

令和元年6月23日現在

機関番号：12611

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K20997

研究課題名(和文)健康の維持増進を目的とした床振動情報に基づく無侵襲活動モニタリングシステム

研究課題名(英文) Monitoring floor vibrations to assess physical activity and promote healthy behaviors

研究代表者

tripette julien (tripette, julien)

お茶の水女子大学・生活科学部・学部教育研究協力員

研究者番号：30747481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、床振動を利用し、身体活動量モニタリングを組み込んだスマートホーム機能を開発・検証することである。

実験1では、「Ocha-House」という実験住宅で8個の加速度センサーの床振動観察システムが開発され、定量的な身体活動量を計算するアルゴリズムをデザインした。実験2では、家事活動について、床振動観察システムはActigraphのGT9X装置同等かそれより正確な身体活動量の推定ができることがわかった。本研究より、床の振動情報を用いて、家庭での身体活動量を推定することの実現可能性を示した。今後は床振動を利用したエネルギー消費量推定アルゴリズムの設計のため熱量測定の実験を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

定期的な運動の実施は健康なライフスタイルのための最も重要な要素の一つとして、至る所で強調されている。実際に、適切な身体活動により、心疾患、糖尿病の進行防止が可能である。加えて、身体バランス機能の維持による高齢者の自立生活支援、また、認知症等に対する強力な予防策ともなる。半面、身体活動の自己モニタリングは身体活動の促進に効果的であることが証明されている。IoTの出現により、状況に応じて最良の身体活動量の評価を提供可能なスマートデバイスのネットワークに頼ることが可能になる。したがって、身体活動を測定する新規なスマート装置は健康の促進が可能であり、本研究は学術的意義や社会的意義を持つと考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was 1) to develop a floor vibration-based smart-home system able to monitor indoor physical activity, and 2) to verify the validity of the system.

The experimental Ocha-House has been used for this project. In the first experiment, accelerometer-sensors have been installed to monitor the floor vibrations on the whole surface of the house. An original algorithm has been designed to produce a quantitative outcome of the floor vibration volume. In the second experiment, the validity of this outcome for the assessment of physical activity has been tested for 4 selected housework activities. Compared to the Actigraph GT9X monitor, the predictions of the floor vibration system were equally or more accurate. The present study shows the feasibility of using floor vibrations for estimating the housework-related physical activity. Indirect calorimetry experiments are necessary to develop an algorithm able to produce objective estimations of the energy expenditures.

研究分野：身体活動増進

キーワード：スマート自宅 床振動 加速度計センサー 家庭活動 身体活動 アクティビティカウント エネルギー消費

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 科学的証拠によると、身体活動は死亡率や非感染性疾患のリスクの低下と関連がある [Physical Activity 2012, The Lancet 2012]。そして、ウェアラブルデバイスを使用した身体活動の自己モニタリングは身体活動の促進に効果的であることが証明されている [Bravata et al. 2007]。IoT/5G 時代を迎え、インターネットに常時接続されたスマートシステムによるよりユビキタスで正確な身体活動量評価法に期待が高まっている [Chen et al. Mobil Netw Appl 2016]。

(2) この傾向に従って、スマートホームシステムは、次の二つの利点を持つ：

- 人々が家にいるときの身体活動モニタリングの継続性を支援すること。
- 家事活動に関連するエネルギー消費推定の精度を改善するために特定の情報を提供すること。

今日までに、いくつかのスマートホームプロジェクトには、モーションセンサー、低解像度ビデオカメラ、Kinect システム (Microsoft, USA)、加速度センサーベースのウェアラブルモニターなど、居住者の行動を観察できる様々な機能が含まれてきた [Farayez et al. 2019, Kientz et al. 2008, Serin et al. 2015, Bao & Intille, House_n Consortium, Yao et al. 2018, Farayez et al. 2019]。さらに、床に埋め込まれた受振器、圧力センサー、および加速度センサーも、足から床への衝撃の位置、また部屋の占有率の評価に使用されている [Helal et al. 2005, Yamazaki 2007, Bahroun et al. 2014, Pan et al. 2014]。しかし、これらのプロジェクトで得た情報は主に家電製品がスマートに機能するための入力として使用され、どのプロジェクトにおいても、身体活動の定量的な評価を提案することはなかった [GhaffarianHoseini et al. 2013]。

