

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

王 瑞燮^{†1,a)} 高橋 伸^{†2,b)} 志築 文太郎^{†2,c)}

概要: 自重トレーニングとは、自分の体重のみを負荷として用い、機材を使わないトレーニング方法である。しかし、正しい姿勢でトレーニングを行わないと、腰や膝などに悪い影響を及ぼすことがある。そのため、トレーニング時に正しい姿勢を取ることを支援するシステムがこれまでにいくつか提案されているが、多くはウェアラブルセンサまたは Kinect といった特別な装置を必要としている。そこで本研究では、スマートフォンとサーバを用いた自重トレーニング支援システムを提案する。このシステムは、スマートフォンのカメラでトレーニング時の姿勢を取得し、正しい姿勢かどうかをサーバで評価する。そして、その評価結果を基に、ユーザに対してスマートフォンから音声でフィードバックを行う。

1. はじめに

自重トレーニングとは、自分の体重で負荷をかけて行い、機材を用いないトレーニング方法である。腕立て伏せ、スクワットなどの自重トレーニングにより、効果的に健康とフィットネスを維持することができる[1]。トレーニングの初心者でも機材を用いず自宅で行うことができるため、現在広く普及している。しかし、正しくない姿勢で行うトレーニングは、トレーニングの効果を最大限に発揮できず、また、腰や膝などに悪い影響を与える可能性もある。例えば、スクワットは効率良く下半身の筋力が鍛えられるが、姿勢が正しくないと、膝に負担をかける。その潜在的な危険を回避するためには、自重トレーニング時の姿勢を観察し、評価することが望ましい。

一方、自重トレーニング時の姿勢の評価と改善のための、簡易で安価な方法は少ない。インストラクターを雇う方法があるが、高価である。また、深度センサーやウェアラブルセンサによるトレーニング姿勢を観察する研究が行われているが、これらは特別な装置が必要、あるいはユーザの体にデバイスを取り付けることが必要などの欠点がある。

そこで、本研究ではスマートフォンを利用して、自重トレーニング時の姿勢を支援するシステムを検討し、そのプロトタイプを実装した。本システムは、トレーニング姿勢の補佐に必要な姿勢識別、評価と矯正三つの機能を揃える。

本研究で提案するシステムを利用する様子を図1に示す。

2. 関連研究

トレーニングを支援するため、従来の研究者は深度センサー、ウェアラブルセンサ及び RGB カメラを使用する多くの解決策を提案している。

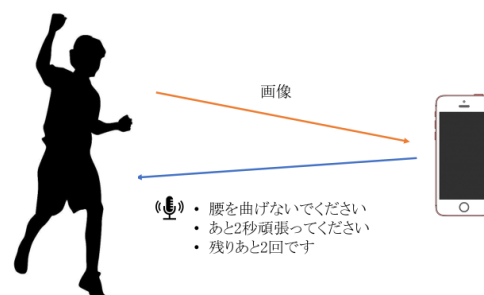


図 1 利用イメージ

2.1 深度センサーを用いた支援手法

RGB カメラと深度センサー機能を揃える Kinect を用いた運動姿勢の分析と改善に関する研究は多く行われている。Rector ら[2]は Kinect を利用し、視覚障害者のヨガの姿勢の修正を補佐する Eyes Free Yoga を開発した。この研究は、ユーザが画面を見ていない状態を想定し、基準となる姿勢の差によって、音声によるリアルタイムなフィードバックを行う。この音声のフィードバックは、ヨガを経験したことがほとんどないユーザにとって有益であることが分かった。

Calab ら[3]の研究では、Kinect を利用し、自重トレーニングの初心者向けの姿勢の追跡ソフトウェアを提案した。この研究は、姿勢を矯正するため、視覚のフィードバックによる目標姿勢とユーザがとっている姿勢の差を提示する。ユーザは視覚のフィードバックを通じて、自身の姿勢を修正しながら、トレーニングを行うことができる。

2.2 ウェアラブルセンサを用いた支援手法

Guo ら[4]が提案した FitCoach は、ウェアラブルデバイス(スマートフォン、スマートウォッチ)の慣性センサを利用するトレーニング支援システムである。この研究は、ト

^{†1} 筑波大学 システムコンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, University of Tsukuba

