

修士論文要旨

坂道歩行において踵高さが脚部筋肉に与える影響の解析

Effect of heel height on leg muscles during slope ascending

知能機械システム工学コース

知能ロボティクス研究室 1225010 小田 啓介

1. 諸言

坂道が多い地域では脚の不自由な高齢者は移動が困難であるため活動範囲が狭くなる問題がある。もし坂道でも容易に歩行可能な靴を開発できれば高齢者の活動範囲を広げることができる。そこで坂道を歩行する時に自動的に踵高さを上げる靴の開発ができれば、脚部の疲労を軽減でき、平地と同じ姿勢で容易に歩行できると考えた。そのため、坂道歩行において踵高さと脚の負担との関係を定量的に解析する必要がある。これまでは表面筋電位測定装置を用いて坂道歩行の際踵高さの変化が脚部に与える影響の検証を行ってきた⁽¹⁾。表面筋電位は筋肉の中にある筋線維から発生した個々の活動電位を加算したものである⁽²⁾。一般的に筋肉に力が入るほど筋電位は大きくなる。筋肉を酷使してしまい筋繊維が破壊されると白血球が集まり、その際炎症反応を起こしてしまい痛みや疲労として感じる⁽³⁾。本報告では実際の坂道にて、事前に踵高さを調整した靴で歩行実験を行い、筋活動を測定する。平地でも同じタスクで歩行実験を行い、平地歩行と踵高さを上げた靴での坂道歩行の類似性を検証する。また周波数解析を行い、筋の質的評価を行う。歩行実験の結果、ふくらはぎ部分の筋肉に踵高さを上げることで平地歩行と類似する特徴がみられ、筋疲労の軽減もみられた。

2. 表面筋電位の測定実験

2.1 表面筋電位測定機器

表面筋電位の測定にはBTS社が開発したFreeEMG1000を使用した。FreeEMG1000の仕様と写真を表1、図1に示す。

Table 1
Specification of FreeEMG1000

Sampling Frequency	1000[Hz]
External Dimensions	24.8×41.5×14[mm]
Weight	13g



Fig. 1 FreeEMG1000

2.2 踵高さを上げる調整具

本実験では坂道を歩行の際、踵高さが下肢筋肉に与える影響を調べるために通常の靴と踵高さを調整した靴の2種類の靴を用いて実験を行う。実験を始める前に図2のように踵高さがつま先と水平となる調整具を装着した靴を作成した。



Fig. 2 The sports shoes fitted with adjustable heel-piece

2.3 測定部位

測定部位は大腿直筋 (Rectus Femoris)、大腿二頭筋 (Biceps Femoris)、内側広筋 (Vastus Medialis)、腓腹筋 (Gastrocnemius)、ヒラメ筋 (Soleus)、前脛骨筋 (Tibialis anterior) の6か所を選定した。図3に測定部位を示す。大腿直筋は股関節の屈曲、膝関節の伸展、大腿二頭筋は股関節の伸展、膝関節の屈曲、内側広筋は膝関節の伸展、腓腹筋は膝関節の屈曲、足関節の底屈、ヒラメ筋は足関節の底屈に作用する筋肉であり、図1のFreeEMG1000を右脚に貼り付けた。貼り付ける前に皮膚抵抗を低減させるためにスキンプイアを用いて皮膚表面を清潔にした。

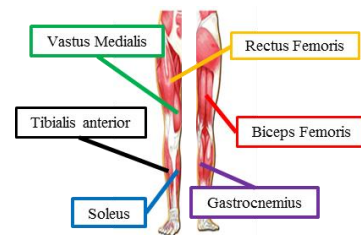


Fig.3 Measuring part

2.4 実験タスク

被験者は体に疾患の無い4名にご協力していただいた。坂道での歩行実験は高知工科大学付近の傾斜10度の坂道にて実験を行った。実験タスクは図4に示すような時間で、通常の靴の場合と調整具を付けた靴の場合に分けて坂道歩行を行った。また平地歩行でも同タスクで行った。歩行速度の増減による筋出力の増減を防ぐために歩行速度は被験者毎に通常の靴で歩きやすい速度に統一した。

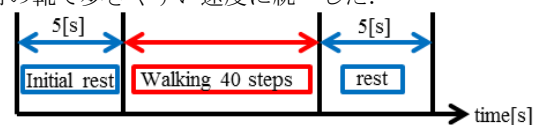


Fig.4 Experimental tasks

3. 解析方法

平地歩行との類似性を見るために歩行1周期(2歩分)で比較を行う。測定したデータに100[ms]毎で自乗平均平方根(RMS)処理を行った。解析区間は歩きだしとブレーキの影響を除くため歩行が安定している11歩目から30歩目までの20歩間(歩行10周期分)とした。図5左のように歩行は同じ動作の繰り返しのため波形が周期的に現れる。しかし着目する周期によっては筋出力EMGの大きさが異なるため10周期分を加算平均した(図5右)。これにより横軸が歩行1周期[%]となり、センサを貼り付けている筋肉の筋出力の繰り返し変わりを表す。

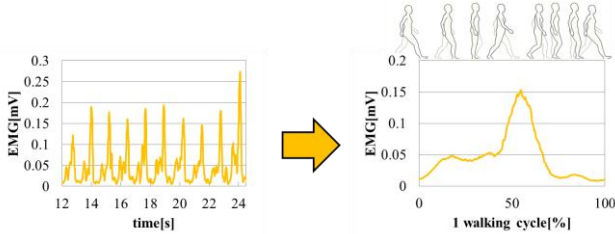


Fig.5 Electromyogram

また各歩行周期に周波数解析を行い、各区間の中央周波数を導出した。筋が疲労すると中間周波数値が低周波帯へ移行するということが知られている。

この時間因子と周波数因子の解析結果から評価を行った。

4. 実験結果と考察

被験者1名の時間因子の実験結果を図6から図8に示す。図中の凡例は「靴の種類(歩行場所)」を表している。また周波数因子については特徴のみられた腓腹筋の結果を図9に示す。

