三次元動作解析装置を用いた 歩行中の足部の動きの分析

—下腿・踵骨・前足部に着目して—

*Three-dimensional Motion Analysis of the Foot during Gait Focusing on the
Movement of the Lower Leg, Calcaneus and Forefoot*

岩橋 洋子¹⁾ 山本 澄子²⁾

YOKO IWAHASHI¹⁾, SUMIKO YAMAMOTO²⁾

¹⁾ HIROSE orthopedic & rheumatism clinic: 1-2-1 Edakita platform102 Aoba-ku Yokohama-shi Kanagawa 225-0015, Japan.
TEL+81 45-910-0711 E-mail: yoko_i_45@yahoo.co.jp

²⁾ International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 26(3): 371-375, 2011. Submitted Nov. 19, 2010. Accepted Jan. 25, 2011.

ABSTRACT: [Purpose] We examined the movements of the lower leg, calcaneus and forefoot during gait and analyzed the relations of each segment in the limb, the relations with right and left leg movements of each subject, and the relations with arch height ratio. [Subjects] We examined 23 legs of 12 healthy adult males. [Method] Using a 3D motion analysis system, we measured the gait of subjects at their chosen walking speed. The analysis focused on varus and valgus of the movement. [Results] Regarding the relationships of each segment in the same limb, there was no correlation between heel valgus immediately after initial contact and forefoot valgus in the late stance phase. There was a high correlation in each individual between the movements of the left and right calcaneus as well as both forefeet. There was no correlation between the arch height ratio and calcaneus valgus or forefoot valgus. [Conclusion] There are a variety of movements of the foot during gait; however, from the results we understand that there is symmetry of movement in the right and left legs of an individual.

Key words: 3D motion analysis, gait, foot

要旨:〔目的〕歩行中の下腿、踵骨、前足部の動きを調べ、同一肢内の各部の動きの関係、同一被験者内の左右足の動きの関係、アーチ高率と動きの関係を分析することである。〔対象〕健康成人男性12名23肢とした。〔方法〕三次元動作解析装置を用いて、対象者任意の歩行速度で歩行を計測した。分析は、内反、外反の動きに着目して行った。〔結果〕同一肢内の各部の動きの関係として Initial contact 直後の踵骨外反と立脚後期の前足部外反の間に相関はなかった。同一被験者内の左右足の踵骨及び前足部の動きの間には高い相関があった。アーチ高率と踵骨外反、前足部外反の動きには相関はなかった。〔結語〕歩行中の足部の動きには、多様性があるが、同一被験者内の左右足の間には対称性があることがわかった。

キーワード: 三次元動作解析, 歩行, 足部

¹⁾ 広瀬整形外科リウマチ科: 神奈川県横浜市青葉区荏田北1-2-1 platform102 (〒225-0015) TEL 045-910-0711

²⁾ 国際医療福祉大学大学院

表1 1日目と2日目の静止立位での角度

	1日目	2日目	1日目と2日目の差
踵骨の絶対角度	8.7	10.3	1.6
下腿の絶対角度	0.4	0.1	0.3
前足部の絶対角度	3.7	6.0	2.3
距骨下関節角度	6.8	10.7	3.9
踵骨に対する前足部の角度	-6.4	-2.3	4.1

(単位: 度)

