

等張性牽引走トレーニングにおける適性

— 牽引力とトレーニングの即時効果 —

伊藤 信之・村木 征人・阿江 通良・宮下 憲

Optimal towing force and the immediate post-training effect in the isotonic towed sprint

Nobuyuki ITO, Yukito MURAKI, Michiyosi AE and Ken MIYASHITA

Some kinematic and kinetic variables of the sprint running at the maximum velocity were investigated with a high speed videography to obtain findings on optimal towing force and the immediate post-training effect in the isotonic towed sprint training. Towing machine was specially designed to pull a runner at various isotonic towing forces through a pulling cable during the sprint running. Subjects were three male high performance sprinters and five male horizontal jumpers.

The results were summarized as follows;

1) Optimal towing force was estimated between 1.5 and 3.0kg. Because the biomechanical variables remarkably changed at 4.5kg, although the running velocity was increased with the increase in towing force.

2) In the high performance group, the running velocity and the stride frequency were increased and the maximal negative power of the knee flexor in the recovery phase was significantly greater at 3.0kg and 4.5kg than normal running ($P < 0.05$).

3) At the normal running after towing, the high performance group increased their stride frequency, and the running velocity significantly increased than at the normal running before towing ($P < 0.05$).

key words : Towed sprint training, Isotonic towing, Optimal towing force,
Towed training effect

I. 緒言

スプリントスピードの開発は、その能力が直接競技達成として競われる短距離種目はもとより、それを原動力とする跳躍種目にとっても、最も重要なトレーニング課題の一つとされている。近年、スプリントの最大スピードを向上させるためのトレーニング法として、通常の最大速度での疾走訓練（最大速度法）と共に、特殊な牽引装置や種々の条件を利用して、通常では出せない超最大速度でのトレーニングの可能性が注目されてきている

(11,16)。こうしたトレーニングの代表的な方法として、下り坂⁽⁷⁾や強い追風等の自然条件を利用するものや、走者を前方から人間や自動車^(8,18)、オートバイ⁽³⁾、専用の牽引装置^(2,21)等を用いた牽引走が知られている。

Mero, Komiら⁽¹²⁾はストレッチ・ロープを利用した超最大速度での疾走と、通常の全力疾走とのキネマティックな違いについて検討している。また、1987年⁽¹⁴⁾にはEMGや血中乳酸値、酸素負債の変化を検討し、牽引走ではスピードが増大す

るにも関わらず、エネルギー消費より低く抑えられることを示唆している。Boscoら⁽²⁾は、電気モーターを用いたTowing systemによって、超最大スピード時のストライドとピッチの変化を検討している。

しかしながら、これまでのトウ・トレーニングでは疾走中の牽引力が一定に保たれない(ストレッチ・ロープ)、あるいは牽引装置のみならずスピードに合わせての受動的な疾走を余技なくされる(自動車、オートバイ)といった牽引装置の機械的問題があった。そのため、走者の主体的な運動に重要な影響をもたらす牽引の適性強度(牽引力)と、その具体的なトレーニング効果についての詳細な検討はなされていない。また、超最大速度での疾走中の下肢の各関節まわりの筋群の活動により生じる、トルク、パワー、仕事の変化等についての検討もほとんどされていない。

本研究では、牽引ロープの巻取りに際して、ロープの牽引を等張的に行う牽引装置⁽²⁰⁾を用いて、牽引走トレーニングの特性を牽引力の違いと関係づけながら、疾走動作および下肢の各関節のトルクや機械的パワー、主観的強度に着目して明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

1. 実験方法

1) 被験者

被験者には、組織的に専門的なスプリント・トレーニングを行っている大学男子短距離選手3名、および跳躍選手5名の計8名を用いた。能力レベルによる影響の差異を検討するために、短距離選手の3名を上位群、跳躍選手の中で100mの記録に劣るものから3名を下位群として設定した(Table 1)。

2) 実験試技

本研究の実験試技には、適性牽引力を推定する

目的で、1.5kg(以下Tow1.5)、3.0kg(以下Tow3.0)、4.5kg(以下Tow4.5)の三種類の牽引力を設定した。疾走動作の比較検討のため、牽引走の前に全力走(以下プレ全力走)を行った。各試技の疾走距離は60mであり、それぞれ2本づつ行われた。また牽引走の即時効果を検討するために、牽引走直後に再度全力走を1本行った。(以下ポスト全力走)。

3) 実験装置

最大疾走速度が得られる40m加速後の10m区間を撮影区間とし、スタート後45m地点の側方50mの地点に高速度ビデオカメラを光軸が走方向と垂直になるようにセットし、毎秒200コマで撮影した。

本研究では、牽引装置として原動機によって回転駆動されるロープ巻取ドラムを、「パウダークラッチ」を介することで励磁電流の値に応じて一定の大きさに設定されたトルクで回転させ、ロープの牽引を等張力的に行うことが可能な等張性牽引装置(20)を用いた。

2. 実験データの解析

1) 映像分析

撮影されたビデオ画像から、左右の大転子、膝、足首、母指球、足先、踵の各座標を読み取った。ビデオ分析は2歩(1サイクル)に渡って行ったが、後の平滑化や微分演算などを考慮して分析範囲の前後10コマを加えた。分析データは、ビデオに写し込んだ基準マークをもとに各座標を実長に換算した後、デジタルフィルターにより10Hzで平滑化した。

2) 測定項目

Fig. 1に示されるように走の1サイクル(左足接地から次の左足接地まで)を走行中の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

Table 1 Physical characteristics of the subjects (mean±SD).

