

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：34310

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14188

研究課題名(和文) 無重力環境や老化による筋機能低下のモデル化と予防装置の提案

研究課題名(英文) Modeling of muscle function degradation due to zero gravity environment and aging and proposal of preventive device

研究代表者

辻内 伸好 (Tsujiuchi, Nobutaka)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60257798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：月面では1/6-G、火星では3/8-Gといった地球外環境の運動シミュレーションには、空気圧により体重の最大20%の免荷状態で利用可能な反重力トレッドミルが有効である。しかし、反重力トレッドミルでは床反力を計測できず、エアバックで覆われているため光学式運動計測機器は使用できない。そこで申請者らが開発した、ウェアラブル床反力計と、下肢に着用する姿勢センサにより構成される装着型運動計測装置を使用した。その結果、床反力と関節角度の測定結果から、歩行動作特性は、荷重率40%と60%の間で大きく変化し、免荷するほど浮き気味でかつ緩やかな脚運びのつま先立ち歩行になることが定量的に明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Currently, manned space exploration is actively being promoted internationally, so optimal walking motion control technique in the microgravity environment is required. However, during walking on the anti-gravity treadmill, ground reaction forces and joint angles cannot be measured by a large force plate and an optical measurement system. So in this research, walking in a microgravity environment was simulated by using an anti-gravity treadmill and its walking motion was measured with a wearable motion measurement device. The ground reaction forces and the joint angles during one gait cycle were calculated based on each sensor output, and the influence on the walking due to partial weight bearing was examined.

As a result, from the change of the ground reactions force and the joint angles, it was found that the walking behavior characteristics of a lower body greatly changes between the weight rate of 40% and 60%.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：免荷歩行 歩行解析 ウェアラブルセンサ バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

高齢社会を迎えた我が国において、加齢性筋肉減弱症（サルコペニア）や骨粗しょう症などの運動器障害によるロコモティブシンドロームの予防と改善が喫緊の課題となっている。QOL (quality of life) の低下を伴わない健康寿命の延伸を実現させるためには、これらの身体諸機能の低下が起こる原因解明と対処策の構築が必須の命題である。しかし未知の領域が多く、その解明を劇的に進捗させるためには新しいストラテジーが必要である。興味深いことに、上述した身体諸機能の低下は宇宙環境滞在などの微小重力環境下で助長される。

2. 研究の目的

骨格筋は「動作」を発現するだけでなく、骨に張力を与えて、骨形成の刺激因子となるため、骨格筋量を維持するだけで骨萎縮の予防法となる。さらに、単に骨格筋萎縮の予防だけでなく、例えば加齢性筋肉減弱症（サルコペニア）など様々な生体機能の退行性変化の予防法につながることを期待できる。そこで、反重力トレッドミルを用いた重力加速度の 1/3 および 1/6 に相当する（空気圧を利用した）体重免荷状態で、人体と環境間の相互作用情報を、ウェアラブルに計測可能なセンシング装置を開発し、人体筋骨格モデルを用いたシミュレーションと比較することで、廃用性筋萎縮の原因を明らかにする。

3. 研究の方法

被験者に申請者らが開発した「ウェアラブルな歩行運動解析装置」を装着して、既存の反重力トレッドミルによる様々な免荷条件下での歩行運動実験を行い、生じる下肢・上肢の表面筋電位を表面筋電位計、さらに心拍計を用いて計測する。これらの計測データをウェアラブル歩行解析装置と同期して信号処理することで、生じた床反力、足底圧中心点、関節角度、関節間力、関節モーメント、関節パワーなどの生体力学的データとの相関性を明らかにする。姿勢センサの装着位置に対応した下肢に生じる関節角度、関節モーメント等に加えて、関節パワーを積分した消費エネルギーを求め、ヒトの歩行に関する特徴量として抽出し、定量的な歩行評価指標を定義する。特に抗重力筋であるヒラメ筋の筋活動を中心に体重免荷の割合と筋活動量、歩行形態の関連性（踵着地、つま先着地）を明らかにし、宇宙ステーションで抗重力活動の抑制により誘発される筋萎縮の防止策として実施されるトレッドミル歩行やランニングがヒラメ筋の萎縮防止として有効では無い原因を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では、反重力トレッドミルを用いた体重免荷状態の歩行を装着型計測装置により計測することで、微小重力環境での歩行運動

