

# ゴルフのプロのメンタルリハーサルの可視化を通じたパッティングスキルの学習効果の検証

鈴木 湧登<sup>1,a)</sup> 坂本 大介<sup>1,b)</sup> 小野 哲雄<sup>1,c)</sup>

**概要:** 本研究では、既存の1人称視点の映像と比較して、プロのメンタルリハーサルを可視化した1人称視点の映像が初学者の学習にどのように影響を与えるのかについて調査した。ゴルフのプロ6名へのインタビューからプロのイメージするメンタルリハーサルを3種類特定し、XR技術を用いて可視化した。48人の初学者を対象に4つの条件で実験を行った結果、メンタルリハーサルの可視化を行うと、初学者はパッティングを行う際の力加減などの運動感覚を理解できるようになることが示唆された。また、従来の1人称視点の映像と比べて、1人称視点でのメンタルリハーサルの可視化は、より認知的な理解を深める可能性があることが示された。

## 1. はじめに

運動学習では、映像を見ながら学ぶことが多いが、その映像の種類は大きく分けて2種類ある。1つは1人称視点の映像であり、その運動を行っている人の視点から動作を確認することができる。そしてもう一つは3人称視点の映像であり、運動を行っている人を外の視点から見ることができる。それぞれの映像には、利点と欠点がある。1人称視点の映像は、その人の視点を共有できるため、より認知的なタスクの理解に向いており、3人称視点の映像は複数の角度で外から運動している様子を眺めることができるため、運動フォームの学習に向いている [8]。

特に1人称視点で運動の感覚を伝える試みは、情報科学が発達する前からよく行われていた。心的イメージはその代表例であり、指導者の心の中のイメージを初学者に伝えることで認知的な能力の向上を目指してきた。その中でも、メンタルリハーサルは、the cognitive rehearsal of a task prior to performance（運動タスクを行う前の認知的な事前練習）と定義され [9]、これを行うことで神経回路を事前に刺激し [13]、ストレスの軽減やスキル向上に役立つとされているため [7], [14]、アスリートがパフォーマンスを行う前によく用いている。しかし、このような利点がありながらも、初学者にとってプロのメンタルリハーサルを模倣するのは難しく、むしろ混乱をもたらすなど悪影響あることも指摘されているため [12]、メンタルリハーサルをはじめ

めとした心的イメージは情報科学ではあまり活用されていない。

そこで本研究では、初学者が混乱なくプロのメンタルリハーサルを理解できるように、プロのメンタルリハーサルを可視化することを提案し、初学者の学習にどのような影響を与えるのか、及び、既存の1人称視点の映像とどのように異なるのかを調査する。本稿では、メンタルリハーサルがよく行われているスポーツであるゴルフに注目し [4]、ゴルフのプロがパッティングを行う前にどのようなメンタルリハーサルを行っているのかをインタビュー調査し、その結果得られたイメージを Extended Reality (XR) 技術を用いて現実世界に重畳する形で可視化した。その上で、既存の1人称視点の映像を外部ディスプレイで視聴する条件、メンタルリハーサルを可視化した映像を外部ディスプレイで視聴する条件、メンタルリハーサルをXRで可視化した条件で、それぞれ初学者の学習にどのような影響を与えるのかについて調査した。

## 2. 関連研究

### 2.1 情報技術を利用した運動スキルの習得

理論的には、運動スキルの習得は社会認知理論の観点から議論することができる [2]。この観点から見ると、学習は**観察学習**と**真似**を通して行われる。つまり、対象の動きや身体の使い方を目で見て観察し、それを自分の身体に当てはめることで学習を進めていくことができる [23]。しかしながら、観察の学習効果は個人の能力によるため [5]、情報技術を利用して観察学習をサポートするためのシステムが考えられてきた [28]。特にこのアプローチと親和性が高

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>a)</sup> yutosuzuki.s7@gmail.com

<sup>b)</sup> sakamoto@ist.hokudai.ac.jp

<sup>c)</sup> ono@ist.hokudai.ac.jp

いのが仮想現実 (VR) や拡張現実 (AR) といった XR 技術であり、これらを用いれば仮想的なコーチを用意することができるため、ユーザは自分のペースで好きなだけ見本を見て真似することができる。

特に 1 人称視点の映像の共有はよく研究されており、運動の理解に役に立つことが示されている [3]。本稿では、1 人称視点でプロのメンタルリハーサルを可視化することで既存の 1 人称視点の映像とはどのような違いが見られるのかを調査した。

## 2.2 ゴルフの学習支援

ゴルフの学習支援手法では、学習者が正しいゴルフスイングを行えるようにフィードバックを与える手法が最もよく研究されている。特に、視覚的フィードバックを与える手法は学習に効果的で、自分が行ったスイングの情報を視覚的に学習者の前に提示する [15], [19] ことによって学習者に正しいフォームでスイングを行うよう促すことができる。また、聴覚フィードバックや触覚フィードバックも有用な手段の一つであり、スイングの速度やクラブの角度を音で表現することでスイングの調整を学習者に促すといったシステム [25] や、スイングフォームの間違いを触覚フィードバックする手法 [30] が考えられている。

パッチングでも、パッチングをする際のリズムを可視化したり [18] など視覚的フィードバックは活用されているが、理想的なスイングや軌道を可視化する手法も使われることが多く、Geisen らは AR で理想的なクラブのスイングを 1 人称視点で視覚的に提示することでゴルフのパッチングのパフォーマンス向上を試みている [10]。

さらに、パッチングでは、ポジティブなメンタルリハーサルを行うことがパフォーマンスにどう影響するかが調査されている [24], [26]。本稿では、これらの研究を初学者の学習、及びメンタルリハーサルの可視化という点で拡張するため、初学者を対象にして、パッチングの 1 人称視点映像の視聴とプロのメンタルリハーサルを可視化した映像の視聴が学習にどのような影響を与えるのかについて調査した。

## 3. 事前調査

### 3.1 データ収集と解析

可視化するメンタルリハーサルを決めるために、プロがパッチングを行う前にどのようなメンタルリハーサルを心の中でイメージしているのかについて事前調査を行った。調査対象者は公認プロ 3 名 (プロ歴  $M=7.0$  年,  $SD=3.61$  年) とティーチングプロ 3 名 (プロ歴:  $M=11.0$  年,  $SD=5.57$  年) の計 6 名 (全員男性,  $M=33.17$  歳,  $SD=7.08$  歳) であり、彼らに対し本稿の筆頭著者がビデオ会議システムを利用して半構造化インタビューを行った。インタビューはスポーツ活動中の心理状態を調査する際によく使われ