		Age(y)	Height(m)	Weight(kg)	100msprint record(sec)
All subjects	N=8	21.1±1.1	1.76±0.03	67.8±5.41	11.01±0.47
Upper group	N=3	21.7±0.5	1.74±0.04	68.3±0.50	10.50±0.21
Lower group	N=3	20.7±1.3	1.78±0.02	70.2±7.70	11.53±0.05

離地, ⑧左足振り戻し開始, の8時点から分析用に以下の局面を設けた。

- 局面1 : ①-②, 局面2 : ②-③,
- 局面3 : ③-④, 局面4 : ④-⑤,
- 局面5 : ⑤-⑥, 局面6 : ⑥-⑦,
- 局面7 : ⑦-⑧, 局面8 : ⑧-①。

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の区分を設定した。

得られたデータから, 疾走速度, ストライド, ピッチの値, および各時点毎の腰, 膝関節角度および大腿, 下腿の部分角度 (Fig. 2) 等のkinematicなデータを算出した。kineticなデータに関しては, Fig. 3に示した下肢の平面リンクモデルにフィルムを入力し, 回復期における腰, 膝の各関節まわりのトルク, パワー, 仕事を算出した。なお, これらの計算に必要な各部分の質量, 重心位置, 慣性モーメントはChandler *et al.*⁽⁴⁾のものを用いた。

また, 人間の運動は心理的影響を受けやすいことから, 以下の二つの主観的強度を設定し, 各試

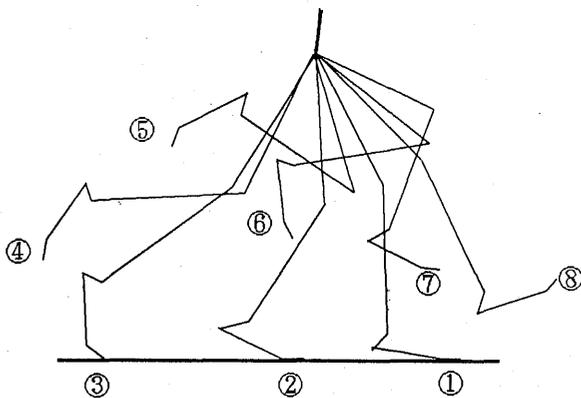
技の終了直後に被験者に回答を求めた。一つはブレ全力走を基準 (100%) として答えられた「努力度合」であり, 他の一つは「余裕-恐怖度合」で, 全力走を基準に, 外力で引っ張られる際の恐怖の度合を, マイナスの5段階尺度で表示させた。このスケール上にはプラスの尺度も設けてあり, 恐怖に対する余裕の度合を意味する。

Ⅲ. 結 果

1) 疾走速度, ストライド, ピッチ

Table 2は, 種々の疾走条件での疾走速度, ストライド, ピッチ等の基本的なkinematicな変数の平均値の比較を示す。牽引走時に, 疾走速度は牽引力の大きさと共に有意に増大した。また, ストライドも牽引力が増すごとに増大したが, これは主に非支持期距離の増大によるものであった。

一方ピッチは, 牽引走でもブレ全力走とほぼ等しい値に保たれていたが, 支持期後半の時間が減少する傾向にあり, Tow3.0とTow4.5では有意な減少が見られた。滞空時間比をみると, Tow1.5, Tow3.0のものはブレ全力走のものとはほぼ等しかったのに対して, Tow4.5では顕著に大きくなった。ポスト全力走においては, 支持期後半時間お



- ①left foot contact, ②midsupport of the left foot, ③left toe-off
- ④the end of the follow-through of the left foot,
- ⑤right foot contact, ⑥midsupport of the right foot, ⑦right toe-off
- ⑧the start of backward swing of the left foot

- Phase 1 : ①-②, Phase 2 : ②-③, Phase 3 : ③-④, Phase 4 : ④-⑤
- Phase 5 : ⑤-⑥, Phase 6 : ⑥-⑦, Phase 7 : ⑦-⑧, Phase 8 : ⑧-①

