

## I-3 牽引走が100m走の加速および速度持続局面に及ぼす影響

阿江 通良, 村木 征人, 宮下 憲, 伊藤 信之, 森田 正利

### 緒 言

100mレースの前半では、わが国のスプリンターは外国の一流スプリンターとほぼ互角に戦うが、後半になると、いとも簡単に抜き去られる。このことから、わが国のスプリンターは、スタートおよび加速能力では外国の一流スプリンターにひけをとらないが、レース後半の高い疾走速度の持続能力に劣るということが定説のようにになっている。

100m走のパフォーマンスを向上させるためには、加速能力に優れ、大きな最大疾走速度を獲得できること、高い疾走速度が持続できることが極めて重要である。牽引走に関する最近の研究<sup>14)</sup>は、牽引走はスプリントにおける脚の専門的パワートレーニングであり、高い疾走速度を獲得するためのトレーニング手段として有効であることが報告されている。しかし、牽引走に関する研究の大部分<sup>9)10)11)14)</sup>は、全速疾走を対象としたもので、加速局面や速度持続局面における疾走速度、運動達成要素(ストライド、ピッチなど)、疾走フォームなどに関して牽引走の効果を研究したものはないようである。

本研究では、100m牽引走中の加速、全速、持続の各局面における疾走速度、関節角度、下肢筋群の力学的仕事などを全力走の場合と比較することにより、牽引走が100m走の各局面におよぼす影響をとらえ、疾走能力のトレーニング手段としての有効性を検討した。

### 方 法

#### (1) 実験方法

##### 1) 被験者

被験者は、大学段階の男子陸上競技者20名(短距離選手7名、跳躍選手8名、混成競技選手5名)であり、いずれも長期にわたって計画的なトレーニングを行なっているものである。

#### 2) 実験試技

本研究課題の実験試技には、トウ・トレーニングの前後に実施した、プレ・テストおよびポスト・テストでの100m全力走と、全力での牽引走(Tow-2/Tow-3)を用いた。

#### 3) 牽引装置および実験装置

牽引装置には、牽引力が所定の大きさに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。

100mのスタートからゴールまで10m毎にスタートピストルと連動されている光電管をおき、10m毎の通過時間を測定した。これと同時に、バイオメカニクスのデータを得るためスタートから20-30m、40-50m、75-85mの各区間を、走者の右側方50mの地点から高速度ビデオカメラ(HSV-200, NAC社製)により、毎秒200コマで被験者を追い撮りした。

### (2) 実験データの処理

#### 1) 疾走速度曲線

光電管から得られた10m毎の通過時間をもとに、スタート後10mから100mまでの10m毎の平均速度を計算し、疾走速度曲線を描いた。

#### 2) 映像分析

映像分析の対象となった被験者3名の試技が撮影されたビデオ画像から、身体上の計測点(23点)の座標を読みとり、画面に写し込んだ較正点をもとに実長に換算した後、デジタルフィルターにより10Hzで平滑化した。画像のデジタイズは、2歩(1サイクル)にわたって行なったが、データの平滑化や微分演算などを考慮して分析対象範囲の前後10コマを加えた。

#### 3) 主な測定項目

走の1サイクル(左足接地から次の左足接地まで)を、足先と大転子との位置関係などに着目し

て、①左足接地、②左足支持期中間点（左大転子が左足先上を通過する時点）、③左足離地、④左足フォロースルー終了、⑤右足接地、⑥右足支持期中間点、⑦右足離地、⑧左足振り戻し開始で分け、8局面を設けた。本論文では、これらの局面を基準にして、さらに支持期(①-③)、支持期前半(①-②)、支持期後半(②-③)、非支持期(③-⑤)、回復期(③-①)、回復期前半(③-⑥)、回復期後半(⑥-①)という呼び方を用いることにする。

得られた画像データから撮影区間における1サイクルの疾走速度、ストライド、ピッチ、回復期における各局面の腰および膝の各関節まわりのトルク、パワー、力学的仕事などを算出した。また各時点における膝関節角度および大腿の部分角度を求めた。

## 結 果

### (1) 牽引走が100mの疾走速度曲線および運動達成要素に及ぼす影響

図1は、3種類の試技における疾走速度曲線を12名の被験者の平均値で示したものである。最高速度はいずれも40-50m区間で出現し、全力走では9.46m/s、TOW-2では9.95m/s、TOW-3では10.15m/sで、牽引走の速度は100mのほぼ全局面にわたって全力走を上回っている。また加速についてみると、牽引走の20-30m区間における速度は最高スピードの96-97%であったのに対し、全力走では約95%であった。一方、最高速度に対する80-90m区間の速度は、全力走では95.9-

96.3%、牽引走では96.9-97.0%であり、牽引走における速度維持率は世界の一流選手(約96.5-100%)<sup>5)</sup>に近いものであった。

しかし、牽引により疾走速度が高まったとしても、走者のトレーニング度、疾走フォームなどにより、超最高速度への対応の仕方が異なることが報告されている<sup>13)</sup>。そこで、本研究では、タイプの異なる3名の被験者の全力走と牽引走(3kg)を事例として比較しながら、加速、全速、持続の各局面への牽引走の影響を検討することにする。

