

## 報 告

## 1 km 歩行による膝伸展筋の筋活動量の変化について\*

—大腿直筋・外側広筋・内側広筋の筋持久力における一考察—

貝谷 誠久\*\* 大西 竜哉 弘本 律子  
田中 秀和 生駒 一憲

## 要旨

健康者12名を対象に、1 km 歩行による膝伸展筋（大腿直筋、外側広筋、内側広筋）の筋活動を測定し、長距離歩行が膝伸展筋に与える影響を検討した。歩行開始時に比べ1 km 歩行時では、大腿直筋の活動量が増加し、外側広筋は減少した。各筋の活動量に性差は見られなかった。特に、大腿直筋は、立脚相前・中期で増加し、外側広筋は、遊脚相中期で減少した。歩行開始時と1 km 歩行時での各筋の1歩行周期中における最大活動時期では差は見られなかった。膝伸展筋において、長距離歩行の獲得には、大腿直筋の持久力を考慮する必要があると考えられた。

キーワード 膝伸展筋、筋持久力、長距離歩行

## はじめに

日常生活動作（以下ADL）の中で重要な基本動作の一つに歩行があげられ、歩行の自立はQuality of Life（以下QOL）の向上に大きく影響を及ぼす。

しかし、歩行という動作が可能であっても、長距離の歩行が獲得されなければ活動範囲が制限されQOLの向上にはつながらない。実際、臨床でも短距離の歩行は可能であるが、長距離になると下肢に疼痛や脱力などが出現するため、車椅子や歩行器を利用する患者をよく見かける。その為に、実用性の観点から、筋力評価においても普段行っている最大筋力（瞬発力）だけでなく、筋持久力の評価はADLに直結していると考えられ、十分配慮する必要があると思われる<sup>1)2)</sup>。

歩行の自立度や長距離歩行を阻害する疼痛、脱力、疲労などは、下肢筋の状態との関連が考えられる。下肢筋の中でも特に大腿四頭筋の機能は、歩行能力と関連が有り大腿四頭筋における機能評価の重要性を指摘している文献も多い<sup>3)4)</sup>。

また、大腿四頭筋は、臥床や固定等により筋力低下や

筋萎縮が出現しやすく<sup>5)</sup>、QOLの向上を考える上で長距離歩行による大腿四頭筋の筋活動を評価する事は重要と思われる。しかし、筋持久力について、長距離歩行による運動学的分析についての報告は少ない。

そこで今回、健康者の1 km の歩行により、下肢筋の中で臨床ADLに大きく影響を与える膝伸展筋の筋活動について比較検討し、長距離歩行の獲得について若干の知見を得たので報告する。

## 対 象

骨・関節、神経学的、心肺機能に障害の無い健康者12名を対象とした。

内訳は、男性5名・女性7名、平均年齢24.2 ± 3.9歳であった。

## 測定方法

各被検者に1 km の歩行（直線距離で25 m の平地を快適歩行で8の字ターンをさせて20往復）を行わせ、歩行開始時（以下開始時）から1 km 歩行時（以下1 km 時）までの右下肢の大腿直筋（以下RF）・外側広筋（以下VL）・内側広筋（以下VM）の3筋における活動の変化を比較検討した。

筋電図は、マルチテレメータ（日本光電社製マルチテレメータシステムWEB-5000）を用い、各筋の運動点<sup>6)</sup>に双極表面電極2個を電極中心間隔20 mmで、皮膚を十分に前処置してから貼り付け、アースを耳介に貼付した。そして、電解クリームが皮膚になじむまで10

\* The Change of Muscle Activities in the Knee Extensors after 1-km Walking

\*\* 奈良県立医科大学附属病院 中央リハビリテーション部  
(〒634-8522 奈良県橿原市四條町840)  
Nobuhisa Kaitani, RPT, Tatsuya Ohnishi, RPT, Ritsuko Hiromoto, RPT, Hidekazu Tanaka, RPT, Kazunori Ikoma, MD: Department of Rehabilitation, Nara Medical University Hospital  
(受付日 1998年10月23日/受理日 1999年7月31日)

分以上の間隔をおいてから筋電図の測定を行った（測定条件：HICUT；500 Hz，時定数；0.01 sec）。

表面電極からの筋電図のアナログ信号を、A/Dコンバーター（ADI社製Mac Lab/8s）を介してサンプリングタイム1 msecでパーソナルコンピュータに取り込み、解析プログラム（ADI社製Chart Ver.3.5.4（s））で解析した。

