

スマート棒を用いた棒体操支援システムの検討

Proposal of a Support System for Short Stick Exercise Using Smart Stick

大井 一輝[†] 中村 優吾[†] 松田 裕貴[†] 藤本 まなと[†] 安本 慶一[†]
 Kazuki Oi Yugo Nakamura Yuki Matsuda Manato Fujimoto Keiichi Yasumoto

1. はじめに

高齢者の転倒は、骨折など入院加療を要する重要な外傷を招くことが多く、それを契機に「寝たきり」状態に至るケースもまれではない。平成 16 年国民生活基礎調査において、「転倒・転落」は、「脳卒中」「虚弱・衰弱」「認知症」に次ぐ「寝たきり」の原因になっている。また、高齢者では、幸い転倒による外傷がなかった場合でも、再び転倒するかもしれないという強い不安や恐怖を感じ、いわゆる「転倒後症候群」と呼ばれる心理的障害によって、その後の日常生活行動が制限されることが指摘されている。このように、高齢者の転倒は、本人への身体的・心理的影響だけでなく、家族や介護者にも影響する。そのため、高齢者が転倒を防ぐための動作を学習できる棒体操が考案された [1]。

これまで高齢者の転倒予防には、筋力強化や体幹を鍛えるバランスのトレーニングが多く用いられ、その効果も検討されてきた。これらのトレーニングの多くは、高齢者の身体能力を勘案し、比較的ゆっくりとした動きを用いていることが特徴である。しかしながら、高齢者が転倒予防のため棒体操を実施しても、正しく体操ができていないとは限らない。正しく動作ができていないと転倒予防のための効果が薄れてしまうと考えられる。したがって、高齢者に正しく棒体操を行ってもらうことは、重要なことである。

高齢者の転倒予防に関する研究として、Mehmood らは、ウェアラブルセンサ SHIMMER を用いた高齢者のための転倒検知アルゴリズム [2] を提案している。実験では、様々な転倒検出アルゴリズムの実装と試験のためのデータセットも作成している。課題はより多くの転倒タイプのシミュレーションを行うことができるように拡張する必要があることである。

本研究では、棒に IMU センサを取り付け、ユーザが実行した体操種目を認識し、その結果を可視化するシステムを検討する。

2. 関連研究

本章では、高齢者の健康支援システムに関する関連研究について述べる。これらの多くは、(1) モニタリング

によって高齢者の状態を分析するシステム、(2) センサを使用し取得されるデータを分析するシステムの 2 つに分けられる。

2.1 モニタリングによる分析

モニタリングによる分析は、家族や医者も高齢者を監視することができる利点がある。まず、Dobre らは、高齢者が非侵入型のモニタリングとサポートを提供して、専門的なヘルスケアの提供を強化できるようにしたシステム [3] を開発した。Richard らは、温度と心拍数のデータを LCD に表示し、介護者や医師に自動通知を送信する健康管理システム [4] を提案している。提案されたシステムは、体温と心拍測定を備えた健康監視システムで構成されている。Li らは、高齢者の間でスマートウェアラブルシステムの使用を促進および促進するため、高齢者向けのスマートウェアラブル受け入れモデルを構造方程式モデリングを使用して開発した [5]。調査では、参加者の大多数が現在または将来のスマートウェアラブルシステムを受け入れる意欲を表明した。課題としては、参加者に客観的な健康状態測定方法を採用する必要がある。Ali らが実装したインテリジェントな在宅ベースの高齢者患者モニタリングシステム [6] も存在する。これは 4 人の患者の生理学的パラメータ、つまり、温度、グルコース、3D 加速度計、および転倒検出用のジャイロスコープデータが継続的に監視されており、温度や湿度などの患者の周囲環境を監視するために、状況センサが家全体に取り付けられている。課題としては、ウェアラブルセンサとコンテキストセンサの両方に特定の環境に応じてカスタマイズされたパワーオートノミーレジームを装備することである。Susnea らによって一人暮らしの高齢者の行動を監視し、過去の行動パターンからの逸脱を検出する手法 [7] も提案されている。

