

ステップ運動の下肢筋放電量

綾部 誠也^{1,2)} 里 隆文^{1,3)} 進藤 宗洋¹⁾ 田中 宏暁¹⁾

Lower limb muscle activity during bench stepping exercise

Makoto AYABE^{1,2)} Takafumi SATO^{1,3)} Munehiro SHINDO¹⁾ Hiroaki TANAKA¹⁾

Abstract

The purpose of the present investigation was to examine the lower limb muscle activity during bench stepping exercise. Eight healthy young students performed the bench stepping exercise at 60 to 120 steps \cdot min⁻¹ of stepping frequency with the platforms at the height of 10, 20, 30 and 40 cm. Additionally, all subjects performed the sub-maximal walking test corresponding to the 4 to 7 METs. During all procedure of the present investigation, the surface electromyogram (EMG) was measured at the six muscles of lower limb, and was divided by the EMG during maximal voluntary contraction in order to calculate %EMG. As results, there was no significant effect of the stepping frequency and step-height on the %EMG. In contrast, as increasing the step-height, %EMG at quadriceps femoris muscles significantly increased. During bench stepping, EMG at triceps surae muscle was significantly lower, and %EMG at quadriceps femoris muscles was significantly higher, compared with the treadmill walking with same METs. These results suggested that lower muscular activity significantly associated with the step-height during bench stepping exercise. Furthermore, the bench stepping can induce higher muscular activity at quadriceps femoris muscles than the walking exercise irrespective of the incline level.

緒言

一定水準の筋力を維持することは、生活機能を維持するための基礎的要素である^{2,3,7)}。すなわち、筋力を高めることは、日常生活活動や生活の質の加齢に伴う低下の軽減や回復につながり、歩行能力の保持増進や転倒予防になることが示されている^{2,13)}。従って、介護予防対策を求められて

いる我が国においては、筋力向上のためのプログラムが有酸素性運動のプログラムと並んで健康づくりの現場で広く利用されている。

高齢者は、加齢現象に伴って、筋力や筋量が減少しがちである¹¹⁾。ただし、同時に、多くの研究結果は、加齢に伴って低下した筋力も適切なトレーニングによって十分に向上し得ることを示している^{7,9,12)}。また、高齢者における筋力増大に対す

1) 福岡大学スポーツ科学部 運動生理学

Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Sports Science, Fukuoka University

2) 順天堂大学スポーツ健康科学部

School of Health and Sports Science, Juntendo University

3) 群馬ダイヤモンドペガサス

Gunma Diamond Pegasus

る効果は、トレーニングの前の筋力を考慮すれば、相対的に若年者と同等あるいはそれ以上であるとも考えられている。^{2,3)}

これらの高齢者の筋量や筋力の可変性を示した研究の多くは、レジスタンス運動が用いられている。レジスタンス運動は、専用の機器を用いて、その目的に応じて、随意最大筋力に対する比率(%MVC)などを基準に運動処方を作成することが一般的である。すなわち、高齢者が筋力トレーニングの安全性と効果を確保するためには、スポーツクラブや研究機関などにて、熟練した指導者の監視下で行うことが求められる。また一方、近年、自宅で簡単に行えるステップ運動が注目されている^{5-7,13-15)}。これまでの研究から有酸素性能力の改善の効果が確かめられている。また、この運動は、抗重力運動であるため、下肢筋力に対するトレーニング効果も期待でき、一部の研究では12週間のステップ運動の効果として膝伸展パワーの改善が認められている¹³⁻¹⁵⁾。ただし、ステップ運動中の筋量の増大や筋力向上の生理学的背景には不明な点が多い。

そこで、本研究は、ステップ運動時の昇り局面に動員される筋群の検討、ならびに、台高と昇降頻度が筋放電量へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方 法

対 象 者

本研究の対象者は、身体に疾患のない若年男性8名(年齢 22 ± 1 歳, 身長 173.2 ± 6.5 cm, 体重 66.3 ± 7.6 kg)であった。すべての対象者は、本研究の目的、利益、不利益などを理解し、研究参加同意書へ署名した後に本研究へ参加した。また、本研究のすべてのプロトコールは、ヘルシンキ宣言に従って行われ、福岡大学医学部の倫理委員会の承認を得た。

