

上腕リハビリテーションのためのVR投球システムの試行

村上 遥^{†1} Vittorio Fiscale^{†2} Agata Marta Soccini^{†2} 稲邑 哲也^{†1}

概要：高齢者のリハビリテーションは、年齢の進行に伴う身体の衰えを防ぎ、運動能力を保持・向上させ、認知機能の向上や怪我・病気からの日常生活への復帰に寄与する大事なものである。しかし、ゴールや達成後の目的が見えづらいリハビリで高齢者はモチベーションが低下しやすく、それによりリハビリをしなくなったりリハビリの効果が下がるという課題がある。本研究ではリハビリにおいて、高齢者が自ら取り組みたいという主体性を上げられるようにすることを目指し、導入のしやすさという観点からVRで投球を行うシステムを考えた。製作したVR投球システムを用い、試験的にこのシステムの体感してもらい感想を聞く被験者実験を9名行ったところ、9名中8名が楽しいと回答したものの、現実との差分で没頭状態から現実に戻されるため、現実でのボール投げの方が現状では好ましいという傾向が示され、没入を妨げないための改善が重要であることが分かった。

1. 背景

1.1 高齢者リハビリテーションの重要性

高齢者のリハビリテーション（以下リハビリ）は、その生活の質を向上させるうえで極めて重要である。年齢が進むと、筋肉の衰えや関節の硬化など、身体の機能が低下しやすくなるが、リハビリを通じて適度な運動を行うことで、筋力や柔軟性を向上させ、日常生活において自立した動きが可能となる。怪我や疾病によって身体機能が低下した場合においても、適切なリハビリは損傷した部位の機能を回復させ、再び健康な状態に戻る手助けをする。また、リハビリは認知機能の向上にも寄与する。脳を刺激する運動や課題は、記憶力や認識力を促進し、認知機能の向上は高齢者が社会とのつながりを保ち、精神的な健康を保つのに寄与する。高齢者のリハビリはただ病気やケガからの回復だけでなく、その人がより良い生活を享受するための手段とも言える。

1.2 高齢者リハビリテーションの課題

高齢者は怪我やフレイルなどで一度機能が落ちると、若者のようにできる範囲で生活するだけでは機能を取り戻すことができず、更に体が弱くなって悪くなってしまいう傾向にあるためリハビリが必要だが、リハビリでゴールや達成後の目的が見えづらい場合にはモチベーションが保ちづらく[1]、リハビリのタスクをやった際にあまりに過去の自分よりも体が動かせないと自信を失って諦めてしまい、リハビリを続けなくなり、それがフレイルを招いてさらに体が動かなくなるという悪循環を生み出す。リハビリを続けていれば慣れや筋力増加によりある程度の機能回復は期待されるため、はじめに高齢患者の心を折れさせないことが重要である。つまり、リハビリの初期に何らかのサポートをすることで心を折れさせない工夫をする必要がある。

1.3 現状と本研究の目的

現状では高齢者や脳卒中患者等を対象とした様々な身体動作サポートロボットが提案されており、自力では体をう

まく動かせない高齢者等を対象として力やコントロール力、身体の保持力をサポートすることが目指されている[2][3]。ただし、そうしたロボットの使用は使用時に制御のためにこのシステムを理解した人物がいることが必要であり、機器を一台一台製作・生産する必要があるため導入ハードルが高く、患者が個人で自由に使うことができないという難点がある。

そこで、本研究では導入ハードルの低さと将来性からVRを用いた挫折を防ぐためのリハビリを考えた。VRは普及モデルであればトラッキングが含まれる物でも20万円前後と安価であり、アプリケーションをインストールしプレイ環境を用意すればすぐに利用が可能となるため、自宅利用も含めた自主利用に向いている。リハビリの一例として、物を保持する際に重要な筋肉を鍛えられ、足腰の弱った高齢者でも着座状態で一人でもできる上腕運動を考えた。上腕運動を考えた際、パラリンピックで幅広い人々のプレイに対応しているボッチャにユニバーサルティがあると考え、最終的にVRボッチャのゲームプレイから現実社会でボッチャをやり、互いに健康を保とうと張り合いが出るコミュニティにもつながることを期待し、まずはボールの投球動作を実装することにした。本稿では実装したVR投球体験に関し、被験者実験でその有用性を調査した。

2. 実装

2.1 設計思想

本研究ではリハビリの一例として上腕運動を選択し、タスクとしてボール投げを行うことにした。上肢運動は座ったままでもできるため他の部位の運動機能に比べると安全である。上腕運動のリハビリとしてただ腕を曲げ伸ばしするだけでは改善や成長が分かりづらいため、

