

筋張力を用いたスクワット運動の評価に関する研究

Study on evaluation of squatting exercise using muscle tension

豊福万士¹⁾, 野寄翔平¹⁾

指導教員 齊藤亜由子¹⁾, 研究協力者 小林義和²⁾, 木澤悟²⁾

1) 工学院大学 先進工学部 機械理工学科

2) 秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 機械系

Keyword: Estimation, Kalman filter, Muscle force, OpenSim, Squatting exercise

1. 緒言

筋力の低下に起因する歩行・立ち上がり時の転倒を防ぐため定期的な運動により個々の筋肉を鍛えることは重要であるが、ほとんどの動作においては複数の筋肉を協調させて動かす必要がある。そのため、身体機能の評価においては筋力だけでなく筋肉の協調についても評価する必要がある。

そこで本研究では筋骨格モデルを用いてスクワット運動における筋張力を解析し、同一人物がスタンス幅の異なるスクワットを行った際の筋肉の使い方に変化があるのか検証する。さらに、スクワット運動においては人によって筋肉の使い方が異なることが推察できるため、個人間の筋肉の使い方の違いを定量的に評価する方法を提案する。

2. 実験

計測実験の参加者は 20 歳の成人健常男性 2 名である。計測においては、光学式三次元動作解析装置 (Vicon 社製, Bonita10) と床反力計 (Kistler 社製, 9286) 2 枚を用いた。光学式三次元動作解析装置、床反力計のサンプリング周波数は共に 100Hz である。

スクワットのスタンス幅は左右足の第 2 中足骨頭間の距離とし、参加者は肩峰幅をスタンス幅としたノーマルスクワットと肩峰幅の約 1.5 倍をスタンス幅としたワイドスクワットを行った。速度は下降に 1 秒、上昇に 1 秒かけるものとした。

3. 筋張力推定

3.1 解析条件

筋張力の推定においては OpenSim 3.3 を使用し、下肢筋群の解析に有用な gait2392 モデルを用いた。筋骨格モデルの拡大縮小倍率 (Scale Factor) は三軸すべての方向に対して、式(1)に示すように gait2392 標準モデルの身長 1.80 m に対する被験者の身長倍となるように設定した。

$$\text{Scale Factor} = \frac{\text{participant's height[m]}}{1.80[\text{m}]} \quad (1)$$

逆運動学解析の後、運動学データと床反力の実測データとの動的整合性をとるための Residual Reduction Algorithm (RRA) を実行し、最後に静的最適化計算によって下肢筋張力を得た。

3.2 筋張力推定結果

静的最適化計算によって得られた下肢筋の筋張力の推定結果の一例を図 1, 2 に示す。図 1, 2 はスクワット運動への関与の大きい大腿二頭筋長頭の結果であり、今回行ったスクワット運動 5 回のうち 3 回目 (下降, 上昇) の結果を示している。図 1 はノーマルスクワット、図 2 はワイドスクワットの結果を示す。

大腿二頭筋長頭は両足においてワイドスクワットの最大筋張力がノーマルスクワットよりも大きい傾向であり、ワイドスクワットにおいて一定時間最大筋張力を保持している様子が確認できた。

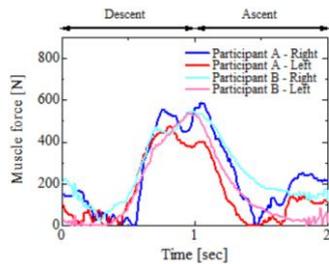


Fig.1 Muscle forces during normal squatting

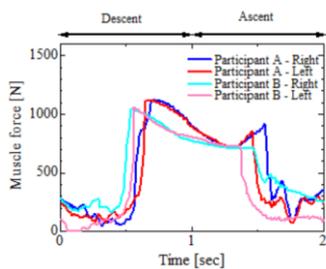


Fig.2 Muscle forces during wide squatting

4. スクワットモデル

4・1 モデルの構築

下肢筋張力の推定値を用いたスクワットモデルを式(2)に示す。

$$V_{cog} = aF_{gmax_l} + bF_{psoas_l} + cF_{rectem_l} + dF_{vasint_l} + eF_{bifemLH_l} + fF_{semimem_l} + gF_{semiten_l} + hF_{sar_l} + iF_{grac_l} + jF_{gasmad_l} + kF_{sol_l} + lF_{tibant_l} + m \quad (2)$$

ここで、 V_{cog} は身体重心速度の上下方向成分、 F はそれぞれ左脚における大臀筋、腸腰筋、大腿直筋、中間広筋、大腿二頭筋長頭、縫工筋、恥骨筋、半腱様筋、半膜様筋、腓腹筋、ヒラメ筋、前脛骨筋の筋張力である。 $a \sim m$ は各筋張力に関するパラメータである。

三次元動作解析装置より得られた身体重心速度と、OpenSimにより得られた左右の下肢筋張力を用いて $a \sim m$ のパラメータを同定しこれらのパラメータと下肢筋張力をモデルへ適用することにより身体重心速度を推定する。未知パラメータの同定には、カルマンフィルタアルゴリズムを用いた。

4・2 モデルを用いた重心速度推定結果

下降、上昇を5回含む計測1回分の計測情報の2~4回目の右下肢筋張力を用いて、モデルにより推定した被験者Aのノーマルスクワットにおける身体重心速度の結果を図3に示す。また、被験者

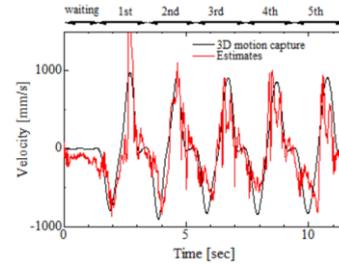


Fig.3 Results of participant A during normal squatting

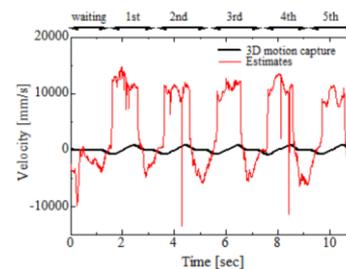


Fig.4 Results of participant A during wide squatting by applying normal squat parameters of participant A

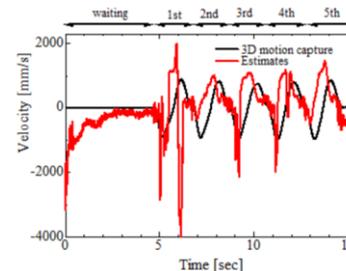


Fig.5 Results of participant B during normal squatting by applying normal squat parameters of participant A

Aのノーマルスクワットに関して推定したパラメータを用いて、被験者Aのワイドスクワットにおける筋張力、被験者Bのノーマルスクワットにおける筋張力をモデルに挿入して推定した身体重心速度の結果をそれぞれ図4、5に示す。

図3より、被験者Aのスクワットの全時間区間において、筋張力を用いたモデルの推定結果は概ね三次元動作解析装置から得られた重心速度に近い値であることが確認できた。一方、図4より、同一人物においてもスタンス幅の違いでスクワットにおける筋シナジーは異なることが示唆された。また図5より、ピーク値、周期に着目すると比較的精度良く推定することができており、被験者Bのノーマルスクワットにおいて被験者Aと同様の筋シナジーの存在が考えられるが、筋シナジーのタイミングはずれていることが確認できる。