

女性に頻発する足部ランニング障害の発生機序の解明 —足部内で生じている力学的負荷に着目して—

高林 知也* 江玉 睦明*

ELUCIDATION OF THE MECHANISM OF RUNNING FOOT INJURY IN FEMALE: FOCUSING ON INTRA-FOOT KINETICS

Tomoya Takabayashi and Mutsuaki Edama

Key words: foot injury, kinetics, female.

緒 言

近年、健康増進の目的でランニング人口が世界的に増加しており、特に女性ランナーは男性と比較して劇的に増えている。その一方でランニング障害の発生率も増加しており、女性は男性と比較して足部障害の発生率が2倍高いことが報告されている⁴⁾。そのため、女性における足部ランニング障害の予防法を考案することは重要であるが、いまだに予防法や治療法は確立していない。その理由に、女性に発生しやすい足部障害の発生機序が不明であることが考えられる。

足部障害の発生機序を明らかにするために、多くの先行研究で足部内の動きを定量化する試みが行われている。例えば、Takabayashi et al.⁹⁾はランニング中の足部内（後足部と中足部、前足部）の動きの性差を検証し、女性では後足部と中足部が過剰に動くことを示した。過剰な動きは障害発生に関与することが報告されているため¹⁰⁾、この結果は女性が足部障害を発生しやすい一因を示唆している。

しかし、足部内で生じる力学的負荷の性差は明

らかになっていない。障害の発生機序には過剰な動きだけでなく、過剰な力学的負荷も関与している。それゆえ、足部内の力学的負荷の性差が明らかになれば、女性が足部障害を発生しやすい原因を力学的観点から解明できる可能性がある。本研究は近年報告された足部内の力学的負荷を定量化する手法³⁾を用いて、ランニング中の足部内で生じる力学的負荷の性差を検証し、女性に頻発する足部ランニング障害の発生機序の解明につなげることを目的とした。仮説として、女性は男性と比較して足部内のモーメントが増加するとした。

方 法

A. 対象者

新潟医療福祉大学理学療法学科所属の男女の学部生に対し、Gmailを用いて本研究の対象者をリクルートした。対象者のリクルート後、事前に口頭および書面にて十分な説明を行い、本研究計画に同意の得られた健常若年男性7名（年齢 20.6 ± 0.5 歳、身長 168 ± 4.11 cm、体重 65.8 ± 16.5 kg）、女性7名（年齢 20.4 ± 0.5 歳、身長 159 ± 6.75 cm、体重 54.2 ± 1.9 kg）の計14名を被験者とした。本

研究の包含基準として、1) これまでに下肢の手術の既往がない、2) 2年以内に骨折などの整形疾患の既往がない、3) 正常足である者とした。更に、先行研究¹⁾でランニングの経験はランニング中の下肢の動きに影響しないと報告されているため、週1～2回のレクリエーションレベルでランニングをしている者を対象とした。正常足の判別には Redmond et al.⁷⁾によって考案された foot posture index を採用した。foot posture index は足部を6項目からなる評価法で点数付けし、最終的にすべてのスコアを合計する。基準値に準じて、合計点が正常足である0～+5で評価された対象者のみ本研究に参加した。本研究は新潟医療福祉大学の倫理委員会の承認を得たうえで実施された(承認番号：17985-180516)。

B. 実験手順

対象者に直径9.5 mmの体表マーカーを右下腿と足部に貼付した。反射マーカーの貼付部位は妥当性と再現性が確認されている Rizzoli foot model に準じ、脛骨粗面、腓骨頭、内果、外果、踵骨(アキレス腱付着部)、載距突起、腓骨筋腱滑車、舟状骨、第1中足骨底、第2中足骨底、第5中足骨底、第1中足骨頭、第2中足骨頭、第5中足骨頭、母趾とした(図1)。更に、ランニングスピードを計算するために右上後腸骨棘にも反射マーカーを貼付した。

床反力計(Advanced Mechanical Technology Incorporation, USA)上に足圧計(Foot scan, RSscan



図1. マーカー貼付位置

Fig.1. Attachment of reflective markers.

International, Belgium)を固定し、ランニング中の床反力と足圧を測定した。床反力計と足圧計のサンプリング周波数はそれぞれ1200 Hzと300 Hzとした。ランニング速度は自由とし、被験者が課題動作に慣れたことを確認した後に課題の計測を実施した。足圧計を右下肢で踏んだ試行を成功とし、成功試行を各被験者5回測定した。反射マーカー位置の計測には赤外線カメラ12台を含む3次元動作解析装置(Vicon MX, Oxford Metrics Inc, UK)を使用し、サンプリング周波数300 Hzとした。

C. データ解析

計測された反射マーカー位置に対し、遮断周波数12 Hzの2次 Zero-lag Butterworth low-pass filter を施した。Rizzoli foot model に準じ、セグメントは下腿と後足部、中足部、前足部を定義した。

