

階段昇行動作に必要な筋活動

— ステップ高ならびに靴底着床部位による 差異について —

Comparison with the muscle activities during stair ascending — Differences among the step height, and the manner of the sole region on the stairs —

キーワード：階段昇行、着床部位、筋電図
Keywords : stair ascending, sole region, EMG

吉澤正育

Masatada Yoshizawa
福井大学
Fukui University, Fukui, Japan

西島吉典

Yoshinori Nishijima
大阪教育大学
Osaka Kyoiku University,
Osaka, Japan

加藤達雄

Tatsuo Kato
大阪教育大学
Osaka Kyoiku University,
Osaka, Japan

薄雲裕介

Yusuke Usugumo
交野養護学校
Katano School for Disabled
children, Osaka, Japan

宮下充正

Mitsumasa Miyashita
放送大学
University of the Air, Chiba, Japan

1. 目的

日常生活における移動運動は、一般的に平地歩行が最も多く、次いで階段や傾斜面の昇降が多く用いられる。エネルギー代謝率からみて階段昇行(6.5)は平地歩行(1.5~2.1)に比較して非常に高い作業強度であることが報告されている(沼尻1974)。また、両動作について筋電図記録し、その放電の振幅から作業強度を定性的に比較した報告もみられるが(Joseph, 1967; Lyons et al., 1983)、定量的に筋活動量を比較したものは未だ数少ない(Bradford et al., 1988; Zachazewski et al., 1993; 西島ら1997, 2001, 2003; 馬場ら2003)。

一般的に、平地歩行中の靴底着床部位とその順序性は、当該脚の踵が着床した後、小指側、親指側の順に着床してフットフラットとなり、その後、踵の離床に続いてつま先は母指を最後として離床する。

一方、階段昇行は、平地歩行でみられたような明確な靴底着床部位の違いはなくほぼ同時に着床する。しかし、ステップへ着床させる靴底部位は、足底全面の場合と踵を浮かせた靴底前半部の場合があり、場合によっては同一人に於いてもそれらを交互に使い分けていることが生活動作から観察される。それぞれを使い分ける根拠や利点についての研究報告は知りうる範囲で未だみられないが、動作速度を違えることや疲労の軽減などに関係することが推察される。

そこで本研究では階段の昇行動作をとりあげス

テップ高ならびに靴底着床部位の違いに伴う筋活動を定量分析することによって、各動作の下肢筋群における筋活動量を比較し、それぞれの運動強度を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

事前に実験の主旨ならびに実験手順を説明し、被験者としての承諾が得られた健康な男子大学生10名を被験者とした。被験者の特性は、年齢20.7±0.8才、身長170.2±4.0cm、体重61.3±4.8kgであった。

2) 被験筋

下肢関節運動に関与する右脚側の前脛骨筋、腓腹筋外側頭、ヒラメ筋外側部、内側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋長頭、中殿筋、大殿筋の8筋を対象とした。

3) 実験用階段・対象動作および速度

(1) 長さ90cm、ステップ幅が30cmのコンクリート板を用いて、ステップ高が10cmおよび16cmとなる各々8段の階段を実験室内に特設した。着床(ST)期と空輪(SW)期を区別して記録できるように、靴底面と階段各ステップ面との間にはスイッチ回路を設けた。

(2) 被験者に対しては前述のステップ高の異なる2種の階段を、図1に示すようにできるだけ靴底全面(entire sole of the foot: ES)をステップに着床させる方法と、靴底土踏まず部から爪先

部みの靴底前半部 (front-half of the sole of the foot: FHS) を着床させる方法でそれぞれ昇行するように指示した。なお、動作開始直後と最後の1サイクル動作は分析の対象外とした。

