

パーキンソン病のための仮想現実空間におけるリハビリテーション

Rehabilitation in Virtual Reality Space for Parkinson's Disease

林 航汰[†]
Kota Hayashi藤村誠[†]
Makoto Fujimura東 登志夫[†]
Toshio Higashi

1. はじめに

パーキンソン病 (以後, PD と称する) では, 動作が遅くなり, 全身の動きが少なくなる無動 (動作緩慢) が症状として現れる. 以前より, この症状の改善のためには動作の外的手がかりとなる視覚的情報または聴覚的情報を患者に提示するリハビリテーション (以後, リハビリと称する) が行われている[1]. 従来, 外的手がかりを用いたリハビリは, 殆ど歩行を対象としていた. しかし, 手指の上記の症状についても, 同様に外的手がかりを用いたリハビリが有効であると考えられる.

一方, ハンドトラッキングを含むバーチャルリアリティ (以後, VR と称する) では, ユーザの実際の手指の動作を VR 空間中で再現する際に, 視覚的および聴覚的な情報付与が容易であり, リハビリに適用することでより効果的な療法の実現が期待できる. また, エンタテインメント性の付加も容易であり, リハビリの単調さを改善する効果も期待できる.

本研究では, PD における手指の無動や動作緩慢の症状に対する VR による外的手がかりによるリハビリについて検討する. すなわち, VR 空間において, 音楽に合わせて近づいてくるターゲットを指でタッピングするというリズムゲーム形式のフィンガータッピングリハビリテーションシステムを提案する.

2. 提案手法

2.1 提案システムの概要

図 1 に VR リハビリシステムの概要図を示す. PD 患者はハンドトラッキング機能があるヘッドマウントディスプレイ (以後, HMD と称する) を装着し, 医療関係者が HMD に接続されたパーソナルコンピュータ (以後, PC と称する) から, リハビリシステムの操作を行う.

PD 患者の無動および動作緩慢という症状に対して視覚的または聴覚的な動作開始のきっかけである外的手がかりを提供することで動作を促進する. そこで, リズムゲーム形式のフィンガータッピングによるリハビリシステムを検討する. リズムゲーム形式を採用した理由は, ターゲットが近づいてくることで視覚的な手がかりを, 同時に音楽による聴覚的な手がかりをそれぞれ提示するためである. また, ゲーム形式にすることでエンタテインメント性が向上し, 患者のリハビリの実施意欲の継続が期待できる.

リハビリの内容は, 図 1 に示すように VR 空間において音楽に合わせて近づいてくるターゲットを指で触ることで, そのターゲットはクリアされ消滅するというものである. ターゲットは 5 本の指に対応しており, 音楽の提示と同時に 5 つの軌道上を上方から下方に向かい移動してくる. タ

ーゲットの移動状況および音楽を提示することで手がかりの提示とする.

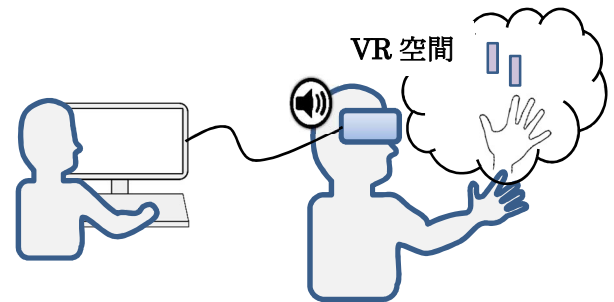


図 1 提案システム概要

2.2 フィンガータッピングによるリハビリテーション

図 2 は, VR 空間においてフィンガータッピングを行う画面である. それぞれの指に対応したターゲットが, 音楽に合わせて, 指の位置まで近づいてきた時, 指でターゲットに触れるとターゲットは消滅する. また, 目印となるボタンが配置されており, 患者はそれぞれの指を対応するボタンの位置に置いて待機する.

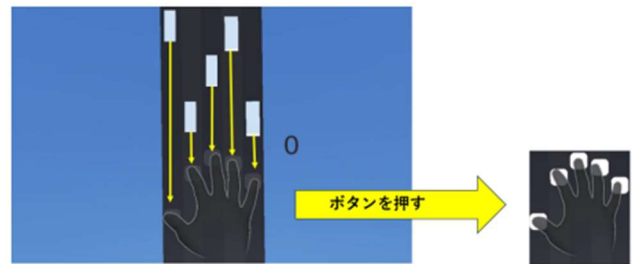


図 2 VR 空間でのフィンガータッピング

2.3 Meta Quest2 のハンドトラッキング

本研究では HMD として Meta Quest2 を用いる. Meta Quest2 は, 装着者に VR 空間をステレオ映像として提示すると同時に, 光学式マーカレスのハンドトラッキングシステムにより VR 空間におけるフリーハンドでの活動を可能とする.

ただし, 文献[2]では Meta Quest2 のハンドトラッキングの誤差については, 指先位置の平均誤差 1.1cm, 平均時間遅延は 38.0ms と報告されており, VR 空間におけるフィンガータッピングでは誤差の影響を考慮する必要がある.

