

スマホ上でのモーションキャプチャによる 筋力トレーニング支援

古家 一樹¹ 藪内 友貴¹ 小野 有矢¹ 高田 秀志²

概要：

2020年に発生した感染症により、リモートワークなどが普及し、自宅で過ごす時間が多くなった。そのため、運動不足にならないように、自宅でのトレーニングをサポートするようなサービスが普及し、自宅でトレーニングすることが多くなっている。しかし、初心者は、自宅に器具が揃っている場合は少なく、また、知名度が高いトレーニングでも、正しいフォームを知らないが多い。本稿では、知名度が高く、一人でも気軽に行えるスクワットトレーニングを対象として、スマホ上でユーザの体をモーションキャプチャし、ユーザのトレーニング中の姿勢と時間に基づいて、正しいトレーニングが行えるように支援する手法を提案する。

Strength Training Support by Motion Capture on Smartphone

KAZUKI FURUYA¹ TOMOKI YABUUCHI¹ YUYA ONO¹ HIDEYUKI TAKADA²

1. はじめに

スポーツの技能向上や健康促進を目的に、日常生活でトレーニングを行なっている人は多い。しかし、2020年に発生した感染症により、ジムの営業停止や閉鎖などが起こり、ジムに行きトレーニングを行うことが難しくなった。営業が再開しても、器具を複数人で使い回す、マスクをつけながらではトレーニングは行いにくいなど理由から、再びジムに行く人や新たにジムに行く人は少なく、自宅でトレーニングを行うようになると考えられる。また、リモートワークが広まったことで、多くの人が自宅で過ごす時間が増えた。それに伴い、オンラインでのフィットネスプログラムなどのサービスが普及した。したがって、自宅などでトレーニングを行う人が増加している。

自宅などでトレーニングを行う人が増えている一方で、器具などが十分に揃っている家庭は少ない。初心者は、知名度が高く、気軽なトレーニングから始める。しかし、知名度が高いトレーニングであっても、正しいフォームを知らない人は多い。特に、自宅で一人で行う場合は、自己流

のトレーニングで始める人が多い。そのため、トレーニングの効果が薄まったり、怪我につながることもある。

スクワットトレーニングは一人でも行うことができ、また、下半身だけでなく背中や腹筋などにも効果があるため、全身をバランスよく鍛えることができる。また、人体の中で最大の筋肉群である大腿四頭筋を鍛えることができるため、健康促進にも効果が高い。大腿四頭筋とは、4種類の筋肉からなる複合筋であり、太ももの前方に位置している筋肉のことである。スクワットトレーニングは器具がなくても行えるので、気軽に行えるトレーニングである。しかしながら、最大限に効果を発揮し、怪我を防止するには正しいフォームで行わなければならない。個人がトレーニング中の姿勢を自分で把握するためには、鏡やカメラで撮影した映像を通じて把握する方法があるが、把握した姿勢が正しいかどうかを判断することも難しい。これらのことから、スクワットトレーニングの姿勢支援は有効であると言える。

そこで本研究では、正しい姿勢で、かつ、効率よく怪我を防止できるトレーニングが自宅で行えるように、スマホにより支援することを目的とする。本提案手法では最初に、スマホ上でユーザの体をモーションキャプチャする。

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究科

² 立命館大学 情報理工学部

次に、ユーザのトレーニング中の姿勢と時間を利用して、正しくトレーニングを行えるように支援する。これらの手法を踏まえたアプリの実装を行い、検証実験を行う。また、実験結果より本提案手法が正しいトレーニングを支援する上で有効かどうかを評価する。

以下に、本論文の構成を示す。2章では、スクワットトレーニングの正しいフォームを述べ、筋力トレーニング支援に関する既存の研究を紹介し、それに対する本研究の立場を明らかにする。3章では、トレーニングにおける姿勢と時間を判断することによる提案手法と、支援の表示方法について述べる。4章では、検証実験の検証方法と評価基準について述べる。5章では、検証結果とその考察について述べる。6章では、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

2. 研究方針

2.1 スクワットトレーニング

本研究では、器具を利用しないスクワットトレーニングを対象とする。器具を使用しないスクワットトレーニングは、以下の順序で正しいフォームをとり、これを繰り返す [1]。

- (1) 左右のバランスを保つ姿勢で直立する。足は肩幅または肩幅より少し広めに開く。両手は頭の後ろで組む。
- (2) 目線を前方に向けて上体をできる限り真っ直ぐに保ち、息を吸いながらしゃがみ込む。
- (3) 太ももと床が平行になるまで腰を落とし、1秒程度その状態を保つ。その際、膝がつま先より前に出ないようにする。
- (4) 息を吐きながら立ち上がる。