^{†2} 筑波大学システム情報系
Faculty of engineering, information and systems, University of Tsukuba

^{a)} wang@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} shin@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{c)} shizuki@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

レーニングの種類、同じ動作の繰り返す回数、訓練中の休み時間を検出することができる。怪我の予防と訓練の効率の向上のために、動きの強さと運動時間によるスコアをつけ、トレーニングを評価する。

2.3 RGB カメラを用いた支援手法

Qiao ら[5]は、単一の RGB カメラを利用し、太極拳をする際の姿勢をリアルタイムで評価するシステムを提案した。この研究は、OpenPose による体のキーポイントを検出し、関節の運動軌跡のベジェ曲線によって、リアルタイムで姿勢評価を行っている。評価する方法としては、関節を重要度によって三段階に分け、各関節に重さをつけることで、点数をつける。

2.4 本研究の位置付け

深度センサーを使うシステムは、特別な装置が必要であるため、コストがかかる。ウェアラブルセンサーを利用するには、体にデバイスを取り付けることが必要であるため、トレーニングを妨げることがある。

コストの削減と利用の便利さを考慮し、本研究は単一の RGB カメラによる自重トレーニング時の支援システムを提案する。自重トレーニングの特徴とユーザの利用シーンを考え、スマートフォンのカメラでトレーニング時の写真を撮り、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、最後は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。

3. 利用手順

本研究では、スマートフォンによりの姿勢支援を行う。GUI アプリケーションを利用することで、ユーザのトレーニング時の姿勢を評価し、姿勢矯正のための音声フィードバックを行う。

本システムの具体的な利用手順について説明する。

1. トレーニング方法の確認。ユーザは GUI アプリケーションで正しい自重トレーニング方法の説明を読む。より複雑なトレーニングの場合には、ビデオによる説明を行うことを考えている。

2. トレーニングの項目の選択。GUI アプリケーションで行うトレーニング項目を選択する。

3. カメラの設置。トレーニングがはじまる前に、トレーニング時の画像を撮るため、スマートフォンを設置する。姿勢支援には全身の画像が必要なので、ユーザとスマートフォンの距離を全身の画像が撮れる距離(2, 3 メートル)にする。

4. トレーニングを行う。音声の指示によりトレーニングをはじめ、音声でのフィードバックにより、姿勢の調整を行う。姿勢の正確さ、繰り返す回数と姿勢の維持時間について

フィードバックされる。

腕立て伏せを例として、音声でのフィードバックを説明する。腕立て伏せを行う時の注意点は、足から首まで一直線にすること、下げた状態の維持時間、繰り返す回数である。音声では、腰や首が曲がった場合、維持時間が短い場合と繰り返す回数が足りない場合ユーザにフィードバックされる。

5. トレーニングを終了する。選択したトレーニング項目を完了した後、音声の指示によりトレーニングを終了する。

4. システム構成

本システムの構成を図 2 に示す。主な処理としては、姿勢データの取得、姿勢識別、姿勢評価と姿勢矯正がある。まず、スマートフォンによりユーザのトレーニング時の画像を取得し、サーバーへ送る。サーバーでは OpenPose を利用することで、姿勢データを取得する。姿勢データによりユーザがとっている姿勢を識別し、姿勢が正しいかどうかを確認する。スマートフォンを介し、ユーザに音声のフィードバックを提供する。この音声のフィードバックを通じて、姿勢の修正を促す。

本研究で用いる姿勢データは、自重トレーニング姿勢の識別と評価に用いる関節距離(関節から体の中心までの距離)、ベクトル間の角度と定義する。

我々は提案するシステムのプロトタイプを実装した。サーバー部分は OpenPose の Python API を用いて実装した。また、スマートフォンの GUI アプリケーションは Qt for Android を用いて実装した。なお、今回の実験では Android エミュレータを用いて PC 上で Web カメラを用いて実行した。

