立位での一側下肢への側方体重移動が非移動側下肢筋の筋活動パターンに与える影響

Influence of Lateral Weight Shift on the Lower Limb in a Standing Position on the Pattern of Contralateral Lower-Limb Muscle Activity

清水 貴史^{1,2)} 野口 翔平¹⁾ 玉置 昌孝¹⁾ 中道 哲朗³⁾ 鈴木 俊明²⁾

TAKASHI SHIMIZU, RPT^{1,2)}, SHOHEI NOGUCHI, RPT¹⁾, MASATAKA TAMAKI, RPT¹⁾,
TETSURO NAKAMICHI, RPT³⁾, TOSHIKI SUZUKI, RPT, DMSc²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Hakuyukai Kuzuha Hospital: 4-1 Hanazonocho, Kuzuha, Hirakata-shi, Osaka 573-1121, Japan
TEL +81 72-809-0016 E-mail: tkc09p018@gmail.com

²⁾ Graduate School of Health Science, Kansai University of Health Sciences

³⁾ Department of Rehabilitation, Portisland Hospital

Rigakuryoho Kagaku 33(2): 295-300, 2018. Submitted Sep. 27, 2017. Accepted Nov. 8, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] To examine the relationship between the pattern of contralateral lower-limb muscle activity and postural changes during lateral weight shift on the lower limb. [Subjects and Methods] Ten limbs of 10 healthy males were involved. During lateral weight shift in a standing position, movements were filmed using a video-recorder, contralateral lower limb muscle activity was evaluated using electromyography, and the center of foot pressure was measured. [Results] On the initiation of lateral weight shift, the leg-heel angle of the contralateral lower limb remained unchanged in 7 participants, and movements in the direction of inversion were observed among 3 participants. The muscle activity levels of peroneal, triceps surae, and foot inverter increased in the former, while those of peroneal and triceps surae increased after a rise in that of foot inverter in the latter. In all cases, the activity of the middle fibers of the gluteus medius was promoted. [Conclusion] Different foot movements and muscle activity patterns were also observed among healthy participants immediately after the initiation of lateral weight shift in a standing position, emphasizing the necessity of carefully assessing contralateral lower limbs during lateral weight shift in clinical environments.

Key words: lateral weight shift in a standing position, contralateral lower limbs, postural changes

要旨:〔目的〕立位での一側下肢への側方体重移動における非移動側下肢の筋活動パターンと姿勢変化の関係性を検討した。〔対象と方法〕健康男性10名の10肢とした。立位より側方移動した際のビデオ画像と非移動側下肢の筋電図、足底圧中心を測定した。〔結果〕側方移動開始時の非移動側下肢において下腿踵骨角に変化が生じない群(7名)、内反方向への運動が生じる群(3名)を認めた。前者では腓骨筋群、下腿三頭筋、足部内反筋群の筋活動増加を認め、後者では足部内反筋群の筋活動増加後に腓骨筋群、下腿三頭筋の筋活動増加を認めた。全例において中殿筋中部線維の筋活動増加を認めた。〔結語〕立位での側方移動開始直後に健康者においても異なる足部の運動、筋活動パターンを認めたことから、臨床場面では非移動側足部の詳細な評価の必要性が示唆された。

キーワード: 立位での側方移動、非移動側下肢、姿勢変化

¹⁾ 柏友会楠葉病院 リハビリテーション科: 大阪府枚方市楠葉花園町4-1 (〒573-1121) TEL 072-809-0016

²⁾ 関西医療大学大学院 保健医療学研究科

³⁾ ポートアイランド病院 リハビリテーション科

I. はじめに

立位での一側下肢への側方体重移動（以下、立位での側方移動）は歩行開始や方向転換、片脚立位など、立位での側方移動を伴う ADL 動作の評価・治療として実施することがある。脳血管障害片麻痺患者の理学療法において、立位での側方移動を実施する際、麻痺側下肢の移動側傾斜や体幹・骨盤部の側方移動が乏しいことを経験するが、非麻痺側下肢への側方移動が乏しくなる症例も多い。このとき、機能障害を認める麻痺側足部の可動域制限や筋緊張異常の改善を図ることで、非麻痺側への側方移動が可能になることがある。このような経験から、脳血管障害片麻痺患者を始めとする足部に機能障害を有した症例における立位での側方移動では、移動側下肢への体重移動に関与する非移動側足部周囲筋の筋活動が重要になると考えられた。

