

I-2 漸進的トウ・トレーニングが100m走の走速度・ストライド・

ピッチや疾走フォームのダイナミクスに及ぼす効果

宮下 憲, 森田 正利, 村木 征人, 阿江 通良, 伊藤 信之

緒 言

現代を代表する長身の C. Lewis は、超ストライド型(中間局面で2.55m)¹³⁾であるにもかかわらず、日本選手が持っている程度のピッチ (4.49f/s) もまた同時に持ち合わせている。女子100mの世界記録保持者である F. Joyner は、女子スプリンターの中では平均的な身長を持ち主であるが、強い筋力を支えに身長に比して大きなストライドと、同時に高いピッチを兼ね揃えたまれにみる女子選手であった。また、一時、女子の世界記録を次々に塗り換えていった M. Göhr は短身ながら、非常に高いピッチ (5.51f/s) の持ち主であった。100m 競争ではこのように小柄な走者はピッチ型、細長型はストライド型という図式は従来変わっていない。従ってどのタイプのスプリンターにとってもより長いストライドやより高いピッチを獲得することと同時に、それらを持続させる能力を高めていくことは共通したトレーニング課題である。しかし、全天候型走路の出現は全体的な動きの速さ、すなわち、ピッチを助長する方向に作用している。

1960年代に米国の C.M. Sandwick¹⁴⁾は、最大スピードの改善をはかることを目的にして自動車にアームを取り付け、走者に超最大疾走トレーニングを課して効果をあげたことを報告している。これはトウ・トレーニングの先鞭であった。その後、小型エンジンや電動モーターによって紐を巻き込む方法へと牽引方法に改善が加えられ、現在では等速型と等張型の負荷を選択して与えることも可能となってきている。

牽引走は国内のトレーニング場面でも用いられるようになってきたことと同時に、その研究も世界的な広がりを見せている²⁾³⁾⁵⁾⁷⁾。牽引走は最大疾走速度の改善を目的に実施されているのであるが、

その多くはピッチの向上によってスピードの改善が図られる⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾ということに異論はないようである。しかし、同時にストライドの増加が図られる⁹⁾¹⁰⁾¹⁶⁾という点では必ずしも一致した結果¹²⁾¹⁷⁾にいたっていない。更に、トウ・トレーニングが100m疾走の加速、最大速度、持続局面のどこに効果をもたらすかということも明らかにされていない。

我々の先行研究¹²⁾では、最大努力(全力)での等張性牽引走の適正牽引力は3kgであることを見いだした。しかしそこでは、選手がトレーニングの習熟的方向での技術的な改善をめざすには、それより低い1.5kg程度の牽引力で、運動制御の余裕が生れる最大下の努力での牽引走の可能性を示唆するものであった。この研究課題の検討は、本トレーニング研究の先行実験として、前項IIで行なわれている。90%の最大下努力度合(Submaximal effort)での牽引走では、運動制御可能な余裕を残しながらも、実際の最大疾走速度は通常全力走の1-7%増の最大速度(Maximal speed)、若しくは超最大速度(Supramaximal speed)を達成するのがSprint Assisted Trainingとしての等張性牽引走の特徴でもある。

本研究では、1ヵ月のモデル的な漸進的トウ・トレーニングを立案し、そのトレーニング効果を100m走の疾走速度、ストライド、ピッチおよび疾走動作のダイナミクスに与える影響を実験的に検討した。

2. 研究方法

(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名で、

短距離 5 名，跳躍 5 名，混成競技 1 名の計 11 名をトレーニング群，残り 9 名をコントロール群とした。被験者らは，いずれも長期にわたって計画的に専門的なスプリント・トレーニングを行っており，本研究への関心が高く自発的な参画意欲を持ったものである。