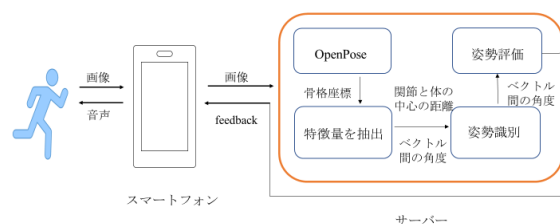


図 2 システム構成

4.1 姿勢データの取得

本研究で用いる姿勢データは以下の手順で取得した。

1. OpenPose を利用し、骨格座標を取得する
2. 関節距離を計算する
3. 各キーポイントをつなげるベクトルを取得する
4. 各ベクトル間の角度を計算する

カーネギーメロン大学の Zhe Cao らによって提案された OpenPose は、Convolution Neural Network を用いて、複数の人間の体や顔のキーポイントをリアルタイムで検出できる手法である。OpenPose は入力として RGB 画像を取り、画像内の各人物の解剖学的なキーポイントの 2D 位置を取得し、出力として生成する。検出できる体のキーポイントは 25 点ある (図 3)。

姿勢識別と姿勢矯正のため、本研究は OpenPose の 25 点の体のキーポイントから、体幹を表示する 15 点の座標 (0 から 14 まで) を利用し、関節距離と各ベクトル間の角度を計算する。関節距離とベクトル間の角度は姿勢識別に用い、ベクトル間の角度は姿勢評価に利用する。姿勢評価には全てのベクトル間の角度ではなく、必要な角度のみを用いる。



図 3 OpenPose の出力[6]

関節距離とは、図 4 の赤線で表示する 8 個の肘、腕、膝、足首の座標と体の中心の座標との距離である。

ベクトル間の角度(夾角)を、キーポイント 0 と 1, 1 と 2 からなるベクトル間の角度を例として説明する(図 4)。ここで、キーポイント 0, 1, 2 の座標を (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (0-1)のベクトルを n_0 , (1-2)のベクトルを n_1 とすると n_0 と n_1 の夾角 θ の余弦は以下の式により計算できる。

$$\cos \theta = \frac{(x_1 - x_0) \cdot (x_2 - x_1) + (y_1 - y_0) \cdot (y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad \theta \in (0^\circ, 180^\circ) \quad (1)$$

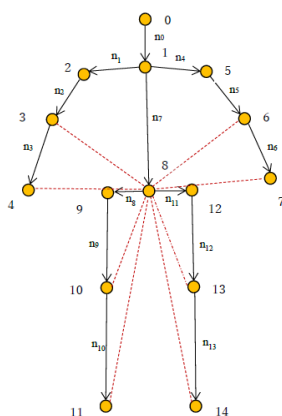


図 4 姿勢データ

4.2 姿勢識別

本研究では、k 近傍法により姿勢の識別を行う。k 近傍法は特徴空間における最も近い訓練データに基づいた分類の手法で、簡単で分類の正確率が高いという特徴がある。姿勢は関節の角度と関節から体の中心までの距離と定義できるため、今回の分類は、8 個の関節距離と 12 個の各ベクトル間の角度を特徴量にして行う。用いた 12 個のベクトル間の角度は (n_0, n_1) , (n_1, n_2) , (n_2, n_3) , (n_0, n_4) , (n_4, n_5) , (n_5, n_6) , (n_7, n_8) , (n_8, n_9) , (n_9, n_{10}) , (n_7, n_{11}) , (n_{11}, n_{12}) , (n_{12}, n_{13}) である。

4.3 姿勢評価

怪我の防止と、効果的なトレーニングのため、頻度、強度、持続時間、運動の種類(FITT)[6]のトレーニングの原則に従ってトレーニングすることは重要である。

筋力のトレーニングを重視する自重トレーニングでは、FITT の原則に従い、姿勢の正確さ、動作の繰り返す回数と姿勢が保たれる時間を適切にすることによって、運動の強度と安全性が確保される。そのため、本研究は特定の関節角度を計算し、姿勢の正確さ、同じ動作を繰り返す回数と姿勢が保つ時間により姿勢評価を行う。[7]の中で記述されている腹筋と大腿の筋力を訓練する姿勢(図 5, 図 6)を例にすると、評価は次のように行われる。

1. まずステップ 1 (図 5) の評価を行う。つまり、下腿と大腿の角度 (ベクトル n_0 と n_1 間の角度) が 90° であるかを判断する。
2. ステップ 1 で正しい姿勢がとれたら、次にステップ 2 の姿勢を評価する。つまり、上半身と大腿の角度 (ベクトル n_1 と n_2 間の角度) が 180° か、さらに下腿と大腿の角度 (ベクトル n_0 と n_1 間の角度) が 90° であるかを判断する。
3. ステップ 2 の姿勢を 2 秒間保っているかを判断する
4. ステップ 1 とステップ 2 を 10 回以上繰り返しているかを判断する

