

# 上を向いてタップしよう: 首の角度のリアルタイム推定を用いた姿勢矯正を誘導するゲームの実現

渡邊 健斗<sup>1</sup> 中村 聡史<sup>1</sup>

**概要:** スマートフォン利用時において、スマートフォンを肩より下に置き、上から覗き込むような俯いた姿勢で操作してしまう人が多く見られる。首は傾ければ傾けるほど負荷がかかるため、このような姿勢を避けることが望ましい。そこで、本稿ではユーザの姿勢矯正を誘導するため、スマートフォンのみからユーザの首の角度を推定するモデルを用いてフィードバックを行うシステムをゲームとして実装した。具体的には、姿勢が良いとスコアが上がり、姿勢が悪いとスコアが上がりづらいようにゲームをデザインした。システムを用いて実験を実施し、姿勢矯正の可能性とゲームの楽しさに与える影響について検証した。実験の結果、首の角度に連動したフィードバックはゲームプレイ中の姿勢への意識を有意に高めることが明らかになった一方、楽しさには影響を与えないことがわかった。

**キーワード:** 姿勢矯正, ストレートネック, スマホ首, 首の角度推定, バイオフィードバック, シリアスゲーム

## 1. はじめに

首の骨がまっすぐになってしまい、首にかかる負荷が分散できず首への負荷が増大する、「ストレートネック」が大きな問題となっている。ストレートネックとは、図 1 に示すように、本来湾曲しているべきである首の骨の湾曲が少なくなり、まっすぐになってしまうことをいう。ストレートネックになってしまうと首こりや肩こりといった健康面、美容面、精神面など様々な悪影響がある。このストレートネックは、何らかの対象を上から覗き込むような形で俯くような、頭部が前に突き出た「頭部前方位姿勢」を長時間続けることによりなりやすいことが知られている。

ここで、頭部前方位姿勢のように姿勢が悪くなりやすい状況として、スマートフォン利用時があげられる。実際、我々が Yahoo!クラウドソーシング<sup>\*1</sup> にて男女 2,000 名を対象としたアンケート調査を 2023 年 7 月に行ったところ、有効回答者 1,623 人のうち約 83% の人がスマートフォンを首の高さ以下の位置で利用していると回答していた [1]。そもそも首は傾ければ傾けるほど首に負荷がかかるとされており (図 2)、日常的に俯いた姿勢でスマートフォンを利用していると首に大きな負荷がかかることになる。この、スマートフォン利用時の頭部前方位姿勢を防ぐには、日常的

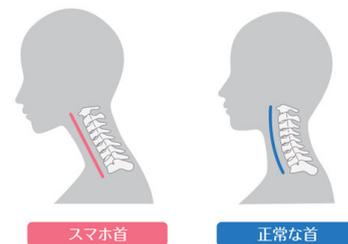


図 1: ストレートネックと正常な首



図 2: 首の角度と首への負担 [2]

に姿勢に注意してスマートフォンを利用する必要があるが、自身で意識することは容易ではない。そのため、システム等によってユーザのスマートフォン利用時の姿勢をリアルタイムで推定し、姿勢に応じてフィードバックを返すことが重要であると考えられる。

このような問題を解決するため、我々はこれまでにスマートフォンのみを用いてユーザの首の角度を推定する手法を提案してきた。データセットを構築し、0度~60度の

<sup>1</sup> 明治大学  
Meiji University

<sup>\*1</sup> <https://crowdsourcing.yahoo.co.jp>

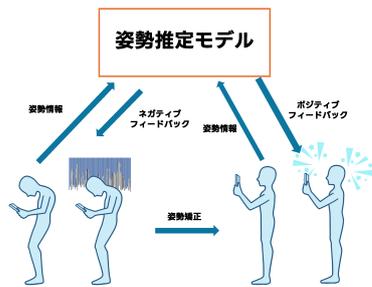


図 3: 姿勢に応じたフィードバックのイメージ

姿勢を 10 度刻みに分類し精度を検証した結果、平均 30～40%程度の正解率であり、高精度とは言えないもののある程度の精度で推定可能であることが明らかとなった。

そこで本稿では、この首の角度推定手法を用いて実際にユーザの姿勢をリアルタイムに推定しフィードバックを行うことで、姿勢矯正の促進可能性について検証する。ユーザへのリアルタイムフィードバックの手法は様々な考えられるが、本稿では楽しみながら行えることでモチベーションを保ちやすいシリアスゲームに着目した。シリアスゲームとは、娯楽のみでなく、教育や医療、ビジネスなど社会的に効果のある目的を持ったゲームのことであり、ヘルスケアやフィットネスに対してシリアスゲームのアプローチが有用であることが様々な研究により示されている [3] [4]。そのため、姿勢が良いとスコアが上がりやすく、逆に姿勢が悪くとスコアが上がりにくくなるようなシリアスゲーム(図 3)をデザイン、実装することで、ユーザの姿勢矯正を促進できることが期待される。本稿では、このようなゲームを開発し、首の角度のリアルタイムフィードバックの効果について実験により検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1 スマートフォンの利用と首への負担に関する研究