2. 研究の目的

(1) 本プロジェクトの目的は、住居内において床振動情報を利用することにより、身体に計測機器を身につけることなく身体活動量を推定する方法の開発である。

(2) 実験①：居住者の身体活動を定量的に評価するために、床振動を観察できるスマートホームシステムを開発すること。

(3) 実験②：選択された4つの家事活動において、開発されたスマートホームシステムの結果と GT9X モニター (ActiGraph LLC, USA) の推定を比較すること。

3. 研究の方法

(1) 実験は「Ocha-House」という東京都心に位置する実験住宅 (~50m²) で行った。

(2) 床振動のデータ収集システムには、床上に設置した 1~8 個の加速度センサー (リオン株式会社)、1~4 個のチャージアンプ (リオン株式会社)、1~2 個の USB "DAQ" ユニット (National Instrument, USA)、1 個のラップトップを使用した (図 1、2)。アナログ信号を 100 Hz のサンプリング・レートに 12 ビットで量子化した。Matlab の Data Acquisition toolbox (MathWorks, USA) を使用してデータを収集した。

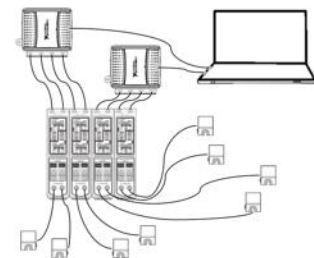


図1: データ収集システム。
8個の加速度センサーの例。

(3) 実験①(設定・事前実験)

(4) 加速度センサーの位置と数を変えて図面2に示すように145歩歩行した際の床振動を検討した。それぞれの設置には、正確な歩数抽出が可能であるか検証した。また、データのばらつき、ピークの高さ等を調べた。Matlab の Digital Signal Processing toolbox を用いて、床振動の加速度データを処理した。



図2: 実験の場所を上から見たものと加速度センサー設置位置。赤：2個、オレンジ：4個、青：7個、緑：8個。

(5) 実験②

(6) OchaHouse では 10 人の被験者が 4 つの家庭活動を行った。下記の活動コードは 2011 の身体活動のメッツ表の「安静～安静に近い低強度活動」及び「家での活動」というクラスに示す：

- 座って静かにビデオを見る (~1.3 メッツ、活動のコード：07020)。
- アイロンがけ、洗濯ものを干す、またたたむ (1.8~2.0 メッツ、活動コード：05070、05090)
- 料理や食事を準備、またテーブルをセッティングをして給仕する (~2.5 メッツ、活動コー

ド：05051&05052)

- 家を掃除する (~3.3 メッツ、活動コード：05030)

(7) 各活動は5分間行った。被験者は身体活動の量を推定する GT9X 装置を腰および手首に着用していた。実験はビデオ録画した。

(8) 新規のアルゴリズムは、床振動データを処理し、歩数推定及び身体活動の定量的なパラメータを計算するように設計した。データ処理はSciPyライブラリで行った [Jones et al. 2014]。8センサーの信号は整流され、3 Hzの遮断周波数2の次数バターワースローパスフィルタを使用し平滑化した。その後：

- 歩数を推定：各サンプル時間に8センサー加速度のノルムが計算され、ピーク検出アルゴリズムにより歩数を推定するために使用された。
- 床振動の定量的なパラメーター：各8センサーの時系列のデータは10秒毎のウィンドウにカットし、各ウィンドウの和加速度を計算した。その後、全センサーの計算した和加速度のノルムを10秒毎に計算した。このノルム値は、ActigraphのGT9X装置の「アクティビティカウント」という成果と同様に、身体活動の定量的推定のパラメータである。ただし、この新規な身体活動量のパラメーターは床の振動量に直接関係している。

