

ゴースト表示による仮想テニストレーニング支援システムを用いた長期実験結果の報告

滝澤翔^{†1} 石本岳^{†1} 福地健太郎^{†1}

概要: バーチャルリアリティ (VR) を用いた仮想空間内でのスポーツトレーニング支援は活発に研究され、実用例の報告も増えている。我々はこれまでにテニスにおけるボールの打ち返し練習を題材にラケットとボールが衝突した際のラケットの位置姿勢をゴーストとして表示することでスイングの修正用フィードバックを視覚的に与えるシステムを開発した。同手法は短時間でフィードバックを得られるため、単位時間あたりの練習量を増やすことができるという利点がある。これまでの調査では 30 分弱の時間内での成績向上を測定してきたが顕著な差は見いだせていなかった。今回、本報告の主著者 1 名が 45 日間に渡った実験を行った結果、ゴースト表示を切った後も効果が持続することが示唆された。また現時点では提案システムの長期使用に伴う特別な不快感などは見られず、提案システムを利用したの長期間の評価実験に大きな支障は見られないことが分かった。

1. はじめに

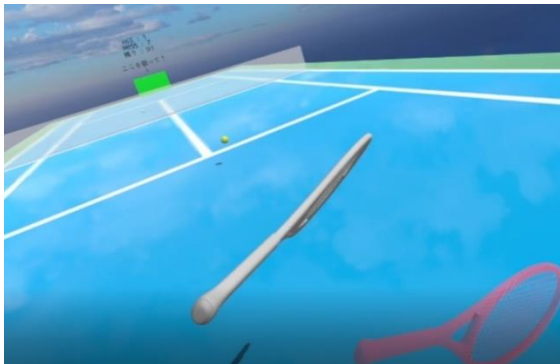


図 1 仮想テニストレーニング支援システム

バーチャルリアリティ (VR) を用いた仮想空間内でのスポーツトレーニング支援が近年活発に研究されており、その適用種目も野球やゴルフあるいはけん玉など多彩である [1-3].

VR を用いてトレーニングをすることの長所は多数報告されている。例えばトレーニング場所の確保や道具の準備、実際の状況に近づけるための練習相手など、日常的に確保するには困難のある要素があるが、これらは VR を用いてトレーニングをすることで解決できる。

また VR 空間内であれば、例えばボールを拾って集める・コース間の移動といった、現実空間ではトレーニングに寄与しないが不可避な時間消費を避けられるという利点も挙げられる。これにより、同一の練習時間でより充実したトレーニングを積むことが可能となる。

加えて、様々なフィードバックを VR 空間内で与えることができる点も重視されている。例えば自身のスイング軌

道の解析結果はトレーニングにおいて重要な示唆を与えるが、これを VR 空間内で即時に閲覧できるようにすることができ、その有効性が報告されている [4].

運動学習は 3 つの異なるフェーズで特徴づけられるとされる [5]. 練習者が学習対象の運動に対してイメージを持っていないフェーズが第一段階であり、学習の初期段階である。このフェーズは学習が急速に進行し、脳内での運動のイメージが形成される。第二段階は運動のイメージと実際の運動とを比較し、修正をしていくフェーズとなる。第三段階は運動が自動化され、一貫した方法で実行されるフェーズとなる。さらに George Tzetzis らによって、初期の学習段階より後の段階では、ターゲットとなる動きと自分の動きとの差を自己推定できる状態となり、練習者がフィードバックを自分のパフォーマンスと関連付けられると学習効果が増加することが報告された [6]. これらを参考にして、学習の初期段階においては自身の動きを視覚的に確認することが自己推定を強化し、練習者の技術向上に繋がると仮定した。

タスクに関連したオブジェクトを半透明な状態で視覚的フィードバックとして提示する手法をゴーストと呼ぶ。Todorov らは、卓球のトレーナーの動きを事前にキャプチャし、それをゴーストとしてフィードバックし、それを確認しながら練習させることで、練習者は本物のコーチと練習したグループよりも早くターゲットショットの習得に成功したとの報告がある [7].

