ランジ動作におけるステップ幅の違いが 下肢関節への力学的負荷に与える影響

Effects of Different Step Widths in Lunge Movement on Dynamic Loads of the Lower Limb Joints

深谷 隆史¹⁾

TAKASHI FUKAYA¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tsukuba International University: 6-8-33 Manabe, Tsuchiura City, Ibaraki 300-0051, Japan. TEL +81 29-826-6622

Rigakuryoho Kagaku 24(6): 787-791, 2009. Submitted Apr. 24, 2009. Accepted Jun. 1, 2009.

ABSTRACT: [Purpose] In this study, the author investigated the kinetic loads of the lower limb joints in lunge movements with different step widths. [Subjects] Subjects were 8 healthy males. [Methods] Each subject performed the lunge movement with two different steps: the greatest step width (Long-step) and half the greatest step width (Short-step). A motion analysis system and force plate were used to collect kinematic and kinetic data of the lower limb joints, and the joint forces and torques of the hip, knee and ankle joints in the lunge movement were calculated. [Results] The ground reaction force showed a significantly larger value in the long-step. The compression and front shear forces of the hip, knee and ankle showed significantly larger values in the long-step. The joint torques of hip flexion and ankle plantar flexion showed significantly larger values in the long-step, and the knee extension torque showed a significantly larger value in the short-step. [Conclusion] The results suggest that it is important to choose an appropriate step width in therapeutic purposes for the lower limb joints when the lunge movement is adopted as a kind of physical therapy.

Key words: step width, joint force, joint torque

要旨:〔目的〕本研究は、ランジ動作においてステップ幅が異なる時の下肢関節への運動力学的負荷を把握することを目的とした。〔対象〕健康成人男性8名を対象とした。〔方法〕ランジ動作は、最大ステップ幅（Long-Step）と最大ステップ幅の半分（Short-Step）の2種類とした。動作解析装置及び床反力計を用いて下肢関節の運動学的及び運動力学的データを収集し、動作時の股関節、膝関節、足関節の関節力と関節トルクを算出した。〔結果〕Long-stepで上方及び後方への床反力が有意に大きかった。股関節力、膝関節力、足関節力は下方への圧縮力と前方への剪断力がLong-stepで有意に大きな値を示した。関節トルクではLong-stepで股関節屈曲及び足関節底屈トルクが大きく、Short-stepでは膝関節伸展トルクが大きくなることを示した。〔結論〕ランジ動作を運動療法として取り入れる際、下肢関節に対して治療目的に応じてステップの幅を選択しながら行うことが重要であることが示唆された。

キーワード: ステップ幅, 関節力, 関節トルク

¹⁾ つくば国際大学 医療保健学部理学療法学科: 茨城県土浦市真鍋6-8-33 (〒300-0051) TEL 029-826-6622

I. 緒 言

下肢関節疾患に対する筋力強化の方法は、一般的に非荷重位によるトレーニング(Open Kinetic Chain; OKC)と荷重位によるトレーニング(Closed Kinetic Chain; CKC)の2種類がある。OKCとは四肢の遠位端が固定されておらず自由に動かせる環境下でのエクササイズであり、CKCとは四肢の遠位端が動いているかまたは静止している物体に固定された状態でのエクササイズである¹⁾。OKCでは筋の共同収縮はほとんど起こらず²⁾、特定の筋を刺激することが可能であるという特徴を有しており、CKCでは動きに含まれる関節を構成している体節が同時に運動を起こし、収縮する筋の数を増加させることで関節の動きを安定させる¹⁾という特徴を有している。

下肢関節の本来の機能改善にはOKCによる単関節運動のみではなく、CKCによる協調的な機能改善が必要である³⁾。そのため、下肢関節疾患に対するリハビリテーションでは筋力強化や協調性の獲得のためにCKCによる方法が利用されることが多い。

CKCのエクササイズとしてスクワット動作が頻繁に取り上げられている。このスクワット動作の身体への力学的影響については膝関節を中心にいくつか報告されている。Stuartら⁴⁾やWallaceら⁵⁾はスクワット動作で膝関節の屈曲角度が大きくなるほど、膝関節への負荷は大きくなると報告している。また、真鍋ら⁶⁾はスクワットの動作形態によつての股関節や膝関節周囲の筋活動が異なることを報告している。

また、スクワット動作とともにCKCとして取り上げられる動作にランジ動作がある。ランジ動作は動作対象となる下肢を前方へ出し、ステップした前脚に荷重をかけていくことにより、下肢の筋力強化やバランストレーニングとして利用される運動療法の一つである。ランジ動作はステップ幅の変化⁷⁾、体幹の肢位⁸⁾によつて下肢への効果は異なり、その目的により股関節、膝関節、足関節への力学的影響を考慮しながら行うことでより有効なものとなる。