本研究は Deschamps et al.³⁾の報告に準じ、矢状面上における足関節モーメントとショパール関節モーメント、リスフラン関節モーメントを計算した。ランニング中に計測された床反力と足圧(図2)を用いて、各足部セグメントにおける床反力と足圧、床反力作用点を計算した。足関節中心は内果と外果の midpoint、ショパール関節中心は舟状骨と立方骨の midpoint、リスフラン関節中心は第2中足骨底とした。なお、立方骨は第5中足骨底と腓骨筋腱滑車間の遠位2/3のバーチャルマーカーとして計算された。足部セグメントの質量は、足部質量に対して後足部は30%、中足部は30%、前足部は40%とした。これらのパラメータを用いて、逆動力学的に下腿と後足部間(足関節)モー

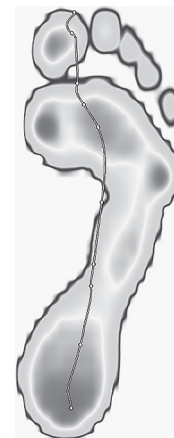


図2. ランニング中の足圧

Fig.2. Foot pressure during running.

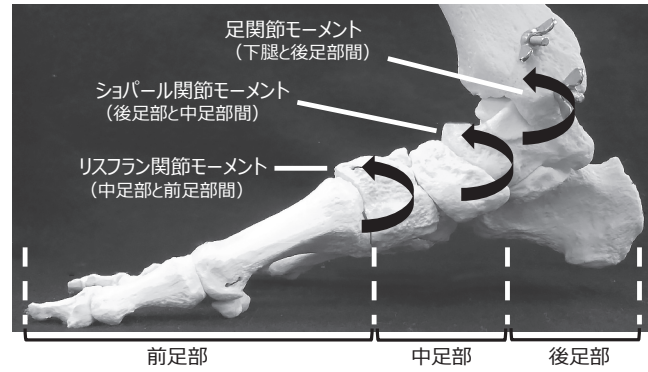


図3. 足関節モーメントとリスフラン関節モーメント, ショパール関節モーメント
 Fig.3. Ankle joint and Lisfranc joint, Chopart joint moment.

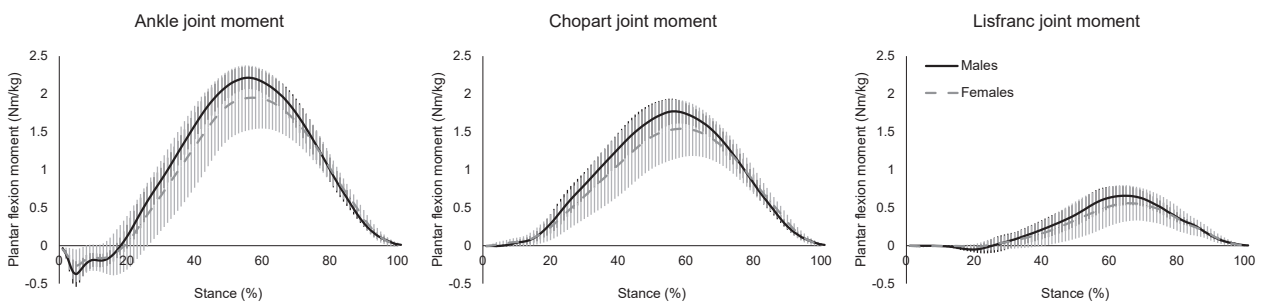


図4. 男性と女性におけるランニング中の足部内モーメント
 Fig.4. Intra-foot moment in males and females.

表1. 足部内の底屈モーメントピーク値の性差
 Table1. Sex-related differences in peak value of intra-foot planter flexor moment.

Joint(Nm/kg)	Males(mean(SD))	Females(mean(SD))	P-value
Ankle	2.22(0.15)	1.96(0.41)	0.54
Chopart	1.78(0.16)	1.56(0.36)	0.17
Lisfranc	0.66(0.12)	0.56(0.23)	0.33

No significant differences were found intra-foot moment between sexes ($P > 0.05$).

メント、後足部と中足部間(ショパール関節)モーメント、中足部と前足部間(リスフラン関節)モーメントを計算した(図3)。

解析区間は立脚期とし、床反力垂直成分の値から初期接地と爪先離地を決定した。立脚期を決定後に、立脚期を101ポイントとして時間正規化した。ランニングスピードは立脚期における右上後腸骨棘の前方移動距離を立脚期時間で除すことにより計算した。本研究のデータ解析はScilab6.0.2(Enterprises, Versailles, France)を用いて実施された。

D. 統計解析

ランニングスピード、各関節モーメントの底屈ピーク値に対して Student t-test を実施した。有意

水準は5%とした。統計ソフトはR 3.6.1(The R Foundation for Statistical Computing, Austria)を用いた。

結 果

男性における foot posture index は 1.3 ± 1.2 (range $0 \sim +3$)、女性は 2.0 ± 1.8 (range $0 \sim +5$) であり、本研究に参加したすべての被験者は正常足であった。また、男性と女性の間でランニングスピードに違いは認められなかった(男性 $3.2 \pm 0.1 \text{ ms}^{-1}$, 女性 $3.2 \pm 0.3 \text{ ms}^{-1}$, $P > 0.05$)。

