

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11980

研究課題名(和文) 作業負担を見える化するリアルタイム腰部疲労度計測システムとその検証に関する研究

研究課題名(英文) Study on the real-time lumbar burden measurement system that visualizes the work load and its verifications

研究代表者

田村 宏樹 (Tamura, Hiroki)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：90334713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、スマートフォンのような簡易に携帯可能な端末を用いて、体の姿勢を推定し、腰部に加わる圧力を算出し、腰痛リスクを数値化することである。本事業によって、研究目的を実現することができるスマートフォン上でのアプリケーションを開発した。開発したアプリケーションは、1)スマートフォンのセンサーから腰痛リスクを数値化する機能、2)腰痛リスクの数値を音声指示したり、グラフ化して視覚的に理解しやすくしたりする機能、3)計測開始や重量物の有無などを音声により操作する機能、4)腕や足の計測姿勢が実際と異なる場合、計測後でも数値変更をして腰痛リスクを再計算する機能を有している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したアプリケーションを用いて、工場現場及び介護現場の実フィールドで計測実験を行っている。開発したアプリケーションは、実フィールドでも準リアルタイムで腰痛リスクを計測ができ、また、ヒトの主観的な腰部疲労度と同じ傾向の腰痛リスクの数値を算出できていることを実験結果からわかっている。これらのことより、本研究の成果は実際の社会で実用化可能な技術である。さらに、労働負担を低減することは労働改善をする上で重要な項目であり、働き方の改善にも繋がる。これらのことより、腰痛リスクを比較的簡便に数値化でき、またその数値を用いて音声ガイドや可視化できる技術は、社会的意義が大きい研究成果であると言える。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to estimate body posture, calculate the pressure exerted on the lower back, and assess the risk of lower back pain using a portable device like a smartphone. As part of this project, we developed a smartphone application that fulfills these research objectives. The application has the following features: 1)It quantifies the risk of lower back pain using the smartphone's sensor. 2)It provides voice instructions based on the calculated risk of lower back pain and displays a graph for easier visual comprehension. 3)It allows users to initiate measurements and control the presence or absence of heavy objects via voice commands. 4)It enables users to adjust the numerical values post-measurement and recalculate the risk of lower back pain if the actual positions of the arms and legs differ from the measured ones.

研究分野：生体信号処理

キーワード：腰部負担計測 生体信号解析

1. 研究開始当初の背景

近年、日本の農業就業人口は減少を続けており、高齢化も進行している。この原因として、肉体的な負担がかかる労働環境が挙げられる。このことから、農業労働者の身体的負担を軽減する、いわゆる軽労化に注目が集まっている。軽労化のために様々な技術開発が行われ、農業機械の自動化や新たな農業環境の開発などが行われているが、身体的動作を補助する農業用アシストスーツ(以下、アシストスーツ)も軽労化のための技術の一つである。現在アシストスーツは様々なものが開発されているが、アシストスーツを装着することによってどの程度農作業中の身体的負担が減少したのかということの数値化して評価する方法は確立されていない。そもそもの問題点として、農業作業中の作業者の疲労はいままでアンケート形式の主観的なものが主流で、客観的評価する方法がほとんど確立されていないことが挙げられる。本申請研究では、腰部における疲労具合(腰部疲労度)を定量的に評価する方法を提案し、開発することと、その結果や他の生体情報を用いて客観的にアシストスーツなどの補助装置を定量的に評価する方法論を確立することを目的とする。

2. 研究の目的

申請者は、スマートフォンを1台胸ポケットに入れるだけで(図1参照)姿勢による腰部疲労度を連続的にリアルタイムで計測できるアイデアを提案している[1,2]。スマートフォンで傾斜角度を計測し、スマートフォンのジャイロ、加速度の時系列変化で人の状態判定をし、を近似的に算出、それと身長、体重の情報を用いて、腰部にかかる圧力を推定可能にしている。しかし、作業中に実際に持つ荷物の重量が変わると対応できないといった問題点がある。