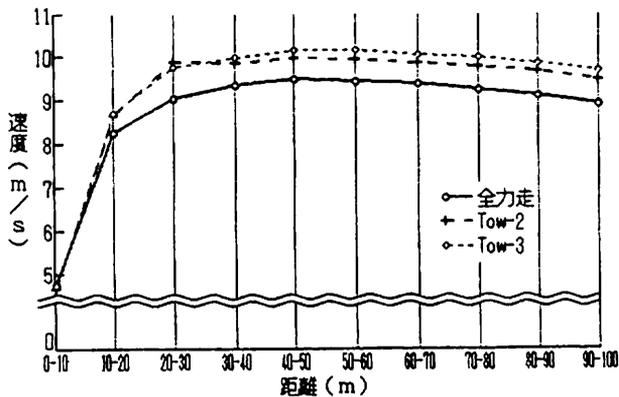
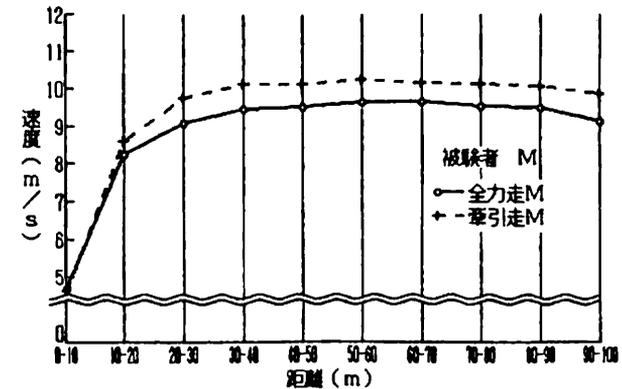
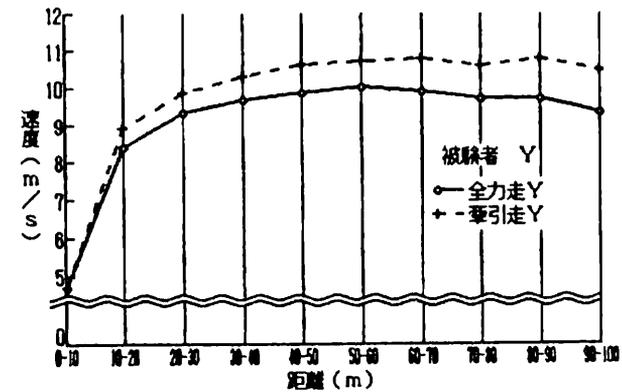
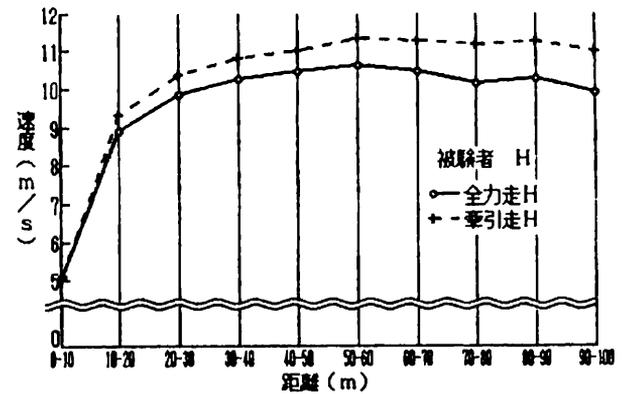


図1 100m全力走および牽引走の速度曲線(20名の平均値)

図2 100m全力走および牽引走の速度曲線(上から被験者H, Y, M)

図2は、3名の典型的な被験者の全力走および牽引走(3kg)における速度曲線を示したものである。被験者Hは短距離選手で、トレーニング度が高く、ピッチ型の特徴をもっている。被験者Yは400mハードルを専門とする長身(1.8m)の短距離選手、被験者Mは三段跳を専門とする長身(1.8m)の跳躍選手で、疾走フォームのタイプはストライド型である。

図2からわかるように、短距離選手HとYでは全力走、牽引走とも被験者Mより最高速度が大きい。また、速度維持率は全力走では被験者Mの方がよいが(98.4% VS 96.8, 96.6%), 牽引走では被験者H(99.4%)とY(99.9%)の方が被験者M(98.3%)よりも優れている。

図3は、これら3名の被験者の牽引走(3kg)における加速、全速、持続の各局面での速度、ストライド、ピッチの全力走に対する変化率を示したものである。

加速局面をみると、いずれの被験者もストライドよりもピッチの変化率の方がやや大きく、この局面では牽引走の速度増加がピッチの増加によってもたらされていることがわかる。さらに、支持期および非支持期の時間を検討すると、ピッチの増加は支持期後半の時間短縮によるものであった。