我々はこれまでに、テニスにおけるボールの打ち返し練習を題材とした仮想テニストレーニング支援システムを研究してきた [8]. 同システムではラケットとボールが衝突した瞬間のラケットの位置姿勢のみをゴーストとして視覚的にフィードバックする。図 1 は同システム使用時にヘッドマウントディスプレイ (HMD) に表示される光景を図示し

たもので、中央に見える白いラケットがコントローラで操作されたラケットのリアルタイム表示であり、右下にある赤いラケットがゴーストで、ボールを打ち返した瞬間のラケットの位置に表示されている。

これまでの評価実験では、約 200 球を被験者に打ち返して的中率を成績として上達過程を調査した。21 名の被験者を対象とした実験では統計的有意差は示されなかったが、ラケットスポーツ初心者に対し、視覚的フィードバックの有効性が示唆された。しかしながら約 30 分の実験時間における技能向上はどれほど継続するか、またフィードバック表示を停止してもそれが持続するかは分かっていなかった。加えて、提案システムが主に装着時の快適性の面で長期の使用に適するかどうかは明らかではなかった。

そこで新たに、本報告の主著者 1 名が 45 日間の長期実験を実施し、提案手法の諸効果を検証する追実験を実施することで有意性の再検証を行った。その結果、ゴースト表示を停止した後も効果が持続することが示唆された。また現時点では提案システムの長期使用に伴う特別な不快感などは見られず、提案システムを利用しての長期の評価実験に大きな支障は見られないことが分かった。

2. 提案システム

提案システムについてここで簡単に紹介する。詳しくは文献[8]を参照されたい。

2.1 ハードウェア

提案システムは HMD と付随するハンドコントローラを用いる。利用者は利き手にのみハンドコントローラを持ってシステムを使用する。文献[8]で報告した段階では HMD として Oculus Quest を用いたが、本報告では Oculus Quest 2 を用いている。これを Oculus Link を用いて PC と有線接続をしている。

2.2 練習内容と視覚的フィードバック

利用者は仮想のテニスコートに立ち、コントローラを動かすことで、仮想空間内でラケットを動かすことができる。仮想空間内での HMD に対応したカメラ位置は HMD の動きに追従して移動するため、利用者は好きに頭や身体を動かして練習を行える。

練習が始まると、相手コート中央から自陣へ向けて 3 秒間隔でボールが放たれる。ボールとラケットが衝突した後のボールの運動を物理計算によって求める。相手コート奥には的として緑色の直方体が置かれており、これに充てるようにボールを打ち返すことが利用者には求められる。

視覚フィードバックが提供される条件においては、ボールを打った瞬間のラケットの位置姿勢がゴースト表示される。現在の実装ではこの表示と打ち返した後のボールの軌道から利用者はラケットスイングの課題、例えばスイング開始が早すぎた/遅すぎた、ラケットの角度が浅い/深い

といったことを推定する必要がある。具体的にどう改善すべきかをシステム側からフィードバックすることは避けている。これは、フィードバック表示を簡素化することで読み取りの負荷を下げ、単位時間当たりの打球量を増やすことを狙っている。

3. 長期実験

提案システムの有効性のうち未検証であった長期使用時の効果を調査するため、本報告の主著者 1 名が 45 日間の継続使用を行った。全体の期間を 3 つに分け、まずゴースト表示がない状態で 15 日間、次にゴースト表示ありで 15 日間、最後に再びゴースト表示を切って 15 日間の練習をそれぞれ行った。1 回の練習内容は、99 球を的に向かって打ち返すというもので、練習時間は 10 分弱であり、これを 1 日 2 回実施した。以下にその結果を簡単に報告する。

図 2 に、経過日数を横軸に、的に当たった回数で、2 回の練習のうち成績の良い方を縦軸にそれぞれとり、各期間に分けて折れ線グラフに示した。

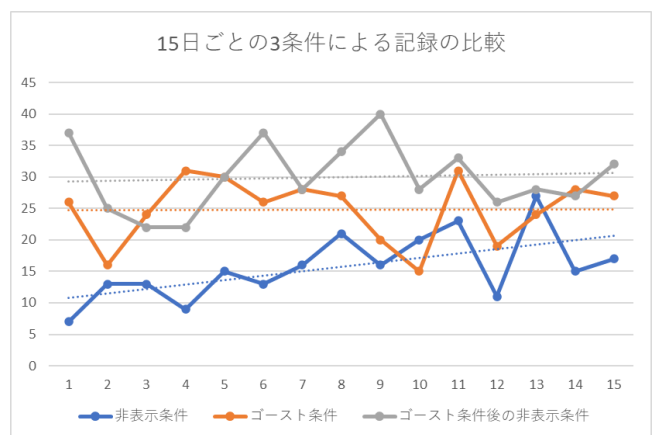


図 2 15日ごとの3条件間比較

第 1 期間（フィードバック非表示）では徐々に成績が向上しており、通しての平均値は 15.73 回であった。第 2 期間に入ってフィードバックが提供されると成績は平均値で 24.80 回にまで向上している。第 3 期間で再びフィードバック非表示条件に戻しているが、平均値は 29.93 回であり、最初の数日間こそ成績低下が見られたが、期間を通して見ると顕著な低下は見られない。

