健常成人における足底圧中心軌跡の特徴

Characteristics of Center of Foot Pressure Path of Healthy Adults

堀本ゆかり^{1,2)} 丸山 仁司³⁾

YUKARI HORIMOTO^{1,2)}, HITOSHI MARUYAMA³⁾

¹⁾ Tokoha Gakuen Shizuoka Rehabilitation Vocational School: 3-7-23 Takajou, Aoi Ward, Shizuoka City, Shizuoka 420-0839, Japan. TEL +81 54-248-1229

²⁾ Physical Therapy Section, Health Sciences Program, Health and Welfare Sciences Course, Graduate School of International University of Health and Welfare

³⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 25(5): 687-691, 2010. Submitted Apr. 6, 2010. Accepted May 22, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to measure the stance phase walking pattern of young adults and investigate the characteristics by comparing it with prior reports that the center of foot pressure (COP) moves from the heel to the vicinity of the 5th metatarsal before advancing to the big toe. [Subjects and Methods] The subjects were 17 vocational students who gave their consent to participation in the study. In addition to measurements of 10 m walking and physique, we investigated the characteristics of COP in the stance phase. [Results and Conclusion] COP showed a tendency to a central pattern. From the load response phase to the end of the stance phase, we found the time factor tended to be prolonged. The results suggest, that particularly after the initial contact, the movement of the lower ankle joint, foot length and width (arch function), and the angle of dorsiflexion of the middle toes contribute to functional adjustments of COP.

Key words: center of foot pressure, percent COP, foot

要旨: [目的] 本研究の目的は青年期の立脚期歩行パターンを測定し、足圧中心軌跡は踵から第5中足骨付近まで進みその後第1趾に向かうという先行研究と比較し、その特徴を調査することである。[対象と方法] 対象は調査・計測に関して同意の得られた専門学校学生17例とし、身体計測と10 m歩行計測に加え、立脚期の足底圧中心軌跡の特徴について検討した。[結果と結語] その結果、足底圧中心軌跡が中央型となる傾向があり、荷重応答期から立脚終期に時間要因が延長する傾向を認めた。特に初期接地以降の距骨下関節の動きおよび足長、足幅（横アーチ機能）、中足趾節関節背屈角度等が足底圧中心軌跡を調整する機能として寄与することが示唆された。

キーワード: 足底圧中心軌跡, パーセントCOP, 足部

¹⁾ 常葉学園静岡リハビリテーション専門学校: 静岡県静岡市葵区鷹匠3丁目7番23号 (〒420-0839) TEL 054-248-1229

²⁾ 国際医療福祉大学大学院 保健医療学研究科保健医療学専攻理学療法学分野

³⁾ 国際医療福祉大学 保健医療学理学療法学科

受付日 2010年4月6日 受理日 2010年5月22日

I. はじめに

ヒトの歩行を特徴づけるものには、多くの要因が影響している。しかし、唯一床面と接している足部は、身体重量を支え、また、伸張性・柔軟性を発揮することによって荷重による衝撃を吸収し、接触面の凹凸にも適合するような優れた構造を持っている。また、支持機構については、靭帯や関節といった構築学的因子と、筋群の活動による機能的因子が複雑に関与している。これらの因子の働きは、荷重量によって変化する。例えば内側縦アーチに体重ほどの圧がかかった場合、アーチの保持には靭帯や足底腱膜で十分であり、荷重が大きくなって初めて筋の参加が得られる。

Perry¹⁾によると歩行時の踵部と前足部が床に接触するタイミングの違いによって3つの支持パターンがあり、通常、踵接地、足底接地（踵と前足部）、そして前足部接地の順で起こる。立脚期における足底圧中心軌跡は踵から足底外側を経由して前足部に移動し、さらに内側前足部から母趾へと移動するのが一般的である。健康人の足底圧中心軌跡については、1939年にElftmanが踵から第2, 3中足骨頭の間を直線的に進み、その後第1趾に向けて屈曲する²⁾とし、その後足立らがその見解を支持する報告を行った³⁾。一方で、Napier⁴⁾や中村ら⁵⁾の報告では足底圧中心軌跡は踵から第5中足骨付近まで進みその後第1趾に向かうと報告し、一致した見解が得られていない。また、本岡ら⁶⁾は健康者46名について5秒間の自由歩行を計測し、足圧中心（COP）の軌跡パターンとその頻度を調べた。その結果、内側・中央・外側の3分類のうち、中央型が多いという結果が得られている。以上のようにヒトの歩行は一概に様な歩容を示していない。