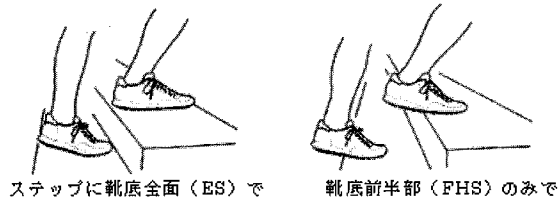


図1 階段昇行時の靴底着床部位の違い
ステップに靴底全面 (entire sole of the foot: ES) を着床させる方法と、靴底土踏まず部から爪先部みの靴底前半部 (front-half of the sole of the foot: FHS) を着床させる方法

(3) 右脚の靴底着床から次の着床までの動作を1サイクルと認識させ、いずれの場合も60拍毎分のメトロノーム音に合わせて、可能な限り1サイクル/秒の速度で行うよう指示した。

4) 筋電図およびフォームの記録

(1) 筋電図は、万能型脳波計 (日本電気三栄社製 1A58:時定数0.03sec) を介し、有線による通常の皮膚表面双極誘導法により直径5mmのAg/AgClのカラー付き電極を用いて導出した。電極の装着は可能な限り筋腹中央の部位 (De Luca 1997) とし、それらの間隔を2cmとして両面テー

プで貼付した。

(2) フォームは、側方から60コマ/秒のビデオカメラで撮影し、映像のフレームパルスは足・膝・股関節のゴニオグラム、フットコンタクトシグナルならびに筋電図と同期させ、データレコーダ (TEAC社製XR-710) に記録した。

5) 実験手順

(1) 各被験筋における活動量の指標とするため、図2に示すような徒手筋力検査法 (MMT) (Hislop et al. 1998) の良 (F) 段階 (MMT.F) の判定動作が30回/分の反復速度となるように、メトロノーム音のテンポ (西島ら, 1998) に合わせて7回行わせた。

(2) 靴底全面 (ES) 着床での階段昇行動作が120歩/分の歩調となるようにメトロノーム音に合わせて行わせた。

(3) 靴底前半部 (FHS) 着床の階段昇行動作が120歩/分の歩調となるようにメトロノーム音に合わせて行わせた。

(4) 階段のステップ幅と同じ30cmの歩幅で平地歩行 (30cm歩行) を、階段昇行動作と同じ120歩/分の歩調となるようにメトロノーム音に合わせて行わせた。

6) 筋電図の処理

(1) 再生された筋電図原波形は、パーソナル・コンピュータによりA/D変換し、1KHzでサンプリングし整流化した後、バッタワース・セカンド

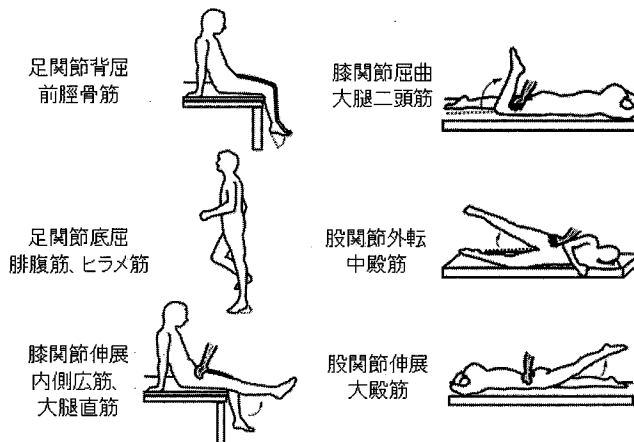


図2 各被験筋における活動量の指標とするために用いたMMT.Fの判定動作 (図中の網掛けになっている前腕部は験者の補助位置を示す)

オーダ・ローパスフィルタ（3Hz）により包絡線とした。

(2) 各筋のMMT.Fの判定動作5試行分のピーク値を平均し、筋活動量を標準化するための指標値とした。

(3) 階段昇行および30cm歩行中の筋電図は、ま

ずMMT.Fで振幅を標準化し各被験者の10歩分のデータを各々1サイクル動作に要した時間で標準化し、平均波形と標準偏差波形を求め、その平均筋電波形を積分して筋放電量とした。