OpenPose のキーポイントの識別精度を考え、実際に姿勢評価を行う時には、誤差を考え、正しい角度の範囲を設定する。

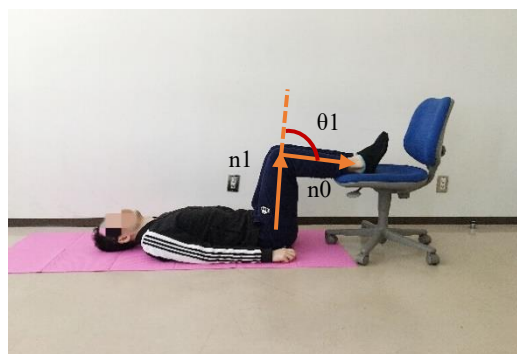


図 5 訓練姿勢ステップ 1

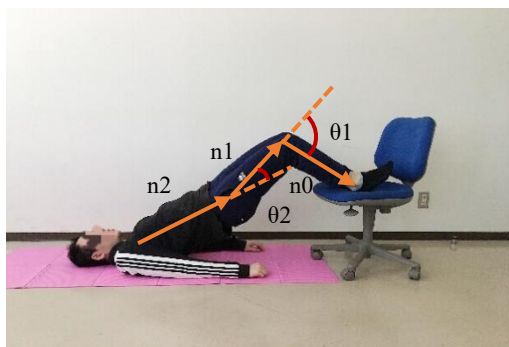


図 6 訓練姿勢ステップ 2

4.4 姿勢矯正

トレーニングの時、ユーザはスマートフォンの画面が見えないため、スマートフォンによる音声で姿勢の矯正方法をユーザに伝える。

例えば、腹筋と大腿の筋力を訓練する姿勢（図 5、図 6）の場合、以下の提示を音声で伝える。

1. 下腿と大腿の角度を 90°にしてください
2. 腰を曲げないでください
3. あと 2 秒頑張ってください
4. 残りあと 2 回です

5. 評価実験

OpenPose によるトレーニング姿勢の検出精度、k 近傍法による識別の精度と提案システムの使用感を確認するため、三つの評価実験を行った。

5.1 実験Ⅰ：OpenPose の精度実験

OpenPose の精度を確認する実験は、被験者は 3 人で、カメラと実験者の距離は 2m と 3m とした。3 人が 6 個の姿勢を二つの距離で 5 回行った。なお、6 個の姿勢は、正面から撮る姿勢 3 個と右側面から撮る姿勢 3 個とした。結果として合計 180 枚の写真を撮影した。

OpenPose の精度を検証した結果は、正面から撮る姿勢は高精度でキーポイントを検出できた（表 1）。

表 1 正面から撮る姿勢の検出結果

距離/m	頭	肩	肘	腕	尻	膝	足首	平均
2	100	100	100	97.8	100	100	96.7	99.2
3	100	100	100	100	100	100	100	100

一方で、右側面から撮る姿勢は右側面のキーポイントを高精度で検出できるが（表 2）、左側面のキーポイントを検出することは難しいということが分かった（表 3）。検出できない原因は左側面の見えない部分が多いことが考えられる。しかし、姿勢の対称性を用いて、左側面のキーポイントを補うことで、OpenPose を利用した場合でも、高精度な

姿勢データが得られることが考えられる。

表 2 側面から撮る姿勢の右側面の検出結果

距離/m	頭	中心	右肩	右肘	右腕
2	100	83.3	100	90	90
3	100	100	100	100	100
距離/m	右尻	右膝	右足首	右平均	
2	70	80	53.3	83.3	
3	96.7	100	100	99.6	

表 3 側面から撮る姿勢の左側面の検出結果

距離/m	左肩	左肘	左腕	左尻	左膝	左足首	左平均
2	90	0	0	50	46.7	26.7	35.6
3	100	0	0	100	66.7	53.3	53.3

