足関節肢位の違いが片脚立位時の下肢・骨盤・胸郭の運動学的パラメータに与える影響

Effect of the Different Ankle Alignments on Kinematic Parameters of the Pelvis, the Thorax and the Lower Extremities during One-legged Standing

斉藤 嵩¹⁾ 勝平 純司²⁾ 丸山 仁司²⁾

TAKASHI SAITO¹⁾, JYUNJI KATUHIRA²⁾, HITOSHI MARUYAMA²⁾

¹⁾ Kanuma orthopedic: 2-2-33 Azuzmatyout, Kanuma-shi, Tochigi, 322-0022, Japan. TEL+81 289-60-5161
E-mail: acetakashi18@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 28(1): 65-69, 2013. Submitted Jul. 20, 2012. Accepted Sep. 13, 2012.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to show the effect of different ankle alignments on kinematic parameters of the lower extremities, pelvis and thorax in one-legged standing. [Subjects] Forty young healthy subjects participated in this study. [Method] We employed a 3-dimensional motion analysis system to capture kinetic data of one-legged standing. Ankle alignments were set in five experimental conditions which were eversion, inversion, plantar flexion and dorsal flexion using a slope of 10 degrees and a free alignment without it. [Result] Significant differences were observed mainly in the coronal and horizontal planes. [Conclusion] Postural control in the coronal plane was activated by change of base of support, and the kinetic chain of the hip and pelvis reacted to changes in ankle alignment.

Key words: ankle joint, kinetic chain, postural control

要旨:〔目的〕片脚立位時における足関節肢位の変化が下肢、骨盤、胸郭にどのような変化を起こすかを検討し、理学療法評価の一助とすることである。〔対象〕健康成人男性40名とした。〔方法〕三次元解析装置を用い、10°の斜面台にて足関節回内、背屈、回外、底屈と通常肢位の計5条件にて片脚立位を行い、骨盤、胸郭、下肢三関節の角度変化を検討した。〔結果〕前額面上では、回内と回外で有意差がみられた。水平面上では、回内、背屈間で同様の変化を回外、底屈間でも同様の変化が起きた。〔結語〕足関節肢位変化により、前額面上では支持基底面変化による姿勢制御が起き、水平面上では股関節、骨盤で角度変化が起きた。

キーワード: 足関節、姿勢制御、三次元動作解析

¹⁾ 鹿沼整形外科: 栃木県鹿沼市東町2-2-33 (〒322-0022) TEL 0289-60-5161

²⁾ 国際医療福祉大学 保健医療学部 理学療法学科

I. はじめに

姿勢制御は安定性（身体を平衡状態にする能力）と定位（体節間同士の関係を保持する能力）のことを指し、姿勢調節を行うものであり¹⁾、姿勢評価をする上で重要な要素である。姿勢制御をする上で、重要となるのは足関節戦略と股関節戦略であり、若年者では特に足関節戦略を用いた立位制御を行うといわれている¹⁾。そのため、足関節は姿勢評価する上で重要な要素となる。また、足部は唯一地面に接する部分であり、その変化が身体重心、足圧中心、床反力ベクトルなどを変化させ、身体の姿勢や動作に影響を及ぼす²⁾。さらに、足部は荷重時の衝撃吸収機能、運動伝達、運動制御、状況変化に応じた身体制御など重要な役割を果たしているともいわれている^{3,4)}。

これらのことから、姿勢制御を考える際には足関節の状態を考慮することが重要である。また、足関節の異常な肢位が膝、骨盤帯にも障害を起こすことも報告されている^{5,6)}。このように足関節が姿勢制御の大きな役割を果たすことより、足関節肢位の変化が上位関節にどのような変化を与えるかを研究したものがいくつか報告されている。まず、両脚立位で傾斜台により足関節を回内させた際には骨盤まで肢位変化が起きると報告されている^{7,8)}。しかし、この研究は両脚接地のため足関節介入による効果が両側の影響により相殺されてしまい、わかりにくいという問題点がある。そこで、Tateuchiら⁹⁾は片脚立位で傾斜台にて足関節を回内させた際には胸郭まで変化が起きたと報告している。