歩行周期の記録には、荷重センサー（DKH社製荷重センサーS100・S120，荷重スイッチアンプPH-450）を踵部と母趾に装着し、立脚相と遊脚相を確認した。

尚、開始時は歩行開始5 mとし、それ以降を記録した。

分析方法

開始時から1 km 時までの100 m 毎の3歩行周期の全波整流波を加算平均し、膝屈曲60°位での各筋の最大等尺性収縮時の筋積分値（以下IEMG）を100%として正規化した。算出された開始時のIEMG（以下%IEMG）を100として、各筋の活動量の変化を比較した。（変化度 = 1 km 時%IEMG/開始時%IEMG × 100）

検討項目は以下の通りである。

- ①開始時から1 km 時まで100 m 毎の1歩行周期における%IEMGの変化（以下活動変化度）の推移。
- ②1 km 時での1歩行周期における活動変化度の性差。
- ③1 km 時での立・遊脚相それぞれの初・中・後期（立・遊脚相を三等分）での活動変化度の比較。
- ④開始時と1 km 時の1歩行周期における最大活動時期の比較。

なお、統計処理は検討項目①には対応のあるt-testとFisher's PLSD法、②には対応のあるt-test、③には対応の無いt-test、④にはMann-Whitney's U-testを用い、危険率5%未満を有意とした。

結果

1 km 歩行の概要を、表1に示す。歩行周期の変化については、stride durationが増加し、特に立脚相に要する時間が1 km 時において有意（ $p < 0.001$ ， $p < 0.005$ ）に増加した（図1）。

1. 1歩行周期の活動変化度

1 km までの1歩行周期での活動変化度は、RFは歩行開始100 m後に約20%増加し、その後は著明な増減は見られなかった。VLとVMは100 m後に約2~5%低

表1 1km歩行の概要

平均歩数	: 1484.2 ± 97.0 steps
平均歩行時間	: 777.4 ± 62.2 sec
平均歩行速度	: 1.3 ± 0.1 m sec
平均歩行率	: 115.1 ± 10.9 steps min
	mean ± SD.

下し、200 m後には約7~10%低下したが、VMは400 m以降は徐々に増加して、500 m以降においてVLとの活動変化度に差が見られるようになった。1 km 時では、RFが119.6 ± 30.8%と増加し、VLが87.9 ± 16.4%と減少し有意差（ $p < 0.05$ ）が認められ、VMは99.0 ± 16.1%と不変であった（図2）。

2. 1歩行周期における活動変化度の性差

1 km 時において、VLでは男性83.4 ± 19.8%，女性91.2 ± 14.3%で、VMは男性91.9 ± 9.5%，女性104.0 ± 18.6%で、RFは男性128.1 ± 43.0%，女性113.5 ± 20.2%で、活動変化度の性差に有意差は認められなかった（表2）。

3. 立脚相・遊脚相の活動変化度

RFは全般に渡り増加傾向を示し、特に立脚相の中・後期が有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。VLは、遊脚相で減少傾向を示し、遊脚相中期で有意に減少した（ $p < 0.01$ ）。VMは、立・遊脚相共に有意差は認められなかった（表3）。

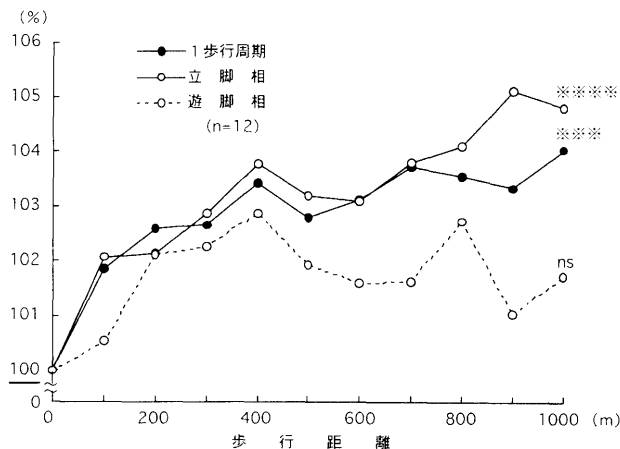


図1 1歩行周期・立脚相・遊脚相時間の変化の推移  
開始時と1km時の比較：\*\*\*\*； $p < .005$ ，\*\*\*； $p < .001$ ，ns；not significant.