全速局面では速度増加の要因がストライド(H)、ピッチ(Y)、ストライドとピッチの両方(M)によるものが見られる。これらを被験者ごとに検討すると、超最高速度への対応の仕方に相違があることがわかる。すなわち、被験者Hのストライド増加は支持期距離の増加により、被験者Yのピッチ増加は支持期後半の時間短縮により、被験者Mのストライド増加は非支持期距離の増加により、そしてピッチ増加は支持期後半の時間短縮により生じたものであった。これらの増加の要因を被験者の疾走フォームのタイプに関連づけると、全力走におけるピッチが4.88Hzと非常に高いピッチ型の被験者Hは、ストライドの増加によって超最高速度に対応したと考えられる。一方、ストライド型の被験者Yでは、ピッチの増加によって対応していると言えよう。

持続局面では、被験者Hは支持期前半距離の増加(13cm)によるストライドの増加を示した。一

方、ストライド型の2名は非支持期距離の増加によりストライドが、支持期後半の時間短縮(10ms)によりピッチが増加した。このうち、ストライドの変化には相違がみられ、被験者Yでは支持期距離は全力走の場合より1cm減少したのみであるが、非支持期距離が21cm増加した。ところが、被験者Mでは非支持期距離は18cm増加したが、支持期距離が15cm減少したため、ストライドの増加は小さ

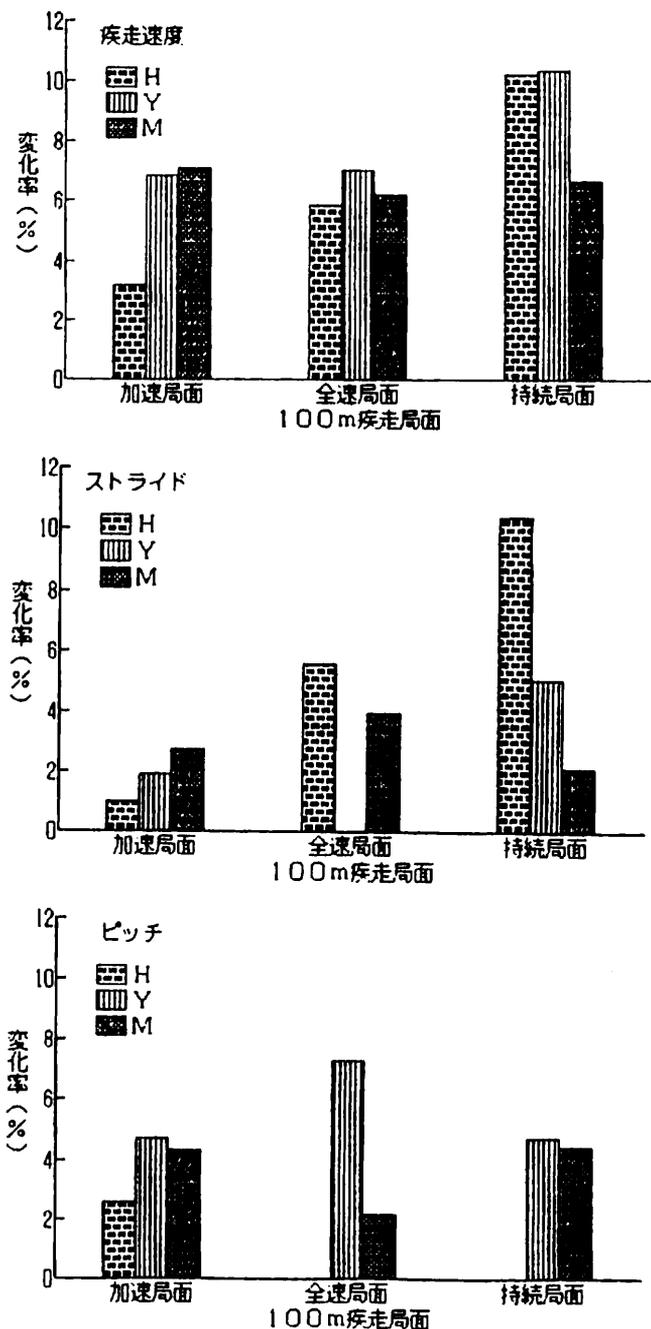


図3 100m全力走に対する牽引走の疾走速度、ストライド、ピッチの変化率

かった。

(2) 牽引走が膝関節角度および大腿角度の変化に及ぼす影響

表1は、支持期における脚のキックの指標である膝関節角度および回復脚の状態を表わす大腿角度を全力走および牽引走の加速、全速、持続の各局面について示したものである。

加速局面における膝関節角度は、牽引走では全力走と逆の変化を示し、いずれの被験者も離地時の方が接地時よりも小さい。大腿角度をみると、被験者により異なる変化を示すが、牽引走では離地時の大腿角度が小さく、離地時における大腿の後方伸展が小さくなる傾向が見られる。また逆足の接地時および離地時の大腿角度は小さくなる傾

向があり、大腿の上がり方は牽引走の方が小さくなっている。

全速局面における膝関節角度は、全力走では被験者により異なる変化を示すが、牽引走ではいずれの被験者も接地時の方が離地時よりも大きい。支持期における大腿角度の変化にも個人差があるが、全力走の場合よりも動作範囲が小さくなる傾向がみられる。回復期では、牽引走の大腿角度は全力走の場合よりも逆足の接地時、離地時とも大きくなっており、大腿の回復が早く、大腿がよく上がっていることを示している。

