

400 m走の前・後半における疾走動態の変容

平野 達也

Transformation of sprint dynamics fatigue and non-fatigue of the 400m running

Tatsuya HIRANO

1. 序論

陸上競技のトラック種目の一つに400m走がある。400m走は、ほぼ無酸素系で産出されたエネルギーのみを利用して走る距離が長い。エネルギー発揮は時間とともに次第に低下していき約40秒を超えてから高い出力を発揮することができなくなり、高い疾走速度を維持することが大変困難な種目である (Hirvonen et al, 1992)。そのため400m走において高いパフォーマンスを発揮するには、高い疾走速度を発揮するスプリント能力に加え、疾走速度の低下を抑える筋持久力、さらに400m走においてはレースパターンによるペース配分の能力が必要となる。

400m走の前後半を比較した研究は多いが、キネティクスの研究はほとんど行われていない。唯一 Nummela et al. (1994) は、400m走のラスト6～10m地点の地面反力を測定している。さらに400m走における前半100m走速度での20m最大下走と20m全力走においてもラストの地面反力および、右脚の腓腹筋、大腿二頭筋、外側広筋、大腿直筋の筋電図を測定し、比較検討している。400m走における前半と比較して後半は、地面反力の鉛直方向の力が減少するが、腓腹筋、大腿直筋、大腿四頭筋および外側広筋の筋電図の平均値は、20m最大下走よりも高い値を示し、筋が疲労している中でも筋は大きな力を発揮していることを明らかにしている。しかし、筋電図を測定するために遠隔電位計を腰に装着して疾走しているため、400mパフォーマンスレベルは本来の走力と比べて低い結果 (実験走タイム $54.39 \pm 3.80s$ 、達成率94.2%) となっている。

そこで、本研究では400m走中における地面に

加えられた力を詳細に検討することで、400m走中の非疲労状態 (400m走前半) から疲労状態 (400m走後半) における地面反力の変化を示すこと、またその下肢関節の力の貢献の変化をトルク発揮から分析することで、速度低下の要因を示すことが目的である。

2. 方法

2.1 対象者

本研究の対象者は大学陸上競技部に所属し、短距離走を専門とする男子大学生13名 (400m走ベスト記録: $50.81 \pm 1.93s$) であった。なお、全ての対象者に事前に本実験の主旨、内容ならびに安全性について説明し、参加の同意を得た。

2.2 運動課題

実験は全天候型陸上競技場で行った。対象者には主観努力度100%で実際のレースを想定して400m走を1名ずつクラウチングスタートから2試技行なった。ホームストレートではフォースプラットフォーム (以下FP) (Kistler社製, 9281type) が埋蔵してある9レーン走行させ、それ以外はトラックの8レーンを走行させた。1試技目には、このFPがスタートから150m地点 (以下、前半とする) 2試技目は、FPがスタートから350m地点 (以下、後半とする) になるようスタート位置を設定した。いずれの試技も計400mとなるように距離を計測した。

2.3 分析方法

400m走の20m毎の疾走動態を測定するために、トラックの内側からデジタルビデオ (以下DV) カメラ (CANON, IXY) を設置し、スター

トからゴールまでを毎秒30コマにてパンニング撮影した。またFPの両側方から高速度DVカメラ(CASIO, EX-F1)を用いて毎秒300コマ、露出時間1/1000で固定撮影した。高速度DVカメラに同期ランプを写し込むとともに、同時にFPを用いてサンプリングレート1000Hzで地面反力を測定した。なお、試技の撮影後にキャリビュレーションボール(高さ2.5mに5個の較正器を取り付けたボール)を撮影範囲の7箇所(7箇所)に垂直に立て、順に撮影した。

2.4 データ処理

撮影された映像をパーソナルコンピュータ(以下PC)に取り込み、ビデオ動作解析装置(DKH, Frame-Dias IV)を用いて身体23点と較正マーク4点を毎秒100コマでデジタイズした。さらに得られた地面反力は画像の同期ランプを用いて100Hzに同期した。デジタイズにより得られた身体23点の二次元座標を4点の較正マークを基に実長換算し、Wells and Winter (1980)の方法を用いて、分析点毎に最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。

2.5 算出項目及び算出方法

400m走タイムおよび区間毎の疾走速度とストライドとピッチはパンニング撮影されたデータから読み取った。また疾走速度低下率を算出した。得られた地面反力から接地期前半に水平後方向の力が作用する減速局面の力積(以下減速力積)と、後半に水平前方向の力が作用する局面の力積(以下加速力積)を算出した。また、鉛直方向においては、支持期全体での力積(以下鉛直力積)を算出した。なお、鉛直力積においては体重分を差し引いて算出し、全ての力積は参加者の体重で除した値とした。またそれぞれの力積をそれぞれの力積にかかった時間で除し、平均減速力、平均加速力、平均鉛直力として算出した。支持時間、加速時間、減速時間は地面反力から読み取った。

関節トルクを算出するために、身体を剛体リンクセグメントにモデル化し、各部分について運動方程式をたて、順動力学計算により算出した。なお、

関節トルクの符号は伸展および底屈が正、屈曲および背屈が負になるように符号の変換を行った。

2.6 統計処理

各項目間の相関係数を算出する場合はピアソンの積率相関分析を用いた。キネマティクスに関する項目と試技(前半・後半)においては二元配置分散分析を行った。キネマティクスに関する項目において前半と後半で対応のあるt検定を行った。スピード低下群における疾走速度別の対象者においては対応のないt検定を行った。その際には効果量を検討するためにCohen's dを算出した。統計的な有意水準は5%未満で判定した。

