Motion Machine: Pose Net を用いて自主練習のモチベーション維持に繋げる運動支援システムの研究

鈴木 優初　市村 哲
大妻女子大学 社会情報学部 社会情報学科 情報デザイン専攻

概要：
現在、コロナ禍のためオンライン化が促進され、運動を行う機会が減少した人が多く見受けられる。外出自粛時の運動の習慣化に挫折した人が 60.6%存在するという報告があるが、本研究ではその理由の「面倒くさい」、「忙しい」、「効果が実感できない」の 3 つに着目した。特に多かった「面倒くさい」においては「一人だとやる気が起きない」などのモチベーションが関係していると考えられる。本研究では、運動不足改善のため「一人でも、家でも、楽しく運動ができる」をコンセプトとし、前記 3 課題に対し、誰かと行っている感覚による運動の継続への効果に着目して家庭用運動支援システムを開発した。Web ブラウザ上で使用できる Pose Net を用いて姿勢推定を行い、見本の動きとの一致度を点数で評価、音声でアドバイスをリアルタイムで行うシステムである。

Motion Machine: Motivation for self-practice with Pose Net Research on exercise support system that leads to maintenance

Yu Suzuki
Otsuma Women's University Faculty of
Social Informatics Department of Social Informatics Department of Information Design

Abstract:
Nowadays, many people have lost their chances of exercising due to an increase of the online activities due to the new Coronavirus COVID-19. It has been reported that 60.6% of people were frustrated by the habit of exercising when they refrained from going out, but in this study, we focused on three reasons: "troublesome", "busy", and "cannot feel the effect".It is thought that motivation such as "I don't feel motivated when I'm alone" is related to the "troublesome". This research was done based on the concept to support your exercise by yourself at home, and focuses on the effect of feeling that you are doing with someone at home. We have developed a system that estimates posture using Pose Net that can be used on a Web browser, evaluates the degree of matching with the movement of body parts, and gives advice by voice in real time.

1 はじめに

今日、コロナ禍により、テレワークやオンライン授業が導入され通勤通学といった運動を行う習慣が減少した人が急増している。2020 年の外出自粛期間中の統計データによると運動不足を感じた人が 58.6%[1]と半数以上であった。また、運動不足の人がコロナに感染すると死亡リスクが 2.5 倍に上昇するというデータ[2]もある。運動不足が続いている患者は、運動習慣のある患者に比べて、入院が必要になった割合は 2.26 倍、集中治療が必要になった割合は 1.73 倍、 死亡リスクは 2.49 倍になると言われている。運動不足によって毎年 5 万人が死亡しているというデータ[3]もある。運動不足は生活習慣病に関わり、生活習慣病での死因別死因割合では、悪性新生物、心疾患、脳血管疾患が全体の 50%を占める。これらの点から、運動不足改善による健康の維持はとても大切である。

ⓒ 2022 Information Processing Society of Japan

しかしながら、外出自粛時の運動の習慣化に挫折した人が 60.6% [4]と半数以上であり継続することが困難なことが分かる。その理由の上位 3 位には「面倒くさい」、「忙しい」、「効果が実感できない」があげられた。特に「面倒くさい」は 59.3%と最も多く、「やる気が起きない」といったモチベーションが関係してくると考えられた。現在、数人で集まって運動することが困難なことから一人での運動ではモチベーションの維持が難しいのではないかと考えた。

以上の点から、我々は特に意見が多かった「面倒くさい」において「一人だとやる気が起きない」と考え、誰かと行っている感覚を得られるシステムの構築を目標に定めた。

以上の目標に沿い、「一人で家でも楽しく運動ができる」をコンセプトとした Web サービス「Motion Machine」を開発した。特殊な機材を用いず Web カメラと Web ブラウザだけで姿勢推定が行える Pose Net を利用した。見本の動きとの一致度を点数で評価、音声合成認識機能によってリアルタイムに音声助言を与えるシステムとなっている。

また、誰かと行っている感覚が得られたか、および、その感覚が得られたことにより運動継続の効果が得られたかどうかについて評価することとした。そのため、音声による聴覚的なフィードバックで誰か複数人と行っている感覚と聴覚による刺激、画面上で表現する視覚的なフィードバックにて一人で行っている感覚と視覚による刺激の2つの実験に分け、それぞれの感覚と刺激による運動継続への効果を比較した。