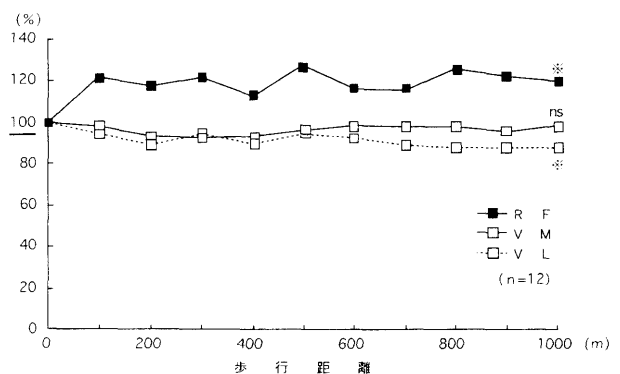


図2 1歩行周期の活動変化度の推移  
歩行開始時と1 km 時の比較：\*； $p < .05$ ，ns；not significant.

## 4. 最大活動時期

各筋の開始時と1km時の最大活動時期に有意差は認められず、歩行パターンに著明な変化は見られなかった。

## 考 察

RFとVLはtype II線維を多く含んでおり、VMはtype I線維を多く含んでいる事からRFとVLは疲労しやすく、VMは疲労しにくいとの報告がある<sup>7)8)</sup>。

しかし、1km時での各筋における1歩行周期の活動変化度は、RFが最も高い値を示し、次いでVM、VLの順で、VLの活動変化度が最も低く開始時よりも減少した。

諸家の報告によると、VL・VM・RFの各筋線維長は類似しているが、生理学的断面積や体積はVL>VM>RFの順に大きく<sup>9-12)</sup>、筋力と断面積の相関からVLが膝伸展のピークトルクに最も関与している<sup>11)12)</sup>。この筋形態の違いが、筋出力特性や筋持久力に影響し、RFの活動変化度が増加し、VLは運動単位の活動交代が出現し易く活動変化度が増加しなかったと思われる。

膝伸展筋の中でもRFは股関節屈曲にも作用し、踵接地と下肢の振り出しに働く。いずれも膝関節伸展・股関節屈曲方向への運動であるが、Straight Leg Raising (以下SLR)ではRFと腸腰筋の活動が高まり、相対的に膝の単関節筋の活動が低下する<sup>13)14)</sup>。負荷量の違いによるSLRでも、負荷量の増大に伴ってRFのみが有意に増大する<sup>15)</sup>事から、1km歩行においても同様にRFが増大したと思われる。

VLの活動変化度の減少には、遊脚相で有意に減少した事から、下肢の振り出しにも関係があると思われる。股関節内外旋では、外旋に作用する主動筋・補助筋が多く、歩行距離の増加に伴い、股外旋角度が増加したと考えられる。股外旋位での進行方向に対する膝伸展では、付着部の位置関係からVLが最も重力の影響が少ないと考えられ、下腿の重みに対する負荷量も減少したと思わ

れる。この隣接関節による肢位の変化も活動変化度の減少の一要因と思われる。

また、本研究ではcadenceやstep lengthなどを設定せず快適歩行を行わせたが、stride durationと立脚相に要する時間が増加した事から遊脚相の割合が減少し歩行速度が低下したと考えられる。これらの理由として、筋疲労や精神的疲労が考えられるが、この歩行速度の低下がRFの100m以降の活動変化度の不変やVLの活動変化度の低下に関与したと思われる。

VMは歩行開始300mまでは減少傾向で、その後は徐々に開始時の値にもどり1km時では不変であったが、股関節角度の変化や、RFの増加に対する相補的活動と思われる。

各筋の活動変化度において、体幹の回旋や上肢の振りに関与する筋の活動状態を明確にする事も、長距離歩行の獲得を考える上で重要であると思われる。

活動変化度の性差について、筋持久力の評価には、負荷を与える方法として各個人の最大筋力を考慮する相対的負荷法と考慮しない絶対的負荷法がある<sup>16)17)</sup>。相対的負荷法では、筋力と筋持久力に相関はなく、更に筋力の大小は筋断面積に比例し、筋力の性差は量の差であって質の差でないとしている。この事から、単位筋当たりにおける筋持久力に性差はないとされている<sup>17)18)</sup>。今回は、任意の速度で歩行を行わせている事から、相対的負荷法に比較的類似した負荷と考えられ、1km時での1歩行周期における活動変化度に性差は認められなかったと思われる。

