

## II 各種の牽引走が疾走中の地面反力に及ぼす影響

阿江 通良, 村木 征人, 宮下 憲, 伊藤 信之, 森田 正利

### 緒 言

短距離走の運動局面は大きく支持期と非支持期に分けられるが、短距離走者が大きな力を発揮するのは支持期であり、そこでは支持脚は大きな外力、すなわち地面反力を受け、それによって支持期前半ではブレーキを、後半では加速を生じる。したがって、地面反力の変化を研究することは、短距離走や牽引走をより深く理解するために重要なことである。

Meroら<sup>4,5)</sup>は、全力疾走、超最大速度での疾走(牽引走)における地面反力を筋電図とともに測定し、牽引走では支持期前半における水平前後の最大力、平均力、仕事、パワーおよび鉛直の最大力と平均力が全力疾走の場合よりも大きかったと報告している。しかし、Meroらの研究では、牽引力は30~45 Nであり、被験者も本研究プロジェクトにおける場合のように牽引走に十分に習熟したものではないようである。

本研究プロジェクトでは、これまで各種牽引走の短距離走トレーニングへの効果を主に疾走フォームや回復脚の下肢関節回りのトルク、パワー、下肢筋群によってなされた力学的仕事などの観点から検討してきた<sup>3,6)</sup>。そして、最大努力での超最大スピード疾走状態の適正牽引力としては3kgの張力が、疾走フォームの改善をねらいとするトレーニングには最大下の努力度合(約90%)での張力2kgによる牽引走が効果的であることが明らかになった。しかし、これらの牽引走による地面反力への影響についての検討はまだ行なわれていない。

本研究では、全力疾走、努力度合90%での張力2kgおよび最大努力での張力3kgによる牽引走における地面反力を測定し、これらの牽引走が地面反力に及ぼす影響を検討した。また、疾走中に大腿後面に痛み(軽度の肉離れ)を生じた例の地面反

力についても報告する。

### 方 法

#### (1) 実験

##### ①被験者

被験者は、牽引走に習熟している、熟練度の高い短距離選手7名、跳躍および混成競技選手9名の合計16名であった。

##### ②実験試技

実験試技として、牽引開始後40m地点に埋設したforce platform(Kistler社製)に乗るように指示した①全力走、②努力度合90%での張力2kgによる牽引走、③最大努力での張力3kgによる牽引走、④ポスト全力走を間に十分な休息をはさみながら、それぞれ2~3回行なわせた。被験者には、自然なフォームとリズムでforce platformに乗るように指示し、数回の練習を行なわせた後、測定を行なった。

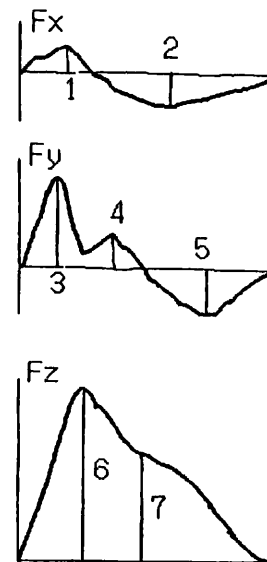


図1 地面反力に関する主な測定項目

### ③牽引装置および実験装置

牽引装置には、牽引力が制御可能な等張性牽引装置“SPEED-MAX”(ニシスポーツ社製)を用いた。

地面反力の測定には、トラックに埋設した Kistler 社製の force platform (9281型, 固有振動数800 Hz)を用い, ストレインアンプからの地面反力の3分力(水平左右, 水平前後, 鉛直)および力の作用点のデータをサンプリング周波数1000HzでA/D変換し, フロッピーディスクに格納した。同時に, 被験者の疾走動作を左側方50mの地点か

ら高速度VTR(NAC製, HSV-400)により毎秒200コマで追い撮りした。

### (2) 地面反力データの処理

図1は典型的なスプリントの地面反力パターンを示したもので, 右足接地の場合を例にとると,  $F_x$ とは水平左右で正の値は左方向から右方向に作用する力を,  $F_y$ とは水平前後で正の値は前から後へ作用する力(ブレーキ)を,  $F_z$ は鉛直で正の値は下から上方向に作用する力を意味している。本研究では, 図中に数字で示したような地面反力の