持続局面では、全力走における膝関節角度の変化には個人差がみられるが、牽引走ではいずれの被験者も接地時が離地時よりも大きくなっている。しかし、牽引走の全速局面や全力走の持続局面に

表1 100m 全力走および牽引走(3kg)の加速、全速、持続局面における膝関節角度および大腿角度の変化

測定項目	加速局面			全速局面			持続局面		
	全力走	牽引走	牽-全	全力走	牽引走	牽-全	全力走	牽引走	牽-全
<b>膝関節角度</b>									
<b>接地時</b>									
H	144.5	152.4	7.9	149.6	153.4	3.8	154.0	158.7	4.7
Y	146.3	154.4	8.1	152.9	155.0	2.1	147.2	156.3	9.1
M	149.5	148.7	-0.8	154.1	156.3	2.2	151.0	154.7	3.7
<b>離地時</b>									
H	154.7	151.7	-3.0	152.6	143.8	-8.8	144.3	148.3	4.0
Y	149.8	148.7	-1.1	146.4	146.5	0.1	147.8	151.1	3.3
M	150.7	146.7	-4.0	151.9	145.1	-6.8	153.2	142.0	-11.2
<b>大腿角度</b>									
<b>接地時</b>									
H	27.7	29.0	1.3	31.9	30.4	-1.5	29.1	31.5	2.4
Y	31.8	30.7	-1.1	27.5	26.1	-1.4	27.0	27.2	0.2
M	26.8	27.1	0.3	25.1	29.1	4.0	30.4	28.0	-2.4
<b>離地時</b>									
H	-27.6	-22.0	5.6	-25.0	-23.8	1.2	-18.8	-22.7	-3.9
Y	-21.9	-23.7	-1.8	-23.4	-22.1	1.3	-26.8	-23.0	3.8
M	-25.1	-19.8	5.3	-23.5	-16.7	6.8	-27.1	-14.2	12.9
<b>逆足接地</b>									
H	24.7	12.5	-12.2	10.2	23.0	12.8	21.7	16.3	-5.4
Y	29.2	26.9	-2.3	18.7	25.1	6.4	14.6	20.6	6.0
M	24.3	26.2	1.9	24.7	31.7	7.0	15.3	27.6	12.3
<b>逆足離地</b>									
H	82.4	78.1	-4.3	74.4	85.7	11.3	76.7	79.0	2.3
Y	87.7	84.8	-2.9	77.5	79.0	1.5	77.9	84.2	6.3
M	81.0	77.3	-3.7	77.5	77.3	-0.2	68.4	75.4	7.0

おける離地時の膝関節角度と比べると、短距離選手HとYでは牽引走の持続局面の方が大きい、被験者Mでは逆に持続局面の方がかなり小さい。支持期における大腿角度をみると、短距離選手HとYでは膝関節角度と同様な傾向を示すが、被験者Mでは離地時における大腿の伸展が全力走よりも12.9度小さい。回復期では、ストライドの増加した被験者Hでは、全力走よりも逆足接地時の大腿角度が小さく、大腿が流れる傾向にあるが、他の2名は大腿が早く前方へ引出されている。

### (3) 牽引走が腰および膝における力学的仕事に及ぼす影響

図4は、牽引走の回復期において腰関節まわりの筋群がなした正の力学的仕事を、全力走との差で示したもので、正の値は牽引走の場合が全力走よりも大きいことを示している。また図5は、膝関節まわりの筋群がなした負の力学的仕事を同様にして示したものである。これらの図において局面3から5は回復期前半を、局面6から8は回復期後半を示し、短距離疾走では回復期前半では腰屈筋群および膝伸筋群が、後半では腰伸筋群および膝屈筋群がそれぞれ優位に活動していることが知られている<sup>1)4)8)15)</sup>。

加速局面についてみると、腰では回復期全体では全力走よりも仕事は小さく、被験者Hでは局面8における腰伸筋群の仕事の減少が特に著しい。一方、被験者Mでは、かなりのばらつきがみられるが、全体としては牽引走の方が大きい傾向を示す。また膝では、回復期全体ではいずれの被験者も牽引走の方が大きい。しかし増加の仕方には個人差がみられ、被験者HおよびMでは主として膝屈筋群の、被験者Yでは膝伸筋群の仕事が大きい。

全速局面についてみると、腰ではいずれの被験者も牽引走の方が大きい。しかし被験者HとYでは腰の屈筋群および伸筋群が、被験者Mでは伸筋群が大きい。膝では、かなりの個人差があり、一般的な傾向は見出せないが、短距離選手HとYでは回復期後半の膝屈筋群の負仕事が増す傾向にあるのに対し、被験者Mではむしろ減少する傾向を示している。

