

着地動作時における下肢二関節筋の筋活動による機構特性

Mechanical Properties included the Bi-articular Muscular Activities of Lower Extremity during landing

○ 仲川亙(大阪電通大) 万野真伸(大阪電通大, 大阪ハイテク)

小出卓哉(大阪電通大, 大阪医専) 阿部友和(富山県大, 星城大) 藤川智彦(大阪電通大)

Wataru NAKAGAWA, Osaka Electro-Communication University

Masanobu MANNO, Osaka Electro-Communication University, Osaka College of High Technology

Takuya KOIDE, Osaka Electro-Communication University, Osaka Isen College of Medical Care & Welfare

Tomokazu ABE, Toyama Prefectural University, Seijoh University

Tomohiko FUJIKAWA, Osaka Electro-Communication University

Abstract: The human action of walking and running is regarded as a key aspect of rehabilitation for maintaining a basic standard of daily life. We are focus on the landing motion, human heel and toe contact during walking, running, and other movements. In this study, activation patterns of antagonistic pairs of mono-articular muscles as well as bi-articular muscles during landing movements were examined in terms of electromyographic kinesiology and theoretical robotics. This analysis shows that, during human heel contact, the simultaneous electrical discharge of the antagonistic pair of bi-articular muscles in the femoral region is involved in the functional characteristics of the endpoint. During human toe contact, Two parallel linkages consisting of the electrical discharge of the bi-articular muscles in the lower limbs retains the effectively functions to direct floor reaction force toward the center of gravity.

Key words: bi-articular muscles, muscle coordinate system, heel and toe contact, electromyographic

1. はじめに

ヒトの生活水準の維持には歩行・走行の日常動作が非常に重要であることが広く知られている。そのヒトの歩行は踵着地後に足趾離地となる移動方法であるが、走行時には足趾着地後に足趾離地の移動方法となる。また、ヒトの歩行・走行時には多くの筋群が参画するが、走行時の急激な移動変更で損傷する筋や運動中の疲労が蓄積する筋は下肢大腿部の拮抗二関節筋ペアの大腿直筋とハムストリングスおよび下肢下腿部後面の二関節筋である腓腹筋であることが知られている。そこで、本研究はヒト運動時の体幹の安定性に関与する着地動作である踵着地と足趾着地の2つの動作に着目し、その運動時に関与する下肢の二関節筋群の機能を明らかにすることを試みた。本研究が着目している二関節筋を考慮した手法は一般的なロボットアームのような各関節に発生するトルクを基準にするのではなく、各関節における対となる拮抗一関節筋ペアと拮抗二関節筋ペアの協調活動を基準にした手法であり、この二関節筋を含めた単純化した筋配列を用いた解析により、ヒト四肢先端に発生する力と粘弾性を独立して制御することができることを明らかにした⁽¹⁾。そこで、我々はこの二関節筋を含めた筋配列の機能に着目し、踵着地時に大腿部の拮抗二関節筋ペアである大腿直筋とハムストリングスに同時放電が生じることを動作筋電図学的解析により明らかにした。また、その拮抗二関節筋ペアの同時放電が体幹保持のための出力と粘弾性を調整していることをモデル解析により明らかにした。ここでは、その踵着地時に生じる大腿部の拮抗二関節筋ペアの機能を基準に、懸垂下垂からの落下による着地時の接地点の相違による下肢の主動筋の筋活動、すなわち、ヒトの着地動作である踵着地と足趾着地の筋活動パターンの相違を明らかにし、足趾着地時の二関節筋の機能と体幹安定性の関係を明らかにすることを試みた。

2. 懸垂下垂からの着地における動作筋電図学的解析

2.1 被験筋と実験条件

着地動作時の接地点は踵部と足趾部の2条件とし、動作筋電図学的解析により、下肢筋群の特性の相違を明らかにすることを試みた。被験筋は踵着地に関与する大腿部の主要な筋群の拮抗二関節筋である前面の大腿直筋(Rf)と後面の内側ハムスト

リングス(Hm)、膝関節の一関節伸筋である内側広筋(Vm)、股関節の一関節伸筋である大臀筋(Gm)、足関節の背屈筋である前脛骨筋(Ta)、下腿部の二関節筋である後面の腓腹筋外側頭(Gs)の6筋とした(Fig.1)。股関節の一関節屈筋である腸腰筋、膝関節の一関節屈筋である大腿二頭筋短頭は皮膚表面電極では計測が難しいため計測していない。実験試技は高さ調節の可能なぶら下がり棒から懸垂下垂し、床反力計上に着地させた。着地点が踵の場合は足関節を背屈させた状態で踵部から床反力計上に着地し、足趾の場合は足関節部と下腿部がおおよそ直角になった状態で足趾から床反力計上に着地するように指示した。懸垂落下の鉛直距離は足底部から床反力計表面まで20[cm]となるようにした。さらに、被験者は安定した着地動作が可能になるまで訓練し、着地の際の上半体は踵と股関節を結ぶ鉛直線上にある状態をできる限り維持したまま、膝の屈曲動作によりエネルギーを吸収して着地するように指示した。筋活動は皮膚表面電極により計測し、Biometrics社製EMG計測システム(K800)を用いて、筋放電量をサンプリング周波数1[kHz]にて4秒間測定した。また、股関節、膝関節および足関節の運動により変化する姿勢は100[フレーム/秒]のビデオカメラとBiometrics社製ゴニオメータを用いて計測し、着地時の床反力はKistler社製フォースプレートを用いて計測した。これらのデータはソフトウェアTRIAS上で同期して計測した。なお、被験者には実験の試技・目的を説明した後に、実験参加の同意を得てから計測をおこなった。

2.2 踵着地と足趾着地の筋活動パターン

踵着地時の筋活動と床反力および着地動作中の姿勢変化のスティックピクチャをFig.2に示す。図のスティックピクチャの姿勢Aは離手直後、姿勢Bは接地直前、姿勢Cは着地後床反力最大時、姿勢Dは膝関節最大屈曲時、姿勢E~Fは立位安定への移動時となっている。なお、足関節背屈筋の前脛骨筋(Ta)は安定した踵着地ができていないかを確認する目的で計測しているため、この筋の筋活動は図示していない。Fig.2の結果より、姿勢Bの着地直後から膝関節(K)の一関節伸筋である内側広筋(Vm)と大腿部前面の二関節筋である大腿直筋(Rf)、股関節(H)の一関節伸筋である大臀筋(Gm)に顕著な筋活動が

見られた。その後、膝関節の屈曲が進むにつれ、大腿部後面の二関節筋であるハムストリングス(Hm)の活動が見られた。大腿部前面の二関節筋である大腿直筋(Rf)と大腿部後面の二関節筋であるハムストリングス(Hm)は拮抗する2筋であるが、同時放電による収縮力の和により、発生する弾性楕円を調整し、同時放電による収縮力の差により、発生する出力を調整していることが明らかになった。このため、着地時における体幹安定性は大腿部の二関節筋ペアの機能が大きく貢献していることが伺えた²⁾。足趾着地時の筋活動と床反力および着地動作中の姿勢変化のスティックピクチャをFig.3に示す。図のスティックピクチャの姿勢の基準はFig.2と同様である。Fig.3の結果より、姿勢Bの接地直前から膝関節(K)の一関節伸筋である内側広筋(Vm)と大腿部前面の二関節筋である大腿直筋(Rf)、下腿部後面の二関節筋である腓腹筋(Gs)に顕著な筋活動が見られた。姿勢Dの膝最大屈曲時までその活動を維持し、その後、膝関節が伸展するにともない大腿部前面の二関節筋である大腿直筋(Rf)の活動が減少し、大腿部後面の二関節筋であるハムストリングス(Hm)の活動が増加していることがわかった。この足趾着地では踵着地のような特徴的な同時放電は生じておらず、体幹安定に伴う膝関節の屈曲動作および伸展動作において、大腿部前面の二関節筋である大腿直筋(Rf)から後面の二関節筋であるハムストリングス(Hm)に主働筋の切り替えをおこなっていることが明らかとなった。この踵着地と足趾着地の比較した結果から、踵着地では姿勢を安定させるために同時放電による調整をおこなっているのに対し、足趾着地では大腿部の二関節筋の活動を切り替えることが伺えた。これは腓腹筋(Gs)の筋活動による下肢下腿部の平行リンク機構、すなわち、平行リンク化による重心へ床反力を自動的に向ける機能が関与しており、足趾着地における下肢下腿部の平行リンクに伴い、大腿部も同様に平行リンク化していることが推察でき、さらに、筋が収縮のみの機能である

ことから、膝関節の伸展動作と屈曲動作で平行リンクとなるための二関節筋が切り替わっていることも推察できた。

3. おわりに

本研究ではヒトの着地時における体幹安定性に関与する二関節筋の機能に着目し、着地時における踵着地と足趾着地の違いによる主働筋の筋活動パターンを相違を動作筋電図学的解析により求めた。その結果、踵着地時では大腿部前面と後面の二関節筋の同時放電が体幹姿勢安定に大きく貢献し、足趾着地では下肢下腿部の腓腹筋の活動による平行リンク化に伴い、大腿部の二関節筋の活動による平行リンク化が生じ2つの平行リンクによる体幹の保持機能が起こることが伺えた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、大阪電気通信大学の橋本不二雄元教授、村岡利英氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。なお、本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金「基盤研究(C)No.25420229」の補助を受けておこなわれた。

参考文献

- (1) 藤川智彦, 百生登, 鳥海清司, 大島徹, 下肢の筋配列を考慮したリンクモデルの機構的特性, バイオメカニズム 21, pp.167-177, 2012.
- (2) 万野真伸, 阿部友和, 村岡俊英, 藤川智彦, 踵着床における大腿部の拮抗二関節筋ペアの機能, 第23回バイオメカニズム・シンポジウム予稿集, pp.377-386, 2013.
- (3) 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, 日本ロボット学会学会誌, vol.32, no.2, pp.100-107, 2014.

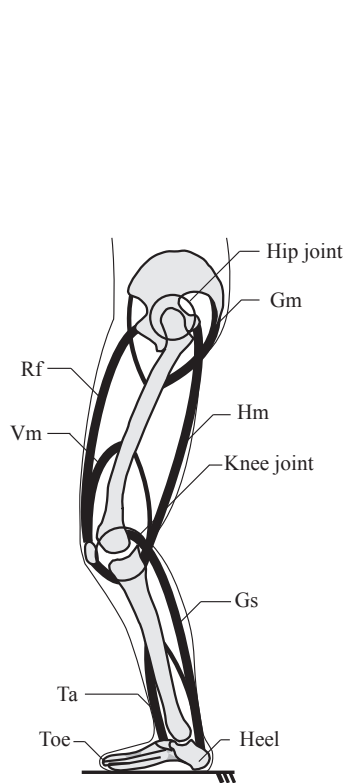


Fig.1 Tested muscles
Vm: Vastus medialis,
Rf: Rectus femoris,
Hm: Medial hamstrings,
Gm: Gluteus maximus,
Gs: Gastronemius.

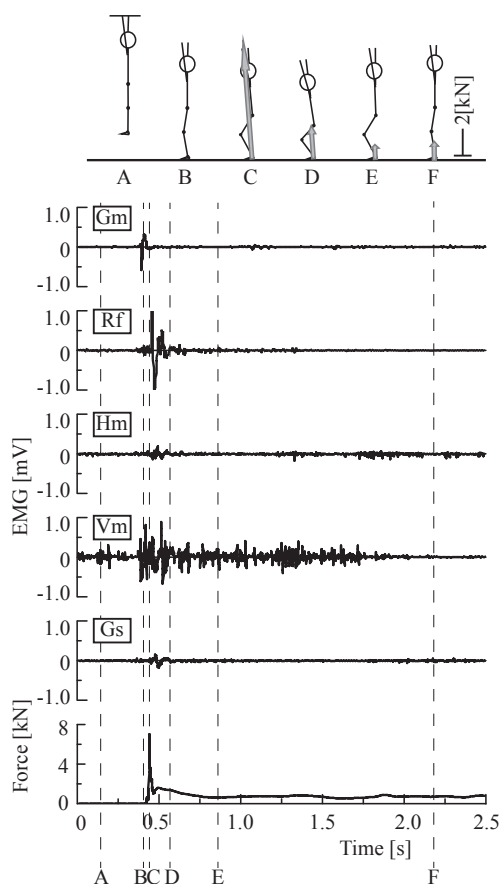


Fig.2 Raw EMG and floor reaction force at the heel contact

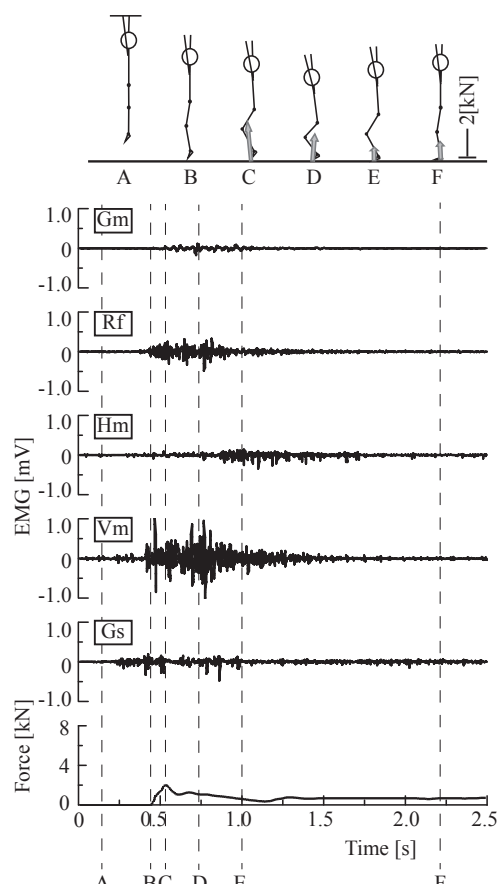


Fig.3 Raw EMG and floor reaction force at the toe contact