表1 全力走および牽引走における地面反力に関する各種測定項目

測定項目	全力走	牽引走 90%, 2 Kg	牽引走 100%, 3 Kg	ポスト 全力走
被験者数	9	7	9	7
時間				
全体 (ms)	96.2 (6.6)	93.0 (7.8)	93.0 (6.5)	97.2 (7.4)
前半 (ms)	40.3 (2.9)	39.7 (5.0)	40.0 (3.3)	40.9 (4.2)
後半 (ms)	55.9 (4.6)	53.3 (3.9)	53.0 (4.2)	56.3 (4.7)
1 水平左右				
前半ピーク (BM)	2.964 (4.126)	2.389 (4.664)	3.168 (4.326)	3.731 (4.044)
時間 (ms)	11.6 (1.3)	10.0 (3.0)	11.12 (2.2)	11.4 (1.9)
2 後半ピーク (BM)	2.483 (2.054)	-0.633 (5.156)	-0.341 (3.473)	-0.878 (2.602)
時間 (ms)	48.8 (16.3)	40.1 (10.9)	45.0 (12.8)	52.6 (14.0)
3 水平前後				
前半ピーク 1 (BM)	17.106 (2.860)	18.738 (3.689)	17.682 (6.215)	16.799 (2.867)
時間 (ms)	6.9 (1.8)	9.0 (1.4)	10.2 (1.9)	9.4 (1.7)
4 前半ピーク 2 (BM)	3.929 (1.354)	4.138 (2.247)	4.859 (2.267)	4.048 (1.719)
時間 (ms)	31.3 (1.5)	31.3 (1.6)	31.9 (1.7)	32.1 (1.6)
5 後半ピーク (BM)	8.965 (1.029)	9.048 (0.911)	9.212 (1.193)	9.178 (0.893)
時間 (ms)	65.9 (5.8)	62.0 (6.6)	62.7 (5.6)	67.4 (7.0)
6 鉛直				
ピーク (BM)	40.812 (6.891)	46.065 (7.687)	44.730 (6.849)	43.794 (9.811)
時間 (ms)	25.8 (8.9)	27.6 (5.1)	27.4 (7.0)	29.4 (6.8)
7 中間時 (BM)	36.436 (2.341)	37.294 (2.140)	36.853 (2.708)	36.733 (2.567)
力積 (N*s/BM)				
水平前半	-0.193 (0.038)	-0.197 (0.049)	-0.230 (0.054)	-0.204 (0.048)
後半	0.265 (0.033)	0.246 (0.029)	0.251 (0.033)	0.270 (0.038)
後半-前半	0.072 (0.033)	0.049 (0.059)	0.021 (0.052)	0.066 (0.051)
鉛直全体	2.143 (0.159)	2.140 (0.266)	2.128 (0.213)	2.208 (0.220)
前半	1.147 (0.155)	1.235 (0.236)	1.206 (0.180)	1.176 (0.172)
後半	0.996 (0.114)	0.905 (0.152)	0.922 (0.129)	1.032 (0.140)

ピーク値およびピーク出現時間、支持期前半および後半の時間、力積など22項目について測定した。

なお、試技間の統計的有意差の検定には、F検定を用いた。

## 結果と考察

### 1. 各種牽引走における地面反力のピーク値、力積など

表1は、全力走、張力2kgによる牽引走(牽引走2という)、3kgによる牽引走(牽引走3という)、ポスト全力走における地面反力の各種測定項目を短距離選手9名について示したもので、項目名の番号は図1に示したものに一致している。

表1に示した22項目のいずれにも試技間の統計的な有意差はみられなかった。そして、Meroら<sup>4,5)</sup>の牽引走に関する一連の研究結果、すなわち牽引走では支持期前半(インパクト期)における水平方向の最大力、平均力、仕事、パワーが、また鉛直方向の最大力および平均力が全力走の場合よりも有意に大きかったという結果とは一致しなかった。

これは、1つには、後述するように地面反力の変化パターンにはかなりの個人差があることによると考えられる。さらに、Meroらが用いた牽引走が最大努力での張力30~45Nによるものであったこと、被験者も本研究で用いた被験者ほど牽引走に習熟していなかったことなどから推測すると、本研究の場合とは条件的にかなりの相違があったことなどによると考えられる。