2) 実験試技

モデル的トレーニングとしての実験プロトコルは，これまでの研究成果と実践的な経験が生かされた。またそこでは，トレーニングの習熟的方向から強化の方向へと進めるスポーツ・トレーニングの原理に即して，全力による超最大速度での強度の高いトウ・トレーニングへと段階的・漸進的に進め，トレーニング計画の専門的準備期への実践的な組み込みが配慮された。

トレーニング前・後には，それぞれ 3 種の 100m 実験試技（以下実験 I / III）を行い，トレーニング効果を検討した。また，実験 I と実験 III の間には，毎週 2 日のトウ・トレーニング（実験 II）が 1 ヶ月間組み込まれた。実験試技の内容は以下に示す。

実験試技 I

－ トレーニング前の 100m のプレ・テスト－

- ① 全力走 100m × 1 本
- ② 全力での牽引走（2 kg）100m × 1 本
- ③ 全力での牽引走（3 kg）100m × 1 本
- ④ ポスト全力走 100m × 1 本

実験試技 II

－ 1 ヶ月の漸進的トウ・トレーニング－

- 1 回目：最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 3 本
- 2 回目：最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 4 本
- 3 回目：最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 5 本
- 4 回目：最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 5 本
- 5 回目：最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 4 本
- 6 回目：〔全力走 100m × 1〕+ 〔最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 3 本〕+ 〔全速疾走 100m × 1 本〕
- 7 回目：〔最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 1 本〕+ 〔全力での牽引走（3 kg）100m × 2 本〕

8 回目：〔最大下努力の牽引走（2 kg）100m × 1 本〕+ 〔全力での牽引走（3 kg）100m × 2 本〕

9 回目：〔全力走 100m × 1 本〕+ 〔全力での牽引走（3 kg）100m × 1 本〕+ 〔全力走 100m × 1 本〕

注：コントロール群は通常トレーニングの自主的継続はなされたが，トウ・トレーニングは一切行わなかった。

実験試技 III

- ① 全力走 100m × 1 本
- ② 全力での牽引走（3 kg）100m × 1 本
- ③ 全力での牽引走（3 kg）100m × 1 本
- ④ ポスト全力走 100m × 1 本

3) 牽引装置及び実験装置

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た光電管を置き，10m 毎の速度変化を測定した。これと同時に，バイオメカニクスのデータを得るため，40m－50m の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影した。

(2) 実験データの処理

1) 疾走速度，ストライド，ピッチ曲線

光電管から得られた 10m 毎の時間をもとに，スタート後 10m から 100m までの 10m 毎の平均速度を計算した。また撮影されたビデオ画像から，光電管の付近に走者の足が接地したタイムと各光電管の間の歩数を測定することにより，1 歩にかかる時間を計算し，この逆数を 10m 毎の平均ピッチとした。10m 毎の平均速度を平均ピッチの値で除したものを 10m 毎の平均ストライドとした。こうして得られたデータから疾走速度，ストライド，ピッチ曲線を描いた。

2) 映像分析

ビデオ画像から，身体 23 点の座標を読み取り，画

面に写し込んだ較正点を元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）に渡って行ったが、データの平滑化や微分演算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左足振り戻し開始の時点で区分する8局面を設けた。本論文では、これらの局面を基準に支持期（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。

なお、本論文での図12~13および図15~18で用いた各局面区分は、以下のものを示す：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）。

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及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及び大腿の部分角度を求めた。

3. 結果と考察

(1) 疾走速度について

1) 最大疾走速度

1ヵ月の漸進的トウ・トレーニングの結果、トレーニング群では全力走の平均最大速度は、トレーニング前後(実験I/III)で9.43から9.63m/sへと2.2%の有意(P<.05)な増加を示した。最も大きな増加を示した牽引走では、10.12から10.40m/sへと2.84%増加し、ポスト全力走では、9.42から9.68m/sへと2.72%といずれも有意(P<.05)な増加を示した(表1)。

