

原 著

体重免荷歩行によるヒラメ筋 H 反射と下肢筋電図への影響

大坂 裕*¹ 小原謙一*¹ 藤田大介*¹ 石田 弘*¹ 吉村洋輔*¹ 渡邊 進*¹

要 約

体重免荷装置を用いた歩行トレーニングについて、脊髄損傷患者や脳卒中片麻痺患者に対する有用性が諸家により報告されているが、体重免荷歩行による麻痺側下肢の痙縮の影響を検討した報告は筆者らが渉猟する限りにおいては二、三散見される程度である。本研究では、体重免荷歩行による下腿三頭筋の痙縮への影響を電気生理学的検査法を用いて評価を行い検討することを目的とした。

対象は健康成人 8 名、実験条件はトレッドミルを用いた歩行 (Treadmill Walking: 以下 TW)、ハーネス式の体重免荷装置により 20% 体重免荷したトレッドミル歩行 (Body Weight Supported Treadmill Walking: 以下 BWSTW) の 2 条件とした。ともに歩行速度は 4 km/h、歩行時間は 10 分間とし、それぞれの歩行の前後でヒラメ筋の H 波と M 波の最大振幅比 (H/M 比) を測定した。それぞれ歩行時に前脛骨筋、ヒラメ筋の表面筋電図を測定、最大随意収縮による筋電積分値 (IEMG) で正規化した歩行時 %IEMG を算出した。

TW 前後および BWSTW 前後で H/M 比はともに有意な減少を示し、両運動間の変化率には有意差はなかった。BWSTW における歩行時 %IEMG は TW と比較し、前脛骨筋では立脚初期に有意な減少、立脚後期に有意な増加を示し、ヒラメ筋では立脚中期に有意な増加、立脚後期に有意な減少を示した。

BWSTW により足関節周囲筋における歩行時最大の筋活動を示す時期 (前脛骨筋では立脚初期、ヒラメ筋では立脚後期) の %IEMG の減少を認めたが、ヒラメ筋 H/M 比への影響は少ないと考えられた。ヒラメ筋 H/M 比は非免荷時、免荷時ともに歩行後減少を示した。ヒラメ筋 α 運動ニューロンへの相反性抑制性介在ニューロンの興奮性に対し、20% 体重免荷による影響は少ないと考えられ、下腿三頭筋に痙縮を有する患者に対する適応の可能性が示唆された。

はじめに

近年、理学療法場面における歩行練習として、体重免荷装置を用いたトレッドミル歩行トレーニング (Body Weight Supported Treadmill Training: 以下 BWSTT) が実施されている。このシステムは上方よりワイヤーとハーネスを用いて身体を吊り上げ、下肢にかかる荷重量を制限し、トレッドミル上を歩行させるトレーニング方式であり¹⁾、利点としては歩行障害を有する患者に対して介助者の負担を軽減し、早期より十分な歩行練習が行えることが挙げられる。BWSTT の効果として、主に中枢神経疾患に対する報告が多くみられる^{2-4,6,10-11)}。脳卒中片麻痺患者に対する報告では、Hesse ら²⁾ は慢性期脳卒中片麻痺患者 7 名に対し、BWSTT と従来の

理学療法 (Bobath 法) と別々に介入を行った結果、BWSTT 実施期間にて歩行能力、歩行速度の改善が得られたとしている。Visintin ら³⁾ は、脳卒中片麻痺患者 100 名に対し無作為対照試験を行い、BWSTT を実施した群では体重免荷を行わないトレッドミル歩行練習を行った群と比較し、バランス、運動機能、歩行速度、歩行耐久性の改善が得られたと報告している。亜急性期脳卒中片麻痺患者に対する効果としては、Werner ら⁴⁾ が移動能力の改善を報告している。いずれも歩行能力の改善に有効との結果が得られており、BWSTT による治療効果は歩行速度、歩行距離 (耐久性) の改善が主として得られるとの帰結に収束される。

下腿三頭筋に痙縮を有する脳卒中片麻痺患者に対する BWSTT において、免荷により下肢への荷重

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 リハビリテーション学科
(連絡先) 大坂 裕 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-Mail: osaka@mw.kawasaki-m.ac.jp