図1: スマートフォン装着の様子

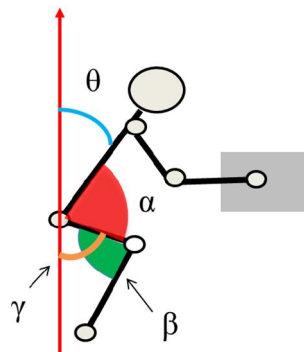


図2: スマートフォンで計測している角度

[1]A Study on the Lumbar Burden Evaluation of Work using One Smartphone, Hiroki Tamura, Keiko Sakurai, Koichi Tanno, Yasufumi Fuse, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life 5 (3) 173 - 179 2018 年

[2] 発明の名称「姿勢特定システム、動作判定システム、姿勢特定方法、及び、姿勢特定プログラム」、出願番号特願 2016-145046、発明者：田村宏樹

本申請研究では、上述のスマートフォンを用いた腰部疲労度計測のシステムを拡張し、腕時計型加速度センサ、ジャイロセンサー (Apple Watch) を用いて、スマートフォンと対象の重量物を持ったかどうかの情報を入手できるように拡張し、荷物の重量の変化にも対応を行える新しい方法論を提案し、今まで国内外になかった高性能リアルタイム腰部疲労度計測システムを開発する。

本申請研究では農作業、工場現場などの異なる複数の作業環境における作業動作において評価実験を行い、アンケート、心拍、唾液アミラーゼ、筋電位、姿勢から、計測データを得て、身体の疲労度を推定する新しい疲労度推定式を導出する。その推定式の結果と近似的な値を、装着が容易で、装着の負荷が小さいスマートフォンと小型筋電位センサーを用いて得られる情報

から、強い相関を持った形で疲労度推定できるかどうかを検証することを最終目的とする。

3. 研究の方法

研究目的の1つである 高性能リアルタイム腰部疲労度計測システムを開発するにあたり、対象物にビーコンを付け、その距離により対象物を持っているかどうかの検討を行ったが、誤差が大きく実用的ではなかった。そこで、Apple Watch を用いて腕の状態の情報から荷物を持ったかどうかの判定がどの程度できるか、検証実験を行った。

検証実験では、荷物の運搬動作中に発生する荷持ち動作について注目し、作業中の負担値を推定するシステムを開発した。荷持ち動作の判別のため、一連の動作を身体の状態ごとに細分化し、特徴を検討した。身体の状態の中でも、特に腕角度、加速度値の変動に注目し、スマートフォンと Apple Watch を使用して計測を行った。それら得られたデータから閾値を設定して、荷物持ち判定のアルゴリズムを提案した。そのアルゴリズムを用いて、3名の被験者の荷持ち状態 [work]、静止状態 [rest] (図3参照)の精度を検証する。



図3:荷物の持ち状態、静止状態の様子

本申請研究のもう1つの目的である 身体の疲労度を推定する新しい疲労度推定式の導出をするにあたり、アシストスーツを用いた農作業時に、スマートフォンを用いた腰部疲労度計測や、他の疲労度を示す指標の計測・収集を行った。この実験は、宮崎県総合農業試験場と宮崎県工業技術センターの方々により、作業中の唾液アミラーゼから求めるストレス値の測定や脊柱起立筋の筋電位計測を行った。

具体的な作業動作としては、まず、土嚢を入れた重さが20[kg]の2つのプラスチックかごを軽トラックの横に用意しておく。1人の被験者が2つのかごを軽トラックの荷台に1つずつ積み、2つのかごを降ろすという作業を1動作とし、続けて30動作行うことを1回の実験とした。5人の被験者を対象に、この実験ではアシストスーツなしの場合の作業とアシストスーツありの場合の作業で実験を行った。使用したアシストスーツはエアロバックスーツ(1.5[kg])、ボディスーツ(5.8[kg])、マッスルスーツ(4.8[kg])、Win-1スーツ(10[kg])の4つを用いた。本実験では、疲労度を定量的に評価する指標として、腰部疲労度(アンケート結果)、スマートフォンを用いた腰部疲労度計測による腰部負担平均、積算値、最大値と脊柱起立筋の筋電位平均、積算値、筋電位最大値と唾液アミラーゼの値、脊柱起立筋の筋硬度の値、心拍値、最高血圧、最低血圧の12の指標を計測した。これらの情報を用いて疲労度推定式を統計的手法で導出する。

4. 研究成果

4.1 高性能リアルタイム腰部疲労度計測システムについて

Apple Watch から得られたX, Y, Z軸からなる加速度については、リアルタイムでデータを受信することができるため、スマートフォンの腰部負担推定と連動させて腕角度の表示、データ保