Fig. 1 Division of one running cycle

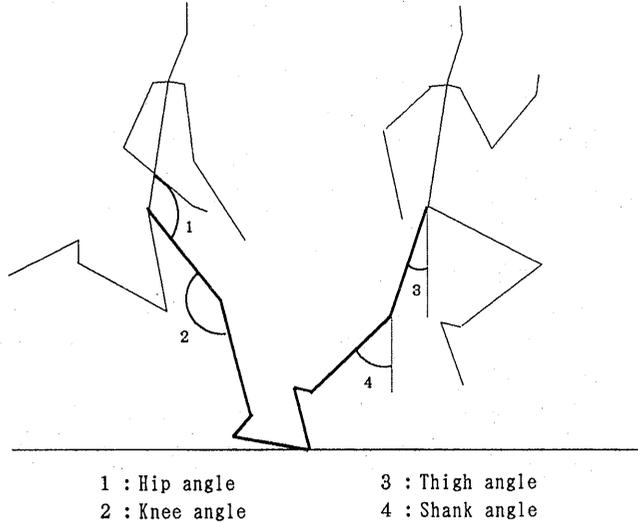
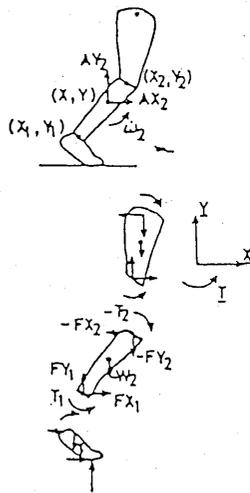


Fig. 2 Joint angles and segment angles



Muscle torque :Knee

$$\begin{aligned}
 FX_2 &= -m_2 AX_2 + FX_1 \\
 FY_2 &= -m_2 AY_2 + FY_1 - W_2 \\
 T_2 &= -I_2 \omega_2 + T_1 \\
 &\quad + (X_1 - X) F_{Y_1} - (Y_1 - Y) F_{X_1} \\
 &\quad - (X_2 - X) F_{Y_2} + (Y_2 - Y) F_{X_2}
 \end{aligned}$$

Muscle power

$$\begin{aligned}
 Pm_i &= T_i \cdot AV_i \\
 AV, & \text{ joint angular velocity}
 \end{aligned}$$

Muscle work

$$Wm_i = \int_{t_1}^{t_2} Pm_i dt$$

Fig. 3 Planar link segment model used to compute joint muscle torques, muscle powers, and muscle works. (x, y, coordinates of segment endpoints and center of gravity; AX, AY, accelerations of the segment; W, segment weight; m, segment mass; FX, FY, joint forces; T, joint torque; I, segment moment of inertia; AV, joint angular velocity; Pm, mechanical muscle power; Wm, mechanical work done by muscles)

よび非支持期時間が減少し、ピッチが増大する傾向にあった。

Fig. 4 は、各牽引走およびポスト全力走における速度、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。速度変化率では Tow1.5, Tow3.0 で、上位群の方が増加率が高い傾向にあった。ストライドでは、両群とも牽引力の増大と共に変化率も増大する傾向にあったが、

Table 2 Mean values of the running velocity, the stride length and the stride frequency (mean±SD).

Variables	Maximal	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	Post-max.
Running velocity(m/s)	9.96±0.21	10.40±0.33***	10.63±0.38***	10.82±0.28***	10.01±0.28
(%)		+4.44±1.88	+6.69±1.96	+8.70±1.72	+0.48±1.85
Stride length(m)	2.13±0.05	2.20±0.07*	2.25±0.06***	2.31±0.06***	2.12±0.03
Distance of support phase(m)					
First half	0.46±0.05	0.51±0.06	0.49±0.04	0.50±0.03	0.46±0.02
Second half	0.51±0.05	0.48±0.05	0.50±0.04	0.46±0.06	0.50±0.02
Distance of non-support phase(m)	1.16±0.07	1.21±0.04	1.26±0.07*	1.34±0.06**	1.16±0.03
Stride frequency(Hz)	4.67±0.13	4.74±0.17	4.72±0.19	4.70±0.15	4.72±0.14
Time of support phase(ms)					
First half	46±6	49±5	47±4	48±3	47±4
Second half	49±5	43±4	44±5*	41±5*	46±2
Time of non-support phase(ms)	122±6	120±6	120±6	125±8	116±5

Significance was tested between towed runnings and maximal running, post-maximal running and maximal running;

*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001.

上位群の方がその値が低く抑えられていた。両群の違いが最も際だっていたのは、ピッチの変化の仕方である。上位群では、牽引されることでピッチを3-4%増加させ、ポスト全力走でもその増加を保っていたのに対して、下位群ではその値がほとんど変化することがなかった。この上位群でのピッチの増加は、支持期後半と非支持期時間の減少の結果であった。またポスト全力走においては、上位群はプレ全力走に比べてピッチが増大し、疾走速度が有意に増大した(+2.12±0.65%)のに対して、下位群ではストライドの減少に伴って速度も減少傾向を示した。

2.) 下肢各部位の動きの変化

Table 3には、腰関節、大腿、膝関節、下腿の角度および角速度の平均値を示した。大腿角度は接地時、離地時とも減少する傾向にあり、特にTow4.5で顕著であった。局面1の大腿角速度は、牽引時に減少する傾向にあり、Tow3.0とTow4.5で有意であった。