しかし、これらの先行研究では足関節回内位以外の足関節肢位の影響は報告されていない。よって、本研究では斜面台を用い、足関節を回外位、回内位、背屈位、底屈位に変化させた状態と自然な足部の状態の5要因の片脚立位時の骨盤、胸郭、下肢三関節角度を検討した。その結果を比較することにより、足関節肢位変化が上位関節にどのような変化を起こすかを明らかにすることで、姿勢評価の一助とすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は整形外科疾患や神経疾患などの既往のない健康成人男性40名（年齢： 23.2 ± 2.9 歳，身長： 171.2 ± 5.3 cm，体重： 63.1 ± 8.3 kg）とした。また、日本整形外科学会が定めた足関節の関節可動域から大きく逸脱するものは対象から除いた。研究の実施に先立ち、国際医療福祉大学倫理審査委員会にて承認（倫理審査承認番号10-111②）を得た。なお、すべての被験者には予め本研究の目的と内容を説明し、文書による同意を得た後に計測を行った。

2. 方法

計測課題は片脚立位動作とした。片脚立位動作は動作を統一するために右足を立脚側として、左足は股関節・膝関節屈曲 90° にて遊脚側とした。計測条件は斜面台 10° （酒井医療社製）を用い、足関節を背屈位、底屈位、回外位、回内位に設定した片脚立位と斜面台を用いずに行った片脚立位（Normal）の計5条件とした。斜面台を回転させて各条件に合わせた。また、上肢により姿勢制御を行わないように上肢は下垂位を保持させた。十分な練習を行った後、口頭の合図にて片脚立位を開始した。片脚立位は10秒間施行し、条件ごとに3施行をランダムに行った。

使用機器はサンプリング周波数120Hzの赤外線カメラ12台を含む三次元動作解析装置（VICON社製 VICON612）を使用した。マーカーはKitoら¹⁰⁾の報告を参考に直径14mmの赤外線反射マーカーを計34カ所に貼付し標点とした。三次元動作解析用計算ソフト VICON WORK STATION（VICON社製）、VICON Body Builder（VICON社製）を使用し、計測した座標データより、足部、下腿部、大腿部、骨盤、体幹、胸郭、頭部、上腕、前腕の座標系を作成した。それぞれの体節間の三次元角度はオイラー角を用いて算出した。

以下に計測項目を示す。片脚立位時における胸郭角度、骨盤角度、右下肢三関節角度を計測項目とした。なお、計測データは片脚立位が安定した3秒間を平均した値を用いた。統計解析は足関節Normal、回内位、回外位、背屈位、底屈位の5水準で片脚立位時の関節角度（足関節、膝関節、股関節、骨盤、胸郭）についてそれぞれ一元配置分散分析を行い、その後多重比較検定（Bonferroni法）を用いて群間比較を行った。なお統計処理にはPASW18.0J for windows（SPSS Inc.）を使用し、有意性の判定は5%未満水準を採用した。

III. 結果

以下に、足関節肢位の違いによる下肢、骨盤、胸郭の角度変化を明らかにした結果を示す。足関節角度は底・背屈角度にて背屈と底屈はNormalとの間に差がみられた。また、背屈と底屈の間にも差がみられた。回内・外角度では、回内と回外はNormalとの間に差がみられた。また、回内、回外との間にも差がみられた（表1）。

次に矢状面上では、条件間での有意差は膝関節角度のみでみられ、股関節、骨盤、胸郭角度にはみられなかった。Normalに対して、回内、回外、底屈で屈曲角度が有意に増大した。また、回内は回外、底屈に対して屈曲角度が有意に増大した（表2）。

前額面上では、股関節角度では回外でNormal、背屈、底屈に比べ外転角度が有意に増大した。また、回外は膝関節外反角度で他の4条件に比べ外反角度が有意に減少

表1 足関節角度

	Normal (a)	回内 (b)	背屈 (c)	回外 (d)	底屈 (e)
底・背屈 (°)	-10.9 ± 4.2 c,e	-9.1 ± 4.5 c,e	-1.1 ± 4.5 a,b,d,e	-12.6 ± 4.8 c,e	-20.4 ± 3.7 a,b,c,d
回内・外 (°)	-8.4 ± 5.2 b,d	-14.5 ± 5.9 a,c,d,e	-7.7 ± 6.1 b,d	-1.0 ± 5.3 a,b,c,e	-8.6 ± 5.8 b,d

背屈+, 回外+として数値を表示.
数値下のアルファベットは有意差がある肢位を示す.
Normal→a, 回内→b, 背屈→c, 回外→d, 底屈→e

表2 矢状面上角度

	Normal (a)	回内 (b)	背屈 (c)	回外 (d)	底屈 (e)
股関節 (°)	3.9 ± 4.5	3.1 ± 4.9	3.6 ± 4.7	3.8 ± 4.7	3.6 ± 5.0
膝関節 (°)	-3.3 ± 5.4 b,d,e	-6.9 ± 6.4 a,c,d	-5.1 ± 6.6 b	-5.0 ± 5.5 a,b	-5.5 ± 6.8 a,b
骨盤 (°)	1.4 ± 3.9	2.1 ± 4.4	1.9 ± 4.4	2.3 ± 4.0	2.2 ± 4.3
胸郭 (°)	1.4 ± 2.3	2.1 ± 3.5	1.3 ± 2.3	1.7 ± 2.5	1.8 ± 2.4