I. はじめに

臨床では、踵骨の過剰な外反や扁平足、外反母趾、など様々な足部の異常を目にする。そういった場合、足部以外にも異常な姿勢や動作を伴っている場合が多い。先行研究には足部からの運動連鎖¹⁾や障害との関係²⁾を調べた報告があることから、足部の異常は身体全体の異常を捉える上で重要であり、詳細な評価が必要とされる部位である。理学療法士が足部の評価を行う場合、静止立位や歩行など動作中の距骨下関節角度（下腿と踵骨のなす角度）やアーチ高率、前足部の動きなどへ着目することがある³⁾。先行研究には、隣接する2つの骨（距骨と踵骨、踵骨と舟状骨、踵骨と立方骨、第1中足骨と内側楔状骨、第5中足骨と立方骨）の相対角度で動きを分析している報告⁴⁾はあるが、理学療法士が着眼点とする下腿や前足部の動きを分析した報告は少なく、さらに前足部を第1中足骨から第5中足骨までをひとつのユニットとして捉え分析している報告はない。また、静止立位時の踵骨内外反角度とアーチ高率の関係を調査した報告はある⁵⁾が、アーチ高率と動作中の動きの関係や足部の各セグメント同士の動きの関係なども明らかにされていない。今後、足部へのアプローチをより根拠に基づいて行うためには足部に関する基礎データが必要である。そこで、本研究の目的は、臨床で理学療法士が着眼点としている下腿、踵骨、前足部が健康成人男性の歩行ではどのように動いているかを調べ、基礎データを得ることである。その結果を基に、同一肢内の下腿、踵骨、前足部の動きの関係、同一被験者内の左右足の動きの関係、アーチ高率と踵骨の動き、前足部の動きの関係を調べることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は過去に著明な整形外科疾患の既往のない健康成人男性12名（平均年齢 29.2 ± 5.1 歳）23肢とした。事前に本研究の内容を口頭で説明し、同意を得た上で計測した。

図1 2日間の前足部の絶対角度の変化

2. 方法

計測には三次元動作解析装置システム VICON MX (VICON社製, カメラ10台)を用いた。サンプリング周波数は100 Hzとした。マーカー貼付位置は、腓骨頭、脛骨内側顆、下腿で皮膚の動きの少ない遠位の外側と内側、内果、外果、載距突起、腓骨筋結節、踵骨中央（第1中足骨頭の高さと同じ高さ）、第2中足骨頭、第5中足骨頭に貼付した。計測動作は各被験者とも静止立位と自由歩行15試行とし、約8 mの歩行を実施した。歩行スピードは被験者任意の速度（平均速度 78.8 ± 14.9 m/min）とし、歩幅や歩き出しは規定しなかった。再現性確認として、事前に被験者2名を対象に2日間の計測を実施した。算出された角度から、2日間の静止立位時の絶対角度と100%規格化された波形を重ねがきして再現性を確認した。算出にあたっては踵骨と下腿には局所座標系を定義した。算出項目は、絶対空間に対する角度として踵骨の絶対角度、下腿の絶対角度、前足部の絶対角度を算出し、相対角度として下腿と踵骨のなす角度を距骨下関節角度と定義し算出した。また、踵骨に対する前足部の相対角度も算出した。算出した角度は立脚時間を100%規格化した。15試行の中から踵骨の絶対角度の波形を重ねがきし、逸脱しているものから除外し10試行を選択した。選択された10試行の波形で平均値を算出した。分析は前額面の内外反の動きに着目して行った。アーチ高率は静止立位時に舟状骨高をメジャーで実測し、アーチ長は

図2 各セグメントの角度

a) b) は代表例1名の結果, c) は代表例3名の結果を示した

静止立位時の足型とマーカー位置(踵骨後面と第1中足骨)を紙面に書き写したのからメジャーで実測し算出した。

III. 結果

再現性に関する結果は1日目と2日目の静止立位の計測で得られた各セグメントの絶対角度、及び相対角度の結果を表1に示す。踵骨、下腿、前足部の絶対角度は比較的両日で差が小さいが、距骨下関節角度や踵骨に対する前足部の角度は1日目と2日目の差が3度以上認められた。

1日目の歩行計測から抜き出すことのできた立脚期波形が12歩分、2日目の計測から抜き出すことの出来た立脚期波形が13歩分あった。図1は前足部の絶対角度の1日目と2日目の結果を重ねがきしたグラフである。横軸は規格化された立脚期を表し、静止立位時の角度を0度として表した。重ねがきしたグラフから、静止立位時の角度の違いでゼロ点が異なるが、角度変化の波形は両日で類似しており、日間再現性は良好であった。この傾向は他の算出角度、もう一名の対象者についても同様の結果であった。以上の結果から、今回は主に角度変化を分析していく研究のため今回の方法で問題はないと判断した。

