

立ち上がり動作における大腿部の二関節筋の活動

Activity of the Biarticular Muscles of the Thigh when Standing Up

○小出卓哉 (大電通大, 大阪医専) 万野真伸 (大電通大, 大阪ハイテク)
阿部友和 (富山県大, 星城大) 藤川智彦 (大電通大)

Takuya KOIDE, Osaka Electro-Communication University, Osaka Isen College of Medical Care & Welfare
Masanobu MANNO, Osaka Electro-Communication University, Osaka College of High Technology
Tomokazu ABE, Toyama Prefectural University, Seijoh University
Tomohiko FUJIKAWA, Osaka Electro-Communication University

Abstract : The human action of standing up is regarded as a key aspect of rehabilitation for maintaining a basic standard of daily life. We demonstrated the function of the biarticular muscles in the lower extremity with the action of standing up at the experimental model analysis. In this light, we considered the possibility of a parallel linkage function in which the biarticular muscle directs the floor reaction force toward the center of gravity, and constructed an experimental model with the rectus femoris in such a linkage. In experimental model analysis with the static condition of standing posture, parallel linkage retains the inertial force generated by contraction of the monoarticular extensors of the knee joint and thus retains the force of rearward trunk falling and effectively functions to direct floor reaction force toward the center of gravity.

Key Words : Rectus Femoris, Standing posture, Center of Gravity, Knee Joint Extension Torque

1. はじめに

現在, リハビリテーションにおいてヒトの立ち上がり動作は生活水準を維持するための重要な動作と位置づけられている。そのため, 立ち上がり動作獲得の要因を明らかにするために運動力学をもちいた様々な研究がおこなわれている。特に, 下肢のリンクモデルをもちいた解析結果では股関節伸展トルクと膝関節伸展トルクが重要であると言われている。しかし, 臨床の現場では, 股関節伸展トルクが十分でなくても立ち上がりができる事例や膝関節トルクが十分にあっても立ち上がりができない事例などが存在し, 単純な理論と異なる事例がある。そこで, 我々はヒトの立ち上がり動作である体幹を鉛直上向きに移動させる動作筋電図学的解析によって, この動作の主働筋が膝関節の一関節伸展筋と大腿部前面の二関節筋である大腿直筋の2筋であることが明らかになった。そこで, 重心方向に床反力を与える二関節筋の機能である平行リンク機能に着目し, 大腿直筋を平行リンクとしたモデルを試作し, 立ち上がり時の床反力の変化と立ち上がりの姿勢変化を計測した。その結果, 大腿直筋に相当するワイヤが慣性力によって倒れる体幹を引き止め, さらに, 平行リンク化することにより, 踵部に発生する床反力を常に重心方向へ調整していることがわかった。すなわち, 大腿直筋の平行リンク機能は膝関節の一関節伸展筋のみの駆動力で, 立ち上がりを可能にする機構特性を有していることが明らかとなった⁽¹⁾。そこで, 本研究は体幹に慣性力が発生しない立ち上がり, すなわち,

体幹を鉛直上に規制した静的な立ち上がり姿勢での動作筋電図学的解析をおこない, 下肢大腿部の筋群の筋活動を明らかにすることを試みた。

2. ヒトの立ち上がり動作を再現する実験的解析

2.1 立ち上がり動作の主働筋を考慮したモデル

大腿部前面の二関節筋である大腿直筋を平行リンク化した実験モデルを製作した。製作した実験モデルの構成を Fig. 1 に示す。駆動源には圧縮バネをもちい, 関節 K の一関節伸展バネ S_{e2} , 関節 H と関節 K に同時に関与する平行リンク W_{e3} を装備させた。なお, 初期姿勢において, 関節剛性を維持するための拮抗作用として, 同じ圧縮バネを出力 50% 収縮でバネ S_{e2} と平行リンク W_{e3} と釣り合うようにした。また, 下腿部の平行リンク機構である腓腹筋のロッド L_0 を装備させ, 立ち上がり後, 関節 K が最大伸展 ($\theta_2=0^\circ$) 時にリンク (K-A) が平行リンクとなるようにロックされ, 下部リンク (A-T) が床に対して水平になるようにした。これらの条件を考慮し, 各リンク長は 200[mm] (足底部のリンク長は 100[mm]), バネ定数 1.63[N/mm] のバネをもちいたアクリル製の全質量 722[g] のモデルを製作した。この実験モデルより立ち上がり姿勢と床反力の変化を確認した。