スマートフォンの利用と首への負担に関する研究は様々な行われている。Namwongsa らは、タイの学生 799 名に対し、スマートフォンの利用と筋骨格系障害に関するアンケート調査を行った [5]。12 ヶ月の実験の結果、喫煙とスマートフォン利用時間が頸部筋骨格系障害と関係していることを明らかにした。さらに、様々な首の角度で 1 分 30 秒のテキスト入力作業を行い、首の筋活動と首の痛みを測定する実験を行った [6]。実験の結果、首の角度が大きくなるほど頸部脊柱起立筋の筋活動が増加することから、スマートフォン利用時の首の角度は 0 度～15 度の間が望ましいと述べている。また Lee [7] は、スマートフォンの利用者の首の角度、可動域、筋持久力、痛みと障害の関係を調査し、スマートフォンの首を曲げた姿勢での長利用時間が長いほど首の痛みが悪化し、日常生活に支障を感じる日数が増えることを明らかにした。

我々の研究は、この首を曲げた状態でのスマートフォン

利用による身体への負担を軽減させるため、ユーザの首の角度を推定することを目的としている。

### 2.2 着座姿勢における姿勢矯正システム

PC 作業時などの着座姿勢における姿勢矯正システムについての研究は様々なものがある。Ishimatsu ら [8] は、ユーザの姿勢を横から Kinect を用いて撮影することで上半身の前傾姿勢を、座面に複数の圧力センサを設置することで足の交差を検知し、不良姿勢時にポップアップウィンドウを用いてフィードバックする「BITAIKA」システムを開発した。30 分の PC 作業を行う実験の結果、システム利用時の方が不良姿勢を取った時間が有意に短かったことを明らかにした。Kim ら [9] は PC 作業時のディスプレイ上部に 3D カメラを取り付けることでユーザの前傾姿勢を検知するシステムを開発した。実験の結果、ポップアウトウィンドウを用いた視覚的なフィードバックがユーザの前傾姿勢防止を支援することを明らかにした。また Choi ら [10] は、ユーザに感知されない速度で上下左右、前後傾斜に動く可動モニタを用いることでユーザの姿勢を誘導するシステムを開発した。50 分の文書作成タスクを行う実験の結果、従来の固定モニタに比べて頭部前方位姿勢を取る時間が短く、疲労度も少ないことを明らかにした。

これらの研究はユーザの行動範囲が限定されている状況において有効であるが、スマートフォン利用時のようにユーザが広範囲に移動する可能性がある場合には適応が困難である。我々の研究は、より多様な場面でユーザの姿勢を推定することを目的としている。

### 2.3 スマートフォン利用時の姿勢矯正システム

スマートフォン利用時における姿勢矯正システムについても様々な研究されている。特に加速度センサを用いて首の角度をセンシングするものが多い。ケーブル部分が首のラインに沿うようになっているネックバンド型のワイヤレスイヤフォンを装着し、ケーブル部分に加速度センサを設置するもの [11] や、ウェアラブルネックレスの首裏部分に加速度センサを設置するもの [12]、導電性糸を用いて電子機器をテキスタイルに組み込む技術を用いたベスト [13] など様々な形態のものがある。これらの研究では、首筋や首裏に直接センサを取り付けるため正確に首の角度を取得できる一方、ウェアラブルセンサを購入、装着しなければならず、導入コストが高いといえる。

一方、スマートフォンのみを用いた姿勢矯正システムについても多数研究されている。Gupta [14] は、スマートフォンの加速度センサから傾きを取得し、その値をもとにユーザの姿勢を判定している。Lee ら [15] は、スマートフォンの傾きと内カメラの映像に映るユーザの顔領域の大きさ、形状、明るさ等を用いてユーザの姿勢を判定するシ

ステムを開発した。これらの研究では、ユーザの背筋に対する首の角度と首に対する顔の角度が同一のものとして扱われており、首に負荷をかける要因を正確に推定することができていない。

我々の研究もこれらの研究と同様にスマートフォン利用時のユーザの首の角度を推定するものであるが、スマートフォンのみでユーザの顔の角度を考慮して首の角度推定を行うものである。

