

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22501

研究課題名（和文）人体への機械的振動刺激を外乱入力とする身体機能評価手法に関する研究

研究課題名（英文）A Study on the Evaluation Method of Physical Function using Vibration Stimulation on Human Body

研究代表者

本田 功輝（Honda, Koki）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：70879973

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ヒトの筋肉への機械的振動刺激によって生成される、筋から中枢神経への求心性入力や緊張性振動反射を利用し、身体機能を定量的に評価する手法について基礎的な検討を行った。具体的には、機械的振動刺激によって生じられる筋反射に伴う運動感覚量や関節角度の応答と、刺激量の関係式の推定方法に関する研究を行った。また、筋反射によって引き起こされるヒトの重心動揺を計測する手法について、慣性センサを使用して計測する手法について研究を行った。研究の結果、健常者における筋への振動刺激量の変化に伴う筋反射量の変化の推定方法がわかり、慣性センサを用いて重心動揺に伴う足裏圧力中心の軌跡を推定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者などの身体機能が衰えた人々において、身体機能の状態を定量的に評価し、衰えを早期に発見することは重要である。機械的振動刺激により生成される筋反射は、ヒトの神経、筋骨格システムを総合的に使用して発生する現象であるため、健常者と身体機能が衰えている高齢者などとの機械的振動刺激に対する応答の違いから、身体機能の低下について定量的に評価することができる可能性がある。今回の研究により、身体機能の健全なヒトにおける筋への振動刺激に対する筋反射量の推定が可能となったことで、今後高齢者などにおける振動刺激に対する筋反射の応答と健常者の応答を比較し、身体機能の衰えを評価することができる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：In this research, we conducted a basic study on a method to quantitatively evaluate physical functions using tonic vibration reflexes generated by mechanical vibration stimulation to human muscles. Specifically, we studied a method for estimating the relationship between the amount of human response generated by mechanical vibration stimulation and the amount of stimulation. We also studied about a method for measuring the sway of the human center of gravity caused by muscle contraction using an inertial sensor. As a result, we found a method for estimating the relationship between changes in the amount of vibration stimulus to muscles and changes in the amount of muscle reflex in healthy subjects, and we proposed a method to estimate the trajectory of the center of foot pressure associated with the center of gravity sway using an inertial sensor.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：振動刺激 筋肉 反射 身体機能

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者において、身体機能の低下は日常生活動作を徐々に困難とさせ、転倒事故などの原因となりうる。したがって生涯に渡って健康生活を送るためには、身体機能の状態を定量的に評価し、衰えを早期に発見する必要がある。ここで神経生理学の分野における先行研究により、人体へ皮膚表面から機械的な振動刺激を与えることにより、筋肉中の筋紡錘が発火し、末梢から中枢神経へ向けて求心性入力が発せられることが知られている(図1)。この振動刺激により、ヒトの脳内に被刺激筋を使用した運動のイメージが生起されると同時に、身体反応として、緊張性振動反射と呼ばれる筋反射による関節動作が生じる(図1)。機械的振動刺激により生成されるこれらの現象は、ヒトの神経、筋骨格システムを総合的に使用して発生する現象であるため、健常者と身体機能が衰えている高齢者などの機械的振動刺激に対する応答の違いから、身体機能の低下について定量的に評価することができる可能性がある。

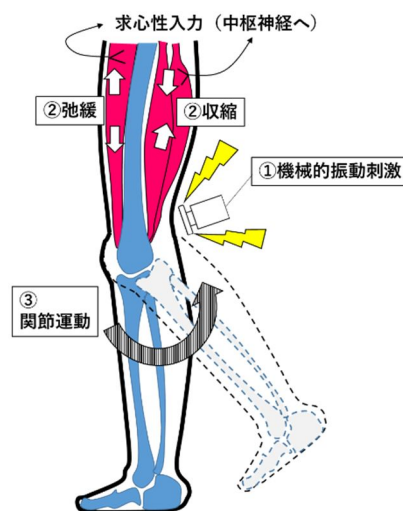


図1 機械的振動刺激による求心性入力と筋反射

本研究課題においては、人体の筋肉への機械的振動刺激によって生成される筋から中枢神経への求心性入力や緊張性振動反射を利用し、身体機能を定量的に評価する手法について基礎的な検討を行った。この機械的振動刺激による身体機能評価のために、機械的振動刺激によって生起されるヒトの反応量と、刺激量の関係式の推定方法に関する研究と、筋反射などの筋収縮によって引き起こされるヒトの重心動揺を計測する際に、慣性センサを使用し