を模擬し、その歩行特性から免荷による歩行への影響を明らかにする。

(1) 実験方法：本研究で開発し使用する装着型計測装置全体の概略図を図 1 に示す。本装置は、片足に 2 基ずつ合計 4 基の小型の移動式床反力計を靴底に組み込み、各 2 基の移動式床反力計に有線接続されたトランスミッターを足の甲に配置したサンダル型の計装靴一足に加えて、片足ごとに下腿部、大腿部に 2 基、腰部に 1 基の各部位にそれぞれ対応する合計 5 基の姿勢センサによって構成される。

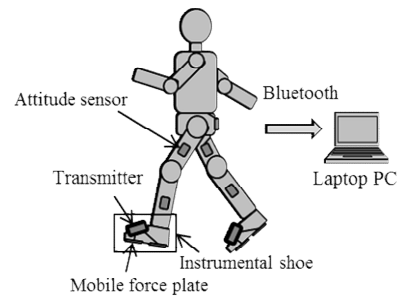


Fig. 1 Wearable measurement device

本研究で使用する反重力トレッドミル AlterG を図 2 に示す。本機器は、空気圧により最大で自重の 20% まで免荷した状態の歩行を可能とするため、使用者の下半身にかかる負担はわずかに抑えると同時に、幅広い免荷状態の歩行を模擬可能である。



Fig. 2 Anti-gravity treadmill AlterG

被験者に装着型計測装置一式を取り付け、反重力トレッドミル内で歩行試験を行った。被験者は健康な成人男性 8 名（年齢 23 ± 1 歳、身長 170 ± 5 cm、体重 70.9 ± 5.4 kg）、装着型計測装置の計測サンプリング周波数は 100 Hz とした。反重力トレッドミルの速度は全試験において 3.5 km/h で一定とした。ここで、無免荷時の体重に対する免荷状態の体重の比率（百分率）を荷重率と定義する。各被験者に対して荷重率 100%、80%、60%、40%、20% の 5 条件をトレッドミルでランダムに設定し、全被験者に対して各免荷条件の歩行を 1 試行（60 秒間）ずつ計測した。

(2) 実験結果：

各試験の歩行計測時間は 60 秒間であるが、本章で述べる実験結果は、後半 20 秒間の算出値のみを扱う。代表的な例として、反重力

トレッドミル上歩行試験により得られた、鉛直方向床反力波形 F_z を図 3、足関節角度波形 A_a を図 4 に示す。

図 3、4 の横軸は全て実時間を取り、図 3 の縦軸は体重で正規化した床反力を、図 4 の縦軸は関節角度を取った。尚、床反力は鉛直上方向を正とし、足関節角度は背屈方向を正、底屈方向を負に取り、膝関節角度および股関節角度は屈曲方向を正、伸展方向を負に取った。

図 3 より、鉛直方向分力 F_z に関して、荷重率が小さくなるほど、全体を通して値が小さくなる傾向にあることがわかる。図 4 より、足関節 A_a に関して、荷重率が小さくなるほど、時刻 0.7 - 0.8 秒付近の底屈方向のピークの絶対値が大きくなる傾向にあることがわかる。以上より、床反力および関節角度波形から、免荷による歩行運動への影響が読み取れることがわかった。

