

加速度センサを用いた体幹トレーニング支援システム

森田 大喜¹ 元川 錦¹ 横窪 安奈¹ ロペズ ギヨーム¹

概要: 健康を維持するためには日常的に体を動かすことが推奨されているが, 新型コロナウイルスの影響もあり, フィットネスクラブや複数人で行う運動・スポーツを中断している人が多くなっている. このような状況において, 健康増進のために行っている運動・スポーツとして, 室内において個人で手軽に行うことができる「体幹トレーニング」に注目が集まっている. しかし個人で行う体幹トレーニングでは, トレーニング中の姿勢が正しいものかどうか認識することは難しく, その効果が著しく低下することが考えられる. 本研究では個人で行う体幹トレーニングの支援を目標として CoreMoni を開発し, 個人で行う体幹トレーニングの支援に有用であるかを評価実験を通して検証した. System Usability Scale を用いたアンケート結果では, 被験者の平均スコアは 86.8 点であり, CoreMoni は非常に優れたユーザビリティであることが示された. またアプリケーションの内容についてのアンケート結果から, CoreMoni はトレーニング中のユーザーに「姿勢」と「体幹のブレ」を意識させ, 個人で行う体幹トレーニングの支援に有用であると確認できた.

Core Exercises Support System using Accelerometer

DAIKI MORITA¹ NISHIKI MOTOKAWA¹ ANNA YOKOKUBO¹ GUILLAUME LOPEZ¹

1. はじめに

昨今, 新型コロナウイルス感染拡大 (以下, コロナ禍) 対策のために自宅で過ごす時間が増えている. 2020 年 8 月に実施された健康に関するアンケート調査 [1] では, コロナ禍を機に, 約半数の人々が健康への意識が高まったと回答した. また, 3 割以上の人々が, 運動を心がけるようになったという. このようなことから, コロナ禍において人々の健康に対する意識が高くなっていることが考えられる.

健康を維持するためには, ランニングや, 筋力トレーニングなど日常的に体を動かすことが推奨されている [2]. 健康を維持するためのエクササイズや, 筋力トレーニングへの関心も高まっており, 体を動かすためのフィットネスクラブ (FC) などの施設が多く設立されている. FC では, 個人で自由にトレーニングを行うことができるほか, 専任のトレーナーのサポートを受けながらトレーニングを行うことも可能である. 2015 年から 2019 年の 5 年間で, FC 施設の数 は 4,661 から 6,188 軒に増えてきた [3] が,

新型コロナウイルスの影響もあり, FC や複数人で行う運動・スポーツを中断している人が多くなっている [2]. このような状況において, 健康増進のために行っている運動・スポーツとして, 密にならないウォーキングや, 室内において個人で手軽に行うことができる体幹トレーニングに注目が集まっている.

体幹トレーニングは, 一般的に個人でも行うことができるエクササイズとして認識されており, 体幹筋を中心とした全身の筋肉を鍛えることができ, 実用的かつ室内で簡単にできるトレーニング手法である. その効果を最大限に発揮するためには, パーソナルトレーナーの監修のもとで, 正しい姿勢でトレーニングを行うことが重要であり, 正しい姿勢を保つことはトレーニング中の怪我防止にもつながる. しかし, 現在はコロナ禍であるため, 個人でトレーニングを行うことが求められる. 自宅で一人でトレーニングを行う場合, 監視の目がないため, トレーニングを途中でやめてしまったりすることが考えられる. また, パーソナルトレーナーの指導の下で行う場合の体幹トレーニングと比較し, 個人で行う体幹トレーニングでは, トレーニング中の姿勢が正しいものかどうか認識することは難しい. 結

¹ 青山学院大学大学院 理工学研究所
Aoyama Gakuinn University, Kanagawa, Japan

果として、FC などにおいてパーソナルトレーナーの指導のもとで行うトレーニングと比較して、個人で行うトレーニングではその効果が著しく低下することが考えられる。

本研究では、上記の問題を解決するため、個人で行う体幹トレーニングを正しい姿勢で行うための体幹トレーニングモニタリングと支援システム「CoreMoni (コアモニ)」を提案・開発し、その有用性を検証する。