2.2 実験モデルによる立ち上がり動作

平行リンク W_{e3} をワイヤとして装備させた実験モデルをもちいて, 立ち上がり姿勢の変化を確認した。関節 K を屈

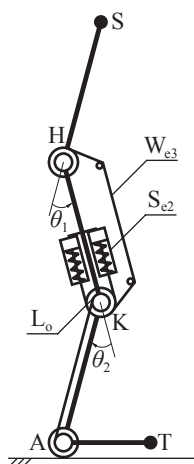


Fig. 1 Experimental model

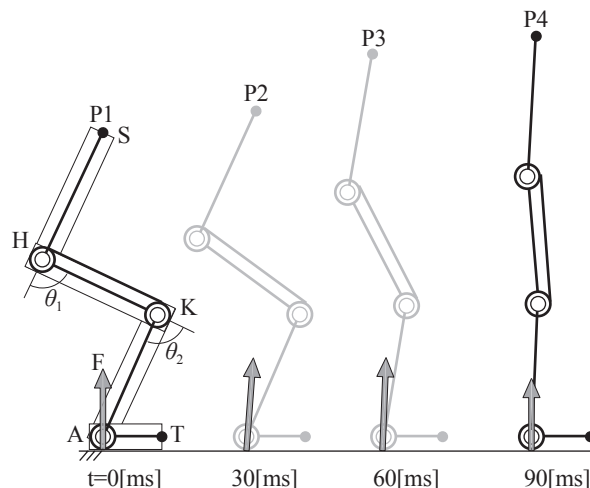


Fig. 2 Standing with a parallel linkage function of W_{e3}

曲させてバネにエネルギーを蓄える初期姿勢は関節 K の外角度 θ_2 により定め、 W_{e3} の平行リンクの機能が發揮するように、リンク (S-H) とリンク (K-A) が平行となるようにした。また、リンク (A-T) は床に接しており、関節 A で発生する床反力が鉛直上向きになる姿勢を初期姿勢とした。なお、初期姿勢の関節 K の外角度 θ_2 を $90[\text{deg}]$ とした。この初期姿勢より、エネルギーを解放した場合の $30[\text{ms}]$ ごとの姿勢変化 (スティックピクチャ) を Fig. 2 に示す。慣性モーメントによって倒れる上部リンク (S-H) を引き止め、さらに、平行リンク化することで関節 A に発生する床反力を常に重心方向へ調整することが確認された。また、この実験モデルがリンク長や質量バランスの特殊条件ではなく、ワイヤ W_{e3} の張力変化による姿勢の安定性であることを確認するため、体幹であるリンク (S-H) の質量を 2 倍にした立ち上がり動作も確認した。これより、体幹であるリンク (S-H) の質量や慣性モーメントが変化しても、大腿直筋に相当するワイヤ W_{e3} による平行リンクの機能により、足関節 (踵) である関節 A に発生する力を常に鉛直上の重心方向に制御でき、ヒトのような立ち上がりが可能であることがわかった。この結果、大腿直筋の平行リンク機能は膝関節である関節 K の一関節伸展筋のみの駆動力で、立ち上がりを可能にし、さらに、大きな質量である体幹の慣性モーメントも有効に利用する機構特性を有していることが明らかになった。

3. 立ち上がり動作時における動作筋電図学的解析

3.1 動作筋電図学的解析の実験条件

体幹に慣性力が発生しない立ち上がり、すなわち、体幹を鉛直上に規制した静的な立ち上がり姿勢での動作筋電図学的解析をおこない、大腿部の筋群の活動要素を明らかにする。下肢の筋群の筋活動は皮膚表面双極誘導法をもちい、被験筋は立ち上がりに大きく関与する股関節の一関節伸展筋である大臀筋 (Gm)、膝関節の一関節伸展筋である内側広筋 (Vm)、大腿部背面の二関節筋である内側ハムストリングス (Hm) とその拮抗筋である大腿部前面の二関節筋である大腿直筋 (Rf)、下腿部背面の二関節筋である腓腹筋 (Gs)、足関節の一関節屈曲筋である前脛骨筋 (Ta)、とその拮抗筋であるヒラメ筋 (SI) の計 7 筋とした。なお、股関節の一関節

屈曲筋である腸腰筋と膝関節の一関節屈曲筋である大腿二頭筋短頭の 2 筋は皮膚表面双極誘導法では明確に計測できないため被験筋としていない。被験者は健康成人男性 5 名とし、動作条件は足底部の出力位置を厳密に体幹鉛直方向とするため、足関節に支持台を設置した。なお、この台をもちいることで、足趾への荷重移動の影響を取り除いた。立ち上がりの姿勢は股関節の外角度 θ_1 、膝関節の外角度 θ_2 により求め、膝関節の外角度 $\theta_2=30,60,90[\text{deg}]$ の 3 条件とした。なお体幹は常に鉛直上となるように規定した。筋の活動パターンは SX230-1000 型 (Biometrics 社製)、とゴニオメータ (Biometrics 社製) により計測した。なお、これらのデータはリアルタイムで計測器に取り込んだ。また、実験に際して、いずれの被験者も実験遂行に支障となる下肢運動機能障害のないことを確認し、あらかじめ実験の目的と内容の説明をおこない同意を得た。