表 1: 事前調査での質問内容

狙った通りの結果を出せた時、どのようなことを意識していましたか
このようなことを意識したりイメージしたりしたら狙い通りになったという経験があれば教えてください
このようなことを意識したりイメージしたりしたらうまくいかなかったという経験があれば、そこで修正したことについて教えてください
バターがうまくいく時といかない時の意識の差は何ですか。どのような特徴がありますか?
その特徴をバターの上手さに関係のある順番に並べてください
うまくいったイメージや意識はどのような状況の時に使えますか。それはどうして適用されるまたは適用されないのですか
他のプレイヤーで、自分のバターの感覚と近いことを言っている人はいましたか。また、それはどのような感覚ですか
あなたのバター技術の上達に貢献したと思う人はいますか。これらの人たちはあなたを助けるために何をしましたか。また、何をしませんでしたか。バターの上達に影響を与えたと思うテクニックや方法はありますか
あなたがバターの感覚やコツを初心者に教える時、具体的にどのような指導をしていますか

るパーソナルコンストラクト心理学 (Personal Construct Psychology; PCP) [16] の観点から行った。

パーソナルコンストラクトとは、個人が自分の経験を基に世界を理解し、解釈するために使う二項対立の枠組みである。人はこの枠組みを用いて世界を予測し、自分の現実を作り上げる。PCP では、個人のコンストラクトを理解することで自己理解や治療に役立つとされ、心理療法、教育、組織論、スポーツ活動中の心理状態など、さまざまな分野で応用されている。インタビューの質問は、この考え方に基づいたインタビュープロトコル (PCP 回顧的インタビュープロトコル) [11] に基づき策定した (表 1)。

インタビューはビデオ会議システムで録画し、文字起こしを行い、再帰的主題分析 [6], [31] を行った。再帰的主題分析は帰納的及び演繹的に実施し、第一著者が主導しテーマを生成し精査した。

### 3.2 調査結果

プロへの事前調査の結果を「静的イメージ」「動的イメージ」「複合的イメージ」の 3 つのテーマに分類して報告する。テーマごとに性質が排反であると考え、可視化するメンタルリハーサルは各テーマから 1 つずつ選んだ。

#### 3.2.1 静的イメージ

6 人全ての参加者は、パッチングの前に、地面に対して静止しているイメージ (動きのないイメージ) である静的なイメージを持っていることが分かった。5 人の参加者は自分のボールの位置とカップの位置を結ぶラインを想像していた。ラインの幅はボール 5 個分の幅という意見か

らボールペンで書いたような細い線のイメージまで様々であったが、多くの参加者はボール一個分の幅と述べていた。ラインの色に関しては、薄い白、白、黄色などグリーン上で目立つ色を想像する人が多かった。また、1人の参加者はボールの位置から15cmと30cm先の2つのポイントをイメージし、パターのフェース面の調整に役立てており、別の1人は実際のカップの43cm後ろに別のカップをイメージしていた。

このように様々な静的イメージが報告されたが、「ボールからカップまでのライン」というメンタルリハーサルが最も多くの参加者が行っているメンタルリハーサルであり、先行研究でも軌道をイメージしているとの報告 [4] があったため、「ボールからカップまでのライン」を本研究で可視化するメンタルリハーサルの1つとして選択した。

### 3.2.2 動的イメージ

6人中4人の参加者は、物体の動きをイメージする**動的なイメージ**を持っていた。彼らは打ったボールがカップに向かって転がる様子を想像しており、ボールがどのように転がり始め、どのように減速しカップに吸い込まれていくかをイメージすることでパフォーマンスが向上したと報告している。動的イメージの報告はこの「転がるイメージ」のみであり、先行研究でもボールの転がりをイメージしているとの報告 [4] があったため、「カップまでの理想的なボールの転がり」を本研究で可視化するメンタルリハーサルの1つとして採用した。

### 3.2.3 複合的イメージ

参加者の1人は、静的イメージと動的イメージの中間の**複合的イメージ**を持っていた。その参加者は、ボールが動く様子を静的な映像としてイメージしていると報告しており、ボールを打った後の1秒後、2秒後、3秒後の理想的な位置を想像し、それがカップまでの距離感を理解するのに役立ったと報告している。この報告は1人の参加者のみから得られたため多くの参加者がイメージしている考え方ではないが、複合的イメージは静的イメージと動的イメージのどちらとも性質が異なると考えたため、「カップまでのボールの位置の時間変化」を本研究で可視化するメンタルリハーサルの1つとして採用した。

## 4. 実装

事前調査の結果に基づいてゴルフのプロがパッティングを行う前に行うメンタルリハーサルを3種類選び、そのイメージを学習者の練習環境に重畳できるようにXRで可視化した(図1(a), (b), (c))。XRアプリケーションはUnityとMeta XR Core SDK及びMeta XR Interaction SDKを使用して開発し、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)にはMeta Quest3を用いた。以下、具体的な設計について述べる。

### 4.1 ラインイメージ

1つ目は「ボールからカップまでのライン」を表示するイメージである(図1(a))。これは、現実世界のボールとカップを結ぶ理想的なラインを現実世界に重ね合わせて表示しているものであり、Quest3のコントローラでアンカーをボールとカップに配置することによってラインが表示される。事前調査の結果からラインの色は薄い白色にし、ラインの幅はボール一個分の42.67mmとした。

### 4.2 ローリングイメージ

2つ目のメンタルリハーサルは、現在のボールの位置からカップまでの理想的なボールの転がりを可視化したイメージである(図1(b))。Quest3のコントローラでボールの位置とカップの位置にアンカーをおくと、仮想的なボールが現在のボールの位置から転がってカップでぴったり止まる映像を見ることができる。

ボールの転がりはUnityの物理演算で制御した。ゴルフボールの速度が十分遅い場合、転がり抵抗は速度に依存せず空気抵抗は無視できる[29]。今、摩擦係数を $\mu$ 、ボールの質量を $m$ 、重力加速度を $g$ とした時、ボールからカップまでの距離 $d$ が既知であるため、カップでちょうど停止する初速度 $v_0$ は、以下のエネルギー保存の式から得られる：

