

令和 7 年 6 月 23 日現在

機関番号：34412

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2024

課題番号：22K18241

研究課題名（和文）立ち上がり動作における二関節筋の機構特性による機能

研究課題名（英文）Function of bi-articular muscles in standing motion due to mechanical properties

研究代表者

小出 卓哉 (Koide, Takuya)

大阪電気通信大学・医療健康科学部・講師

研究者番号：00882557

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：立ち上がり動作において、大腿部前面の二関節筋である大腿直筋が重要な役割を果たしている。大腿直筋は股関節と膝関節の両方をまたぐ筋であり、従来は主に下肢の運動に寄与すると考えられてきた。本研究はこの筋が出力だけでなく、平行リンク機構として構造的に動作を支えていることを明らかにした。すなわち、立ち上がり動作中に大腿直筋が重心方向に床反力を向けるように調整することで、体幹の前方倒れを抑制している。この知見は、立ち上がり能力が低下した高齢者や運動機能障害者に対するリハビリテーションプログラムや支援機器の設計において、新たな視点を提供するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は立ち上がり動作において、大腿直筋が単なる筋出力としてだけでなく、平行リンク機構として体幹支持と床反力方向の調整に寄与していることを実証した点に学術的意義がある。これにより、二関節筋の構造的貢献という新たな視点を提供するものである。また、この成果は、高齢者や運動障害者の立ち上がり支援における筋機能の活用方法に示唆を与えるとともに、リハビリテーションプログラムや生体模倣型補助機器の設計に応用可能であり、超高齢社会における健康寿命の延伸とQOLの向上に寄与する社会的意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In the standing up motion, the rectus femoris, a biarticular muscle located at the front of the thigh, plays an important role. This muscle spans both the hip and knee joints and has traditionally been considered to contribute primarily to lower limb movement. This study revealed that the rectus femoris not only produces force but also functions as a parallel link mechanism that structurally supports the motion. Specifically, it helps prevent the forward fall of the trunk by adjusting the direction of the ground reaction force toward the body's center of gravity during standing up. These findings offer a new perspective for designing rehabilitation programs and assistive devices for older adults and individuals with impaired motor function.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：立ち上がり動作 平行リンク 大腿直筋 体幹重心 膝一関節伸筋

### 1. 研究開始当初の背景

立ち上がり動作は日常生活の起点となる基本的な動作であり、その維持は高齢者の自立生活やQOL向上に不可欠である。こうした背景から、立ち上がり動作に関する多くの研究がなされ、ロボット工学の理論を用いた関節トルク解析が広く活用されてきた。

立ち上がり動作では大殿筋や大腿四頭筋などの一関節筋だけでなく、股関節と膝関節にまたがる二関節筋である大腿直筋の活動も顕著である。

近年、二関節筋の力学的役割が注目されており、四肢末端への力の伝達や方向制御において重要な働きをしていることが報告されている。また、加齢に伴う筋萎縮への抵抗性や、立ち上がり動作における安定的な筋放電が確認されており、リハビリテーションの観点からも重要視されている。

我々はこれまでに、大腿直筋が立ち上がり第2相において体幹の倒れを制動し、床反力を重心方向に調整する役割を果たしていることを示してきた。しかし、実際の立ち上がり動作は動的で複雑な体幹運動を伴うため、より包括的な視点から、二関節筋の機能的役割を明らかにする必要があると考え、本研究を開始した。

### 2. 研究の目的

本研究では大腿直筋が単なる出力筋ではなく、運動中に身体の安定性を構造的に支えているという仮説を立て、その機能的役割を実験的に明らかにすることを目的とした。

本研究の目的は、立ち上がり動作における大腿直筋の構造的役割およびその機構特性を解明することである。具体的には、次の2点を主な目的とする：

- (1) 大腿直筋が立ち上がり動作時にどのように体幹の安定化に寄与しているかを明らかにする。
- (2) 大腿直筋の張力変化と関節角度、床反力の関係を定量的に解析し、その構造的役割を平行リンク機構として位置づける。

この知見は、運動機能の加齢変化や運動障害を有する対象者のリハビリテーション戦略の構築や、補助機器開発のための基礎資料となることが期待される。

### 3. 研究の方法

本研究では立ち上がり動作における大腿部二関節筋、特に大腿直筋の機能的役割を明らかにすることを目的として、動作筋電図学的解析およびバイオメカニクス的手法を用いた実験的研究を実施した。

被験者には膝関節角度を調整可能な座位姿勢からの立ち上がり動作を標準化された環境下で実施してもらい、特に立ち上がり動作の第2相（臀部離床から立位到達まで）に注目した。筋活動の計測には表面筋電図をもちい、大腿直筋、内側広筋、大殿筋、ハムストリングスといった主要下肢筋に電極を装着し、各筋の筋放電パターンを記録した。さらに、床反力計（フォースプレート）をもちいて動作中の床反力ベクトルを測定し、体幹の動きや重心移動との関係を解析した。加えて、実機モデルを構築し、立ち上がり動作中の平行リンク機構の張力を歪みセンサをもちいて測定をおこなった。