が不十分で足クローヌスが増強し、踵接地が困難となる場面が臨床にてみられることがある。痙縮とは腱反射亢進を伴った緊張性伸張反射の速度依存性増加を特徴とする運動障害であり、伸張反射の亢進の結果生じるものとされている⁵⁾。BWSTTでは免荷により麻痺側立脚期にて十分な荷重が得られず、亢進した麻痺側下腿三頭筋の伸張反射の抑制が不十分となったことから、クローヌスの増強を伴うと考えられる。

BWSTTにおける治療プロトコル(歩行速度,免荷量,治療時間)や適応となる条件については一致した見解はなく,対象者に応じて変化させているというのが現状と考えられる。脳卒中片麻痺患者において,麻痺側足関節底屈筋の痙縮の程度は下肢装具の処方の際にも考慮すべき要素であり,歩行動作への影響も大きいと考えられる。BWSTTの適応を考慮するにあたって,足関節底屈筋の痙縮の程度から検討した報告は,Wernerら⁴⁾がModified Ashworth Scale(以下MAS)を使用して評価しているが,定量的に評価した報告はない。痙縮の要因の一つとして α 運動ニューロンの興奮性増加が挙げられ,伸張反射の機序を用いたH反射により痙縮の程度を反映することが可能であるとされている^{7,8)}。本研究では体重免荷歩行による足関節底屈筋の α 運動ニューロンの興奮性の変化をヒラメ筋H反射を用いた評価と下肢の筋活動を表面筋電図にて測定し,BWSTTの適応患者の再考のための基礎的資料とすることを目的とした。

対象と方法

1. 対象

対象は神経学的既往のない健常成人8名(男性3名,女性5名,平均年齢 24.9 ± 2.2 歳)とし,研究の趣旨を説明の上同意を得た後に実験を実施した。

2. 方法

実験条件はトレッドミル(スポーツアート社製T650MS)を用いた歩行(Treadmill Walking:以下TW)と,ハーネス式の体重免荷装置(BIODEX社製アンウェイシステムBDX-UWSZ)により体重の20%免荷したトレッドミル歩行(Body Weight Supported Treadmill Walking:以下BWSTW)の2条件とした。BWSTWの様子を図1に示す。TW, BWSTWともに歩行速度は4 km/h,歩行時間は10分間と設定し,各条件において歩行前後におけるヒラメ筋H波とM波の最大振幅比(H_{max}/M_{max} ratio:以下H/M比)と,歩行時の下腿筋の筋活動を測定した。



図1 体重免荷トレッドミル歩行(BWSTW)風景

M波,H波の測定には筋電計Neuropack Σ (日本光電社製)を使用し,右側ヒラメ筋より皿電極を用いて導出した。H波測定は腹臥位にて,刺激条件は振幅が最大となる刺激強度とし,持続時間0.2ms定電流矩形波で右膝窩より脛骨神経を刺激頻度1 Hzにて連続16回刺激を行った。また,TW,BWSTW前後におけるH/M比変化率(歩行前H/M比/歩行後H/M比 $\times 100$)を算出した。

また,歩行時の下腿部筋活動の測定には表面筋電計Vital Recorder 2(キッセイコムテック社製)を使用し,サンプリング周波数1 kHzでコンピューターに取り込んだ。導出筋は前脛骨筋,ヒラメ筋とし,左側より導出した。表面電極はBlue Sensor(Ambu社製)を用い,十分な皮膚処理の後,電極間距離2.5 cmにて貼付した。

表面筋電図の解析には,解析ソフトBIMUTAS II(キッセイコムテック社製)を使用し,計測した生波形をバンドパスフィルタ(20–500 Hz)とバンドストップフィルタ(50–60 Hz)にて加工し,全波整流後,筋電積分値(Integrated ElectroMyoGram:IEMG)を算出した。足関節背屈,底屈の2秒間における最大随意収縮を100%として正規化し,%IEMGとして表した。歩行時のEMG測定に同期したフットスイッチ信号により1歩行周期時間を算出し,加藤らの報告⁹⁾に準じ1歩行周期時間を階級幅10%にて分割(0–100%)し,歩行周期10%毎の%IEMGを算出した。EMGの測定はトレッドミル歩行中に

おける開始後 1 分, 4 分, 9 分にて 3 回行い, それぞれ無作為に 1 歩行周期を選択, 算出した 3 歩行周期分の %IEMG を加算平均した. 2 条件の施行は 1 日以上の間隔を空けて実施した.