2 関連研究

運動支援システムについて以下に述べる。

関連研究として、「スマートフォンを用いた自重トレーニング時の姿勢支援システム」[1]と「室内ジョギングにおける遠隔音声による声援効果に関する研究」[2]がある。

王瑞贇ら[5]が提案した「スマートフォンを用いた自重トレーニング時の姿勢支援システム」では、OpenCV を用いてスマートフォンのカメラで運動時の写真を撮り、姿勢の正確さ、繰り返す回数と動作の維持時間での評価を行い、最後にスマートフォンによる音声でのフィードバックを提供するシステムであり、どれだけ正しい姿勢を認識できるかに焦点を当てている。一方、本研究ではリアルタイムに機械音声で助言がされるため、より誰かと一緒に運動を行っている感覚を高めている。

島崎貴志ら[6]の「室内ジョギングにおける遠隔音声による声援効果に関する研究」では、遠隔での声援において人の声と機械音声で効果の比較を行っている。実験結果から、機械音声での声援は気持ちが高まるような効果はあまり見受けられないが、単調な運動には刺激を与え、運動の維持に効果があるのではないかと考察された。そのため、本研究では機械音声のみに焦点を当て、どのようなフィードバックがモチベーションや運動の継続に効果的なのかを評価した。

その他 Kinect やモーションキャプチャーを使用したシステムもあるが、特殊な機材を用いる必要があり、手軽に始めることが容易ではない。本研究では、運動の継続に対して「面倒くさい」といった課題点を解決するため「手軽さ」を重視しており、Web カメラと Web ブラウザを持っている人であれば誰でも手軽に使用できる Pose Net を用いて開発を行った。

3 提案

コロナ禍における自宅での運動で挫折してしまう理由の「面倒くさい」、「忙しい」、「効果が実感できない」という課題点に対してアプローチした。「面倒くさい」においては「手軽」・「誰かと行う感覚」、「忙しい」においては「好きな時間にできる」、「効果の実感ができない」においては「姿勢情報の可視化」・「点数評価」・「フィードバック(聴覚・視覚)」といった特徴(図 3-1)を取り入れた。

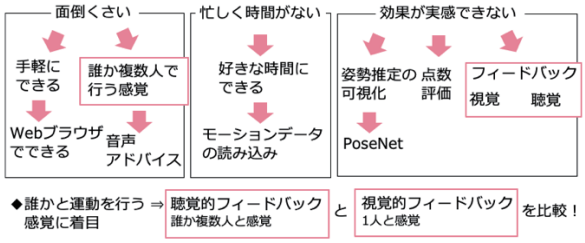

図 3-1 本システムの特徴

本システムは、リアルタイムに Pose Net による姿勢推定と音声でアドバイスを提供する家庭内運動支援システム「Motion Machine」である。姿勢推定が開始されると画面上に自分の身体が点と線でスケルトン表示される。次に、本システムの姿勢推定機能を用いて事前に収集した指導者のモーションデータが点と線でスケルトン表示される。これら表示される2つのスケルトンの座標の一致度に応じて点数評価し、音声合成認識機能によってリアルタイムに音声助言を与えるシステムとなっている。この機械音声による助言によって、一人で運動する際にも誰かと運動を行っているような状態を演出している。本システムは、JavaScript、HTML を用いて開発した。

3.1 本システムの特徴

本システムは、Pose Net、ml5.js、p5.js を使用して、自身のスケルトンを表示する処理を「sketch1」とし、見本のスケルトンを表示する処理を「sketch2」としてそれぞれの処理に分けて実装している[7]。モーションデータ作成画面にて、指導者の動きと、発話された指示内容を記録し CSV ファイルとしてデータ化する(図 3.1-1)。モーションレッスン画面にて、自身の動きの認識とモーションデータ作成画面にて生成した CSV ファイルを読み込み見本の動きを表示させる(図 3.1-2)。

