歩行時における足圧中心軌跡と距骨下関節の可動性の関係

Relationship between the Trajectory of Center of Pressure during Gait and Mobility of the Subtalar Joint

江戸 優裕¹⁾ 西江 謙一郎^{2,3)} 根本 伸洋⁴⁾ 中村 大介⁵⁾

MASAHITO EDO, RPT, PhD¹⁾, KENICHIRO NISHIE, RPT, MS^{2,3)}, NOBUHIRO NEMOTO, RPT, MS⁴⁾,
DAISUKE NAKAMURA, RPT, PhD⁵⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science Technology, Bunkyo Gakuin University: 1196 Kamekubo, Fujimino, Saitama 356-8533, Japan TEL +81-49-261-6488 E-mail: medo@bgu.ac.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, IMS Rehabilitation Center Tokyo Katsushika Hospital

³⁾ Department of Assistive Technological Science, Majoring of Health and Medical Sciences, Graduate School of International University of Health and Welfare

⁴⁾ Department of Rehabilitation, IMS Tokyo Katsushika General Hospital

⁵⁾ Department of Physical Therapy, School of Nursing and Rehabilitation Sciences, Showa University

Rigakuryoho Kagaku 33(1): 169-172, 2018. Submitted Aug. 21, 2017. Accepted Oct. 9, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] This study aimed to clarify the relationship between the trajectory of center of pressure (COP) during gait and mobility of the subtalar joint (STJ). [Subjects and Methods] The subjects were ten healthy adults. The trajectory of the COP during gait was measured by a foot pressure distribution measuring system. The positions of COP in the rearfoot, midfoot and forefoot were calculated from the COP trajectory and examined to estimate the correlation with measured physical parameters of STJ. [Results] The COP traced a trajectory that passed from rearfoot to midfoot slightly on the outer side of the foot, and moved inward in the forefoot. In addition, the outward trajectory of COP in the rearfoot and forefoot might be related to the small pronation mobility of STJ. [Conclusion] The results of this study suggest that the habitual activities of supination muscles of STJ lead to a shift in the COP trajectory to the outside and a reduction of pronation mobility of STJ.

Key words: gait, center of pressure, subtalar joint

要旨:〔目的〕歩行時の足圧中心軌跡と距骨下関節の関係を明らかにすることとした。〔対象と方法〕対象は健康成人10名とした。足圧分布測定器を用いて至適速度での裸足歩行時の後・中・前足部における足圧中心位置を捉えた。そして、距骨下関節に関わる10項目の理学所見との関係を分析した。〔結果〕足圧中心は後足部から中足部までは足底やや外側を通り、前足部では内側に抜けていく軌跡を描いた。また、足圧中心が後足部と前足部レベルで外方を通過するほど、距骨下関節回内可動性が小さいことがわかった。〔結語〕距骨下関節回外筋の習慣的な活動が、歩行時の足圧中心軌跡の外方化と距骨下関節回内可動性の減少を招くことが示唆された。

キーワード: 歩行, 足圧中心, 距骨下関節

¹⁾ 文京学院大学 保健医療技術学部 理学療法学科: 埼玉県ふじみ野市亀久保1196 (〒356-8533) TEL 049-261-6488

²⁾ イムスリハビリテーションセンター 東京葛飾病院 リハビリテーション科

³⁾ 国際医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科 保健医療学専攻 福祉支援工学分野

⁴⁾ イムス東京葛飾総合病院 リハビリテーション科

⁵⁾ 昭和大学 保健医療学部 理学療法学科

I. はじめに

足圧中心 (Center of Pressure : 以下, COP) は, 接地面において床反力が作用する平均位置であり¹⁾, 床面が身体を支持しているとみなせる点と解釈されることから, その分析は身体運動を力学的に理解するうえで有用である. 歩行立脚期における COP は, 踵から足底外側を経由して前足部で内側に向かい, 母趾へと移動していくという認識が一般的と思われるが, 詳細には様々な報告がされている. 初めて報告したのは 1939 年の Elftman²⁾とされており, 踵からはほぼ直線的に第 2, 3 中足骨頭付近まで進んだ後に母趾に向かって屈曲すると報告した. その後, 1967 年に Napier³⁾は踵から弯曲して足底外側を通り, 第 5 中足骨頭付近まで進んだ後に母趾に向かって屈曲すると報告した. 日本人を対象とした最近の報告では, 足底の中央やや外側を通して前足部に至り, 母趾に向かう軌跡が示されることが多い⁴⁻⁷⁾. また, 外反母趾⁸⁾や浮き趾⁹⁾といった足部の変形のみでなく, 変形性膝関節症¹⁰⁾や膝関節トレーニング¹¹⁾, 高位脛骨骨切り術¹²⁾によっても歩行時の COP 軌跡が変化することが示されている.