3. 統計学的解析

統計解析用ソフトウェアは, SPSS for Windows Ver.15J (エス・ピー・エス・エス社製)を用いた. 各歩行前後の H/M 比の比較と, TW と BWSTW 間の H/M 比変化率および %IEMG の比較を, Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて統計学的に解析し, 危険率 5 %未満をもって有意とした.

結 果

H/M 比は TW 前後に 0.38 ± 0.23 から 0.25 ± 0.17 , BWSTW 前後に 0.32 ± 0.18 から 0.28 ± 0.17 と TW, BWSTW 前後でもともに有意な減少を示した. TW と BWSTW 間での H/M 比変化率に有意差は認められなかった.

歩行時の %IEMG を図 2, 3 に示す. 前脛骨筋では TW と比較し BWSTW にて, 歩行周期の 0-10% に有意な減少, 51-60% に有意な増加を認めた.

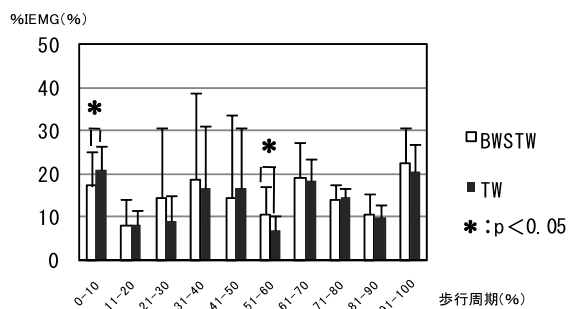


図 2 一歩行周期における前脛骨筋の %IEMG
縦軸は前脛骨筋の MVC における IEMG で正規化した %IEMG を示す.
横軸は一歩行周期の時間を 100% として正規化した値を示す (0 と 100 は踵接地を表す).

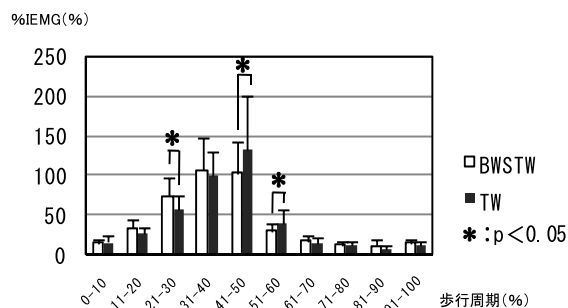


図 3 一歩行周期におけるヒラメ筋の %IEMG
縦軸はヒラメ筋の MVC における IEMG で正規化した %IEMG を示す.
横軸は一歩行周期の時間を 100% として正規化した値を示す (0 と 100 は踵接地を表す).

ヒラメ筋では TW と比較し BWSTW にて, 歩行周期 21-30% に有意な増加, 41-50%, 51-60% にて有意な減少を認めた. 前脛骨筋では歩行時 %IEMG は TW, BWSTW 間にて増減は一樣ではなく, 歩行周期にてばらつきを示した.

考 察

本研究の結果より, BWSTW と TW 前後のヒラメ筋 H/M 比はともに有意に減少がみられた. H 反射振幅の変化は, ある筋を支配する α 運動ニューロンの膜電位の変化に伴って発火する細胞数の増減を反映しており, α 運動ニューロンプールの興奮性の指標として用いられている¹²⁾. すなわち H 波振幅の減少は α 運動ニューロンの興奮性の低下を示し, 拮抗筋からの抑制性 α 介在ニューロンの入力増大を示している. 小宮山¹³⁾ は, 歩行時の立脚相におけるヒラメ筋の活動には皮質脊髄路, 脊髄中枢パターン発生器システムに加え, 伸張反射からの入力が必要な役割を果たしており, 歩行周期全体に相反性抑制効果が及んでいると述べている. 本研究の結果では BWSTW と TW ともに歩行後のヒラメ筋 α 運動ニューロンの興奮性の低下が示され, その変化率にも差はみられなかったことから, 免荷によるヒラメ筋伸張反射への影響は少ないと考えられた.