運動プロトコール

すべての対象者は、ステップ運動ならびに歩行

での運動負荷試験を行った。

ステップ運動は、4種の台高と4種の昇降頻度を用いた16種類の様式にて行った。ステップ運動の台高は、10, 20, 30, 及び40cmであった。また、昇降頻度は、15, 20, 25, 30回・分⁻¹であった。各ステップ運動での運動時間は、2分間程度であった。すべてのステップ運動は、台高可変のステップ台(ステップウェル, コンビウェルネス社製)を用いて行った。

歩行試験は、電動トレッドミルを用いて、異なる速度と傾斜にて行われた。歩行時は、傾斜0%, 10%, 20%時において、それぞれ、4, 5, 6, 7 METs (Metabolic Equivalent) に相当する速度にて行った。ただし、傾斜が0%時においては、5 METs 以上に相当する速度(150m・min⁻¹での)での歩行が困難であったため、4 METs に相当する速度での歩行のみを実施した。歩行速度は、傾斜0%時が115m・min⁻¹であり、傾斜10%時が38, 50, 63と75m・min⁻¹であり、傾斜20%時が23, 30, 38と46m・min⁻¹であった。各ステージでの運動時間は、安定した筋電図を得るために2分間程度とした。それぞれの速度と傾斜に相当するMETsは、先行研究¹⁾に従って算出した。なお、4, 5, 6, 7 METs に相当するステップ運動は、台高が20cmの場合、60, 80, 100と120回・分⁻¹の昇降頻度に対応した。

筋電図測定

ステップ運動時の筋電図は、各負荷とも、30秒間記録した。歩行時の筋電図は、速度が安定した時点から30秒間記録した。本研究では、得られた筋放電のうち、ステップ昇り局面のデータを抽出して分析を行った。また、測定前に伸展、屈曲、背屈、底屈の等尺性随意最大筋収縮(MVC)の筋電図を各2回、5秒間記録した。筋電図は、いずれも、サンプリング周波数1000Hzにて導出し、全波整流した後に、50msecあたりの積分値を算出した。本研究では、いずれの運動様式でもそれらの最大値を等尺性随意最大筋収縮の筋電図にて正規化した値を用いた(%MVC)。被検筋は、腓

腹筋, 前脛骨筋, ハムストリングス, 外側広筋, 内側広筋, 大腿直筋の6筋で, いずれも右脚を対象とした, 表面電極は2.5cm 間隔で貼付した.

統計処理

本文中の測定値は, 平均値 ± 標準偏差にて示した. 異なる台高, 異なる昇降頻度, 運動様式における筋放電量の比較は, 一元配置分散分析ならびに多重比較検定 (Scheffe) を用いて行った. すべての統計処理の有意水準は, $P < 0.05$ とした.

結 果

Figure 1. に示す通り, ステップ運動時の下肢筋放電量は, 同一台高において昇降頻度の増加に伴う有意な変化が認められなかった (Figure 1.). 一方, 同一昇降頻度でのステップ運動時には, 台高の増加に伴って, 筋放電量は有意に増大した (Figure 2.). 特に, 大腿前面筋群の筋放電量は, 外側広筋, 内側広筋および大腿直筋に有意な変化が認められ ($p < 0.05$), 内側広筋では, 50%MVC を超える値も得られた. 一方, 下腿筋群の筋放電量は, ステップ運動時において, 台高の影響が認められなかった.

Figure 3. には, 4 から 7 METs に相当するステップ運動 (台高20cm) および傾斜 0%, 10%, 20%での歩行での下肢筋放電量を示した. ステップ運動時の下腿筋群の筋放電量は, 歩行時に比して, 有意に低値を示した ($p < 0.05$). 一方, ステップ運動時の大腿筋群の筋放電量は, 歩行時に比して, 有意に高値を示した ($p < 0.05$).