3.2 各立ち上がり姿勢時の筋電図

体幹を鉛直上に規制した静的な立ち上がり姿勢での代表例を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は膝関節の外角度 $\theta_2=30,60,90[\text{deg}]$ の姿勢であり、図内の上段は静止時の各姿勢、中段は各被験筋の筋放電量を示している。各筋の筋放電量を確認すると、すべての被験者および姿勢条件において、膝関節の一関節伸展筋である内側広筋 (Vm) と大腿部前面の二関節筋である大腿直筋 (Rf) に顕著な筋活動が見られ、立ち上がりの主働筋と同様に体幹の慣性力が発生しない静的な条件でも常に活動していることが確認できた。また、股関節の一関節伸展筋である大臀筋 (Gm) と大腿部背面の二関節筋である内側ハムストリングス (Hm) には Fig. 3 のようにほとんど活動が確認できなかった。なお、被験者は足趾が床面に接地しないように、踵部 (A) に作用する一関節屈曲筋である前脛骨筋 (Ta) を活動させる傾向にあるが、足関節部に設置した固定台の機能により、その筋活動が関与することはない。また、下腿部背面の二関節筋である腓腹筋 (Gs) はすべての被験者において、活動が見られず、踵部 (A) に関与する力が、下腿部の二関節筋である腓腹筋 (Gs) により、大腿部の膝関節のトルクに伝達されていないことも確認できた。この結果より、静的な立ち上がり姿勢の主働筋は下肢大腿部の 2 筋のみ、すなわち、内側広筋 (Vm) と大腿直筋 (Rf) であることが確認され、大臀筋 (Gm) には微弱な筋放電しかなく、主働筋と同定できる程の筋活動は見られなかった。

4. おわりに

大腿直筋に相当するワイヤが慣性力によって倒れる体幹を引き止め、さらに、平行リンク化することにより、踵部に発生する床反力を常に重心方向へ調整していることが明らかになってきたため、体幹に慣性力が発生しない静的姿勢、すなわち、体幹を鉛直上に規制した静的な立ち上がり姿勢での動作筋電図学的解析をおこなった。その結果、この動作の主働筋が膝関節の一関節伸展筋と大腿部前面の二関節筋である大腿直筋の 2 筋であることが明らかとなった。また、膝関節の外角度を大きくしていくと体幹の重心位置が踵部からずれるため、体幹を鉛直に規制した静的な姿勢であっても、体幹を引き止めるために大腿直筋が放電していると推察される。

参考文献

- (1) 阿部友和, 小出卓哉, 古川公宣, 越智亮, 大島徹, 藤川智彦, 立ち上がり動作時における大腿直筋の平行リンク機能, 日本ロボット学会誌, vol.32, no.2, pp.190-197, 2014.
- (2) 大島徹, 鳥海清司, 藤川智彦, 百生登, 足関節と膝関節の二関節筋による協調機能を用いた跳躍メカニズム, 日本機械学会論文集, vol.71, no.712, pp.176-182, 2005.
- (3) 藤川智彦, 百生登, 鳥海誠司, 大島徹, 下肢の筋配列を考慮したリンクモデルの機構特性, バイオメカニズム学会, バイオメカニズム 21, pp.167-177, 2012.

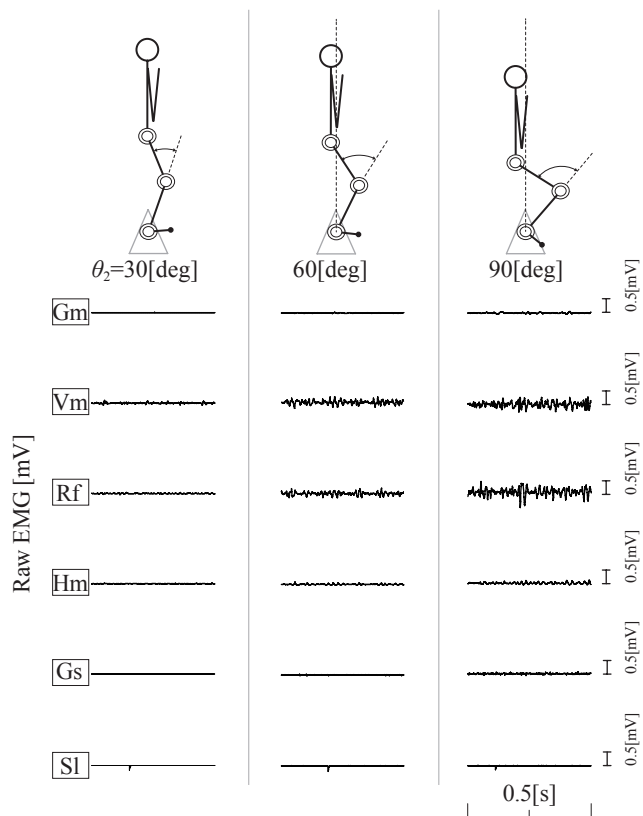


Fig. 3 Raw EMG of static condition of standing posture