

歩行時における速度と重錘負荷条件が 下肢筋の筋活動に及ぼす影響

池 添 冬 芽, 市 橋 則 明, 大 畑 光 司, 森 永 敏 博

Effects of walking speed and load condition on muscle activity of
lower extremities during normal human gait.

Tome IKEZOE, Noriaki ICHIHASHI, koji OHATA, Toshihiro MORINAGA

Abstract: The purpose of this study was to determine the effects of walking speed and load during normal human gait on the muscle activity of the lower extremities. Nine healthy subjects with a mean age of 24.3 years, participated in this study. Electromyographic activity while walking was measured in the gluteus maximus, gluteus medius, rectus femoris, vastus medialis, vastus lateralis, biceps femoris, semimembranosus, and gastrocnemius. Treadmill walking was performed at two speeds (2km/h and 4km/h), and three loading conditions (no-load, and loads of 2 % and 4% of body weight in the form of bilateral ankle weights). Muscle activity of all muscles at a walking speed of 4km/h was significantly greater than that at 2km/h. A significant difference was also demonstrated for various loads on muscle activities of the gluteus medius, biceps femoris, semimembranosus, and gastrocnemius. These findings suggest that the ankle weights using while walking had less effect on the gluteus maximus and quadriceps femoris.

Key words: Electromyography, gait, lower extremity

は じ め に

従来より正常歩行の運動力学的分析に関して数多くの研究が試みられている。運動力学的分析の一つの手段である筋電図は、生体が発生する力の主要な要因である筋活動を表したものであり、歩行時に下肢の個々の筋がどのように関与するかを知るためには筋電図を用いての分析が有効である。正常歩行における筋電図の研究

については、下肢筋を中心として、各筋が歩行周期のどの時期に活動しているか¹⁻³⁾、あるいは歩行速度⁴⁻⁸⁾や歩行路の傾斜角度^{9, 10)}によってどのように筋活動が変化するかなどが報告されている。また Neumann ら¹¹⁾は上肢に重錘負荷して歩行させたときの下肢筋における筋活動の変化について報告しており、無負荷時と比較して非測定側上肢に負荷したときは中殿筋の筋活動が増加すると述べている。このように、身体各部に重錘負荷して歩行させたときに下肢筋の筋活動がどのように変化するかについては、上肢に関する報告¹¹⁻¹³⁾はみられるが、足部に重錘負荷した場合に下肢筋にかかる負荷がどのように変化するかについては明らかではない。

京都大学医療技術短期大学部理学療法学科
京都市左京区聖護院川原町53
Division of Physical Therapy, College of Medical
Technology, Kyoto University
2001年7月12日受付

本研究では、正常歩行における歩行速度や足部への重錘負荷条件の違いによって、下肢筋に対する負荷量がどのように変化するかを筋電図を用いて検討することを目的とした。

方 法

対象は下肢・体幹に整形外科的疾患の既往のない健康成人9名（平均年齢：24.3±2.5歳，平均体重：60.0±5.9kg，平均身長：170.9±5.0cm）であった。

筋電図の測定筋は右側の大殿筋，中殿筋，大腿直筋，内側広筋，外側広筋，半膜様筋，大腿二頭筋および腓腹筋内側頭の8カ所とした。

表面筋電図を双極誘導するために，銀塩化銀電極（直径8mm）を各筋の筋線維の走行に並行に，電極中心距離20mmで貼り付けた。各筋の筋電図の導出部位は表1の通りである。なお，皮膚の電極間抵抗が10k Ω 以下となるようにスキンプリアで十分に処理した。

筋電図の測定にはフルサワ・ラボ社製の筋電計を使用し，測定した生波形を全波整流し，2.6Hzのローパスフィルタで平滑化処理をハードウェアにて行うことにより整流平滑化筋電図（Rectified Filtered Electromyography：以下，RFEMGとする。）を求めた。さらにAD変換器を通じて，サンプリング周波数50Hzでパーソナルコンピュータ（EPSON PC286LS）に保存した。

歩行はトレッドミル（SAKAI社製トレッドミルスタンダード SPR-703）を使用して，2km/hと4km/hの速度にて，それぞれ3種類の重錘負荷条件（重錘負荷なし，両足部に体重の2%，4%の重さの重錘バンドを装着）で行わせた。

歩行開始時から動作中の筋電図をモニタリングし，安定した連続5歩行周期分の筋活動量を導出した。導出した5歩行周期分の筋活動量より，平均RFEMGを求めた。さらに，各筋の3秒間の最大等尺性収縮時のRFEMGを100%として正規化し，それぞれ%RFEMGを求めた。