伸展+, 後傾+として数値を表示.
数値下のアルファベットは有意差がある肢位を示す.
Normal→a, 回内→b, 背屈→c, 回外→d, 底屈→e

表3 前額面上角度

	Normal (a)	回内 (b)	背屈 (c)	回外 (d)	底屈 (e)
股関節 (°)	7.9 ± 5.0 d	8.7 ± 5.3	8.1 ± 5.0 d	8.9 ± 5.2 a,c,d	7.9 ± 5.1 d
膝関節 (°)	10.8 ± 8.4 c,d,e	9.2 ± 8.9 d	10.1 ± 8.3 a,d	8.2 ± 8.5 a,b,c,e	9.7 ± 8.6 a,d
骨盤 (°)	10.5 ± 2.9 b	11.4 ± 3.4 a,e	10.5 ± 3.6	10.4 ± 3.4	9.8 ± 3.5 b
胸郭 (°)	1.1 ± 2.7 b,c	2.9 ± 3.7 a	2.90 ± 2.8 a	2.1 ± 2.7	1.7 ± 3.3

外転+, 外反+, 右傾斜+として数値を表示.
数値下のアルファベットは有意差がある肢位を示す.
Normal→a, 回内→b, 背屈→c, 回外→d, 底屈→e

した. 骨盤, 胸郭角度にて回内はNormalに比べ右傾斜角度が有意に増大した(表3).

最後に水平面上では, 回内・背屈は股関節内旋位, 他は股関節外旋位にあった. 骨盤の傾斜角度では回内・背屈が他に比べ有意に左回旋し, 回外・底屈は2つに比べ, 左回旋が低い値を示した(表4).

IV. 考 察

本研究結果において, 各パラメータの標準偏差は大きかったが, 足関節肢位が変化した際に上位関節に有意差がみられた. この理由として, Normalにおける片脚立

位では個人差が大きいためパラメータ間のばらつきが大きくなったものの, 足関節肢位が変化した際には上位関節が被験者間で一樣な変化をしたために有意差がみられたと考えられる.

足関節を斜面台にて回内させた先行研究では, 矢状面上で骨盤が有意に前傾すると報告されている⁷⁻⁹⁾. しかし, 今回の結果では, 全条件で骨盤後傾位を保持した. 今回の条件は股関節屈曲90°での保持のため先行研究に比べ屈曲角度が大きいため, 骨盤が後傾したと考えられる. また, 膝関節屈曲角度が回内位で他に比べて有意に大きくなった理由として, 足関節の回内により, 下腿部の内旋が起き, 膝関節における終末伸展外旋を解除させたこ

表4 水平面上角度

	Normal (a)	回内 (b)	背屈 (c)	回外 (d)	底屈 (e)
股関節 (°)	3.6 ± 6.5 b,c	-0.06 ± 8.3 a,d,e	-0.4 ± 7.7 a,d,e	2.6 ± 7.9 b,c	3.7 ± 7.5 b,c
膝関節 (°)	-16.8 ± 4.6 b,d,e	-14.5 ± 5.1 a,c,d,e	-17.0 ± 4.9 b,d,e	-19.9 ± 4.6 a,b,c,e	-16.1 ± 4.6 a,b,c,d
骨盤 (°)	0.03 ± 3.5 b,c,d,e	-4.3 ± 4.1 a,d,e	-3.9 ± 3.8 a,d,e	-1.9 ± 4.1 a,b,c	-2.0 ± 3.9 a,b,c
胸郭 (°)	6.2 ± 4.9	6.4 ± 5.5	6.4 ± 5.2	6.8 ± 5.1	6.9 ± 5.0

外旋+, 右回旋+として数値を表示。
数値下のアルファベットは有意差がある肢位を示す。
Normal→a, 回内→b, 背屈→c, 回外→d, 底屈→e

図1 斜面台による支持基底面の変化
(右Normal, 左回外位)

とにより¹¹⁾, 他に比べ屈曲角度が大きくなったことが考えられる。したがって, 矢状面上では斜面台10°を用いた際の足関節肢位の変化は膝関節のみで対応できることが示唆された。