2. 関連研究

2.1 トレーニング支援に関する研究

綿谷らは単一のカメラのみを用いて姿勢推定を行い、推定結果から2視点でユーザへ視覚的フィードバックを行う体幹トレーニングの姿勢支援システムを開発した [4]。その結果、3次元モデルを用いてフィードバックを行うことは、姿勢の把握しやすさを向上するのに有効な手法であることが確認された。しかし、この手法では、視覚的フィードバックの更新速度が遅く、現在の姿勢が目標姿勢とどれだけ誤差があるかの認識が難しくなっている。

高久らは Kinect を用いた筋力トレーニング支援システムを開発した [7]。森らは身体特性から姿勢悪化を検出し、適切な姿勢への修正を助けるシステムを開発した [8]。岡本らは Kinect を用いた陸上競技経験者対象の運動訓練支援システムを開発し、ユーザーの姿勢が適切かを診断し必要に応じてフィードバック情報を提示した [9]。王らはスマートフォンを利用した自重トレーニング時の姿勢を支援するシステムを開発した [10]。

高田らは手首、ベルト位置の2箇所にデバイスを装着し得られる加速度とジャイロデータを用い、体幹トレーニングの種目識別を行った [5]。提案手法により体幹トレーニングの種目を高精度で認識することはできているが、実際のトレーニングへの支援をするまでには至っていない。また、高田らは、メニュー推薦に向けたセンサ取り付け位置に依存しない自重トレーニング種目認識手法も提案している [6]。

2.2 リアルタイムのコーチングを行う研究

南里らは、トレーニングをより効果的に行うために、トレーニング中にキリの悪いカウントダウンを提示し目標勾配効果を誘引することで、効果的にトレーニングの限界突破を促す支援システムを開発した [11]。その結果、キリの悪いカウントダウンを用いることでトレーニングの限界突破を促せることを確認した。松本らは、加速度センサを用いたリアルタイム競泳コーチングシステムを提案している [12]。その結果、カウントダウンを用いることでトレーニングの限界突破を促せることが確認できた。一方で、どれだけ正しい姿勢でトレーニングを行えているかという部分には焦点を当ておらず、実際に効果的なトレーニングが行えているとは言い難い。尾崎らはインラインスケートの

滑走フォームをリアルタイムに修正するシステムを開発した [13]。

2.3 先行研究の課題

いずれの研究もフィードバックの更新速度の遅さや、どれだけ正しい姿勢でトレーニングを行えているかという部分には焦点を当ておらず、実際に効果的なトレーニングが行えているとは言い難い。そこで本研究では、ユーザが室内でより簡単にトレーニングを行うことができるシステムを開発した。体幹トレーニング中のユーザの「姿勢」と「ブレ」に対してリアルタイムフィードバックを行うことにより、個人で行う室内トレーニングの支援につながると考えられる。

3. CoreMoni

3.1 CoreMoni の概要

CoreMoni は、ユーザーの体幹トレーニング中の「姿勢」と「体幹のブレ」に着目し、「姿勢」と「体幹のブレ」を改善するための指示をリアルタイムで与える体幹トレーニングモニタリングと支援システムである。本研究では「適切な姿勢」をウェアラブルセンサを用いて判定する方法を選定した。アメリカスポーツ医学会 (ACSM) 発表の「Top 20 Fitness Trends 2020」をチェックすると、ウェアラブルテクノロジーが2年連続して1位になっていることから、ウェアラブルセンサを用いることが実用的だと言える [14]。

具体的に、腰につけた加速度センサの y 軸における角度が 5° 以上 15° 未満、「体幹のブレ」を加速度センサから取得した各軸における加速度から計算した「分散」とそれぞれ仮定した。図 1 に CoreMoni の構成図を示す。CoreMoni はユーザーの腰に装着した加速度センサ (movesense*1) から加速度値と角速度値を取得し、取得したデータをスマートフォンに送信する。送信されたデータは、分散値・角度に変換しスマートフォン上のフィードバックの内容として利用した。