一人でトレーニングを行う際、姿勢を正しく維持することが難しい。例えば、「膝が爪先より前に出ていないか」を目視で確認しようとする、下を向くときに猫背になってしまう。また、「太ももが床と平行になっているか」の確認も、一人で行うのは難しい。

2.2 関連研究

綿谷らは、筋力トレーニングの一つである体幹トレーニングを対象に、カメラ画像を用いて支援を行っている [2]。体幹トレーニングとは、動作がほぼなく、姿勢を一定時間維持することで行うトレーニングである。この研究では、事前にトレーニングの正しい姿勢の画像を複数枚3次元モデル化しておく。また、被験者がトレーニングを行っている映像をリアルタイムで3次元モデル化する。被験者はこの2つの3次元モデルを重ね合わせ、見比べながら正しいフォームに近づける。そのため、事前に一度だけ正しい姿勢の画像を3次元モデル化して保存することで、姿勢支援を行うことができる。この研究では、ユーザが異なる視点

で見ることでより姿勢を把握しやすくなると考え、重ね合わせたモデルを、正面と横向きの2視点で見ることができるようになっている。

高久らは、Kinectを用いて腹筋運動の支援を行っている [3]。Kinectとは、Microsoft社が提供するモーションセンサシステムであり、深度データを計測することで体のモーションキャプチャを行うことができる。この研究では、まず、ユーザの骨格情報をKinectで取得する。取得した骨格情報の内、頭部、背骨頂部、肘、手首、臀部、膝、足首の7点の座標情報を用い、筋力トレーニングの動作の推定を行う。推定されたトレーニング動作に基づいて、体の移動速度、骨格情報の座標間の角度の観点から支援を行っている。また、ユーザの運動へのモチベーションを高める方法として、ゲーム性を付加してトレーニングのハードルを下げるように図っている。

2.2.1 本研究の位置付け

以上で述べたトレーニング支援の関連研究では、デジタルカメラやKinectを用いてトレーニング支援を行なっている。したがって、パソコン、デジタルカメラ、液晶テレビを用意し、相互に接続する必要があったり、Kinectを用意する必要がある。一方、本研究ではスマホのみを用いて支援を行う。スマホのみで支援が行えるので、自宅などでのトレーニングが容易に行える。また支援方法は、綿谷らの研究では、動作の少ないトレーニングを対象とするため、画像データから姿勢支援を行う。それに対して本研究では、高久らの研究と同様に関節間の角度を用いる。さらに、移動量と時間を用いてトレーニングの姿勢支援を行う。

3. 提案手法

3.1 モーションキャプチャ

ユーザの骨格や関節を認識するために、スマホのカメラを用いて画像を撮影し、モーションキャプチャを行う。モーションキャプチャには、Apple社がiOS端末でAR機能を実現するために提供しているフレームワークARKit3を用いる。ARKit3では、1秒間に60フレームの頻度でユーザの骨格や関節を認識することができる。図1は、実際に関節を認識した結果である。カメラ画像に対して、認識した関節の座標に白丸を表示している。

3.2 姿勢支援の判定基準

筋力トレーニング支援を行う上で、姿勢、特定の筋肉の活性化、トレーニングのペース、体のバランスなどを判定基準に利用する [4]。スクワットトレーニングの正しいフォームより、姿勢支援は次の4点に着目して行う [5]。

- (1) 目線を前方に向けたまましゃがんでいるか
- (2) 膝がつま先より前に出ていないか
- (3) 太ももを地面と平行になるまで落とし込んでいるか
- (4) 1秒間しゃがんだ状態を維持しているか



図 1: ARKit3 による関節の認識結果

3.3 状態判定

まず最初に、スクワットをする時の状態を以下の3つに分類する。

- 最初の立っている状態を初期状態 (図 2)
- しゃがみこんで移動している状態を移動中 (図 3)
- 最後までしゃがみこんで止まっている状態を停止状態 (図 4)

スクワットはこの3つの状態を繰り返す。そこで、現在の状態なのかを判定していく。状態の判定には、前項で認識した関節の座標と、その座標に基づく関節の平均移動量を用いる。まず最初に、初期状態での図 2 に①で示している腰の位置の Y 座標を、初期位置として取得する。次に、平均移動量を求める。前回キャプチャした座標を (x_1, y_1) 、今回キャプチャした座標を (x_2, y_2) とすると、座標から移動量を求める式は $\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ であり、5 回分の移動量の平均を平均移動量として用いる。1 フレーム更新ごとに平均移動量を計算し、平均移動量が 0.7 未満の時は状態が停止、0.7 以上の時は移動しているとする。状態の判定の際、判定を正確にするために初期位置の Y 座標 + 20 の位置で判定を行う。図 2 の②で示している点は初期位置の Y 座標 + 20 の位置である。初期状態、移動中、停止状態での座標と平均移動量による判定は、以下のようになる。