本研究では、全力走と牽引走の間に統計的な有意差はみられなかったが、以下のような傾向のあることがわかる。

- ①支持時間については、牽引走では全力走よりも平均では約3 ms短く、しかもこれは支持期後半(加速期)の時間短縮によるものである。
- ②水平左右成分にはかなりのばらつきがあり、一定の傾向はみられない。
- ③水平前後成分では、前半の2つのピーク値、後半のピーク値ともに全力走よりもやや大きくなり、後半のピーク出現時間は3 ms程度短縮する。
- ④鉛直成分では、牽引走のピーク値は250~300

N程度大きくなる傾向にある。またピーク出現時間は、水平成分とは逆に遅延する傾向にある。

- ⑤身体質量当りの力積は、水平前後方向では後半の力積がいずれの試技においても前半よりも大きい。しかし、牽引走では、後半の力積が小さくなる。

鉛直方向の力積は、いずれの試技においても前半の方が大きい。また牽引走では、水平成分と同様に後半の力積が減少する。

このような支持期後半の力積の減少は、牽引走では支持期後半では支持脚のキックが小さくなり、加速のための力積が減少するという推測を裏付けるものであろう。

これらの結果は、牽引走に習熟した選手で牽引力が3kg以下であれば、通常の短距離疾走と大きな相違のない疾走が行なえることを示唆していると考えられる。

### 2. 地面反力の変化パターンについて

CavanaghとLafortune<sup>1)</sup>はジョギング中の地面反力には鉛直成分に接地後大きなインパクト的なピークのみられる型とインパクトピークのみられない型があることを報告している。またPayne<sup>2)</sup>はスプリントにおいてもインパクト型とインパクトによるピークのない型があることを指摘している。先述したように、本研究でも地面反力の変化パターンにはかなりの個人差がみられた。

図2はインパクト型の、図3はインパクトによるピークのみられない型(ノンインパクト型)の地面反力を、全力走、牽引走、ポスト全力走について示したもので、上図は水平左右、中図は水平前後、下図は鉛直の各成分である。また各図において、実線は全力走を、破線は牽引走2を、点線は牽引走3を、一点破線はポスト全力走を示している。

両型を比較してみると、水平左右成分の変化パターンには同一被験者でも試技間にかかなりのばらつきがみられ、一定した傾向はみられない。しかし、水平前後成分では本質的な相違はなく、前半では2峰性の、後半では単峰性の変化を示す。一方、鉛直成分には先に述べたような大きな相違が

みられる。

次に、全力走と牽引走を比較してみると、インパクト型（図2）では、水平前後成分の前半におけるピーク値に一定の傾向はみられず、後半のピーク値にも差はない。しかし、牽引走では後半の波形の位相がやや左にずれており、ピークの出現が早くなり、支持時間が短縮する傾向にあることがわかる。鉛直方向では、牽引走2ではピーク値、後半における力とも全力走よりも小さくなっているが、牽引走3では全力走、牽引走2に比べて著しく大きなピークがみられる。

ノンインパクト型（図3）では、インパクト型と同様に、全力走と牽引走間にピーク値の差はないが、牽引走では水平、鉛直の両成分とも全力走よりも地面反力のピークが左にずれて時間の短縮がみられる。

