

## 走行スピードの違いで下肢関節が受ける負荷量の比較

津幡葉月<sup>1)</sup>、中川和昌<sup>2)</sup>

**要旨：**【目的】低スピード走行と高スピード走行で各関節が受ける負荷量を算出し、その違いから関節負荷に与える要素について検討を行うことを目的とした。【方法】健常大学生22名（男性14名、女性8名）を対象とし、低スピードと高スピードで床反力計を含めた走路を走行した。各関節にかかる負荷量を、踵接地から立脚中期までのモーメントの総和で算出し、X群（高速走行時より低速走行時の接地時間の比率が高い9名）、Y群（それ以外13名）に分け、各関節別、速度別での比較を実施した。【結果】低速走行時のX群は全関節において有意に負荷量が多い結果であったが、接地時間の影響を排除すると、低速走行時のY群は全関節において有意に大きい値を示した。Y群において、低速走行時より高速走行時の方が有意に大きい値を示した。【考察】走行時のスピードに関わらず、下肢の各関節への負荷量は接地時間が長い人ほど大きくなることが考えられた。

キーワード：ランニング障害、床反力、3次元動作解析装置

1) 筑波大学人間総合科学研究科体育学専攻

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

2) 高崎健康福祉大学保健医療学部理学療法学科

〒370-0033 群馬県高崎市中大類町501

(受付日 2024年2月28日 / 受理日 2024年4月22日)

### I. 目的

近年、ランニング人口は増加傾向にある。2000年には推計766万人であったランニング人口は2020年には推計1,055万人になったという報告がされている<sup>1)</sup>。ランニングは身一つで実施でき、自身で負荷量を調節することが可能であるために、多くの人が手軽に始めることができるというのがメリットとして挙げられている。しかしその一方で、ランニング人口の増加の伴い、ランニング障害の発生率が懸念されており、1年間でランナーの39～85%がランニング関連障害を発症すると言われている<sup>2)</sup>。

ランニング障害を考える際に、身体機能面では足関節の背屈制限や扁平足の形状はランニング障害の発症と関連があると言われていることなど、ランニングにおける疼痛の発生には様々なメカニズムがあると考えられている<sup>3)</sup>。走行スピードと障害の関係を考えると、基本的には走行スピードを増大させるほど床反力が大きく、下肢が受ける衝撃の大きさも

増大すると考えられており<sup>4)</sup>、接地直後の床反力の大きさと床反力の傾きが下腿の疲労骨折を誘発していると言われている<sup>2)</sup>。

しかし筆者らが競技現場における指導者からの意見を聞くところでは、高スピードでの走行では疼痛が発生せず、低スピードの走行時でのみ疼痛が発生すると訴える競技者も少なくない。後藤ら<sup>5)</sup>の先行研究によると前足部接地のランナーよりも後足部接地の競技者の方が足底の接地時間が有意に大きいことがわかっており、前足部接地の競技者よりも後足部接地の競技者の方がランニング障害のリスクが高いことも報告されている<sup>6)</sup>。このことより、スピードに関する床反力の増大に伴うストレスよりも、足底の接地時間が下肢のランニング障害には影響していることが推測される。

今回我々は走行速度の違いと下肢にかかる負担に関して注目した。上記の通り、先行研究で速度別、接地時間別での検証はされているが、速度を変えた

走行別に、各々足底の接地時間から負荷量を実際に算出し、関節ごとの比較や受傷との観点から比較した研究は少ない。本研究では3次元動作解析装置と床反力計を用いて、高スピードと低スピードの2種類のスピードで走行した際の下肢の関節それぞれにかかるモーメントを求め、足底の接地時間の違いから検討することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 対象

下肢・腰部の疾患を有しておらず、ランニング動作が遂行可能であった健常大学生22名（男性14名、女性8名、年齢 $20.5 \pm 0.7$ 歳、身長 $168.3 \pm 8.7$ cm、体重 $60.7 \pm 9.5$  kg）を対象とした。本研究ではランニングシューズは特に規定せず、本人所有のランニングシューズにて測定を実施した。

### 2. 倫理的配慮

本研究はヘルシンキ宣言に遵守して実施されている。対象者全員に本研究の目的、内容、方法について口頭および文書にて説明し、参加は自由意志で拒否による不利益はないこと、および個人情報の保護について、同意書への署名を持って同意を得た上で測定・アンケートを実施した。