- 初期状態 : 停止 かつ 初期位置の Y 座標 + 20 より上
- 移動中 : 移動 かつ 初期位置の Y 座標 + 20 より下
- 停止状態 : 停止 かつ 初期位置の Y 座標 + 20 より下

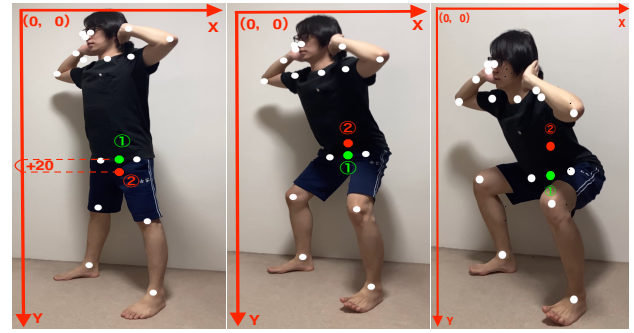


図 2: 初期状態

図 3: 移動中

図 4: 停止状態

3.4 姿勢の判定

3.4.1 目線の判定

移動中、停止状態の時に、目線を前方に向けたままかどうかの判定を行う。この判定を行うために、図 5 に示した右目 (①)、左目 (②)、鼻 (③) のそれぞれの座標を用いる。下を向くと、目などの座標が検出できなくなり、それぞれの位置関係が変わる。前方を向いた状態では 3 点の位置関係を維持できる。したがって、次の 4 つの条件を全て満たしている時、下を向かず目線を前方に向けたままと判定する。

- (1) 鼻の y 座標 > 左目の y 座標
- (2) 鼻の y 座標 > 右目の y 座標
- (3) 鼻の x 座標 < 左目の x 座標
- (4) 鼻の x 座標 > 右目の x 座標



図 5: 目線の判定

3.4.2 角度の判定

停止状態の時に「膝が爪先より前に出ているか」、「太ももが地面と平行になっているか」の判定を行う。図 6 に示している①と②は「膝が爪先より前に出ているか」を判定する時に用いる足首の角度である。また、図 7 に示している③と④は「太ももが地面と平行になっているか」を判定する時に用いる足首の角度である。それぞれの角度を判定するための条件は、以下の通りである。

- (1) ①の角度が 75 度～80 度
- (2) ②の角度が 70 度～85 度
- (3) ③の角度が 55 度～65 度
- (4) ④の角度が 0 度～10 度

停止状態で①と②の角度がどちらか一方でも範囲内にある場合、膝が爪先より前に出ていると判定する。同様に、③と④の角度がどちらか一方でも範囲内にある場合、太ももが地面と平行になっていると判定する。

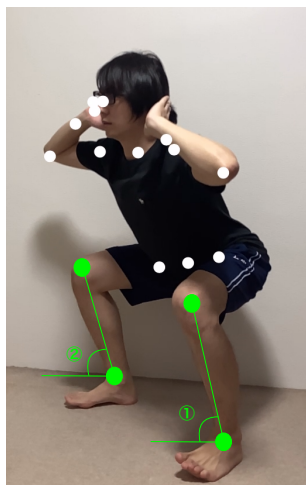


図 6: 膝が出ていないかの判定角度

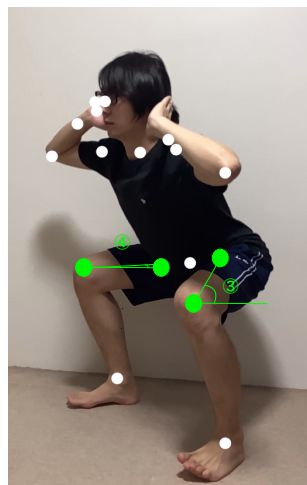


図 7: 太ももが平行かどうかの判定角度

3.5 時間の判定

停止状態の時に 1 秒間の判定を行う。ARKit3 は 1 秒間に 60 フレーム更新される。そのため、停止状態の時に 1 フレーム更新ごとにカウントしていき、60 回カウントされた場合を 1 秒とする。停止状態で 1 秒を超えて状態を維持し続けた場合も、カウントを続ける。60 回に到達しなかった場合や、1 秒を超えて状態を維持した場合であっても、初期状態に戻った時にカウントの合計数を 0 に戻す。