COP 位置は足部モーメントの影響を大きく受ける¹³⁾ことから, 先行研究における COP 軌跡の変化にも足関節モーメントを発揮するための足部機能が関与すると考えられる. 距骨下関節 (Subtalar joint : 以下, STJ) はその肢位により足部全体の剛性と柔軟性を調節する関節¹⁴⁾として, 足部の関節の中でもとりわけ重要視されており, 歩行時の COP 位置に影響する可能性がある. また, STJ は踵骨の回内外に下腿の回旋を連動させる役割を有すること¹⁵⁾や, 膝関節回旋位でのトレーニングにより歩行時の COP 軌跡が変化したという報告¹¹⁾もあることから, 下腿の回旋も歩行時の COP 位置に影響する可能性がある. こうした STJ に関連し, かつ臨床現場で評価可能な理学所見と歩行時の COP 位置との関係を示す報告は渉猟の限り見当たらない. この関係が明らかになれば, 歩行時の COP 動態をコントロールするための STJ への理学療法介入の糸口になると考えられる.

このような背景から, 本研究の目的は歩行時の COP 軌跡と STJ に関連する理学所見の関係を明らかにすることとした.

II. 対象と方法

1. 対象

対象は健康成人 10 名 (男性 7 名, 女性 3 名) で, 年齢 27.4 ± 4.6 歳, 身長 169.1 ± 7.8 cm, 体重 59.2 ± 8.5 kg, BMI 20.7 ± 2.5 kg/m² (平均 $\pm$ 標準偏差) とした. 除外基準は, 下肢の手術の既往, 過去 6 ヶ月以内における下肢の整形外科的疾患および疼痛があったものと

した.

対象者には研究の内容を十分に説明し, 書面で同意を得た. 本研究は対象者の自由意思を尊重するよう十分配慮して行った.

2. 方法

全対象者に対して, 歩行時の足底圧の計測と STJ に関わる理学所見の評価を行った. なお, 対象肢は全例において利き脚であった右下肢とした.

歩行時の足底圧の計測は, 足圧分布測定器 (Footview Clinic, NITTA 社製) を用い, 計測周波数は 40 Hz とした. 課題動作は至適速度での裸足歩行とし, 十分に練習した後に 3 回計測した. なお, 歩行路には 6 mm 厚のシートを敷き, 測定器との高低差を解消した. 得られた足圧分布図を本岡ら⁵⁾の方法を参考にし, 進行方向に直角で足趾前縁との接線を上底, 踵後縁との接線を下底とし, 足底内側縁・外側縁を脚とした台形で表現した (図 1). そして, 台形の高さ 1/4, 2/4, 3/4 高位における内側脚から COP 軌跡との交点までの距離を両脚間の距離で除した値の百分率を, COP 軌跡の指標とした (以下, %COP). なお, これら 3 つの高位を後・中・前足部とした. また, この %COP の算出方法は足角の影響を受けるため, 台形の両脚が成す角の二等分線が進行方向に対して成す角を足角として算出し分析に加えた. 画像上での距離・角度の計測は, 画像解析ソフトウェア (ImageJ1.45I, 米国国立衛生研究所製) を用い, 3 回計測した平均値を分析した.

STJ に関わる理学所見の評価は 1 度単位で判定可能な角度計 (Otto Bock 社製) を用いて非荷重下で行った. 評価項目は, ① STJ 回外可動域¹⁴⁾, ② STJ 回内可動域¹⁴⁾, ③ STJ 中間位 (回外可動域と回内可動域を 2 対

図1 %COPの算出方法 (代表例)