存を可能とした（図4参照）。その値の変動から荷持ち状態を判別する閾値を設定し、アルゴリズムを作成して実行した。結果として、荷持ち状態での正答率は89.4[%]、静止状態での正答率は83.2[%]であり、高い精度での判別が可能であった。しかし、Apple Watchを追加したプログラムに関しては、Apple Watchは通知が表示されるか一定の角度以上などの条件下では、自動でロック画面に移行し、アプリが停止するため、測定が中断される。そのため長時間の測定ができない状況であるため、Apple Watchを用いた計測は、現段階では特定行動時の腰部負担推定の代表値としての運用が適していると考えられる。日常的に使用できる腰部負担推定システムにするには、この問題を解決する必要がある。

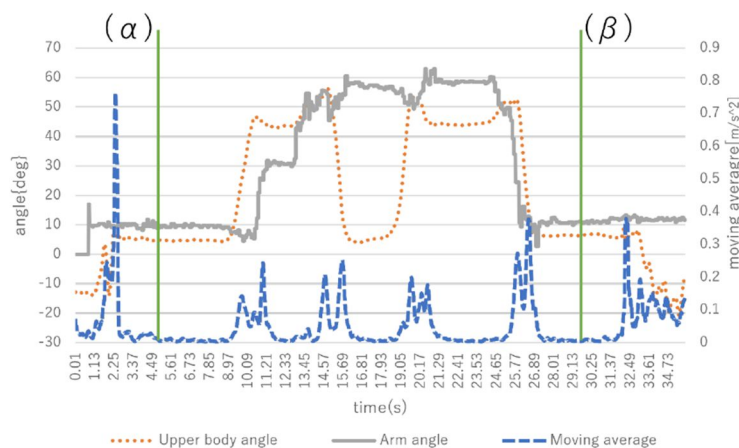


図4：被験者Aの上体角度，腕角度，加速度の推移

そこで、高性能リアルタイム腰部疲労度計測システムを開発するための別の方法として、作業中に作業員からの特定の音声を認識し、荷物を持っているかどうかの判定を行う機能を開発した。本申請研究では、物を持つタイミングで「荷物をありに」、物を置くタイミングで「荷物をなしに」とユーザーが言うことでタイミングが記録される機能を追加した。音声認識には、Speech framework という Apple の音声認識フレームワークを用いている。これにより、Apple Watch を用いなくとも図5のように、音声認識にて荷物を持つタイミングがわかり腕に加わる荷重を変化させて、より高性能に腰部負担を推定することを可能とした。

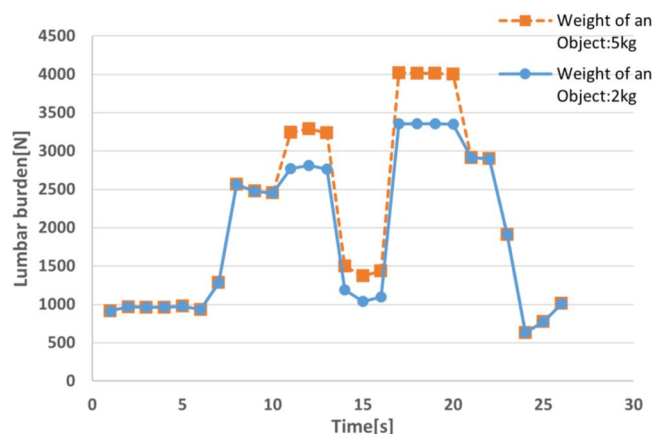


図5：音声認識により荷物を持っている状態を認識し、その結果を腰部負担に反映させた様子
青線は常に2kgの加重が腕にかかっている状態の変化で、オレンジ線は音声認識で特定の区間追加の加重（荷物）が腕にかかった時の腰部負担の差を示している。

