



音楽ゲームフィクションとARを用いて 長期継続利用を促進する手指運動訓練システム

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 情報科学領域

助教 藤本 雄一郎

手指を十分に扱えることは日常生活で重要だが、加齢による筋力の衰えや、脳卒中等による機能低下等により、そのための困難な人も多い。手指の機能回復や機能低下の抑制には継続的なリハビリテーション（以下、リハビリ）が必要だが、従来のリハビリには、(1)実施状況確認のため、作業療法士等の助力が必要、(2)リハビリが単調であり、モチベーション持続が困難という二つの問題が存在し、その長期継続を阻害していた。これらに対し、本研究では、音楽演奏のゲーミフィケーションを取り入れた手指運動訓練システムを提案する。(1)に対しては、PETS (Pressing Evaluation Training System) という各指の力を計測できるシステム(図1)を用い、指運動の適切性を自動評価することでこれを行う(これは、以前の共同研究にて、共同研究機関であるNational Cheng Kung Universityにより開発)。(2)に対しては、音楽ゲームフィクションを取り入れることで解決を図った。具体的には、楽曲にあわせて、各指に対応したレーンに、ノートと呼ばれる知能が上から下へと流れてくる。ユーザは楽曲にあわせて、タイミングよく、各指のPETSのスイッチを押すことで、正しい楽曲が演奏される(音楽ゲームといわれるゲームジャンルを模倣)。このノートの配置を変化させることで、手指のリハビリで重要な各指の「独立性」、「協調性」、「俊敏性」、「力の正確性」などが訓練できるような設計となっている。さらに、YAMAHA等のオンラインストアから購入したユーザの好きな楽曲を基に、手指の状態に合わせた、対象者固有の訓練を生成できるようにした。また、同楽曲内でも、「力の閾値」、「楽曲のテンポ」、「指の選択」、「演奏感覚」、「演奏する楽器パート」などの多様なパラメータを調整できるようにしており、同じ楽曲内でも、長く、楽しみながらトレーニングできるような設計を行っている。



図1：据え置き型PETS

さらに、研究を進める中で得られた知見に基づき、上記に加え、今回、下記の三つの事柄を実行した。

- (A) 拡張現実感機能の実装とその評価
- (B) ポータブルPETSの開発
- (C) ポータブルPETSによる擬似AR機能の実装と評価

(A) 拡張現実感機能の実装とその評価

提案した音楽ゲームフィクションを取り入れた手指運動訓練システムを作業療法士に体験いただき、フィードバックを得たところ、最も優しい難易度の手指の動作でも、初学者には困難であるとの指摘をいただいた。これは、訓練内容が表示されるデスクトップモニタと、指を動作させるPETSの位置が乖離しているため、音楽に合わせて表示されるノートと指との対応関係の直感的理解が困難であることに起因することがわかった。この解決のため、拡張現実感技術(以下、AR)を導入した。具体的にはユーザに頭部装着型ディスプレイ(ヘッドマウントディスプレイ、以下HMD)を装着させ、PETSに置かれた指に対応付けて、音楽ノートを表示させることで、上記の対応関係の理解が容易になると予想した(図2)。この仮説と提案システムの有効性を確かめるため、通常のデスクトップモニタによる表示と、ARを用いた表示で、音楽リハビリゲームを行う比較実験を大学院生10名にて行った。その結果、AR使用時の方がミスタッチの回数が少なく、また、最適なタイミングと実際にボタンが押されたタイミングのずれが小さいことが明らかとなった。また、被験者から、「知っている曲と知らない曲では楽しさが全く異なった。」という意見が多く得られた。これは、提案システムのポイントの一つである、ユーザの好きな楽曲で訓練できることの有効性を示唆



図2：拡張現実感を利用した音楽演奏リハビリテーション

する結果であると考えている。なお、これらの結果をまとめ、国際会議発表を行っている[1]。

(B) ポータブルPETSの開発

ここまでのシステムは図1の据え置き型のPETSとHMDを使用しており、主に病院等での使用を想定していた。一方、日常的なリハビリテーションを考えると、各患者の自宅で行えることが望ましいケースがある。そこで、我々は、この据え置き型PETSに代わるデバイスとして、持ち運びが容易で、軽量のポータブルPETS(図3)を開発した。このポータブルPETSは、4本の指に対応した、四つの独立したトリガーを有しており、それぞれ内部にはねと圧力センサが組み込まれている。そのため、従来のPETSと同様、各指が押した力を個別に計測可能である。またこのデバイスは、Arduinoに接続されており、計測したデータをPCやタブレット等に送信できる。さらに、図3のように内部のばねは簡単に取り外し可能であるため、強度が異なるばねに変えることで、各指の状態を考慮して、適切な負荷をかけることができる。これは据え置き型PETSにはなかった機能であり、先の実験で多くの参加者が要望としてコメントしていたことから組み込んだ。この作成したデバイスに対し、在宅用のリハビリに適しているか否かを確認するため、作業療法士、理学療法士の方々に体験していただき、概して、肯定的なコメントをいただいている。また、本デバイスの社会実装に向け、Hack Osakaのテックミーティングなどにて出展を行った[2]。