第 2 期間での成績向上については、単に継続した練習の成果が反映されている可能性があるため、この結果から提案手法の有効性を直ちに主張することはできない。

提案システムを使用しての練習においては、長期使用に伴う特別な不快さを主著者は特には感じなかった。また、HMD とハンドコントローラで簡単に練習できる利便性は長期実験をする上で有効であったと感じている。

一方で、長期使用を通じて提案システムの課題も発見され、これについては次節でその改善手法と合わせて述べる。

4. 手法の改善

2 節で示した実装の問題点として、ボールを打ち返す際に前方の的を見るようにするとゴーストを視界の中に捉えにくいという課題が見つかった。これは今回使用した Oculus Quest 2 の最大視野角が 100 度とされ、狭いことに起因する。

これを解決するためにまず、HMD をより視野角の広いものに切り替えることを検討した。具体的には最大視野角が 120 度とされる HTC VIVE Pro2 用にシステムを改造した。その結果、確かにゴーストを視野内に捉えやすくなったものの、同製品は PC との有線接続が必要であり、スタンドアロン動作する Oculus Quest 2 に比べると利便性を損なうという問題がある。

次に試した手法は、ラケットではなくボールの軌道に関する視覚的フィードバックである。図 3 に示したように、打球時のボールの軌道を VR 空間内に図示するとボールの打ち出し角度が視認しやすくなり、ラケットゴーストと同様の判断材料を提供できると期待できる。

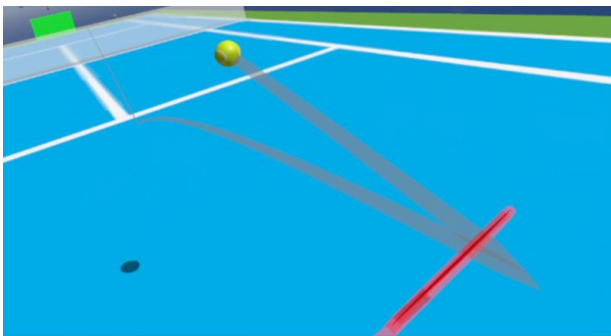


図 3 ボールの軌道による視覚的フィードバック

5. 結論

本論文ではテニスにおけるボールの打ち返し練習を題材とした仮想テニストレーニング支援システムにおける、ラケットゴースト表示が及ぼす影響について報告した。これまでの研究では同システムを長期使用した上での知見が不明であった。今回、主著者 1 名が 45 日間の長期使用実験を行い、その結果としてゴースト表示の成績向上への直接的な寄与については実証できなかったが、同システムを長期使用しての継続練習によって成績が向上し、またゴースト表示を停止した後も成績低下が見られないことが分かった。また長期使用を通じて提案手法の課題が得られたため、いくつかの改善手法について検討を進めた結果、ラケットゴーストに加えてボール軌道を明示することで打球動作の改善のための情報を提供する手法を試行した。

参考文献

- [1] “NTT データが開発した、VR 技術を用いたプロ野球選手向けトレーニングシステム”、

<https://2020.ntt.jp/innovation/technology/04.html>, (参照 2021-12-17).

- [2] “イマクリエイト、業界初となる VR ゴルフトレーニングのサービスを開始”。
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000009.000034298.html?fbclid=Iw>, (参照 2021-12-17).
- [3] 川崎 仁史, 脇坂 崇平, 笠原 俊一, 齊藤 寛人, 原口 純也, 登嶋 健太, 稲見 昌彦, “けん玉できた!VR:5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム”, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集(2020), 26-32, 2020-08-22.
- [4] Roland Sigrist, Georg Rauter, Robert Riener, Peter Wolf, Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review, *Psychonomic Bulletin & Review* volume20, pages21–53(2013)
- [5] Schmidt, Richard A. Wrisberg, Craig A., Motor learning and performance: A situation-based learning approach (4th ed.). Human Kinetics.
- [6] George Tzetzis, Evandros Votsis, Kourtessis Thomas, The effect of different corrective feedback methods on the outcome and self confidence of young athletes, *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 371–378, 2008.
- [7] Emanuel Todorov, Reza Shadmehr, Emilio Bizzi, Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task, *Journal of Motor Behavior*, 29(2), 147–158, 1997
- [8] 石本 岳, 福地 健太郎 “仮想テニストレーニング支援システムにおけるボール衝突時のラケット位置姿勢提示によるフィードバック手法の効果検証”, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), 2021-HCI-192, 情報処理学会(2021)