表1 各筋の筋電図導出部位

大殿筋	大転子と仙椎下端を結ぶ線の外側 1/3
中殿筋	腸骨稜と大転子を結ぶ線の近位 1/3
大腿直筋	下前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中央
内側広筋	膝蓋骨上縁内角より内上方へ2横指
外側広筋	大転子と大腿骨外顆を結ぶ線の遠位 1/3
半膜様筋	坐骨結節と脛骨内顆を結ぶ線の遠位 1/3
大腿二頭筋	坐骨結節と脛骨外顆を結ぶ線の遠位 1/3
腓腹筋	大腿骨内側顆と踵骨を結ぶ線の近位 1/3

統計処理は対応のある二元配置分散分析およびTukeyの多重比較を用いた。

結 果

各条件における%RFEMGの平均値および標準偏差値は表2の通りである。重錘負荷条件による筋活動量の違いは中殿筋，半膜様筋，大腿二頭筋および内側腓腹筋においてのみ認められ，足部の重錘負荷量を増加するにともない，筋活動量は大きくなる傾向がみられた。一方，大殿筋，大腿直筋，内側広筋，外側広筋においては重錘負荷条件による筋活動量の変化は認められなかった。

すべての筋において，2km/hより4km/hの歩行速度で歩行したときの筋活動量の方が有意に大きな値を示した（表2）。また，無負荷での歩行速度2km/hに対する4km/hの%RFEMG増加率を図1に示した。歩行速度の増加による増加率は大殿筋が271.7%と最も大きく，大腿直筋，内側広筋，外側広筋においても2km/hと比較して4km/hで歩行したときは約2倍の筋活動量を示した。増加率の多重比較の結果，これら大殿筋，大腿直筋，内側広筋，外側広筋は中殿筋，半膜様筋，大腿二頭筋，腓腹筋と比べて有意に増加率が大きかった。

考 察

体力維持・増進や筋力維持・増強を目的とした自主トレーニングとして，足部に重錘バンド

表2 %RFEMG の平均値および標準偏差

	速度 2km/h			速度 4km/h		
	負荷なし	2 %負荷	4 %負荷	負荷なし	2 %負荷	4 %負荷
大殿筋	8.2±10.4	8.5±10.8	9.1±10.4	19.6±21.2	18.6±20.7	19.6±20.3*
中殿筋	14.6± 5.8	15.4± 7.4	17.1± 7.9	19.8±15.8	21.8±16.3	23.7±16.6**
大腿直筋	7.4± 3.4	8.0± 4.1	9.0± 4.7	15.7±16.8	12.0±10.2	15.7±12.8*
内側広筋	5.2± 4.6	5.2± 5.7	6.2± 6.6	10.0± 8.2	11.2±10.7	11.8±10.7*
外側広筋	9.0± 5.4	8.9± 6.0	9.7± 6.9	16.9±15.6	16.7±13.3	18.0±13.1**
半膜様筋	11.8± 4.7	13.1± 4.8	15.0± 4.4	17.2± 7.2	21.4± 8.5	24.3± 9.1***
大腿二頭筋	8.2± 3.7	9.0± 4.6	9.0± 4.6	10.0± 4.1	11.6± 4.3	13.0± 4.6**
腓腹筋	14.3± 8.2	14.5± 8.1	17.0± 9.7	16.5± 7.5	19.8± 8.8	21.8±11.2**

(%)