BWSTW と TW における %IEMG では, 歩行周期にてややばらつきを示したが, 前脛骨筋で立脚初期, ヒラメ筋で立脚後期に有意な減少がみられた. 大畑ら¹⁾によると, BWSTW にて立脚初期の大腿四頭筋と前脛骨筋, 立脚後期の内側腓腹筋における筋活動の減少を報告しており, 免荷による影響として立脚初期では踵接地に加わる垂直分力が減少することによる緩衝機能 (大腿四頭筋, 前脛骨筋による遠心性収縮) の必要性の低下, 立脚後期では垂直方向の抗重力活動の必要性の低下を挙げている. 本研究でも同様の時期に前脛骨筋, ヒラメ筋の筋活動が減少したことより, ともに免荷による筋活動の減少を示したと考えられる.

しかし, 前脛骨筋, ヒラメ筋ともに全周期にて TW に比較して BWSTW にて %IEMG の減少を示しているわけではなく, その程度にはばらつきがあり, 特に前脛骨筋で立脚後期, ヒラメ筋で立脚中期にて BWSTW では TW に比較し有意な増加を示した. 大畑ら¹⁾は一歩行周期に立脚期が占める割合として, 通常歩行が $59.9 \pm 2.9\%$ であるのに対して, 20% 免荷では $57.7 \pm 2.9\%$ と免荷による有意な立脚期時間の減少を報告しており, BWSTW の特徴としてハーネスで吊り上げることによる不安定性の増大を挙げている. また, Aaslund ら¹⁴⁾ は BWSTW

における体幹傾斜角度の増大を報告している。つまり、BWSTW では非免荷の TW と比較し、身体部位の拘束による姿勢の変化と立脚期の短縮による歩行周期タイミングの変化がもたらされる可能性が考えられ、それによって一律でない筋活動の増減がみられたと考えられる。

H/M 比と下腿筋群の筋活動の関係については、Lavoie ら¹⁵⁾ が H/M 比と EMG にて測定した拮抗筋である前脛骨筋筋活動量の相関を検討しており、ヒラメ筋 H 反射の抑制は前脛骨筋活動量に依存しないことを報告している。本研究にて、BWSTW における前脛骨筋、ヒラメ筋の筋活動は TW に比較して歩行周期での筋活動のピークを示す時期では減少を示し、その他では増減にばらつきがみられたが、ヒラメ筋 H/M 比は BWSTW, TW とともに減少を示し、前脛骨筋の筋活動量の影響は少ないと考えられた。

Hesse ら⁶⁾ は足関節底屈筋に痙縮を有する片麻痺患者18名に対して体重免荷歩行トレーニングを実施し、前後に腓腹筋 EMG を測定した結果、痙縮を亢進させることなく歩行可能であったことを報告しており、Werner ら⁴⁾ は亜急性期片麻痺患者15名に対して体重免荷歩行トレーニングを2週間行った結果、下肢 MAS は変化が無かったとしている。本研究では BWSTW では TW と比較し、歩行時の足関節周

囲の筋活動量が変化するが、その後のヒラメ筋 α 運動ニューロンの興奮性は免荷の影響を受けにくいことが示唆される結果となった。

本研究では、BWSTW による α 運動ニューロンの興奮性への影響をヒラメ筋 H 反射により評価することを目的とし、基礎的な知見を得るため対象を健常人とした。今後の課題として、本研究の結果を踏まえ、下腿三頭筋に痙縮を有する脳卒中片麻痺患者を対象に検討を行う必要があると考えられる。また、BWSTW の免荷量も20%と設定したが、免荷量の変化による影響も理学療法場面で BWSTW を行う際に必要な情報であるため、今後検討する必要があると考えている。

結 論

体重免荷歩行によるヒラメ筋 H 反射と下肢筋電図への影響を検討した。その結果、20%の体重免荷歩行では立脚初期における前脛骨筋と立脚後期におけるヒラメ筋の筋活動量は減少するが、その他の歩行周期では一様に減少はみられなかった。ヒラメ筋 H/M 比は非免荷時、免荷時ともに歩行後減少を示した。ヒラメ筋 α 運動ニューロンへの相反性抑制性介在ニューロンの興奮性に対し、20%体重免荷による影響は少ないと考えられ、下腿三頭筋に痙縮を有する患者に対する適応の可能性が示唆された。