3.6 姿勢支援の提示

姿勢支援は、色付きマーカ、音、文字の 3 種類の方法で提示することにより行う。実際の姿勢支援の提示画面を図 8 に示す。

3.6.1 色付きマーカ

角度による判定基準を満たしているかどうかを視覚的に知らせるために、色付きマーカを用いる。初期状態と移動中では、図 1 のように直径 10 の白い円で表示している。停止状態になった時に判定基準を満たしている場合は、円の大きさが倍になり緑色に変化する。一方で、判定基準を満たしていない場合は、円の大きさが倍になり赤色に変化する。このようにすることで、どこが正しく、どこが間違っているかをすぐに判断することができるようになる。

3.6.2 音

1 秒間しゃがんだ状態を維持しているかどうかを知らせるために音を用いる。1 秒間の判定を行う際、60 カウントされるたびに「ポーン」と音が鳴る。このようにすること

で、状態を維持するように意識するようになる。また、自分で秒数を数える必要がなくなり、姿勢を正すことに集中することができるようになる。

3.6.3 文字

文字による支援は以下の 5 種類で表示する。

- (1) 下を向いていない
- (2) 停止中
- (3) 状態を 1 秒間維持した
- (4) 太ももが床と平行
- (5) 膝が爪先より前に出ている

文字による表示を行うことによって、色マーカよりも具体的に現在の状態を認識できるようになる。



図 8: 支援の表示

3.7 撮影時の条件

トレーニングをしている様子を撮影する時の条件が 2 つある。

- (1) カメラの位置を地面から約 130cm に設置し、被験者はカメラから約 230cm 離れて撮影すること。
- (2) カメラに向かって約 45 度の角度で立つこと。

3.8 実装環境

本トレーニング支援ツールは、Swift を用いてコーディングを行い、iPhone 向けのアプリケーションとして構築した。開発環境は Xcode Version 12.3 (12C33) である。身体のモーションキャプチャを行うために、フレームワーク ARKit3 を利用した。本研究では、実装及び後述する実験に用いた端末として、Apple 社の製品の iPhone SE (第 2 世代) を利用した。

4. 検証実験

4.1 概要

本章では、第3章で述べた内容を踏まえ、提案手法が有用であるかどうかを評価するために行った検証実験について述べる。検証は、提案システムを利用しなかった場合と、利用した場合を比較することにより行う。実験協力者は20歳～23歳の大学生10名で、男性8名、女性2名である。

4.2 実験手順

実験の全体の流れは以下の通りである。

- 本提案手法に関する概要の説明を行い、実験を行う意図について被験者に示す。
- 実験内容に関する説明と諸注意を行い、実験を開始する。
- 実験が終了した後に、アンケートを行う。

検証実験は、最初に提案システムを利用せずにスクワットを行い、次に提案システムを利用してスクワットを行う。それぞれを以下の手順で行う。

- 正しいスクワットのフォームを確認する。
- 3回スクワットを行い、その様子を録画する。
- 録画した映像を被験者が確認し、フォームが正しいかを確認する。
- 3回スクワットを行い、その様子を録画する。
- 録画した映像を被験者が確認し、フォームが正しいかを確認する。
- 3回スクワットを行い、その様子を録画する。

4.3 評価基準

システムが姿勢の判定を正しく行えているか、および、スクワットの支援に役立っているかの2点について評価を行う。システムが姿勢の判定を正しく行えているかについては、スクワットをしている様子を横から撮影し、目視で確認する。スクワットの支援に役立っているかについては、以下の4点に基づいて検証する。

- アンケート
- 停止時間
- 足首の角度の変化量
- 膝の角度の変化量

アンケート内容を表1に示す。Q1～Q4はスポーツやトレーニングを行なっているかのアンケートであり、Q5～Q8は本提案システムを利用しない場合について、Q9～Q12は本提案システムを利用した場合についてのアンケートである。Q5～Q9の選択肢は「1(全く思わない), 2, 3, 4, 5(とても思う)」であり、Q10～Q12の選択肢は「1(全く役に立たなかった), 2, 3, 4, 5(非常に役だった)」である。

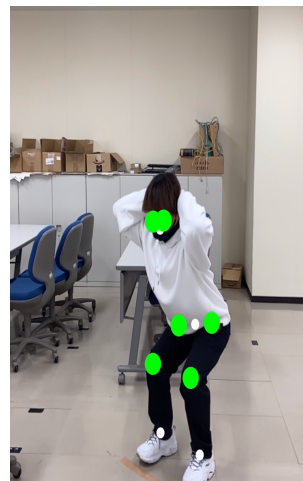
5. 検証結果

5.1 姿勢判定の正しさ

システムが正しく姿勢判定を行えているかを、「膝が爪先より前に出ているか」「太ももが地面と平行か」「目線を前方に向けたまましゃがんでいるか」の3点について確認する。被験者は10名であり、一人当たり9回のスクワットを行なったので、システムが判定を行う回数はそれぞれ90回である。それぞれの判定の結果は2の通りである。

