

# 足底腱膜張力モデルを用いた扁平足に生じる 足底腱膜炎の発症メカニズムの解明

新潟医療福祉大学 高 林 知 也

## **Elucidation of The Pathogenic Mechanism of Plantar Fasciitis in Pes Planus by Using Plantar Fascia Model**

by

Tomoya Takabayashi

*Niigata University of Health and Welfare,  
Institute for Human Movement and Medical Sciences*

### ABSTRACT

Our study aimed to investigate to elucidation of the pathogenic mechanism of plantar fasciitis in pes planus by using plantar fascia model. We recruited healthy 13 males in normal foot and healthy 13 males in pes planus. Foot alignment was categorized using foot posture index. Participants ran at self-selected speed. Plantar fascia model was used to calculate tension of plantar fascia was calculated using As results, running speed was not significantly different between normal foot and pes planus ( $p = 0.63$ ). Additionally, peak in tension of plantar fascia were not significantly different between normal foot ( $25.5 \pm 5.3\text{N/kg}$ ) and pes planus ( $27.1 \pm 5.9\text{N/kg}$ ,  $p = 0.40$ ). Previous study has suggested that tension of plantar fascia increases in pes planus. However, this study showed that tension plantar fascia in pes planus does not increase compared with normal foot.

## 要 旨

本研究は正常足と扁平足の足部アライメントの違いがランニング中の足底腱膜張力に与える影響を検証することを目的とした。対象は健康成人男性の正常足13名、扁平足13名とした。正常足と扁平足の分類にはfoot posture indexを用いた。課題動作はランニングとし、ランニングスピードは自由速度とした。足底腱膜張力モデルを用いて反射マーカ位置と床反力から足底腱膜張力を算出した。結果として、ランニングスピードは正常足と扁平足間で有意な差を示さなかった ( $p = 0.63$ )。さらに、ランニング中の足底腱膜張力のピーク値に関しても、正常足 ( $25.5 \pm 5.3 \text{N/kg}$ ) と扁平足 ( $27.1 \pm 5.9 \text{N/kg}$ ) 間で有意差を示さなかった ( $p = 0.40$ )。本研究より、扁平足は足底腱膜張力が増加し、足底腱膜炎の危険因子であることが考えられているが、扁平足では足底腱膜張力の増加は認められないことが示された。

## 緒 言

近年、健康志向の高まりから、年齢男女問わずランニング人口が増加している。ランニングを実施することは循環器疾患の死亡率を低下<sup>1)</sup>させるなどの多くのメリットがある一方で、ランニング障害も発生するというデメリットもある。Review study<sup>2)</sup>によると、毎年19.4-79.3%のランナーがランニング障害を発生することが報告されている。ランニング障害はオーバーユースによって生じ、一度発生すると慢性化し、長期の競技離脱を余儀なくされる。そのため、ランニング障害の発生要因を理解し、障害を発生する前にあらかじめ予防策を講じることが重要となる。

足底腱膜炎は代表的なランニング障害のひとつであり、この障害の発生率は全ランニング障害のなかで10%にもおよぶ<sup>3)</sup>。足底腱膜炎の発生要因のひとつにマルアライメントがあるが、特に足部

マルアライメントである扁平足は足底腱膜炎の危険因子であることがわかっている<sup>4)</sup>。扁平足は成人で20%の発生率を占めることが報告されているため<sup>5)</sup>、扁平足に起因する足底腱膜炎を予防することは重要であることが考えられる。しかしながら、扁平足に起因する足底腱膜炎の発症メカニズムは未解明な部分が多く、そのため有効な予防法や治療法も確立されていないのが現状である。その要因として、a) 足底腱膜にかかる張力を定量化できていないこと、b) 再現性の低い方法で扁平足を評価していることが挙げられる。

a) に関して、足底腱膜炎の発症には足底腱膜張力の増大が関与し、扁平足においても足部の過回内が足底腱膜にかかる張力を増加させることが示唆されている<sup>6)</sup>。しかし、これまでの報告は運動学的な結果からの推察のみであり、実際に扁平足で足底腱膜張力が増加しているかは不明である。b) に関して、多くの先行研究で舟状骨の落ち込みやフットプリントなどを用いて扁平足を評価しているが、これらの足部評価方法は再現性の低さが問題視されている<sup>7)</sup>。そのため、正確に正常足を正常足、あるいは扁平足を扁平足と評価できていない可能性がある。