2.2 センサによる分析

Mehmood らによってウェアラブルセンサ SHIMMER を用いた高齢者のための新しい転倒検知アルゴリズム [2] が提案されている。センサーによる分析は、まず Kong らによって深度センサを用いた高齢者向け HOG-SVM ベース転倒検知 IoT システム [8] が提案されている。この研究は、HOG+SVM モデルを学習するために、3500 枚の画像を含むデータセットを構築し、転倒検知システムの精度を向上させる。実験データによると、この転倒

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

検知システムの精度は98.1%に改善されている。Voicuらはスマートフォンのセンサから収集したデータに基づく人の身体活動認識システム[9]を提案している。これは、歩く・走る・座る・立つ・登る・下るの6つから関連する特徴を抽出している。集めたデータを評価するとほとんどの活動が正しく認識されており、そのうち4つの活動は、平均93%の精度であった。他の2つのアクティビティのスコアが低かったとしても、精度は86%を下回らなかった。課題としては、自転車に乗るなどの活動を追加することで、活動認識の対象を拡大することである。またKurbanらによって様々な体位で使用可能な3軸加速度センサによる日常動作認識システム[10]が提案されている。この研究は、ボランティアから、歩く、座っている、立ち上がる、ジャンプする、落下する動作を収集している。特徴分析法として主成分分析法を使用して、処理時間を短縮し、迅速な結果を得ている。さらに分類をし、提案された手法は、最大100%、平均96.54%の精度を達成している。Joshiらによって複数のバイタルサインを測定するウェアラブルセンサによるモニタリングアプリケーションのメリット[11]を詳しく調査されている。結果としては、入院患者と在宅患者の両方の患者の安全性を向上させる可能性のあるいくつかのセンサ設計が利用可能である。またセンサのバッテリーの持ちをより長くし、サイズも小さくする必要がある。よって、既存のシステムは、センサやモニタリングで高齢者の転倒検知や活動を認識できるが、高齢者の棒体操を評価し、フィードバックを行うことで高齢者の棒体操をより正しい動作へ改善するシステムはまだ作製されていない。そこで棒体操上達支援システムの実現を目指すことにした。

3. 対象とする棒体操

本章では、本研究で対象とする棒体操の動作について説明する。本研究では、スマート棒に搭載されたIMUセンサを活用して、以下に説明する棒体操の各動作を認識、分析することを目的としている。

3.1 概要

本研究の目標は、IMUセンサを用いて、体操中の高齢者の体操動作を認識し、動作毎に正しい体操動作へ改善するためのフィードバックを高齢者に与えることが可能な棒体操上達支援システムの実現である。本稿では、棒体操上達支援システムの実現に向けた第一段階として、ユーザが実行した体操種目を認識し、その結果を可視化するシステムを検討する。

3.2 対象とする体操種目

本稿において分類対象とする体操種目は、以下の8種類である。また、8種類の体操の方法と体操の方法を表した図を示す。

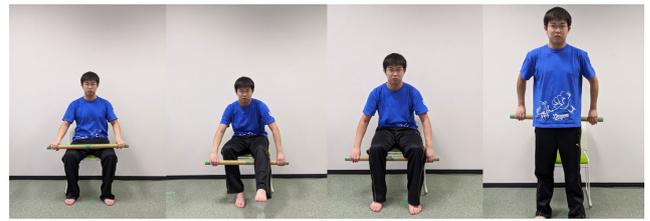


図 1: またぐ体操 (体操 a)

[体操 a] またぐ体操 (図 1)

両手に棒を持ち、棒を曲げないようにまたぐ。そして、おしりを椅子から浮かせて棒を腰の後ろまで上げる。次に、逆の順序で戻す。効果として足の柔軟性を高め、可動域を維持できることが挙げられる。