「目線を前方に向けたまましゃがんでいるか」の判定は、1人だけが誤判定される結果となった。被験者の髪の毛が、目にかかるほど長かったので、目を認識できなかったのが原因と考える。このような誤判定を防ぐには、トレーニングを行うときに、髪の毛が目にかからないようにアウンスなどを行う必要がある。

「膝が爪先より前に出ているか」の判定結果は93.33%成功しており、「太ももが地面と平行か」の判定結果の成功率は61.11%である。したがって、成功率が低い「太ももが地面と平行か」に着目して分析する。太ももと地面が平行になっていないが、成功していると判定された例を図9に示す。図10はその様子を横から撮影したものである。また、太ももが地面と平行になっているが、失敗と判定された例を図11に示す。図12はその様子を横から撮影したものである。



下を向いていない
停止中
太ももが床と平行
膝が爪先より前に出っていない

図9: 成功しているとされた誤判定



図10: 図9の様子を横から撮影

表2に示すように、「太ももが地面と平行か」の判定の成功確率が一番低い。判定の成功確率が低い要因として、図9と図11より、足を広く幅が関係していると考えられる。図9のように足を開く幅が狭い場合、正面から見た時に足首から腰の位置までが直線に位置し、しゃがんだ時の左側の膝

表 1: アンケート一覧

	アンケート内容	回答形式
Q1	あなたは今まで何かスポーツをしていましたか	2 択
Q2	あなたは今までどのようなスポーツを何歳から何歳までしていましたか	自由記述
Q3	あなたは私生活で筋力トレーニングを行いますか	2 択
Q4	あなたはどのような筋力トレーニングを 1 週間に何回行いますか	自由記述
Q5	支援表示なしの動画でも正しいフォームに近づけたと思いますか	5 段階評価, 自由記述
Q6	支援表示なしの動画でも太ももと床が平行になるように腰を落とすことができましたと思いますか	5 段階評価, 自由記述
Q7	支援表示なしの動画でも膝が爪先より前に出ないようにすることができたと思いますか	5 段階評価, 自由記述
Q8	支援音声なしの動画でも 1 秒間状態を維持することができたと思いますか	5 段階評価, 自由記述
Q9	本システムを利用して正しいフォームに近づけたと思いますか	5 段階評価, 自由記述
Q10	色マーカは姿勢支援に役立ちましたか	5 段階評価, 自由記述
Q11	文字による指示は姿勢支援に役立ちましたか	5 段階評価, 自由記述
Q12	音は状態維持の支援に役立ちましたか	5 段階評価, 自由記述
感想	本システムを利用して, よかった点や悪かった点などがあれば自由に書いてください	自由記述

表 2: 判定結果

	膝が爪先より前に出ているか	太ももが地面と平行か	目線を前方に向けたまましゃがんでいるか
誤判定の数	6 回	35 回	8 回
誤判定の割合	6.67 %	38.89 %	8.89 %



図 11: 失敗しているとされた誤判定



図 12: 図 11 の様子を横から撮影

の角度が小さくなる。これにより、膝の角度が判定を満たす。一方、図 11 のように足を開く幅が広い場合、正面から見た時に足首から腰の位置までが直線上に位置しない。これにより、しゃがみこんだ時に左側の膝の角度が大きくなるので、判定基準外になる。これを解決するには、両肩の座標と足首の座標より足の開き幅を求め、それぞれの状態で角度の判定基準を分けるなどの必要がある。また、左側と右側の膝の角度の設定を再検討する必要がある。

5.2 トレーニング支援への役立ち度

5.2.1 アンケート結果

被験者へのアンケート結果は以下の通りである。

まず、支援なしの場合に対して結果を分析する。

Q5 に対し、65 % の人がどちらとも言えない、あまり思わない、全く思わないと答えていた。自由記述では、「何を見れば良いかはわかるが、できているかどうかはわからなかった」「自分ではやっているつもりでも動画を見たらできていなかった。どこを意識したらいいのかがわからなかった。」などの意見があった。これにより、動画で録画するだけでは、姿勢が間違っているとわかっていても、どこを直せば良いかまではわからないと考えられる。したがって、動画で録画するだけでは効果が低いと考えられる。

Q6 に対して、60 % の人がとても思う、やや思うと答えていた。自由記述では、「意識はしていたが、できていたかはわからない」という意見があった。視覚的にわかりやすい姿勢の修正は、映像のみでもできると感じる人が多いが、正しい姿勢に近づけているかどうかは、映像を見るだけではわからないと考えられる。

