオンやオイ

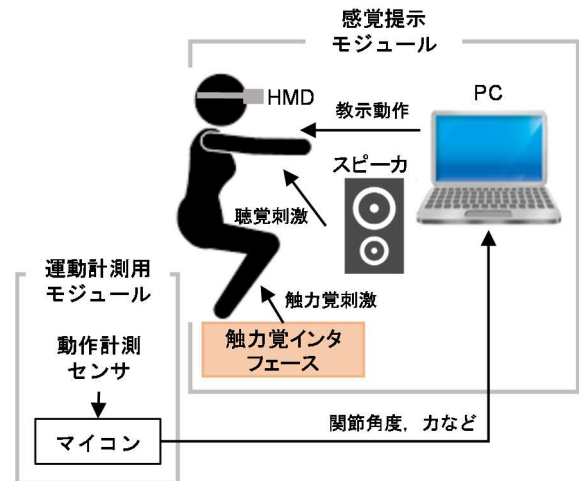
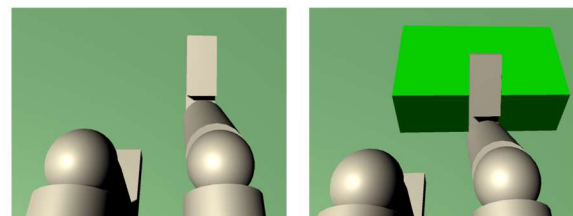


図1 下肢機能訓練システムのイメージ図



踏み込みオブジェクト無し 踏み込みオブジェクト有り

図2 下肢3Dモデル

ラー角が計算され、容易に姿勢状態を取得できる。動作データは、Arduino Nanoと通じてUnityに取り込む。

利用者は教示動作を観察し、HMDの視覚情報のみならず、聴覚情報や触覚情報を頼りに運動学習を行う。

3. 実験方法

被験者は本学の健常男性3名とした。踏み込み動作は、椅子座位かつ足を着床しない状態で右足関節のみを底屈する動作とした。動作計測センサを下腿前面と足背面に取り付け、底屈-背屈角度を計測した。HMDには、図2に示す踏み込みオブジェクトの有無による動作を提示した。VR空間は、視覚情報を少なくし動作観察に影響がないよう床と壁は無機質なものとし、下肢モデルは、膝・足関節を球、大腿・下腿を円筒、足部を直方体とする簡略化したものとした。踏み込みオブジェクトの高さ $H(t)$ は、式(1)を使って足関節角度 $\theta(t)$ に応じて伸縮させた。ここで、 $H(t)$ は0~1の間で変化する、0が最大、1が最小となる。

$$H(t) = 0.0094 \times \theta(t) \quad (1)$$

実験は以下の手順で行った。

1. 実験開始前には、一人称視点での下肢モデルを提示し、VR空間上の動きに違和感がないよう、提示される映像内の右足と左足の間に視点位置を調整する。
2. 被験者の身体に動作計測センサを取り付け、自身の動きに同期してVR空間上の下肢モデルが動くことを確認させる。このとき、被験者の可動域を計測する。
3. 動作1を最大底屈角度30°、動作時間2秒、動作2を最大底屈角度20°、動作時間1.5秒、両動作間の停止時間を0.5秒とする教示動作データを作成する。
4. 踏み込みオブジェクト無しの教示動作を繰り返し2分間提示し観察させる。
5. 教示動作をランダムに提示する。下肢モデルを見ながら、教示動作と同様の動作を行わせる。これを10回繰り返す。動作中の底屈-背屈角度をサンプリング周波数10Hzで計測する。
6. 踏み込みオブジェクト有りについても、手順4,5を行わせる。

被験者にVR空間上の下肢モデルが動くことを確認させた後、主観評価として、次の質問について回答させた。

- Q1. 提示した下肢モデルが自分のものだと感じたか（身体所有感が発生したか）
5段階評価 1：感じなかった～5：感じた
- Q2. 踏み込みオブジェクト有りの時、下肢モデルと踏み込みオブジェクトのどちらに注視していたか。
10点評価 合計を10とする
0：注視していない～10：注視している
- Q3. 踏み込みオブジェクトの有無により、どのような動作を行っている感覚であるか。自由回答