- 1.スコアとして落とし込みやすい
- 2.ゲーム性があるため楽しみやすい
- 3.他者との関わりによるモチベーション維持がしやすい

^{†1} 玉川大学 脳科学研究所先端知能・ロボット研究センター

^{†2} Department of Computer Science University of Torino, Italy

*1 この図では上肢サポートロボットも用いている

という観点から、ポッチャを最終的に実装することを考えた。本稿ではその第一歩と、本質的にどういった実装をすると使用者が自主的にやりたいと思えるようになるのかを調査するためシンプルな VR 投球システムを作成し[4]、これに実装タスク面での修正を加えた。コンテンツとしてボール投げを用意し、タスクとして純粋なボール投げとボールを用いた的当ての二通りができるようにした。

2.2 実装方法

使用機材と実装環境

実装として、VR 機器は Vive Pro と周辺機器のトラッキングを行うための Vive トラッカー ver.2, Base station (いずれも HTC)を用い、ソフトウェア面での実装は Unity で行った(図 1)。ボール投げの動作をキャプチャするために、使用者には利き腕の手のひらと利き腕の肩にトラッカーを装着してもらう。この二点の動きを検知し、投球に利用する。

手とボールの実装

Vive トラッカーはちょうど平均的な成人の手の大きさに収まるサイズである。何かを手を持っていることでより没入感が高まることも考慮し、これを利用して手のひらにトラッカーを持ち、投げるというシステムにすることにした(図 2)。トラッカーと手は専用のバンドで離れないように固定した。VR 上の画面では現実との乖離がないようにあえてこのトラッカーを表示した。ボールは VR 上のみのバーチャル物体であり、これを押し出す形で投球を行う。VR の表示上はトラッカーや手はボールを包み込むような形をしているが、実際にはボールは板の上に張り付いているような実装をしており、以下の条件下でボールは手から離れる。

- 肩の垂直ベクトルと肩と手を結ぶベクトルの角度が 45° 以上である
- 前方角度が使用者の前進方向に向いている
- ハンドトラッカーの速度が 1.5m/s 以上である

実装タスク

ボールをできるだけ遠くに飛ばすことを目的とした投球タスクと先にターゲットがある的当てタスクを設定した。投球タスクでは 1 回 1 回の投球に関し、実験実施者が口頭で飛距離を伝える。的当てタスクでは的に当たると白い湯気が立つようなエフェクトとともに軽い音が鳴るといった報酬設計をしている。

サポートの実装

あまりボールを飛ばせない使用者の利用時を考え、システムによるサポートを実装した。このサポートの設計思想は的まで届かない分の飛距離や角度をサポートするというもので、サポート率を%表示する。

3. 試行と結果, 考察

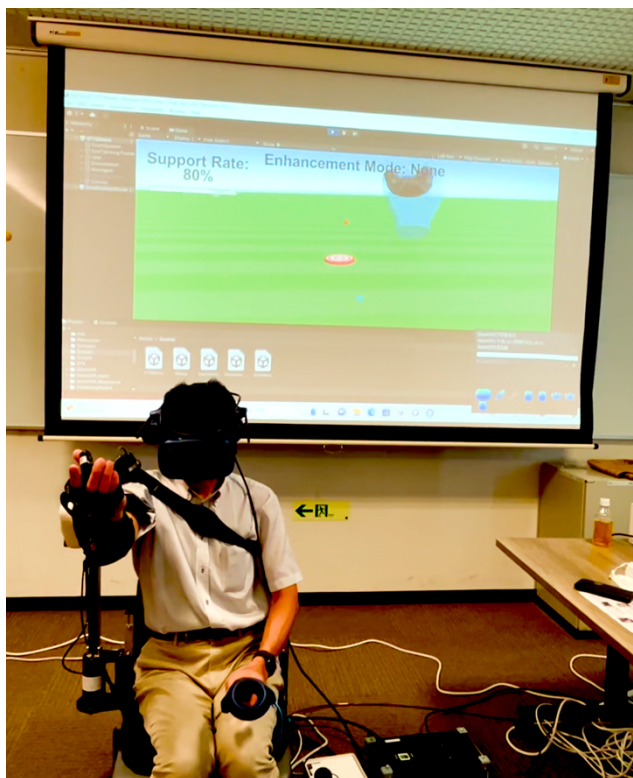


図 1 的当てタスクプレイの様子と実装画面*1



図 2 (左)トラッカーを握っている手 (右)使用者本人が見えている VR 映像

9名の被験者(平均22.44歳, 男性5, 女性4)にこのシステムを椅子に着座した状態で50球投げてプレイしてもらい、感想を聞いた。うち、3名は投球タスク, 残りの3名ずつがサポートありの的当てタスク, サポートなしの的当てタスクを体験した。サポートあり群に関して、本実験では事前調査で「この程度のサポートが良かった」という回答である70%のサポート率設定で20-40回目の投球にサポートを加えた。どの群にもサポートシステムの存在を実験前に伝え、人によってサポートがどこかであるかもしれないということを知ってもらった。