立位での側方移動に関する報告として、野口ら¹⁾は側方移動時に、まず移動側足部内反筋群により移動側下腿外側傾斜を制動し、その後、骨盤非移動側挙上を生じる際には非移動側多裂筋・腸筋・最長筋により体幹を垂直位に保持させ、このときに移動側腓骨筋群により足底内側の接地を保持させると報告している。しかし、課題開始時またはその直後に筋活動は認めず、動作開始の要因が明確にはなっていない。歩行開始時における非移動側下肢に関する報告として、Brunt ら²⁾は非移動側下腿三頭筋が踵離地までわずかな活動が持続し、力は非常に小さいが非移動側下肢が移動側下肢へ体重を移す働きがあることを報告している。また東³⁾は非移動側中殿筋・縫工筋・前脛骨筋が移動側下肢側方向に重心を移動させる機能があると報告している。Man ら⁴⁾は非移動側の股関節外転筋が、前脛骨筋の活動開始と同時に生じることを報告している。このことから、非移動側下腿三頭筋や前脛骨筋、股関節外転筋が移動側下肢への側方移動に関与することが報告されている。しかし、前方への移動を目的とする歩行開始動作と側方への移動を目的とする立位での側方移動では、目的とする運動方向の違いにより筋活動や姿勢変化、足底圧中心（Center of pressure：以下、COP）変位に相違があると考えられる。

そこで今回、立位での側方移動に伴う非移動側下肢の筋活動パターンとビデオ画像による姿勢変化との関係性を検討し、立位での側方移動を生じさせている要因を明確にすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、整形外科的・神経学的に問題のない健常男性 10 名、平均年齢は 23.8 ± 2.2 歳とした。なお、本研究はヘルシンキ宣言の助言・基本原則および追加原則に鑑

み、あらかじめ説明された実験の概要と侵襲、公表の有無と形式、個人情報の取り扱いについての対象者より同意を得たうえで実施した。

2. 方法

運動課題の開始肢位は重心計 JK-101（ユニメック社製、以下、重心計）のフォースプレート上での直立位とした。このとき、足の位置はその場で数回ジャンプし着地した際の足幅・足角とし、目視にて各被験者間に大きな差がないことを確認した。なお、側方移動の方向は、鈴木ら⁵⁾の報告を参考にし、ボールを蹴る側とは反対側を軸足と規定し、軸足側（以下、移動側）に移動させた。運動課題は、開始肢位から口頭での動作開始の合図後に 2 秒間で移動側へ側方移動した後、最大側方移動した姿勢を保持する運動を 1 施行とした（図 1）。運動課題中の規定として、両肩峰を水平に保持し、体幹・骨盤の明らかな回旋や身体の前後運動は起こさないこととした。また最大側方移動時、非移動側下肢は爪先が重心計のフォースプレートから離れず軽く触れている程度とした。側方移動距離は上記の規定内で各被験者が最大に移動できる距離とし、測定回数は 3 施行とした。

測定項目は、テレメトリー筋電計 MQ-8（キッセイコムテック社製）にて記録した測定筋の筋活動パターンと、後方から撮影したビデオ画像、そして重心計にて記録した立位での側方移動中の COP とした。測定筋は、歩行開始動作に関する報告²⁻⁴⁾を参考にし、動作開始に関与すると考えられる非移動側中殿筋中部線維、腓骨筋群、下腿三頭筋、足部内反筋群、前脛骨筋の 5 筋とした。表面筋電図の電極貼付部位は図 2 に示した。中殿筋中部線維は池添ら⁶⁾の報告を参考にし、腸骨稜と大転子の近位 1/3 とした。腓骨筋群・足部内反筋群・前脛骨筋は、山口ら⁷⁾の報告を参考にし、腓骨筋群は腓骨頭の 3 横指遠位、足部内反筋群は、内果の 4 横指近位、前脛骨筋

図 1 運動課題

開始肢位は直立位とし、2 秒間で移動側へ側方体重移動した後、側方体重移動した姿勢を 2 秒間保持させた。

図2 測定筋の電極貼付部位

中殿筋中部線維（図中□印）は腸骨稜と大転子の近位1/3，腓骨筋群（図中◇印）は腓骨頭の3横指遠位，下腿三頭筋（図中●印）は膝窩から踵骨上縁の1/2の点，前脛骨筋（図中○印）は脛骨粗面の3横指遠位で2横指外側，足部内反筋群（図中△印）は内果の4横指近位を電極貼付部位とした。