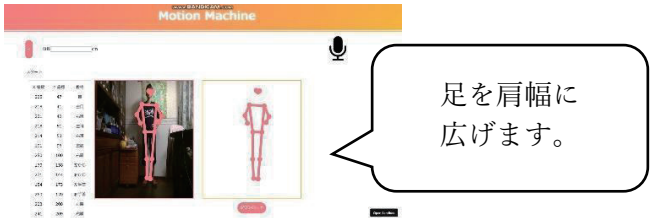

図 3.1-1　モーションデータ作成画面

図 3.1-2　モーションレッスン画面

なお、本システムを実装するために次の要素技術を使用した。

(1) Pose Net: Google の機械学習ライブラリ TensorFlow の JavaScript 版である TensorFlow.js を用いた Web ブラウザでリアルタイムに人間の姿勢を推定できる機械学習モデル[8]。

(2) ml5.js: 広いユーザーが機械学習を親しみやすく触れられるように作られたライブラリ。TensorFlow.js がベースで、p5js からの影響を受けて制作されている[9]。

(3) p5.js: Processing の本来の目的である、アーティストやデザイナー、教育者、初学者のためのコーディング環境を今日の Web において再解釈する JavaScript ライブラリ[10]。

3.2 本システムの機能

(1)指導者のモーションデータの生成:

見本用のモーションデータを作成する方法について述べる。パソコンのカメラが起動してから「ダウンロード」と書かれたボタンを押すまでのデータを取得する。データには、Pose Net で得られた姿勢推定結果(骨格名、x 座標、y 座標)と HTML5 の音声認識機能[11]によって動作に応じて発声された言葉も記録することができる。そのため、データを読み込みする際にスケルトンの表示だけでなく動作に応じて動きの指示を行うことができるようになっている。音声認識機能には、HTML5 のパソコンのマイクから音声を取り込み、音声から文字列に変換する音声認識 API を使用している。この API はライブラリなどをロードする必要がなく簡単に音声を認識させることができる。

モーションデータに記録される発話内容は、最初の音声認識がされていない時は「undefined」と記録され、音声認識がされると発話内容が記録される。そのため、プログラムでは「undefined」ではない時に音声認識がされたと解釈するようにし、音声合成 API の発話機能を実行する。一度音声認識がされると次に認識が開始されるまで同じ内容が記録されるため、初回以降は一つ前の記録内容と違う内容が記録された時に音声合成 API の発話機能を実行する仕組みになっている。モーションデータの内容は図 3.2-1 のようになる。

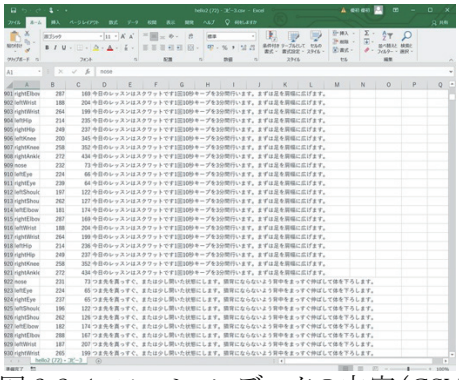

図 3.2-1　モーションデータの内容(CSV ファイルの中身)

(2)映像を鏡像にする:

鏡像にするのは、運動で個人練習を行う際鏡の前で行うケースが多いので同じ状態にするためと、見本の動き通りに動いた時に映像の動きが反転してしまうのを防ぐためである。まずは、映像を左右反転させて鏡状にする。鏡状態の映像に合わせて姿勢推定結果の座標も調整すると、マイナスの座標軸に変わるため推定結果から映像の横幅分を引いた結果になる。モーションデータ生成用に記録する際(見本の動きのスケルトンを表示させる際)はプラスの座標軸になるため映像の横幅分から推定結果を引いた結果になる。(図 3.2-2)。

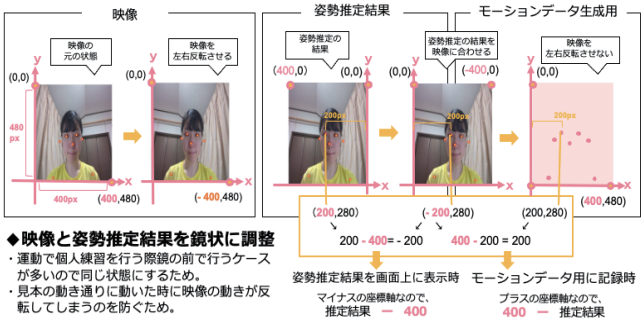

図 3.2-2　鏡状態の際の座標軸

(3)モーションデータ通りに動くスケルトンの表示:

見本の動きは、事前に生成したモーションデータ(CSV ファイル)を読み込むことで、そのデータ通りに動くスケルトンを表示させている。モーションデータを認識して JavaScript 上で扱えるように新しく配列に格納する処理を行っており、骨格の部位に応じて座標データを分けて配列に格納している。これは、見本の座標データをブラウザに表示する際にブラウザ上の座標の表に合うようにするために行っている。配列に CSV ファイルのデータの中身を全て格納し、その配列から骨格名を認識して骨格ごとにデータを分類する処理を行う[12]。これによって、HTML の座標表に合わせて値を表示できる。

(4)座標一致度点数評価:

自身のスケルトンと見本のスケルトンの座標の一致度によって点数評価する機能であり、その機能によって自身がどれだけ正しく動けているかが把握できる。最後に点数結果を提示する。また、骨格部位ごとに座標の値

を表にして並べることでそれぞれの座標の動きが見やすいように工夫している。幅 400px、高さ 480px の四角い画面に対して幅を x 座標、高さを y 座標とし、Pose Net による姿勢推定で身体が画面のどこに位置するか座標で結果を返す(図 3.2-3)。自身のスケルトンが画面に対して見本のスケルトンと同じ座標の位置になるように動くと一致度が高くなり高得点になる。

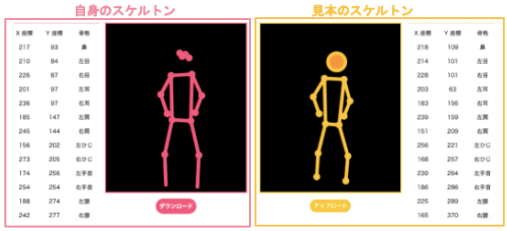

図 3.2-3 座標の一致度の比較画面

(5)機械音声によるアドバイス:

音声アドバイス機能によって、次の動きや動作の指示、得られた点数に応じてフィードバック、自身の動きやどれだけ見本と一致しているかに応じてアドバイスを受けることができる。音声アドバイス機能は、HTML5 の文字列を読み上げる音声合成 API を使用している。ライブラリなどをロードする必要がなく簡単に音声を合成できる。

音声アドバイスの内容は、Google Sheets API[13]を使用して Google のスプレッドシートに記載し(図 3.2-4)、サーバー間でこのスプレッドシートに記載されているアドバイス内容を取得し、JavaScript 上で取得されたアドバイスを発話するようにした。この API を使用することで、従来の Web アプリケーションのようなサーバ側のデータベースの処理はアプリケーション作成者が個別に作成する必要がなくなり、データベース関連の処理を Google が提供するシステムに任せて、データベースを保持することなくアプリを構成することが可能になる。

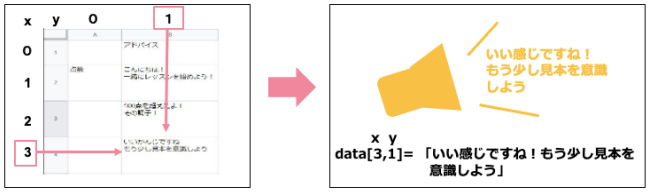

図 3.2-4 Google Sheets API から取得したデータを音声合成 API にて発話させる流れ

4 評価実験

4.1 実験の方法

実験は 18 名の女子大生に対し行い、無地の壁を背景として、パソコン画面から5mほど離れた位置で運動を行わせた。直射日光はなく、光源は天井にあるライトのみである。指導者の3分間のスクワット動作のモーションデータをシステムに読み込ませ、表示されたスケルトンの動きと機械音声による助言のとおりに被験者に 3 分間スクワットをしてもらい、得られた点数、実験後に行う 5 段階評価のアンケートから結果を考察した。

聴覚的なフィードバックと視覚的なフィードバックの2つを比較した。今回、運動の継続性には誰かと運動している感覚を得られる聴覚的なフィードバックの方がより有効であると仮説をたてた。評価内容の点数結果は本システムの機能を利用した。

本システムは機能として、聴覚的フィードバックと視覚的フィードバックのどちらにも「次の動作の指示を伝える機能」、「動きのズレを伝えてくれる機能」、「応援してくれる機能」、「点数を評価してくれる機能」の 4 つの機能をつけており、それらの機能を表現の仕方を変えることで、聴覚的と視覚的の比較をしている(図 4.1-1,表 4.1-1)。聴覚的なフィードバックでは全て音声でフィードバックを行い、視覚的なフィードバックでは、全て画面上にフィードバックを表示する。