ランジ動作の力学的影響について、Escamillaら⁷⁾はステップ幅の違いにより膝関節への力学的負荷が変化することを報告し、橋本ら⁹⁾は外力を加えた際の膝関節トルクと関節力について検討している。また、木村ら¹⁰⁾や佐藤ら¹¹⁾は関節トルクの点からランジ動作における下肢関節への影響について詳細に分析を行っている。ランジ動作は前方へ踏み込む動作であり、そのステップ幅の違いによつて膝関節だけではなく、股関節

や足関節への力学的影響も変化することが推測されるが、ステップ幅が異なる際の股関節や足関節を含めた下肢関節への運動力学的影響についての報告は少ないように思われる。そのため、ランジ動作のステップ幅の違いによる股関節や足関節への力学的変化を把握することで、股関節及び足関節疾患に対する運動療法の有効性を高めることができると考えられる。

本研究は、ランジ動作においてステップ幅が異なる時の下肢関節への運動力学的負荷を把握することを目的とし、矢状面における床反力及び下肢関節への関節力、関節トルクの観点から分析した。

II. 対象と方法

1. 対象

過去に下肢関節疾患の既往歴を有しない健康男子大学生8名(年齢20歳, 身長 171.7 ± 5.3 cm, 体重 63.2 ± 9.7 kg, 平均±標準偏差)を対象とした。被験者には事前に書面にて研究の目的及び内容を説明し同意を得た。

2. 方法

測定対象となる動作はランジ動作とした。被験者のランジ動作は、最大ステップ幅(以下Long-Step)と最大ステップ幅の半分の距離(以下Short-Step)の2種類とした。被験者は両脚を肩幅程度に開いた静止立位を開始肢位とし、右膝関節を伸展させた状態で右下肢を前方へ振り出し、前方に設置された床反力計に対して右踵部から床面に接地し、足底面が接地してから右膝関節を約90°屈曲させた時点で動作終了とした。測定時の両上肢は胸の前で組み、体幹はできるだけ伸展位で側屈や回旋などによる代償運動が生じないように正中位を保つことを指示した。動作速度は任意とした。

測定機器は6つの赤外線カメラで構成された動作解析装置(アニマ社製ローカス3D)と2つの床反力計(アニマ社製)を利用し、股関節・膝関節・足関節のそれぞれの矢状面における運動学的及び運動力学的データを収集した。それぞれの赤外線カメラ及び床反力計のサンプリング周波数は60 Hzとし、被験者の身体各部に直径30 mmの赤外線反射マーカーを貼付した。身体への赤外線反射マーカーの貼付部位は左右肩峰, 左右上前腸骨棘, 左右大転子, 左右大腿骨外側顆, 左右外果, 左右母趾とし、触診にて同定し貼付した。

各被験者は測定前に数回練習を行い、測定試技に十分慣れた後、最初にLong-Stepによる試行を3回行った。その際、各試行間でステップ幅が異ならないように、

床反力計上にテープにてマークした。Long-Stepによる試行終了後に、開始肢位の足先から最大ステップ幅の半分の距離を測定し、Long-Stepの時と同様の手続きによりShort-Stepによる試行を3回行った。

各関節角度は、外果から母趾へのベクトルと外果から大腿骨外側顆へのベクトルによって得られる角を足関節角度、大腿骨外側顆から外果へのベクトルと大腿骨外側顆から股関節中心点へのベクトルによって得られる角を膝関節角度、股関節中心点から大腿骨外側顆へのベクトルと股関節中心点から肩峰へのベクトルによって得られる角を股関節角度とした。なお、股関節中心点は上前腸骨棘と大転子に貼付された赤外線反射マーカの座標値から求め、この2点を結ぶ直線上で大転子から1/3の点をとることにより推定した。力学的データの算出のためにDempsterによる身体部分慣性係数¹²⁾を参考に身体部分質量、部分重心などを求め、さらに赤外線反射マーカの座標値と床反力計の値から各関節の関節力及び関節トルクを足部、下腿部、大腿部の各セグメントの遠位から近位へ解くことにより求めた。

また、床反力発生時点から動作終了時点までを分析区間とし、赤外線反射マーカにより得られた座標値はバターワースデジタルフィルターを用いて平滑化した。分析区間を100%に標準化し、得られた力学的データは各被験者の体重で除すことにより正規化した。Long-stepとShort-stepのそれぞれの条件下における3試行の平均値を測定値とした。

統計処理はLong-stepとShort-stepの条件間の比較を行うために、床反力及び関節力、関節トルクのそれぞれに対して、対応のあるt検定を行った。データの有意差判定には $p<0.05$ を用いた。統計処理ソフトはSPSS for Windowsを使用した。