前額面上での変化は, 足関節回内位では骨盤の右傾斜角度, 胸郭の右傾斜角度がNormalに比べ有意に増大していることがわかった。また, 回外位ではNormalに比べ, 股関節外転角度が有意に増大し, 膝関節外反角度が有意に減少していることがわかった。これらの現象は斜面台を用いて片脚立位動作を行っているために支持基底面の横幅がNormalに比べて狭くなることが要因であると考えられる(図1)。そのため, 股関節外転角度の増大と膝関節外反角度の減少は, 左右方向での床反力作用点を保持させるために起きたものと思われる。一方回内位では足関節の回内可動域は10°であり, 課題の角度と可動域が同じであり, 下腿傾斜による調整域が小さい。よって, 下肢でのコントロールではなく, 骨盤, 胸郭の位置を変化させることで, 床反力作用点の位置をコントロールしたためと思われる。これに対して, 回外可動域は20°であり, 下腿傾斜による調整域が広い。よって, 下腿部から運動を制御することができ, 下腿, 大腿の位置をコントロールし, 支持基底面内に床反力作用点を安定させたと考えられる(図2)。

水平面上での足関節肢位の変化が臀部, 膝関節の障害につながると報告されており^{6,7)}, 足関節肢位の変化が水平面上で上位関節にどのような影響を及ぼすかは重要

図2 前額面上での角度変化

である。今回の研究では, 斜面台を用いて足関節肢位を決定した。しかし, 実際の足関節の動きは, 背屈, 内転, 回内などの運動が一軸のみで運動することはできない。実際には外返し, 内返しと三平面上での動きとなる。外返し動作には回内と背屈が含まれ, 内返し動作には回外と底屈が含まれる。股関節角度, 骨盤角度では, 外返し動作となる回内位, 背屈位間では差がみられず, 回内位, 背屈位は回外位, 底屈位との間で有意差がみられた。また, 内返し動作となる回外位, 底屈位間でも股関節角度, 骨盤角度では差がみられなかった。また, 胸郭角度は5条件間で有意差はみられなかった。これらの結果は, 足関節の外返し, 内返しという三次元的な運動が股関節, 骨盤角度の変化を引き起こしたことを示唆している。これは, 足関節の肢位変化による影響によって, 下肢から骨盤の間で調整し, 胸郭を正面に向けるように変化を起こしたと考える。以上より, 水平面上でおきる回旋動作では, 足関節肢位の状態に合わせて, 上位の関節が変化を起こすことがわかった。(図3)

図3 水平面上での角度変化

これらのことより、角度変化は小さいが、足関節肢位の変化に合わせて上位関節の角度は特徴的な変化をみせることがわかった。今回の結果を参考にし、姿勢評価をする際に足関節肢位を考慮に入れて評価をすることで姿勢評価の際の一助となることが示唆された。

本研究の限界としては傾斜台を用いて足関節肢位を決定しているために実際に床面で足関節の肢位が変化しているものと同様の変化が起きるかは今後さらなる検討が必要である。

引用文献

1) 田中 繁, 高橋 明, 紺野敏昭・他: モーターコントロール

運動制御の理論と臨床応用原著第2版. 医歯薬出版社, 東京, 2005, pp173-265.

2) 入谷 誠: 入谷式足底板 基礎編. 運動と医学の出版社, 神奈川, 2011, pp2-12.

3) 大峯三郎, 中山彰一: 足の運動療法. 理学療法, 1989, 6(4): 279-292

4) 中山彰一, 井原秀俊: 足関節・足部障害の病態生理と理学療法. PTジャーナル, 1990, 24(11): 748-753.

5) Rothbart BA, Estabrook L: Excessive pronation: a major biomechanical determinant in the development of chondromalacia and pelvis lists. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 1988, 5: 373-379.

6) Kegerresis S, Malone T, Johnson F: The diagonal medial plica: an underestimated clinical entity. Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy, 1988, 9: 305-309

7) Khamis S, Yizhar Z: Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. Gait Posture, 2007, 25: 127-134.

8) Rafael Z.A. Pinto, Thales R. Souza, Rengo G. trede, et al.: Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. Manual Therapy, 2008, 13: 513-519.

9) Tateuchi H, Wada O, Ichihashi N: Effects of calcaneal eversion on three-dimensional kinematics of the hip, pelvis and thorax in unilateral weight bearing. Human Movement Science, 2011, 30: 566-573.

10) Kito N, Shinkoda K, Yamasaki T, et al.: Contribution of knee adduction moment impulse to pain and disability in Japanese women with medial osteoarthritis. Clinical Biomechanics, 2010, 25: 914-919.

11) Hoppensfeld S: Physical Examination of the spine and Extremities. New York: Appelton-Century-Crofts, 1976, pp36-38.