持続局面についてみると、かなりの個人差がみ

られる。しかし短距離選手HとYでは、腰屈筋群の正仕事が大きく、またピッチの増加が大きかった被験者Yでは腰伸筋群の正仕事も大きい。一方、被験者Mでは、腰の屈筋群、伸筋群ともに小さい。これは、離地時における膝関節および大腿の伸展が小さかったことと関連していると考えられる。膝関節では、回復期全体としてはいずれの被験者も全力走を大きく上回っている。しかし、各局面

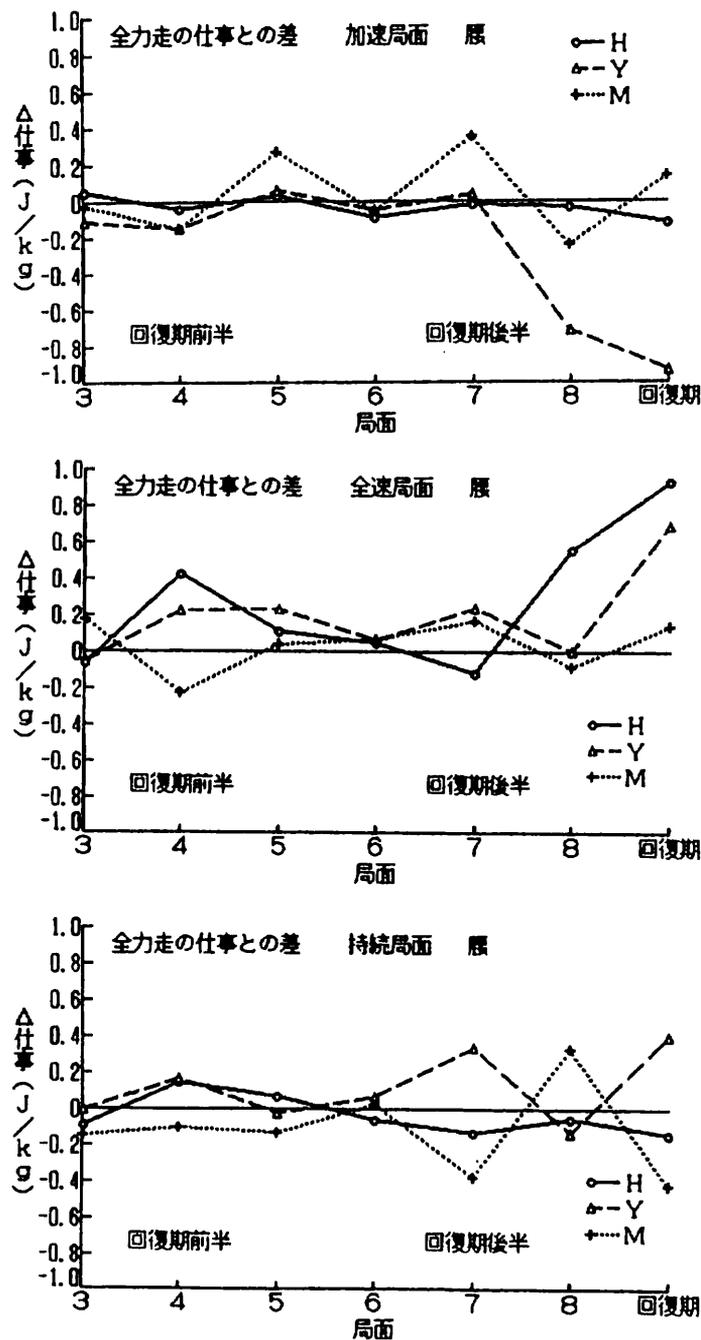


図4 100m全力走に対する牽引走の回復期における腰の正仕事の変化

の変化には腰関節と同様に個人差が大きく、被験者HとYでは回復期前半で膝伸筋群が、さらに被験者Hでは局面7において膝屈筋群が大きな仕事をしている。一方、被験者Mでは後半の膝屈筋群の仕事が大部分を占め、離地直後(局面3, 4)の膝伸筋群の仕事は全力走の場合よりも小さい。