このようなことから、地面反力の変化パターンにはかなりの個人差がみられても牽引走による地面反力の変化傾向は大きな相違のないことがわかる。

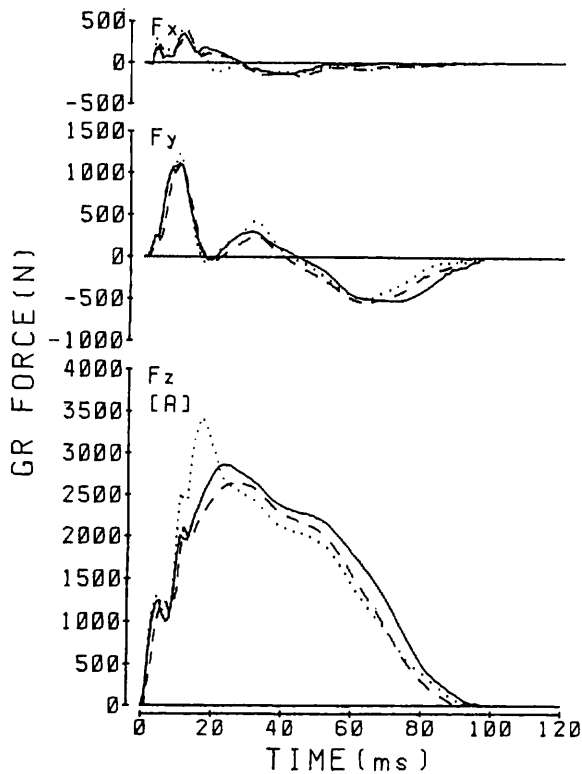


図2 インパクト型接地の地面反力の変化  
実線は全力走、破線は努力度合90%での張力2kgによる牽引走、点線は最大努力での張力3kgによる牽引走を示す。

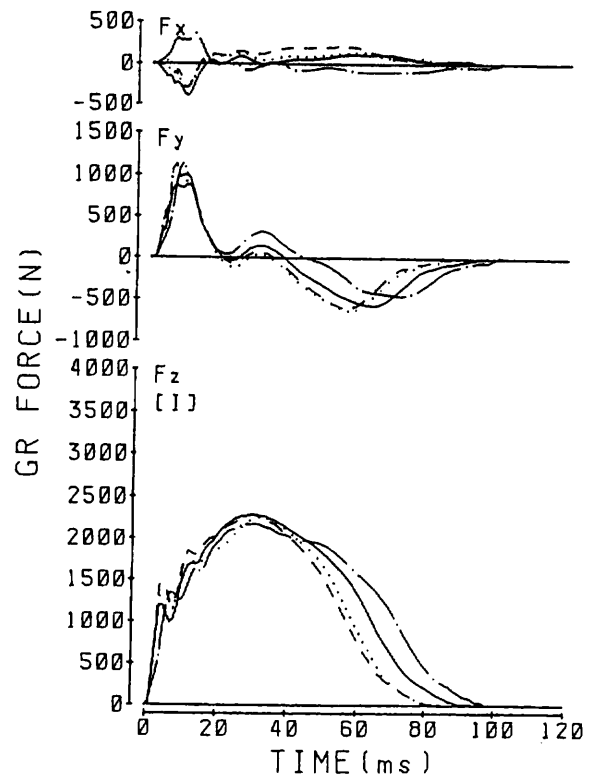


図3 ノンインパクト型接地の地面反力の変化  
実線は全力走、破線は努力度合90%での張力2kgによる牽引走、点線は最大努力での張力3kgによる牽引走、一点破線はポスト全力走を示す。

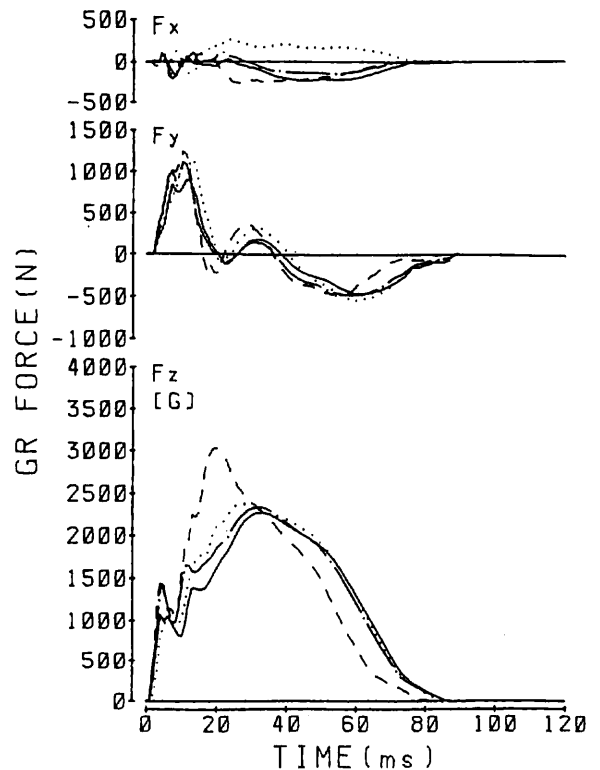


図4 ノンインパクト型接地の短距離選手によるインパクト型接地の例

### 3. 地面反力の変化からみた牽引走と肉離れの予防について

図2に示した試技のうち、牽引走3では、鉛直方向のピークが著しく大きい。この試技は被験者Aが左大腿後部に痛みを感じ、以後の試技を中止したときのものである。この試技では、被験者がforce platformに左足をあわせようとしたため、ストライドが伸び、接地距離が全力走よりも約7cm大きくなった。このような動きは跳び込むような接地を生じ、そのため鉛直方向の地面反力が大きくなり、脚に大きな負担を与えられられる。