### 4. 研究成果

通常の立ち上がり動作における動作筋電図学的解析では立ち上がり動作の開始（姿勢 P2：臀部離床）から内側広筋（Vm）、外側広筋（Vl）および大腿直筋（Rf）に顕著な筋活動が確認され、

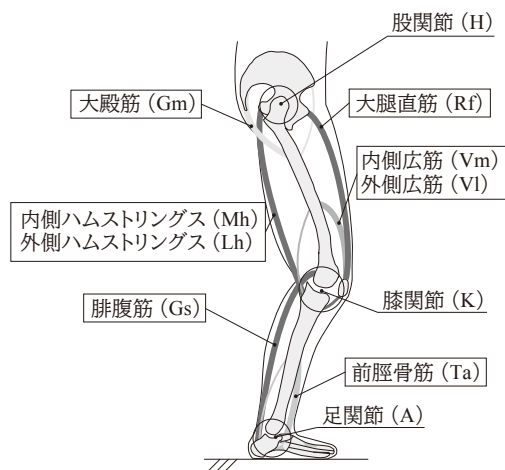


図1 被験筋

これらが主働筋として継続的に活動していることが明らかとなった。一方で、一般的に主働筋とされる大殿筋 (Gm) や、ハムストリングス (Mh, Lh), 腓腹筋 (Gs) には有意な筋活動は見られず, 立ち上がり動作における寄与は限定的であった。

また, 大腿直筋 (Rf) の活動は立ち上がり動作中に床反力の方向調整に寄与していることが示唆され, 特にその平行リンク的機能により, 床反力を常に体幹重心方向へ向けて制御する役割を担っていることが示された。

さらに, 平行リンク機構を模倣した実機モデルにおける実験では, 関節 K (膝関節) を屈曲させた初期姿勢からエネルギーを解放した際の動作変化を解析した。歪みゲージの計測により, 大