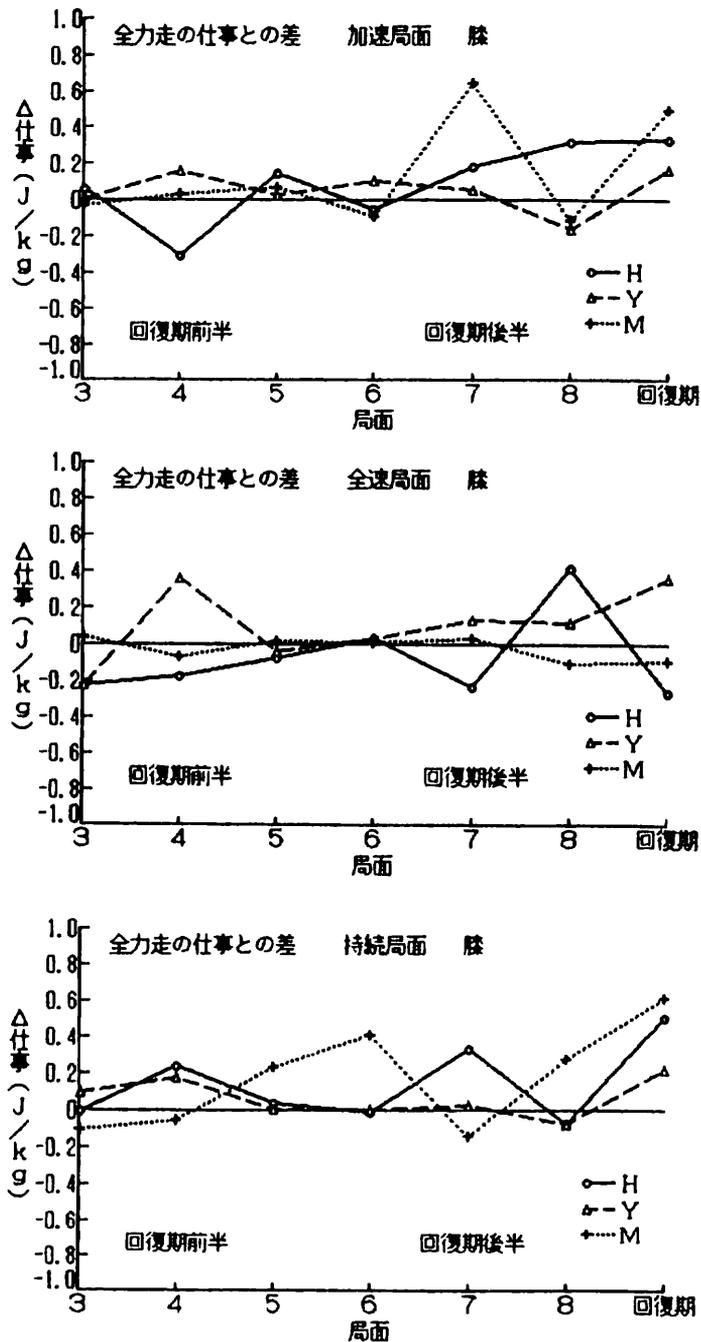


図5 100m全力走に対する牽引走の回復期における膝の負仕事の変化

## 考 察

### (1) 100m走のバイオメカニクス

牽引走が100m走の各局面のトレーニングに有効かを検討するまえに、まず実際の全力100m走におけるバイオメカニクスの変量の変化をこれまでの研究結果<sup>2)6)7)13)15)16)17)</sup>をもとに、まとめることにする。

100m走では、スタート後30mまでは主にストライドの増加により疾走速度が増加し、その後60m地点で最高速度に達するまではストライドは余り変化せず、ピッチが主として増加する。その後、疲労により疾走速度は徐々に低下し、80mから90m地点では速度が3-4%低下し、それにとまってピッチは9%あるいは0.25-0.3Hz減少する。また持続局面のストライドは、2-6%増加するというもの<sup>7)</sup>と、逆に2-5cm減少するというもの<sup>2)6)17)</sup>があり、ストライドの増減については一定した結論が得られていない。

疾走フォームの変化については、加速局面における脚の屈伸の大きい、いわゆるピストン型から全速局面では腰を中心としたスイング型へ変化する<sup>13)</sup>。そして持続局面では、支持期前半距離が増加し(ブレーキが増加)<sup>15)</sup>、離地時における脚伸展が増加してキックの方向が上向きになる<sup>17)</sup>。また回復期では、脚の回復が遅れて大腿の前上方への引上げが減少し、さらに回復期後半の振り戻し方向が水平から垂直に変化することなどが報告されている<sup>18)</sup>。

図6は、12名の短距離選手(100m  $10.73 \pm 0.2$ 秒)に100m全力走を行なわせたときの下肢筋群によりなされた力学的仕事(仕事)が、スタート後1歩め、5歩目、30, 50, 80m地点においてどのように変化するかを8局面に分けて示したものである<sup>2)</sup>。図には、各局面(図の左から順に局面7, 8, 1と続き、右が局面6)における仕事が0.5J/kg以上のものを矢印で、さらに1.0J/kg以上のものは数字で示されている。また、正負の符号は正仕事および負仕事を、IあるいはDは変化が統計的に有意なもの(サインテスト)を示し、それぞれ増加あるいは減少を意味している。