1に分ける角度；回外+）¹⁴⁾，④ STJ 全可動域（①と②の和）¹⁴⁾，⑤立脚踵骨自然肢位（Resting Calcaneal Stance Position；以下，RCSP；外方傾斜+）¹⁴⁾，⑥ Heel-Leg angle（後足部回外+）¹⁶⁾，⑦果部外捻角度¹⁴⁾，⑧膝関節自然肢位（外旋+）¹¹⁾，⑨膝関節内旋可動域¹¹⁾，⑩膝関節外旋可動域¹¹⁾の10項目とし，Seibel¹⁴⁾，新関¹⁶⁾，蒲田¹¹⁾の方法を参考にして，3回計測した平均値を分析に用いた。

統計分析は，前・中・後足部の% COP と STJ に関わる理学所見との関係について，足角を制御変数とした偏相関係数を用いて分析した。データの正規性は Shapiro-Wilk 検定により確認した。なお，全ての検定における有意水準は5%とし，統計解析ソフトウェア（IBM SPSS Statistics 21，IBM 社製）を使用した。

III. 結 果

% COP は後足部 $55.1 \pm 2.9\%$ ，中足部 $52.0 \pm 7.6\%$ ，前足部 $43.8 \pm 5.3\%$ であった。

偏相関分析の結果を表1に示す。後足部% COP と有意な相関が認められた項目は，② STJ 回内可動域 ($r=-0.72$) と⑤ RCSP ($r=0.73$) であった。中足部% COP はいずれの項目とも有意な相関を認めなかった。前足部% COP と有意な相関が認められた項目は，⑤ RCSP ($r=0.84$) と⑥ Heel-Leg angle ($r=0.78$) であった。

IV. 考 察

後・中・前足部% COP の結果より，歩行時の COP は後足部から中足部までは足底やや外側を通り，前足部では内側に抜けていく軌跡を描いており，多くの先行研究^{2,4-7)}と大筋で一致していた。% COP と STJ に関する理学所見との偏相関分析の結果より，COP が後足部レベルで外方を通過するほど STJ 回内可動域は減少，かつ立位において踵骨が外方傾斜しており，COP が前足部レベルで外方を通過するほど立位において踵骨が外方傾斜，かつ回外位にあることがわかった。すなわち，前足部と後足部レベルで COP が外方を通過するほど，荷重位，非荷重位にかかわらず STJ の回内可動性が小さいことがわかった。

本研究における後・中・前足部% COP は，立脚初期，中期および後期における COP 位置に概ね相当する¹⁷⁾。COP 位置は足部モーメントの影響を大きく受けること¹³⁾を踏まえると，本研究結果は立脚初期と後期に STJ 内部回外モーメントを大きく発揮する対象者ほど，STJ 回内可動性が小さいことを示唆している。正常歩行において立脚初期は前脛骨筋，後期は後脛骨筋や下腿三頭筋が特に大きく活動する局面であり¹⁸⁾，これらの筋は STJ に対して回外作用を有する。すなわち，これらの筋活動が大きいほど，後・前足部% COP は外方化するものと考えられる。そして，踵骨は脛骨長軸よりも外側に位置するため，立脚期に STJ は回外筋の活動がな

表1 % COP と STJ の偏相関係数

制御 変数	変数	mean $\pm$ SD	偏相関係数		
			後足部 % COP	中足部 % COP	前足部 % COP
	後足部% COP	(%・外方+)	55.1 $\pm$ 2.9	—	
	中足部% COP	(%・外方+)	52.0 $\pm$ 7.6	0.57	—
	前足部% COP	(%・外方+)	43.8 $\pm$ 5.3	0.69*	0.83**
	① STJ 回外可動域	(°)	23.6 $\pm$ 9.3	0.05	-0.34
	② STJ 回内可動域	(°)	5.9 $\pm$ 3.7	-0.72*	-0.24
	③ STJ 中間位	(°・回外+)	13.7 $\pm$ 6.2	0.17	-0.29
足角	④ STJ 全可動域	(°)	29.5 $\pm$ 10.4	-0.21	-0.41
	⑤ RCSP	(°)	-0.8 $\pm$ 3.9	0.73*	0.47
	⑥ Heel-Leg angle	(°・回外+)	-3.2 $\pm$ 3.2	0.63	0.48
	⑦果部外捻角度	(°)	18.6 $\pm$ 6.3	0.12	-0.23
	⑧膝関節自然肢位	(°・外旋+)	12.3 $\pm$ 5.5	0.28	0.14
	⑨膝関節内旋可動域	(°)	-2.6 $\pm$ 6.5	-0.46	-0.16
	⑩膝関節外旋可動域	(°)	31.2 $\pm$ 7.5	-0.07	0.05
				0.13	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