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \int_0^d \mu mg dx \quad (1)$$

ここから初速度とボールの時間ごとの位置 $x(t)$ が以下のように得られる：

$$v_0 = \sqrt{2\mu gd} \quad (2)$$

$$x(t) = v_0 t - \frac{1}{2}\mu gt^2 \quad (3)$$

$\mu$ は本研究で使用したパターマットの摩擦係数である0.05、 $g$ は9.8  $m/s^2$ とした。これにより、ボールの位置からボールが転がりカップでぴったり止まる時のボールの転がりを再現することができる。

### 4.3 ストロボイメージ

3つ目のメンタルリハーサルは、カップにぴったり止まる時のボールの1秒ごとの位置を表示したイメージである(図1(c))。Quest3のコントローラでボールの位置とカップの位置を決定することで、現在のボールの位置からカップまでボールが転がっていく時の1秒ごとのボールの位置を現実世界の映像と重ね合わせながら見ることができる。1秒ごとのボールの位置はローリングイメージと同じ数式を用いて算出した。

## 5. 実験

ゴルフプロのメンタルリハーサルを可視化し、それを見て学習することで初学者の学習にどのような影響が見られ



図 1: (a) ラインイメージ, (b) ローリングイメージ, (c) ストロボイメージ, (d) 実験環境の全体図.

るのか、パッティングの成功動画の視聴とどのような違いが見られるのか、及びパッティングパフォーマンスにどのように影響するのかを検証するために実験を行った。本実験では、運動学習の評価によく用いられる retention-design (保持デザイン) [22] を採用し、事前測定、トレーニング、事後測定の 3 日間実施した後、4 日目にトレーニングを行わず保持測定のみを行った。また、実験は前日から約 24 時間程度空けてから行われた。本研究ではトレーニング条件と測定タイミングの 2 つの独立変数を設定し、混合計画で実施した。条件間が参加者間計画で、測定タイミングが参加者内計画である。

## 5.1 実験条件

本実験では 4 つの条件を用意した。実験参加者は 4 つの条件のいずれかに割り当てられ、その条件のもとで 4 日間の実験に参加した。トレーニング時間は 4 日間のうち最初の 3 日間のみ行われた。4 つの条件は以下の通りである。

### 5.1.1 コントロール条件

コントロール (Cont) 条件では、トレーニングの際に素振りのみを行い、他の条件との比較のためのパッティングパフォーマンスのベースラインとして設定した。

### 5.1.2 ポジティブビデオ条件

ポジティブビデオ (PV) 条件では、トレーニングの際に素振りに加えて、ゴルフ経験者が成功したパッティングを 1 人称視点で撮影した映像を外部ディスプレイで視聴した。これは、成功動画がパフォーマンスの向上に寄与するというメンタルリハーサルの先行研究 [3] に基づいており、既存の 1 人称視点の映像として、プロのメンタルリハーサルを可視化した映像が学習に与える影響と比較するために導入した。PV 条件では 3 日間とも同じ映像を視聴した。

### 5.1.3 ビデオメンタルリハーサル条件

ビデオメンタルリハーサル (VMR) 条件では、トレーニングの際に素振りに加えて、実装した 3 種類の XR アプリケーションを画面録画した映像を外部ディスプレイで見ながらトレーニングをする条件である。映像は 1 日 1 種類視聴し、3 日間で全ての映像を見ることができるようカウンターバランスをとって提供した。プロのメンタルリハーサルを動画と XR で体験した際の学習効果の違いを評価す

るために導入した。

### 5.1.4 XR メンタルリハーサル条件

XR メンタルリハーサル (XMR) 条件は、トレーニングの際に素振りに加えて、実装した 3 種類の XR アプリケーションを使用しながら練習することができる条件である。3 種類のアプリケーションを 3 日間にわたってカウンターバランスをとって提供した。

## 5.2 実験参加者

実験には 48 人の参加者が参加したが、そのうち 1 人が 2 日目と 3 日目の間が 100 時間以上経過し、別の 1 人が飲酒後に実験に来ていることを申告したため除外し、追加で 2 人の参加者を用意し 48 人 (男性 21 名、女性 27 名、 $M=24.21$ ,  $SD=8.22$ ) を確保した。各条件には 12 人が割り当てられ、全員が右利きで、定期的なゴルフの経験はなかった。48 人中 5 人はスポーツ未経験で、他の参加者は陸上、テニス、水泳などの運動経験があった。

## 5.3 実験タスク

### 5.3.1 トレーニングタスク

トレーニングタスクとは、5 分間ゴルフのパッティングを練習するタスクであり、割り当てられた条件によって異なる。5 分間の練習中はゴルフボールを打つことはできず、素振りや映像を見ることのみ可能であった。また、パターマットの上は自由に移動することができ、カップまでの距離などを歩いて確かめることも可能であった。トレーニングタスク中は参加者が見える位置にタブレットを置き、そこで経過時間を常に表示し続けた。5 分が経過するとアラームがなりトレーニングタスクは終了した。

### 5.3.2 測定タスク

測定タスクとは、ボールを参加者自身が 1 球取り実験室内のパターマットのスタート地点に置き、3m 先にあるカップの中にちょうどボールが止まるように打つタスクのことであり、1 回あたり 20 球分行う。スタート地点はパターマットの上にチョークで十字架が描かれている場所であり、参加者はその十字架の交差点にボールを置いた。また、打ったボールは後述するシステムによりカップとの半径誤差を測定され、実験者によって回収された。1 回の

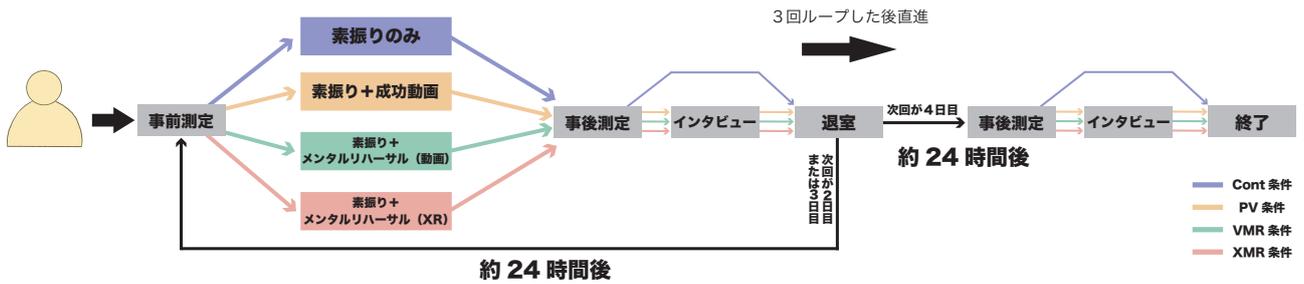


図 2: 実験の流れ.