は脛骨外側顆から4横指遠位とした。また，下腿三頭筋は糸川ら⁸⁾の報告を参考にし，膝窩から踵骨上縁の1/2の点とした。上記の電極貼付位置を基準として触診による筋腹の確認と運動時に出現する筋電図波形の確認を行い，各筋の電極貼付部位を決定した。なお，導出方法は双極導出法とし，電極間距離は2 cmで配置した。サンプリング周波数は1000 Hzとした。また，運動課題中のビデオ画像については，iPad mini3 (MGYK2J/A, Apple社製)にて後方から撮影し，サンプリング周波数は30 Hzとした。撮影に際してiPad mini3は，水平位置の確認を行ったうえでズーム機能を使用せず重心計上の立位姿勢における側方移動の開始・終了肢位において身体が画面上に収まるように被験者との距離を200 cm，高さ70 cmと設定した。

このとき，両上後腸骨棘，非移動側膝窩部中央，踵骨上縁および下縁にマーカーを貼付し，動作中の姿勢変化の確認を行った。両上後腸骨棘を結ぶ線により骨盤傾斜（挙上・下制），両上後腸骨棘を結ぶ線と非移動側の上後腸骨棘・膝窩中央を結ぶ線のなす角度により股関節内外転の姿勢変化を確認した。また非移動側の膝窩中央と踵骨上縁を結ぶ線により下腿の側方傾斜，非移動側の膝窩中央・踵骨上縁を結ぶ線と踵骨上縁・踵骨下縁を結ぶ線のなす角度により下腿踵骨角（Leg Heel Angle, 以下，LHA）変化，移動側の踵骨上縁と踵骨下縁を結ぶ線により床面に対する踵骨（後足部）傾斜角変化にて姿勢変化を確認した（図3）。動作中の関節角度に関しては，撮影した画像データに対して2次元画像処理ソフトImageJを用いて検討した。COPに関しては，課題開始前のCOP位置を基準として，課題開始後に生じるCOPの移動側・非移動側方向への変位を確認した。また，サンプリング周波数は1000 Hzとした。

図3 マーカーの貼付部位

両上後腸骨棘を結ぶ線により骨盤傾斜，両上後腸骨棘を結ぶ線と非移動側の上後腸骨棘・膝窩中央を結ぶ線のなす角度により股関節内外転，非移動側の膝窩中央と踵骨上縁を結ぶ線により下腿の側方傾斜，非移動側の膝窩中央・踵骨上縁を結ぶ線と踵骨上縁・踵骨下縁を結ぶ線のなす角度によりLHA変化，移動側の踵骨上縁と踵骨下縁を結ぶ線により床面に対する踵骨（後足部）傾斜角変化にて姿勢変化を確認した。

分析方法はデータ統合解析プログラム KineAnalyzer（キッセイコムテック社製）を用い，筋電図とCOPを同期化し，COP軌跡の移動側・非移動側方向における時間的変化とそれに伴う測定筋の筋活動パターンを，ビデオ画像により得られた姿勢変化を参考に分析した。なお，運動課題に伴う筋活動増加の判断基準は，石田ら⁹⁾の基準を参考にし，筋電図を生波形から全波整流波形に変換した後，課題開始前500 msec間における最大振幅を超える振幅を記録した時点とした。また筋活動開始に関しては，開始姿勢を0%，終了肢位を100%としたときの全被験者における筋活動開始のタイミングを算出し検討した。

III. 結 果

立位での側方移動時の姿勢変化として，側方移動開始直後に，非移動側のLHAに変化が生じない群（図4）とLHAにて内反方向への運動が生じる群（以下，LHA内反群）（図5）を認め，LHAに変化が生じない群は7名，LHA内反群は3名であった（図6）。立位での側方移動時のLHA変化を表1に示す。LHAに変化が生じない群においては開始肢位（図4a）から非移動側踵離地（図4b）にかけて $1.1^{\circ} \pm 1.6$ ，LHA内反群においては $5.4^{\circ} \pm 0.4$ のLHA内反方向への運動が生じた（図5a, b）。LHAに変化が生じない群においては，開始肢位より非移動側踵離地にかけて，足底（母趾球・小趾球）が接地した状態で足部回外し，後足部・下腿が移動側に傾斜し

a : 開始肢位 b : 非移動側踵離地 c : 終了肢位

図4 本課題でみられた運動過程(LHAに変化が生じない群)
開始肢位より非移動側踵離地にかけて、足底(母趾球・小趾球)が接地した状態で足部回外し、後足部・下腿が移動側に傾斜した。その後は、下腿の移動側傾斜が継続し、股関節外転を伴い、骨盤・体幹の移動側への変位を認めた。

a : 開始肢位 b : 非移動側踵離地 c : 終了肢位

図5 本課題でみられた運動過程(LHA内反群)