膝角度は、牽引走時では接地時に大きく、離地時に小さくなる傾向にあり、接地時と離地時の膝角度の大きさはプレ全力走と比べて逆転した。この傾向は特にTow4.5で顕著に見られた。また、この局面での膝角速度も増大する傾向にあり、Tow3.0とTow4.5では、全力走に対して有意な

差が見られた。

回復期における各関節角度をみると、局面4の腰関節の角速度は牽引走時に減少する傾向にあり、Tow4.5で有意に減少したのに対して、局面5ではプレ全力走の値を下回ることにはなかった。腰関節の伸展の最大角速度は牽引走時に増大する傾向にあり、Tow1.5とTow4.5で有意であった。また、ポスト全力走ではこの値の増大が顕著であった。逆足離地時の膝角度は、全ての牽引力およびポスト全力走で有意に減少し、局面7の動作範囲は増大し、この局面での角速度も牽引力の増大と共に大きくなった。

3) 機械的パワーの変化

Fig. 5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と膝関節まわりの筋群のなした負の力学的仕事を、プレ全力走との差で示したもので、正の値は、牽引走の場合がプレ全力走よりも大きいことを示している。

腰関節の回復期前半をみると、牽引走時の局面4では減少する傾向が見られた。局面4に引き続く局面5では、逆に増大する傾向がみられ、Tow1.5およびポスト全力走で有意であった。一方、回復期後半では、局面7と8ではばらつきはあるが、両局面を合わせてみると、牽引走ではプレ全力走の場合より大きい傾向がみられる。膝関

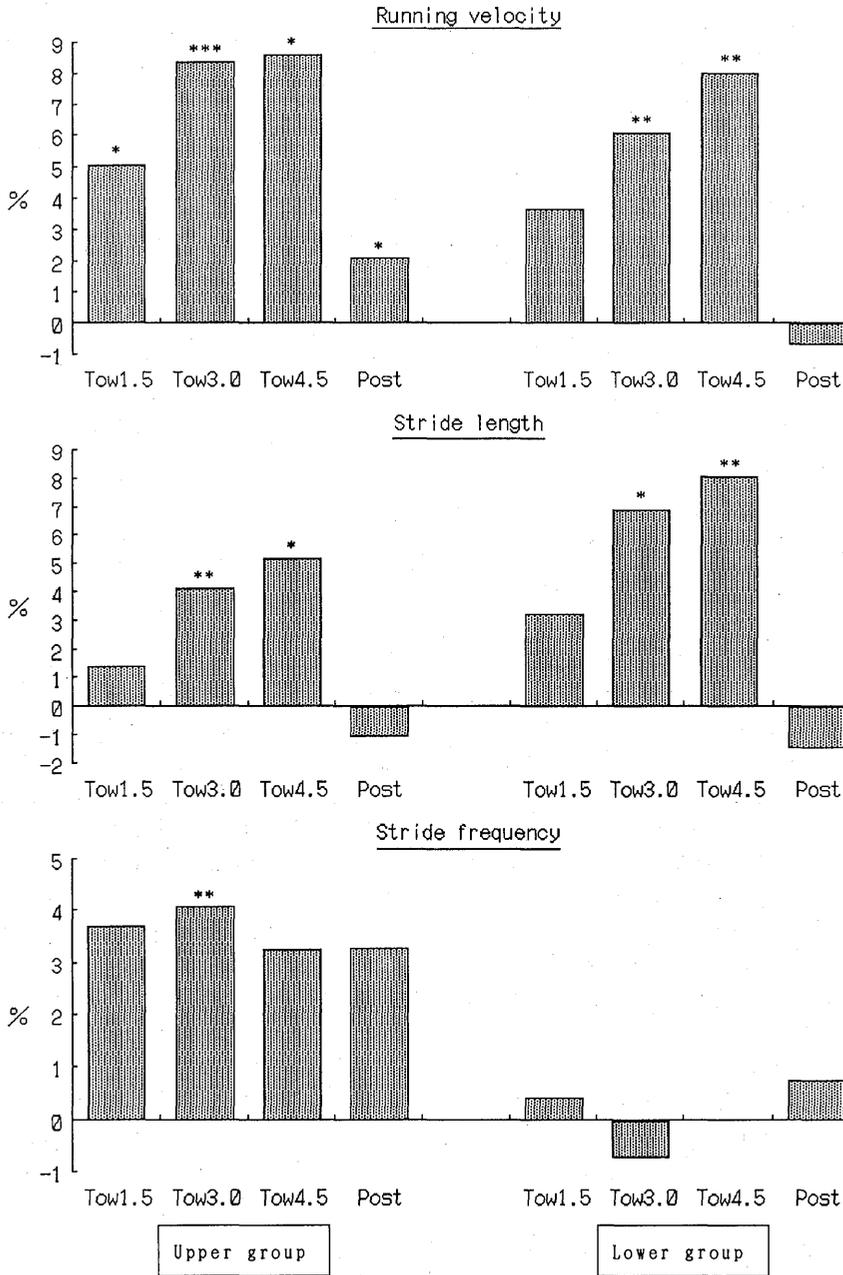


Fig. 4 Relative values of the running velocity, the stride length and the stride frequency of towed runnings and post-maximal normal running to the maximal running before towing. Significance was tested between towed runnings and maximal running, post-effected running and maximal running; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

Table 3 Segment angles and angular velocities of the lower limb (mean \pm SD).