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ にて歩行速度による有意な変化があったことを示す。

: $p < 0.05$, ## : $p < 0.01$ にて重錘負荷条件による有意な変化があったことを示す。

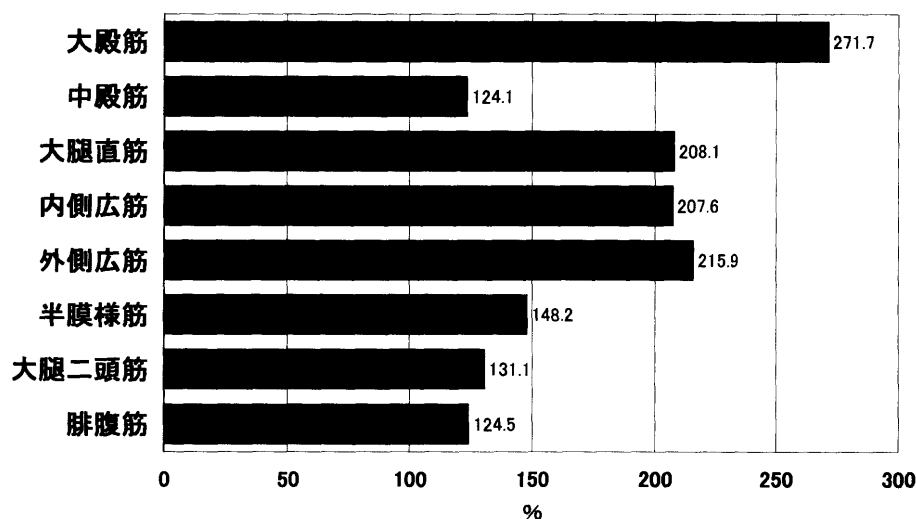


図1. 無負荷時の歩行速度による増加率

増加率(%) = 無負荷 4km/h / 無負荷 2km/h × 100

を装着して歩行する方法が用いられることがある。しかし、この歩行時の足部重錘負荷によって、下肢筋にかかる負荷がどのように変化するかについては明らかではない。本研究では足部への重錘負荷が下肢筋の筋活動に及ぼす影響について検討し、重錘負荷条件による筋活動量の違いは中殿筋、半膜様筋、大腿二頭筋および腓腹筋においてのみに認められた。Neumannら¹¹⁾は左側上肢に重錘負荷して歩行した場合には、骨盤水平位を保つために右立脚側の中殿筋

の筋活動量が有意に増加したと報告している。本研究では両足部に重錘負荷することによって、重みが増した遊脚側下肢を支えて骨盤の前額面上での安定性を保つために立脚側の中殿筋の筋活動が増加したと考えられる。上肢に重錘負荷したNeumannらの報告によると、無負荷に比べて重錘負荷時には筋活動が約2倍に増加したのに対して、足部に重錘負荷したときには1.2倍程度の増加であった。これはNeumannらの使用した重錘が本研究より重かったことのほか、

上肢に重錘負荷するより足部に重錘負荷する方が大殿筋に対するモーメントアームが短いこと、また Neumann らは負荷による影響を受ける歩行立脚期のみの分析であったのに対して、本研究では立脚期と遊脚期を一緒に分析したことにより、今回は負荷による変化はそれほど大きくなかったと推測される。

半膜様筋および大腿二頭筋は遊脚後期における前方への下肢の振り出しの減速と運動方向の変換に関与し、主として下腿と足部をゆっくりと下ろす膝屈筋として働くと考えられる^{1,2)}。今回、両足部に重錘負荷することによって、遊脚時に降り出す重錘負荷した下肢の速度制御のために遊脚側の半膜様筋と大腿二頭筋の筋活動量が増加したと推測される。また近年、ハーネスで身体を上方に吊り上げ、部分的に体重を支えながらトレッドミル歩行させたときの筋活動に関する研究が活発に行なわれており、Dietz ら^{14,15)}はこの体重支持歩行時に、下腿三頭筋の筋活動が著明に減少したと報告している。本研究において逆に体重負荷を大きくした場合においても、下腿三頭筋は有意に増加したことより、下腿三頭筋は歩行時における体重負荷の増減による影響が大きいことが推測された。

歩行速度の違いによる下肢筋の筋活動量の変化については報告が散見され、一般的に歩行速度が増加するにつれて下肢筋の筋活動は増加するという見解で一致している。しかし、下肢筋の中でも特にどの筋が歩行速度の影響を強く受けるかについては必ずしも報告が一致していない。本研究の結果、すべての筋において歩行速度の増加により有意に筋活動量は増加し、特に大腿直筋、内側広筋、外側広筋、大殿筋においては増加率が大きく、神戸ら⁵⁾や羽崎ら⁸⁾の報告と同様の結果を得た。単関節筋である大殿筋や内側広筋、外側広筋は歩行の立脚時に主として体重を支えるための抗重力筋として重要な役割を担い¹⁶⁾、歩行速度の増加により他の筋より強い収縮が必要になったと考えられる。さらに二関節筋である大腿直筋は立脚時だけでなく遊脚初期においても股関節屈筋として下肢の振り

出しの加速にはたらく^{17,18)}ため、速度増加により筋活動が著明に増加したと思われる。また歩行速度増加によって、立脚後期の蹴りだしとして働く下腿三頭筋が著明に増加するという報告^{19,20)}もみられるが、本研究はトレッドミル歩行を行わせており、地上歩行と比較してトレッドミルの回転ベルトが作動することにより物理的推進力の依存度が減り、蹴りだしが減少する²¹⁾ため下腿三頭筋の増加率は大きくなかったと思われる。