て計測する手法について研究を行った。

### 2. 研究の目的

機械的振動刺激により生成される、筋中の筋紡錘から中枢神経への求心性入力は、緊張性振動反射と呼ばれる筋反射を生起することがある。この緊張性振動反射により、被刺激筋が筋収縮を起こし、その結果、被刺激筋の接合する関節に関する運動感覚が生起される。高齢者などの身体機能が衰えたヒトにおいては、筋中の筋紡錘の数の減少や、求心性入力により筋反射を生起するメカニズムの衰えなどにより、刺激入力に対する筋反射の量が健常者と比べて少なくなる可能性がある。このような筋への振動刺激の量に対するヒトの応答は個人差などを伴うため、一口に高齢者、健常者、と述べても、同じ刺激量に対する反応量にはばらつきがある。そこで本研究では、複数の健常者において振動刺激量の変化に対し、筋反射にともなって被験者が感じ取る動作感覚を関節角度の変化量として被験者に再現させる実験を行い、統計モデリングの手法を用いて、ある刺激量に対して健常者でどの程度関節動作の感覚が生成されるのかについての推定を行った。この健常者における刺激量と関節動作感覚の関係に対して、高齢者など身体機能の衰えが疑われるヒトへの刺激量と関節動作感覚の傾向を比較することで、対象となるヒトの刺激量の変化に対する筋反射量の変化の傾向が、健常者と異なった傾向であるかを判定する指標とすることができる可能性がある。

また、将来的に立位状態のヒトに対し、下肢筋肉へ振動刺激を与え筋反射を生起させることにより、実際の筋収縮あるいは動作感覚の生起による立位姿勢の動揺を生成し、その動揺の大きさを計測することで、身体機能の評価をおこなうことができる可能性があるが、そのための立位姿勢の動揺を計測する手法として、ヒトの胴体に取り付けた慣性センサにより立位姿勢の動揺に伴う足裏圧力中心(Center of Pressure: CoP)の軌跡を推定する手法を提案し、有効性について検討した。

### 3. 研究の方法

健常者において、筋肉へ刺激量を変えつつ振動刺激を与えた際にどの程度の筋反射が生じるかを調べた。このとき、刺激量を調整する目的で振動刺激の周波数を変化させながら被験者へ振動刺激を与えた。振動刺激により、被験者の被刺激筋に筋反射が生じ、被刺激筋が接合する関節に関する動作感覚が生じるため、この動作感覚を被験者に再現させることにより筋反射量を計測した。複数の被験者において上記の計測を行ったのち、その計測データをもとに、関節角度変化量を目的変数とし、振動刺激の周波数を説明変数とする一般化線形混合モデルを立てた。この

モデルにより、振動刺激の周波数がどの程度変化すると、ヒトの反応としてどの程度の関節角度変化が生じるのかを予測することができる。

次に、立位状態のヒトの重心動揺を、胴体に取り付けた慣性センサにより推定する手法について説明する。ヒトの立位状態は本質的に不安定であるので、健常者であっても、静止立位時にその重心はわずかに動いている。この重心を床面に投影した点の軌跡が、足裏で形成される支持基底面の内側にあるとき、ヒトは立位状態を維持することができる。ヒトは足裏へ床から加えられる反力の大きさや向きを、下肢筋肉を使用して変化させることにより、重心を床面へ投影した規制の動きが裏支持基底面内に収まるように制御し、立位状態を維持している。このとき、重心付近の動揺を計測し、倒立振子モデルで表現される力学モデルに当てはめると、足裏の圧力中心(CoP)の軌跡を推定することができる可能性がある。下肢筋肉に振動刺激を与え筋反射を生起させた場合に立位姿勢の動揺の量を計測することを想定し、ヒトの胴体の重心付近へ慣性センサを装着し、倒立振子モデルに基づいて足裏圧力中心(CoP)の軌跡を推定する手法を提案し、従来から足裏圧力中心の軌跡を計測するために使用されるフォースプレートによる足裏圧力中心(CoP)計測での軌跡と比較することでその有効性を検討した。