足部内で生じるモーメントの結果を図4に示す。男女ともに足関節モーメントとショパール関節モーメント、リスフラン関節モーメントはランニ

ングの立脚中期から後期にかけてピークを示し、男女で関節モーメントの波形パターンは類似していた。各関節モーメントの底屈モーメントピーク値に性差は認められなかった（表1）。

考 察

本研究は女性に頻発しやすい足部ランニング障害の発生機序を明らかにするために、足部内の力学的負荷に着目してランニング中の足関節とショパール関節、リスフラン関節モーメントの性差を検証した。これまで、ランニング中の足部内の動きを検証した先行研究は多く報告されているが、足部内モーメントはこれまで検証されていない。近年、Deschamps et al.³⁾によって足部内に存在するショパール関節とリスフラン関節モーメントを計算する手法が提唱されたが、Deschamps et al. の報告は歩行動作を対象としており、ランニング動作に対しては検証されていない。それゆえ、本研究はランニング中の足部内モーメントの性差を検証した初めての研究である。

先行研究において、ランニングスピード⁵⁾や足部アライメントの違い⁶⁾はランニング中の下肢関節モーメントに影響を与えることが報告されている。本研究において、ランニングスピードに性差は認めず、更に正常足のみをリクルートしたため、ランニングスピードや足部アライメントは本研究結果に影響しないことが考えられる。多くの先行研究において、女性は男性よりもランニング中に下肢関節の動きやモーメントが増加し、その違いが障害発生率に関与していることが報告されている。更に、女性は男性と比較して足部障害の発生率が2倍高いことから、女性は足部内のモーメントが増加すると仮説を立てた。しかし、すべての関節モーメントの底屈ピーク値において男女間で有意差は認められなかった。

仮説と異なった理由として、本研究の対象者の競技レベルが低かったことが考えられる。Frisch et al.³⁾は、女性は男性と比較して足部障害の発生率が2倍であると報告しているが、さまざまな競技を行っているハイレベルなアスリートであり、日常的に競技を行っている者を対象としていた。本研究でリクルートした対象者は週に1～2回の

レクリエーションレベルでランニングを行っている者を対象としており、競技歴も考慮していない。そのため、競技レベルや競技歴の違いにより仮説が実証されなかったと考えられる。また、本研究は矢状面上で生じる足部内の底屈モーメントを解析対象とした。しかし、女性は男性と比較してランニング中に後足部が過回内することが報告⁸⁾されており、後足部の過回内は足部障害の発生に関与することが報告されている²⁾。

更に、本研究ではサンプルサイズが14名と少なかった。サンプルサイズを増やすことで、本研究結果に違いが出現する可能性もある。対象者の特徴や解析パラメータ、サンプルサイズに関しても今後更なる検証が必要になると考えられる。

総 括

本研究はランニング中に足部内で生じる力学的負荷の性差を検証した。結果として、男性と女性で足関節やショパール関節、リスフラン関節の底屈モーメントに有意差は認められなかった。それゆえ、足部内で生じる底屈モーメントは女性に頻発する足部障害の発生に関与しない可能性が示唆された。今後、特に前額面での足部内モーメントを検証することで、女性が足部障害を発生しやすいメカニズムの解明につながる知見を提供できるかもしれない。

謝 辞

本研究の実施に対して、多大な助成を賜りました公益財団法人明治安田厚生事業団に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Agresta CE, et al. (2018): Experience does not influence injury-related joint kinematics and kinetics in distance runners. *Gait Posture*, **61**, 13-18.
- 2) Chuter VH, et al. (2012): Proximal and distal contributions to lower extremity injury: a review of the literature. *Gait Posture*, **36**, 7-15.
- 3) Deschamps K, et al. (2017): Estimation of foot joint kinetics in three and four segment foot models using an existing proportionality scheme: application in paediatric barefoot walking. *J Biomech*, **61**, 168-175.
- 4) Frisch A, et al. (2009): Analysis of sex-specific injury patterns and risk factors in young high-level athletes. *Scand J Med Sci Sports*, **19**, 834-841.

- 5) Fukuchi R, et al. (2017): A public dataset of running biomechanics and the effects of running speed on lower extremity kinematics and kinetics. *PeerJ*, **5**, e3298.
- 6) Powell DW, et al. (2016): High- compared to low-arched athletes exhibit smaller knee abduction moments in walking and running. *Hum Mov Sci*, **50**, 47-53.
- 7) Redmond AC, et al. (2006): Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clin Biomech*, **21**, 89-98.
- 8) Sinclair J, et al. (2014): Sex differences in tibiocalcaneal kinematics. *Hum Mov*, **15**, 105-109.
- 9) Takabayashi T, et al. (2017): Gender differences associated with rearfoot, midfoot, and forefoot kinematics during running. *Eur J Sport Sci*, **17**, 1289-1296.
- 10) Tiberio D (1987): The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: a theoretical model. *J Orthop Sports Phys Ther*, **9**, 160-165.