開始肢位より非移動側踵離地にかけて、足底が接地した状態で、LHAにおける内反方向への動きにより後足部に対する下腿の移動側傾斜が生じた。続いて足底(母趾球・小趾球)が接地した状態で足部回外が生じ、後足部・下腿の移動側傾斜が生じた。その後は、下腿の移動側傾斜が継続し、股関節外転を伴い、骨盤・体幹の移動側への変位を認めた。

た。LHA内反群においては、開始肢位より非移動側踵離地にかけて、足底が接地した状態で、LHAにおける内反方向への動きにより後足部に対する下腿の移動側傾斜が生じた。続いて足底(母趾球・小趾球)が接地した状態で足部回外が生じ、後足部・下腿の移動側傾斜が生じた。その後は、両群ともに下腿の移動側傾斜が継続し、股関節外転を伴い、骨盤・体幹の移動側への変位を認めた(図4, 5b, c)。

COPにおいては、全例で課題開始直後に一度非移動側へ変位し、その後は移動側へ切り換わった。そして、側方移動した姿勢を保持している間は、移動側に保持さ

a : 開始肢位 b : 非移動側踵離地
A : LHAに変化が生じない群 B : LHA内反群

図6 本課題でみられた運動過程の非移動側LHA変化の比較
LHAに変化が生じない群においては、足底が接地した状態で足部回外し、後足部・下腿が移動側に傾斜するのに対し、LHA内反群においては、足底が接地した状態で、LHAにおける内反方向への動きにより後足部に対する下腿の移動側傾斜が生じた。

表1 立位での側方移動時のLHA変化

	LHAに変化が生じない群	LHA内反群
開始肢位	外反 6.9 ± 3.3	外反 0.4 ± 2.0
非移動側踵離地時	外反 5.7 ± 2.0	内反 5.0 ± 2.4
内反方向への運動角度	1.1 ± 1.6	5.4 ± 0.4

単位:°, 平均値 ± 標準偏差。

表2 立位での側方移動時の筋活動開始のタイミング(開始肢位を0%, 終了肢位を100%とする)

	LHAに変化が生じない群	LHA内反群
非移動側中殿筋中部線維	25.7 ± 16.9	32.8 ± 2.6
非移動側前脛骨筋	55.5 ± 30.2	43.1 ± 13.4
非移動側腓骨筋群	19.2 ± 12.6	21.2 ± 11.6
非移動側下腿三頭筋	18.5 ± 14.9	33.1 ± 14.1
非移動側足部内反筋群	18.1 ± 11.7	6.43 ± 0.5

単位:%, 平均値 ± 標準偏差。

れた。

筋活動パターンは、側方移動開始直後にLHAに変化が生じない群とLHA内反群において異なる傾向を認めた。開始肢位を0%, 終了肢位を100%とした際の立位での側方移動時の各筋の筋活動開始のタイミングを表2に示す。LHAに変化が生じない群においては、COP非移動側変位時に、腓骨筋群・下腿三頭筋・足部内反筋群筋の活動がほぼ同時期に増加した(図7)。一方で、LHA内反群においてはCOP非移動側変位時に、足部内反筋群の筋活動が増加し、COP移動側への切り換え直前に、腓骨筋群・下腿三頭筋の筋活動が増加した(図8)。

図7 本運動課題における代表的な筋電図波形 (LHAに変化が生じない群)

COP非移動側変位時に、腓骨筋群・下腿三頭筋・足部内反筋群筋の活動がほぼ同時期に増加した。COPの移動側への切り換え時に中殿筋中部線維の筋活動増加を認めた。

図8 本運動課題における代表的な筋電図波形 (LHA内反群)

COP非移動側変位時に、足部内反筋群の筋活動が増加し、COP移動側への切り換え直前に、腓骨筋群・下腿三頭筋の筋活動が増加した。またCOPの移動側への切り換え時に中殿筋中部線維の筋活動増加を認めた。

また全例において COP の移動側への切り換え時に中殿筋中部線維の筋活動増加を認めた。なお、今回前脛骨筋に関しては被験者間による差が大きく、一定した傾向を認めなかった。