考 察

本研究は, ステップ運動の昇り局面における下肢の筋放電量を異なる台高や昇降頻度について明らかにすると同時に, 歩行時のそれと比較することを目的に行われた. その結果, ステップ運動中の筋放電量に対して, 昇降頻度の影響は認められなかった. 一方で, ステップ運動中の筋放電量は,

台高が高くなるにつれて, 大腿前面筋群に有意な増加が認められた. また, 歩行運動時に比して, ステップ運動時の筋放電量は, 下腿筋群にて有意に低値であったが, 大腿前面筋群にて有意に高値を示した. これらの結果は, ステップ運動時の大腿前面筋群の下肢筋放電量が, 歩行時に比べて高値を示し, 台高を高めることにさらに増大することが明らかになった.

浅川ら⁷⁾は, 10から30cm までの台高を用いたステップ運動時の股関節周囲筋の筋放電量を分析し, 30cm の台高を用いた際に最も高い値を示すことを報告している. また, Andriacchi et al⁴⁾は, ステップ運動時の下肢関節トルクが, 歩行時のそれに比して, 顕著に大きいことを示している. さらに, 日常生活活動時の下肢の筋放電量を検討した研究¹⁶⁻¹⁷⁾によれば, 階段昇降時の筋放電量は, 日常生活活動時のうちで, 最も高値を示し, 歩行時のそれに比して2倍程度に至ることを報告している. これらの報告は, 本研究の結果をサポートするものであり, ステップ運動時の筋放電量がステップ台高に依存し, また, 歩行に比して高値を示すことは明らかである.

筋力を向上させるには30から40%MVC 以上の負荷強度が必要であると考えられている¹⁰⁾. Figure 2. へ示すように, ステップ運動時の内側広筋では台高30cm 以上で40%MVC (%EMG) を超え, 20cm でも40%MVC (%EMG) に至った. これらの結果は, ステップ運動でも十分に筋肥大が起こる可能性があることを示している. これまで, ステップ運動は, 膝伸展パワーの向上に有効であることが示されている¹³⁻¹⁶⁾. ただし, 筋肥大のためには, 15から20秒間の持続した筋収縮が必要であるとも考えられており¹⁰⁾, 1秒程度の周期で運動を繰り返すステップ運動は, この条件を充足できない. ステップ運動が筋肥大へ及ぼす効果に関する生理学背景については, 本研究から結論を出すことができず, 今後の研究成果に期待したい.

これまでの運動処方, 酸素摂取量, 乳酸性作業閾値 (LT) や心拍数予備など, 呼吸循環系の

能力に応じて決定することが一般的であった^{1,5,6)}。ただし、本研究の結果に従えば、ステップ運動において、呼吸循環系への負荷を同一水準に保ちながら、下肢筋群への刺激を調節できることになる。すなわち、20cmの台高にて昇降頻度が60回・分⁻¹のステップ運動と、30cmの台高にて昇降頻度が53回・分⁻¹のステップ運動は、ともに同様に6 METs程度の呼吸循環系への負荷となる。ただし、筋放電量が台高に依存するので、筋力向上を期待するのであれば後者が適当である。すなわち、大腿筋群の向上を意図したプログラムであれば、台高を一定以上に確保しながら、参加者の有酸素性作業能に応じて昇降頻度を設定するようなステップ運動を実施すべきであろう。また、台高を低く管理し、昇降頻度を依存して運動強度設定するようなステップ運動は、意図的に筋張力を低くすることができるため、運動に不慣れな参加者や運動教室開始当初などに、障害予防の観点から有効となるであろう。このような観点に立てば、ステップ運動を用いた運動処方は、運動強度だけでなく、運動実施者の目的や病態に応じて運動様式も可変のオーダーメイド型指導が可能になる。

総括として、本研究の目的は、ステップ運動中の下肢の筋放電量を異なる台高や昇降頻度について明らかにすると同時に、歩行時のそれと比較することを目的に行われた。その結果、ステップ運動時の昇り局面の大腿前面筋群の筋放電量が、歩行時に比べて高値を示し、台高を高めることにさらに増大することが明らかになった。これらの結果は、高い台高を用いたステップ運動が大腿前面筋群の向上に有効であることを示唆する。ただし、本研究は、ステップ運動中の筋放電量を測定したにすぎず、ステップ運動の下肢筋力向上の有用性を明らかにするためには、異なる運動様式（台高、昇降頻度、歩行運動）での前向き研究の成果を期待したい。