## 2.4 シリアスゲームに関する研究

ユーザの知識獲得、行動変容などを目的としてシリアスゲームを活用する研究は様々行われている。Bañosら [16] は、子供の栄養に関する知識向上を目的としたオンラインビデオゲーム「ETIOBE Mates」と、パンフレットなどの紙とペンによる情報提示を比較したところ、提案手法の方が有意に知識を獲得できたことを明らかにしている。Fuchslocherら [17] は、10代の糖尿病患者の自己管理能力を向上させるために「Balance」というゲームを開発した。糖尿病について明示的に言及するものと、糖尿病関連の要素を含まない暗示的なものを比較したところ、明示的なものの方が楽しさや自己効力感が高かったことを示している。

姿勢矯正に対してシリアスゲームを用いてアプローチする研究も行われている。Mihačevićら [18] は首の運動を促すため、VR環境で蝶を捕まえるゲームを開発しユーザスタディを行った結果、真っ白な画面より現実の風景に近い環境の方がモチベーションが高く持続することを明らかにしている。Beltran-Alacreuら [19] は、慢性的な首の痛みをもつ高齢者を対象に頭部の動きで仮想飛行機を制御するゲームを開発し、シリアスゲームがユーザにとって楽しくかつリハビリテーションに役立つと感じさせることを示している。

シリアスゲームを用いた研究を体系的にメタレビューした研究も行われている。Andrewら [20] は、青少年の健康促進を目的としたシリアスゲームを用いた論文21件を対象に体系的なスコープレビューを行っている。調査の結果、いくつかの論文では有効性を示している一方、適切な検証が行われていない、または効果が小さかったと述べている研究があることを明らかにしている。また、有効なシリアスゲームを設計するためにはゲームデザイン、ユーザとの関連性など様々な要因が重要であると述べている。

本研究もこれらの研究と同様にスマートフォン利用時の姿勢をシリアスゲームを用いて改善するものであり、VRヘッドセットやウェアラブルセンサなどを必要としない、プレイするハードルが低いゲームを目指す。

## 3. 姿勢矯正用シリアスゲーム：上を向いてタップしよう

### 3.1 姿勢に応じたフィードバックの設計

ユーザの姿勢矯正を促進することを目的としたゲームを開発するため、姿勢が良いとゲームにポジティブな影響を、悪いとネガティブな影響を及ぼすようにフィードバックを与える。ゲームにポジティブな影響を与える要素はスコアの補正や報酬音など様々考えられるが、本稿ではゲームプレイ中に姿勢矯正を促進したい、日常的に使う際周囲の人への影響を小さくしたいなどの理由から、ゲームプレイ中に視覚的にフィードバックを与えることを考える。

ここでは、画面やコンポーネントの色やコントラストに着目し、姿勢が良いとコントラストが高く認識しやすくなり、姿勢が悪いとコントラストが低くコンポーネントを識別しにくくなるようにする。このようにすることで、ユーザはゲームプレイ中に操作しやすくするために自然と姿勢を正しくすることが期待される。また、一定以上姿勢が正しい場合にユーザが求めている特定のコンポーネントをハイライトしポップアウトさせることで、ユーザがその閾値の範囲内に姿勢を維持しようとするのが期待される。

ここで、多くのユーザはスマートフォンを操作する際画面と顔の距離が近く、ユーザの目から首元がうちカメラに映らず姿勢が推定できないことが想定される。そのため、一定時間姿勢が推定できなかった場合はゲームを続けることができないようにすることで、極端に悪い姿勢でプレイし続けることを避けることができると考えられる。

### 3.2 ゲーム内容

3.1節で設定したフィードバックの効果を高めるため、複数のコンポーネントの中から特定のものを探索するようなタスクが適していると考えられる。そこで本稿では、ランダムに配置された数字を素早く順番に押していく「数字早押しゲーム」を採用することとした。数字早押しゲームは探索力や集中力を必要とし、文章の速読やスポーツにも効果があると言われている [21]。

この数字早押しゲームにおける数字が書かれたボタンの色やコントラスト変化の対象とすることで、複数あるボタンから特定の番号のものを探索する易度を制御可能と考えられる。また、一定以上姿勢が良い場合に次に押すべきボタンをハイライトすることで、ボタンの探索が容易になりユーザがその範囲に収まるように姿勢を制御することが期待される。なお、ゲームバランスの調整のため、正しい順番でボタンを押せた場合はその後ボタンの色を変化させることで識別しやすくし、間違った番号のボタンを押した場合はペナルティとして2秒間次のボタンを押せなくすることで不用意な乱打行為を防ぐ。