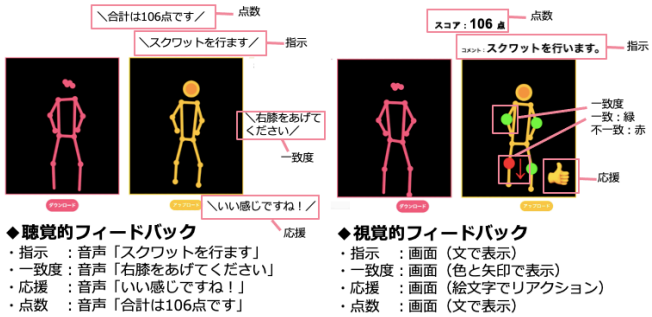

図 4.1-1 実験の比較

表 4.1-1 実験の比較

	指示	一致度	応援	点数化
聴覚	音声	音声	音声	音声
視覚	画面に指示内容を文で表示	画面に矢印を表示	絵文字でリアクション	画面表示

視覚的なフィードバックの場合、見本のスケルトンとどれだけ動きが一致しているかを骨格ごとに分析し、一致度合いが高ければその骨格点が緑色の丸、低ければ赤色の丸で表示する。また、一致度合いが高ければグッドマーク、低ければ汗マークでフィードバックすることで第三者から応援されている感覚を表現した。

レッスンは表 4.1-2 で示すパターンで行い、前の試行が影響しないようにした。

表 4.1-2 実験パターン

A グループ	聴覚的なフィードバック →視覚的なフィードバック
B グループ	視覚的なフィードバック →聴覚的なフィードバック

4.2 実験の結果

点数結果を図(図 4.2-1)に、アンケート結果を図(図 4.2-2、図 4.2-3、図 4.2-4、図 4.2-5)に示す。アンケートの結果は、聴覚的フィードバックを5点、どちらかと言えば