本研究の結果、歩行速度を上げることによってすべての筋の筋活動量は増加し、特に大殿筋や大腿四頭筋においては重錘負荷よりも歩行速度による影響を大きく受けることが示唆された。

結 語

健常成人9名を対象に、歩行時における速度や足部への重錘負荷条件の違いが下肢筋の筋活動量に及ぼす影響について検討した。

すべての筋において、2km/h より 4km/h の歩行速度で歩行したときの筋活動量の方が有意に大きな値を示した。大腿直筋、内側広筋、外側広筋、大殿筋においては 2km/h と比較して 4km/h の筋活動は約 2 倍の値を示した。

重錘負荷条件による筋活動量の違いは中殿筋、半膜様筋、大腿二頭筋および腓腹筋においてのみ認められた。

本研究の結果、大殿筋や大腿四頭筋においては、歩行速度によって筋活動量は変化するが、足部に重錘負荷して歩行しても筋活動量に及ぼす影響は少ないことが示唆された。

文 献

- 1) Dubo HI, Peat M, Winter DA: Electromyographic temporal analysis of gait: normal human locomotion. Arch Phys Med Rehabil 1976; 57: 415-420
- 2) Lyons K, Perry J, Gronley JK, Barnes L, Antonelli D: Timing and relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation. An EMG study. Phys Ther 1983; 63: 1597-1605

- 3) 望月孝昭: 正常歩行の筋電図学的研究. 日本整形外科学会雑誌 1965; 39: 219-235
- 4) Shiavi R, Green N, McFadyen B, Frazer M, Chen J: Normative childhood EMG gait patterns. *J Orthop Res* 1987; 5: 283-295
- 5) 神戸晃男, 山田俊昭, 西村誠次, 他: 歩行速度の違いによる筋活動の差の筋電図学的研究. 理学療法ジャーナル 1993; 27: 721-725
- 6) Murray MP, Mollinger LA, Gardner GM, Sepic SB: Kinematic and EMG patterns during slow, free, and fast walking. *J Orthop Res* 1984; 2: 272-280
- 7) Yang JF, Winter DA: Surface EMG profiles during different walking cadences in humans. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1985; 60: 485-491
- 8) 羽崎完, 市橋則明, 池添冬芽, 森永敏博: 歩行速度および上り勾配角度が下肢筋筋活動量に及ぼす影響. 理学療法学 1999; 26 (suppl): 69
- 9) Lange GW, Hintermeister RA, Schlegel T, Dillman CJ, Steadman JR: Electromyographic and kinematic analysis of graded treadmill walking and the implications for knee rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996; 23: 294-301
- 10) Ciccottin MG: A electromyographic analysis of the knee during functional activities. *Am J Sports Med* 1994; 22: 645-650
- 11) Neumann DA, Cook TM, Sholty RL, Sobush DC: An electromyographic analysis of hip abductor muscle activity when subjects are carrying loads in one or both hands. *Phys Ther* 1992; 72: 207-217
- 12) Neumann DA, Cook TM: Effect of load and carrying position on the electromyographic activity of the gluteus medius muscle during walking. *Phys Ther* 1985; 65: 305-311
- 13) Ghori GM, Luckwill RG: Responses of the lower limb to load carrying in walking man. *Eur J Appl Physiol* 1985; 54: 145-150
- 14) Dietz V, Colombo G: Influence of body load on the gait pattern in Parkinson's disease. *Mov Disord* 1998; 13: 255-261
- 15) Dietz V, Leenders KL, Colombo G: Leg muscle activation during gait in Parkinson's disease: influence of body unloading. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997; 105: 400-405
- 16) Hashimoto F, Ogawa R, Kameyama O: Control engineering and electromyographic kinesiology analyses of normal human gait. *J Orthop Sci* 2000; 5: 139-149
- 17) Nene A, Mayagoitia R, Veltink P: Assessment of rectus femoris function during initial swing phase. *Gait Posture* 1999; 9: 1-9
- 18) Prilutsky BI, Gregor RJ, Ryan MM: Coordination of two-joint rectus femoris and hamstrings during the swing phase of human walking and running. *Exp Brain Res* 1998; 120: 479-486
- 19) Ericson MO, Nisell R, Ekholm J: Quantified electromyography of lower-limb muscles during level walking. *Scand J Rehabil Med* 1986; 18: 159-163
- 20) Brandell BR: Functional roles of the calf and vastus muscles in locomotion. *Am J Phys Med* 1977; 56: 59-74
- 21) Arsenault AB, Winter DA, Marteniuk RG: Treadmill versus walkway locomotion in humans: an EMG study. *Ergonomics* 1986; 29: 665-676