測定で 20 球分行い、その平均値を測定結果とした。このタスクはトレーニング前と後にそれぞれ事前測定、事後測定として、4 日目に保持測定として行われた。

#### 5.4 手順

実験の流れを図 2 に示す。参加者は実験室に到着後、椅子に座り実験の説明を受け、同意書に署名し、実験前の基本アンケート（性別、年齢、ゴルフ経験の有無、運動歴に関する質問）に回答した。その後、準備運動をし、パターの標準的な握り方 [1], [21] の説明を実験者から口頭で受け、3 球の試し打ちを行い 20 球の事前測定が実施された。続いて、Cont 条件以外の 3 条件の参加者は映像酔いに関するアンケート（Simulation Sickness Questionnaire; SSQ）[17] に回答したのち、1 分間の休憩後、5 分間のトレーニングを行った。トレーニング後、再び SSQ に回答し、事後測定を行った。Cont 条件以外の 3 条件の参加者はその後インタビューを受けた。最後に次回の実験日を確認し研究室を退出した。

2 日目と 3 日目も同様に進行したが、同意書や基本アンケート、握り方の説明は初日にものみ行われた。4 日目は実験説明の後、準備運動、3 球の試し打ちを行い、保持測定とインタビュー（Cont 条件以外の 3 条件）を受けた。その後、全ての参加者は謝礼金として QUO カード 5000 円分を受け取り退出した。

実験日の間は 24 時間から 48 時間程度の間隔（ $M=33$  時間 10 分, $SD=14$  時間 33 分）で実施された。

#### 5.5 使用機材

実験には  $0.9\text{m} \times 5\text{m}$  のパターマットが用いられた（図 1 (d)）。ゴルフボールには白色の R&A 公認球が用いられ、ゴルフカップは薄さ 0.2mm、内径 10.8cm、外径 12.8cm のカップが用いられた。内径の数値はゴルフカップの公式の大きさである 10.8cm という値に基づき決められた。カップは内径分穴が空いており、3D プリンタを用いて製作された。ゴルフボールをはじめに置く位置とカップの位置は距離が 3m になるようにパターマットに事前にチョークでマークをして決めておいた。パタークラブにはプレー

ドタイプのクラブを使用した。また、スコアの測定には Microsoft Azure Kinect を用い、突っ張り棒とアームを用いてカメラを地面に向けてカップの 1m 上に配置した。

#### 5.6 評価

##### 5.6.1 インタビュー

初学者が成功動画もしくはプロのメンタルリハーサルを見たことにより学習にどのような影響を及ぼしたのかを調査するために、PV 条件と VMR 条件、XMR 条件では**半構造化インタビュー**を行った。トレーニング中に初学者が映像をどう捉え、どのような解釈をし、何に役に立ち、どのようなことに役立たなかったのか、及び、映像を見ながらの練習が事後測定の際にどのような影響を与えたのか、PV 条件で見る成功動画を見た時とどのように理解の仕方が異なるのかを調査するために、インタビューは事後測定が終わった直後に行った。また、見た映像が約 24 時間後の事前測定にどのような影響を及ぼしているのかを調査するために、インタビューの質問内容に前日の映像が事前測定でどのように役に立ったのかについての質問を加えた。インタビューは本稿の筆頭著者が行い、質問は映像による学習支援での運動の理解に関する先行研究 [23] の質問項目をもとに作成して実施した（表 2）。インタビューは対面で行い、スマートフォンの録音アプリを用いてインタビュー内容を記録した。

##### 5.6.2 半径誤差

実際のパッティングパフォーマンスに変化が見られるかを確認するため、パッティングスコアも測定した。先行研究に従い [10], [27], パッティングパフォーマンスはカップの縁からボールまでの距離（半径誤差）をパッティングのスコアとした。距離は、Azure Kinect のカラーカメラで取得した画像をもとに OpenCv(4.10.0) を用いてゴルフボールの位置とカップの位置を検出し、そのピクセル上の位置と Kinect の焦点距離や主点といった内部パラメータ、Kinect が設置されている高さをなどのデータをもとにピンホールカメラモデルを用いて計算した。計算処理は .NET Framework 4.8 を用いて C# を使用して製作した。

表 2: 質問内容

先日の映像を覚えていましたか。あなた自身の言葉で説明してください (1 日目以外)
それは本日の 1 回目の測定で役に立ちましたか (1 日目以外)
見た映像について、あなた自身の言葉でその意味を説明してもらえますか (4 日目以外)
見た映像は全体的にどのように感じましたか (4 日目以外)
見た映像は、全体的に運動の理解に役に立ちましたか (4 日目以外)
見た映像は 2 回目の測定で役に立ちましたか (4 日目以外)
今まで見た映像の中でどの映像が最も役に立ちましたか (1 日目以外, PV 条件以外)
今まで見た映像の中で理解するのに最も時間のかかった映像はどれですか (1 日目以外, PV 条件以外)
今まで見た映像の中で最も早く注意を引いた映像はどれですか (1 日目以外, PV 条件以外)
前回の映像と比較して今回の映像がより効果的だったと思いますか (1 日目と 4 日目以外, PV 条件以外)
何かその他気づいたことや気になったこと、言っておきたいことはありますか

### 5.6.3 SSQ

Cont 条件以外の 3 条件では映像を見たことによって映像酔いが起きていないかを検証するために SSQ を用いた。SSQ は映像を見る前と後にとり、それぞれトータルスコア (TS) を算出した。

### 5.7 解析

インタビューデータは録音を書き起こし、理論的な柔軟性と定性的研究における広範な使用から再帰的主題分析 [6], [31] を用いて分析した。事前調査と同様に帰納的分析と演繹的分析を組み合わせて行いコーディングを行い、第一著者が主導しテーマを生成し精査した。