RFは、特に立脚相の中・後期が有意に増加し、更に、最大活動時期については、各筋に有意差は認められなかったが、RFが立脚相初期から遊脚相後期に移移する傾向にあった。活動量の増加に伴う筋疲労により、反応時間が低下して、立脚相における踵接地時での膝折れを防止する為に早期から収縮し活動量を増加させていると思われる。

今回の結果から、膝伸展筋の中ではRFの持久力が長距離歩行の獲得に重要な因子の一つと考えられる。そのために、主にRFの活動量の高い肢位での筋持久力向上を目的とした条件設定による筋力トレーニングが必要と思われる。筋持久力訓練の負荷量は一般的に低負荷、高頻度の運動が効果的とされている。最大筋力の60%以上の負荷では筋への血流遮断が起り、最大の効果は

表2 活動変化度の性差 (%)

	男性 (n = 5)	女性 (n = 7)	
VL	83.4 ± 19.8	91.2 ± 14.3	ns
VM	91.9 ± 9.5	104.0 ± 18.6	ns
RF	128.1 ± 43.0	113.5 ± 20.2	ns

開始時 (100%) と 1km 時の比較, ns; not significant.

表3 立脚相・遊脚相の活動変化度 (%)

	立 脚 相			遊 脚 相		
	初期	中期	後期	初期	中期	後期
RF :	110.1 ± 29.9	159.3 ± 86.0 ※	121.5 ± 31.7 ※	124.2 ± 49.6	142.8 ± 81.5	117.5 ± 42.4
VL :	93.4 ± 23.3	102.3 ± 52.5	91.4 ± 25.3	86.0 ± 43.8	66.6 ± 33.9 ※※	86.2 ± 26.7
VM :	106.7 ± 29.2	111.7 ± 44.8	94.8 ± 27.8	105.0 ± 44.7	100.9 ± 51.2	102.0 ± 39.6

開始時と1km時の比較: mean ± SD, ※ p < 0.05, ※※ p < 0.01 (n = 12).

20～30%の負荷で、頻度に関しては疲労困憊まで行う方が効果が高いと報告されている<sup>16)</sup>。岡西らは筋疲労感を目安とした反復訓練法は、患者の心理的な頑張りが刺激となって筋活動を引き出し、訓練量が増せば筋力と持久力の増大にも有効であると報告している<sup>19)20)</sup>。しかし、日常生活動作においてはVMとVLの活動頻度の多さも報告されている。中でも、VMは膝関節の障害や損傷により萎縮しやすく、回復しにくい筋で<sup>21)</sup>、特に、内側広筋斜頭（以下VMO）とVLの不均衡による膝蓋骨の不安定性は膝伸展筋の機能不全や膝蓋大腿関節痛の原因にもなる。そのために、VMOの選択的訓練の重要性と方法<sup>22)</sup>も報告されており、疼痛や筋力低下などの長距離歩行の阻害因子の発現機序と、他筋の詳細な検討も今後の課題と思われる。

また、筋力低下や筋萎縮を有する患者の筋活動や坂道、段差などを含めた屋外での長距離歩行による筋活動では、今回の結果と相違が生じる可能性も考えられ、実際に患者の長距離歩行での筋活動についても比較、検討する必要があると思われる。