(4) 被験者毎に標準化した平均波形をもとに10名の平均筋電波形を求めた。

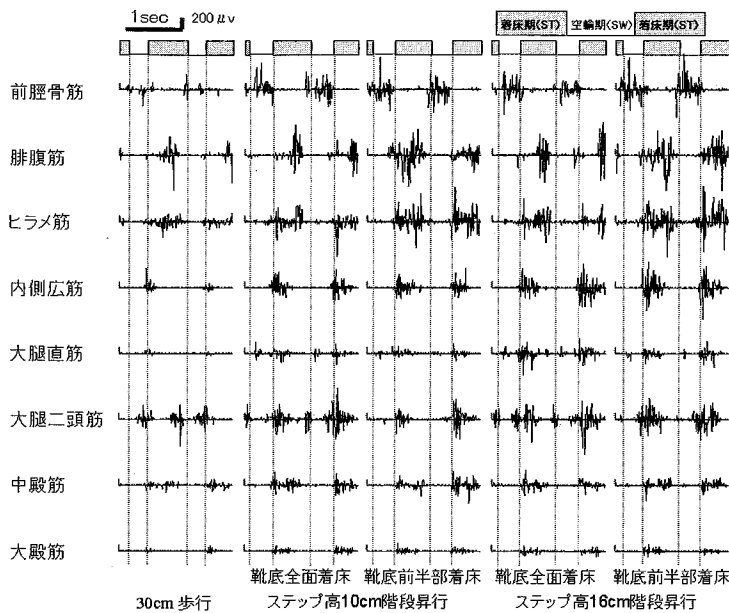


図3 30cm歩行、ステップ高10cm・16cmの階段昇行時の筋電図原波形(被験者A)

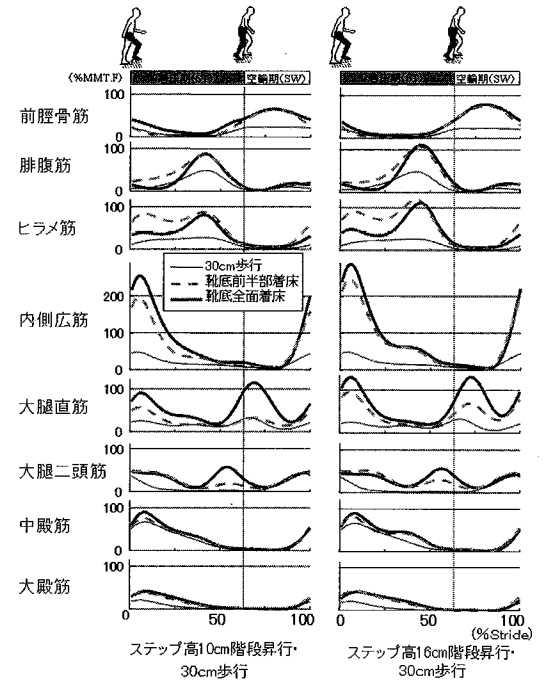


図4 各条件での筋活動をMMT.F動作による筋活動量で標準化した被験者10名の平均放電波形

3. 結果

1) 筋活動パターンからみた差異

図3は、被験者Aの30cm歩行、ならびにステップ高10cmおよび16cmの階段昇行時のES着床とFHS着床による筋電図原波形を示した。また、図4に各被験者のMMT.F動作による筋活動量で標準化し、被験者10名の平均放電波形を示した。

図4において、着床部位が同じESあるいはFHSのステップ高が10cmと16cmと異なった場合の筋活動パターンを比較すると、被験筋とした8筋ともに1歩を通して顕著な差異は認められなかった。各筋の主放電のピーク値を比較すると、ステップ高16cmでは前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋、内側広筋、

大腿直筋においてやや高い傾向は認められたが、大腿二頭筋、中殿筋、大殿筋のピーク値にはわずかな差異しか認められなかった。特に中殿筋、大殿筋では30cm歩行の放電パターンとも近似したものであった。