パッチングスコアは各条件につき 1 人あたり 1 日目, 2 日目, 3 日目の事前測定と事後測定, 4 日目の保持測定の計 7 つの半径誤差の平均値が得られる。各条件あたり参加者は 12 人いるため、この 7 つのデータが条件ごとに 12 個集まる。これらのデータに対し Shapiro-Wilk 検定, Levene の検定と Mauchly の検定で正規性, 等分散性, 球面性を確認した後,  $4 \times 7$  の 2 元配置混合分散分析を行い, 必要に応じて Holm 法で補正し多重比較を行った。

SSQ の TS は 1 人あたり 1 日目, 2 日目, 3 日目に対応のあるデータが 1 組ずつ得られる。このデータが各条件ごとに 12 人分あるので, 各条件あたり 36 組の対応のあるデータが得られる。これらのデータに対し Shapiro-Wilk 検定で正規性を確認し, 正規性が仮定できれば各条件ごとに対応のある t 検定を行い, 正規性が確認できなければウィルコクソンの符号付順位検定を行った。

## 6. 結果

### 6.1 インタビュー

PV 条件の 12 人 (P201~P212) と VMR 条件の 12 人 (P301~P312) および XMR 条件の 12 人 (P401~P412) の合計 36 人にインタビューしたものを再帰的主題分析して得られた結果の概略を表 3 に示す。以下にその詳細を、「初学者は映像をどう感じたか」、「理解した内容」、「映像を見たことによる変化」の 3 つのテーマに分類して報告する。

#### 6.1.1 初学者は映像をどう感じたか

VMR 条件の 6 人は映像の情報量について言及し, その内 3 人がラインリハーサルの情報量の少なさを, 4 人がローリングリハーサルの情報量の多さを指摘した。1 人はストロポリリハーサルが情報量が多いと指摘し, 1 人は他の 2 つの映像の中間くらいなので活用しやすいと言及した。

また, 理解のしやすさについての発言があり, PV 条件の 1 人が「分かりやすかった」(P201) と述べ, VMR 条件の 5 人と XMR 条件の 8 人が理解のしやすさに関する言及を行った。一方で, VMR 条件の 2 人は映像に対して意志を感じたと発言しており, P301 は「ボールをまっすぐ打ちましようっていう意思を感じました」と述べていた。

#### 6.1.2 理解した内容

PV 条件の 3 人, VMR 条件の 3 人がパッチングの際の距離感への理解について言及した。そのうち PV 条件の 2 人と VMR 条件の 2 人が距離感が掴みやすかったと発言し, それ以外は距離感が掴みにくかったと発言した。さらに, VMR 条件の 5 人と XMR 条件の 8 人がボールの軌道や角度について言及し, そのうち VMR 条件の 4 人と XMR 条件 8 人全員が軌道や角度の理解が進んだと発言した。

VMR 条件の 8 人と XMR 条件の 2 人はボールが転がるときの時間感覚をつかむことができたと言及した。VMR 条件の 1 人 (P303) と XMR 条件の 1 人 (P407) は「1 秒後の位置だけ覚える」という工夫をしていた。VMR 条件の 7 人と XMR 条件の 6 人は, ボールのスピード感について言及し, VMR 条件の 6 人と XMR 条件の 5 人は打った後のボールの初速やその後の減速感が理解できたと発言した。

PV 条件の 3 人, VMR 条件の 5 人と XMR 条件の 6 人が打つ時の力加減について言及し, PV 条件の 2 人と VMR 条件の 4 人, XMR 条件の 6 人全員が力加減を理解できたと発言し, P402 は「打つ強さっていうのが大体分かった」と述べている。また, PV 条件の 5 人はパッチングが成功する人の視線が分かったと発言し, PV 条件の 5 人がゴルフクラブの振り幅について参考になったと発言した。

#### 6.1.3 映像を見たことによる変化

PV 条件の 1 人, VMR 条件の 7 人と XMR 条件の 7 人はパフォーマンスの変化について言及していた。そのうち

表 3: 再帰的主題分析の結果の概要. 括弧内の数字は言及した参加者の人数を示している (最大値は 12).

コード	PV 条件	VMR 条件	XMR 条件
情報量	言及無し	少ない (3), 適切 (1), 多い (5)	言及無し
理解のしやすさ	分かりやすい (1)	理解しやすい (5), 意志を感じた (2)	理解しやすい (8)
距離感	掴みやすい (2), 掴みにくい (1)	掴みやすい (2), 掴みにくい (1)	言及無し
軌道・角度	言及無し	理解が進んだ (4), 役に立たない (1)	理解が進んだ (8)
時間感覚	言及無し	時間感覚をつかめた (8)	時間感覚をつかめた (2)
スピード感	言及無し	初速や減速感の理解 (6), 分からなかった (1)	初速や減速感の理解 (5), 分からなかった (1)
力加減	理解できた (2), 分からなかった (1)	理解できた (4), 分からなかった (1)	理解できた (6)
視線	分かった (5)	言及無し	言及無し
ゴルフクラブの振幅	分かった (5)	言及無し	言及無し
パフォーマンスの変化	威力を殺せた (1)	パフォーマンスが安定した (5), 体の使い方の変化 (1), 役に立たなかった (1)	パフォーマンスが安定した (5), 体の使い方の変化 (1), 役に立たなかった (1)
意識の変化	言及無し	変化あり (10)	変化あり (7)
打球の予測	できるようになった (1)	できるようになった (3)	できるようになった (4)

PV 条件の 1 人の P207 は「(ボールの) 威力を殺してやれた」と述べ、VMR 条件の 5 人と XMR 条件の 5 人はパフォーマンスの安定性について言及し、VMR 条件の 1 人の P308 と XMR 条件の 1 人の P401 は体の使い方の変化を感じていた。P308 は「イメージを持ったらなぜかうまくいった」と述べ、P401 は「まっすぐ打てるようになって体もなってきたのかなって思いました」と述べている。VMR 条件の 1 人と XMR 条件の 1 人はあまり役に立たなかったと発言した。

VMR 条件の 10 人と XMR 条件 7 人は**意識の変化**について言及しており、P303 は「手元に意識が向きすぎないで (中略) 自動的に調整してくれるものがあった」と述べている。

PV 条件の 1 人、VMR 条件の 3 人と XMR 条件の 4 人は、自分が打った後にボールが入るか入らないかを**予測できるようになった**と発言し、P303 は「自分が今打ったものがゴールに入るかどうかというのを予測できる」と述べ、P402 は「うまくいくかうまくいかないかというのが、打った瞬間というか、すぐわかるようになった」と述べた。