3.2 フィードバック

CoreMoni では体幹トレーニング中の「姿勢」に対する画像の切り替えによるフィードバック、「体幹のブレ」に対する効果音によるフィードバックの2種類を用意した。「姿勢」に対する画像切り替えフィードバックでは、腰につけた加速度センサの y 軸における角度が 5° 未満、 5° 以上 15° 未満、 15° 以上の3条件に応じた画像を表示した。画面遷移の様子を図 2 に示す。「体幹のブレ」に対する効果音によるフィードバックでは、取得した加速度から計算した各軸の分散値の合計が 0.2 を超えている間効果音が鳴り続けるように設定した。

*1 movesense, SUUNTO 社製, <https://www.movesense.com/>

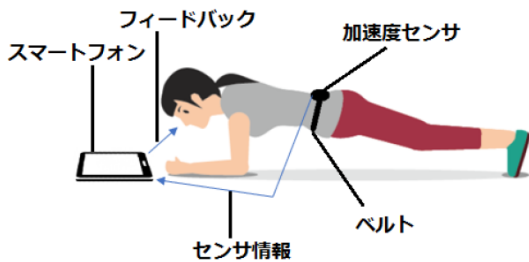


図 1 CoreMoni の構成



図 2 CoreMoni の表示内容

3.3 加速度センサの装着数と装着位置の検討

CoreMoni の実装において、加速度センサの装着数と装着位置を決定するために要件抽出実験を行った。実験の概要は以下の通りである。

- 被験者：20 代の大学生 1 人
- 実験種目：フロントプランク
- 実験内容：被験者の背中、腰、足首の 3 点に加速度センサを装着し、1 分間体幹トレーニング（フロントプランク）を行ってもらおう。1 分間の中で、0 秒～15 秒を正しい姿勢、15 秒～30 秒を腰が低い姿勢、30 秒～45 秒を腰が高い姿勢、45 秒～60 秒を連続的に姿勢を変化させた。
- 評価方法：1 分間の体幹トレーニングの経過時間における各センサ装着位置における加速度を計測。実験後にグラフにプロットし分析を行った。

図 3 に結果を示す。図 3 から、背中と足首に装着したセンサでは 1 分間のトレーニング中にいずれの軸においても加速度の値があまり変化しないことがわかる。一方、腰に装着したセンサから得られた加速度値に変化がみられるものの、大きく変化したのは y 軸のみであることがわかる。この結果により、加速度センサの装着数と装着位置は「腰に 1 つ」とし、「姿勢」を評価するための閾値は腰に装着した加速度センサから得られる y 軸の加速度値から設定した。

4. CoreMoni のユーザビリティ評価

4.1 実験の概要

CoreMoni を使用するか使用しないかによって、体幹トレーニングの効果に差が出るのかの確認および、CoreMoni の有用性を検証するためにユーザビリティ検証実験を実施した。実験の様子を図 4 に示す。被験者は体幹トレーニングの経験がある 20 代の大学生 14 名とし、A 群（1 回目：CoreMoni あり、2 回目：CoreMoni なし）と B 群（1 回目：CoreMoni なし、2 回目：CoreMoni あり）に分け 1 分間ずつ体幹トレーニング・フロントプランクを行ってもらった。実験終了後にアンケートに回答してもらい、CoreMoni の有用性について検証した。アンケートは 2 種類用意した。1 つ目のアンケートでは、アプリケーションの内容（アプリケーションの使用感、アプリケーション内で表示される 2 種類のフィードバック内容の適切さ）について回答してもらった。2 つ目のアンケートでは、System Usability Scale[15] を用い、新規システムのユーザビリティの評価を行なった。実験手順は以下の通りである。

- (1) 実験監督者は実験の説明を行う
- (2) 腰に加速度センサを装着
- (3) CoreMoni を使ってもらい使い方に慣れる
- (4) CoreMoni（有／無）で 1 分間トレーニング
- (5) CoreMoni（手順 4 で行わなかった方）で 1 分間トレーニング
- (6) アンケートに回答

CoreMoni のユーザビリティ検証実験では自由記述を含む使用感検証アンケートと、SUS (System Usability Scale[15]) を用いたアンケートの 2 種類のアンケートを実施した。