宮原⁷⁾は圧力分布測定器を用いて、正常男子31名の自由歩行時の足圧中心軌跡を測定し、足内側アーチ、歩幅、歩隔、歩向角、距骨下関節運動との関連について調査した。前足部の圧分布では、第1中足骨頭部に集中するタイプと第2, 3中足骨頭部に集中するタイプ、また、両者の要素をもつタイプに分類している。荷重圧の集中箇所により、足内側縦短縮の程度、距骨下関節の内がえし角度および歩行角、歩幅などに差が生じている。このことにより、習慣化する足底圧中心軌跡の変化の状況はその後の歩容や姿勢に影響を与える要因となり得る事がわかる。

このように、足部機能の動的評価は、歩行機能を検討する上で非常に重要である。しかも、年齢の推移に伴って、体型・姿勢・健康状態の変化および疾病の罹

患により、さらに様相を変えていくはずである。

また、文部科学省のデータ⁸⁾にも示される通り、この30～40年という短い時間の中で児童・生徒などの生活習慣の変化や姿勢、運動特性の低下が報告されている。このように運動特性が変化しているとすると、青年期の加齢的变化は加速し、現在の青年層が高齢者になる頃には、これまでの研究報告の傾向があてはまらないことが予測される。

本研究の目的は青年期の歩行パターンを測定し、足圧中心軌跡は踵から第5中足骨付近まで進みその後第1趾に向かうという先行研究と比較し、その特徴を調査することである。事前調査の段階で、青年期の足底圧中心軌跡が中央寄りに移動するのを経験した。本調査でも、本岡ら⁶⁾の報告のように足底圧中心軌跡の傾向は中央型が多いと仮説をたてた。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は事前に計測内容の説明とデモンストレーションを行い本研究に対して賛同し、署名にて同意が得られた医療系専門学校生17名とした。内訳は男性9名、女性8名であった。対象者の平均年齢は 22.9 ± 3.4 歳、平均身長は 166.3 ± 7.4 cm、平均体重は 57.5 ± 6.6 kg、平均BMIは 20.6 ± 1.8 である。現在加療中の整形外科疾患のあるものは除外した。また、本調査で得られた個人情報管理には十分留意した。

2. 方法

身体計測において、身長、体重、BMI、棘果長、足長、足幅、足内側縦アーチ、距骨下（ST）関節（内反角度／外反角度）、横足根（MT）関節（内がえし／外がえし）、中足趾節（MTP）関節背屈角度、母趾外反角度について測定した。中足趾節（MTP）関節背屈角度は舟状骨結節、第一中足骨頭および第一基節骨の3点がなす角度、母趾外反角度は第一中足骨頭および第一基節骨がなす角度とし、臥位で他動的に可動域を計測した。

10 m 歩行計測は前後2 mの補助歩行路を設けた直線歩行路を任意と最大努力で歩行した時の時間と歩数を3回計測し、平均値を採用した。また、この計測での足部の動きを前額面および矢状面についてデジタルカメラを用いて撮影した。

重心動揺計による足底データ計測はZebris社製下肢荷重・重心動揺計測器PDM-Sを用い、足底圧中心の計測を行った。計測ではプラットホームの周囲にフロアー

$$a/b \times 100 = \%COP$$

図1 COPの軌跡と% COP の定義 (本岡ら⁶⁾)

図2 COP軌跡の分類 (本岡ら⁶⁾)