引用文献

- 1) American college of Sports Medicine, (2006) ACSM'S Guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. Lippincott Williams & Wilkins. Baltimore.
- 2) American College of Sports Medicine Position Stand. (1998) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardio respiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults Exercise and physical activity for older adults. Med. Sci. Sports Exerc., 30: 975-991.
- 3) American College of Sports Medicine Position Stand. (1998) Exercise and physical activity for older adults. Med. Sci. Sports Exerc., 30: 992-1008.
- 4) Andriacchi, T.P., Andersson, G.B., Fermier RW, Stern D, Galante JO. (1980) A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. J. Bone Joint Surg. Am., 62:749-757.
- 5) Ayabe. M, Yahiro, T., Mori, Y., Takayama, K., Tobina, T., Higuchi, H., Ishii, K., Sakuma, I., Yoshitake, Y., Miyazaki, H., Kiyonaga, A., Shindo, M., & Tanaka, H. (2003) Simple assessment of lactate threshold by means of the bench stepping in older population. Int. J. Sport Health Sci., 1: 207-215.
- 6) Ayabe, M., Yahiro, T., Ishii, K., Kiyonaga, A., Shindo, M., & Tanaka, H. (2004) Validity and usefulness of the simple assessment of lactate threshold in younger adults. Int. J. Sport Health Sci., 2: 84-88.
- 7) 綾部誠也・田中宏暁 (2005) 高齢者に対する筋力トレーニングとその効果. 老年医学 update2005. 日本老年医学会編, メディカル

- ビュー社: 東京, pp64-70.
- 8) 浅川康吉・市橋則明・羽崎完・池添冬芽・樋口由美 (2000) 踏み台昇降訓練における股関節周囲筋の筋電図学的分析. 理学療法学, 27: 73-79.
- 9) Frontera, W.R., Meredith, C.N., & O'Reilly, K.P. (1988) Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. J. Appl. Physiol., 64: 1038-1044.
- 10) Heitinger, T.H. :猪飼道夫ほか訳 (1994) アイソメトリックトレーニング. 大修館書店: 東京.
- 11) Larsson, L. (1983) Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. Acta. Physiol. Scand., 117: 469-471.
- 12) Latham, N.K., Bennett, D.A., Stretton, C.M., & Anderson, C.S. (2004) Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci., 54: 48-61.
- 13) Mori, Y., Ayabe, M., Yahiro, T., Tobina, T., Kiyonaga, A., Shindo M, Yamada, T., & Tanaka, H. The effect of home-based exercise training using bench stepping on the aerobic capacity, lower extremity power, and static balance in older adults. Int. J. Sport Health Sci., 4: S570-S576.
- 14) 森由香梨・飛奈卓郎・清永明・進藤宗洋・田中宏暁. (2007) 高齢者を対象として開発された在宅型ベンチステップ運動プログラムの壮年者への応用. 健康支援, 9: 97-101.
- 15) 綾部誠也・大路由美子・森里子・平尾紀子・進藤宗洋・田中宏暁 (2008) 電子メールとステップ運動を用いた非監視型トレーニングが女子学生の体力へ及ぼす影響. 福岡大学スポーツ科学研究, 第39巻第1号: 87-94.
- 16) 沢井志穂・実松寛之・金久博明・角田直也・福永哲夫 (2004) 日常生活における身体各部位の筋活動水準の評価 — 姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について — . 体力科学, 53: 93-106.
- 17) 湯浅景元・島野敬四郎・藤松博 (1999) 日常生活およびスポーツ基本動作の骨格筋活動レベル. 中京大学体育学論叢, 40: 1-8.