4.2 使用感の評価結果

CoreMoni の使用感検証アンケートの結果を以下の図 5 に記す。アプリケーションの使用感について「簡単だった」が 11 名、「やや簡単だった」が 1 名、「どちらとも言えない」が 1 名、「やや難しかった」が 1 名という結果となった。

次にフィードバック内容の適切さについての結果を述べる。画像の切り替えによるフィードバックについて「適切だった」が 11 名、「やや適切だった」が 2 名、「あまり適切でなかった」が 1 名という結果となった。自由記述の欄では、「画像を見ればすぐに体の傾きがわかった」、「正しい姿勢を表示しているときがあった」という意見が得られた。一方「あまり適切でなかった」と答えた被験者からは「画像の動きが不自然だった」という意見が得られた。効果音によるフィードバックについては、「適切だった」が 9 名、「やや適切だった」が 2 名、「どちらとも言えない」が 3 名という結果となった。自由記述の欄では、「音が鳴ることで、体制が崩れたことにすぐに気づけた」という意見が得

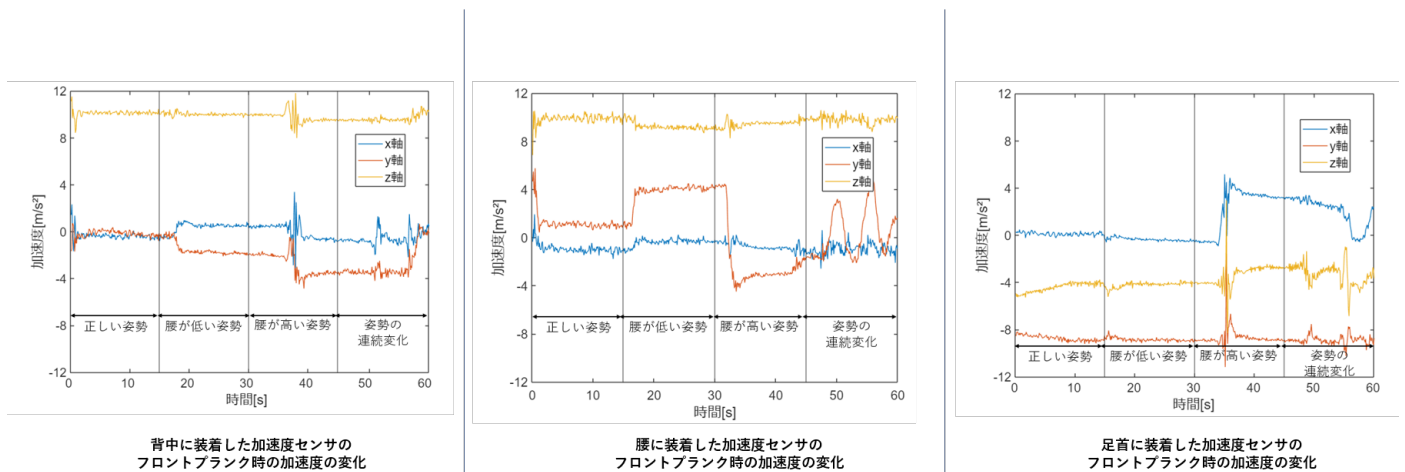


図 3 各箇所に装着した加速度センサのフロントプランク時の加速度の変化



図 4 実験の様子

られた。一方「どちらとも言えない」と答えた被験者からは「音が鳴らなかった」、「少しブレに甘いと感じた」などの意見が得られた。

4.3 SUS による評価の結果

CoreMoni のユーザビリティ検証実験では SUS を用いたアンケートを実施した。それぞれの項目から 100 点を基準としたスコアを計算し、ユーザビリティを数値化した。SUS によるアンケート結果を表 1 に示す。14 人中 13 人で「良いユーザビリティ」と評価できる基準値 68 点を上回り、14 人の平均スコアは 86.8 点であった。この結果から、CoreMoni は非常に優れたユーザビリティであることが示された。