III. 結 果

床反力と各関節力の最大値を表1に示した。床反力では、Long-stepはShort-stepよりも上方及び後方への作用が有意に大きな値を示した。関節力では、各関節で垂直成分の下方への関節力（圧縮力）、前後成分における前方への関節力（剪断力）がShort-stepよりもLong-stepで有意に大きな値を示した。

各関節トルクの最大値を表2に示した。股関節及び足関節ではLong-stepの際にShort-stepよりも有意に大きな伸展トルク及び底屈トルクを発揮していた。膝関節ではShort-stepの際にLong-stepよりも有意に大きな伸展

表1 Long step及びShort stepにおける床反力と各関節の関節力の最大値

		Long-step	Short-step
床反力	垂直成分	9.68 ± 1.51*	8.38 ± 0.91
	前後成分	-3.36 ± 0.88*	-2.11 ± 0.46
股関節力	垂直成分	-8.28 ± 1.50*	-6.74 ± 0.87
	前後成分	2.85 ± 0.72*	1.80 ± 0.43
膝関節力	垂直成分	-9.17 ± 1.57*	-7.75 ± 0.91
	前後成分	3.28 ± 0.83*	1.99 ± 0.42
足関節力	垂直成分	-9.54 ± 1.50*	-8.25 ± 0.91
	前後成分	3.40 ± 0.88*	2.11 ± 0.46

*：各ステップ間で有意差 ($p<0.05$) があることを示す。
(床反力と関節力の垂直成分の正の値は上方、負の値は下方への作用を表す。前後成分の正の値は前方、負の値は後方への作用を表す。単位：N/kg)

表2 Long step及びShort stepにおける各関節トルクの最大値

		Long-step	Short-step
股関節トルク		2.16 ± 0.56*	1.14 ± 0.29
膝関節トルク		0.53 ± 0.33*	1.02 ± 0.21
足関節トルク		-1.00 ± 0.19*	-0.82 ± 0.12

*：各ステップ間で有意差 ($p<0.05$) があることを示す。
(股関節、膝関節トルクの正の値は伸展方向の、足関節トルクの負の値は底屈方向のトルクを表す。単位：Nm/kg)

トルクを発揮していた。

IV. 考 察

一般的にランジ動作では、前脚が床面に接地してから静止状態になるまで、後脚が前方への駆動力を制動するのに対して、前脚は前方への重心移動を主として制動する役割を担うとされる¹⁰⁾。本研究の結果から、床面に接地してから静止状態まで、前脚には後方への床反力が発揮されており、前方への重心移動に対して身体を制御していることがうかがえる。またLong-stepではShort-stepに比べ後方への床反力が大きかった。これはステップの幅が長くなることによって、身体の前移動を制御するために、より大きな制動力が必要とされ、その結果、後方への床反力が大きく発揮されていると考えられる。

本研究では、ランジ動作中に発揮される各関節の関節力を近位セグメントが遠位セグメントに与える力として垂直成分と前後成分に分けて表したが、各関節ともに下方への圧縮力と前方への剪断力がShort-stepより

もLong-stepで有意に大きくなった。膝関節の関節力に着目すると、Stuartら⁴⁾はランジ動作中の膝関節には後方への剪断力が発揮されると報告しているが、本研究の結果は彼らの報告とは異なるものであった。その理由として、彼らが行ったランジ動作はステップを必要としない課題であるために、前方への下肢の加速度は最小限に抑えられ、床反力による前方へのブレーキ作用が小さい。一方で、本研究で課題とした静止立位から下肢を前方へステップして行うランジ動作では、前脚に前方への加速度が生じ、床反力が前方へのブレーキ作用として大きく働くために、その反作用として接地時に前方への剪断力が生じるのではないかと考えた。またステップ幅が長くなると、前脚により大きな加速度と床反力が生じ、その結果Long-stepのほうがShort-stepよりも大きな前方剪断力を生じていると考えられた。このことから前十字靭帯損傷¹³⁾やPatellofemoral pain¹⁴⁾に代表されるような膝関節の前方への剪断力を考慮する疾患に対して、ランジ動作を適用する場合、関節弛緩や疼痛の状態を評価した上で、ステップ幅などを十分に検討し行うことが重要である。

また、足関節の前後成分の関節力は常に前方への剪断力が生じ、Long-stepのほうがShort-stepよりも有意に大きかった。この足関節力の増加は、ステップ幅が長くなることによって接地時に前方への動きを制御するために後方への大きな床反力が発生し、その反作用として足関節に対してより大きな前方の剪断力が発生したためと考えられた。足関節の前方への剪断力は下腿が足部を前方へ押し出す力として表される。そのため距骨の前方変位に対する不安定性を呈する足関節内反捻挫¹⁵⁾や足部不安定症¹⁶⁾などの症例に対しては、ステップ幅を考慮しランジ動作を行うことが重要であることが示唆される。