[体操 b] ばんざい体操 (図 2)

両手に棒を持ち、背もたれから背中を離し、骨盤を起こして背筋を伸ばしてばんざいをする。息を吸いながら行くと、より肩が高く上がる。この体操を行うことで背中が伸び、側方への転倒予防につながる。

[体操 c] 体を捻る体操 (図 3)

背中を伸ばした状態で、左右に体を回旋する。体を回旋することで脊柱と胸郭の可動性を引き出すことができる。また、体の回旋は、バランスを崩した時に、立ち直るために必要な要素である。

[体操 d] 体を横に倒す体操 (図 4)

背中を伸ばした状態で、体を左右に側屈する。胸郭の柔軟性を高めることができる。

[体操 e] 前かがみになる体操 (図 5)

体を前傾させて、棒を床につける。足底に体重負荷ができ、立ち上がりに必要な前傾姿勢を経験できる

[体操 f] 肩を捻る体操 (図 6)

体の前で棒を回すようにして肩を捻る。肩に捻りを加えることで肩の可動性を高めることができる。

[体操 g] 背中の後ろで受け取る体操 (図 7)

棒を背中の後ろを通して反対の手で受け取る。目で確認できない場所で棒を操作することで、身体の運動イメージを高め、肩の可動性を高めることができる。

[体操 h] 手で回す体操 (図 8)

手首を交互上下に動かして、手の中で棒を回転させる。手首の骨折は、高齢者の3大骨折の1つであり、この体操を行うことで、手首の可動性を高め、柔軟性を確保できる。

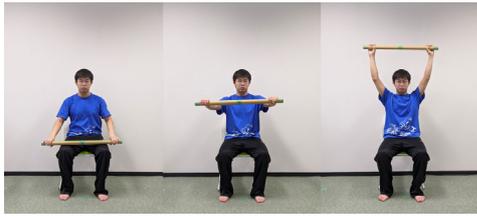


図 2: ばんざい体操 (体操 b)

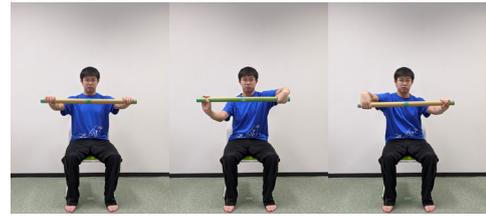


図 8: 手で回す体操 (体操 h)

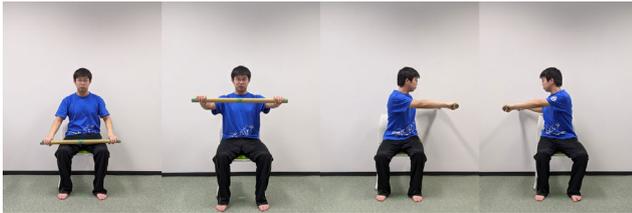


図 3: 体を捻る体操 (体操 c)

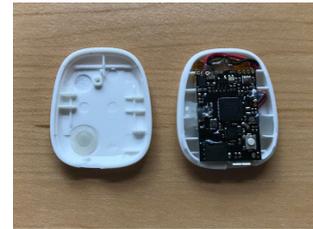


図 9: 実験で使用した IMU センサ



図 4: 体を横に倒す体操 (体操 d)



図 10: 実験で使用したスマート棒



図 5: 前かがみになる体操 (体操 e)

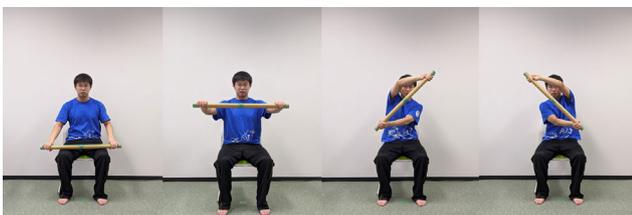


図 6: 肩を捻る体操 (体操 f)