更に、持久力は全身持久力と筋持久力に大別され、他の要因についても検討する事が重要であると思われる。

今回の結果は、先述したように歩行速度の低下が考えられ、その影響が大きいと思われる。今後、歩行速度の設定による筋活動についても検討する必要がある。

尚、この要旨は第33回日本理学療法士学会で口述発表した。

## 謝 辞

ご校閲頂きました北海道大学医学部リハビリテーション医学講座の真野行生教授に深謝致します。

## 引用文献

- 1) 大川弥生, 木村伸也: 筋力増強訓練の処方基準. PTジャーナル23(11): 749-756, 1989.
- 2) 梅津祐一, 蜂須賀研二: 筋萎縮と筋力の臨床的評価. 総合リハ22(3): 185-190, 1994.
- 3) 黄川昭雄: スポーツ外傷後の機能回復訓練—筋力評価の面から—. 体育の科学39(2): 99-104, 1989.
- 4) 伊東 元, 橋詰 謙・他: 大腿四頭筋機能と歩行能力の関係. リハ医学22(3): 164-165, 1985.
- 5) 市橋則明, 伊藤浩充・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18(4): 397-403, 1991.
- 6) 服部一郎, 細川忠義・他: リハビリテーション技術全書第2版, 医学書院, 1989, pp 223-224.
- 7) 沖田 実, 東 登志夫・他: 膝伸展位における大腿四頭筋の等尺性収縮運動に関する一考察—運動肢位の違いが筋出力、及び筋疲労に及ぼす影響—. 理学療法科学11(1): 27-31, 1996.
- 8) Johnson MA, *et al.*: Data on the distribution of fiber types in thirty-six human muscles. J Neurol Sci 18: 1813-1820, 1973.
- 9) 岡 英世, 市橋則明・他: 大腿部における筋の形状特性の検討. 理学療法学21(3): 195-201, 1994.
- 10) 岡 英世, 市橋則明・他: MRIによる大腿部における筋の断面積特性—断面積と周径との関連性—. 理学診療6(2): 125-129, 1995.
- 11) 角田直也, 金久博昭・他: 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特徴. 体力科学35: 192-199, 1986.
- 12) 北 潔・市橋則明・他: 大腿四頭筋MRI画像の三次元表示と筋力の相関について. 理学診療4(2): 144-146, 1993.
- 13) 浦辺幸夫: 膝関節疾患におけるトレーニング方法の解析. 理学療法学15(2): 149-154, 1988.
- 14) 森田 智: 変形性膝関節症に対する筋力強化訓練. 理学療法学17(3): 253-258, 1990.
- 15) 市橋則明, 羽崎 完・他: 下肢伸展挙上(SLR)訓練時の大腿四頭筋の筋活動量—負荷量と肢位の影響—. 運動・物理療法9(3): 204, 1998.
- 16) 宮村実晴, 矢部京之助(編): 体力トレーニング—運動生理学的基礎と応用—. 真興交易医書, 1989.
- 17) 山田 茂, 福永哲夫(編): 骨格筋—運動による機能と形態の変化—. ナップ, 1997.
- 18) 舌間秀雄, 大峯三郎・他: 等運動性収縮による筋持久力と回復の測定—性差について—. 理学療法学25(5): 323-328, 1998.
- 19) 岡西哲夫: 筋力と持久力の改善のための運動療法. PTジャーナル25(3): 170-175, 1991.
- 20) 岡西哲夫・梶原敏夫・他: 筋力増強訓練の患者教育の効果—筋疲労感をめやすとした反復訓練法—. 理学療法学19(2): 128-134, 1992.
- 21) 市橋則明, 三宅裕子・他: スポーツ外傷後の大腿四頭筋筋萎縮の一考察—MRIによる検討—. PTジャーナル28(3): 205-207, 1994.
- 22) 市橋則明, 羽崎 完・他: 股関節内転動作が膝周囲筋活動に与える影響—closed kinetic chainにおける内側広筋斜頭の選択的訓練の検討—. 運動・物理療法8(1): 70-75, 1997.
- 23) Perotto AO, 栢森良二(訳): 筋電図のための解剖ガイド—四肢・体幹 第3版, 西村書店, 1997.

## 〈Abstract〉

**The Change of Muscle Activities in the Knee Extensors after 1-km Walking**

Nobuhisa KAITANI, RPT, Tatsuya OHNISHI, RPT, Ritsuko HIROMOTO, RPT,

Hidekazu TANAKA, RPT, Kazunori IKOMA, MD

*Department of Rehabilitation, Nara Medical University Hospital*

The muscle activities of knee extensors (musculus rectus femoris, and vastus lateralis and medialis) during 1-km walking were measured to investigate the effects of long-distance walking on these extensors in 12 healthy persons. Compared with the muscle activities at the start of walking, those at the end of 1-km walking were increased in the rectus femoris and decreased in the vastus lateralis. The activities of these muscles were not significantly different between both sexes. The activity of rectus femoris was increased especially in the early-middle stance phase of gait and that of vastus lateralis was decreased in the middle swing phase of gait. There was no difference in the muscle activities at the respective maximum actions between the start and the end of 1-km walking. With regard to the knee extensors, it was suggested that the muscle endurance of rectus femoris should be taken into consideration to complete a long-distance walking satisfactorily.