動作計測データより、中間位0°から最大底屈角度までの可動域を求め、踏み込みオブジェクトの有無による教示動作に対する実動作の底屈可動域に関する不一致度を評価した。不一致度 Ac は、教示動作の可動域 β 、実動作の可動域 α から、式(2)より算出した。 Ac は0に近いほど可動域が一致していることを意味する。

$$Ac = \frac{|\alpha - \beta|}{\beta} \quad (2)$$

4. 実験結果

主観評価の結果を表1に示す。身体所有感の発生に関してはいずれも4を超え、身体所有感を得ていた。踏み込みオブジェクト有りでは、被験者AとBは主に踏み込みオブジェクトに、被験者Cは主に下肢モデルを注視していた。「どのような動作を行っている感覚であるか」という質問では、踏み込みオブジェクト無しでは「足首の動作」、踏み込みオブジェクト有りでは「物を押す動作」という回答を得た。

底屈-背屈角度の時間的変化の一例を図3に示す。全被験者において、踏み込みオブジェクトの有無によらず2つの動作を行っていた。踏み込みオブジェクトの有無による不一致度を図4に示す。エラーバーは標準誤差を表す。踏み込みオブジェクト有りは、無しと比較して不一致度が小さかった。この点に関してt検定を行った結果、踏み込みオブジェクトの有無による不一致度には有意差が認められた($t(60)=5.70$, $p<0.05$)。

様々な研究より、視覚刺激により疑似的な触覚が得られることが報告されている⁴⁾。本実験においても、足で物体を押すという視覚刺激が、被験者に疑似的な物体を押す感覚を与え、結果として動作をコントロールできるようになったのではないかと考える。

表1 質問結果

質問項目		被験者		
		A	B	C
身体所有感は発生したか?		5	4	5
注視点	下肢モデル	0	3	6
	踏み込みオブジェクト	10	7	4

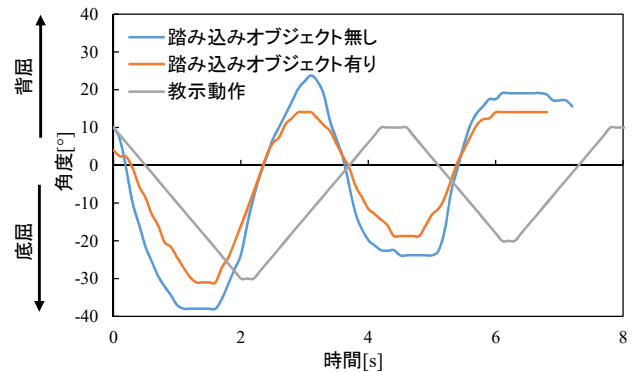


図3 底屈-背屈角度の時間的変化

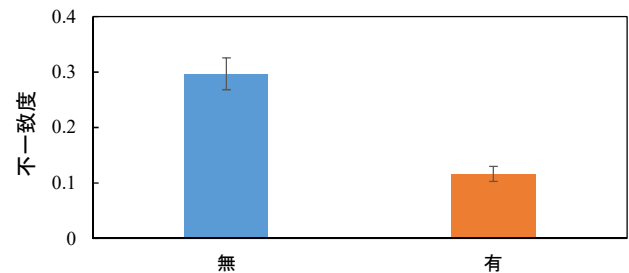


図4 踏み込みオブジェクトの有無による底屈可動域の不一致度

5. おわりに

本報告では、足関節に着目し、VRによる視覚刺激が踏み込み動作に及ぼす影響について検討した。踏み込みオブジェクトの提示の有無が動作の認識に影響を与えることを確認した。現実には動作の対象となる物体がなくても、視覚刺激によりその動作のみを的確に行えるため、ロコトレにおいて負担の少ないトレーニングとして使用できる可能性が示唆された。

今後の課題として、視覚刺激の変化が運動効果にどのように影響しているのかを筋電位を用いて計測することやクロスモーダル現象によりどのような効果が現れるかの検証が挙げられる。

参考文献

- 1) 令和2年版高齢社会白書
- 2) 公益社団法人 日本整形外科学会, ロコモパンフレット 2020年度版
- 3) 金子文成, パーチャルリアリティ技術を用いたアプローチによる中枢神経損傷後の感覚運動麻痺治療の開発, バイオメカニズム学会誌, 2019, 43巻, 1号, p.29-34
- 4) 盛川浩志, 飯野瞳, 金相賢, 河合隆史, シースルー型HMDを用いた微触感錯覚の提示と評価(<特集>クロスモーダル/マルチモーダル), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2013, 18巻, 2号, p.151-159
- 5) 佐野高也, 依田淳也, 中村壮亮, 橋本秀紀, VR技術を用いた身体位置感覚の較正によるパッチングトレーニングシステムに関する研究, 日本機械学会論文集, 2017, 83巻, 848号, p.16-00293