#### 4. 研究成果

健常者において筋肉へ振動刺激を与えた際にどのような関節角度変化が生じるかを調べた結果、振動刺激の周波数の変化が関節角度変化に大きな影響を与えていることが分かったが、角度変化に対する周波数変化の影響の大きさに個人差も確認された。振動刺激によって生じる関節角度変化と、刺激の強さである振動刺激の周波数の変化を対応づけるモデルの構築を、一般化線形混合モデルと呼ばれる統計モデリングの手法を用いて実施した。この手法により、健常者における振動刺激による関節角度変化量は、振動刺激の周波数を説明変数とし、関節角度変化量を目的変数とするモデルで示されることが明らかとなった。この結果より、健常者における振動刺激に対する関節角度応答を数式で表すことができるため、このモデルと、身体機能の低下がみられる被験者での振動刺激に対する関節角度応答とを比較することにより、振動刺激による身体機能評価を行うことができる可能性が示された。

また、慣性センサによるヒトの重心動揺に伴う足裏圧力中心(CoP)の軌跡の推定について、慣性センサから得られた重心付近の加速度データを基に、倒立振子モデルに基づいて足裏圧力中心(CoP)の軌跡を推定し、同時にフォースプレートを用いて計測した足裏圧力中心(CoP)の軌跡と比較した。その結果、提案手法により慣性センサを用いて推定された足裏圧力中心(CoP)の軌跡は、フォースプレートで実際に計測された足裏圧力中心(CoP)の軌跡の特徴をよく反映していることが明らかとなった(図2)。

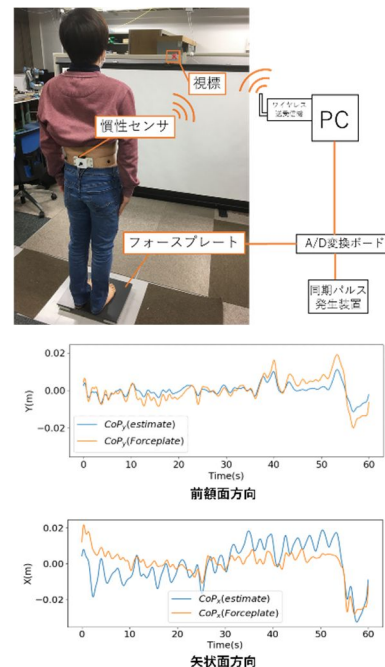


図2 慣性センサによる足裏圧力中心(CoP)の計測(上写真)と足裏圧力中心(CoP)の推定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shouta Okunami, Koki Honda, Ayato Kanada, Yasutaka Nakashima, Motoji Yamamoto
2. 発表標題 The Vibration-induced Kinesthetic Illusion Enhanced by Functional Electrical Stimulation for Neurorehabilitation
3. 学会等名 World Automation Congress 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田功輝, 奥浪翔太, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 電気刺激と振動刺激の複合により増長された運動錯覚に関する基礎研究
3. 学会等名 第42回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田功輝, 奥浪翔太, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 人体への振動刺激と電気刺激による運動錯覚を用いたリハビリテーションに関する基礎研究
3. 学会等名 第3回日本再生医療とリハビリテーション学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手隆統, 本田功輝, 伊藤太祐, 金田礼人, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 力学モデルに基づいた慣性センサによるヒト立位姿勢揺動の推定に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本夏帆, Pham Hoang Tung, 戸越勉, 本田功輝, 金田礼人, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 斜板落下式外乱印加装置を用いたヒト立位化システム同定における実験条件の違いが同定システムに及ぼす影響の検討
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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