5. 考察

5.1 アプリケーション内容について

アプリケーションの使用感についてのアンケートでは、14 名中 11 名がアプリケーションの使用が簡単だったと回答した。また使用感検証アンケートの自由記述欄には「見やすかった」などの意見が得られた。このことから、アプリケーションの UI をよりシンプルで見やすくしたことが結果として表れたと考えられる。一方で、「トレーニングの最中に画面が消えるのが気になり実験に集中できなかつ

た」という意見が得られた理由として、トレーニングの前にデバイス上、もしくはプログラムの中で画面が自動的に消えないようにする設定がなかったためだと考えられる。

画像の切り替えによるフィードバックでは、正しい姿勢に合わせるのに苦労する場面多く見られた。CoreMoni ではトレーニング中の正しい姿勢を「腰につけた加速度センサの Y 軸における角度が 5° 以上 15° 未満」と仮定したが、正しい姿勢の定義を個々に合わせられるようにするとより使いやすいシステムになると考えられる。

効果音によるフィードバックでは、他のアンケート結果よりも一番良い評価をした人数が少なかった。これはトレーニング中に音が鳴る頻度に個人差が大きく見られたことが影響していると考えられる。CoreMoni では体幹のブレについての閾値を一定にしていたが、その閾値を一度も超えなかった被験者もいた。このことから CoreMoni は、個々の身体能力に左右されるものであることが考えられる。

今後システムを改良するにあたって、体幹のブレについての閾値を大きい設定と小さい設定の 2 種類を用意し、トレーニングの前にユーザーに選んでもらうことなどが必要になってくると考えられる。

5.2 SUS を用いたアンケート結果の考察

表 1 からわかるように SUS の平均スコアが 86.8 点と「良いユーザビリティ」と評価できる基準値 68 点を上回っていた。そのため、CoreMoni は非常に優れたユーザビリティであることが示された。またアンケート内の質問の中で、「不安なく CoreMoni を使えたか」や「多くの人が使用方法を簡単に理解できるか」などの項目において被験者からの評価が特に高かった。以上のことから、CoreMoni はトレーニング中のユーザーに「姿勢」と「体幹のブレ」を意識させ、個人で行う体幹トレーニングの支援に有用であると考えられる。

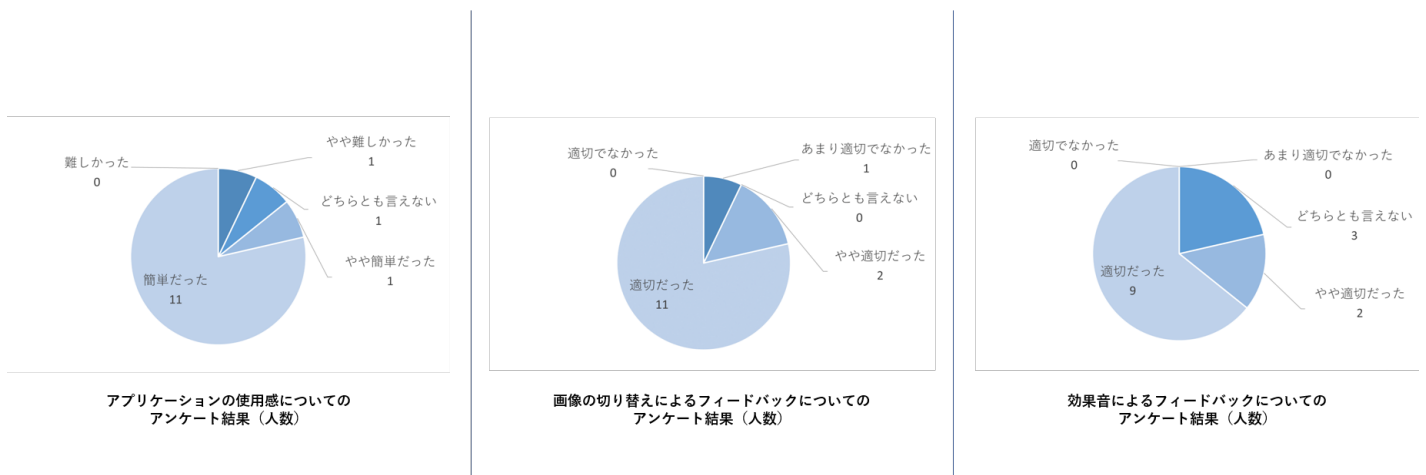


図 5 アンケート結果

表 1 被験者ごとの SUS スコア

被験者番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	平均
スコア (点)	90	85	95	95	87.5	85	82.5	82.5	92.5	90	92.5	55	95	87.5	86.8