関節トルクにおいては、股関節と足関節ではLong-stepでShort-stepよりも大きな伸展トルクと底屈トルクを発揮していた。逆に膝関節ではShort-stepでLong-stepよりも大きな伸展トルクを発揮していた。股関節と足関節に着目すると、両者はステップ幅が長い時は関節力も大きく、関節への負荷は大きくなる。そのため、関節への負荷を比較的少なくしながら荷重位によるエクササイズを行う場合はステップ幅を狭くし、筋力強化やバランス能力の改善などを目的とする場合にはステップ幅を広げるなどのように、その目的に応じてステップ幅を選択することにより股関節や足関節に対する適切な運動療法を導くことができると考えられる。また、膝関節に着目すると、Short-stepで関節力は小さく、関

節トルクの発揮は大きい。前述した関節力による前方剪断力のことを踏まえると、膝関節においてはステップ幅を短くすることで、関節力による圧縮及び剪断力を抑えながら、伸展トルクを発揮する大腿部の筋力強化を行うことができると考えられる。

本研究では、ランジ動作のステップ幅の違いが下肢関節の力学的負荷に与える影響について検討した。その結果、ステップ幅が長くなることにより、前方への重心移動を制御するために後方への床反力は大きくなり、各関節にかかる下方への圧縮力及び前方への剪断力による関節力も大きくなることがわかった。また、股関節と足関節の伸展及び底屈トルクはステップ幅が長いときに大きくなり、逆に膝関節の伸展トルクはステップ幅が短いときに大きくなることから、ランジ動作を運動療法として取り入れる際、各関節に対して目的に応じてステップの幅を選択しながら行うことが重要であることがわかった。

本研究の限界としては、対象となった被験者は全て健康成人であり、下肢関節疾患を有している症例については検討していない。今後は下肢関節疾患を呈している症例に対して、ステップ幅の違いが各関節への力学的負荷にどのような影響を与えるかについて検討を加え、ランジ動作の運動療法への有用性についての示唆を深めていくことが課題である。

引用文献

- 1) 山本利春, 中村千秋: CKCエクササイズ. NAP, 東京, 2003, pp2-3.
- 2) Draganich LF, Jaeger RJ, Knalj AR: Coactivation of the hamstrings and quadriceps during extension of the knee. J Bone Joint Surg Am, 1989, **71**: 1075-1081.
- 3) 岡西哲夫: 筋力増強の変遷とその背景. PTジャーナル, 2001, **35**: 379-386.
- 4) Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, et al.: Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises. Am J Sports Med, 1996, **24**: 792-799.
- 5) Wallace DA, Salem GJ, Salinas R, et al.: Patellofemoral joint kinetics while squatting with and without an external load. J Orthop Sports Phys Ther, 2002, **32**: 141-148.
- 6) 真鍋芳明, 横澤俊治, 尾縣 貢: 動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. 体力科学, 2004, **53**: 321-336.
- 7) Escamilla RF, Zheng N, Macleod TD, et al.: Patellofemoral joint force and stress between a short- and long-step forward lunge. J Orthop Sports Phys Ther, 2008, **38**: 681-690.
- 8) Farrokhi S, Pollard C, Souza RB, et al.: Trunk position influences the kinematics, kinetics, and muscle activity of the lead lower

- extremity during the forward lunge exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2008, **38**: 403-409.
- 9) 橋本雅至, 小柳磨毅, 佐藤睦美・他: 外力を加えたフォワードランジの前脚の動作解析—関節モーメント, 関節間力の算出から見た膝関節の運動特性の検討—. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 2007, **28**: 393-398.
- 10) 木村佳記, 佐藤睦美, 井上 悟・他: フォワードランジにおける前脚の動作解析. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 2004, **25**: 425-429.
- 11) 佐藤睦美, 小柳磨毅, 木村佳記・他: 上り坂のフォワードランジにおける支持脚の動作解析. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 2005, **26**: 383-387.
- 12) Gordon D, Robertson E, Caldwell GE, et al.: Research method in biomechanics. *Human Kinetics*, USA, 2004, pp57-58.
- 13) Alkjaer T, Simonsen EB, Magnusson SP, et al.: Differences in the movement pattern of a forward lunge in two types of anterior cruciate ligament deficient patients: copers and non-copers. *Clin Biomech*, 2002, **17**: 586-593.
- 14) Powers CM: The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, **33**: 639-646.
- 15) 三岡智規, 堀部秀二: バスケットボール選手によくみられる足関節の外傷・障害—慢性障害・軟骨損傷—. *臨床スポーツ医学*, 2001, **18**: 991-996.
- 16) 下條仁士: 足関節機能的不安定症とその対処法. *臨床スポーツ医学*, 2002, **19**: 149-153.