

## ランニング中における後足部, 中足部, 前足部の運動連鎖関係の定量化

○高林 知也(たかばやし ともや) (PT)<sup>1)</sup>, 江玉 陸明 (PT)<sup>1)</sup>, 横山 絵里花 (PT)<sup>1)</sup>, 金谷 知晶 (PT)<sup>1)</sup>,  
徳永 由太 (PT)<sup>2)</sup>, 久保 雅義 (PT)<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所

<sup>2)</sup> 医療法人愛広会関川愛広苑

### はじめに

運動連鎖とは, 関節運動が他の隣接する関節に影響をおよぼすことを指し, 理学療法の評価や治療において広く応用されている概念である. ランニングにおいて, 立脚期前半に後足部回内と下腿内旋, 立脚期後半に後足部回外と下腿外旋が運動連鎖として生じる<sup>1),2)</sup>. この運動連鎖の観点から, Tiberio et al.<sup>3)</sup> は後足部の過回内は下腿の過内旋を引き起こし, 膝蓋大腿関節痛症候群を惹起することを示唆している.

多くの先行研究<sup>1),2)</sup> では後足部と下腿間の運動連鎖に着目しているが, 足部内の運動連鎖を検証することも必要である. 近年, Multi-segment foot modelを用いることで足部内の詳細な動きを捉えることが可能となっており, Leardini et al.<sup>4)</sup> は歩行中に後足部だけでなく中足部や前足部も立脚期を通して3次元的に動きを有していることを報告した. さらに, 近年の研究<sup>5)</sup> では足部変形疾患患者は健常成人と比較して中足部の動きが異常なパターンを示すことが報告されており, この異常な動きが障害発生に関与すると示唆されている. そのため, 障害発生メカニズムを考えるうえで, 足部内で生じる運動連鎖を検証することは重要であると考えられる. よって, 本研究はランニング中の後足部, 中足部, 前足部間の運動連鎖を定量化することを目的とした.

### 対象と方法

被験者は健常成人男性10名とした(年齢:  $22.7 \pm 3.2$  歳, 身長:  $171.8 \pm 5.1$  cm, 体重:  $65.5 \pm 8.3$  kg). なお, 本研究は新潟医療福祉大学倫理審査委員会の承認(承認番号17501-140717)を得た上で実施した.

Leardini et al.<sup>4)</sup> が報告したモデルを用いて, 右下腿と足部に15箇所の反射マーカを貼付した(図1). 課題動作は後足部接地でのランニングとし, トレッドミル(AUTO RUNNER AR-100: MINATO MEDICAL SCIENCE)上にて裸足で実施した. 課題動作はトレッドミル上にて1分以上練習し, 10回計測された. 動作計測



図1. 右下腿と足部の反射マーカ位置.

は赤外線カメラ13台を含む3次元動作解析装置(VICON MX: Oxford Metrics Inc)を使用し, サンプリング周波数は100Hzとした. 3次元動作解析装置にて直径10mmの反射マーカを同定し, パーソナルコンピュータへ取り込んだ. 解析区間は踵接地から同側爪先離地までの立脚期とした. 反射マーカ位置に対し, 遮断周波数6Hzの2次Zero-lag Butterworth low-pass filterを施した. セグメントは下腿, 後足部, 中足部, 前足部を定義し, 近位セグメントに対する遠位セグメントの回内/回外角度をカルダン角XYZにて算出した. 関節角度の算出後, 解析区間を%立脚期として時間正規化し, 各被験者の試行間, 全被験者で加算平均処理を行った. データ解析はSCILAB-5.5.0にてプログラミング処理を実施した.

運動連鎖の評価には相互相関関数<sup>6),7)</sup>を用いた. この手法は2つの関節角度の波形パターンの類似度により運動連鎖の強さを決定する. 評価項目は後足部回内/回外と中足部回内/回外間, 中足部回内/回外と前足部回内/回外間の運動連鎖とした. 運動連鎖の強さはPohl et al.<sup>7)</sup> が報告した基準に準じ, 統計ソフトStatistics R-3.0.0を用いて解析した.

## 結 果

図2に後足部、中足部、前足部の回内/回外角度を示す。後足部(図2. a), 中足部(図2. b)は類似した波形パターンを示し、立脚期前半は回内、後半は回外していた。前足部(図2. c)は立脚期90%まで中足部と共通した波形パターンを示していたが、立脚期90%以降は回内していた。後足部回内/回外と中足部回内/回外間、中足部回内/回外と前足部回内/回外間それぞれ強い運動連鎖が生じていた(それぞれ $r=0.85, 0.80$ )。