(C)ポータブルPETSによる擬似AR機能の実装とその評価

(A)のHMD使用時に被験者から得られた否定的な意見として、HMDを装着すると、頭が痛くなる、視野が狭くなるなどがあった。さらに、最終的なユーザが高齢者や脳卒中患者であることを考えると、HMDが使用できる状況はさらに限定される。そのため、ポータブルPETSとともに使用するディスプレイは、より一般的なタブレット端末を想定した。そこで、再度生じる訓練コンテンツと手指の対応付けの問題を解決のため、今度は、バーチャルハンドイリュージョンを利用することとした。これは、人の手の動作を反映して動く仮想の手をディスプレイなどに表示させ

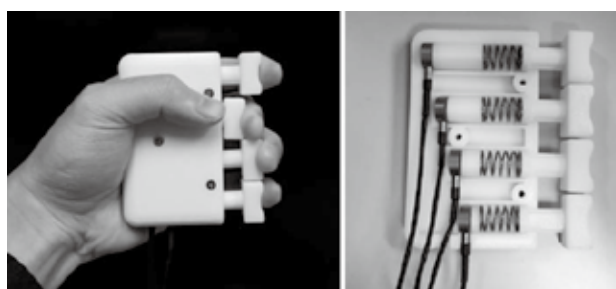


図3：ポータブルPETS

ることで、その仮想手に対して、身体所有感を誘発させる現象である(ラバーハンド錯覚の仮想手版であるといえる)。ポータブルPETSにより各指のおよその形状は常に計測できるため、この情報を用いて、関節角度を制御可能な3Dモデルの手をタブレット端末にリアルタイムで表示させる。タブレット端末上のこの手の表示位置と、訓練コンテンツの位置を可能な限り近づけることで、ユーザが仮想手を自身の手だと錯覚し、拡張現実感利用時と同等の対応関係理解促進効果が得られると予想した(図4)。

このバーチャルハンドイリュージョンの提案システムにおける効果と、ポータブルPETS自体のユーザビリティを確かめるために被験者実験を行った。実験条件として、手の動きを表示しない条件と、手の動きを表示した条件、さらに手の動きだけでなく、ポータブルPETSの3Dモデルも表示した条件の計3条件を設定した。また、演奏する曲は難易度の低いものと高いものの2種類を用意した。その結果、難易度が高い曲の演奏時のみ、仮想手を表示する条件で、ミスタッチの回数が有意に減少するなど、正確に演奏できることが明らかとなった。この実験により、当該システムでの訓練コンテンツと実際の指の間の認知マッピングにおいて、バーチャルハンドイリュージョンが拡張現実感技術使用時と類似の効果を持つことが示された。

上述の通り、ソフトウェア、ハードウェア両面において、実用的なシステムができてつつあるが、実際の長期継続効果については未だ検証できていない。今後の課題としては、想定ユーザによる実験と社会実装に向けた取り組みが挙げられる。

謝辞：本研究の遂行に際し、所属研究室の大学院生であった井上直樹さん、Peiming Liuさんの両名が大きな貢献を果たした。改めてお礼申し上げる。

[1] Naoki Inoue, Yuichiro Fujimoto, Alexander Plopski, Sayaka Okahashi, Masayuki Kanbara, Hsiu-Yun Hsu, Li-Chieh Kuo, Fong-Chin Su, Hirokazu Kato, "Effect of Display Location on Finger Motor Skill Training with Music-based Gamification," International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2020), Springer, pp.78-79, Online, 22 Jul. 2020.

[2] Hack Osaka 2021 テックミーティング <https://www.innovation-osaka.jp/hackosaka2021/tech.php>

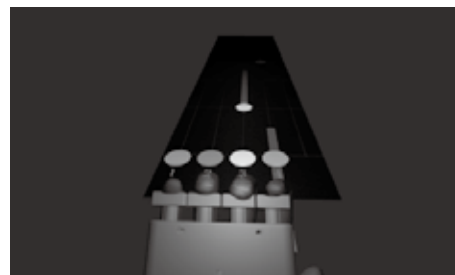


図4：バーチャルハンドイリュージョンを利用した音楽演奏リハビリテーション