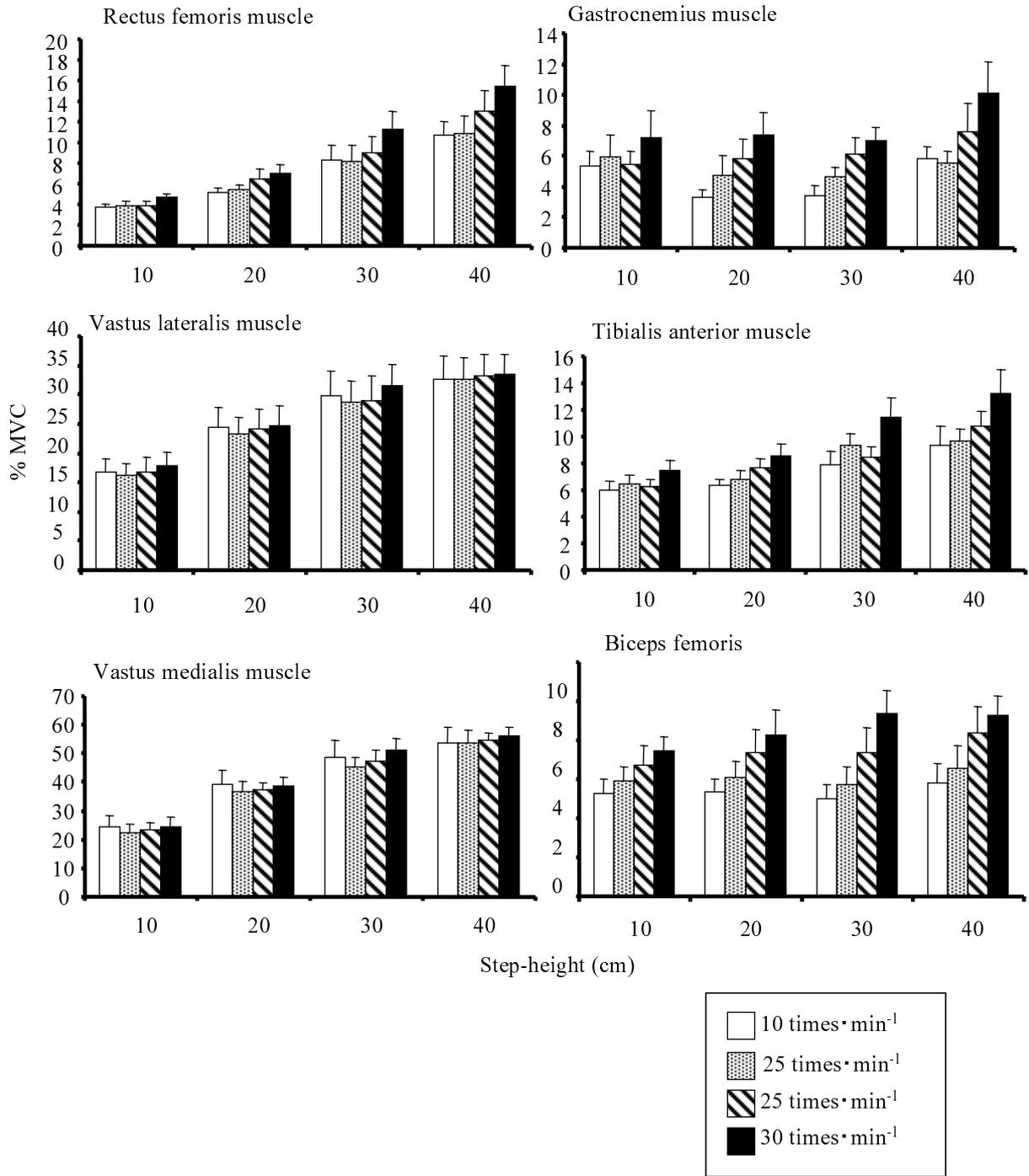


Figure 1. Effects of stepping frequency on lower limb muscular activity during bench stepping exercise