聴覚的フィードバックを4点、どちらでもないを3点、どちらかと言えば視覚的フィードバックを2点、視覚的フィードバックを1点として、平均と標準偏差を求めた。

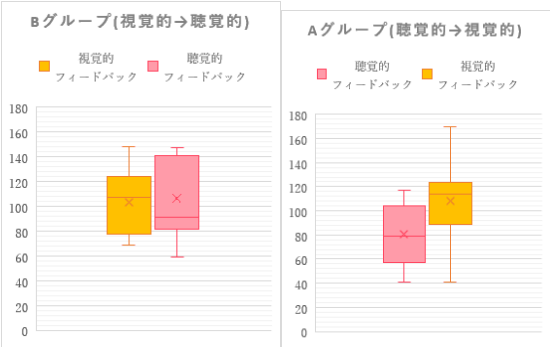

図 4.2-1　各アドバイスに対する点数評価

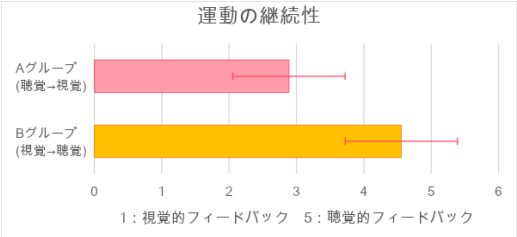

図 4.2-2　運動の継続性

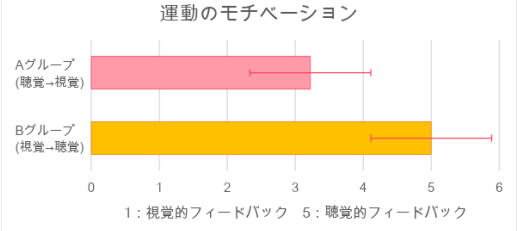

図 4.2-3　運動のモチベーション

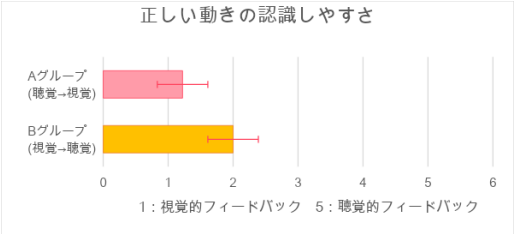

図 4.2-4　正しい動きの認識しやすさ

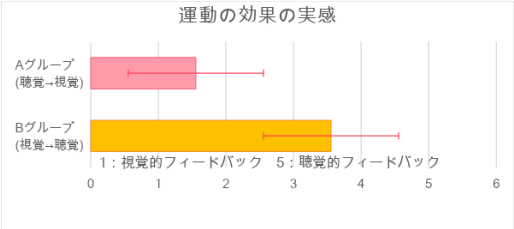

図 4.2-5　運動の効果の実感

4.3 実験の考察

(1)点数評価：

各アドバイスに対する点数評価は、視覚的フィードバック→聴覚的フィードバックの順で高く、被験者 18 名中 14 名の 77%が視覚的フィードバックの方が高い結果を得た。それぞれのグループの点数結果の平均は、A グループの聴覚的フィードバックでは 81 点、視覚的フィードバックでは 108 点、B グループの聴覚的フィードバックでは 106 点、視覚的フィードバックでは 103 点となっており、A グループの聴覚的フィードバックの平均点数が最も低く、A グループの視覚的フィードバックの平均点数が最も高い結果となった。A グループの聴覚的フィードバックの結果以外はあまり差がなく、A グループの聴覚的フィードバックだけ約 20 点低いという結果になった。

(2)運動の継続性：

運動の継続性は、聴覚的フィードバック→視覚的フィードバックの順で高く、被験者 18 名中 11 名の 61%が聴覚的フィードバックの方が継続しやすいといった結果を得た。 しかし、残りの 39%は、どちらでもないと視覚的フィードバックを選んでおり、聴覚的フィードバックも視覚的フィードバックもそれぞれ継続しやすく感じる。

A グループは平均 2.8、標準偏差 1.4、B グループは平均 4.5、標準偏差 1.25 となり、全体の平均が 3.7、標準偏差が 1.6 より、標準偏差の値が大きく、どちらでもない(3 点)をつけた被験者もいたが、聴覚的フィードバックの方が良い理由として、「聴覚的だと誰かとやっている感じがして続けやすい。視覚的だと無音で心苦しい。」、「声に出して褒めてくれるから楽しくなって、一緒に頑張っている感じがする。視覚の方が色に合わせることに気を取られて気持ち的に楽しめない。」などの意見が得られた。これは、今回の研究の仮説として上げていた「誰かと一緒に運動を行うことが最も運動の継続に繋がる」が成り立つことが分かる。

一方、視覚的フィードバックの方も継続しやすいという結果になり、A グループ(聴覚的フィードバック→視覚的フィードバック)では、平均が 2.8 と視覚的フィードバックの方が継続しやすいという意見が見受けられた。これは、先に聴覚的フィードバックを行ったことで、スケルトンの表示と音声だけではどこまで身体を動かせば良いのか理解しづらく運動が行いづらかったと考えられる。アンケートの中でも、「聴覚的だとどのくらい動かせば良いかで悩むが、視覚的だと上げる幅、移動の幅がすぐにわかる。」など、合っているかどうかを色など画面上でフィードバックがあることで動きが認識しやすくなったためと考えられる。これは、実際の運動の際も聴覚的フィードバックのようにトレーナーが声と動きのみで指導される状況が多いが、視覚的フィードバックがあればより効果的な運動に繋がると考えられる。

(3)運動のモチベーション：

運動のモチベーションは、聴覚的フィードバック→視覚的フィードバックの順で高く、被験者 18 名中 14 名の 77%が聴覚的フィードバックの方がモチベーションを維持しやすいとの結果を得た。

A グループは平均 3.2、標準偏差 1.6、B グループ平均 5、標準偏差 0 となり、全体の平均が 4.1、標準偏差が 1.4 であることから、標準偏差の値が大きいが、B グルー

プでは全員が 5 を選択しており聴覚的なフィードバックが優位なことが言える。理由では「褒めてくれるし、仲間がいるような感じがしたから。」「初心者だから音声で言ってもらえた方が分かりやすい。トレーナーの人と一緒にやっている感じがするから。」、「画面だけだと見ている中の一部だけだけど、聴覚から得られる情報のほとんどを取得できるから認識しやすい。情報量が多いのもやる気に繋がる。」等の意見が得られた。継続のしやすさと同様、誰かと一緒に運動を行っている感覚がモチベーションに繋がることが分かる。