このデータでは、疾走速度は50m地点で最高( $9.83 \pm 0.19$ m/s)になり、80m地点では $9.63 \pm$

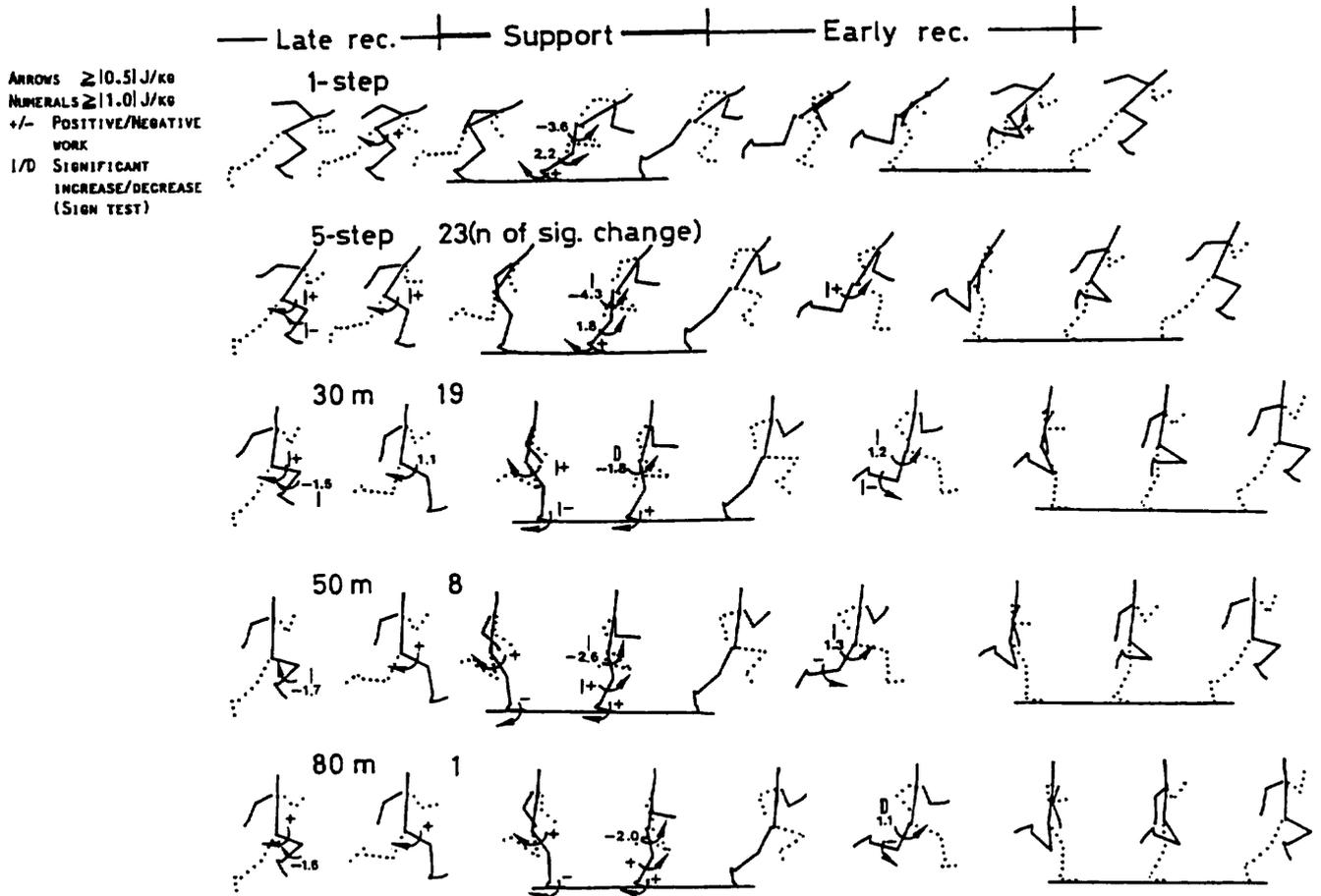


図6 100mの各局面における下肢筋群の力学的仕事の変化(AE, M., et al.<sup>2)</sup>)

0.22m/sに低下した。またピッチは30m地点 ( $4.62 \pm 0.25$ Hz)で、ストライドは50m地点 ( $2.18 \pm 0.08$ m)で最高になり、80m地点におけるピッチ ( $4.46 \pm 0.19$ Hz)は30、50m地点よりも有意に低下した。

30m地点では、5歩めよりも回復期後半の腰伸筋群および膝屈筋群の仕事が増し、支持期前半では足底屈筋群と腰伸筋群の、回復期前半では局面4で腰屈筋群および膝伸筋群の仕事が有意に増加している。

50m地点では、30m地点でみられた増加がさらに大きくなり、しかも支持期後半における膝伸筋群の仕事が、腰屈筋群とともに増加している。

80m地点で有意に減少したのは、局面4における腰屈筋群の正仕事のみであり、また支持期後半の腰屈筋群の仕事も50m地点よりも減少する傾向にある。これらの筋群は、脚の回復を早め、大腿の引きつけに関与していると考えられるので、100

m走後半において疾走速度が低下し、大腿の回復が遅れて前上方に上がらなくなるのは、この筋群のパワーの低下によるところが大きいと考えられる。したがって、この筋群のパワー持久力の強化が、100mの専門的トレーニングの目標の1つになると考えられる。

## (2) 牽引走による影響とトレーニングへの示唆

牽引走における疾走速度は、100m走の全局面にわたって全力走を上回っており、速度維持率は一流スプリンターに近いものであった。このことは、牽引走を行なうと、100mの全体にわたって一流スプリンターのレースペースが体験でき、牽引力を適切に設定することによって理想とするレースのシミュレーションが可能であることを示すものと考えられる。