マットを敷き、段差を解消したうえで直進歩行をさせた。プラットホームに適切に接地するよう3回練習させた上で、本測定を行った。測定後、床反力波形を確認し波形の異常を認めた場合は、追測定を行った。得られた床反力データはJ. Perry 博士¹⁾の「ランチョ・ロス・アミーゴ歩行分析法」に基づき、立脚期5相にまたがる両脚合計160画像の足底分布図を出力し、所要時間を算出した。

本岡ら⁶⁾は足底分布図の外周に枠を引き、その中央に内側から外側へ線を引き、その線分の全長をb、さらに同位置の内側縁から足底圧中心軌跡までの交点の距離をaとした。この交点の距離を全長で除し100%として正規化したものをパーセントCOP (以下、%COP) と定義している (図1)。また、この% COP が0~33.3の間にあるものを内側型、33.3~66.6を中央型、66.6~100を外側型と分類している (図2a)。これより対象者16名に対してそれぞれ2歩分、計32歩の足底分布図より最も多い型を調査した。さらに今回、中央型が多くなることが予測されたため、さらに% COP から中央-内側

型、中央-中央型、中央-外側型の3つに分類した (図2b)。また、足底分布図より立脚後期以降の足圧中心軌跡の移動状況を確認した。

統計処理は日本科学技術研修所JUSE-StatWorks[®]/V4.0を使用した。身体計測および歩行データに関しては平均値、標準偏差、歪度、尖度など基本統計量を確認した後、各項目について性差の有無について調べた。また、初期接地から前遊脚期までの立脚期各相の時間要因については一元配置分散分析で各相間に差があるか確認した後、主成分分析を用いて影響を及ぼす因子を抽出した。判定基準は $p<0.05$ である。

また、% COP に影響を与える要因を抽出する目的で% COP を目的変数、身体計測各項目と歩行計測データを説明変数として重回帰分析を行った。その際、分散比が2.0以上のものを変数選択の基準とした。

III. 結 果

身体計測では距骨下関節内反角および外反角、中足趾節関節背屈角、母趾外反角、外がえしの角度について女性のほうが大きい傾向であった。また、最大努力下の歩行では男性がストライドを大きくするのに対して、女性は歩調をあげて歩行スピードをあげる傾向がみられた。

立脚期各相の所要時間における一元配置分散分析の結果では、1%有意で差を認めた。表1に示す立脚期各相の所要時間の差の推定では荷重応答期から立脚中期と立脚中期から立脚終期は1%有意、初期接地から荷重応答期と立脚中期から立脚終期、初期接地から荷重応答期と立脚終期から遊脚初期は5%有意であった。先行研究と比較すると各相間の所要時間には明らかに差異があり、今回の調査では特に荷重応答期から立脚終期に延長する傾向を認めた。また、立脚期各相での所要時間に影響する要因を主成分分析で検討した結果、いずれも第3主成分までの累積寄与率は0.6以上であり、時間要因に対して距骨下関節の内外反角度、足幅および足長、横足根関節内がえしと中足趾節関節背屈角度が影響している事がわかった。

さらにデジタルカメラで撮影した足部の動きを見ながら、足圧中心軌跡を確認した。距骨下関節回外位で初期接地をむかえた12例 (70.6%) と距骨下関節回内位で初期接地をむかえた5例 (29.4%) を比較すると、回内位の方がより小趾側への荷重が認められた。また、距骨下関節回外位のものは回内位の者に比べて初期接地から前足部への移動が速い傾向を認めた。

表1 立脚期各相の所要時間の差の検定

A 因子 1	A 因子 2	平均値 1	平均値 2	差	上限 (-95%)	下限 (-95%)	lsd	検定
初期接地～荷重応答期	荷重応答期～立脚中期	0.1578	0.1466	0.0113	0.0268	-0.0043	0.0156	
初期接地～荷重応答期	立脚中期～立脚終期	0.1578	0.1759	-0.0181	-0.0026	-0.0337	0.0156	*
初期接地～荷重応答期	立脚終期～遊脚初期	0.1578	0.1669	-0.0091	0.0065	-0.0246	0.0156	
荷重応答期～立脚中期	立脚中期～立脚終期	0.1466	0.1759	-0.0294	-0.0138	-0.0449	0.0156	**
荷重応答期～立脚中期	立脚終期～遊脚初期	0.1466	0.1669	-0.0203	-0.0047	-0.0359	0.0156	*
立脚中期～立脚終期	立脚終期～遊脚初期	0.1759	0.1669	0.0091	0.0246	-0.0065	0.0156	