3. 結果および考察

3.1 パフォーマンス結果とレースパターン

対象者における400m走タイムの平均値について対応のあるt検定の結果、有意な差はみられなかった。両試技の400m走における達成率はともに96.4%であった。

400m走において、選手によってレースパターンが、スピード維持型、中間型、スピード低下型と異なることが明らかにされている(山元ら, 2014)。そして、レースパターンにおける疾走方略の違いによる違いを考慮する必要も考えられる。その結果、スピード維持型を検討するには該当する参加者が少ないため、スピード低下型に当てはまる10名に着目して分析を進めていくこととした。

スピード低下型における疾走速度、ピッチ、ストライドの試技と前後半の二元配置分散分析の結果、疾走速度、ピッチ、ストライドにおいても後半は前半より疾走速度、ピッチ、ストライドが有意に低かった。

また、400m走タイムと前半疾走速度および後半疾走速度において有意な負の相関関係がみられたが、400m走タイムと疾走速度減速率との間には有意な相関関係はみられなかった。このことから、400m走タイムがよい者は、前半および後半の疾走速度が高いこと、また400m走タイムに疾走速度減速率が影響していないことが示された。

3.2 スピード低下型の地面反力

図1にはスピード低下型の地面反力による前後半における鉛直力積、加速力積、減速力積の平均値の波形を示した。スピード低下型の前後半における力積、平均力およびピーク力における対応のあるt検定の結果、各力積においては有意な差はみられなかったが、ピーク加速力、ピーク減速力、平均鉛直力、平均加速力において有意な差がみられ、後半が前半より低い値を示した。

400m走タイムと後半疾走速度との間に有意な相関関係がみられたことから、400m走の後半疾走速度において、疾走速度が高い上位群5名 (high velocity:HV) と下位群5名 (low velocity:LV) に分類した。HVとLVにおいて、各力積、ピーク力および平均力の平均値に対応のないt検定を行った。その結果、ピーク減速力において有意な差がみられ、LVはHVよりも高値を示した。身体重心の加速は外力(地面反力)の身体重心への作用に由来するものであるが、この外力は全て身体関節のトルク発現により生成されるものであるため、前後半で低下がみられた各ピーク力や平均力を関節トルクの観点から考察するが、ここではLVがHVよりも高いピーク減速力を示したことから、特に下肢関節の中でも接地期前半におけるブレーキの抑制に貢献度が大きい膝関節を中心に考察する。

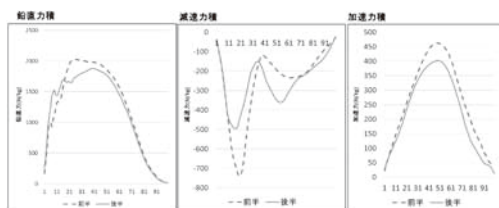


図1 スピード低下型の地面反力による前後半における鉛直力積、加速力積、減速力積の平均値の波形

3.3 後半疾走速度別における関節トルク

膝関節については、回復期後半に10%程度の屈曲トルク発揮時期が遅くなっていた。回復期後半における膝関節屈曲は下腿の過度な振り出しを抑制して脚の回復を早め、足の接地位置が身体重心に近くなるようにし、支持期におけるブレーキを小さくする役割をもつ。疲労により股関節屈曲

力が低下することで脚が後方に残っていることが影響し、前方へ振り出すタイミングが遅れることで膝関節屈曲の発揮するタイミングが遅れてしまう。そのため過度に下腿が伸展してしまい、接地時にブレーキを大きくすると考えられ、LVにおけるピーク減速力の増大の起因の一つとして考えられた。

支持期においては、LVがHVより後半に伸展トルクのピークが高値を示す傾向がみられた。膝関節の支持期前半では、エキセントリックな筋収縮により衝撃力や身体の機械的エネルギーを吸収し、後半ではコンセントリックな筋収縮により機械的エネルギーを増し推進力を得るものとされている。本研究の結果から、スピード低下型の疾走速度低群の対象者が疾走速度高群よりピーク減速力の増大がみられたことは、接地時における膝関節が機械的エネルギーを吸収できなかったことが影響していると推察される。

4. 結論

本研究では、スピード低下型の400m走競技者における前半(150m地点)と後半(350m地点)において地面反力を計測した。地面反力を詳細に検討することで疲労状態と非疲労状態の反力の変化を示すこと、また下肢関節毎に貢献の変化をトルク発揮から分析することで、速度低下の要因を検討した。

その結果、400m走タイムがよい者は前半疾走速度および後半疾走速度が高かったが、速度減率への影響はみられなかった。疾走速度、ストライドおよびピッチは前半から後半にかけて有意に低下し、ピーク加速力、ピーク減速力、平均鉛直力、平均加速力においても同様の結果が得られたが、力積においては前後半において変化はみられなかった。

ピーク減速力においては、スピード低下型の後半疾走速度が低い群は高い群に比べて高値を示した。これは疲労により股関節屈曲力の低下によって脚が後方へ残ることが影響し、前方へ脚が振り出されるタイミングが遅れ、膝関節屈曲トルクの発揮が遅れたことにより下腿が過度に伸展し、接地時にブレーキを大きくすると考えられた。

5. 参考文献

- Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehnunen, S. and Harkonen, M (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Canadian Journal of sports science*. 17:141-144
- Nummela, A, Rusko, H. and Mero, A. (1994) EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 26 : 605-609
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Canadian Society for Biomechanics, Human Locomotion I*, pp. 92-93
- 山元康平, 宮代賢治, 内藤景, 木越清信, 谷川聡, 大山下圭悟, 宮下憲, 尾縣貢 (2014) 陸上競技男子400m走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 59 : 159-173
(指導教員 筒井清次郎)