着床部位がESとFHSの場合による放電パターンを比較すると、中殿筋と大殿筋においてはかなり近似したものであった。しかし、前脛骨筋ではES着床の場合にSW期終末からST期前半にかけてFHS着床よりわずかに高い筋活動が、また、内側広筋にはST直後に、大腿直筋にはST直後ならびにSW直前からSW期前半にかけて、さらに大腿二頭筋にはST期後半に、それぞれ高い筋活動が認められた。一方、FHS着床の場合には、ヒラメ筋ではST

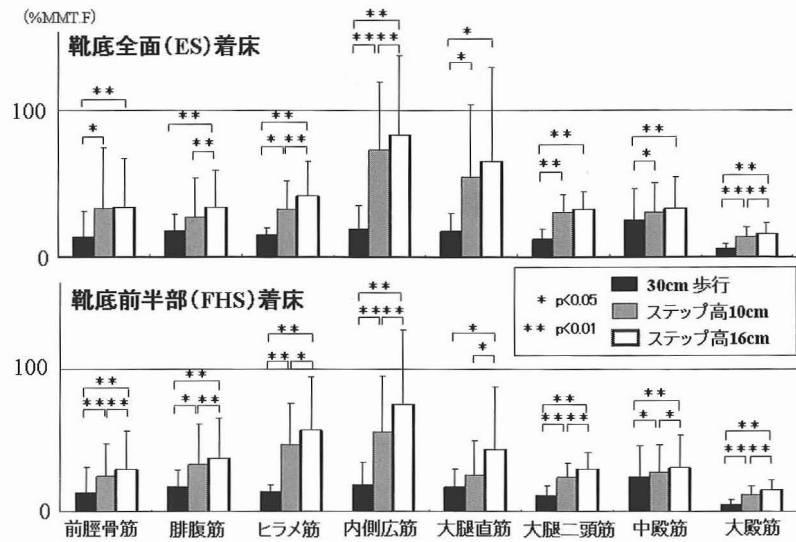


図5 靴底着床部位別にみた階段昇行中の筋活動量比較

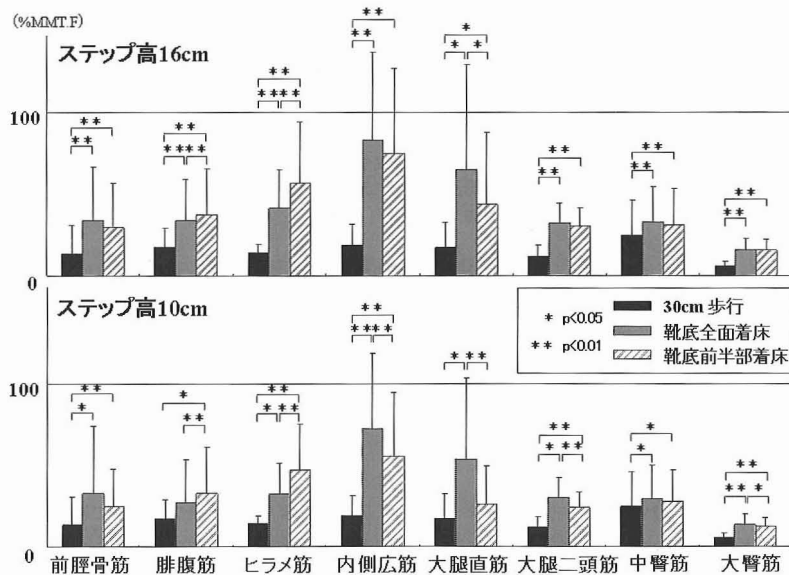


図6 ステップ高別にみた階段昇行中の筋活動量比較

直前からST期前半を通じて、また腓腹筋には着床期前半に、ES着床より高い筋活動が認められた。

2) 筋活動量からみた差異

図5は、着床部位別に筋活動量を比較したものである。階段昇行では30cm歩行と比較すると、FHSでの大腿直筋を除く7筋において有意に高い活動量を示した。また、ステップ高16cmと10cm