## 6.2 パッティングパフォーマンス

各条件と計測時点の組み合わせに対して Shapiro-Wilk 検定を実施した。その結果、一部の条件および計測時点 (28 組中 6 組) で正規性が棄却された ( $p < .05$ )。ただし、大部分の条件では正規性が確認された ( $p < .05$ )、また、Levene の検定と Mauchly の検定を行い、それぞれ等分散性 ( $p > .05$ ) と球面性の仮定 ( $p = 0.5268$ ) が確認された。一部の組み合わせについて正規性が満たされなかったが、サンプルサイズが均等であること、等分散性と球面性が確認されたことから、分散分析の結果が妥当であると判断

した。

パッティングスコアについて  $4 \times 7$  の 2 元配置混合分散分析を実施した結果、**各条件間の主効果は有意ではなかった** ( $F(3, 44) = 0.457, p = 0.713, \eta^2 = 0.030$ , 図 3 上)。一方、**測定時間に関しては有意な主効果が認められ** ( $F(6, 264) = 28.59, p < .001, \eta^2 = 0.394$ )、時間経過に伴いパフォーマンスが向上していることが示された。**条件と測定時間の交互作用は有意ではなく** ( $F(18, 264) = 1.424, p = 0.119, \eta^2 = 0.089$ )、時間経過によるパフォーマンスの変化が条件によって異なることを示唆された。

Holm 補正による多重比較の結果、1 日目の事前測定とその他の全ての測定 (全て  $p < .001$ )、1 日目の事後測定と 2 日目の事後測定以降の全ての測定 (全て  $p < .01$ )、2 日目の事前測定と 3 日目の事後測定 ( $p = 0.0315$ ) 及び 4 日目の保持測定 ( $p = 0.0006$ )、2 日目の事後測定と 4 日目の保持測定 ( $p = 0.0332$ ) 間で有意な差が認められた (図 3 中央)。

## 6.3 SSQ

PV 条件、VMR 条件、XMR 条件のそれぞれのデータに対してウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、PV 条件と VMR 条件では前後の SSQ スコア間に統計的に**有意な差は認められなかった** (PV 条件:  $W = 15, p > .05$ . VMR 条件:  $W = 29, p > .05$ )。一方、XMR 条件では前後の SSQ スコア間に統計的に**有意な差が認められた** ( $W = 6, p < .05$ ) (図 3 下)。

## 7. 考察

### 7.1 パフォーマンスへの影響と運動感覚

プロのメンタルリハーサルを可視化し、それを初学者の学習に用いた結果、情報量の多さによる混乱や XR での映像酔いといった学習への悪影響が指摘されたが、パッティ

表 4: アフターコーディングの結果.

コード	判断基準	PV 条件	VMR 条件	XMR 条件
運動感覚を理解した発言	パッチングの運動感覚について理解した発言であるか	12 人中 3 人	12 人中 8 人	12 人中 11 人
運動フォームを理解した発言	パッチングのフォームについて理解した発言であるか	12 人中 7 人	12 人中 1 人	12 人中 0 人
認知的理解が進んだ発言	打球の予測, 距離感や軌道・角度, 時間感, スピード感を理解した発言であるか	12 人中 1 人	12 人中 8 人	12 人中 11 人

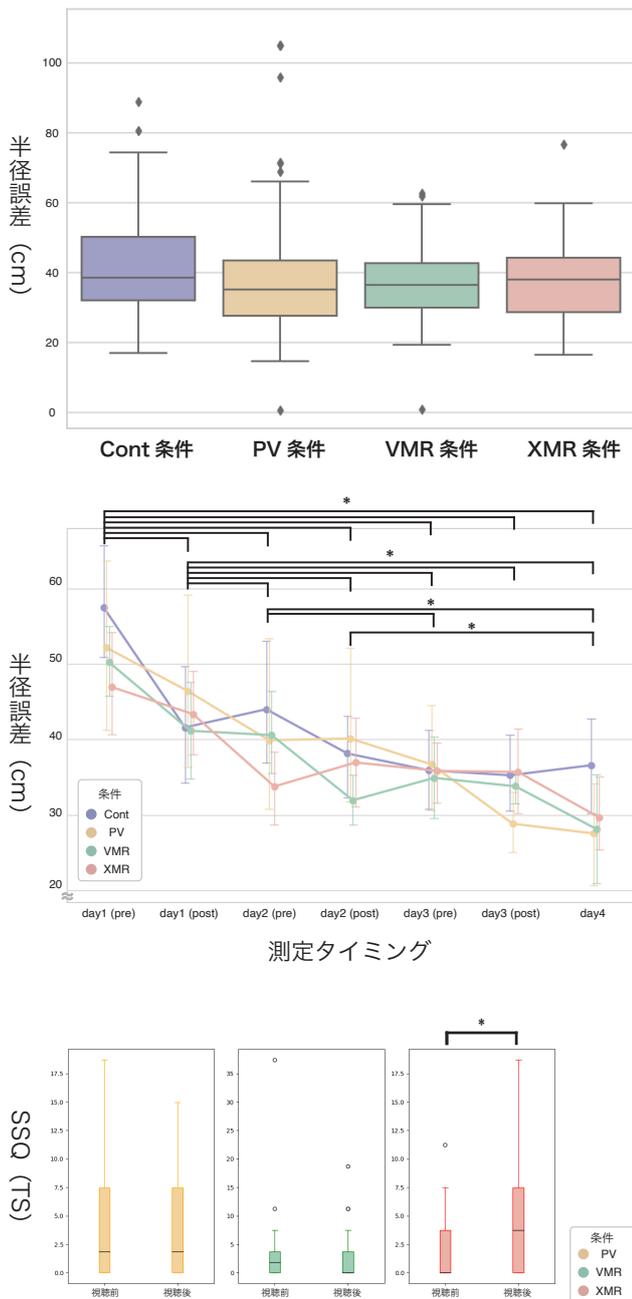


図 3: 上: 条件間の多重比較の結果. 中央: 測定時点間の多重比較. 下: SSQ の結果. \*は  $p < .05$  を示している.

ングパフォーマンスの学習に悪影響を及ぼさなかった. このことから, 初学者は現実的で詳細なイメージを持つこと

ができないため熟練者のメンタルリハーサルを理解できず混乱を招くという問題 [12] は, 熟練者のメンタルリハーサルを可視化することによって解決できる可能性がある.

