運動療法中の腓腹筋筋活動と1日歩行量の関連

Relationships between Gastrocnemius Electromyography during Exercise and Walking Steps in Daily Life

西上 智彦¹⁾ 榎 勇人¹⁾ 野村 卓生²⁾ 中尾 聡志¹⁾
芥川 知彰¹⁾ 石田 健司¹⁾ 谷 俊一¹⁾

TOMOHIKO NISHIGAMI, RPT¹⁾, HAYATO ENOKI, RPT¹⁾, TAKUO NOMURA, RPT²⁾, SATOSHI NAKAO, RPT¹⁾,
TOMOAKI AKUTAGAWA, RPT¹⁾, KENJI ISHIDA, MD¹⁾, TOSHIKAZU TANI, MD¹⁾

¹⁾ Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Kochi Medical School Hospital: Kohasu, Ogo-cho, Nankoku City, Kochi 783-8505, Japan. TEL +81 88 880 2490 E-mail: jm-nishigam@kochi-u.ac.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, Osaka Prefecture University

Rigakuryoho Kagaku 23(1): 111-114, 2008. Submitted Aug. 3, 2007. Accepted Sep. 14, 2007.

ABSTRACT: We investigated the appropriate level of exercise in an exercise therapy menu for the prevention of disuse muscular atrophy of the gastrocnemius muscle (GM). The subjects were 10 healthy individuals. Assessments were made of the medial and lateral heads of GM. Measurements of GM activity were made 1) in raising the heel of one leg while sitting, 2) in raising both heels while standing, 3) raising the heel of one leg while standing, 4) in walking on tip-toes, and 5) in maximal isometric plantar flexion. First we determined the number of paces corresponding to each item on the exercise therapy menu by subtracting the muscle activities of 1) to 5) from that of free walking. Then, assuming a low activity level, we determined the volume of exercise for each item on the exercise therapy menu corresponding to muscle activity of 6,000 paces (3,000 per leg). The results suggest that the volume of exercise performed in general clinical practice is extremely unlikely to prevent muscle atrophy.

Key words: gastrocnemius muscle, gait, muscle atrophy

要旨: 低活動状態の1日歩行量を補填し、腓腹筋の廃用性筋萎縮を予防するために運動療法メニューの適切な運動回数を検討した。対象は健康者10名。評価筋は右側腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭とした。腓腹筋筋活動量の測定は(1) 端坐位片足踵上げ、(2) 立位両足踵上げ、(3) 立位片足踵上げ、(4) つま先立ち歩行、(5) 最大等尺性足関節底屈運動とした。分析方法はまず、自由歩行時の筋活動量を(1)から(5)の各動作の筋活動量で除し、各運動療法メニュー1回に対応する歩数を求めた。次に、低活動状態を想定し、6,000歩(片側3,000歩)の筋活動量と対応する各運動療法メニューの回数を求めた。結果、一般臨床で実施されている運動回数では筋萎縮の抑制効果は極めて少ない可能性が示唆された。

キーワード: 腓腹筋, 歩行, 筋萎縮

¹⁾ 高知大学医学部附属病院 リハビリテーション部: 高知県南国市岡豊町小蓮 (〒783-8505)
TEL 088-880-2490 FAX 088-880-2492

²⁾ 大阪府立大学 総合リハビリテーション学部理学療法専攻

受付日 2007年8月3日 受理日 2007年9月14日

I. はじめに

椅子からの立ちあがりや歩行等の抗重力活動の減少は廃用性筋萎縮を誘引し、筋萎縮によって引き起こされる筋力低下は更に日常生活の抗重力活動の減少を助長し、より重篤な廃用性筋萎縮を生じる悪循環を形成する¹⁾。廃用性筋萎縮を予防することは極めて重要であり²⁾、より効果的な運動療法メニューを選択・処方する必要がある。市橋ら^{3,4)}は、歩行時の大腿四頭筋筋活動と運動療法メニュー（例えば、straight leg raising, スクワット等）を行った際の大腿四頭筋筋活動との関連を検討し、廃用性筋萎縮を予防するために、適切な運動療法の具体的内容や運動回数を報告している。また、八木ら⁵⁾は前十字靭帯再建術後患者において、術後早期の1日歩行量で得られる内側広筋筋活動量とスクワット時の内側広筋筋活動量との関連を報告している。

しかし、下腿三頭筋筋活動について、運動療法メニュー時の筋活動と歩行時の筋活動量との関連を検討した報告はない。歩行の推進力は、下腿三頭筋の寄与率が大きく⁶⁾、また、高齢者における検討では歩行速度と下腿三頭筋筋力は有意に相関すること^{7,8)}が報告されている。歩行速度は日常生活動作障害の予知因子であること⁹⁾をふまえると、下腿三頭筋筋力を維持・向上させることによって、患者のQuality of life (QOL) を維持・改善する可能性は高い。