Q7 に対して、70 % の人がどちらとも言えない、あまり思わない、全く思わないと答えていた。自由記述では、「斜め前から撮った映像では、膝と爪先の位置関係がわかりづらいように感じた」「気をつけてはいたが、基準がわからなかったため曖昧にしかできなかった」という意見があっ

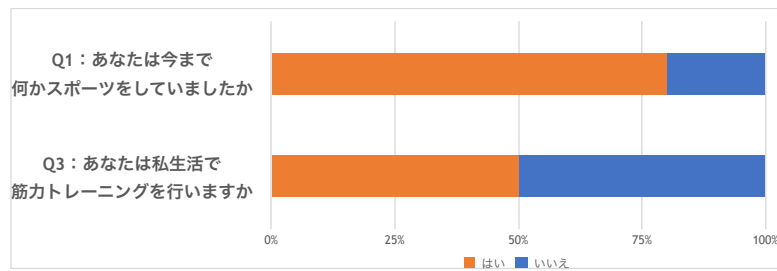


図 13: Q1, Q3 のアンケート結果

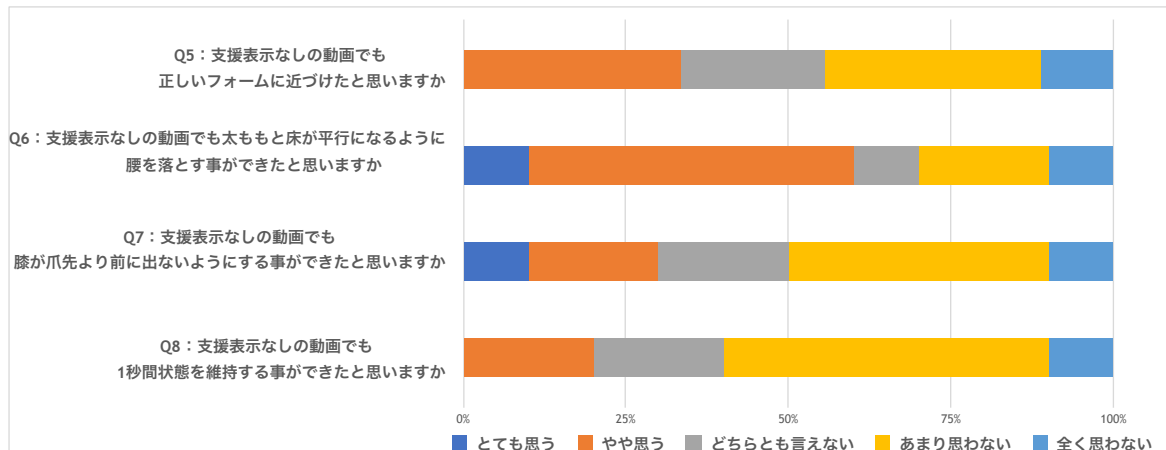


図 14: Q5, Q6, Q7, Q8 のアンケート結果

た。Q6 と比べて、映像のみでは視覚的にわかりにくいため、修正できると感じる人が減ったと考えられる。

Q8 に対して、80 % の人がどちらとも言えない、あまり思わない、全く思わないと答えていた。自由記述では、「意識することがいくつかあったので、秒数のことを忘れていた」「自分で計っていると、少し早く1秒を数えてしまっているように思った」「意識していたが、本当にできていたかどうかはわからない」という意見があった。この質問は、支援表示なしのアンケートの中で最も評価が低かった。最初から時間を数えることを忘れていたり、映像を見るだけでは正しい時間を計ることは難しいと考えられる。

次に、支援ありの場合に対しての結果を分析する。

Q9 に対して、80 % の人が「非常に役だった」「そこそこ役立った」と答えていた。自由記述では、「基準となるマークが目に見えたので修正しやすかった」「最終的に、全ての点を緑色に変えることができたので正しいフォームに近づけたと思う」という意見があった。注意する箇所を視覚化し、支援の表示方法をシンプルにすることで、わかりやすさにつながったと考える。また、赤色の円を緑色の円に変化させるという目標があり、1人でも判断がしやすかったと考えられる。

Q10 に対して、80 % の人が「非常に役だった」「そこそこ役立った」と答えていた。自由記述では、「視覚的に知ることができてわかりやすかった」「2色のみでわかりやすかった」「赤の部分をどう改善すれば良いかわからなかつ

た」という意見があった。色を2色のみで、円を大きくして表示したことで、シンプルになり見やすくなったと考える。赤の部分の改善の仕方がわからないと書いていた被験者は、一度も成功判定にならなかった。文字による指示で改善できると考えていたが、文字による指示の意味がわからないという意見があったので、文言を改善する必要があると考える。