### 3.3 キャリブレーション

ユーザの首の角度を正確に推定するためには、ユーザの最も良い姿勢を基準姿勢として取得する必要がある。そのため、ゲーム開始前に姿勢練習画面（図 4）で姿勢を正してもらいながら、一定の基準を満たしたタイミングのものを基準姿勢として記録した。ここでの基準とは、基準姿勢を取得する際にスマートフォンの角度やユーザの顔の角度などの特徴量の影響が大きいと首の角度推定に大きく影響を与えてしまうことから、そのような要因を小さくするために設けた。具体的には、これまでの研究 [1] で扱っている特徴量を用いて以下のような条件を設定した。

- (1) スマートフォンの 3 軸ジャイロセンサの値 (alpha, beta, gamma) が地面に対して垂直に近いかつユーザに対して正対している
  - $-3 < ((\alpha + 180) \bmod 360) - 180 < 3$
  - $-3 < \beta - 90 < 3$
  - $-3 < \gamma < 3$
- (2) スマートフォンに対するユーザの顔の角度 (pitch, roll, yaw) が全て  $\pm 3$  度未満である
- (3) ユーザの目から首元までが正常に骨格推定可能である



図 4: 姿勢練習画面

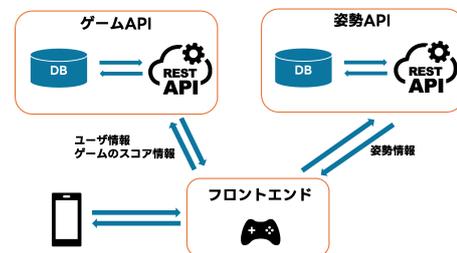


図 5: システム構成

### 3.4 システム構成

本章でこれまで述べてきたようなゲームを実現するため、本稿ではブラウザで動作する Web アプリケーションとして実装した。システム構成は図 5 に示すように大きく 3 つのコンポーネントからなる。まずはユーザが実際に操作するフロントエンド、ユーザ情報やゲームのスコア情報をやり取りするゲーム API、そしてユーザの画像とセンサ情報から首の角度を推定する姿勢 API である。ゲーム API では単純な DB と連携した REST API としての処理、姿勢 API では GPU を用いて画像処理や機械学習など計算量が多く重い処理を行っている。

ここで、姿勢 API で用いる首の角度推定モデルは、これまでの研究でデータセットのノイズや特徴量抽出の不安定さにより精度が低下していることが考えられている。そこで、そのようなデータの特性を考慮したモデルを用いることで改善する可能性がある。これまでの研究で用いていたランダムフォレストと同様の決定木アルゴリズムを用いたもので、よりランダム性が高いことからノイズや外れ値にロバストになることが期待されるエクストラツリーというモデルがある。実際に同様のデータセットを用いて学習したところ、 $R^2$ ,  $RMSE$ ,  $MAE$  の全ての指標において僅かに精度が高かったため、本稿ではエクストラツリーを用いて学習したモデルを用いることとする。

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

ユーザの姿勢に応じてゲームの難易度を操作するフィードバックがゲーム中の意識や体験に与える影響を明らかにするため、以下の 2 つの仮説を立て実験を行った。

- 仮説 1: ユーザの姿勢が良いとゲームがやりやすく、姿勢が悪いとゲームがやりにくくなるようなフィードバックを与えることで、ユーザの姿勢矯正意識が増加する
- 仮説 2: ユーザの姿勢の良さに連動したゲームの難易度の調整により、ゲームの楽しさが増加する

実験はユーザの首の角度に連動したフィードバックを行う条件と行わない条件の 2 条件を用意し、それぞれのプレイ終了後にゲームの楽しさや姿勢への意識についての主観評価を行うことで比較する。ここで、首の角度に連動したフィードバックを行わない条件でも姿勢データを取得するため、フィードバックを行う場合と同様にユーザの姿勢が推定できない場合はボタンを押さないようにした。姿勢推定に失敗する場合は顔認識に失敗する機会が多いため、姿勢推定の失敗のみをフィードバックする条件を顔認識 FB 条件、それに加え首の角度に連動したフィードバックを行

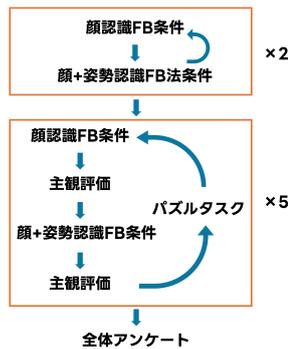


図 6: 実験の流れ

う条件を顔+姿勢認識 FB 条件とする。なお、顔認識に成功していてもユーザの首元が映っていない場合や確信度が低い場合は、顔認識失敗時と同様に姿勢推定失敗として扱った。