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

図3 足底分布図（足底圧中心軌跡）

図3のように足底分布図より得られた足圧中心軌跡(COP)のパターンは16例が中央型であり、分布は34.4%～61.1%であった。左右差および男女差について統計的有意差は見られなかった。さらに、中央型16例(32歩分)の足圧中心軌跡のパターンは中央-内側型12歩(37.5%)、中央-中央型13歩(40.6%)、中央-外側型7歩(21.9%)と中央から内側側を移動する傾向であることがわかった。

また、足底分布図より立脚後期以降の足圧中心軌跡をみると、右脚は全てのものが第1～2趾あるいは第2中足骨部を通過しているのに対し、左脚は第1中足骨部から第2～3趾間に分布していた。その後、遊脚初期にかけて母指側への偏位量を比較すると1/2横指に移動したものが5名(29.4%)、1横指母趾側に移動したものが4名(23.5%)、以外の8名(47.1%)は概ね直線的に遊脚初期に移行していた。

%COPに影響する要因を抽出する目的で行った重回帰分析では足幅、距骨下関節、努力歩行時の歩調が選

ばれた。特に足幅、距骨下関節内反角は分散比が大きく、重相関係数は0.759であった。

IV. 考 察

山口ら⁹⁾は「歩行における直線的加速は身体各関節の矢状面と水平面での動きによって達成される(中略)足は全体として一つのユニットであり、単関節のみで運動連鎖を論じることは困難である」と述べている。今回、青年期の対象をもとに、時間要因と%COPに着目し、各関節の動きの関連性について先行研究と比較しながら測定を行った。

まず、立脚期各期の所要時間を一元配置分散分析で分析したところ時間要因に差が見られ、立脚初期の所要時間は短く、後期は延長していた。文献では荷重応答期から立脚後期にかけての時間配分が大きいと述べられているが、所要時間の分析の結果では立脚初期から早期に足圧中心が前方に移動していることを意味している。実際に足圧中心軌跡を確認すると17例のうち12例が距骨下関節回外位であり、荷重が早期に前方に移動していた。このパターンでは、踵接地直後の衝撃吸収をする回内現象が制限されるため、その置換的停滞を作り出せず、結果として足圧中心軌跡はより早く前方へと移動する傾向が見られた。今後、衝撃吸収と荷重の分散が適切に行われているかどうかを検証する必要がある。

健常者の足圧中心の軌跡は、踵に始まり足部の外側を進み中足骨部で向きをかえ、内側に向かった後、母趾で蹴り出すという報告が多く見られる^{2,3,10,11)}。今回測定した%COPの軌跡は中央内側寄りを移動することがわかった。これは、本岡ら⁶⁾の見解とも一致している。また、立脚後期の軌跡でも直線的に移動するものが多く、歩行中の位置の変化が最小限に抑えられてい

る傾向があると考えられる。これには歩行環境の変化や靴の機能向上などが影響しているものと考えられる。

重回帰分析や主成分分析で選ばれた足長や足幅、距骨下関節角度が足底圧中心軌跡に影響を与えるのは周知のことであるが、本稿では特に回旋方向に影響する足部各関節の動きに注目する。山口ら⁹⁾によると「ST関節回外位ではMT関節縦軸で前足部を回内、斜軸で底屈・内転（回外要素）し、ST下関節回内位では縦軸で前足部を回外、斜軸で背屈・外転（回内要素）する。多くはMT関節縦軸での動きに依存し、ST関節を回外位にすると前足部は回内し、母趾側に荷重がかかり、逆にST関節を回内位にすると前足部は回外し、小趾側に荷重がかかることが多い」と述べている。この例でも示されているように、立脚初期の距骨下関節の動きはその後の横足根関節、中足趾節関節、横アーチへの運動連鎖に大きく関わっていく。これは同時に時間的因子にも大きく影響している。立脚期時間と初期接地パターン距骨下関節回外位のデータプロットをみても、距骨下関節回外位では荷重が早期に前方に移動する傾向が得られた。