Variables	Maximal	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	Post-max.
Hip					
Angular velocity(deg/s)					
Phase 4	-493.7 \pm 54.8	-442.8 \pm 58.8	-430.2 \pm 65.6	-441.0 \pm 62.9*	-459.0 \pm 68.4
Phase 5	-698.6 \pm 73.9	-756.4 \pm 65.7	-715.2 \pm 129.7	-715.4 \pm 98.7	-715.8 \pm 90.3
Maximal velocity of extension	436.0 \pm 64.7	486.4 \pm 61.9*	495.8 \pm 61.5	537.2 \pm 94.4*	570.7 \pm 84.6** *
Thigh					
Angle(deg)					
Touchdown	29.1 \pm 4.3	28.9 \pm 3.6	29.5 \pm 2.2	25.6 \pm 2.2*	27.1 \pm 4.3
take-off	-25.9 \pm 3.5	-22.3 \pm 3.7*	-22.8 \pm 4.4*	-18.8 \pm 7.4** *	-23.3 \pm 3.5
Angular velocity(deg/s)					
First half of support	-524.3 \pm 42.6	-492.5 \pm 82.5	-478.8 \pm 54.4*	-366.4 \pm 94.5** *	-467.0 \pm 124.7
Knee					
Angle(deg)					
Touchdown	152.4 \pm 6.5	156.7 \pm 5.5	154.7 \pm 5.6	162.7 \pm 4.6** *	154.5 \pm 6.4
Take-off	154.6 \pm 5.8	152.0 \pm 4.0	151.6 \pm 4.5	148.2 \pm 10.3*	152.2 \pm 5.6
Contralateral touchdown	74.4 \pm 10.4	63.6 \pm 6.5**	60.7 \pm 4.9** *	66.4 \pm 8.4*	60.2 \pm 10.4** *
Angular velocity(deg/s)					
First half of support	-220.4 \pm 53.7	-305.6 \pm 123.5	-330.0 \pm 84.1** *	-510.2 \pm 172.3** ** *	-323.5 \pm 130.8
Phase 7	1070.3 \pm 58.5	1127.5 \pm 65.6** *	1207.7 \pm 117.1** *	1258.6 \pm 138.4*	1102.2 \pm 111.0
Shank					
deg(deg)					
touchdown	1.5 \pm 3.7	5.6 \pm 3.4	4.2 \pm 3.2	8.2 \pm 3.3*	1.6 \pm 3.0

Significance was tested between towed running and maximal running, post-maximal running and maximal running;

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

節をみると、膝屈筋群の最大パワーの出現する局面7では、Tow1.5はプレ全力走の値とほとんど変わらなかったが、Tow3.0とTow4.5で有意に増大した。

4) 主観的強度について

Table 4には、被験者が各疾走直後に感じた主観的強度の各指標の平均値を示した。牽引走時の努力度合はプレ全力走を下回るが、牽引力の増大と共に大きくなる傾向にあった。また、「余裕—恐怖度合」をみると、Tow1.5では余裕を感じる度合が大きかったのに対して、Tow4.5では逆に恐怖を感じる度合が高まった。また、自己の疾走フォームを維持できないと答える割合も、Tow1.5では0%であるのに対して、Tow4.5では37.5%と著しく増加した。

疾走直後に得られた、各試技に共通したコメントは、Tow1.5では「楽」「自力で走っている」「コントロールしやすい」「やや物足りない」など、Tow3.0では、「引っ張られ、いい感じ」「スピードが自然と高まってしまふ」など、Tow4.5では、「強く引っ張られる」「速い」「足がついて行かない」などであった。

また、上位群は疾走時に「足が流れないように」「前でもらえる」ことを意識していたのに対して、下位群では「ピッチが追いつかない」「足が流れる」といったコメントが多かった。その結果、ポスト全力走での上位群が、「動きやすい」「イメージがよくなった」といった感想をもったのに対して、下位群では「バラバラ」「初めの全力走よりも悪くなった」の反省コメントで占められた。