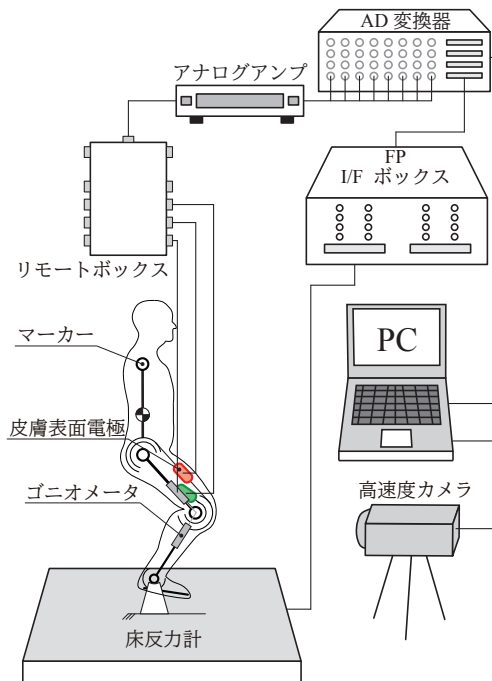


図2 実験システムの構成

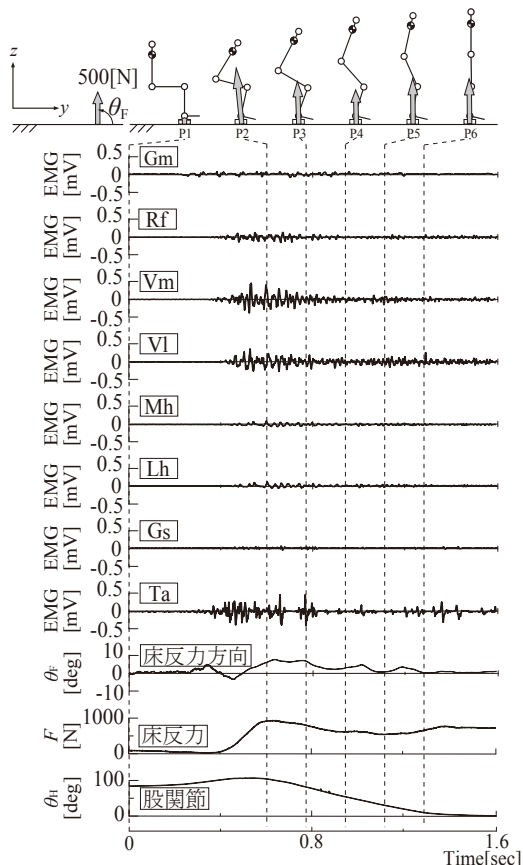


図3 立ち上がり動作における姿勢変化と生筋電図と床反力

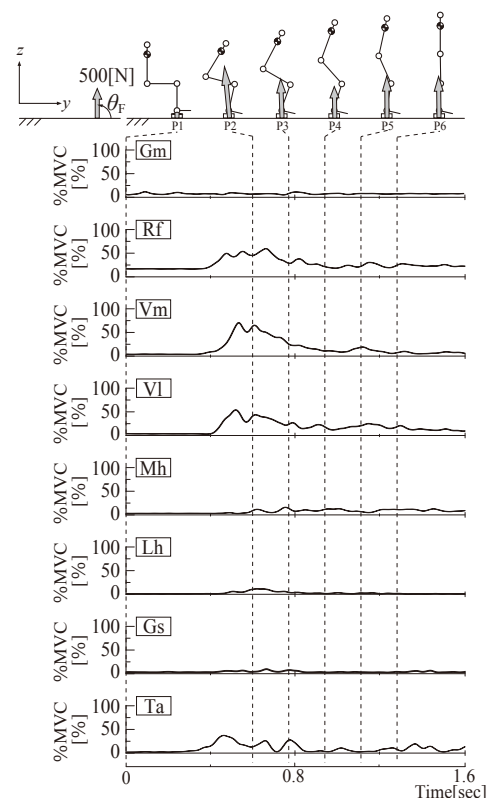


図4 立ち上がり動作における姿勢変化と%MVCと床反力

腿部前面の二関節筋に相当するワイヤ  $We_3$  の張力は動作中に増加し、平行リンク化が進行する様子が確認された。これにより、足関節（踵部）で発生する床反力が常に鉛直方向（重心方向）へ向かうよう制御されていた。

これらの結果から、大腿直筋は立ち上がり動作において膝関節の一関節伸筋と協働し、床反力方向を調整することで動作の安定化を担っていること、またその筋出力は足関節出力には寄与せず、重心制御に特化した役割を果たしていることが明らかとなった。

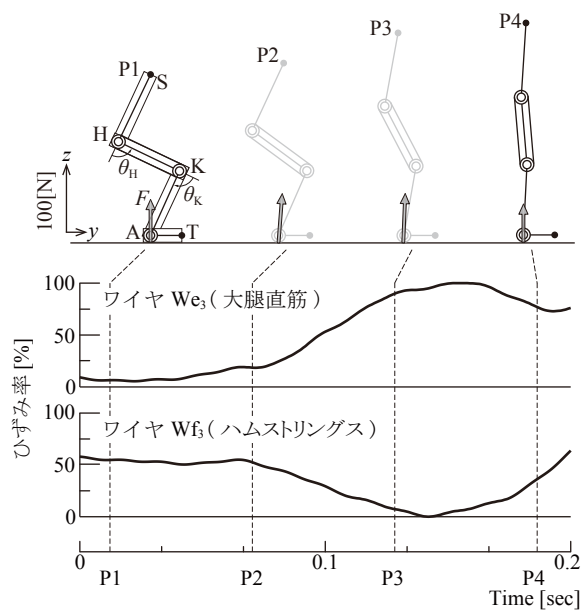


図5 大腿部二関節筋に平行リンクを装備した  
実機モデルによる立ち上がり

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Koide Takuya, Manno Masanobu, Takahama Hiroshi, Fujikawa Tomohiko	4. 巻 36
2. 論文標題 Function of Bi-Articular Femoral Muscles During the Transition from Sitting to Standing Up	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 711 ~ 719
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2024.p0711	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小出卓哉, 万野真伸, 増田一太, 榊原和真, 片山裕介, 宅野竜二, 月東優佳, 伊藤遼, 藤川智彦
2. 発表標題 高齢者の立ち上がり動作における大腿直筋の平行リンク機構
3. 学会等名 第62回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takuya KOIDE, Hiroshi TAKAHAMA, Masanobu MANNO, Tomohiko FUJIKAWA
2. 発表標題 Function of the Biarticular Muscles of the Thigh in Standing
3. 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society EMBC2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出卓哉, 高濱拓, 藤川智彦
2. 発表標題 立ち上がり動作時の筋活動とロボットモデルを併用した立ち上がり動作の解明
3. 学会等名 ライフエンジニアリング部門シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takuya KOIDE, Hiroshi TAKAHAMA, Masanobu MANNO, Tomohiko FUJIKAWA
2. 発表標題 Mechanical Properties of the Bi-articular Muscle of the Thigh in the Standing Up
3. 学会等名 9th World Congress of Biomechanics WCB2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小出卓哉, 万野真伸
2. 発表標題 立ち上がり動作時における二関節筋の平行リンク機能
3. 学会等名 日本基礎理学療法学会, 第6回若手研究者ネットワークシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小出卓哉, 万野真伸, 高濱拓, 藤川智彦
2. 発表標題 立ち上がり動作時における大腿部二関節筋の機能
3. 学会等名 バイオメカニズム学会, 第27回バイオメカニズム・シンポジウム27
4. 発表年 2022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
---------	---------