### 3. 方法

#### 1) 測定条件

対象者には2種類のスピードでの走動作を支持し、床反力計（AMTI社製）、3次元動作解析装置（VICON：Vicon Motion System社製）を使用し、各関節にかかるモーメントを算出した。走動作の条件は、床反力計の上を左右どちらかの足で踏むこと、10mの走行路を3.6秒（10km/時）、2.4秒（15km/時）の2種類のスピードを目安として走行することを被験者に指示した。数回の練習後、測定者のストップウォッチ上で指定した時間  $\pm 0.2$ 秒以内に収まったものを記録とし、3回測定できるまで実施した。

測定に際し、左右の上前腸骨棘（股関節中心と定義）、膝関節裂隙（膝関節中心と定義）、外果（足関節中心と定義）にマーカーを貼付した。VICONデータのサンプリング周波数は100Hz、床反力データの

サンプリング周波数は1000Hzとした。

測定後、Form上で作成したアンケートに回答することで基本情報を聴取した。

#### 2) 期分け

踵接地（Initial Contact、以下IC）から立脚中期（Mid Stance、以下MSt）を測定範囲とした。ICは床反力が出現する時間、MStは抽出されたデータ上で、床反力が床から垂直になった点と定義した。

#### 3) 測定項目

##### (1) 各関節への累積モーメント

測定結果から得られた床反力の垂直方向の成分と関節中心からの距離を乗じた積を関節モーメントとし、各関節でICからMStまでの総和を負荷量として算出した。

##### (2) 基本情報

性別、身長、体重、過去の下肢受傷歴およびその部位に関して聴取した。

#### 4) 解析方法

##### (1) データ処理

対象者の足底の接地時間に着目し、低スピード走行時と高スピード走行時の足底接地時間を比較し、低スピード走行時が比較的長い9名をX群（男性5名、女性4名、年齢 $20.6 \pm 0.9$ 歳、身長 $166.3 \pm 7.8$ cm、体重 $59.3 \pm 9.9$ kg）、高スピード走行時が比較的長い13名をY群（男性9名、女性4名、年齢 $20.6 \pm 0.8$ 歳、身長 $169.7 \pm 9.5$ cm、体重 $61.6 \pm 9.8$ kg）とした。分類方法は各対象者がプロットされたグラフ上において、著者が直線を引いて均等になるよう判断した（図1）。X群、Y群の両群間で高スピード走行時、低スピード走行時の負荷量を算出し比較した。

加えて接地時間の影響を排除するために、X群、Y群それぞれの負荷量に2種類の速度（時速10km、時速15km）を乗じた値を算出し、再び同様に比較を実施した。

##### (2) 統計解析

各データはShapiro-Wilkの正規性の検定でデータの正規性を確認した。

X群、Y群の各々において、スピード別で各関節の負荷量を3群間で正規性が認められた場合は一元配置の分散分析、認められなかった場合はFriedman検定にて解析した。また、両スピード間

での各下肢関節にかかる負荷量の比較を、正規性が認められた場合は対応のあるt検定、認められなかった場合はWilcoxonの符合順位検定にて解析した。またX-Yの2群間の各負荷量を正規性が認められた場合は対応のない検定、認められなかった場合はMann-Whitney検定にて解析した。

統計ソフトはSPSS Statistics Ver. 29 (IBM社製)を使用し、有意基準は5%とした。

#### IV. 結果

##### 1. 各群内におけるスピード別測定結果 (表1)

両群ともに高スピードにおける各関節の負荷量、低スピードにおける各関節の負荷量には有意な違いは認められなかった。

両スピード間での各関節にかかる負荷量の違いにおいては、X群にのみ全関節で優位に低スピード走行時が大きな値を示した(股関節:  $p = 0.011$ 、膝関節:  $p = 0.005$ 、足関節:  $p = 0.023$ )。Y群においては全関節で有意差を認めなかった。

##### 2. 両群間における測定結果の比較結果

X-Yの2群間の各負荷量を比較した結果、低スピード走行時にのみ、全関節でX群が有意に大きい結果となった(股関節:  $p = 0.030$ 、膝関節:  $p = 0.007$ 、足関節:  $p = 0.005$ )。高スピード走行時には全関節で有意差を認めなかった(股関節  $p = 0.260$ 、膝関節  $p = 0.148$ 、足関節  $p = 0.187$ )。