文 献

- 1) 大畑光司, 市橋則明: 健常成人における体重免荷歩行の下肢筋電図解析. 理学療法学, **31**, 283-290, 2004.
- 2) Hesse S, Bartelt C, Jahnke MT, Schaffrin A, Baake P, Malezic M and Mauritz KH: Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke*, **26**, 976-981, 1995.
- 3) Visintin M, Barbeau H, Korner-Bitensky N and Mayo NE: A new approach to retrain gait in stroke patients through body weight support and treadmill stimulation. *Stroke*, **29**, 1122-1128, 1998.
- 4) Werner C, Frankenberg SV, Treig T, Konrad M and Hesse S: Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: A randomized crossover study. *Stroke*, **33**, 2895-2901, 2002.
- 5) 辻哲也: 痙縮の生理学と筋緊張異常の診断. Med Reha, **43**, 1-7, 2004.
- 6) Hesse S, Konrad M and Uhlenbrock D: Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subject. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **80**, 421-427, 1999.
- 7) 松本英之, 宇川義一: 痙縮の臨床徴候・神経生理学的評価および薬物療法. *Brain and Nerve*, **60**, 1409-1414, 2008.
- 8) Pizzi A, Carlucci G, Falsini C, Verdesca S and Grippo A: Evaluation of upper-limb spasticity after stroke: a clinical and neurophysiologic study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **86**, 410-415, 2005.
- 9) 加藤浩: wavelet 表面筋電図周波数解析を用いた歩行時の質的筋活動分析. デサントスポーツ科学, **27**, 56-65, 2006.
- 10) Proras EJ, Holmes SA, Qureshy H, Johnson A, Lee D and Sherwood AM: Supported treadmill ambulation training after spinal cord injury: A pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **82**, 825-831, 2001.
- 11) 國澤洋介, 高倉保幸, 菊地恵美子, 北村直美, 河村つや子, 中村紋子, 藪崎純, 塚本奈々子, 石村多絵, 山本満, 草野修

- 輔, 陶山哲夫: 脊髄不全麻痺例に対する体重免荷装置を用いた歩行練習の有用性. 埼玉圏央リハビリテーション研究会雑誌, 5, 20-22, 2005.
- 12) 船瀬広三: ヒトの脊髄運動ニューロン興奮性の評価とその運動制御研究への応用. 日本運動生理学雑誌, 9, 1-19, 2002.
- 13) 小宮山伴与志: 人の歩行と相反神経支配. 体育の科学, 53, 241-247, 2003.
- 14) Aaslund MK and Moe-Nilssen R: Treadmill walking with body weight support effect of treadmill, harness and body weight support systems. *Gait and Posture*, 28, 303-308, 2008.
- 15) Lavoie BA, Devanne H and Capaday C: Differential control of reciprocal inhibition during walking versus postural and voluntary motor tasks in humans. *Journal of Neurophysiology*, 78, 429-438, 1997.

(平成21年11月16日受理)

Effect of Body Weight Supported Walking on H-reflex of Soleus Muscle and Electromyogram of Lower Extremity

Hiroshi OSAKA, Kenichi KOBARA, Daisuke FUJITA, Hiroshi ISHIDA,
Yosuke YOSHIMURA and Susumu WATANABE

(Accepted Nov. 16, 2009)

Key words : H-reflex, body weight support, electromyogram

Abstract

Eight healthy subjects walked on a treadmill (TW) unaided and then walked on a treadmill with 20% of their body weight supported (BWSTW). The maximum amplitude ratio of H-wave to M-wave of the soleus muscle (H/M ratio) was measured before and after both TW and BWSTW. Furthermore, surface electromyogram of the tibialis anterior and soleus muscle was measured and calculated %IEMG during TW and BWSTW; the results were compared.

The H/M ratio showed a significant decrease before and after both TW and BWSTW. The change rate before and after walking was not significant between TW and BWSTW. In BWSTW, %IEMG of the tibialis anterior showed a significant decrease during the initial contact phase compared with that in TW. %IEMG of the soleus muscle showed a significant decrease during the terminal stance phase.

The decrease in the ratio of soleus muscle H/M before and after BWSTW was similar to that in TW. Because the effect of reciprocal inhibition to the soleus muscle was demonstrated in both BWSTW and TW, this indicates that BWSTW might be as effective in TW patients who have the spasticity in the triceps surae.

Correspondence to : Hiroshi OSAKA

Department of Rehabilitation
Faculty of Health Science and Technology
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
E-Mail: osaka@mw.kawasaki-m.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.19, No.2, 2010 297-301)