(9) 各活動の定量的な床振動パラメータの値は、クラスカ・ウォリス検定を用いて比較された。GT9X アクティビティカウント及びメッツ値についても同じ分析が行われた。本研究では、腰装着型 GT9X 装置のアクティビティカウントが活動強度の基準値と見なされる。定量的な床振動パラメータと腰装着型の GT9X 装置のアクティビティカウントとの関係を相関検定のことを用いて調べた。さらに、Ocha-House 及び2台の GT9X の歩数の推定が実際の歩数と比較されている。

4. 研究成果

(1) 実験①

8個の加速度センサーの設置により最も正確な歩数推定を可能とした。誤差は10%未満であり、加速度のピーク値のバラつき、信号のシャドウ所が共に減少した。よって次の実験②では図面2に示すような8加速度センサーの設置を採用する。

(2) 実験②

各活動ごとに、腰装着型 GT9X 装置の5分間の平均メッツ値を表1に表示する。4つ活動強度は有意に差があり (p<0.05)、理論メッツ値に近く、実験②の方法との関連性を示すものである。腰装着型 GT9X のアクティビティカウントの結果についても同じことが言える。しかしながら、手首装着型モニタは、2つの活動の強度の明らかな違いにもかかわらず、「アイロンがけ、洗濯ものを干す、またたたむ」および「家を掃除する」活動について同じ数のアクティビティカウントを出力した。これはおそらく、アイロンがけ、洗濯ものを干す、またたたむことは上肢の動きによるものが大きいからである。これらの結果は、現代の手首装着装置は正確な家事の身体活動量推定が可能でないことを示している。

表1：各活動についての、メッツ値、GT9Xのアクティビティカウント、床活動の定量的なパラメータ

| | 座って静かにビデオを見る | アイロンがけ、洗濯ものを干す等 | 食事を準備、テーブルセッティング等 | 家を掃除する |
|---|--------------|-----------------|-------------------|------------|
| 理論強度 (メッツ) 【身体活動のメッツ表】 | ~1.3 | 1.8~2.0 | ~2.5 | ~3.3 |
| 腰につけた GT9X の強度推定 (メッツ) 【Crouter et al. 2010】 | 1.1±0.1* | 1.3±0.2* | 2.1±0.4* | 3.7±0.6* |
| 腰につけた GT9X のアクティビティカウント | 15±75** | 86±102** | 215±155** | 457±280** |
| 腕につけた GT9X のアクティビティカウント | 74±166** | 1332±428◆◆ | 941±514** | 1394±484○○ |
| 床活動の定量的なパラメータ | 46±12** | 60±18** | 74±42** | 102±52** |

平均±標準偏差。*他の3つの活動を比較した有意差 (p<0.05)。**他の3つの活動を比較した有意差 (p<0.001)。◆◆「家を掃除する」以外の他の活動を比較した有意差 (p<0.001)。○○「アイロンがけ、洗濯ものを干す、またたたむ」以外の他の活動を比較した有意差 (p<0.001)。

(3) 床振動の定量的なパラメータの5分間の平均は4つの活動において有意に差があり、各活動の理論的な強度によって増加する ($p < 0.001$ 、表1、図3)。さらに、床振動の定量的なパラメータは腰装着型のGT9X装置のアクティビティカウントと有意に相関がある ($R = 0.8$ 、 $p < 0.001$ 、図4)。これらの結果によると、腰装着型GT9X装置による推定が身体活動の強度の基準値と見なされるため、床振動を観察することで正確な家事の身体活動強度の評価が可能である。