† 長崎大学 Nagasaki University

2.4 VR 空間フィンガータッピングにおける課題

VR 空間において、患者は自由に手指を動かすことができる。このため、ターゲットを指で触れる場合に、上腕を動かして、想定している位置以外でターゲットに触れることが可能である。しかし、リハビリの内容を考慮すると、指を使ってターゲットに触れる必要がある。したがって、VR 空間中の特定の位置に手指を固定する必要があるが、実空間において物理的に患者の手を固定することは現実的ではない。そこで、VR 空間中に指先の接触に反応する仮想的なボタンを配置する。

図 3(a)に VR 空間でのボタンの配置を示す。これらのボタンの位置は指でターゲットに触れる領域を示しており、指で触るとボタンは点灯する。ターゲットは図 3(b)のように、それぞれの指に対応した矢印を軌道として上方から下方に向かって移動する。ターゲットが、このボタンの位置に来た時に、指をボタンに触れるとターゲットに落ちて消滅する。また、ボタンに触れるタイミングがわかりやすいように、白色のターゲットがボタン位置に到着する直前に赤色に変化させる。加えて、ハンドトラッキングの時間遅延を考慮し、直方体状の細長い形状とする。それぞれの指のターゲットは 1 個ずつ等速度で移動し、右から左、左から右、ランダムな 3 パターンである。

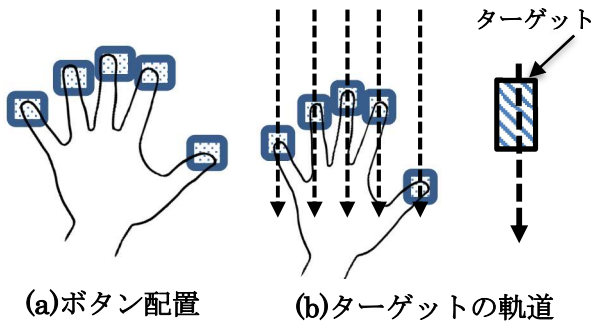


図 3 VR 空間でのボタンとターゲット移動

図 4 に指先とターゲットの衝突判定の方法を示す。図 4(a)は指先の衝突判定領域を表している。成人男女の指を開いた場合の指先間距離を 1cm 以上と想定した場合、ハンドトラッキングによる指先位置の誤差が約 1cm であっても隣り合う指の間で誤判定を抑えるため、衝突判定領域は指先内に収まる大きさとした。加えて、各指対応のボタンを指を開いた位置とする。また、ターゲットに対応する指の情報を付加し、対応以外の指でターゲットを触っても衝突判定は行われない。

図 4(b)はターゲット、ボタンおよび指先の衝突判定領域を示している。ボタンは指先と衝突すると発光する 3DCG オブジェクトであり、点線で表された衝突判定領域は不可視である。指先の衝突判定領域がボタンの衝突判定領域と接触したときに、衝突と判定される。

3. VR リハビリシステムの実装

PD 患者のための VR リハビリシステムを試作した。ハードウェアは Meta Quest2 およびシステム開発と操作のための PC (CPU AMD Ryzen 7 5800X 8-Core Processor, 主記憶 16.2GB, GPU NVIDIA GeForce RTX 3070 Ti) である。ソフトウェアは Windows10 および Unity2021.3.6f1 であり、ハ

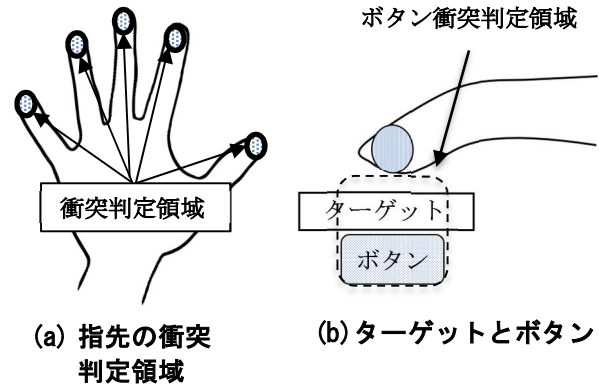


図 4 VR 空間での指とターゲットの衝突判定

ンドトラッキングが利用可能な SDK である Oculus Integration を用いている。なお、図 1 は試作システム実行時の VR 空間を示している。

筆者らが、試作システムの動作確認を行った結果、ボタンの衝突判定領域とターゲット位置を調整することが必要であることが分かった。図 5 左図のようにボタンの衝突判定領域がターゲットより上方にある場合、PD 患者がボタンに触れたと認識しても、ターゲットとは衝突していない。また、図 5 右図のようにボタンの衝突判定領域がターゲットより下方にある場合、ターゲットが消滅してもボタン発光がないことがあった。このため、ボタンの衝突判定領域とボタンとの位置を調整する必要があった。

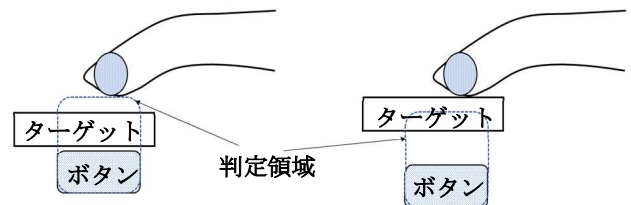


図 5 ターゲットとボタンの配置

4. おわりに

本稿では、パーキンソン病 (PD) 患者のための VR 空間におけるフィンガータッピングリハビリシステムについて検討、試作した。試作システムでは、VR 空間内でハンドトラッキングによる指先とターゲットとの衝突判定法の実装などを行った。今後の課題は、エンターテインメント性の付加、医療現場での評価などである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 基盤研究 (C) 23K10428 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 渡邊修, 安保雅博, 菊池吉晃, 妹尾淳史, 来間弘展, 宮野佐年 and 米本恭三, 2004. 手指対立運動に関するペーシング音の影響—機能的 MRI による前補足運動野および補足運動野の賦活について—. リハビリテーション医学, 41(7), pp.472-478.

[2] Abdulkarim, D., Di Luca, M., Aves, P., Yeo, S.H., Miall, R.C., Holland, P. and Galea, J.M., 2022. A Methodological Framework to Assess the Accuracy of Virtual Reality Hand-Tracking Systems: A case study with the Oculus Quest 2. bioRxiv