4.2 身体の疲労度を推定する新しい疲労度推定式の導出について

5名の被験者に対して、アシストスーツなしの状態からの4種のアシストスーツありとの変化率の平均を12指標ごとに求め、レーダーチャートとして、図6に示す。

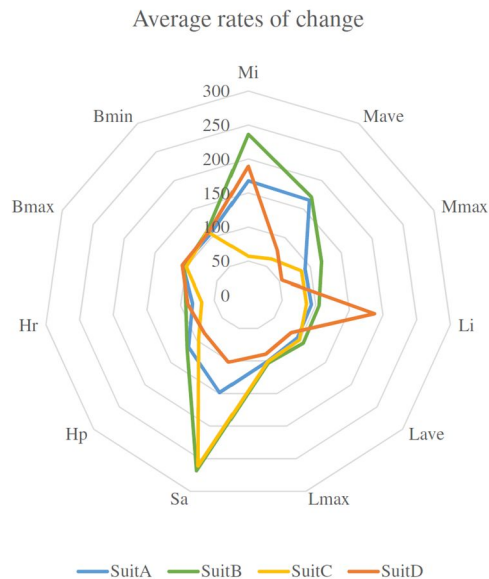


図6：変化率レーダーチャート

前述の12指標を用いた重回帰分析の結果から、疲労度の評価式を決定する。重回帰分析から係数にマイナスが得られた要素を除外することで、筋電位平均値(Mave)、腰部負担積算値(Li)、脊柱起立筋の筋硬度(Hp)、心拍(Hr)、最大血圧(Bmax)の5つの要素が腰部における疲労度に関わっていることがわかった。そこで、これらの係数を用いることで疲労度の評価式を決定した。評価式から得られる疲労度をFatigueとした。この評価式をhip tiredness (HT 評価式)と呼ぶ。

HT 評価式

$$\text{Fatigue} = 0.19 \cdot \text{Mave} + 0.38 \cdot \text{Li} + 0.05 \cdot \text{Hp} + 0.19 \cdot \text{Hr} + 0.42 \cdot \text{Bmax} - 68.9$$

このHT評価式と腰部疲労度(アンケート結果)との決定係数は、0.62であり、強い相関がある。さらに、小型筋電位センサで計測できる筋電位の平均値とスマートフォンの腰部負担積算値の2つの指標を用いた重回帰分析の結果においても、決定係数が0.53であり強い相関がある。また、 p 値は腰部負担積算値が最も小さいという結果となった。

本申請研究では、高性能リアルタイム腰部疲労度計測システムの開発を行い、スマートフォン上でのアプリケーションを開発した。開発したアプリケーションは、1)スマートフォンのセンサから腰痛リスクを数値化する機能、2)腰痛リスクの数値を音声指示したり、グラフ化して視覚的に理解しやすくしたりする機能、3)計測開始や重量物の有無などを音声により操作する機能、4)腕や足の計測姿勢が実際と異なる場合、計測後でも数値変更をして腰痛リスクを再計算する機能を有している。これらの機能により、高性能に腰痛リスク(=腰部負担値)をスマートフォン上のアプリケーションで計測することができる。また、計測した腰部負担値と小型筋電位センサを用いた脊柱起立筋の筋電位平均値により、強い相関を持った腰部疲労度を算出することが可能であることを実験結果より示した。これらの結果より、本申請研究で開発した腰部疲労度計測システムと小型筋電位センサを組み合わせることで、客観的にアシストスーツなどの補助装置を定量的に評価することが可能であるといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Taufik Hidayat Soesilo, Praveen Nuwantha Gunaratne, Hiroki Tamura
2. 発表標題 Advancements in Real-Time Biomechanical Analysis of Lumbar Burden Utilizing Stereoscope
3. 学会等名 The 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomoka Kimura, Yutaro Fujino, Sachiko Kido, Praveen Nuwantha Gunaratne, Hiroki Tamura
2. 発表標題 Verification Experiments on the Lower Back Burden caused by Posture and Environment during Lifting Operations
3. 学会等名 The 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Seigo Imura, Praveen Nuwantha Gunaratne, Hiroki Tamura
2. 発表標題 Development of Smartphone Application for Calculating the Low Back Pain Risk
3. 学会等名 The 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Sachiko Kido, Praveen Nuwantha Gunaratne, Hiroki Tamura
2. 発表標題 A Feasibility Study on Methods to Measure the Strain on Young Children's Bodies
3. 学会等名 The 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

スマートフォンとウェアラブルデバイスを用いた腰痛予防デジタルヘルスアプリ
<https://www.youtube.com/watch?v=Nqn84FVYK4M>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------