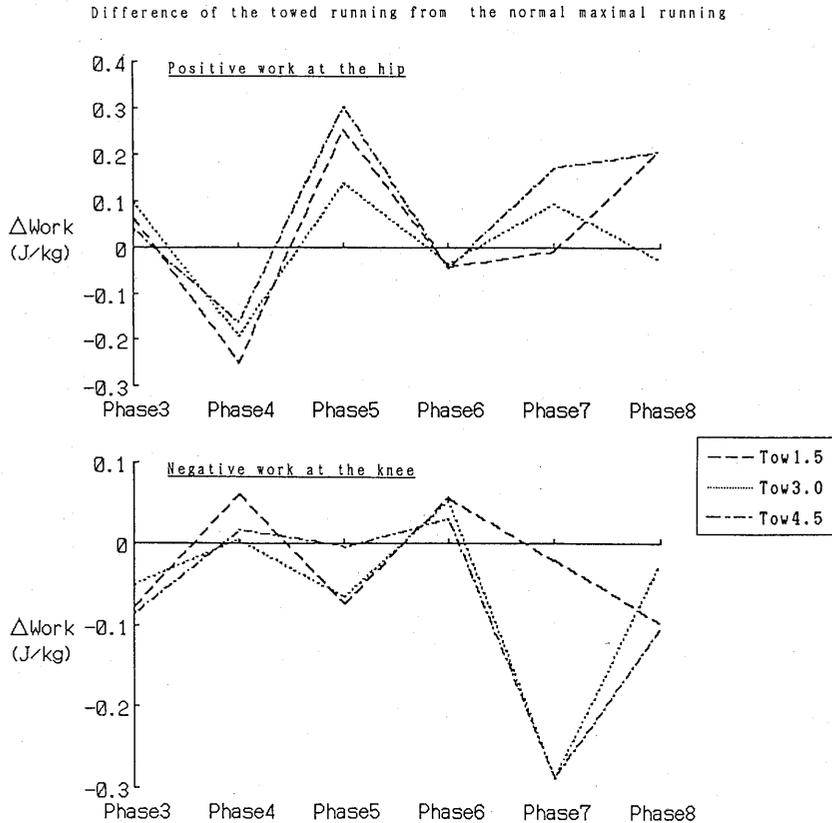


Fig. 5 Changes of the positive work at the hip joint and the negative work at the knee joint during the recovery phase of towed runnings.

Table 4 Mean values of the subjective intensity (mean±SD).

	Maximal	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	Post-max.
Degree of effort (%)	100.0	86.9±9.0	91.3±6.5	92.5±7.1	90.6±10.1
Easy/fearful(difficulty)	0.0	+2.3±0.7	-0.1±0.6	-1.8±1.8	0.8±1.27
Running form		0.0%	12.5%	37.5%	37.5%

IV. 考 察

牽引走時は、牽引力の増大と共に疾走速度は増大し、プレ全力走に対する Tow4.5 の平均増加率は 8.7% (±1.72%) となった。Tansley⁽¹⁸⁾ は、牽引走時の速度は通常の全力走の 10% 増が目安となるとしており、先行研究^(2,12,13,14,17) のデータに比べても、本研究で得られた増加率は妥当なも

のであったといえる。全被験者の平均値で見ると、この速度の増加は主にストライドの増大によるものであったが、疾走能力に基づいて類別した上・下位 2 群間には、この増加内容に顕著な違いが見られた。このことは、図 3 のストライドの変化率とピッチの変化率の和がほぼ速度の変化率に相当することから考えると、上位群では速度の増

加に対するピッチの貢献度が大きかったのに対して、下位群での速度の増大はほとんどストライドの増大によるものであったと言える。これはトウ・トレーニングでの疾走能力・疾走タイプによる個別性の問題を示唆するものである。

牽引走では、局面7における膝の負の仕事は、3 kg以上の牽引力では有意に大きくなり、腰の正の仕事も牽引走ではプレ全力走の場合より大きい傾向がみられる。これらのことは、牽引走で生じる超最大スピード状態が、回復後期における腰伸筋群の concentric な筋収縮によるパワー、および膝屈筋群の eccentric な筋収縮によるパワーを高める強化的なトレーニングとしての有用性を示すものである。

この局面でパワーを発揮するのは、腰の伸展と同時に膝の屈曲にも作用する大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋であるので、これらの筋にはきわめて大きな負荷が加わると考えてよいであろう。

以下に、異なる牽引力が疾走フォームに及ぼす影響を各張力毎に吟味し、トレーニング方法上の適正および問題点を検討した。

1) Tow1.5

下位群の平均疾走速度の増加は、主にストライドの増大によるものであるが、上位群では、逆にピッチの増加によるものであった。全被験者の平均では、膝関節は、プレ全力走のものとは接地時と離地時の角度の大きさが逆になった。支持期後半の膝関節の動作範囲も減少する傾向にあり、離地時の大腿角度も減少した。これらは、支持期後半での膝のピストン系の伸展動作および大腿の後方へのキックが抑えられることを意味する。Mann⁽¹⁰⁾は、離地時に膝の伸展が少ないことが支持期時間を減少させ、ピッチを向上させることにつながるとしており、本研究でも同様に支持期後半の時間は牽引走時に減少し、牽引法がピッチを高める疾走フォームを身につけるのに適したトレーニング方法であることを示唆した。