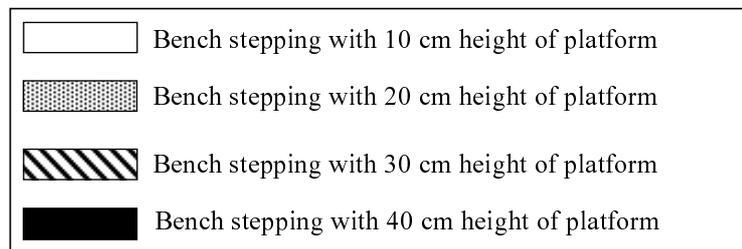
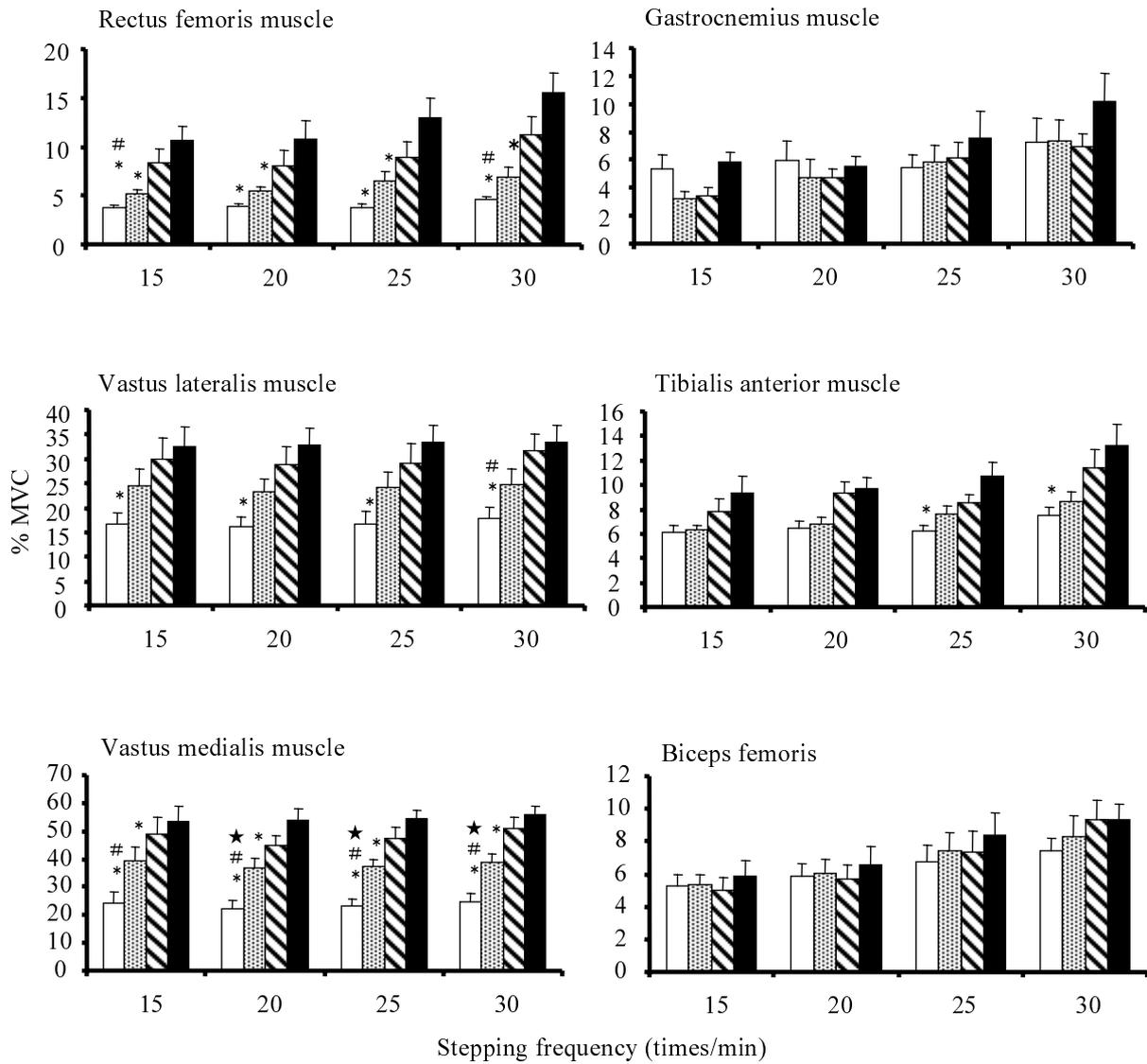


Figure 2. Effects of platform-height on lower limb muscular activity during bench stepping exercise

*Significantly different compared with that in bench stepping with 40 cm height of platform ($p < 0.05$).

#Significantly different compared with that in bench stepping with 30 cm height of platform ($p < 0.05$).

★Significantly different compared with that in bench stepping with 20 cm height of platform ($p < 0.05$).