実験参加者ごとに普段のゲームへの慣れや姿勢への意識などが異なることが予想されたため、実験者内計画を採用した。データポイントを複数取得するため、顔認識 FB 条件をプレイした後顔+姿勢認識 FB 条件をプレイし、その後主観評価を行う一連の流れを 1 セットとし、それを 5 セット行うこととした。ここで、ゲームやフィードバックに慣れておらず評価が特異であることが予想されるため、事前練習として主観評価は行わず顔認識 FB、顔+姿勢認識 FB 条件を交互に 2 回ずつプレイしてもらうこととした。実験参加者は大学生、大学院生 10 名で、全て男性であった。

#### 4.2 実験手順

実験の流れを図 6 に示す。実験参加者にはまず実験の流れを説明した後、3.3 節で述べたキャリブレーションを行ってもらった。参加者の基準姿勢を取得した後、図 4 における画面中央の「キャリブレーション中」と表示されている場所に推定された首の角度を表示し、どのような姿勢で首が何度と推定されるか把握してもらった。その後、事前練習として顔認識 FB 条件、顔+姿勢認識 FB 条件の順にゲームをプレイするという流れを 2 回繰り返してもらっ

た。そして本実験として、顔認識 FB 条件をプレイ後主観評価を行い、その後顔+姿勢認識 FB 条件をプレイ後主観評価を行うという手順を 5 セット行ってもらった。顔+姿勢認識 FB 条件での姿勢が良い場合、中程度の場合、悪い場合の画面、顔認識 FB 条件の画面、姿勢推定失敗時の画面を図 7 に示す。なお、図 7a のように次に押すべきボタンがハイライトされる条件は、首の角度が 15 度以内とした。

ここで、ゲームプレイ中は立った状態で手にスマートフォンを持って行ってもらった。また、各セット間では前後効果を考慮するため、ピースを並び替え枠内に納めるブロックパズルに取り組むパズルタスクを 3 分間座って行ってもらった。全てのセットが終了したのち、全体についてのアンケートに回答してもらい、実験を終了した。実験は全体でおよそ 45 分を要した。なお、実験環境においてフロントエンドでユーザの顔画像を取得してから首の角度の推定結果が得られるまでのレイテンシはおよそ 0.5~1.0 秒程度であった。

#### 5. 結果

各セットごとにゲーム中の姿勢への意識とゲームの楽しさについて、5 段階のリッカート尺度で評価してもらった結果を実験条件ごとに示したものを図 8、図 9 に示す。姿勢についての意識は顔+姿勢認識 FB 条件の方が高い一方、ゲームの楽しさはほとんど変化がないことがわかる。各セットにおける顔認識 FB 条件での評価と顔+姿勢認識 FB 条件での評価をペアとして、対応のある t 検定 ( $n = 5$  セット  $\times 10$  人) を行ったところ、姿勢についての意識は顔+姿勢認識 FB 条件の方が有意に高いことが示された ( $p < .001$ )。

また、ユーザの姿勢がどのように推定されていたかを調べるため、各セットごとの首の角度の推定結果について分析を行う。各セットでの全体的なユーザの姿勢の違いを評価するため、極端に姿勢の良いまたは悪いデータを除いた平均を比較する。角度ごとのヒストグラムを作成したところ外れ値となるようなデータが存在したため、上下 10% のデータを除き中央 80% のデータを採用することでそのよう



(a) 顔+姿勢認識 FB (良) (b) 顔+姿勢認識 FB (通常) (c) 顔+姿勢認識 FB (不良) (d) 顔認識 FB (e) 顔認識失敗時

図 7: ゲーム中の画面

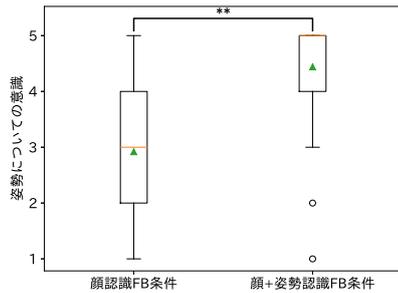


図 8: ゲーム中の姿勢への意識

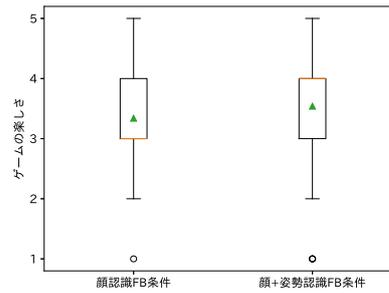


図 9: ゲーム中の楽しさ

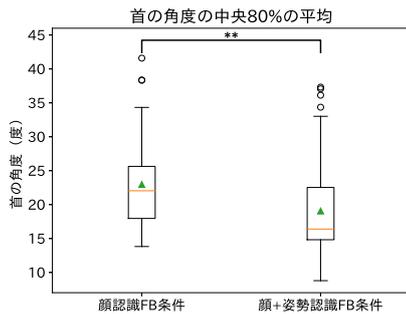


図 10: 首の角度の平均 (中央 80%)