そこで、本研究目的は、まず、表面筋電計を用いて、歩行時の腓腹筋筋活動と運動療法メニュー実施中の腓腹筋筋活動の関連を検討し、各メニュー実施時の腓腹筋筋活動動態を明らかにすることである。次いで、低活動状態の1日活動量（歩行量）を補填し、廃用性筋萎縮を予防するための腓腹筋運動療法を再考することである。

II. 対象と方法

対象は下肢に整形外科的疾患の既往がない健康者10名（男性6名、女性4名）、平均年齢 23.3 ± 1.2 歳、身長 168.2 ± 6.6 cm、体重 62.7 ± 8.5 kgとした。事前に研究目的と方法を十分に説明し、同意が得られた者のみを対象とした。

評価筋は右側腓腹筋内側頭（gastrocnemius medialis : GM）、腓腹筋外側頭（gastrocnemius lateralis : GL）とした。下腿後面皮膚電気抵抗を $5 \text{ k}\Omega$ 以下にし、表面電極を電極中心距離20 mmにて筋腹中央より停止腓側¹⁰⁾に貼付した（双極誘導）。筋電図の測定には多用途テレメーターシステム（三栄社製）を用い、サンプリング周波数は1kHzにてデータを収集した。得られたデータは多用

途生体情報解析プログラムBIMUTAS II（キッセイコムテック社製）を用いて解析した。

腓腹筋筋活動量の測定は自由歩行（Gait）と以下の運動療法メニュー下で行った。条件1：股関節・膝関節それぞれ90°屈曲位、足関節底背屈中間位の端坐位にて、大腿遠位部に各被検者における体重の約5%の重錘（2.5 kgが1名、3.0 kgが4名、3.5 kgが4名、4.0 kgが1名）を負荷して右踵部を挙上・下降したもの（heel up in dangle sitting : Sit）、条件2：両足を肩幅に開いた立位で、両側同時に踵部を挙上・下降したもの（bil heel up : BH）、条件3：右第2指及び第3指の支持下に、右側片脚立位を保持し、右踵部を挙上・下降したもの（single heel up : SH）、条件4：つま先立ち歩行（toe gait : TG）、条件5：測定肢位を腹臥位、股関節中間位、膝関節伸展位、足関節底背屈中間位として、最大等尺性足関節底屈運動（maximum voluntary contraction : MVC）を5秒間行なったものとし、各動作中におけるGM、GLの表面筋電図を導出した。また、フットスイッチとして圧センサー（NITTA 社製 FlexiForce）をSit、BH、SH及びGaitでは右足底踵部、TGでは右母趾球部に貼付し、表面筋電計と同期させ、各動作における1回を同定した。なお、1回とはSit、BH、SH及びGaitでは右側踵接地から次の右側踵接地まで、TGでは右母趾球接地から次の右母趾球接地と定義した。Sit、BH、SHはLunsfordら¹¹⁾の方法を参考にし、メトロノームに合わせて2秒に1回踵部を挙上・下降した。また、Gait、TGの速度は任意とし、被検者に「普通に歩いてください」と口頭指示した。なお、疲労の影響を排除するために各動作間で十分に休息した。Gait、Sit、BH、SH及びTGでは各動作の連続した5回における任意の3回、MVCでは安定した筋放電が確認された3秒間をそれぞれ解析対象とした。得られた筋電波形（electromyography : EMG）に20–500 Hzのバンドパスフィルターをかけた後、全波整流し、積分値（integrated electromyography : IEMG）を求め、平均値を各動作におけるIEMGとして採用した。

低活動状態（日常生活で歩行等の抗重力活動が減少している状態）を想定し、1日の平均歩数¹¹⁾である8,000歩（片側4,000歩）から入院時の平均歩数であった2,000歩¹²⁾（片側1,000歩）を引いた6,000歩（片側3,000歩）の筋活動量（運動療法にて補填すべき筋活動量）と対応する各運動療法メニューの回数を求めた。

GaitのIEMGをSit、BH、SH、TG及びMVCのIEMGでそれぞれ除し、%IEMGを求め、Gaitに対する各運動療法メニューの筋活動水準を評価した。次いで、各運動療法メニュー1回と対応する歩数を求めた。統計処理はSPSS11.5Jを用いて多重比較検定（TukeyのHSD法）を行

表1 各運動療法メニュー中の %IEMG と歩数

n=10

	GM			GL	
	%IEMG	歩数		%IEMG	歩数
Sit	58.0 ± 34.9	1.7	*]	36.9 ± 17.2	2.7
BH	15.5 ± 5.8			20.5 ± 7.5	4.9
SH	11.6 ± 4.8			10.1 ± 3.6	9.8
TG	34.9 ± 13.6			37.3 ± 18.3	2.7
MVC	6.5 ± 3.3			4.8 ± 2.9	20.6

*p<0.05

GM: gastrocnemius medialis, GM: gastrocnemius latelalis, IEMG: integrated electromyography, Sit: heel up in dangle sitting, BH: bil heel up, SH: single heel up, TG: toe gait, MVC: maximum voluntary contraction.