また、足幅は横アーチや足趾の配列に寄与し、推進期の荷重量すなわち前方への蹴りだしに影響を及ぼす。荷重量に関する文献では、篠塚ら¹²⁾が第2中足骨頭付近で最大の圧力となる者は第3中足骨頭付近で最大の圧力となるものに比べて荷重位での下腿-踵部角(LHA)が外反位となることがわかったと報告している。加辺ら¹³⁾によると母趾は偏位した体重心を支持する「支持作用」、第2～5趾は変位した体重心を中心に戻す「中心に戻す作用」を有するとしている。今回の測定では足底圧中心軌跡に注目したため最大荷重圧の詳細な検討はしていないが、画像で確認すると第2趾～3趾の者が多く見受けられた。荷重圧の分布が第5趾まで偏位しているものは足底圧中心軌跡の偏位量が大きい傾向が見られた。これは、加辺ら¹³⁾の報告とも一致している。

今回の研究では、立脚期足部各関節の動きの計測にまでは至らなかった。また、運動連鎖を考えると、足部より中枢側の関節ユニットの動きは歩行時の足部機

能に大きく影響する。かねてからの研究報告と今回の結果に差があるとはいえ、直ちに数年後疾患に結びつくとも言い難い。特に、本研究では静的な関節運動評価で歩行時の足部機能を検討するところに論説の限界がある。今後は三次元動作解析装置などを用い、動作中の関節角度のデータを加え再検討したのち、見解が一般化できるか検討したい。今後、実験計画を工夫し、より詳細な歩行機能評価を検討するとともに、継続的なデータの蓄積を通して信頼性を高めながら、理学療法介入の必要性について検討したい。

引用文献

- 1) Jacquelin Perry: 足関節・足部複合体 ペリー歩行分析 正常歩行と異常歩行. 医歯薬出版, 東京, 2007, pp30-50.
- 2) Elftman: The force exerted by the ground in walking. *Arbeitsphysiologie*, 1939, **10**: 485-491.
- 3) 足立和隆, 遠藤萬里, 西澤 哲: バイオメカニズム11. 東京大学出版会, 東京, 1992, pp65-74.
- 4) Napier J: The antiquity of human walking. *Readings from Scientific American*. 1967, **216**(4): 56-66.
- 5) 中村 浩, 加倉井周一: 静的および動的荷重位における足内側縦アーチの動きと機能. *理学療法科学*, 2002, **17**: 253-258.
- 6) 本岡 勉, 佛淵孝夫, 田中博史: 健常者の歩行分析—足圧中心は足部外側を通るか—. *日足外会誌*, 2005, **26**(2): 22-25.
- 7) 宮原憲次: 圧力分布測定器で測定した正常成人における歩行時足底圧分布. *日本整形外科学会誌*, 1993, **67**: 449-462.
- 8) 文部科学省, 「平成15年度体力・運動能力調査」
- 9) 山口光圀, 福井 勉, 入谷 誠: 結果の出せる整形外科理学療法 運動連鎖から全身をみる. *Medical View*, 東京, 2009, pp178-223.
- 10) 牧川方昭, 武仲善孝, 葦原 滋・他: 種々の歩行における動的足底圧分布の違い. *整形外科バイオメカニクス*, 1983, **5**: 249-252.
- 11) 桜井進一, 坂本雅昭, 中澤理恵・他: 健康成人女性の歩行分析—足圧中心軌跡による分類法の検討—. *理学療法科学*, 2007, **22**: 209-213.
- 12) 篠塚信行, 鳥居 俊: 歩行時の中足骨部足底圧と足部アライメントの関係. *靴の医学*, 2007, **21**: 87-90.
- 13) 加辺憲人, 黒澤和生, 西田祐介・他: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. *理学療法科学*, 2002, **17**: 199-204.