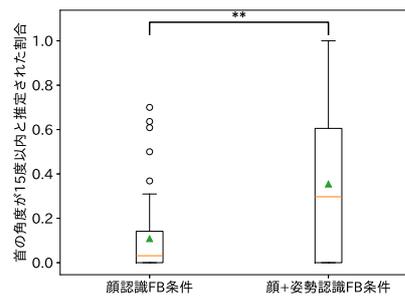


図 11: 首の角度が 15 度以内の割合

なデータを除外した。図 10は、実験条件ごとに箱ひげ図で示したものである。同様に対応のある t 検定を行ったところ、顔+姿勢認識 FB 条件の方が有意に姿勢がいいと推定されていることがわかった ( $p < .001$ )。また、顔+姿勢認識 FB 条件では首の角度が 15 度以下と推定された場合に次に押すべきボタンのテキスト色を変化させることで、ユーザが首の角度を 15 度以内に維持しようとするのが期待された。そこで、各セットにおいて首の角度が 15 度以内と推定された割合を実験条件ごとに比較した結果を図 11に示す。対応のある t 検定を行った結果、顔+姿勢認識 FB 条件の方が有意に首の角度が 15 度以内であると推定された割合が高いことがわかった ( $p < .001$ )。

また、全体に関するアンケートの結果から、姿勢に連動したフィードバックは新しく魅力的である一方、ゲームに疲労感を感じる参加者が多かった。姿勢に関するフィードバックは、多くの参加者が背景色の変化よりテキスト色がハイライトされるものの方が効果的だと回答している一方、「次に押すべきボタンがポップアウトすることでゲームが簡単になりすぎて面白さが減る」といった意見も得られた。

## 6. 考察

### 6.1 姿勢への意識

5章で得られた結果より、ユーザの首の角度に連動したフィードバックはユーザの姿勢矯正への意識を高めること

が明らかになり、仮説 1 が支持される結果となった。これは、ユーザの姿勢がリアルタイムに画面に反映され、ユーザが気付かずに姿勢が悪くなっていることに気づきやすかったこと、姿勢がいいとゲームがプレイしやすくなるために正しい姿勢を維持するモチベーションが持続したことが要因として考えられる。また、首の角度推定モデルによって推定された角度も顔+姿勢認識 FB 条件の方が有意に高かったことから、ユーザの姿勢への意識が推定結果にも表れているといえる。さらに、首の角度が 15 度以内と推定された割合が有意に高かったことから、ある閾値より姿勢が正しい場合にゲームをプレイしやすくなるフィードバックにより、ユーザの姿勢をその閾値以内に維持するように誘導できたといえる。この閾値を変化させることで、よりユーザの姿勢を正しくするように誘導できる可能性が考えられる。ユーザの主観評価の結果からも、推定モデルはある程度精度よく推定できていたと感じている一方、「姿勢が良いと評価される時とそうでない時の違いがわからなかった」、「細かな首の動きでもフィードバックが変化していた」などの意見が得られていたことから、安定性の面では懸念があるといえる。

一方、顔認識 FB 条件では姿勢に応じたフィードバックは行っていないにも関わらず、姿勢への意識について顔+姿勢認識 FB 条件と同程度の評価をつけた参加者も複数名いた。これは、3 分間のパズルタスクを行っているにも関わらず、前回の顔+姿勢認識 FB 条件で得た姿勢への意識

がリフレッシュしきれなていなかった可能性が考えられる。各セットにおける姿勢への意識について参加者平均を実験条件ごとに示したものを図 12 に示す。図から、顔+姿勢認識 FB 条件では 1 セット目から姿勢への意識が高く最終セットまでほとんど変化がないのに対し、顔認識 FB 条件では 1 セット目では姿勢への意識が低く、セットが進むにつれ姿勢への意識が上がっていく傾向にあることがわかる。これは顔+姿勢認識 FB 条件での得た姿勢への意識がパズルタスクを行っても次のセットに残り、顔認識 FB 条件でも意識したためと考えられる。このことから、本フィードバック手法による姿勢への意識向上はある程度持続力があるものであるといえる。また、各セットにおける首の角度（上下 10% を除いた中央 80% の平均）を参加者平均を実験条件ごとに示したものを図 13 に示す。図から、顔認識 FB 条件ではセットが進むにつれ首の角度の値が小さくなっていくが、顔認識 FB 条件では変化がないことがわかる。これは姿勢については意識しているがフィードバックがないために首の角度を修正できていない、疲れにより正しい姿勢を維持できなかったなどの要因が考えられる。実際に実験で疲労感を感じた参加者もあり、「正しい姿勢を続けるのは疲れるなどと思った」、「スマートフォンを顔の高さに維持するために腕が疲れた」などの意見が得られた。そのため、試行回数を減らす、インターバルを増やすなど実験設計を改善することにより姿勢への意識と首の角度の変化について要因を明らかにできると考えられる。