IV. 考 察

LHA に変化が生じない群では、側方移動開始直後、COP 非移動側変位時に腓骨筋群・下腿三頭筋・足部内反筋群の筋活動がほぼ同時期に増加を認めた。また、側方移動開始時に足底（母趾球・小趾球）が接地した状態で足部回外し、後足部・下腿が移動側へ傾斜した。このことから、非移動側足部内反筋群は下腿の移動側傾斜を生じさせる目的で、足部回外作用として関与したと考えられた。下腿三頭筋・腓骨筋群は下腿が移動側へ傾斜した状態で活動することで後足部・下腿を移動側へ傾斜させる目的で足部内反筋群とともに足関節底屈作用として関与したと考えられた。

LHA 内反群においては、側方移動開始直後、COP 非移動側変位時に足部内反筋群の筋活動が先行して増加した。また、側方移動開始時に足底が接地した状態で、LHA における内反方向への動きにより後足部に対する下腿の移動側傾斜が生じた。このことから、非移動側足部内反筋群は後足部に対して下腿を移動側へ傾斜させる目的で、距骨下関節・距腿関節の回外作用として関与したと考えられた。その後、足底（母趾球・小趾球）が接地した状態で足部回外し、後足部・下腿の移動側傾斜が生じた。また COP 非移動側変位後、移動側への切り換え時に、下腿三頭筋・腓骨筋群の筋活動が増加した。このことから、下腿三頭筋・腓骨筋群は下腿が移動側へ傾斜した状態で活動することで足部内反筋群とともに足関節底屈作用として下腿の移動側傾斜に関与したと考えられた。

本研究結果より立位での側方移動に伴う非移動側下腿の移動側傾斜・体幹の移動側変位は、歩行開始動作に関する報告²⁻⁴⁾同様、非移動側足関節底屈筋群による足関節底屈作用と非移動側中殿筋中部線維による股関節外転作用が関与することが明らかになった。しかし、東³⁾は非移動側前脛骨筋が移動側下肢側方向に重心を移動させる機能があると報告しているが、今回の結果においては、前脛骨筋は被験者間による差が大きく、一定した傾向を認めなかった。このことから、側方への移動を目的

とする立位での側方移動での非移動側下腿の移動側傾斜への関与は少ないことが考えられた。また、すべての被験者に共通の現象として、非移動側下腿の移動側傾斜を認めたが、健常者においても立位での側方移動開始直後に足部の運動の違いを認め、異なる筋活動パターンを認めた。このことから、立位での側方移動を実施する際には、移動側下肢にのみ着目するのではなく、非移動側下肢の関節運動・筋活動も加味し、詳細な動作を解釈していく必要性が示唆された。加えて、今回足部において被験者間でも異なる動きを認めることから、臨床場面においてはより詳細な足部の評価を実施していく必要性が示唆された。

今回の立位での側方移動における姿勢変化の検討は、身体の後方からのビデオ画像のみの検討であった。今後、立位での側方移動が非移動側下肢筋に与える影響について、より詳細な姿勢変化と筋活動パターンとの関係性を検討していく必要がある。

引用文献

- 1) 野口翔平, 玉置昌孝, 中道哲朗・他: 立位での一側下肢への側方体重移動が腰背筋群・足部周囲筋の筋活動パターンに与える影響. リハビリテーション医学, 2017, 54: 618-626.
- 2) Brunt D, Lafferty MJ, McKeon A, et al.: Invariant characteristics of gait initiation. Am J Phys Med Rehabil, 1991, 70: 206-212.
- 3) 東 隆史: 運動開始時の初期重心位置の違いが先行随伴性姿勢調節と運動成果に及ぼす影響について. 四天王寺大学紀要, 2010, 325-353.
- 4) Mann RA, Hagy JL, White V, et al.: The initiation of gait. J Bone Joint Surg Am, 1979, 61: 232-239.
- 5) 鈴木隆雄, 河内まき子, 楠本彩乃・他: 足の事典. 山崎信寿(編), 朝倉書店, 東京, 1999, pp106-109.
- 6) 池添冬芽, 市橋則明, 羽崎 完・他: 大殿筋・中殿筋の作用に関する筋電図学的分析. 京都大学医療技術短期大学部紀要, 1997, 17: 11-16.
- 7) 山口剛司, 高崎恭輔, 大工谷新一: 足底圧中心変化に伴う足部周囲筋の筋積分値相対値変化. 関西理学, 2005, 5: 103-108.
- 8) 糸川京佑, 牛島 毅: 動作時の下肢関節モーメントは表面筋電図と関節角度変化から推定できるか. 長崎大学医学部保健学科理学療法専攻卒業研究論文集, 2015, 11: 15-21.
- 9) 石田水里, 対馬栄輝: 反応時間測定における筋活動開始を判断する基準の比較. 総合リハ, 2001, 29: 843-849.