Q11 に対して、50 % の人が「非常に役だった」「そこそこ役立った」と答えていた。自由記述では、「フォームを直すのに役立った」「読もうとしたが読みきれなかった」「文字の書かれている場所が分かりにくかった」という意見があった。文字による支援の表示方法が最も評価が低かった。文字は、姿勢が正しいと判定されているときのみ表示される。そのため、表示時間が短くなっている。この問題は、一度表示されたら数秒の間、表示し続けることで改善されると考える。また、文字による表示ではなく、リアルタイムでの音声ガイドに変更するなどの方法も考えられる。

Q12 に対して、90 % の人が「非常に役だった」「そこそこ役立った」と答えていた。自由記述では、「音が鳴ることで状態を維持しようと意識するようになった」「数える手間が省け、スクワットに集中できた」「2回目の音が何を意味するか、最初わからなかった」という意見があった。音による支援方法が最も評価が高く、Q8 と比較しても効果が高いと考える。「ポーン」とシンプルな音ということが、わかりやすさにつながったと考えられる。一方で、1秒を

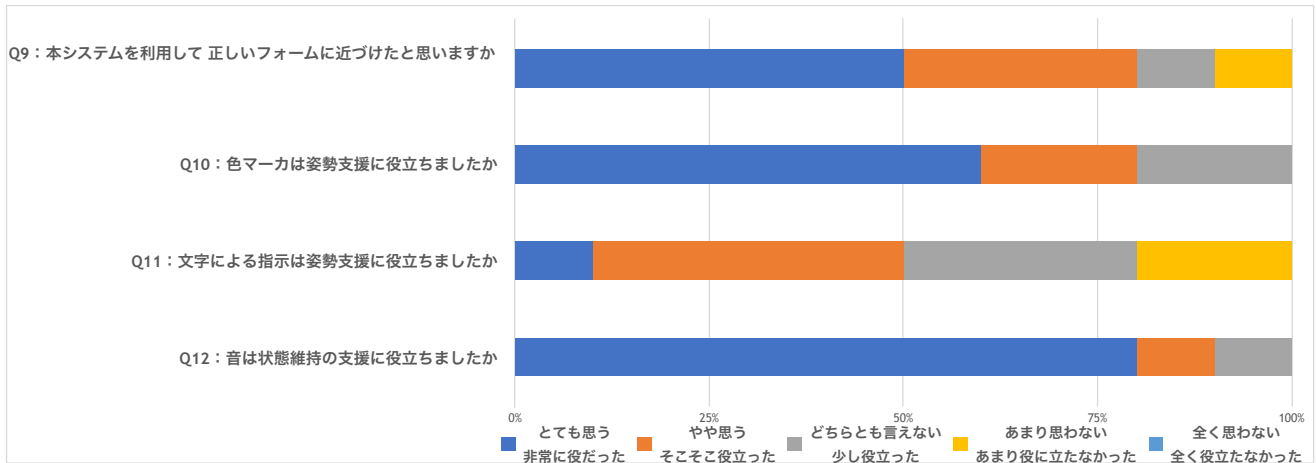


図 15: Q9, Q10, Q11, Q12 のアンケート結果

超えてしゃがんでいた場合には、1 秒ごとに音が鳴るので、2 回目の音が何を意味するか分からないという意見については、説明不足だったと考える。

5.2.2 角度の変化の結果

スクワットの支援に役立っているかを、支援なしと支援ありのそれぞれに対して「膝が爪先より前に出ていないか」「太ももが地面と平行になっているか」の判定を行い、正しい姿勢だったかどうか、すなわち、スクワットが成功したかどうかの回数に基づいて確認する。それぞれの判定結果は表 3 の通りである。

表 3: 成功回数

被験者	支援なし		支援あり	
	足首	膝	足首	膝
被験者 A	0/9	2/9	2/9	5/9
被験者 B	0/9	6/9	1/9	7/9
被験者 C	4/9	7/9	5/9	8/9
被験者 D	9/9	9/9	9/9	9/9
被験者 E	0/9	3/9	3/9	7/9
被験者 F	0/9	0/9	0/9	2/9
被験者 G	9/9	0/9	9/9	1/9
被験者 H	5/9	9/9	9/9	9/9
被験者 I	0/9	0/9	0/9	0/9
被験者 J	1/9	0/9	6/9	1/9
合計	28/90	36/90	44/90	49/90

表 3 の結果から分かるように、支援なしから支援ありで成功回数が増えていない被験者が見受けられた、この要因を調査するために、被験者 F の足首の角度に着目する。被験者 F の支援なしと支援ありのそれぞれの 3 回目のスクワット時の足首の角度を表 4 に示す。