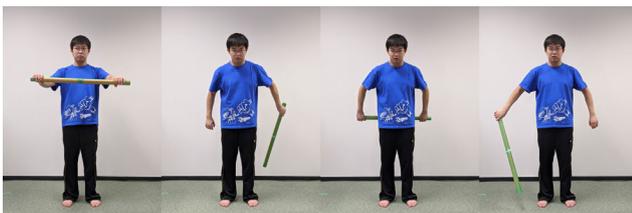


図 7: 背中の後ろで受け取る体操 (体操 g)

3.3 使用センサデバイスと装着位置

本研究では、IMU センサ*を体操動作を分類するためのセンサデバイスとして使用する。本研究において使用する IMU センサを図 9 に示す。IMU センサは、線形加速度とクォータニオンが測定でき、最大 100Hz で記録できる。また、無線によってデータを収集することもできる。センサの装着位置としては、図 10 のように棒の中心に穴を空け、その穴にセンサを埋め込んでいる。

4. スマート棒を用いた棒体操支援システム

本章では、高齢者が単独でも効果的な棒体操を実行できる棒体操支援システムについて説明する。本支援システムでは、IMU センサを用いて得られたデータから体操中の動作の分析を行う。理由としては、カメラなどを用いる手法ではカメラの設置や画角の調整といった手間が生じてしまうからである。しかし、本支援システムでは、カメラを準備する手間が省けるため手軽に棒体操を行うことが可能である。我々は本研究の最終目標として、IMU センサを棒に埋め込み、高齢者の体操中の動作を検出し、そこから正しく体操ができているかを評価し、