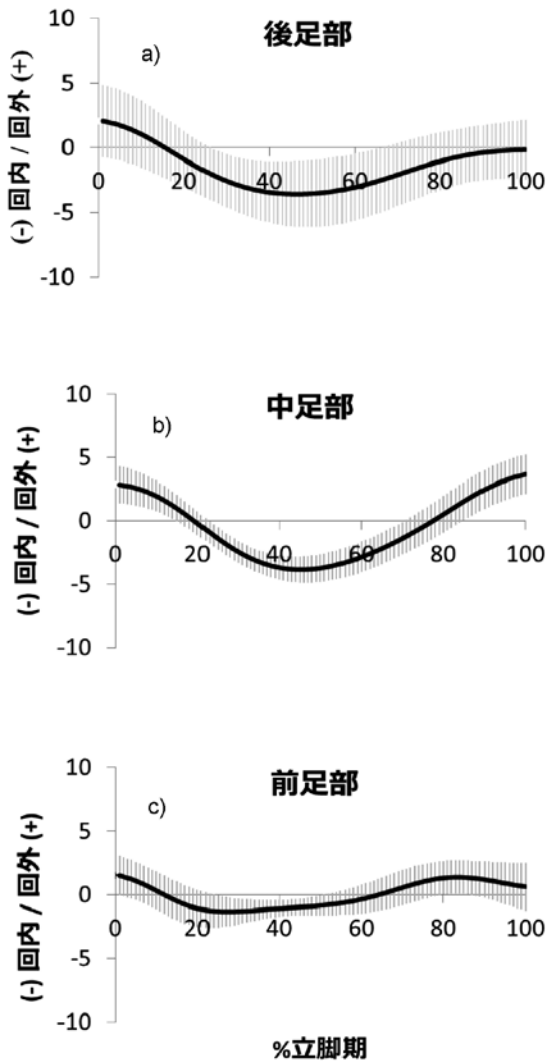


図2. ランニング中の後足部 (a), 中足部 (b), 前足部 (c) の回内/回外角度. 黒実線は平均値, 灰縦線は標準偏差を示す.

## 考 察

本研究はランニング中における後足部、中足部、前足部の回内/回外間の運動連鎖を定量化し、後足部と中足部間、中足部と前足部間に強い運動連鎖が生じることを明らかにした。Pohl et al.<sup>7)</sup>はランニング中の後足部と前足部間の

運動連鎖を検証しているが、本研究結果よりランニング中の中足部の回内/回外は立脚期を通して後足部、前足部より大きく動いていた。さらに、Arndt et al.<sup>8)</sup>は骨ピンマーカーを用いても、ランニング中において中足部(距舟関節、踵立方関節)は回内/回外することを報告している。したがって、中足部の動きはランニング中において機能的な役割を果たし、中足部を含めた運動連鎖を検証することが重要であると考えられた。

本研究で用いた相互相関関数は立脚期全体で運動連鎖を検証したため、時系列的に運動連鎖を検証できていない。例えば、本研究より中足部と前足部間の相互相関係数( $r=0.80$ は後足部と中足部間( $r=0.85$ )と比較して低値を示していた。この要因として、立脚期90%以降に中足部は回外、前足部は回内していたことが考えられる。Pre-swing時の前足部回外は母趾で蹴り出すための機能的な運動であるため<sup>9)</sup>、実際には立脚期90%以降は中足部回外と前足部回内の運動連鎖が生じている。そのため、今後立脚期全体ではなく時系列に運動連鎖の解析を行っていく必要がある。

## ま と め

- \* 本研究はランニング中における後足部、中足部、前足部間の運動連鎖を定量化した。
- \* 後足部と中足部間、中足部と前足部間とともに強い運動連鎖が生じていた。
- \* 本研究結果は、障害発生メカニズムの観点から基礎的知見に成り得る。

## 参考文献

- 1) Nigg BM, Cole GK, Nachbauer W. Effects of arch height of the foot on angular motion of the lower extremities in running. *J Biomech* 1993; 26: 909-16.
- 2) McClay I, Manal K. A comparison of three-dimensional lower extremity kinematics during running between excessive pronators and normals. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1998; 13: 195-203.
- 3) Tiberio D. The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: a theoretical model. *J Orthop Sports Phys Ther* 1987; 9: 160-65.
- 4) Leardini A, Benedetti MG, Berti L, et al. Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. *Gait Posture* 2007; 25: 453-62.
- 5) Buldt AK, Levinger P, Murley GS, et al. Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait Posture* 2015; 42: 42-8.
- 6) Li L, Caldwell GE. Coefficient of cross correlation and the time domain correspondence. *J Electromyogr Kinesiol* 1999; 9: 385-89.
- 7) Pohl MB, Messenger N, Buckley JG. Forefoot, rearfoot and shank coupling: effect of variations in speed and mode of gait. *Gait Posture* 2007; 25: 295-302.

8) Arndt A, Wolf P, Liu A, et al. Intrinsic foot kinematics measured in vivo during the stance phase of slow running. *J Biomech* 2007; 40: 2672 - 8.

9) Elftman H. The transverse tarsal joint and its control. *Clinical orthopaedics* 1960; 16: 41 - 46.