このような背景をふまえ、我々は再現性の高い足部評価方法で扁平足を評価し、実際に扁平足の足底腱膜張力を推定することで扁平足に起因する足底腱膜炎の発症メカニズムの解明につながると考えた。そこで、本研究は高い再現性が確認されているfoot posture index (FPI) を用いて正常足と扁平足を分類し、足底腱膜モデルによりランニング中の足底腱膜張力を推定することを目的とした。仮説として、扁平足は足底腱膜炎の危険因子であることが報告されているため<sup>4)</sup>、扁平足は正常足と比較してランニング中の足底腱膜張力が増加すると考えた。

## 1. 研究方法

### 1.1 対象

対象はこれまで下肢に整形外科的疾患や神経学的疾患の既往がない健常成人男性の正常足13名、扁平足13名とした(表1)。正常足と扁平足の分類にはFPI<sup>8)</sup>を使用し、FPIスコアが0~+5は正常足、+6以上が扁平足とした。なお、FPIは先行研究で高い検者内・検者間の再現性が報告されており<sup>9,10)</sup>、動的な足部アライメントとも関連性が高い評価法である<sup>7)</sup>。対象者には事前に口頭及び書面にて研究内容に関する十分な説明を行い、同意を得た上で実施した。

表1 被験者情報

解析項目	正常足	扁平足
<i>n</i>	13	13
年齢(歳)	21.6±0.5	20.8±0.8
身長(m)	1.72±0.04	1.68±0.06
体重(N/kg)	63.8±5.9	65.1±9.5
ランニングの頻度(回/一週間)	2.4±1.0	2.2±0.7

### 1.2 実験手順

対象者に対し直径9.5mmの体表マーカーを右足部に貼付した。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<sup>11)</sup>を参考に、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、立方骨、第1中足骨底、第2中足骨底、第1中足骨頭、第2中足骨頭、第5中足骨頭、母趾(図1)、さらにランニングスピードを規定するために左右の上後腸骨棘に貼付した。

先行研究は、77.3%(1065人中の823人)の対象者が裸足ランニング中に後足部で接地することを報告している<sup>12)</sup>。そのため、本研究も裸足での後足部接地ランニングを課題とした。ランニングスピードは自由速度とし、被験者に床反力計上でランニングしてもらった。ランニングは速度を安定させるため6歩目から計測した。なお、床反計は15mの走路の中央に配置されている。右下肢が床反力計(OR6-6-2000:AMTI Inc)を踏んだ試行を成功試行とし、各被験者につき5回の成功試行を測定した。動作測定には赤外線カメラ12台を含む三次元動作解析装置(Vicon:Oxford Metrics Inc)を使用した。床反力計と三次元動作解析装置のサンプリング周波数はそれぞれ1000Hzと250Hzとし、同期させて動作を計測した。

### 1.3 データ解析

課題動作中に計測された足部の反射マーカー位置と床反力データに対し、それぞれ遮断周波数12Hzと50Hzの2次Zero-lag Butterworth low-pass



図1 足部モデル

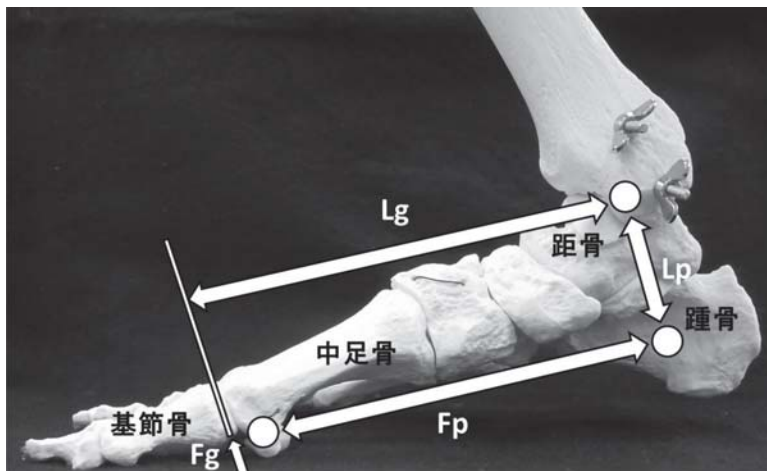


図2 足底腱膜モデル  
白丸は反射マーカー、式中の0.5は内在筋の貢献度を表している

filterを施した。

本研究はScottら<sup>13)</sup>が報告している足底腱膜張力モデル(図2)を用いて、ランニング中の足底腱膜張力を算出した。以下に足底腱膜張力の算出の式を示す(Eq.1)。

$$F_p = \frac{0.5 \times L_g \times F_g}{L_p} \quad (1)$$

$L_p$ は足底腱膜張力のモーメントアーム、 $F_p$ は足底腱膜張力、 $L_g$ は床反力のモーメントアーム、 $F_g$ は足部に作用する床反力を示している。