3.4.2 で定めた判定条件は左膝が 75~80, 右膝が 70~85 である。表 4 の結果より、支援ありでトレーニングを行った方が判定条件に近づいたことがわかった。したがって、実験中には判定基準を満たすことがなかったが、繰り返し行うことで判定基準に近づいていくことができると考える。

表 4: 被験者 F の足首の角度

被験者	回数	支援なし		支援あり	
		左膝	右膝	左膝	右膝
被験者 F	1 回目	63.17	56.17	71.94	66.32
	2 回目	62.2	56.43	72.31	59.47
	3 回目	59.49	54.21	73.52	57.89

次に、一度も成功しなかった被験者 I について分析する。この被験者は、「あなたは今まで何かスポーツをしていましたか」「あなたは私生活で筋力トレーニングを行いますか」のアンケートで「いいえ」と回答しており、「スクワットがどんな動きだったかも忘れていた」というコメントがあった。部活動などで運動部に参加すると、筋力トレーニングをする機会が多いと考えられる。また、私生活で筋力トレーニングをする人の場合、知名度が高いスクワットトレーニングの大きなフォームは知っていると考えられる。これらより、今までスクワットトレーニングをほとんどしたことがなく、スクワットトレーニングがどんな動きかを忘れていた人に対してはあまり役に立たないと考えられる。これを解決するには、事前に正しいフォームを理解する必要がある。したがって、文字による説明だけでなく、正しいフォームでトレーニングを実際に行っている動画を最初に提示することで解決できると考える。

5.2.3 時間の変化の結果

スクワットの支援に役立っているかを、支援なしと支援ありのそれぞれの、停止状態を 1 秒間以上維持できた回数に基づいて確認する。前項と同様に、システムが判定を行う回数はそれぞれ 90 回である。判定結果は表 5 の通りである。

支援を行うことで、停止状態を 1 秒維持する成功回数が 35.56% 上昇した。一方で、支援ありの時、2 人が状態を維持することに失敗した。この 2 人は支援ありの 1 回目のスクワットで失敗しており、被験者 J は 3 回全てのスクワットで失敗し、被験者 A は 2 回目で失敗していた。被験者 J

表 5: 時間維持の成功回数

被験者	支援なし	支援あり
被験者 A	1/9	8/9
被験者 B	2/9	9/9
被験者 C	9/9	9/9
被験者 D	4/9	9/9
被験者 E	8/9	9/9
被験者 F	2/9	9/9
被験者 G	9/9	9/9
被験者 H	9/9	9/9
被験者 I	9/9	9/9
被験者 J	1/9	6/9
合計	54 回	86 回
割合	60 %	95.56 %

は、停止状態を 1 秒維持すると音が鳴ることを忘れていたと答えており、それ以降は停止状態を維持することに成功している。音が鳴るまで停止状態を維持するという支援方法をシンプルにすることで、成功回数の上昇につながったと考える。

6. おわりに

本研究では、筋力トレーニングを支援するために、姿勢と時間の観点から正しいフォームでトレーニングを行えるように支援する手法を提案した。検証実験を行なった結果、本提案手法が筋力トレーニングを行う際のトレーニング支援に有用であることがわかった。正しい姿勢でトレーニングが行えるようになることで、自宅でも効率よく怪我を防止できるトレーニングを行うことを促進することができたと考えられる。

今後は、アンケートで得られた意見を参考に改善を行い、膝の角度の判定基準を見直すことで、より適切なトレーニング状況を把握することを目標とする。それに加えて、スクワットトレーニング以外のトレーニングに対しても支援を行えるように機能の拡張を行う。

参考文献

- [1] 野沢秀雄. 心スクワット健康法. 講談社, 2006
- [2] 綿谷惇史. カメラ画像を用いた体幹トレーニング姿勢支援手法の提案. Master's thesis, 北陸先端科学技術大学院大学, 入手先 (<http://hdl.handle.net/10119/15832>), 3 2019
- [3] 高久大輔, 中島克人. Kinect を用いた筋力トレーニング支援システム. 第 77 回全国大会講演論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 437-438, 2015
- [4] Laia Turmo Vidal and Hui Zhu and Abraham Riego-Delgado. BodyLights: Open-Ended Augmented Feedback to Support Training Towards a Correct Exercise Execution. In CHI 2020, April 25–30, 2020, Honolulu, HI, USA, 2020
- [5] 越智洋司. Kinect を利用したエア・スクワット訓練支援のシステムの開発. 教育システム情報学会誌, Vol.30, No.1, pp.98-103, 2013.