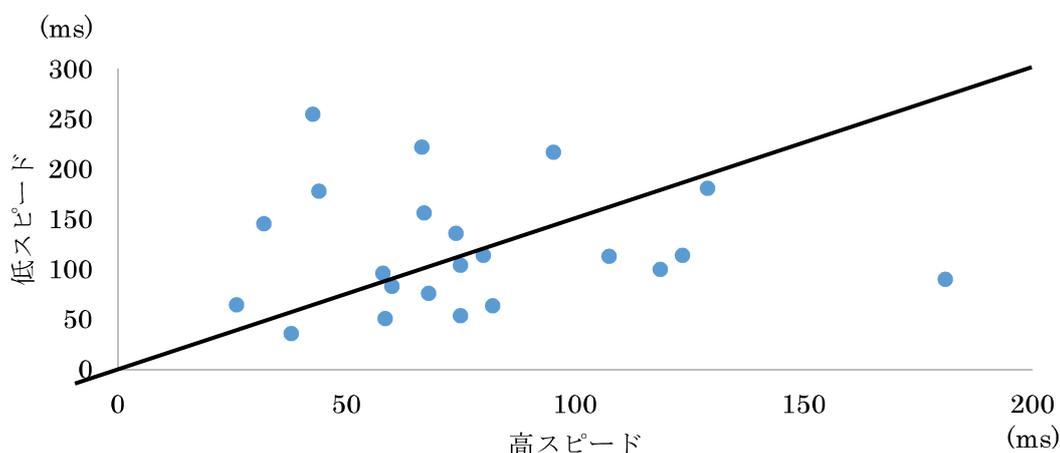


図1 全被験者の接地時間と分類線

表1 両群における測定結果

	負荷量 (103 Nm)		
	高スピード	低スピード	p 値
X群 (n = 9)			
股関節	7.8 ± 7.1	20.7 ± 9.6	0.011*
膝関節	7.7 ± 7.7	22.5 ± 12.1	0.005*
足関節	7.1 ± 7.8	22.2 ± 17.4	0.023*
p 値	0.734	0.672	
Y群 (n = 13)			
股関節	14.1 ± 9.6	12.0 ± 7.9	0.507
膝関節	9.8 (5.6, 21.0)	10.5 ± 6.7	0.600
足関節	11.7 ± 7.6	7.9 ± 5.1	0.092
p 値	0.146	0.299	

平均値 ± 標準偏差

中央値 (第3四分位数、第1四分位数)

列: 対応のあるt検定、またはWilcoxonの符合順位検定

行: 一元配置の分散分析、またはFriedman検定

\*:  $p < 0.05$

### 3. 接地時間の影響を排除した負荷量の比較(表2)

両群ともに高スピードにおける各関節の負荷量、低スピードにおける各関節の負荷量には有意な違いは認められなかった。

スピード別の比較では、X群においては膝関節で高スピード走行時の方が有意に大きい値となった(p = 0.037)。またY群においては、全関節で優位に高スピード走行時が大きな値を示した(股関節:p = 0.029、膝関節:p = 0.033、足関節:p = 0.007)。

X-Yの2群間の各負荷量においては、低スピード走行時の全関節でY群が有意に小さい値を示した(股関節:p = 0.030、膝関節:0.007、足関節:0.011)。高スピード走行時においては全関節で有意差を認めなかった(股関節 p = 0.109、膝関節 p = 0.179、足関節 p = 0.187)。

### 4. 下肢受傷部位の割合

X群では下腿より遠位部に受傷歴のある対象者が約33% (9人中3人)であり、Y群では約54% (13人中7人)であった。

## V. 考察

X群での低スピード走行時の下肢関節にかかる負荷量は全て、Y群のものよりも大きくなる。また、X群の低スピード走行時の関節の負荷量はX群の高スピードのものよりも有意に大きくなることがわか

る。これは、走行時の床への接地時間が関与しているのではないかと考える。X群の低スピード走行時の接地時間はY群の低スピード走行時の接地時間よりも有意に長いということが示されている。そのため、低スピード走行時の負荷量を求める際の計算では、それぞれの関節モーメントをIC ~ MStまで加算する回数が増加し、高スピード走行時の負荷量を上回るのではないかと考えた。

また、時間の影響を排除した負荷量の比較では、低スピード走行時の膝関節にかかる負荷量をX群、Y群で比較したところ、Y群の方がX群よりも有意に大きいことがわかっている。X群の低スピード走行時、高スピード走行時の比較において全ての関節で低スピード走行時の負荷量の方が有意に高いことが示されていたのにも関わらず、時間の影響を排除した比較では膝関節で高スピードが有意に大きいことが示され、他の関節では有意差は見られていないものの、平均値は高スピード走行時の負荷量の方が大きいことがわかった。また、Y群の低スピード走行時と高スピード走行時を比較したところ有意な差は見られなかったが、時間の影響を排除した比較では全ての関節において高スピード走行時の負荷量が有意に大きいことが示された。時間の影響を排除すると低スピード走行時の負荷量よりも高スピード時の負荷量が大きくなる。加えて、先行研究では速度を増大させるほど床反力が大きくなることが言われ