解析区間は足部接地から爪先離地までの立脚期とし、立脚期の足底腱膜張力を各被験者で算出した。足部接地は床反力垂直成分の20Nを超えた地点とした<sup>14)</sup>。算出した足底腱膜張力と床反力垂直成分を100ポイントで時間正規化し、さらに各群で加算平均した。正常足群と扁平足群で課題動作が同一の条件で試行されているか検証するために、ランニングスピードを算出した。ランニングスピードは左右の上後腸骨棘の midpoint を計算し、midpointの前方方向への速度をランニングスピードとした。さらに、足部接地方法は下肢の運動学や運動力学に影響を与えるため<sup>15)</sup>、足部接地方法が正常足と扁平足間で同一かどうかを検証した。検証

するために、Altmanら<sup>16)</sup>の報告に準じて、足部接地角度を算出した。なお、足部接地角度が $8^\circ$ 以上であると後足部接地ランニングとなる。本研究のすべてのデータ解析はScilab version 6.0.0 (Enterprises, Versailles, France)でプログラミング処理した。

## 2. 4 統計解析

正常足と扁平足の2群間で、ランニングスピード、床反力垂直成分のピーク値、足底腱膜張力のピーク値に対してStudent t-testを実施した。有意水準は5%とした。また、Cohen's d statisticsを用いて効果量(Effect size: ES)を算出した。ESの基準はtrivial (0-0.19), small (0.20-0.49), medium (0.50-0.79), large (>0.80)とした。

## 2. 研究結果

表2に正常足と扁平足間で比較した各解析項目の結果を示す。FPIスコアは正常足で $2.3 \pm 1.5$  (Range: 0-5), 扁平足で $9.2 \pm 1.9$  (Range: 6-12)であった。ランニングスピードは正常足 ( $3.0 \pm 0.9$  m/s) と扁平足 ( $3.2 \pm 1.5$  m/s) 間で有意な差は示さなかった ( $p = 0.63$ )。また、足部接地角度は正常

表2 正常足と扁平足の比較

解析項目	正常足	扁平足	平均差	p-value	Effect size	Guide
Foot posture index	2.3±1.5	9.2±1.9	6.9	NA	NA	NA
ランニングスピード (m/s)	3.0±0.9	3.2±1.5	0.2	0.63	0.16	Trivial
床反力垂直成分ピーク値 (N/kg)	22.8±2.0	22.1±2.0	0.7	0.37	0.35	Small
足底腱膜張力ピーク値 (N/kg)	25.2±5.3	27.1±5.9	1.9	0.40	0.33	Small

Note: Foot posture index以外の全ての解析項目で有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ ). NA: Not Applicable.

足で  $14.2 \pm 2.6^\circ$ , 扁平足  $16.5 \pm 3.1^\circ$  を示した. すべての被験者は足部接地角度が  $8^\circ$  以上であり, 後足部接地ランニングを実施していた.

図3に立脚期の床反力垂直成分を示す. 正常足と扁平足で, 立脚期を通じて類似した波形パターンを示しており, 床反力垂直成分のピーク値は正常足 ( $22.8 \pm 2.0$  N/kg) と扁平足 ( $22.1 \pm 2.0$  N/kg) で有意な差を示さなかった ( $p = 0.37$ ). また, 効果量も small であった.

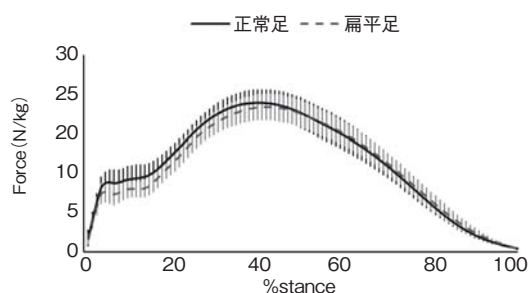


図3 立脚期の床反力垂直成分  
黒実線は正常足, 灰破線は扁平足, 縦線は標準偏差を示している

図4に立脚期の足底腱膜張力を示す. 床反力垂直成分と同様に, 正常足と扁平足で立脚期を通じて類似した波形パターンを示していた. 足底腱膜張力のピーク値においても正常足 ( $25.5 \pm 5.3$  N/kg) と扁平足 ( $27.1 \pm 5.9$  N/kg) で有意な差を示さ