各セグメントの動きは対象者ごとに各肢10歩分のデータの平均波形を分析に用いた。図2は代表例の結果を示し、静止立位時の角度を0度として表示した。各グラフ

とも横軸は規格化された立脚期を表し、縦軸は踵骨の絶対角度、前足部の絶対角度、距骨下関節角度を表す。

動きが被験者間で比較的共通していたものは、踵骨の絶対角度(図2-a)、前足部の絶対角度(図2-b)、および踵骨に対する前足部の相対角度であった。a) b) のグラフは代表例1名の結果を示した。踵骨と前足部の絶対角度は、Initial contact (以下IC) 直後と立脚後半で外反方向へ動きが見られた。踵骨に対する前足部の角度は、立脚期50-90%の間で踵骨に対して前足部が内反方向へ動いていた。一方、動きの個人差が目立ったものは、下腿の絶対角度と距骨下関節角度(図2-c)であった。距骨下関節角度は代表例3名の結果を示す。距骨下関節の角度は踵骨と下腿部の相対角度で算出した。距骨下関節角度はIC直後の動きに個人差が見られ、IC直後に直ちに外反するもの、IC直後少し外反し一度動きが緩やかになったのちに再び外反するもの、IC直後外反するがすぐに内反し、再び外反するものがあった。

算出された各セグメントの動きからセグメント間の動きの関係を分析するために、波形から以下の値を抽出した。踵骨の絶対角度と前足部の絶対角度の波形からIC直後の外反方向への角度変化を初期踵骨外反、初期前足部外反と定義し、立脚中期以降の外反方向への角度変化を後期踵骨外反、後期前足部外反と定義した。

同一肢内の動きの関係の分析では、ICでの接地角度やIC直後の初期踵骨外反の動きがその後の動きとどのような関係にあるかを知るため、各対象者の一歩ごとの

表2 算出項目間の関係

a) 同一肢内の関係

	ICの距骨下関節角度	後期前足部外反角度
初期踵骨外反角度	$r = -0.39$ **	$r = 0.25$ **

b) 同一被験者内の左右足の関係

	左の初期踵骨外反角度	左の後期前足部外反角度
右の初期踵骨外反角度	$r = 0.89$ **	—
右の後期前足部外反角度	—	$r = 0.83$ **

c) アーチ高率との関係

	初期踵骨外反角度	後期前足部外反角度
アーチ高率	$r = 0.29$	$r = -0.26$

ピアソンの積率相関係数において、条件間で有意差が認められたものは** ($p < 0.01$) で示す。

データを用いて分析した。ICの距骨下関節角度と初期踵骨外反の間には負の相関があり、ICで距骨下関節が内反位で接地するとその後の初期踵骨外反が大きくなる傾向があった(表2-a)。また、初期踵骨外反と後期前足部外反の動きの間には高い相関関係はなかった(表2-a)。

同一被験者内の左右足の関係の分析では、左右足が対称な動き方をしているかを知るために分析した。今回は個人での傾向を知るために、各対象者の10歩分の平均値を用いて分析した。初期踵骨外反角度の左右の関係では $r = 0.89$ 、後期前足部外反角度の左右の関係では $r = 0.83$ と高い相関関係があった(表2-b)。

歩行中の足部の動きとアーチ高率との関係は、アーチ高率と初期踵骨外反及びアーチ高率と後期前足部外反の動きに相関関係はなかった(表2-c)。

IV. 考 察

再現性の結果から、2日間の静止立位時の角度が異なっているため、被験者間で絶対角度を比較することは困難であると判断した。先行研究には、足部の多セグメントモデルを用いて再現性を分析した報告があり、試行間再現性は良好だが、日間再現性はマーカー再貼付による影響を受けやすいと報告している⁶⁾。今回の結果でも2日間の波形のずれはマーカー再貼付によりゼロ点が異なってしまった影響が大きいと考えられる。足部へのマーカー貼付は軟部組織による影響で触診が非常に難しい。被験者間の絶対角度の比較が可能であれば、研究はさらに広がると考えるが、三次元動作解析装置での計測には限界がある。