また、首の角度に連動したフィードバックを行わない条件でも首の角度を推定するためユーザの顔が認識できない場合はゲームを続行不可能にしたが、内カメラに顔から首元までが映るようにしようとする行為が姿勢への意識につながった可能性も考えられる。これは、姿勢情報をスマートフォンからではなくユーザを真横から撮影するなどして取得することで、よりユーザの普段の姿勢や姿勢に対する意識を測ることができる可能性があるため、今後検証していく予定である。

## 6.2 ゲームの楽しさ

5章で得られた結果より、首の角度に連動したフィードバックではゲームへの楽しさは変化せず、仮説 2 は支持されない結果となった。これは、ゲーム自体が単調であり、複数回行うと飽きてしまうことが考えられる。実際にユーザからの主観評価の結果、「ゲーム内容が単調なので、何かギミックがあれば面白そう」、「パズルなどもう少し内容の多いゲームだといいかなどと思った」、「ゲーム自体がすぐに飽きそう。ただ、タイムアタックは悔しかったので更新したい」などの意見が得られ、ゲームの内容を改善することで楽しさが変わることが期待される。

また、姿勢推定の精度やクリアタイムが影響した可能性

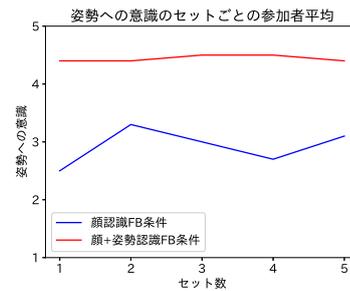


図 12: 姿勢への意識のセットごとの参加者平均

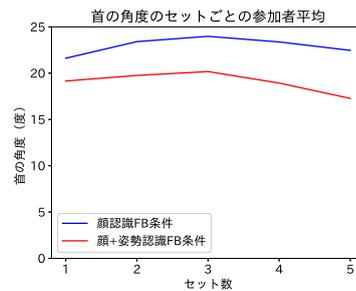


図 13: 首の角度のセットごとの参加者平均

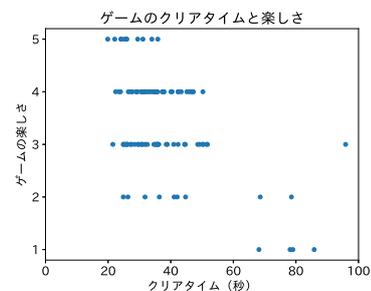


図 14: ゲームの楽しさとクリアタイム

も考えられる。横軸にゲームのクリアタイム（秒）、縦軸にゲームの楽しさをとった散布図を図 14 に示す。図から、ゲームのクリアタイムとゲームの楽しさには負の相関があることがわかり、その決定係数は  $-0.52$  と強い負の相関があった。ユーザからの主観評価からも、「顔が検出されない状態が長く続くとつまらないと感じた。クリア時間の半分以上を占めていた場合もあり、操作ができないのに時間だけが過ぎていく設定は面白くないと感じた。」、「自分が悪いのかもしれないが認識ができないが多かったため。安定してプレイできればやりたいと思った。」などのコメントが得られ、姿勢推定に失敗した割合などによって楽しさが低減した可能性がある。

このようにゲームの楽しさの評価にはゲーム自体の内容や姿勢推定の精度、クリアタイムなど様々な要因が影響しており、首の角度に連動したフィードバックによる差が現れなかった可能性がある。そのため、ゲームの内容や姿勢推定の成功率、実験設計を改善することでそのような影響を考慮してゲームの楽しさを測ることができると考えられる。

## 7. まとめ

本稿ではユーザの姿勢矯正への意識を向上するため、ユーザの首の角度をリアルタイムに推定しフィードバックするシステムをシリアスゲームとして実現した。ユーザの姿勢が良いとゲームがプレイしやすくなる、姿勢が悪くとプレイしにくくなるようなフィードバックを与えることで、ゲームプレイ中の姿勢について意識させるようなゲームをデザインした。本稿では画面内のコンポーネントの色やコントラストに着目し、数字早押しゲームに適応させ、その姿勢矯正への意識やゲームの楽しさを与える効果を検証するため実験を行なった。実験の結果、ユーザの姿勢に応じたフィードバックがある場合、フィードバックがない場合に比べて有意に姿勢矯正への意識が高く、閾値の設定により一定の角度以内にユーザの姿勢を誘導可能である可能性が示唆された。一方ゲームの楽しさには影響がみられず、ゲーム自体の内容や姿勢推定の成功率、ゲームのクリアタイムなどが影響し、首の角度に連動したフィードバックの有無による差がみられなかったことが要因と考えられる。