5.2 実験Ⅱ：k 近傍法による姿勢識別の精度実験

k 近傍法による姿勢識別の精度を確認する実験では、キーポイントが全て検出できた写真を使い、三つの姿勢の識別を行った。実験Ⅰに撮影した 87 枚の正面から撮った姿勢の写真を含め、合計 90 枚（3 人×3 姿勢×2 距離×5 回）の写真を利用した。これらの中で、75 枚（3 姿勢×25 枚）を訓練データ、15 枚（3 姿勢×5 枚）をテストデータとした。識別ソフトウェアを Python の機械学習ライブラリである scikit-learn を用いて開発した。実験結果としては、三つの姿勢を 100% 識別できた。

5.3 実験Ⅲ：提案システムの使用感に関する実験

本研究で提案した姿勢評価と姿勢矯正手法の有用性を検証するために、評価実験を行った。実験の対象になる四つの自重トレーニングの姿勢を図 7 に示す。今回の実験は姿勢の正確さのみで姿勢評価を行った。本実験の被験者は 4 人である（23 歳–26 歳の大学生および大学院生、男性 2 名、女性 2 名）。

被験者は提案システムを利用しながら、4 つの自重トレーニングの姿勢をそれぞれ 40 秒間行った。音声でのフィードバックは 10 秒の間隔で行った。図 7 の姿勢(a)を例として、実験の流れと具体的な支援方法を説明する。正しい姿勢は、大腿と上半身の角度を 180°にする。OpenPose のキーポイントの識別精度を考え、今回は、正しい角度の範囲を 170°から 190°にした。GUI アプリケーションで(a)を選択し、カメラを設置する。「始めてください」の音声の提示の後、時間の計測が始まり、被験者は姿勢(a)を行う。40 秒の間、大腿と上半身の角度が正しい範囲に収まらない場合、「腰を曲げないでください」という音声で通知される。大腿と上半身の角度が正しい範囲に収まる場合、「正しい姿勢です、そのままにしてください」という音声で通知される。40 秒後に、「終わりました、お疲れ様でした」という通知

の後、この姿勢の実験を終了する。

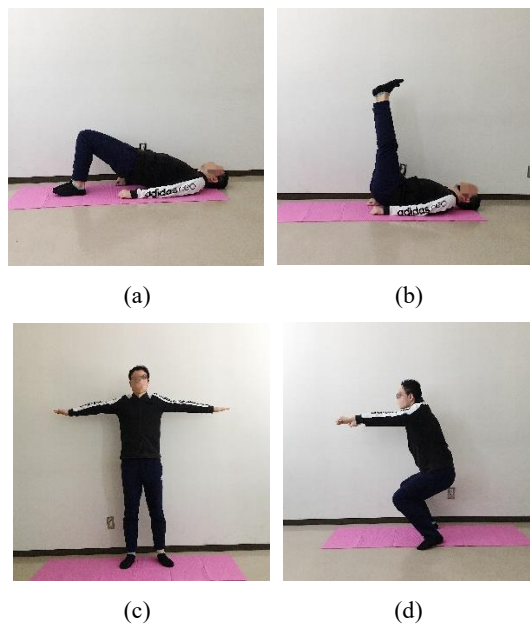


図 7 実験姿勢

実験終了後にアンケートを実施し、本システムの可用性と音声によるフィードバックについての感想を調査した。表 1 にアンケートの内容を示す。

表 1 アンケート内容

No	質問	回答
Q1	年齢、性別を教えてください	自由記述
Q2	普段自重トレーニングをしていますか	5:4:3:2:1 よくする⇔しない
Q3	音声での通知がうるさいと思いましたか	5:4:3:2:1 とても思う⇔思わない
Q4	音声での通知が姿勢改善に有効だと思いましたか	5:4:3:2:1 とても思う⇔思わない
Q5	本システムを利用することで、トレーニングの姿勢が改善できたと思いますか。	5:4:3:2:1 とても思う⇔思わない
Q6	本システムについての感想を記入してください	自由記述

本実験におけるアンケートの Q1-Q5 の結果を表 2 に示す。Q6 においては、以下のような回答が得られた。

被験者 1 音声のフィードバックが定時に来るので、正しい姿勢をとる意識が高くなる。

被験者 2 簡単なトレーニング姿勢の補佐ができるが、長時間に使うと音声が煩わしいと感じる可能性が高い。

被験者 3 一人でも家で使えるので、便利だと思う。

被験者 4 自宅でトレーニングをするという方法だと思う。

表 2 アンケート結果

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4
Q1	23 歳, 男性	26 歳, 男性	23 歳, 女性	23 歳, 女性
Q2	2	1	1	3
Q3	1	3	1	1
Q4	5	3	4	5
Q5	4	4	4	4