各セグメントの動き方の結果では、IC直後の下腿の絶対角度や距骨下関節角度で個人差は見られたが、他のセグメントについては個人差が少なく、類似した動き方

をしていた。そのため足部の動きは動く角度の大小が他のセグメント、次の歩行周期に影響しているのではないかと考え、同一肢内の動きの関係を分析した。ICでの距骨下関節角度は直後の初期踵骨外反と弱い負の相関が見られたが、初期踵骨外反と後期前足部外反の間に相関関係はなく、動きに多様性があった。これは、IC直後の踵骨の動く角度では立脚後半の前足部の動く角度は予測することができないことを意味している。つまり、足部の動きは足部内の動きだけで決定されるものではなく、他の要因が関係していることが考えられる。金らは外反母趾患者の歩行中の骨盤運動を計測し、歩行中の骨盤運動の左右非対称が足部での地面の蹴り方の左右差を生み出し、外反母趾への外力を増大させるひとつの要因である可能性がある⁷⁾と報告している。足部の動きに關係する要因として足部に対する骨盤や胸郭の位置、姿勢制御に用いる運動戦略(足関節戦略や股関節戦略など)が關係するのではないかと推測する。

同一被験者内の左右足の関係では左右の初期踵骨外反や左右の後期前足部外反の間で高い相関関係があり、左右足の動きは類似していることがわかった。左右類似した動きをした場合、運動連鎖も左右で類似した状態になる可能性がある。しかし、臨床では片側の足部に痛みを訴える場合も多く、そのような場合は疼痛側の動きを代償して反対側の動きも変化している可能性がある。既往やスポーツ歴、足部以外の身体機能との関係を十分に評価し、患者の動きを正確に捉えていくことが必要だと考える。今後は、身体他部位から足部への影響や片側へ疼痛や障害を持った場合の足部の動きなどを調べて行きたい。

今回は対象者のスポーツ歴などは特に確認せずに計測を行った。その結果、様々な動きをする人が確認された。今後はスポーツ歴なども対象者選択の際に考慮に入れる

必要があると考える。今回対象とした足部の動きは算出される値が非常に小さいことから、算出された角度をどのように解釈するかは今後検討が必要である。また、同一肢内の動きでもばらつきは多少認められ、足部のような動きの小さいセグメント同士で動きに法則性を見出すことは極めて難しいと考える。

足部を捉えるには骨の動き以外で他に計測可能な項目と組み合わせて検討していく必要があると考える。

謝辞 本研究を進めるにあたり、ご指導頂きました国際医療福祉大学大学院福祉援助工学分野の田中繁教授、野村歡教授に感謝の意を表します。また、計測や様々な場面でご協力頂きました法政大学 関健志様、計測時にご協力頂きました多くの協力被験者様に感謝致します。

引用文献

- 1) Sam K, Ziva Y: Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait Posture*, 2007, 25(1): 127-134.
- 2) 藤高紘平, 岸本恵一, 大槻伸吾・他: 大学サッカー選手における足部形態とスポーツ傷害の関係, 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 2008, 17: 17-19.
- 3) 入谷 誠: 整形外科理学療法理論と技術. 山寄勉編集, MEDICAL VIEW, 東京, 1997: 51-53.
- 4) Lundgren P, Nester C, Liu A, et al.: Invasive in vivo measurement of rear-, mid-and forefoot motion during walking, *Gait Posture*, 2008, 28(1): 93-100.
- 5) 藤田翔平: 内側縦アーチ高率と後足部アライメントの関係, 理学療法学, 2009, 36(1): 510.
- 6) Carson MC, Harrington ME, Thompson N, et al.: Kinematic analysis of a multi-segment foot model research and clinical applications: a repeatability analysis, *J Biomech*, 2001, 34(10): 1299-1307.
- 7) 金 承革, 高橋正明, 福井 勉・他: 外反母趾患者の運動機能病態の力学的計測と解析, バイオメカニズム学会誌, 2005, 29(1): 36-46.