図4は、ノンインパクト型の被験者が牽引走2でインパクト型の接地を行ない、大きな水平および鉛直の地面反力を示したが、傷害を生じなかった例である。

飯干ら<sup>2)</sup>は、肉離れを経験した短距離選手の疾走フォームを分析し、接地距離が長くなると、大腿後面の筋群への負担が大きくなることを指摘している。飯干らの報告から推測すると、この試技において地面反力が大きいにもかかわらず、傷害が生じなかったのは、接地距離が全力走と比べてあまり大きくなかったこと(約3cm)、努力度合が90%で牽引力も2kgであり、疾走速度が小さかったことなども幸いしたと考えられる。

このようなことから、ストライド、特に接地距離の延長は股関節回りのモーメントアームを長くし、股関節を屈曲させる地面反力のモーメントを大きくするので、股関節を伸展する筋群には大きな負担になると考えられる。したがって、牽引走による傷害を予防するには、接地距離が大きくなりすぎないようにするとともに、努力度合をやや下げ、牽引力をあまり大きくしないことが役立つと考えられる。このことは、村木ら<sup>9)</sup>が疾走技術の習熟をねらいとする場合の適正牽引力を2kg程度としていることとも符合するものである。

#### ま と め

本研究では、牽引走に習熟した短距離選手9名に努力度合90%での張力2kgによる牽引走、最大努力での張力3kgによる牽引走を行なわせ、そのときの地面反力を測定し、牽引走の地面反力への影響

を検討した。その結果、以下のような結論とトレーニング実践への示唆を得た。

- ①水平左右、水平前後および鉛直方向のピーク値、ピーク出現時間、力積などには、統計的な有意差はなかった。しかし、支持期後半の時間が短縮し、ピーク出現時間が短縮する傾向がみられた。
- ②支持期後半の力積は、全力走に比べて小さくなるので、疾走能力を総合的に高めるには支持期後半のキック力を強化するトレーニング手段を取入れる必要がある。
- ③牽引走に習熟すれば、力学的には全力走と大きな相違のない疾走を行なうことができる。
- ④最大努力で大きな張力による牽引走を行なう場合には、肉離れなどの傷害が発生しやすいので、接地距離および鉛直地面反力が大きくなりすぎないように十分注意する必要がある。
- ⑤習熟的なねらいでの牽引走トレーニングでは、最大下努力での2kg程度の張力による牽引走が薦められる。しかし、この場合でも、接地距離および鉛直地面反力が大きくなると、傷害が発生する恐れがあるので、十分注意する必要がある。

本研究の実験に際しては、筑波大学陸上競技部の短距離、跳躍、混成の各ブロックの学生、大学院生諸氏には多大かつ献身的な協力をいただいた。また実験資料の整理に際しても多大な労力を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表する。

#### 文 献

- 1) Cavanagh, P.R. and Lafortune, M.A.: Ground reaction forces in distance running. *J. of Biomechanics* 13: 397-406, 1980.
- 2) 飯干 明ほか: スタートダッシュフォームと肉離れのバイオメカニクス的研究. *体育学研究* 34: 359-372, 1990.
- 3) 伊藤信之ほか: 牽引走を最大下の努力度合で行なうことによる影響. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.VII スプリントアシストッド・トレーニングに関する研究—第2報—, pp.9-19, 1990.

- 4) Mero, A. and Komi, P.V. : Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationship at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55 : 553-561, 1986.
- 5) Mero, A. et al. : Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int. J. Sports Med.* 8 : 55-60, 1987.
- 6) 村木征人ほか : 等張性トウ・トレーニングにおける適正牽引力とトレーニングの即時効果. 昭和63年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.X スプリントアシステッド・トレーニングに関する研究 (第1報), pp.9-27, 1989.
- 7) Payne, A.H. : Foot to ground contact forces of elite runners. In *Biomechanics VIII-B*, (edt.) Matsui and Kobayashi, Human Kinetics Publishers, pp.746-753, 1983.