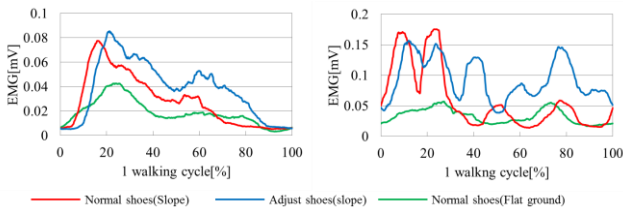


Fig.6 Analysis data

(Left: Rectus Femoris Right: Biceps Femoris)

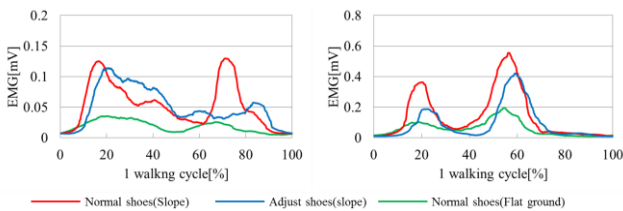


Fig.7 Analysis data

(Left: Vastus Medialis Right: Gastrocnemius)

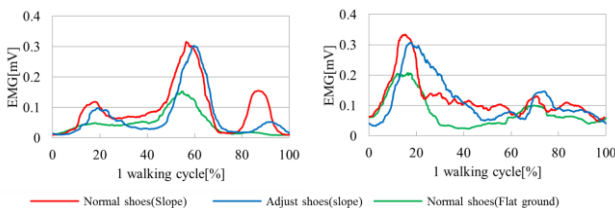


Fig.8 Analysis data

(Left: Soleus Right: Tibialis anterior)

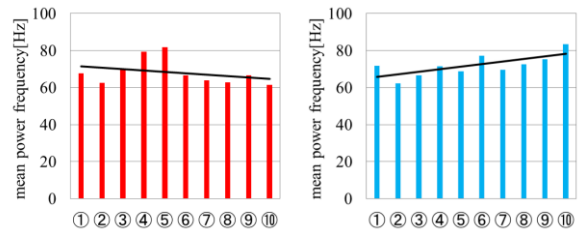


Fig.9 Analysis data (Gastrocnemius)

(Left: normal Right: adjust)

まず大腿部に着目する。大腿二頭筋に関しては右脚が遊脚期に入っている歩行周期後半にて平地歩行と通常靴での坂道歩行の筋肉の使用度合いが近い値になっていることがわかる。しかし調整靴での坂道歩行と通常靴での平地歩行で筋肉の使用度合いに類似性が見られる被験者も現れ、遊脚期に関しては被験者に共通した特徴は見られなかった。遊脚期は脚が浮いている期間である。次の1歩の踏み出し方(踵接地や踵とつま先の同時接地など)によって被験者毎に違いが生じたものと考えられる。被験者の大腿二頭筋の筋出力値の増加は踵高さが上がった状態で踵接地に入るため普段より膝を大きく屈曲させたものと考えられる。

次に腓腹筋に着目すると足を蹴り上げている周期60[%]付近でいずれの条件でも波形のピークを迎えているが通常靴での坂道歩行よりも調整靴での坂道歩行の方が平地歩行の筋出力値に近くなる特徴が見られた。腓腹筋は足関節の伸展を担う筋肉である。坂道歩行は平地歩行に加え、垂直方向へ体重を持ち上げていく運動が組み合わさった運動である。踵高さが上がった分、足関節の伸展する角度が減少したため平地歩行の値に近づいたものと考えられる。また図9を見ると中間周波数が通常の靴の場合、低周波帯へ移行しているが調整靴の場合には低周波帯の移行はみられなかった。このことから腓腹筋のあるふくらはぎ部分の負担が踵高さを上げることで軽減できていると考える。

結言

本報告では坂道歩行の際、踵高さを上げた状態での歩行と平地歩行との相違性を検証した。その結果ふくらはぎ部分の下腿部の筋肉には類似する特徴が見られたが、大腿部に関しては被験者により筋肉の使われ方が異なり共通した特徴が見られなかった。今後の展開として、今回は実験場所の都合上40歩としたが歩行距離を十分に確保した歩行実験を行う。靴の重量を重くして歩行実験を行う。本研究の目的は坂道歩行時に踵高さを上げ、歩行のアシストを行う靴の開発である。少なくとも通常の靴よりも重くなることが考えられるため、靴の重さが下肢筋肉に与える影響も検証する必要がある。

謝辞

本研究は、科学研究補助金(15H03951)の助成の一部受けたことを記し、感謝を申し上げる。

文献

- (1) 小田 啓介, 王 碩玉, 瀧 博, 坂道歩行時に踵高さが下肢筋肉に与える影響の解析, 第37回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2019), 2019年9月。
- (2) 木塚 朝博, 増田 正, 木竜 徹, 佐渡山 亜兵, 表面筋電図, 東京電機大学出版局出版, 2006。
- (3) 第一三共ヘルスケア 「くすりと健康の情報局」 <https://www.daiichisankyo-hc.co.jp/health/>