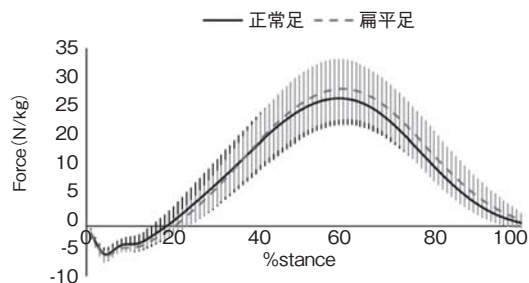


図4 立脚期の足底腱膜張力  
黒実線は正常足, 灰破線は扁平足, 縦線は標準偏差を示している

なかった ( $p = 0.40$ ). また, 効果量は small であった.

### 3. 考察

本研究は正常足と扁平足の足部アライメントの違いがランニング中の足底腱膜張力に与える影響を検証した. 本研究の仮説として, 扁平足は正常足と比較してランニング中の足底腱膜張力が増加すると考えた. しかしながら, ランニング中の足底腱膜張力ピーク値は正常足と扁平足で有意な差はなく, 仮説とは異なっていた.

ランニングスピードに関して, 正常足と扁平足で有意な差は出現しなかった. さらに, 全被験者は後足部接地パターンでランニングを実施していた. これらの結果は, 正常足と扁平足が同一の条件でランニング動作を実施しており, これらのランニングパラメータが足底腱膜張力に影響を及ぼさないことを示している. 本研究結果より, 床反力垂直成分ピーク値と足底腱膜張力ピーク値は正常足と扁平足で有意な差は認められなかった. Nachbauerら<sup>17)</sup>は足部アーチの高さの違いがランニング中の床反力垂直成分に及ぼす影響を検証しており, 本研究と同様に足部アーチの高さの違いで床反力垂直成分に変化は無かったことを報告している. 足底腱膜張力の計算式より, 床反力垂直成分の増加は足底腱膜張力の増加に寄与している. 床反力垂直成分が正常足と扁平足で違いがなかったため, 足底腱膜張力ピーク値も2群間で異ならなかったと考えられる.

これまでの先行研究において, 扁平足は足底腱膜炎の危険因子であると報告されており<sup>4)</sup>, 足の過回内が足底腱膜にかかる張力を増加させるこ

とが示唆されている<sup>6)</sup>。しかし、他の先行研究では否定的な見解もあり、回内足と足底腱膜炎の関連性は低いことが示されている<sup>18)</sup>。足底腱膜炎に関する review<sup>4)</sup>によると、足底腱膜炎の発症は内的因子と外的因子に分類することができ、それらの危険因子の組合せによって発症することが報告されている。例えば、扁平足のような足部のマルアライメントだけでなく、中年層<sup>19)</sup>や定期的にランニングをしている者<sup>20)</sup>に発症率しやすいことも報告されている。このような先行研究の結果を踏まえると、本研究でリクルートした対象者は扁平足であったが、若年者であり、かつ定期的にスポーツ活動としてランニングを行っていない。また、近年の研究<sup>21)</sup>によると、足部接地パターンによって足底腱膜張力が異なり、前足部接地パターンは後足部接地パターンと比較して足底腱膜張力が増大することが報告されている。本研究結果より、正常足と扁平足のすべての被験者は後足部接地パターンであった。それゆえ、接地パターンが2つの群で同一であったことも足底腱膜張力が異ならなかった理由の一つであると考えられる。足底腱膜炎は単一の危険因子でなく、このようなマルチファクターが組み合わさった結果として、足底腱膜炎が生じる。それゆえ、本研究は正常足と扁平足の足部アライメントの違いのみに着目したため、正常足と扁平足間で足底腱膜張力に違いが生じなかったと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究はFPIを用いて正常足と扁平足を分類し、足底腱膜モデルによりランニング中の足底腱膜張力を推定することで扁平足に起因する足底腱膜炎のメカニズムの一端を解明することを目的とした。結果として、正常足と比較して扁平足の足底腱膜張力に違いは生じなかった。しかし、本研究では年齢の影響や普段からのランニング週間などの要因を含めて検討できていなかった。今後はそ