結果として、9人中8人以上である88.9%が今回の投球体験を楽しかったと回答した(図3)。その一方で、現実のボール投げの方が良いと回答される傾向にあり(図4)、そ

の理由として「現実と動作が違い、予測が立てづらい。実際のボールであれば指で持った感覚でどのあたりに飛ぶかが投げる前に予測できる(野球経験者)」、「距離感が分かりづらい」、「たまに意図しない場所で投げる前にボールが落ちることにより、現実に戻される」などの回答があった。サポートのあるなしが感想に与える違いは現状見られなかった。

また、筆者は目的が明確な当てに比べ、ただ飛距離を伸ばすように指示されるボール投げは飽きやすく没頭しづらいのではないかと仮説を立てていたが、ボール投げと的当ての間で楽しさや没頭に関する回答の違いは見られなかった。被験者には希望者に実験後も自由にボール投げ・的当てをやらせてもらったが、最大投球数はボール投げタスク群の被験者の約 340 回であり、これも事前の仮説を否定するものとなった。被験者のうち 4 名には「50 回の投球をすると聞いた時の最初の印象とやりおわった印象を教えてください」という質問を行い、4 名全員が「説明を聞いた時には多いと思ったが、投げてみたらあつという間だった」と回答した。このことから、VR での投球各タスクは繰り返しの上腕運動のハードルを下げるものであることが分かった。

プレイに関して楽しんでいましたか。

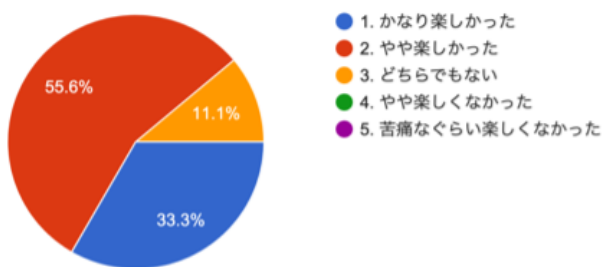


図 3 プレイの楽しさ

今回と同じことを現実のボール投げで行うのと、今回のようにVRで行うのとどちらが良いですか。

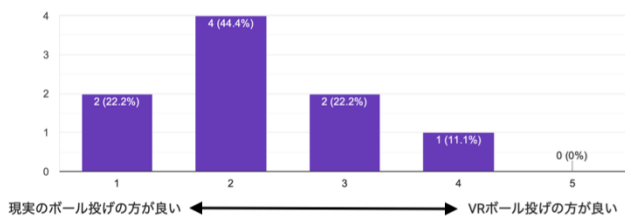


図 4 現実と VR のボール投げのどちらが好みか

引き戻されてしまうため、現状の実装では現実でのボール投球動作の方が好まれることが分かり、実装の改善の必要性が示唆された。本研究では視線計測、動作計測を行い、主体性に関わる点を尋ねるアンケートを含む被験者実験を実施中である。今後は被験者数を増やし、各種分析を進め、どのようなパラメータ調整により使用者の主体性ややる気を高めることができるのかを検証予定である。

謝辞 本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】グラント番号【JPMJMS2034】および JSPS 科研費 JP21H03489 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] 杉田千秋, 高島理沙, 坂上真理, 村田和香. 在宅復帰困難な介護老人保健施設入所者が生活する中で抱く思い. 作業療法の実践と科学 1 (2) : 32-39, 2019
- [2] Tommaso Proietti, Vincent Crocher, Agnes Roby-Brami, Nathanael Jarrasse. Upper-limb robotic exoskeletons for neurorehabilitation: a review on control strategies. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2016, PP (99), pp.1.
- [3] Kenta Suzuki, Gouji Mito, Hiroaki Kawamoto, Yasuhisa Hasegawa & Yoshiyuki Sankai (2007) Intention-based walking support for paraplegia patients with Robot Suit HAL, Advanced Robotics, 21:12, 1441-1469
- [4] Vittorio Fiscale, Tetsunari Inamura, Agata Marta Soccini. Enhancing Training and Learning in Virtual Reality: The Influence of Alien Motion on Sense of Embodiment. HAI '23, Proceedings of the 11th International Conference on Human-Agent Interaction, December 2023, pp. 412-414

4. まとめと今後の課題

本稿では VR 投球システムを使った上腕運動体験において、実験開始直後で見えた課題について紹介した。VR での体験を使用者は楽しんではいるものの、不意な意図しない挙動や現実との違いによって没頭状態からしばしば現実に