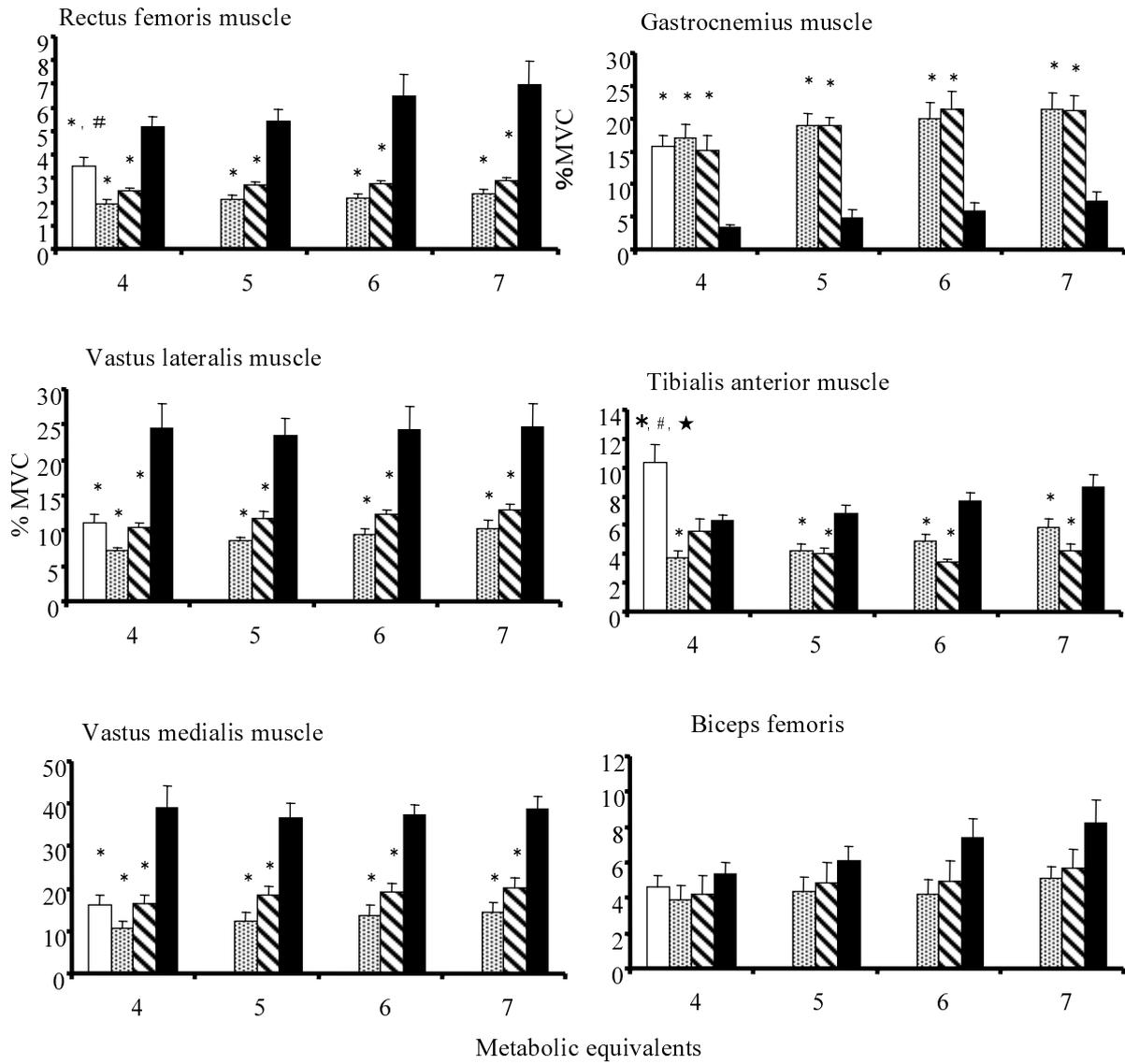


Figure 3. Comparison of lower limb muscular activity among bench stepping and walking with and without incline.

*Significantly different compared with that in bench stepping ($p < 0.05$).

#Significantly different compared with that in walking with 10% incline ($p < 0.05$).

★Significantly different compared with that in walking with 20% incline ($p < 0.05$).

(平成20年3月24日受理)