牽引走への対応の仕方にはかなりの個人差がみられたが、ここでは3名の被験者に共通的にみら

れる特徴をもとに、牽引走の100m走の各局面のトレーニングへの示唆を引出すことにする。

### 1) 加速局面

牽引走の加速局面における疾走速度の増加は、ピッチの増加によるものであり、それは主に支持期後半の時間短縮によって生じていた。疾走フォームは、全力走に比べて、支持期における膝、大腿の伸展が小さく、すでに全速疾走フォームに近いものであった。また、回復期における力学的仕事は、短距離選手では腰屈筋群に関しては小さかった。

加速局面では、脚の伸展によりストライドが増加して身体が加速され、腰および膝の筋群による力学的仕事が大いことを考えると、牽引走では脚のキックが不十分になる可能性が大いと考えられる。したがって、牽引走は加速局面あるいは加速疾走のトレーニング手段としては適切ではないと考えられる。

### 2) 全速局面

全速局面では、疾走フォームのタイプによって超最高速度への対応が異なるが、いずれの被験者もこれまでの研究報告と同様に、ストライドの増加がみられた。また、離地時の膝関節角度は接地時よりも小さく、一流選手が全速疾走において示す膝関節角度の変化<sup>12)</sup>によく似たものであり、大腿の回復も早かった。大きなピッチに適応できる疾走フォームの身につけている短距離選手では、回復期後半における膝の屈筋群の負仕事も大きかった。

これらのことから、牽引走は全速疾走局面あるいは最高速度を高めるためのトレーニング手段としては極めて有効であることが確認された。

### 3) 持続局面

持続局面における疾走速度は、牽引走の方が大きく、速度維持率も短距離選手では高く、ストライドも増加した。また短距離選手では、離地時の膝関節角度が大きくなり、大腿が全速局面よりも後方に流れる傾向がみられた。しかし、支持期後半のキックを小さくし、脚の回復の先取りを強調しているものはそのような傾向は見られなかった。そして後者の場合には、支持期距離が大きく減少し、結果的には速度維持率は低くなった。また、

短距離選手では、回復期前半の腰屈筋群の正仕事は全力走よりも大きかった。

これらのことは、持続局面では、ピッチを余りにも強調しすぎて、支持期における脚のキックが不十分（いわゆる、空回り）になると、実際の100m走とはやや異なった疾走フォームになり、筋群の仕事が減少する恐れのあることを示唆していると考えられる。したがって、先に述べたように、全力走の80m地点では局面4（回復期前半）の仕事が有意に減少したことを考えると、牽引走は、支持期距離が著しく減少しないように留意すれば、負荷のかけにくい腰屈筋群の専門的パワー持久力のトレーニング手段として有効であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 阿江通良, 他: 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度。筑波大学体育科学系紀要, 第9巻, pp.229-239, 1986.
- 2) AE, M., et al.: Change in functions of the lower limb muscles in 100m sprint. Congress Proceedings of XII ISB Congress at UCLA, p. 131, 1989.
- 3) BOSCO, C., VITTORI, C.: Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. NSA, 1: 39-45, 1986.
- 4) CHAPMAN, A.E., CALDWELL, G.E.: Kinetic limitations of maximal sprinting speed. J. of Bio-mechanics, 16: 79-83, 1983.
- 5) DICK, F.W.: Development of maximum sprinting speed. Track Technique, 109: 3475-3480/3491, 1989.
- 6) 金子公宥, 北村潔和: 100m疾走中のスピード変化に関係する要因のキネシオロギー的分析。体育の科学, 25: 109-115, 1975.
- 7) LEVTSHENKO, A.: Speed dynamics in women's sprinting. Track Technique, 108: 3459, 1989.
- 8) MANN, R.V.: A kinatic analysis of sprinting. Med. and Sci. Spo. & Exec. 13: 325-328, 1981.

- 9) MERO, A., KOMI, P.V. : Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. IJSB 1 : 240-252, 1985.
- 10) MERO, A., KOMI, P.V. : Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprints. Eur. J. of Appl. Physiol., 55 : 553-561, 1986.
- 11) MERO, A., KOMI, P.V. : Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from submaximal to supramaximal. Med. and Sci. in Sports and Exec., 19 : 266-274, 1987.
- 12) 宮下 憲, 他 : 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析。J.J.S.S., 15 : 892-898, 1986.
- 13) 村木征人, 宮川千秋 : 短距離疾走の加速過程における運動の変化-歩幅, サイクル数, 上体の前傾, および下肢関節群を中心として。東海大学紀要体育学部, No. 3, pp.55-72, 1973.
- 14) 村木征人, 阿江通良, 宮下 憲, 伊藤信之 : 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科学研究報告, No.X, pp.9-27, 1989.
- 15) SIMONSEN, E.B., et al. : Activity of monoandbiarticular leg muscles during sprint running. Eur. J. Appl. Physiol., 54 : 524-532, 1985.
- 16) TUPA, V., et al. : Biomechanics of the take-off in running -II-. Soviet Sports Review, 19 : 78-82, 1984.
- 17) YAKIMOVICH, D. : Why does running speed drop ? Soviet Sports Review, 21 : 22-23, 1986.