6. まとめ

本稿では、個人で行う体幹トレーニングのモニタリングと支援を目標として CoreMoni を開発し、その有用性を評価した。SUS を用いたアンケート結果では、被験者の SUS 平均スコアは 86.8 点であり、CoreMoni は非常に優れたユーザビリティであることが示された。またアプリケーションの内容についてのアンケート結果から、CoreMoni はトレーニング中のユーザーに「姿勢」と「体幹のブレ」を意識させ、個人で行う体幹トレーニングの支援に有用であると確認できた。

今後の展望として、今回の実験ではユーザーへのアンケートのみで CoreMoni の有用性を検証したが、実際に CoreMoni を使用した際と使用しない際のデータを比較し有用性を検証していきたい。また、本研究では加速度センサから得られるデータの中で加速度にのみ注目していたが、今後は心拍数などの生体信号も取得することで、よりユーザの健康状態に合わせたトレーニングを行うことができるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 明治安田生命:「健康」に関するアンケート調査～ステイホーム・コロナ禍を機に健康に対する意識と行動が変化!～, 2020/9/2. 入手先 (<https://www.meijiyasuda.co.jp/profile/news/release/2020/pdf/20200902.01.pdf>) (参照 2021-5-10).
- [2] 健康日本 21 (第 2 次) の推進に関する参考資料: 入手先 (https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_02.pdf) (参照 2021-5-10).
- [3] フィットネスビジネス:日本のクラブ業界のトレンド 2019 年版, 株式会社クラブビジネスジャパン, 2020/6/18.
- [4] 綿谷惇史 謝 浩然 宮田 一乗: カメラ画像を用いた体幹トレーニングの姿勢支援手法の提案, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2019-CVIM-216, 14, pp. 1-8, 2019.
- [5] 高田将志 中村優吾 藤本まなと 荒川豊 安本慶一ほか: 体幹トレーニング支援に向けたウェアラブルデバイスによる種目認識手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション Vol.2018, No.20, pp.1-8, 2018.
- [6] 高田将志 中村優吾 藤本まなと 荒川豊 安本慶一ほか: メニュー推薦に向けたセンサ取り付け位置に依存しない自重トレーニング種目認識手法の提案, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, Vol.2018, p.780-790, 2018.
- [7] 高久大輔 中島克人ほか: 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.
- [8] 森 祐馬 榎堀 優 間瀬健二: ウェアラブル加速度センサを利用した姿勢改善補助システム, マルチメディア 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol.2014, p.126-130, 2014.
- [9] 岡本勝 磯村智将 松原行宏: 姿勢推定手法を活用したリアルタイム運動訓練支援環境, 人工知能学会全国大会論文集第 30 回全国大会 (2016), 1C4OS13a1-1C4OS13a1, 2016.
- [10] 王 瑞賢 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, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.2019, No.75, p.25-30, 2019.
- [11] 南里 英幸 中村聡史ほか: キリの悪いカウントダウン を用いた限界突破手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション Vol.2020, No.26, pp.1-8, 2020.
- [12] 松本知佳 中井一文 江崎修央 櫻井義久 宮地 力: 加速度センサを用いたリアルタイム競泳コーチングシステムの開発, The Proceedings of the Symposium on sports and human dynamics, 2432-9509, 2014.
- [13] 尾崎卓史 誉田雅彰: 小型携行センサを用いた運動フォームの遠隔自動コーチングシステムの構築, 教育システム情報学会誌 Vol.33, No.1, p.22-30, 2015.
- [14] Thompson, Walter R.: Worldwide Survey of Fitness Trends for 2020, ACSM's Health & Fitness Journal 23(6):10-18 (2020).
- [15] Brooke, J. (1996). SUS: A "quick and dirty" usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester,

& A. L. McClelland (Eds.), Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis.