

床反力計の有無による筋骨格数理モデルへの影響解析

日大生産工(学部) ○土屋 朋之 日大生産工(院) 渡辺 開人
日大生産工 見坐地 一人

1 緒言

現在、介護認定者数が増加しており、中でも1日中ベッド上で生活している自立した生活が送れない人が増加している。この課題を解消するためにリハビリ等の治療を行う必要がある。そこで動作解析をする際に解析精度を上げるため床反力計を用いているが、実験条件において使用できない場合がある。本研究では床反力計の有無によって解析結果にどのような影響があるか、床反力計が無い場合の解析結果が有効なものかを考察する。

2 解析手法

2・1 3次元筋骨格数理モデル

ヒトの運動は骨格筋の収縮によって筋肉と腱が一体となって行われている。そこで、本研究では、F.E.Zajacによって提案された筋繊維と腱組織をまとめた筋腱複合体をモデル化した筋骨格数理モデルを用いて解析を行う。図1に解析に用いた筋骨格数理モデルを示す。また、本研究で用いたモデルは、図2に示すSCOT L.DELPらの3次元下肢筋骨格モデルを使用する。

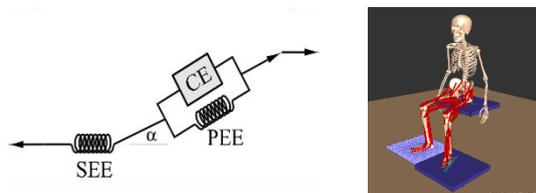


Fig. 1 Hill-type model Fig. 2 Musculoskeletal model

図1の筋腱複合体の中の筋は、収縮によって能動的に力を発揮するため、活性収縮要素(CE)と呼ばれる要素と収縮によって受動的に伸張される弾性体として力を発揮するため、並列弾性要素(PEE)と呼ばれる要素を併せ持っている。一方、腱は筋収縮によって受動的に伸張される弾性体として力を発揮するため、直列弾性要素(SEE)と呼ばれる要素を持っている。また、 α は筋繊維と腱との間の角度である羽状角を示す。

2・2 筋骨格モデルによる筋活性度推定

各筋肉の活性度の推定は、動作時における関節位置や姿勢データを測定し、逆運動学計算によって関節角度を求める。そして、筋骨格モデルを用いて逆運動学計算により、関節周りの駆動トルクを算出し、

各筋肉の活性度を推定する。尚、筋活性度の推定については、式(1)より各筋肉の活性度 $a_i (0 \leq a \leq 1)$ の二乗和が最小となるような a_i の組み合わせを求める。

$$\sum_{i=1}^n \{a_i \cdot f(F_0^i, l_i, v_i)\} r_{i,j} = M_j^* \quad (1)$$

この時、 $f(F_0^i, l_i, v_i)$ は筋骨格モデルで想定する力と長さとの関係であり、筋肉の特性を示している。 F_0^i は i 番目の筋肉の最大等尺性収縮力、 l_i は i 番目の筋肉の長さ、 v_i は i 番目の筋肉の短縮速度を示している。また、 M_j^* はモーションキャプチャを用いて実測した姿勢データより逆運動学計算を用いて求めた j 番目の関節周りの駆動トルク、 $r_{i,j}$ は j 番目の関節周りの i 番目の筋肉のモーメントアーム長を示す。モーメントアーム長は i 番目の筋肉の長さ l_i と j 番目の関節まわりの角度 θ_j により(2)から求める。

$$r_{i,j} = \frac{dl_i}{d\theta_j} \quad (2)$$

2・3 各筋肉の角運動量

本節では、関節まわりの筋肉における角運動量の算出方法を示す。まず、式(3)に、式(1)より求めた筋活性度 a_i 、最大等尺性収縮力 F_0^i 、筋長 l_i 、筋肉の短縮速度 v_i 、モーメントアーム長 $r_{i,j}$ を代入し、 j 番目の関節まわりの i 番目の筋肉により発生する駆動トルク $M_{i,j}$ を求める。

$$M_{i,j} = a_i \cdot f(F_0^i, l_i, v_i) \cdot r_{i,j} \quad (3)$$

式(3)で求めた、図3に示す j 番目の関節まわりの i 番目の筋肉により発生する駆動トルク $M_{i,j}$ から、式(4)に示す運動方程式が求まる。

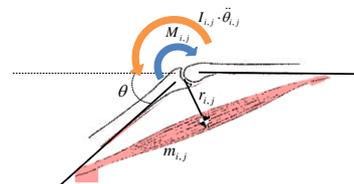


Fig. 3 Driving torque around the joint

$$I_{i,j} \cdot \ddot{\theta}_{i,j} = M_{i,j} \quad (4)$$

Influence Analysis by Having Force Plate or Not Using The Musculoskeletal Mathematics Model

Tomoyuki TSUCHIYA, Kaito WATANABE and Kazuhito MISAJI

ここで、 $I_{i,j}$ は j 番目の関節まわりに対する i 番目の筋肉における慣性モーメント、 $\ddot{\theta}_{i,j}$ は j 番目の関節まわりに対する i 番目の筋肉における角加速度を示す。この時、慣性モーメント $I_{i,j}$ は i 番目の筋肉の質量 m_i と i 番目のモーメントアーム長 r_i により式(5)から求まる。また本来、慣性モーメント $I_{i,j}$ は関節の屈曲や伸展によって変化するが、本研究では一定とする。

$$I_{i,j} = m_i \cdot r_i^2 \quad (5)$$

次に、式(4)の両辺を運動の1周期にあたる $t_1 \sim t_2$ で定積分すると式(6)となり、式(6)の左辺を整理すると角運動量を示す式(7)が得られる。

$$I_{i,j} \int_{t_1}^{t_2} \ddot{\theta}_{i,j} dt = \int_{t_1}^{t_2} M_{i,j} dt \quad (6)$$

$$I_{i,j} \cdot \dot{\theta}(t_2) - I_{i,j} \cdot \dot{\theta}(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} M_{i,j} dt \quad (7)$$