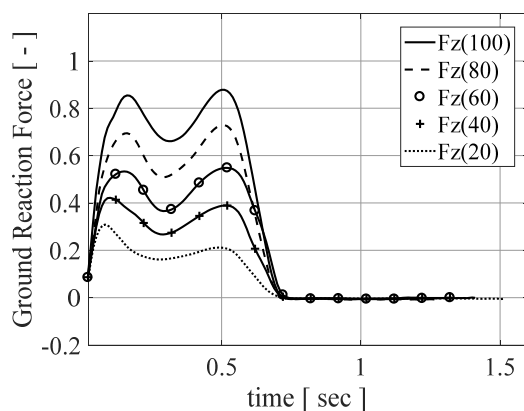


Fig. 3 Ground reaction force in the vertical direction F_z

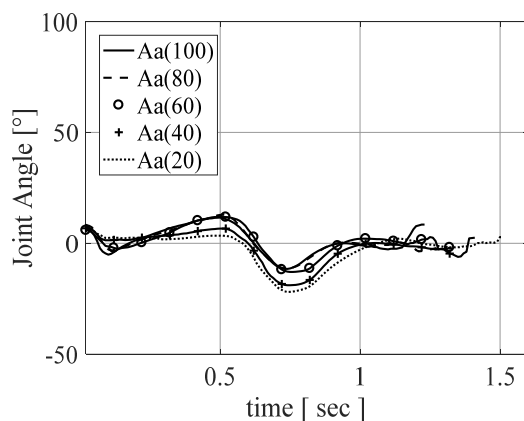


Fig. 4 Ankle joint angle A_a

(3) 結言：

本研究では、反重力トレッドミルを用いて微小重力環境での歩行を模擬し、装着型計測装置でその歩行運動を計測した。反重力トレッドミルによる免荷条件は、荷重率 100%、80%、60%、40%、20% の 5 条件とした。一歩行周期中の床反力および関節角度を各センサ出力に基づき算出し、各免荷条件について算出値を比較することで、免荷による歩行への影響を検討した。

その結果、床反力と関節角度の変化から、反重力トレッドミルで免荷するほど、浮き気味で且つ緩やかな脚運びのつま先立ち歩行になることがわかった。更に、関節角度の変化から、下半身の歩行動作特性は、荷重率 40% と 60% の間で大きく変化することがわかった。以上から従来、経験的・視覚的に確認されてきた微小重力下での歩行特性が、本知見により定量的に明らかとなった。本結果得られた各免荷状態の運動解析情報を筋骨格シミュレーションモデルに入力することで、抗重力筋に与える影響を評価することができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

伊藤 彰人, 慣性センサを用いた運動計測システム, 東大阪商工月報 11・12 月号, 査読有, No.777, 2016, p.17

西山 智士, 辻内 伸好, 伊藤 彰人, 足立渡, 瀧 俊昭, 禰 占 哲郎, 装着型運動計測装置を用いた痙性不全麻痺歩行特性の定量評価, ハリス理化学研究所報告, 査読有, Vol.59, No.1, 2018, pp13-24

[学会発表](計 7 件)

K.Kamibayashi, T.Wakahara, S.Yoshida, N.Tsujuchi, A.Ito, Y.Nakamura, T.Iazawa, Y.Fujisawa, Y.Ohira, Estimation of Leg-muscle Mobilization During Walking on the Mars and the Moon Using an Antigravity Treadmill in Humans, ISS Research and Conference 2016 (2016), San Diego (California USA)

A.Gourley, K.Kitano, N.Tsujuchi, A.Ito, Modeling of MP Joint During Rehabilitation of Rheumatoid Arthritis, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (3492-21333443.pdf) (2016), Disney's Contemporary Resort (Orlando, Florida, USA)

辻内伸好, 慣性センサ・地磁気センサを用いた手指動作計測システムの開発, 2016 年同志社大学リエゾンフェア, (2016), リーガロイヤルホテル(京都)

辻内伸好, 伊藤 彰人, 久本佳樹, 筋電義手による指動作手記別手法の作成, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, (2017), 福島(福島)

西山智士, 辻内伸好, 伊藤 彰人, 安達渡, 瀧 俊昭, 禰 占 哲郎, 装着型計測装置を用いた片麻痺歩行特性の定量的評価, 日本機械学会 D&D 講演会 2017, (2017), 豊橋科学技術大学(豊橋)

北野敬祐, 伊藤 彰人, 辻内伸好, 和木田

茂, 天川良太, 慣性センサを用いた手指
運動計測システムの開発, 日本機械学会
第 30 回バイオエンジニアリング講演会,
(2017), パルスプラザ(京都)
西山智士, 辻内伸好, 伊藤彰人, 大平充
宣, 上林清孝, 荒木啓輔, 装着型計測装
置を用いた免荷歩行の特性解析と評価,
日本機械学会関西支部定時総会講演会,
(2018), 摂南大学(大阪)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

http://se.doshisha.ac.jp/doc/labo/kikai_rikigaku/kikairikigaku.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻内 伸好 (TSUJIUCHI, Nobutaka)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 60257798

(2) 研究分担者

伊藤 彰人 (ITO, Akihito)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号: 60516946