今後は、ゲームの内容や姿勢推定の精度を改善し、よりユーザが楽しくかつ姿勢について意識させるようなゲームの開発を目指す。また、本稿で実現したゲームのみでなく他のゲームプレイ時やSNS利用時など、日常的なスマートフォン利用シーンにも応用可能なシステムを開発し、より幅広い場面でユーザの姿勢矯正意識を高めることを目指す。

## 謝辞

本稿で用いたシリアスゲームは、ハッカソンで作成したものをもとにしています。開発にご協力いただいた山崎郁未氏、櫻井翼氏、中川由貴氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 渡邊 健斗, 中村 聡史: スマートフォン利用時の姿勢矯正に向けた首の角度推定手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2024-HCI-206, No. 25, 情報処理学会, pp. 1-7 (2024).
- [2] Hansraj, K. K.: Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head, *Surg Technol Int*, Vol. 25, No. 25, pp. 277-9 (2014).
- [3] Graafland, M. and Schijven, M.: How serious games will improve healthcare, *Digital health: scaling healthcare to the world*, pp. 139-157 (2018).
- [4] Haruna, H. et al.: An iterative process for developing digital gamified sexual health education for adolescent students in low-tech settings, *Information and Learning Sciences*, Vol. 120, No. 11/12, pp. 723-742 (2019).
- [5] Namwongsa, S. et al.: Factors associated with neck disorders among university student smartphone users, *Work*, Vol. 61, No. 3, pp. 367-378 (2018).
- [6] Namwongsa, S. et al.: Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain, *Ergonomics*, Vol. 62, No. 12, pp.

- 1524-1533 (2019).
- [7] Lee, H.-j.: Neck pain and functioning in daily activities associated with smartphone usage, *The Journal of Korean physical therapy*, Vol. 28, No. 3, pp. 183-188 (2016).
- [8] Ishimatsu, H. and Ueoka, R.: BITAIKA: development of self posture adjustment system, *Proc. of the 5th Augmented Human International Conference*, pp. 1-2 (2014).
- [9] Kim, J. et al.: A feedback system for the prevention of forward head posture in sedentary work environments, *Proc. of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems*, pp. 161-164 (2016).
- [10] Choi, K. et al.: A comparison study of posture and fatigue of neck according to monitor types (moving and fixed monitor) by using flexion relaxation phenomenon (FRP) and craniovertebral angle (CVA), *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 17, p. 6345 (2020).
- [11] Liao, D.-Y.: Design of a secure, biofeedback, head-and-neck posture correction system, *2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, IEEE, pp. 119-124 (2016).
- [12] Chung, H. et al.: Design and implementation of a novel system for correcting posture through the use of a wearable necklace sensor, *JMIR mHealth and uHealth*, Vol. 7, No. 5, p. e12293 (2019).
- [13] Martins, J. et al.: Towards a Smart-Vest for Forward Posture Monitoring: Improving Usability with E-Textiles, *2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG)*, IEEE, pp. 215-218 (2023).
- [14] Gupta, H.: Smartphone based cervical spine stress prevention, *Journal of Software Engineering and Applications*, Vol. 11, No. 2, pp. 110-120 (2018).
- [15] Lee, H. et al.: A new posture monitoring system for preventing physical illness of smartphone users, *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, IEEE, pp. 713-716 (2013).
- [16] Baños, R. et al.: Efficacy and acceptability of an Internet platform to improve the learning of nutritional knowledge in children: the ETIOBE mates, *Health education research*, Vol. 28, No. 2, pp. 234-248 (2013).
- [17] Fuchslocher, A. et al.: Serious games for health: An empirical study of the game "Balance" for teenagers with diabetes mellitus, *Entertainment Computing*, Vol. 2, No. 2, pp. 97-101 (2011).
- [18] Mihajlovic, Z. et al.: A system for head-neck rehabilitation exercises based on serious gaming and virtual reality, *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 77, pp. 19113-19137 (2018).
- [19] Beltran-Alacreu, H. et al.: A serious game for performing task-oriented cervical exercises among older adult patients with chronic neck pain: development, suitability, and crossover pilot study, *JMIR Serious Games*, Vol. 10, No. 1, p. e31404 (2022).
- [20] Andrew, L. et al.: Serious games for health promotion in adolescents—a systematic scoping review, *Education and information technologies*, Vol. 28, No. 5, pp. 5519-5550 (2023).
- [21] 日本速読協会: スポーツにも役立つ!? 数字早押しトレーニングに挑戦 — 速読情報館, <https://www.sokunousokudoku.net/media/?p=766>. accessed 2025/02/21.