い、各運動療法メニュー間における %IEMG の有意差を求めた。なお、有意水準は5%未満とした。

III. 結 果

GM, GLの %IEMG と歩数を表1に示す。GM, GLともに Sit と BH, SH, MVC間に、TG と SH, MVC間にそれぞれ有意差が認められた。

6,000歩に対応する各動作の回数は Sit では GM は約1,750回, GLは約1,100回, BHではGMは約500回, GLは約600回, SHではGMは約350回, GLは約300回, TGではGMは約1,050回, GLは約1,100回, MVCではGMは約200回, GLは約150回であった (表2)。

IV. 考 察

本研究は、減少した1日歩行量を補填し、廃用性筋萎縮を予防するためには、歩行時の腓腹筋活動と運動療法メニュー実施中の腓腹筋活動の関連を検討し、日常臨床における腓腹筋運動療法を再考することを目的とした。結果、GM, GLともに、Sit, TGはBH, SH, MVCに比較して有意に筋活動量は低値であった。低活動状態と想定した1日歩行量6,000歩と対応する運動回数は、SitではGMは約1,750回, GLは約1,100回, TGではGMは約1,050回, GLは約1,100回であり、他の運動療法メニューに比較して多くの回数を行う必要が認められた。Sitは部分荷重期に行うことが可能であり、かつ、荷重感覚を獲得可能である閉鎖運動連鎖であること、TGは遠心性収縮の制御を学習可能であることから臨床上有用な運動療法メニューである。しかし、Sit, TG時のGM, GL

表2 6,000歩に対応する各運動療法メニューの回数 n=10

	Sit	BH	SH	TG	MVC
GM	1741	467	348	1047	197
GL	1107	615	305	1121	145

GM: gastrocnemius medialis, GM: gastrocnemius latelalis, Sit: heel up in dangle sitting, BH: bil heel up, SH: single heel up, TG: toe gait, MVC: maximum voluntary contraction.

における筋活動量を検討した報告はなく、本研究結果から一般の臨床で行われている回数では極めて不十分であることが確認された。今回、Sit時の大腿遠位部への重錘負荷は各被検者の体重の5%としており、負荷量として低強度であったとも考えられる。また、TG時における踵部の挙上の高さは被検者自身が任意に実施可能な高さとしたため、低強度であったと考えられる。今後、Sitでは大腿遠位部への重錘負荷量、TGでは踵部の挙上の高さを変更し、筋活動量を検討する必要がある。

BH, SH及びMVC間では有意差は認められなかった。6,000歩に対応する運動回数は、BHではGMは約500回, GLは約600回, SHではGMは約350回, GLは約300回, MVCではGMは約200回, GLは約150回であった。Sit, TGより有意に筋活動が認められたBH, SH, MVCでさえも、一般に臨床で処方されている運動回数では筋萎縮を予防するという面から不十分であると考えられる。しかし、運動療法時間内のみでこれらの回数を行うことは困難である。石倉らは臥位での大腿四頭筋に対して、筋力増強運動よりも日常生活内で歩行等の抗重力活動を促す方が大腿四頭筋筋力、日常生活活動レベル共に著明に改善した¹³⁾と報告している。Tylerらは前十字靱帯再建術

後の早期荷重歩行が大腿四頭筋の筋活動量をより増加した¹⁴⁾と報告しており、両者とも日常生活で抗重力活動をより促す重要性を指摘している。また、市橋らは臥床中に大腿四頭筋に対して高負荷低頻度のトレーニングを行ったが、筋力増強効果はなく、筋萎縮が起こった¹⁵⁾と報告している。下腿三頭筋は臥床時に大腿四頭筋よりも筋萎縮が生じること¹⁶⁾が報告されており、より廃用性筋萎縮の予防が必要であると考えられる。これらをふまえると、腓腹筋に対する運動療法としても、日常生活でより積極的に抗重力活動を行わせることが廃用性筋萎縮の予防に有効である可能性が認められた。しかし、臨床現場において、荷重制限、転倒リスクによって1日歩行量の減少を余儀なくされる場合も多い。可能な限り抗重力活動を促す必要はあるが、それでも1日歩行量が減少している場合には、各年代に応じた1日の平均歩数より不足している歩数を各運動療法メニュー1回に対応する歩数で除することで、適切な運動回数を提示可能である。