2・4 肘関節まわりの駆動パワー

関節まわりの駆動トルク $M_j(\theta)$ を運動の1周期 $t_1 \sim t_2$ にあたる関節角度 $\theta_1 \sim \theta_2$ で定積分し、その定積分した値の運動の1周期にあたる $t_1 \sim t_2$ で割ることによって、肘関節まわりの駆動パワー P_j を求めることが出来る。その P_j を求める式を式(8)に示す。

$$P_j = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{\theta_1(t_1)}^{\theta_2(t_2)} M_j(\theta) d\theta \quad (8)$$

3 実験手法

3・1 被験者情報

本研究では健康男性1名を対象に行った。被験者は、年齢22歳、身長173 [cm]、体重70 [kg]、利き足は右足、継続して行ったスポーツはない。

3・2 実験概要

6台のモーションキャプチャカメラと左右の足元と座面に計3枚のフォースプレートを設置した。次に、被験者に反射マーカを貼付し、モーションキャプチャカメラを用いて体格情報を算出するための静止データと動作データを撮影し、筋骨格数理モデルを作成した。本研究で撮影した動作データは (a) 座位から立位、立位から座位への立ち座り動作、(b) 膝関節の伸展屈曲動作の2つの動作を行い、解析した。

4 解析結果

解析に関しては、フォースプレートデータを適用する場合と適用しない場合でそれぞれ算出した。

4・1 駆動パワー

図4に式(8)を用いて算出した駆動パワーを示す。

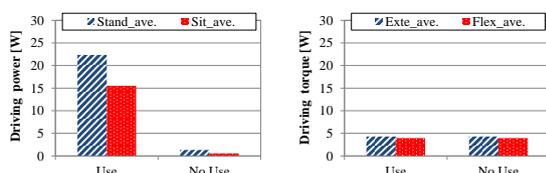


Fig. 4 Driving power around the knee joint

図4から立ち座り動作における駆動パワーは、フォースプレート有りの方がフォースプレート無しに比べて約21倍大きくなった。膝関節の伸展屈曲動作では、ほとんど同じ結果となった。

4・2 角運動量

本研究で解析した筋肉は、半膜様筋、半腱様筋、大腿二頭筋、縫工筋、大腿直筋、外側広筋、内側広筋、腓腹筋である。図5、図6に解析結果を示す。

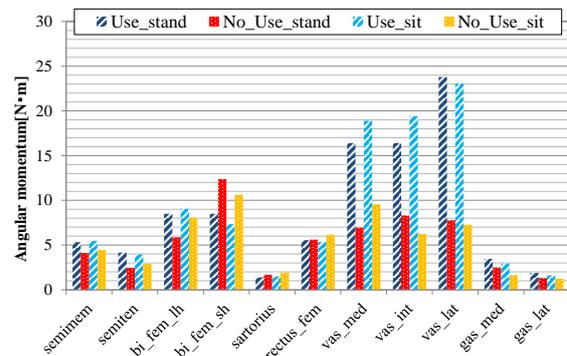


Fig. 5 Angular momentum around the knee joint during the standing and sitting motions

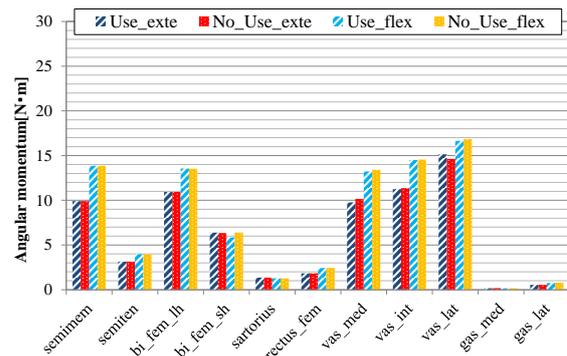


Fig. 6 Angular momentum the knee joint during the extension and flexion motions

図5から立ち座り動作における角運動量は最大で、フォースプレート有りの方がフォースプレート無しに比べて外側広筋で約3.2倍大きくなった。また全筋肉平均して約1.5倍大きくなった。一方、図6から膝関節の伸展屈曲動作では、ほとんど同じ結果となった。

5 結論

膝関節にかかる駆動パワーと角運動量の解析結果から、立ち座り動作のような時間軸上における座面及び地面にかかる床反力が大きく変化する動作では、解析結果が大きく異なるが、膝関節の伸展屈曲動作のような座面及び地面にかかる床反力がほとんど一定となる動作では、解析結果にほとんど変化がないため有効であることが結論付けられる。

参考文献

- (1) 小野寺勇哉 他:筋肉の協同発揮に基づいた立ち座り動作における下肢筋肉負担度の個人差比較解析, 学術講演会
- (2) 小野寺勇哉 他:三次元下肢筋骨格数理モデルを用いた関節及び筋肉の定量負担度解析に関する研究