*<https://mbientlab.com/metamotionr/>

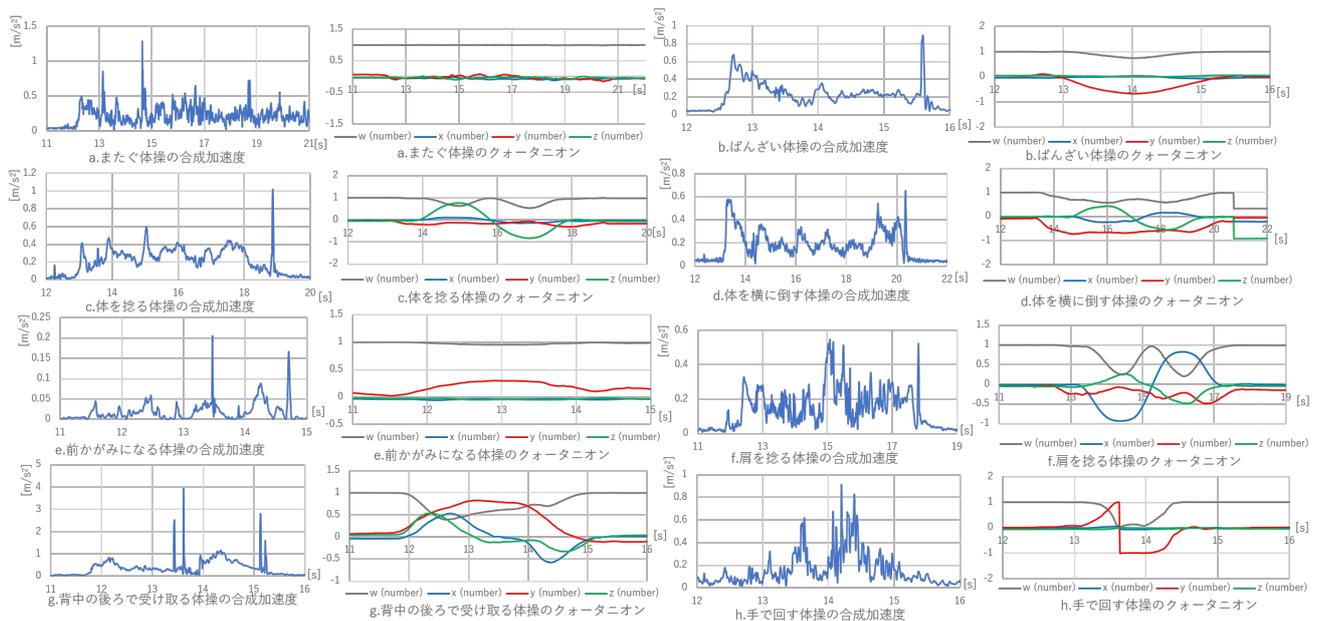


図 11: 各体操の測定結果

フィードバックを行うことで高齢者の棒体操をより正しい動作へ改善する棒体操支援システムの実現を目指している。本支援システムは、(1) 得られたデータから体操動作区間を検出するステップ、(2) 体操動作の認識を行うステップ、(3) 認識された体操動作を評価・フィードバックするステップの3つのステップで構成される。

5. データ収集実験

5.1 実験方法

実験は3人で行った。被験者がスマート棒を持ち、各体操を10回ずつ行い測定データを収集した。以下に測定結果を示す。

5.2 実験結果

図 11 に測定結果を示す。図は各体操の x 軸, y 軸, z 軸の加速度を合成した合成加速度とクォータニオンを表している。横軸は時間, 縦軸は合成加速度, クォータニオンの大きさを表している。この実行結果からまたぐ体操の合成加速度は, 体操の始めから終わりまで変化していることがわかる。これは, またぐときに棒を下げたり, 立つときに変化したものであると考えられる。クォータニオンは w 成分, x 成分, y 成分, z 成分ともに大きい変化は見られないことがわかる。これは棒を大きく動かす動作がないためであると考えられる。

ばんざい体操の合成加速度は, 2つ大きい箇所があることがわかる。これは腕を上げたときと腕を下すときに大きくなったと考える。また, ばんざいをしている間クォータニオンは w 成分と y 成分の大きさが下がって

ることがわかる。これは, 棒を上にあげると y 成分が下がるためと考えられる。

体を捻る体操を行っている間の合成加速度は3箇所大きい箇所がある。これは棒を膝の高さから胸の高さまで上げたとき, 左に捻ったとき, 右に捻ったときのものであると考える。クォータニオンは z 成分が大きくなるときと小さくなるときがある。これは, 左右に捻ったときにできたものであると考えられる。

体を横に倒す体操の合成加速度は, 2つ大きい箇所があることがわかる。これは, 腕を上げたときと下げたときにできたものとする。クォータニオンは, z 成分が大きくなると x 成分が下がり z 成分が小さくなると x 成分が上がる箇所があることがわかる。これは, 左右に体を倒したとき z 成分の変化が大きくなるためであると考えられる。

前かがみになる体操の合成加速度は全体的に小さいことがわかる。これはこの体操自体が座った状態から膝の高さから足元の高さまで棒を持っていくだけであるためと考える。クォータニオンは, 体操中 y 成分が大きくなることがわかる。これは腕を下げてから y 成分が上がり, 元の位置に戻ると元の大きさに戻るためと考える。

肩を捻る体操の合成加速度は, 体操を始めから終わりまで変化していることがわかる。この体操は, 始めに膝の高さから胸の高さまでもっていき, 左右に捻り, 元の膝元の高さまで戻す動作のためであると考えられる。クォータニオンは, z 成分が大きくなると x 成分が下がり z 成分が小さくなると x 成分が上がる箇所があることがわかる。これは, 左右に肩を捻ったとき z 成分の変化

が大きくなるためであると考えられる。

棒を背中の後ろで受け取る体操の合成加速度は、全体的に小さいが大きくなっている箇所もある。これは体操の途中で動きが速いときがあったためと考える。クォータニオンは、体操を始めると y 成分が上がり、終わると元の大きさに戻っている。これは、棒を左手で下げて右手で受け取り、元の位置に戻しているためこのような波形になったと考える。