音声でのフィードバックの姿勢支援効果について考察する。Q3 において、被験者 1, 3, 4 が同じ回答をしている。また Q4, Q5 において、被験者は全員 3 以上の回答をしている。これより、提案した姿勢評価と姿勢矯正手法が有効である可能性があると推測できる。

また、Q6 において、便利な方法という評価があった。このことから提案システムは簡単に使えると考えられる。また、複雑なトレーニングの姿勢の支援が難しいという意見をもらった。そのため今後はより複雑な姿勢の支援方法を検討する。

6. 議論及び今後の課題

提案システムの使用感に関する実験の結果により、音声でのフィードバックが有効であることは推測できるが、同じ音声が続くされると、煩わしさを感じるという問題がある。また、良い支援を行うには、矯正に使う音声の種類を増やすことも望まれる。さらに、現在の音声によるフィードバックは保つ時間が長い姿勢に適用されるが、保つ時間が短い姿勢の場合には有効であるとは言い難い。この問題に対しては、姿勢が間違っていることを示す短い音声を利用することで解決できると考える。そして、ユーザは音声でのフィードバックにより姿勢が間違いであることは分かるが、自分の姿勢が見えないため、とっている姿勢と正しい姿勢の差が分かりにくい。音声により複雑な姿勢の矯正に使えない問題もある。これらの問題に対する一つの解決策として、視覚的なフィードバックを同時に使用することが考えられる。

提案システムの使用感に関する実験を行った時、姿勢(b) (図 7) をとる時、OpenPose による体のキーポイントの検出が失敗するケースが多かった。今後の課題の一つとしては、OpenPose がキーポイントを検出できない場面を考え、堅牢性のあるシステムを実装することである。また、姿勢が保たれる時間を評価するため、間違った姿勢とトレーニングが止まった状態を区別する方法についての議論が必要である。

7. まとめ

本研究では、スマートフォンを用いたトレーニング時の

姿勢支援システムを提案した。提案システムは OpenPose から得た骨格座標を分析し、姿勢の識別、評価と矯正を実現する。姿勢識別の方法は、キーポイントと体の中心の距離とベクトル間の角度を特徴量として、k 近傍法によって行う。姿勢評価は姿勢による必要なベクトル間の角度を選んで行う。姿勢矯正は音声による必要なフィードバックを行う。

OpenPose によるトレーニング姿勢の検出精度、k 近傍法による識別の精度と提案システムの使用感を確認するため、三つの評価実験を行った。結果として、提案システムは姿勢支援に有効である可能性があることが分かった。

参考文献

- [1] Jeffrey S. Harrison. Bodyweight training: A Return to Basics. In Strength & Conditioning Journal, vol. 32, no. 2. 2010.
- [2] Kyle Rector, Cynthia L. Bennett, and Julie A. Kientz. Eyes-free Yoga: An Exergame Using Depth Cameras for Blind & Low Vision Exercise. In Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '13), ACM, NY, USA. 2013.
- [3] Caleb Conner, Gene Michael Poor. Correcting Exercise form Using Body Tracking. In Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA'16), ACM, NY, USA. 2016.
- [4] Xiaonan. Guo, Jian. Liu, Yingying Chen. FitCoach: Virtual Fitness Coach Empowered by Wearable Mobile Devices. In IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications. IEEE, GA, USA. 2017.
- [5] Sen Qiao, Yilin Wang and Jian Li. Real-Time Human Gesture Grading Based on OpenPose. In 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). IEEE, Shanghai, China. 2017.
- [6] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, Honolulu, HI, USA. 2017.
- [7] Trevor Hastie, Robert Tibshirani. Discriminant Adaptive Nearest Neighbor Classification. In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, no. 6. 1996.
- [8] Lippincott Williams, Wilkins. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. American College of Sports Medicine. 2013.
- [9] Mark Lauren, Joshua Clark. You Are Your Own Gym: The Bible of Bodyweight Exercises. Light of New Orleans Publishing. 2010.