局面7の膝の負の仕事は、プレ全力走のものとはほとんど変わらなかったことから、ここでは、最大疾走における専門的なパワーを強化する目的でのトレーニング効果はあまり期待できないといえる。しかし、Tow1.5では疾走中の余裕度が増し、疾走動作のコントロールがしやすくなる反応を得ており、全力走をも上回るより高いスピード条件下でリラックスを保ち得る、高速での疾走フォー

ムの習得改善を目的とする習熟的訓練に適したものである。この際には、上位群に見られた「前でとらえる」積極着地と、「足が後ろに流れないように」脚の引き付けを先取りするという意識をもって行うことにより、よりピッチを高める疾走フォームを身につけるための技術練習の手段となり得るであろう。

2) Tow3.0

Tow3.0での、全体の平均での速度の増加は、ほとんどストライドの増大によるものであったが、上位群では、他の試技に比べて最も高いピッチの値を示した。支持期での下肢の角度および各速度は、Tow1.5のものとはほぼ同じレベルで維持され、また、回復後期での膝屈筋群の負のパワーおよび腰伸筋群の正のパワーは、プレ全力走よりも大きく、膝屈筋群の最大負パワーの現れる局面7での膝の負の仕事は、プレ全力走およびTow1.5よりも有意に大きかった。

Chapman and Caldwell⁽⁵⁾は、スプリントでの膝屈筋群の発揮する負パワーが下腿の振り戻しに大きく関係し、これが疾走スピードの限定因子になると述べている。また、阿江ら⁽¹⁾は、膝関節での負の最大パワーや仕事は疾走スピード、ストライド、ピッチの増加に大きく関係しており、疾走スピードの向上には膝屈筋群の発揮する負のパワーの大きいことがきわめて重要になると述べている。本研究でも、Tow3.0での最大負パワーがプレ全力走よりも有意に大きかったことから、張力3 kg以上の牽引走は、こうした専門的スピード・筋力発揮に有効な強化的方向でのトレーニング手段となることを示唆している。

トウ・トレーニングでは、主に空気抵抗が直接的な外的負荷の軽減対象とされる。疾走時に走者が受ける空気抵抗は、Hill, A. V.⁽⁶⁾の式、または「ベルヌイの法則」からも近似的に求められるが、本研究の条件下（平均身長176cm、疾走速度10-11m/s、気温25度）でのおよその空気抵抗は約3.0kgに相当し、Tow3.0の牽引力とほぼ等しいものであった。また、Tow3.0では主観的強度の尺度の一つに用いた「余裕-恐怖度合」が、ほぼ±0であり、牽引力と上記の空気抵抗推定値とが丁度相殺されるニュートラルな条件と一致し、「引っ張られ、いい感じ」「スピードが自然と高まる」といった反応を得た。

これらのことから、3.0kgでの牽引走は、最大

疾走能力の改善を目的としたトレーニングとして、より強化的な方向での取り組みが可能であろう。

3) Tow4.5

全体の平均ではTow4.5での疾走速度は、牽引走の3試技中最も高かったが、接地時の膝角度が顕著に増大し、下腿角度もまた増大した。こうした傾向は、Mero and Komi⁽¹²⁾の報告と一致するものであり、接地時にブレーキをおこしやすい態勢であることを示している。大腿の支持期前半の角速度は有意に減少し、全力走の約70%となった。またこの局面での膝関節の屈曲角速度は有意に増大し、プレ全力走の約2.3倍の値を示した。これらのことは、支持期前半での著しいブレーキ動作の発生を意味する。

プレ全力走に対するTow4.5での速度増加率は8.70%であったが、Bosco and Vittori⁽²⁾は100-150Nの牽引力により、14.3%の速度増加が起こったと報告している。速度の増加が体重の10%に満たない牽引力でも、上記の様な疾走フォームの乱れが起こることを考えると、彼らの設定した牽引力は、トレーニングとして行うにはやや強すぎるといえる。

Tow4.5の疾走中は、Tow1.5とは逆に恐怖を感じる割合が高まり、自己の疾走フォームを維持できないと答える割合も多くなったことから、4.5kgでの牽引走は接地時にブレーキの強くかかった走り方になり、疾走動作を崩しやすいといえる。また、これは、精神面にも恐怖感を与えやすく、このような高い強度での運動遂行は、かえって悪い運動フォームを身につける可能性の-highいことが示唆された。

4) 即時効果

本研究では、実験試技による牽引走の即時効果を検討するために、牽引走直後に再度全力走(ポスト全力走)を行い、初めの全力走(プレ全力走)と比較した。

上位群では、ポスト全力走においてストライドはやや減少したが、ピッチが増大することで疾走速度は平均で2.12%向上したのに対し、下位群ではストライドの減少に伴い速度もわずかに減少する傾向にあった。しかしながら、ストライドが減少し、ピッチが増加する傾向にあるという点では共通した。このピッチの増加傾向は、おもに非支持期と支持期後半の時間の減少によるものであ

た。また、ポスト全力走では、支持期や回復期での膝・腰角度および非支持期時間なども牽引走時のものと類似性が高かった。支持期の膝角度は、離地時の方が小さくなり、回復期での腰関節最大角度は減少する傾向にあった。