れらの要因を含めて、扁平足と足底腱膜炎の関連性について検討していく。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、研究助成を受け賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団様に厚く御礼申し上げます。また、本研究へ参加協力を快諾して下さった被験者の皆様、研究デザインや研究結果に対して有意義なご助言を下された所属機関の所員の皆様に深く感謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) Lee D.C., Pate R.R., Lavie C.J., Sui X., Church T.S., Blair S.N., Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk, *J. Am. Coll. Cardiol.*, **64**:472-481 (2014)
- 2) van Gent R.N., Siem D., van Middelkoop M., van Os A.G., Bierma-Zeinstra S.M., Koes B.W., Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review, *Br. J. Sports Med.*, **41**:469-480; discussion 480 (2007)
- 3) Taunton J.E., Ryan M.B., Clement D.B., McKenzie D.C., Lloyd-Smith D.R., Zumbo B.D., A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries, *Br. J. Sports Med.*, **36**:95-101 (2002)
- 4) Wearing S.C., Smeathers J.E., Urry S.R., Hennig E.M., Hills A.P., The pathomechanics of plantar fasciitis, *Sports Med.*, **36**:585-611 (2006)
- 5) Tenenbaum S., Hershkovich O., Gordon B., et al., Flexible pes planus in adolescents: body mass index, body height, and gender--an epidemiological study, *Foot Ankle Int.*, **34**:811-817 (2013)
- 6) Kindred J., Trubey C., Simons S.M., Foot injuries in runners, *Curr. Sports Med. Rep.*, **10**:249-254 (2011)
- 7) Chuter V.H., Relationships between foot type and dynamic rearfoot frontal plane motion, *J. Foot Ankle Res.*, **3**:9 (2010)
- 8) Redmond A.C., Crane Y.Z., Menz H.B., Normative values for the Foot Posture Index, *J. Foot Ankle Res.*, **1**:6 (2008)
- 9) Morrison S.C., Ferrari J., Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the

- paediatric foot, *J. Foot Ankle Res.*, **2**:26 (2009)
- 10) Cornwall M.W., McPoil T.G., Lebec M., Vicenzino B., Wilson J., Reliability of the modified Foot Posture Index, *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.*, **98**:7-13 (2008)
  - 11) Leardini A., Benedetti M.G., Berti L., Bettinelli D., Nativo R., Giannini S., Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait, *Gait. Posture.*, **25**:453-462 (2007)
  - 12) Nunns M., House C., Fallowfield J., Allsopp A., Dixon S., Biomechanical characteristics of barefoot footstrike modalities, *J. Biomech.*, **46**:2603-2610 (2013)
  - 13) Scott S.H., Winter D.A., Internal forces of chronic running injury sites, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **22**:357-369 (1990)
  - 14) Willson J.D., Loss J.R., Willy R.W., Meardon S.A., Sex differences in running mechanics and patellofemoral joint kinetics following an exhaustive run, *J. Biomech.*, **48**:4155-4159 (2015)
  - 15) Kuhman D., Melcher D., Paquette M.R., Ankle and knee kinetics between strike patterns at common training speeds in competitive male runners, *Eur. J. Sport Sci.*, **16**:433-440 (2016)
  - 16) Altman A.R., Davis I.S., A kinematic method for footstrike pattern detection in barefoot and shod runners, *Gait. Posture.*, **35**:298-300 (2012)
  - 17) Nachbauer W., Nigg B.M., Effects of arch height of the foot on ground reaction forces in running, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **24**:1264-1269 (1992)
  - 18) Warren B.L., Anatomical factors associated with predicting plantar fasciitis in long-distance runners, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **16**:60-63 (1984)
  - 19) Riddle D.L., Pulisic M., Pidcoe P., Johnson R.E., Risk factors for Plantar fasciitis: a matched case-control study, *J. Bone Joint Surg Am.*, **85**-a:872-877 (2003)
  - 20) Taunton J.E., Ryan M.B., Clement D.B., McKenzie D.C., Lloyd-Smith D.R., Plantar fasciitis: a retrospective analysis of 267 cases, *Physical Therapy in Sport*, **3**:57-65 (2002)
  - 21) Chen T.L.-W., Wong D.W.-C., Wang Y., Lin J., Zhang M., Foot arch deformation and plantar fascia loading during running with rearfoot strike and forefoot strike: A dynamic finite element analysis, *J. Biomech.*, **83**:260-272 (2019)