を比較すると、ES着床の前脛骨筋、大腿直筋、大腿二頭筋、中殿筋の4筋にもステップ高16cmにおいて活動量が高い傾向はみられたが10cm高との間に有意差は認められなかった。その他の被験筋では16cm高で有意に高い活動量を示した。

図6は、ステップ高別に筋活動量を比較したものである。ステップ高10cmおよび16cmともに腓腹

筋、ヒラメ筋ではFHS着床で有意に高い活動量を示した。一方、これら2筋以外ではES着床で高い活動量を示し、ステップ高10cmでは内側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、大殿筋に、ステップ高16cmでは大腿直筋に有意差が認められた。

3) 下肢関節角度からみた差異

図7は、各条件での下肢関節角度変化を示した。ステップ高16cmは10cmの場合と比較すると、足関節ではST期前半の最大屈曲位には大きな差異はみられなかったが、SW開始時にみられる最大伸転位角度が増大する傾向がみとめられた。一方、膝・股関節ではSW直前の最大伸転位にはほとんど差異はみられず、SW期の最大屈曲角度が増大する傾向がみとめられた。

また着床部位による違いをみると、足関節ではES着床時にST期前半の最大屈曲からSW開始時の最大伸転までの運動域が狭い傾向を示した。膝関節ではES着床時に運動域がやや広がる傾向を示した。これらの傾向はステップ高10cmでより顕著であった。運動域という点からは股関節ではES着床とFHS着床でほとんど差異は認められなかった。

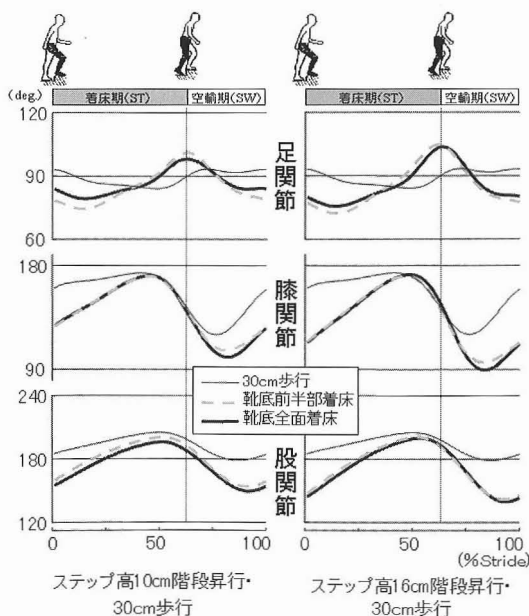


図7 各条件での階段昇行中の下肢関節角度変化

4. 考察

水平移動に必要な特性を抽出するために行なった30cm歩行と階段昇行の関節動作を比較すると、階段昇行において足関節は伸展・屈曲ともに広い運動域での動作がみられ、膝・股関節は大きな屈曲動作を示した。ステップ高による関節動作パターンを比較すると、足関節はST期の終末からSW期開始にかけての最大伸展位が、また膝・股関節ではSW期の最大屈曲位がいずれも16cm高>10cm高の関係がみられた。これらのことから、階段昇行では段差を効率よくクリアするために、遊脚側は膝を曲げながら大腿を持ち上げ、支持脚の足関節を伸ばすことを協調して行なうことが必要で、この動作はステップが高くなるほど積極的になされていることが明らかとなった。

筋活動量からみると、足関節伸展（底屈）に働く腓腹筋ならびにヒラメ筋には有意に16cm高>10cm高の関係がみられたが、膝・股関節屈曲に関わる大腿二頭筋、大腿直筋には両条件間で有意差はみられなかった。これらのことから、ステップ高が16cmになっても膝・股関節筋には特別な負担増ではないが、足関節伸展（底屈）筋では6cmのステップ高の差が筋負担増につながっていることが明らかとなった。