表2 接地時間の影響を排除した各関節の負荷量の比較

X群 (n = 9)	高スピード	低スピード	p 値
股関節	117.0 ± 100.7	108.9 ± 8.2	0.089
膝関節	115.9 ± 108.5	112.2 ± 3.7	0.037*
足関節	107.1 ± 110.6	109.0 ± 1.7	0.075
p 値	0.980	0.955	
Y群 (n = 13)	高スピード	低スピード	p 値
股関節	212.1 ± 64.7	101.9 ± 61.3	0.029*
膝関節	141.4 (91.2, 282.7)	99.1 ± 57.8	0.033*
足関節	175.7 ± 55.9	93.3 ± 53.7	0.007*
p 値	0.121	0.982	

負荷量×速度 (103 Nm\*km/h)

平均値 ± 標準偏差

中央値 (第3四分位数、第1四分位数)

列: 対応のある t 検定、または Wilcoxon の符合順位検定

行: 一元配置の分散分析、または Friedman 検定

\*: p < 0.05

ている<sup>3)</sup>。このことより、高スピード走行時は床反力が低スピード走行時よりも大きいため、時間の影響を排除した際には負荷量が低スピード走行時よりも大きくなるのではないかと考えられる。

本研究の限界点として測定環境の問題から2種類の走行スピードの差を大きくつけることができなかつたこと、速度の測定を手動のストップウォッチで実施したために正確な測定であると言えないこと、走行の際の足底の接地方法によって接地時間が変化し、それに伴い下肢にかかる負荷量が変化してしまうことなどが挙げられる。これらを踏まえ今後の課題として、今回の測定よりも広い環境で実施すること、速度を厳密に測定できる方法を用いること、測定の接地方法ごとに群分けを行って比較することなどが挙げられる。また受傷との関係という点に関しては、あくまで今回は下腿より遠位部の障害歴の調査結果を基に考察したが、受傷機転やその詳細な情報を踏まえた検証も必要であると考えている。加えて、本研究では測定の際に自然な走行を心がけてもらえるよう、床反力計に乗る脚は左右どちらでも良いと被験者に指示をしたが、左右による違いは検討していない。今後、障害との関係を考える際には上記条件の統一、障害の詳細、左右差等の点は大きな要素であるため、今後の検討課題である。加えてG\*Power3.1.9.2にて、効果量=0.50、 $\alpha$ エラー=5%、検定力 (power  $1-\beta$  err prob) =0.80で、独立2群間の比較検定する際に必要なサンプルサイズを算出した結果、各群51名、計102名のサンプル量が必要である。方法論の再検討に加え、必要な対象者数を増やし検討する必要がある。

以上より研究上の限界点も散見されるため、今回の研究から得られた結果には限界点もあるが、今回の結果よりランニング動作時の関節への負荷量は接地時間に依存しており、接地時間が長い対象者の方が、負荷量が大きくなるのではないかと考えられる。前述の通り受傷機転には様々な因子が関与しているため、今後はデザインの再考を含め継続した検証が求められる。

## VI. 利益相反

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項は

ない。

## VII. 引用文献

- 1) 笹川スポーツ財団：スポーツライフ・データ 2022 - スポーツライフに関する調査報告書 - . 笹川スポーツ財団、東京、2022、pp 70-86.
- 2) 榎本敦、保原浩明・他: 人体採寸によるランニング関連障害因子の推定. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 17-19, 2015.
- 3) 栗原靖, 田上未来・他: ランニング動作の足部の運動特性とランニング障害発症因子の関連～足関節背屈制限, 扁平足形状, 下肢力学因子に着目して～. 日本臨床スポーツ医学会誌 27(1): 53-60, 2019.
- 4) 松野義晴: 歩行・走行における履物特性について. 千葉体育学研究 18: 19-24, 1994.
- 5) 後藤晴彦, 鳥居俊: 陸上競技5000mにおける接地パターン. 日本臨床スポーツ医学会誌 26(1): 135-143, 2018.
- 6) Lieberman DE, Venkadesan M, et al.: Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature 463 (7280): 531-535, 2010. DOI: 10.1038/nature08723. PMID: 20111000.