本研究で認められた運動療法の量的不足は、アメリカのガイドラインで推奨されている運動療法の時間と比較して、本邦では極めて少ない時間である¹⁷⁾ことから裏づけされる。運動量がリハビリテーションの効果に影響するというevidenceも蓄積されつつあり¹⁸⁾、訓練室一体型病棟で多量、高密度のリハビリテーションを可能とし、可能な限り運動量を増やすFIT programの有効性も報告されている¹⁹⁾。運動量の不足を改善し、より高いリハビリテーション効果を得るためには、個々の症例に応じ、1日歩行量を増加すること、あるいは補填すべき運動量を明確化し、各運動療法メニューを処方することが再確認された。

本研究は減少した歩行量を補填するために、他の運動を行い廃用性筋萎縮が予防可能であるという仮説に基づいて行われている。しかし、先行研究⁴⁾においても指摘されているように、臨床治験を行い、筆者らが提示した運動療法メニュー、運動回数を行うことによって、廃用性筋萎縮を予防可能であるかを検証する必要がある。

引用文献

- 1) 折茂賢一郎：廃用症候群の悪循環が寝たきりをつくる。総合ケア, 2004, **14**(8): 12-17.
- 2) 高橋龍太郎：廃用症候群の予防とリハビリテーション効果。日本老年医誌, 2003, **40**(3): 237-239.
- 3) 市橋則明, 吉田正樹：大腿四頭筋の廃用性筋萎縮を防止するために必要な下肢の運動量について。体力科学, 1993, **42**(5): 461-464.
- 4) 市橋則明, 吉田正樹, 伊藤浩充・他：歩行量と下肢の訓練頻度の関係—1万歩の筋活動に相当する下肢筋の訓練頻度について—。PTジャーナル, 1995, **29**(11): 803-806.
- 5) 八木麻衣子, 大森 豊, 山田純生・他：前十字靭帯再建術後の早期荷重歩行の影響—内側広筋の筋活動量による考察—。理学療法学, 2003, **30**(6): 371-373.
- 6) Neptune RR, Sasaki K: Ankle plantar flexor force production is an important determinant of the preferred walk-to-run transition speed. J Exp Biol, 2005, **208**(5): 799-808.
- 7) 杉本 諭, 小野塚直子：高齢者の下肢筋力と歩行能力の関連について。総合リハ, 2005, **33**(6): 567-570.
- 8) Posner JD, McCully KK, Landsberg LA, et al.: Physical determinants of independence in mature women. Arch Phys Med Rehabil, 1995, **76**(4): 373-380.
- 9) Shinkai S, Watanabe S, Kumagai S, et al.: Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in a Japanese rural community population. Age Ageing, 2000, **29**(5): 441-446.
- 10) Basmajian JV, De Luca CJ: Muscle Alive Their Functions Revealed by Electromyography, 5th ed. Williams & Wilkins, Baltimore, 1985, pp64-65.
- 11) Lunsford BR, Perry J: The standing heel-rise test for ankle plantar flexion: criterion for normal. Phys Ther, 1995, **75**(8): 694-698.
- 12) 健康・栄養情報研究会：国民栄養の現状 平成13年厚生労働省国民栄養調査結果。第一出版, 東京, 2003, p129.
- 13) 伊藤有紀子, 町田 泉, 長谷川信・他：多メモリ加速度計測装置付歩数計（ライフコード）の使用経験。国立大学理学療法士学会誌, 2005, **26**: 27-31.
- 14) 石倉 隆：低活動状態患者における立位荷重位活動の重要性。総合リハ, 1997, **25**(5): 461-464.
- 15) Tyler TF, McHugh MP, Gleim GW, et al.: The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. Clin Orthop, 1998, **357**: 141-148.
- 16) Akima H, Kuno S, Suzuki Y, et al.: Effects of 20 days of bed rest on physiological cross-sectional area of human thigh and leg muscles evaluated by magnetic resonance imaging. J Gravit Physiol, 1997, **4**(1): 15-21.
- 17) 市橋則明, 伊藤浩充, 坂本年将・他：臥床が膝屈・伸筋力に与える影響と筋力増強訓練の効果。理学療法学, 1991, **18**(4): 397-403.
- 18) 近藤克則：訓練量とリハビリテーションの効果。リハ医学, 2004, **41**(12): 849-853.
- 19) 園田 茂：訓練量（時間）の増加が効果に及ぼす影響。EBM ジャーナル, 2004, **5**(4): 412-416.
- 20) 永井将太, 園田 茂, 才藤栄一・他：The Full-time Integrated Treatment (FIT) programの効果。総合リハ, 2003, **31**(2): 175-183.