靴底前半部（FHS）での着床による階段昇行では、靴底全面（ES）の場合と比較して、ステップ高10cmおよび16cmともに足関節底屈に関与する腓腹筋、ヒラメ筋とも着床にもなつて有意に高い活動量を示した点については、ESの場合より着床により足関節がより屈曲（背屈）位となることに対する積極的な伸展（底屈）努力をした結果と考えられる。

5. まとめ

日常生活でみられる階段昇行について、階段1段の前進距離に相当する30cm歩行、階段のステップ高10cmと16cmでの昇行、および昇行時に靴底全面（ES）と靴底前半部（FHS）で着床する条件について比較した。その結果、動作ならびに筋活動について次のような特性が明らかとなった。

(1) 動作特性

- ①足関節の運動域並びに膝・股関節の最大屈曲角度は、有意に階段昇行>平地移動であった。
- ②足関節の最大伸展位並びに膝・股関節の最大屈曲位は、有意に16cm高>10cm高であった。
- ③ステップへ靴底全面での着床と靴底前半部のみでの着床による階段昇行では、足関節の運動域は、靴底前半部>靴底全面であった。

(2) 筋活動特性

- ①靴底前半部着床での大腿直筋を除いた7筋において、有意に階段昇行>平地移動であった。
- ②靴底全面着床での腓腹筋、ヒラメ筋、内側広筋、大殿筋の筋活動量は、有意に16cm高>10cm高であった。
- ③着床にともなう腓腹筋、ヒラメ筋の筋活動は、有意に靴底前半部>靴底全面であった。

文 献

- 馬場崇豪, 加藤達雄, 西島吉典, 吉澤正尹: 自由ペースによる平地歩行・ジョギングおよび階段昇行・降行の筋電図分析, ウォーキング研究 7: 55-60, 2003.
- Bradford L.M., Winter D.A.: An Integrated Biomechanical Analysis of Normal Stair Ascent and Decent. J.Biomech 21-9, 733-744 1988.
- De Luca C. J.: The use of surface electromyography in biomechanics, J. Appl. Biomech. 13: 135-163, 1997.
- Hislop J.H., Montgomery J.: Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination, Sixth Edition. 津山直一訳: 新・徒手筋力検査法, 協同医書出版社, 1998.
- Joseph J.: Telemetering electromyography of muscles used in walking up and down stairs J.Bone Joint Surg 49-B: 774-780, 1967.
- Lyons K., Perry J. et al: Timing and Relative Intensity of Hip Extensor and Abductor Muscle Action During Level and Stair Ambulation. Physical Therapy 63-10, October 1983.
- 西島吉典, 吉澤正尹 他: 正常歩行・階段昇降中の下肢筋群筋電図波形の標準化ならびにその定量分析, 身体運動のバイオメカニクス: 151-156, 1997.
- 西島吉典, 加藤達雄, 吉澤正尹: 徒手筋力検査法(MMT)による膝関節伸展動作の動作速度と筋放電量の関係, 体力科学48-4: 543, 1999.

西島吉典, 加藤達雄, 吉澤正尹: 平地歩行と階段昇り歩行時の下肢筋群における筋活動量の定量評価—MVCとMMT.Fによる比較—, 疲労と休養の科学 16-1: 105-113, 2001.

西島吉典, 加藤達雄, 馬場崇豪, 吉澤正尹: 平地歩行と階段昇行運動のピッチ変化に伴う下肢筋群の対応, ウォーキング研究 7: 61-66, 2003.

沼尻幸吉: 活動のエネルギー代謝, 労働科学研究所, 労働科学研究所出版サービスセンター, 1974.

Zachazewski J.E., Riley P.O., Krebs D.E.: Biomechanical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subjects. J. of Rehabilitation Research and Development 30-4: 412-422, 1993.