

筋張力を用いた歩行速度の推定に関する研究

Research on Estimation of Walking Speed Using Muscle Tone

野寄翔平¹⁾, 豊福万士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

Keywords: Estimation, Kalman filter, Motion analysis, Muscle force, Walking

1. 緒言

歩くことは誰でも気軽に取り組むことができる運動である。酸素を身体に取り入れることで脳が活性化され、関節への過度な負担なく全身の筋肉と関節を鍛えることができるため、年齢に関係なく取り組むことができる。一方で、歩行能力が低下することは転倒リスクを高めるだけでなく、日常生活動作(ADL)や生活の質(QOL)の低下につながる。歩行能力が低下する原因の一つとして、筋力の低下が挙げられる。歩行は下肢の関節間協調によって成り立つ運動であるため、歩行能力の維持・向上においては個々の筋量を維持するだけでなく、関節間協調を適切に行うことができる筋肉の使い方が重要である。

そこで本研究では、歩行において主に使用される下肢筋の歩行速度への貢献を明らかにすることを目標とし、下肢の筋肉の使い方を定量的に示すモデルの構築を行う。具体的には、股関節、膝関節の屈曲伸展、足関節の背屈底屈に貢献する下肢筋張力を用いて身体重心速度を推定する歩行モデルを構成し、下肢の運動と歩行速度との関係を定量的に示すための解析を行う。

2. 実験

歩行計測の参加者は成人健常男性 1 名(身長 1.78m, 体重 55kg)である。参加者は自然な歩幅で、メトロノーム 90bpm に合わせ 1 歩ずつ前進した。

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。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 100Hz である。

3. 筋張力推定

3.1 解析条件

筋張力の推定においては, OpenSim3.3 を使用し, 下肢筋群に有用な gait2392 を用いた。筋骨格モデルの拡大縮小倍率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 1.80m に対する被験者の身長倍とした。

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

逆動力学解析を行った後, 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 結果

静的最適化計算によって得られた下肢筋張力の推定結果の一例を図 1, 2 に示す。図 1, 2 は歩行運動に関与の大きい大腿直筋, 大腿二頭筋長頭の結果を示しており, 横軸は注記(※)に示す歩行周期の時間, 縦軸は筋張力(N)である。本結果より,

※Rsp: Right stance phase, Lwp: Left swing phase

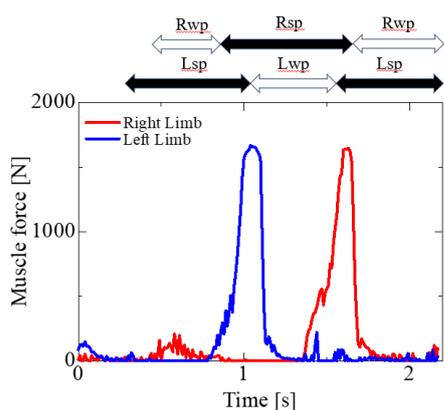


Fig.1 Muscle forces (Rectus femoris)

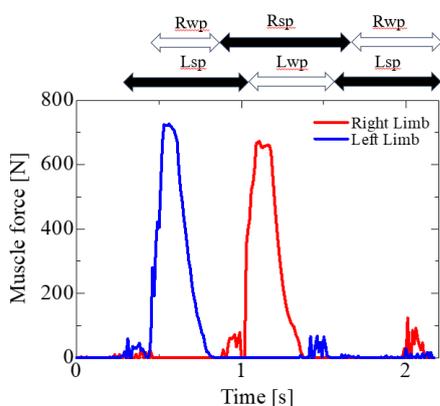


Fig.2 Muscle forces (Biceps femoris LH)

通常歩行における一般的な筋の活性の様子を確認することができた。

4. 歩行モデル

推定した下肢筋張力の結果より,それぞれのスクワット運動に貢献している下肢筋張力を用いて歩行モデルを構築する (式(2)).

$$\begin{aligned}
 V_{cog} = & aF_{gmax_r} + bF_{psoas_r} + cF_{refcem_r} + \\
 & dF_{vasint_r} + eF_{bifemLH_r} + fF_{semimem_r} + \\
 & gF_{semiten_r} + hF_{sar_r} + iF_{grac_r} + jF_{gamed_r} + \\
 & kF_{sol_r} + lF_{tibant_r} + mF_{gmax_l} + nF_{psoas_l} + \\
 & oF_{refcem_l} + pF_{vasint_l} + qF_{bifemLH_l} + \\
 & rF_{semimem_l} + sF_{semiten_l} + tF_{sar_l} + uF_{grac_l} + \\
 & vF_{gamed_l} + wF_{sol_l} + xF_{tibant_l} + y \quad (2)
 \end{aligned}$$

ここで, V_{cog} は身体重心速度の上下方向成分, F はそれぞれ左右の大臀筋, 腸腰筋, 大腿直筋, 中間

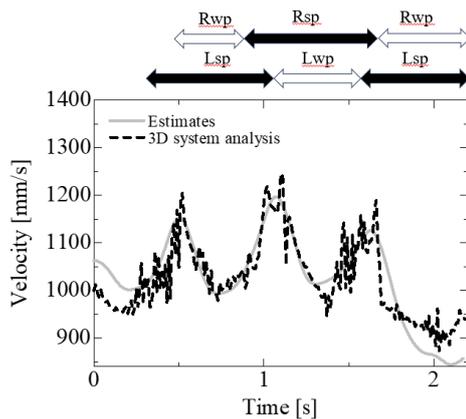


Fig.3 Velocity Estimation

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, 前脛骨筋である. $a \sim x$ は筋張力から速度への単位変換を行う役割を果たすため, 単位は $m/N \cdot s$ である. y はオフセットであり, 単位は m/s 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 $a \sim y$ 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 (歩行速度) 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る. カルマンフィルタは構成した状態方程式と観測方程式を用いて, 一時刻前までの情報と現時刻において取得した情報をもとに, 最適なシステムの状態を推定するフィルタである.

5. 歩行速度の推定結果

図 3 に歩行モデルを用いた速度推定の結果を示す. 推定速度は三次元動作解析装置から得られた速度と概ね一致しており, 提案モデルの妥当性を示すことができた.

6. 結言

本研究では, 下肢の運動と歩行速度との関係を示すために歩行モデルを用いた速度推定を行った. 提案モデルを用いた速度推定の結果より, 両脚の下肢筋張力を用いて比較的精度良く歩行速度を推定することができており, 下肢筋張力と歩行速度の関係を定量的に示すことができた.