ければ過回内する環境といえる¹⁸⁾。歩行は日常的に繰り返される運動であることから、歩行時にSTJ内部回外モーメントを発揮する対象者はSTJ回外筋の活動が習慣化し、STJ回内可動性が減少する可能性がある。すなわち、本研究で認められた後・前足部のCOP外方化とSTJ回内可動性減少の関係には、STJ回外筋の活動が関与すると推察される。STJ回外可動域や下腿回旋に関する項目と% COPとの間に有意な相関が認められなかったのは、立脚期のSTJ内部回外モーメントの変化がSTJ肢位を大きく変化させるわけではなく、過回内を抑制するために作用することによると推察される。一方で、立脚中期にはこれらの回外筋の活動はそれほど大きくないため、中足部% COPはSTJに関するいずれの理学所見とも有意な相関を認めなかったと考える。今後、対象者数を増やすとともに、歩行中のSTJ動態や下腿の筋電図学的な分析を行うことで、これらの推論に対して一層言及できると考える。

本研究は立脚初期と後期のCOP位置がSTJの働きの影響を受ける可能性を示唆するものである。今回の結果から、STJ回外筋の習慣的な活動が、歩行時のCOP軌跡の外方化とSTJ回内可動性の減少を招くことが示唆された。

引用文献

- 1) 山本澄子, 石井慎一郎, 江原義弘: 基礎バイオメカニクス. 医歯薬出版, 東京, 2010, pp55-65.
- 2) Elftman HO: Forces and energy changes in the leg during walking. *Am J Physiol*, 1939, 125: 339-356.
- 3) Napier J: The antiquity of human walking. *Sci Am*, 1967, 216: 56-66.
- 4) 足立和隆, 遠藤萬里, 西澤 哲: 足圧分布の測定を主体とした総合的歩行分析システムの開発. *バイオメカニズム*, 1992, 11: 65-74.
- 5) 本岡 勉, 仏淵孝夫, 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. *日本足の外科学会雑誌*, 2005, 26: 22-25.
- 6) 桜井進一, 坂本雅昭, 中澤理恵・他: 健常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.
- 7) 堀本ゆかり, 丸山仁司: 健常成人における足底圧中心軌跡の特徴. *理学療法科学*, 2010, 25: 687-691.
- 8) 吉田隆紀, 谷埜予士次, 鈴木俊明・他: 外反母趾症状を有する女子大学生の歩行時の特徴: 健常若年女性との比較. *理学療法*, 2016, 33: 469-475.
- 9) 福山勝彦: フォースプレートを用いた浮き趾例における歩行の検討. *理学療法科学*, 2014, 29: 639-644.
- 10) Lidtke RH, Muehleman C, Kwasny M, et al.: Foot center of pressure and medial knee osteoarthritis. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2010, 100: 178-184.
- 11) 蒲田和芳, 外間源亮, 三田和広・他: 下腿内旋位でのレッグプレス運動が若年健常女性の歩行時足圧中心軌跡および膝関節回旋可動域に及ぼす効果. *ヘルスプロモーション理学療法研究*, 2013, 3: 15-19.
- 12) 川上秀夫, 菅野伸彦, 三木秀宣・他: 足底部を通過する足底圧中心点軌跡を評価する歩行解析システムの構築. *日本コンピュータ外科学会誌*, 2010, 12: 527-531.
- 13) 山崎 勉, 大野範夫, 小笹佳史・他: 整形外科理学療法の理論技術, メジカルビュー, 東京, 1997, pp172-189.
- 14) Seibel MO: Foot Function. 入谷 誠 (訳), ダイナゲイト, 東京, 2004, pp29-44, pp197-228.
- 15) 江戸優裕, 山本澄子: 踵骨一下腿の運動連鎖の動態特性. *理学療法科学*, 2012, 27: 661-664.
- 16) 新関真人: 図解姿勢検査法. 医道の日本社, 東京, 2005, pp62-77.
- 17) Sole G, Pataky T, Sole CC, et al.: Age-related plantar centre of pressure trajectory changes during barefoot walking. *Gait Posture*, 2017, 57: 188-192.
- 18) Neumann KG: 観察による歩行分析. 月城慶一, 山本澄子, 江原義弘・他 (訳), 医学書院, 東京, 2005, pp47-60.