宮下ら⁽¹⁵⁾は、世界一流スプリンターの膝関節角度が、接地時よりも離地時の方が大きい傾向にあること、また離地後、大腿の後方への振幅が小さいことなどを報告している。ポスト全力走では、こうした膝や腰の角度に関しては、プレ全力走に比べてより世界一流スプリンターの動きに近づく傾向を示した。また回復期での膝・腰の最大パワーは、全力走のものより増大する傾向にあり、特に腰の最大正パワーには有意な増大が見られた。これは、非支持期時間が減少してピッチが高められることに関連する。

本実験では、ポスト全力走が9本目の試技であったにも関わらず、特に上位群での努力度合は約80%であり、プレ全力走よりも高い疾走速度を達成しながらも、心理的な「余裕」を感じるプラス面での即時効果が認められた。また上位群に共通したコメントは「動き易い」、「イメージが良くなった」といったことに集中し、牽引走を経て適度なリラクゼーションを覚え、身体コントロールがしやすいという共通感覚が生じたことになる。しかしながら、下位群では必ずしもこのようなプラスの効果は得られなかった。

V. 結 論

本研究では、専門的スピード・筋力発揮に有効な強化的方向でのトレーニング手段として牽引走を用いる場合の適性牽引力としては、3.0kgを支持する見解が得られた。しかし一方で、張力1.5kgでの牽引走では、膝関節屈筋群にかかる負荷は全力走とほとんど変わらないが、疾走中の余裕度が増し、疾走動作のコントロールがしやすくなる反応を得た。従って、この張力による疾走は、より高いスピード条件でリラックスを保った疾走フォームの習得改善を目的とする、習熟的方向に適したものと言える。他方、張力4.5kgでの牽引走は、肉体的・精神的に負荷が大きく、疾走動作を崩しやすいものであった。また、競技レベルに応じて適性負荷の設定がなされた場合、トウ・トレーニングには、牽引後の通常の全力走に対して、プラスの即時効果を十分期待し得るものである。

参 考 文 献

- 1) 阿江通良, 宮下憲, 渋川侃二, 川端昭夫, 横井孝志 (1986) : 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 9 : 229-239.
- 2) Bosco C and Vittori C (1986) : Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *New Studies Athletics* 1 : 39-45.
- 3) Bosen KO (1979) : Experimental speed training. *Track Technique* 77 : 2382-2383.
- 4) Chandler RF, Clauser C E, McConville JT, Reynolds HM, and Young JW (1975) : Investigation of inertia properties of the human body. Wright-Patterson Air Force Base OH Aerospace Medical Research Laboratory.
- 5) Chapman AE and Caldwell GE (1983) : Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *J Biomechanics* 16 : 79-83.
- 6) Hill AV (1927) : The air resistance to a runner. *Pro. Roy. Soc.* 102 : 380-385.
- 7) Kunz H and Kaufmann DA (1981) : Biomechanics of hill sprinting. *Track Technique* 82 : 2630-2605.
- 8) Lapinsky R (1982) : The tow method of training. *Modern Athlete Coach* 20-1 : 29-30.
- 9) Mann RV and Sprague PG (1981) : A kinetic analysis of sprinting. *Med Sci Sports Exercise* 13-5 : 325-328.
- 10) Mann R (1989) : The biomechanical analysis of sprinters. *Track Technique* 94 : 3000-3003.
- 11) Matvejew LP (1981) : Grundlagen des sportlichen trainings. Sportverlag Berlin: 168-173.
- 12) Mero A and Komi PV (1985) : Effects of supra-maximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *Int J Sport Biomechanics* 1 : 240-252.
- 13) Mero A and Komi PV (1986) : Force-, EMG, and elasticity-velocity relationships at Supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol* 55 : 533-561.
- 14) Mero A, Komi PV, Rusko H and Hiruvonen J (1987) : Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supra-maximal speed. *Int J Sports Med* 8 : 55-60.
- 15) 宮下 憲, 横井孝志, 阿江通良, 橋原孝博, 大木昭一郎 (1986) : 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Japanese J Sports Sci* 5-12 : 892-898.
- 16) Ozolin N (1971) : How to improve speed. *Track Technique* 44 : 1400-1401.
- 17) 杉浦雄策, 青木純一郎 (1983) : 牽引走 (Supramaximal running) が走方の異なる短距離走者のピッチとストライドに及ぼす影響. 日本体育学会第39回大会号B : 312.
- 18) Tansley J (1980) : Glendale's tow training for sprinters. *Track Technique* 78 : 2471-2475.
- 19) Wood GA (1986) : Optimal performance criteria and limiting factors in sprint running. *New Studies Athletics* 2 : 55-63.
- 20) 山本博章 (1986) 「走力等の強化装置」特許庁提出実用新案登録願.
- 21) Zhukov IL and Shabanov BV (1986) : Tow training. *Track Technique* 96 : 3074-3075.