(4)正しい動きの認識のしやすさ:

正しい動きの認識のしやすさは、視覚的フィードバック→聴覚的フィードバックの順で高く、18 名中 15 名の 83%が視覚的フィードバックとの結果を得た。

A グループは平均値が 1.2、標準偏差が 0.6 で、B グループでは平均値が 2.0、標準偏差が 1.6、全体の平均が 1.6、標準偏差が 1.3 であり、ほとんどの意見で視覚的フィードバックの方が正しい動きを認識しやすいことが分る。視覚的フィードバックは「色の判断、グッとマークが出ているのが分かりやすい。一眼でわかる。聴覚だと聞いている時と、聞き流しになっている時とが発生する。」、「どこまで足をおろせば良いかが分かりやすかった。」「ちょっとでもズレたら赤になり、レスポンスが速いから、反応しやすい。」といった意見が多く、一眼で一致度を把握でき、レスポンスが早く対応しやすいこと、視覚の方が動作の度合いが理解しやすいことが正しい動きの認識しやすさに繋がることが分かる。

一方、聴覚的フィードバックでは「個別(体の部位)に指摘してくれるから。」、「色の方がきっちり合わせないととなり、全身を合わせるのが難しく感じた。音声の方が単純な指示が多くて分かりやすかった。骨格だけだから。」など、 単純な指示で理解しやすいという意見も得られたが、音声だと何度も流れないため聞き流してしまい、一気に複数のレスポンスができないため正しい動きの判断がしづらいことが分かる。

(5)運動の効果の実感:

運動の効果の実感は、視覚的フィードバック→聴覚的フィードバックの順で高く、18 名中 10 名と 55%が視覚的フィードバックを支持する結果を得た。しかし、どちらでもないと回答した人や、聴覚的フィードバックを支持する意見も多かったことからあまり差がないと考える。

A グループは平均値が 1.5、標準偏差が 0.8 で、B グループでは平均値が 3.5、標準偏差が 1.5、全体の平均が 2.5、標準偏差が 1.6 である。聴覚的フィードバックを選んだ人の意見では「言ってもらった方が改善しなきゃという気になれた。その分いっぱい動いている感じがする。」、「単純に効果だと視覚で、達成感を感じたのは聴覚だから。」などの意見が得られたため、モチベーションが達成感に繋がり運動の効果に影響を与えたことが分かる。

一方、視覚的なフィードバックでは「視覚的なフィードバックの方が動きを合わせやすかったのでより高い効果があったように感じられた。視覚的なフィードバックの方がやっていてきつかった。」など、正しい動きがわかることでちゃんとした運動に繋がっていることがわかる。

まとめ

本稿では、コロナ禍による運動不足という問題を解決するために、Pose Net を用いて開発したシステムの概要を述べ、実験結果を議論した。

実験の結果、運動の継続性に関しては、61%が聴覚的なフィードバックの方が継続できそうだと回答した。ただ、残り 39%は、どちらでもないと視覚的フィードバックと、どちらも支持する意見も多く見受けられた。

その他、継続性の要因として、モチベーション、正しい動きの認識、運動の効果の実感を挙げた。モチベーションに関しては、77%が聴覚的なフィードバックの方が優位なことが分った。正しい動きの認識に関しては、83%が視覚的なフィードバックの方が優位である。運動の効果の実感に関しては、55%が視覚的フィードバックの方が優位の結果となったが、どちらも支持する意見が見受けられたため、あまり差がないと考える。票数に偏りがあったのがモチベーションと正しい動きの認識しやすさであるが、継続性では、最も票数が多い正しい動きの認識しやすい視覚的フィードバックよりも、モチベーションが高まる聴覚的フィードバックが優位である結果となった。視覚的フィードバックの方が 77%の被験者が点数結果も高い結果である。

つまり、正しく運動が認識できて点数結果が高くなることよりも、音声で声掛けや褒められることで実際に誰かと行っている感覚が強まることの方がモチベーションを維持させ、運動の継続に繋がることが分かった。これは、本研究の「運動の継続性には誰かと運動している感覚を得られる聴覚的なフィードバックの方が有効である」という仮説が正しいことが言える。