手で回す体操の合成加速度は、2つ大きくなっている箇所がある。これは、棒を回すとき2回の動きに分けて動かしているためと考える。クォータニオンは、y成分が大きくなっている箇所と小さくなっている箇所があることがわかる。これは、始めに左手から巻き込むように回したとき、y成分が上がり、次に右手から巻き込むように回したとき、y成分が下がったためと考える。

6. まとめ

本稿では、棒体操上達支援システムの実現に向けた第一段階として、ユーザが実行した体操種目を認識し、その結果を可視化するシステムを検討した。また、8種類の対象とする体操を実行し、加速度とクォータニオンを測定した。今後は、機械学習を用いて、体操中の高齢者の体操動作を認識し、動作毎に正しい体操動作へ改善するためのフィードバックを高齢者に与えることが可能な棒体操上達支援システムの実現を目指す。

謝辞

本研究の一部は、JST ACT-I 及び科研費基盤研究(B)(No.20H04177)の助成によって行った。

参考文献

- [1] 横井賀津志. 転倒予防のための棒体操 運動機能と認知機能へのアプローチ. 三輪書店, 2018.
- [2] Amir Mehmood, Adnan Nadeem, Muhammad Ashraf, Turki Alghamdi, and Muhammad Shoab Siddiqui. A novel fall detection algorithm for elderly using shimmer wearable sensors. *Health and Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 631–646, 2019.
- [3] Ciprian Dobre, Lidia Bajenaru, Ion Alexandru Marinescu, and Mihaela Tomescu. Improving the quality of life for older people: From smart sensors to distributed platforms. In *2019 22nd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, pp. 636–642. IEEE, 2019.
- [4] Abdullah Al Roman Richard, Md Farhad Sadman, Umma Habiba Mim, Istiyar Rahman, and Md Sa-niat Rahman Zishan. Health monitoring system for elderly and disabled people. In *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, pp. 677–681. IEEE, 2019.
- [5] Junde Li, Qi Ma, Alan HS Chan, and SS Man. Health monitoring through wearable technologies for older adults: Smart wearables acceptance model. *Applied ergonomics*, Vol. 75, pp. 162–169, 2019.
- [6] Mai Ali, Asma Asim Ali, Abd-Elhamid Taha, Imed Ben Dhaou, and Tuan Nguyen Gia. Intelligent autonomous elderly patient home monitoring system. In *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1–6. IEEE, 2019.
- [7] Ioan Susnea, Luminita Dumitriu, Mihai Talmaciu, Emilia Pecheanu, and Dan Munteanu. Unobtrusive monitoring the daily activity routine of elderly people living alone, with low-cost binary sensors. *Sensors*, Vol. 19, No. 10, p. 2264, 2019.
- [8] Xiangbo Kong, Zelin Meng, Naoto Nojiri, Yuji Iwahori, Lin Meng, and Hiroyuki Tomiyama. A hog-svm based fall detection iot system for elderly persons using deep sensor. *Procedia computer science*, Vol. 147, pp. 276–282, 2019.
- [9] Robert-Andrei Voicu, Ciprian Dobre, Lidia Bajenaru, and Radu-Ioan Ciobanu. Human physical activity recognition using smartphone sensors. *Sensors*, Vol. 19, No. 3, p. 458, 2019.
- [10] Onur Can Kurban and Tülay Yıldırım. Daily motion recognition system by a triaxial accelerometer usable in different positions. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 19, No. 17, pp. 7543–7552, 2019.
- [11] Meera Joshi, Hutan Ashrafian, Lisa Aufegger, Sadia Khan, Sonal Arora, Graham Cooke, and Ara Darzi. Wearable sensors to improve detection of patient deterioration. *Expert review of medical devices*, Vol. 16, No. 2, pp. 145–154, 2019.