また, VMR 条件と XMR 条件では, 力加減や体の使い方の変化に関する発言が観察された. これらは kinaesthesia (運動感覚) [20] に関する発言と考えることができる. なぜなら, kinaesthesia は, “the sense of movement and the sense of position of the body and its parts” (身体およびその部位の運動の感覚と位置感覚) と定義され [20], パッチングの力加減や体の使い方の変化はこの定義に当てはまると考えることができるからである. この運動感覚に関する発言は PV 条件ではあまり見られず, VMR 条件や XMR 条件で多く見られた. 追加の分析として, 全インタビューデータに対し運動感覚について理解した発言があるかについてアフターコーディングを施したところ, 運動感覚を理解した発言は, PV 条件で 12 人中 3 人, VMR 条件で 12 人中 6 人, XMR 条件で 12 人 11 人が行っていた (表 4 上段). P301 は「振りかぶる感覚というのもわかる」と述べ, P401 は「映像見てやった時の感覚を, その映像が頭の中に残ってるから, その時の感覚, 腕の感覚をなんか思い出せました」と述べている. そのため, プロのメンタルリハーサルの可視化は運動感覚の理解を促す可能性がある.

その一方, パフォーマンスの向上にポジティブな影響は及ぼさなかったため, メンタルリハーサルの可視化は, Schmidt のスキーマ理論 [22] におけるスキーマの形成に有効であったが, スキーマの実行には有効ではなかった可能性がある.

以上よりメンタルリハーサルの可視化を行うと, ネガティブな影響を最小限に抑えつつ, 運動感覚を初学者に理解させることができるのではないかと考えられる. よって, プロのメンタルリハーサルの可視化は運動の感覚を他人に理解させる手段として一つの有効な手法となりうる. 一方, メンタルリハーサルを可視化した映像を視聴しただけでは, 身体的遂行能力が獲得できない可能性があるため, 他の学習手法と組み合わせる必要があるかもしれない.

## 7.2 運動フォームと認知的理解

一部の参加者は、パッティング中の姿勢やクラブの振り幅といった運動フォームを理解できたと発言した。このような発言はPV条件で多く観察され、VMR条件とXMR条件ではあまり観察されなかった。追加の分析として全インタビューデータに対しアフターコーディングを施したところ、運動フォームを理解したという発言を行ったのは、PV条件で12人中7人、VMR条件で12人中1人、XMR条件で12人中0人であり（表4中段）、P209は「どういう風に振り上げて、どこら辺で止めるのか、どういう感じで止めてるのかっていうのがわかりやすかった」と述べていた。このことから、**1人称視点の映像では運動フォームの理解が進む一方、メンタルリハーサルの可視化を行うと運動フォームの理解は進みにくいと考えられる。**

また、距離感やボールが通るべき軌道及び角度及びボールが転がる際の時間感覚やスピード感について理解できたとの発言も多く観察された。さらに、パッティング後にボールが入るか入らないかを予想できたとの発言も一部で観察された。こうしたパッティングする際の認知タスクへの理解に関する言及は、PV条件では距離感の理解と打球後の予測に関する発言のみが観察され、メンタルリハーサルを可視化した条件（VMR条件及びXMR条件）ではそれに加えてボールの軌道や角度、ボールが転がるときの時間感覚やスピード感といったより多くの種類の発言が観察された。実際に追加で全インタビューデータに対しアフターコーディングを施したところ、これら認知的理解が進んだ発言を行ったのは、PV条件で12人中1人、VMR条件で12人中8人、XMR条件で12人中11人であった（表4下段）。したがって、**1人称視点の映像は認知的理解を促すのに有効であるが、それに加えてメンタルリハーサルの可視化を行うと、より多面的な認知的理解が進むと考えられる。**

## 7.3 1人称視点による学習効果

以上より、通常の1人称視点の映像とメンタルリハーサルを可視化した映像の両方において運動フォームや運動感覚の理解や認知的理解が進むが、**通常の1人称視点の映像の方がより運動フォームの学習に向いており、メンタルリハーサルを可視化した映像の方がより運動感覚や認知タスクの学習に向いていると考えられる。**

この発見は、1人称視点の映像が認知的なタスクの学習に向いており3人称視点の映像が運動フォームの学習に向いているという従来の研究[8]の知見を拡張するものである。本研究により、従来言われてきた1人称視点（客観的1人称視点）よりも熟練者の主観的な視点を反映した主観的1人称視点の映像の方が認知的理解がよく促されると示唆されたため、3人称視点の映像、客観的1人称視点の映像、主観的1人称視点の映像の順にフォームの学習に向いている映像といえ、主観的1人称視点の映像、客観的1人

人称視点の映像、3人称視点の映像の順に運動感覚や認知タスクの学習に向いている映像だと考えることができる。これは、学習したい運動スキルに適した映像を考える基準になるため、指導者や学習者にとって役に立つ知見となるだろう。

## 7.4 制限

本研究の参加者は全員がゴルフの初心者であるため、中級者や上級者では異なる結果になる可能性がある。参加者の指摘する通り初学者はゴルフについて何も知らないので素直に映像を受け入れることができたが、中級者や上級者は自分のイメージがすでにある可能性があるためすぐに受け入れることはできない可能性がある。実際、先行研究でも比喩表現の可視化を行った際には参加者の既存のイメージと可視化した映像が衝突してしまう可能性が示唆されている[23]。そのため、本研究の知見をそのまま中級者や上級者に適応するのは慎重な議論を要する。

さらに、本研究ではメンタルリハーサルを可視化した映像を見ることで神経回路が活性化される可能性も示された。そのため、今後は神経科学に基づき定量的に評価することが求められる。

## 8. おわりに

本研究ではゴルフのプロのメンタルリハーサルを可視化し、初学者がそれを観察することで運動の理解やパフォーマンスに与える影響を検証した。その結果、メンタルリハーサルの可視化を行うと、ネガティブな影響を最小限に抑えつつ、運動感覚を初学者に理解させることができることが示唆された。また、従来の1人称視点の映像と比べて、1人称視点でのメンタルリハーサルの可視化は、より認知的な理解を深める可能性があることが示された。今後は、さらに長期的な検証や神経科学的な検証が求められる。