これらの事から、運動において聴覚的なフィードバックが、被験者に継続させる意気込みを与えられる可能性が高いことが分かった。ただ、より効果的に運動を行うためには、視覚的なフィードバックによってしっかりと正しい動きを認識でき、素早いレスポンスで運動の改善に繋げることも重要だと考えられる。

今後の課題

本研究結果により、正しい動きの認識しやすさに関しては、改善の余地があることが分かった。これは、聴覚的なフィードバックにおいて、視覚的なフィードバックと違い動きの度合いが分かりづらいため、「どのくらい」が分かるようなフィードバックが必要と考える。また、聴覚だと音声が聞き取りづらいといった意見もあった。今回は「あげてください」、「おろしてください」と敬語を使用したが、「アップ」、「ダウン」など言葉が短い方がわかりやすいとの意見も得た。実際の運動の際も指示が聞き取りづらく聞き流してしまうなどの問題はあると考えるため、本システムではその

ⓒ 2022 Information Processing Society of Japan

問題を解決できるような理解しやすい言葉選び、繰り返し指示を発話させるなどの改善ができるとより良くなると考える。

他にも、今回は機能が増えすぎてしまうためリアルタイムで点数を表示させる機能を付けなかったが、リアルタイムで得点が上がった時のアクションの表示や、キープ時間でボーナス得点など見て分かる得点のアクション、次の動作のタイミングで3.2.1と合図があると、もっと分かりやすくモチベーションが上がり、運動の継続に繋がるといった意見もあった。これらの機能によって、運動の継続性にどのような効果をもたらすかなど新たな検証を行うことで、より良いシステムの構築に繋がると考えられる。

参考文献

[1]シューズブランド「ALTRA(アルトラ)」による、アルトラユーザー1324 人に対して、新型コロナウイルス感染拡大を受けた運動に対する意識についてアンケート https://altrafootwear.jp/news/voluntary_restraint-running-resarch

[2]医学誌「British Journal of Sports Medicine」にオンライン掲載 https://www.bmj.com/company/newsroom/physical-inactivity-linked-to-more-severe-covid-19-infection-and-death/

[3]平成 30 年に厚生労働省が出した「身体活動・運動を通じた健康増進のための厚生労働省の取り組み」の資料 http://urx.space/3Nws

[4]【ショップジャパン調べ】2020 年 6 月、全国 20 歳から 69 歳までの男女 5,262 名、習慣的な運動・筋トレに関する調査 https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000373.000001915.html

[5] 王瑞贇,高橋伸,志築文太郎,“スマートフォンを用いた自重トレーニング時の姿勢支援システム”,情報処理学会,「エンタテインメントコンピューティングシンポジウム(EC2019)」2019 年 6 月

[6]島崎貴志,金井秀明,“室内ジョギングにおける遠隔音声による声援効果に関する研究”,情報処理学会,「エンタテインメントコンピューティングシンポジウム(EC2019)」2015 年 5 月

[7] p5.js にて複数の canvas をそれぞれ処理する https://gugutasuujimasa.blogspot.com/2018/12/p5jscanvas.html

[8] Pose Net https://www.tensorflow.org/lite/examples/pose_estimation/overview?hl=ja

[9] ml5.js https://okikata.org/altphoto/ml5js.html

[10] p5.js https://p5js.org/

[11] HTML5 の音声合成・認識 API
(1)https://qiita.com/hmmrjn/items/be29c62ba4e4a02d305c
(2)https://paiza.hatenablog.com/entry/2016/07/05/%E9%9F%B3%E5%A3%B0%E8%AA%8D%E8%AD%98%E5%85%A5%E9%96%80%EF%BC%81Web_Speech_API%E3%82%92%E4%BD%BF%E3%81%84Chrome%E3%83%96%E3%83%A9%E3%82%A6%E3%82%B6%E3%82%92%E9%9F%B3%E5%A3%B0%E6%93%8D%E4%BD%9C%E3%81%99
(3)https://app.codegrid.net/entry/2016-web-speech-api-1#toc-1

[12] CSV ファイル読み込み、配列に格納する(FileReader) https://www.html5rocks.com/ja/tutorials/file/dndfiles//

[13] Google Sheets API https://developers.google.com/sheets/api