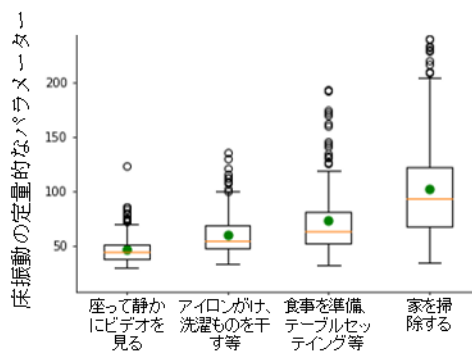


図3: 4つ活動に床振動の定量的なパラメータの箱ひげ図。緑: 平均。4つの活動において有意に差がある ($p < 0.001$)

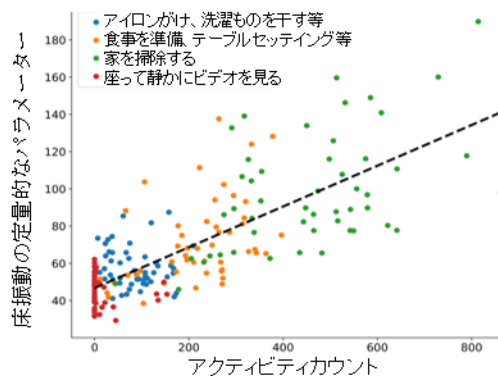


図4: 床振動の定量的なパラメータが腰装着型のGT9X装置のアクティビティカウントとの関係 ($R = 0.8$ 、 $p < 0.001$)

(4) 全体の歩数において、床振動観察システムが推定した被験者平均は、腰装着型および手首装着型GT9Xの歩数推定より正確であった (-3 ± 29 vs. -24 ± 22 vs. 80 ± 78 歩)

(5) まとめ

上記の結果より、床の振動情報を用いて、さまざまな種類の家庭活動に関連する身体活動量・強度を推定することの実現可能性を示した。次の実験では、間接熱量測定を使ってエネルギー消費推定を行うアルゴリズムを開発する予定である。これにより、将来、スマートホームのIoT・5Gシステムで、住居内においてウェアラブルデバイスを身につけることなく身体活動量を推定することが可能となる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ① [Tripette Julien](#), Sasaki Mio, Motooka Nobuhisa, Ohta Yuji, Assessing physical activity using floor vibrations in a smart home setting, *The 6th International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement*, Maastricht, The Netherlands, June 2019.
- ② Ren Dian, Sasaki Mio, Motooka Nobuhisa, Aubert-kato Nathanael, Ohta Yuji, [Tripette Julien](#), Chaussures et habitats intelligents pour une évaluation omniprésente de l'activité physique (スマートシューズ及びスマートホームを使用した身体活動のユビキタス測定), *Journées Francophone de la Recherche 2018*, Tokyo, December 2018.
- ③ トリペット ジュリアン、佐々木美緒、赤尾真菜、元岡展久、太田裕治、床振動を用いた住居内での身体活動量の推定、第73回日本体力医学会大会、福井市、日本、2018年9月。
- ④ Sasaki Mio, [Tripette Julien](#), Saiwaki Naoki, Motooka Nobuhisa, Ohta Yuji. 住居における床振動情報を用いた日常生活動作時の居住者の歩数抽出及び部屋特定のアルゴリズムの開発、第33回ライフサポート学会大会、東京都、日本、2017年9月。
- ⑤ [Tripette Julien](#), Sasaki Mio, Motooka Nobuhisa, Ohta Yuji, Assessing physical activity using floor vibration in a smart home setting, *The 16th Meeting of the International Society of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Victoria, Canada, June 2017.
- ⑥ [Tripette Julien](#), Kaneko Saki, Motooka Nobuhisa, Ohta Yuji, Measuring step-count at home using floor vibrations (OchaHouse Project), *The 6th International Congress on Physical Activity and Health*, Bangkok, Thailand, November 2016.
- ⑦ [Tripette Julien](#), Nakajima Chihiro, Motooka Nobuhisa, Ohta Yuji, Ochahouse project: monitoring physical activity using floor acceleration, 第70回日本体力医学会大会、和歌山市、日本、2014年9月。

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。