**謝辞** 本研究は、JST, CREST, JPMJCR21D4の支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Alderman, R. B.: A comparative study on the effectiveness of two grips for teaching beginning golf, PhD Thesis, University of British Columbia (1960).
- [2] Bandura, A.: Social foundations of thought and action, Vol. 1986, No. 23-28 (1986).
- [3] Beaven, C. M., Kilduff, L. P. and Cook, C. J.: Mental Rehearsal Improves Passing Skill and Stress Resilience in Rugby Players, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, Vol. 18, No. 9, pp. 1047–1052 (2023).
- [4] Bernier, M. and Fournier, J. F.: Functions of mental imagery in expert golfers, *Psychology of Sport and Exercise*, Vol. 11, No. 6, pp. 444–452 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2010.05.006> (2010).
- [5] Boucheix, J.-M. and Lowe, R.: An eye tracking compar-

- ison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations, *Learning and Instruction*, Vol. 20, pp. 123–135 (2010).
- [6] Braun, V. and Clarke, V.: Using thematic analysis in psychology, *Qualitative research in psychology*, Vol. 3, No. 2, pp. 77–101 (2006).
- [7] Choi, C., Honeycutt, J. and Bodie, G.: Effects of Imagined Interactions and Rehearsal on Speaking Performance, *Communication Education*, Vol. 64 (online), DOI: 10.1080/03634523.2014.978795 (2015).
- [8] Cumming, J. and Williams, S.: *The Role of Imagery in Performance*, pp. 213–232 (online), DOI: 10.13140/2.1.3274.5925 (2012).
- [9] Driskell, J. E., Copper, C. and Moran, A.: Does mental practice enhance performance?, *Journal of applied psychology*, Vol. 79, No. 4, p. 481 (1994).
- [10] Geisen, M., Nicklas, A., Baumgartner, T. and Klatt, S.: Extended Reality as a Training Approach for Visual Real-Time Feedback in Golf, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, (online), DOI: 10.1109/TLT.2023.3322660 (2023).
- [11] Gordon, S., Gucciardi, D. and Chambers pages=43–47, year=2007, p.: A personal construct psychology perspective on sport and exercise psychology research: The example of mental toughness.
- [12] Guillot, A. and Collet, C.: Duration of Mentally Simulated Movement: A Review, *Journal of motor behavior*, Vol. 37, pp. 10–20 (online), DOI: 10.3200/JMBR.37.1.10-20 (2005).
- [13] Guillot, A. and Collet, C.: Construction of the motor imagery integrative model in sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use, *International Review of Sport and Exercise Psychology*, Vol. 1, No. 1, pp. 31–44 (2008).
- [14] Ignacio, J., Dolmans, D., Scherpbier, A., Rethans, J.-J., Lopez, V. and Liaw, S.: Development, implementation and evaluation of a mental rehearsal strategy to improve clinical performance and reduce stress: A mixed methods study, *Nurse Education Today*, Vol. 37 (online), DOI: 10.1016/j.nedt.2015.11.002 (2015).
- [15] Ju, C.-Y., Kim, J.-H. and Lee, D.-H.: GolfMate: Enhanced Golf Swing Analysis Tool through Pose Refinement Network and Explainable Golf Swing Embedding for Self-Training, *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 20, p. 11227 (2023).
- [16] Kelly, G.: *A theory of personality: The psychology of personal constructs*, No. 152, WW Norton & Company (1963).
- [17] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. and Lilienthal, M. G.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, *The international journal of aviation psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203–220 (1993).
- [18] Kooyman, D., James, D. and Rowlands, D.: A Feedback System for the Motor Learning of Skills in Golf, *Procedia Engineering*, Vol. 60 (online), DOI: 10.1016/j.proeng.2013.07.014 (2013).
- [19] Liao, C.-C., Kikuchi, H., Hwang, D.-H. and Koike, H.: Virtual Club Shadow: A Real-time Projection of Golf Club Trajectory, *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 816–820 (online), DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00177 (2022).
- [20] Proske, U. and Gandevia, S. C.: The kinaesthetic senses, *The Journal of physiology*, Vol. 587, No. 17, pp. 4139–4146 (2009).
- [21] Purdy, B. J. and Stallard, M. L.: Effect of two learning methods and two grips on the acquisition of power and accuracy in the golf swing of college women, *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, Vol. 38, No. 3, pp. 480–484 (1967).
- [22] Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G. and Zelaznik, H. N.: *Motor control and learning: A behavioral emphasis*, Human kinetics (2018).
- [23] Semeraro, A. and Turmo Vidal, L.: Visualizing Instructions for Physical Training: Exploring Visual Cues to Support Movement Learning from Instructional Videos, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3491102.3517735 (2022).
- [24] Smith, D. and Holmes, P.: The Effect of Imagery Modality on Golf Putting Performance, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, Vol. 26, No. 3, pp. 385 – 395 (online), DOI: 10.1123/jsep.26.3.385 (2004).
- [25] Tanaka, Y., Kon, H. and Koike, H.: A real-time golf-swing training system using sonification and sound image localization, *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3281505.3281604 (2018).
- [26] Taylor, J. and Shaw, D.: The effects of outcome imagery on golf-putting performance, *Science and Golf IV*, Routledge, pp. 167–177 (2012).
- [27] Vine, S. J. and Wilson, M. R.: Quiet eye training: Effects on learning and performance under pressure, *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol. 22, No. 4, pp. 361–376 (2010).
- [28] Wennrich, K., Tag, B. and Kunze, K.: VRTe do: the way of the virtual hand, *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3281505.3281578 (2018).
- [29] Witters, J. and Duymelinck, D.: Rolling and sliding resistive forces on balls moving on a flat surface, *American Journal of Physics*, Vol. 54, No. 1, pp. 80–83 (1986).
- [30] Woźniak, M. P., Dominiak, J., Pieprzowski, M., Ladoński, P., Grudzień, K., Lischke, L., Romanowski, A. and Woźniak, P. W.: Subtleee: Augmenting Posture Awareness for Beginner Golfers, *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 4, No. ISS (online), DOI: 10.1145/3427332 (2020).
- [31] 岡美智代, 石川純子, 上星浩子, 松本光寛, 高橋さつき, 伊藤美鈴: Virginia Braun and Victoria Clarke による再帰的テーマティック分析を中心としたテーマティック分析の概要と分析プロセス, *日本看護研究学会雑誌*, Vol. 45, No. 2, pp. 2.145–2.158 (オンライン), DOI: 10.15065/jjsnr.20211222158 (2022).