一方、コントロール群でも全力走及びポスト全力走で1%、5%水準でそれぞれ有意な疾走速度の増加を示した。トレーニング群とコントロール群ともに、全力走とポスト全力走という牽引無しの自力走で有意な差が出てきた背景には、トレーニング前の試技が向い風(1~2m)で行われたのに対し、トレーニング後の試技では追い風(1m前後)の条件下で実施されたことの影響を無視することができない。しかし、トレーニング群ではトレーニング前後の牽引走間にも有意な増加を示し(P<.05)、風の影響を受けない条件下でも最大速度に差が認められ、高い速度に対するに適

表1 トウ・トレーニング前後の疾走速度、ストライド、ピッチの変化の比較

実験群 (n=7)	全力走			牽引走			*ス全力走			全力走に対する変化率			
	I	III		I	III		I	III		I	III	I	III
疾走速度 (m/s)	9.43	9.63	2.20%**	10.12	10.40	2.84%**	9.42	9.68	2.72%**	7.40%***	8.06%***	-0.02%	0.47%
	0.49	0.47	1.99%	0.52	0.39	2.43%	0.46	0.51	2.61%	2.50%	2.52%	1.52%	1.17%
ストライド (m)	2.13	2.16	1.48%	2.24	2.26	0.76%	2.12	2.13	0.41%	5.45%**	4.69%***	-0.24%	-1.27%
	0.10	0.08	2.29%	0.07	0.08	1.66%	0.09	0.09	0.85%	2.41%	1.00%	1.01%	1.43%
ピッチ (Hz)	4.43	4.47	0.86%	4.51	4.61	2.16%**	4.45	4.54	2.18%	1.77%**	3.13%**	0.32%	1.64%
	0.27	0.24	2.96%	0.30	0.27	2.09%	0.29	0.27	2.78%	1.15%	2.31%	0.97%	1.33%
対照群 (n=6)	全力走			牽引走			*ス全力走			全力走に対する変化率			
	I	III		I	III		I	III		I	III	I	III
疾走速度 (m/s)	9.31	9.61	3.16%***	10.05	10.31	2.76%	9.33	9.60	2.96%**	7.85%***	7.35%***	0.21%	0.02%
	0.26	0.28	1.74%	0.45	0.24	4.08%	0.28	0.18	2.27%	2.25%	1.78%	0.66%	1.43%
ストライド (m)	2.10	2.14	1.66%	2.24	2.26	1.00%	2.09	2.13	1.82%	6.59%**	5.86%**	-0.43%	-0.25%
	0.07	0.09	4.55%	0.06	0.10	4.34%	0.06	0.10	3.53%	3.75%	2.44%	2.71%	1.92%
ピッチ (Hz)	4.44	4.50	1.51%	4.49	4.57	1.81%	4.47	4.52	1.20%	1.21%	1.52%	0.69%	0.40%
	0.15	0.20	3.05%	0.19	0.22	1.64%	0.17	0.21	1.33%	2.80%	1.54%	2.04%	0.70%

*** P<.001
** P<.01
* P<.05

応状況を物語るものである。

トレーニング群とコントロール群の自力走に差がないことについては、負荷強度の高いトウ・トレーニングでの疲労が考えられる。トレーニング群は、最後のトウ・トレーニング終了1週間後にポスト・テストとしてトレーニング後の試技を行っており(実験III)、トレーニング疲労からの十分な回復状態ではなかったことが予想される。

他方、コントロール群は、相対的に負荷強度の低い通常トレーニングでの、よりフレッシュな状

態でポスト・テストに臨めたことを考えると、両群にはここで示された以上の差異が内在しているものと推測される。すなわち、トレーニング群がその後のシーズンで、ほとんどの者が短距離(100 m/200m)、跳躍(走巾跳/三段跳)種目で自己記録を更新しており、トウ・トレーニング直後での直接的な効果をポスト・テストの成績に求めることはできないが、その後のより長い遅発的転化という意味で、その遅発的効果の一端を見逃すことができないからである。

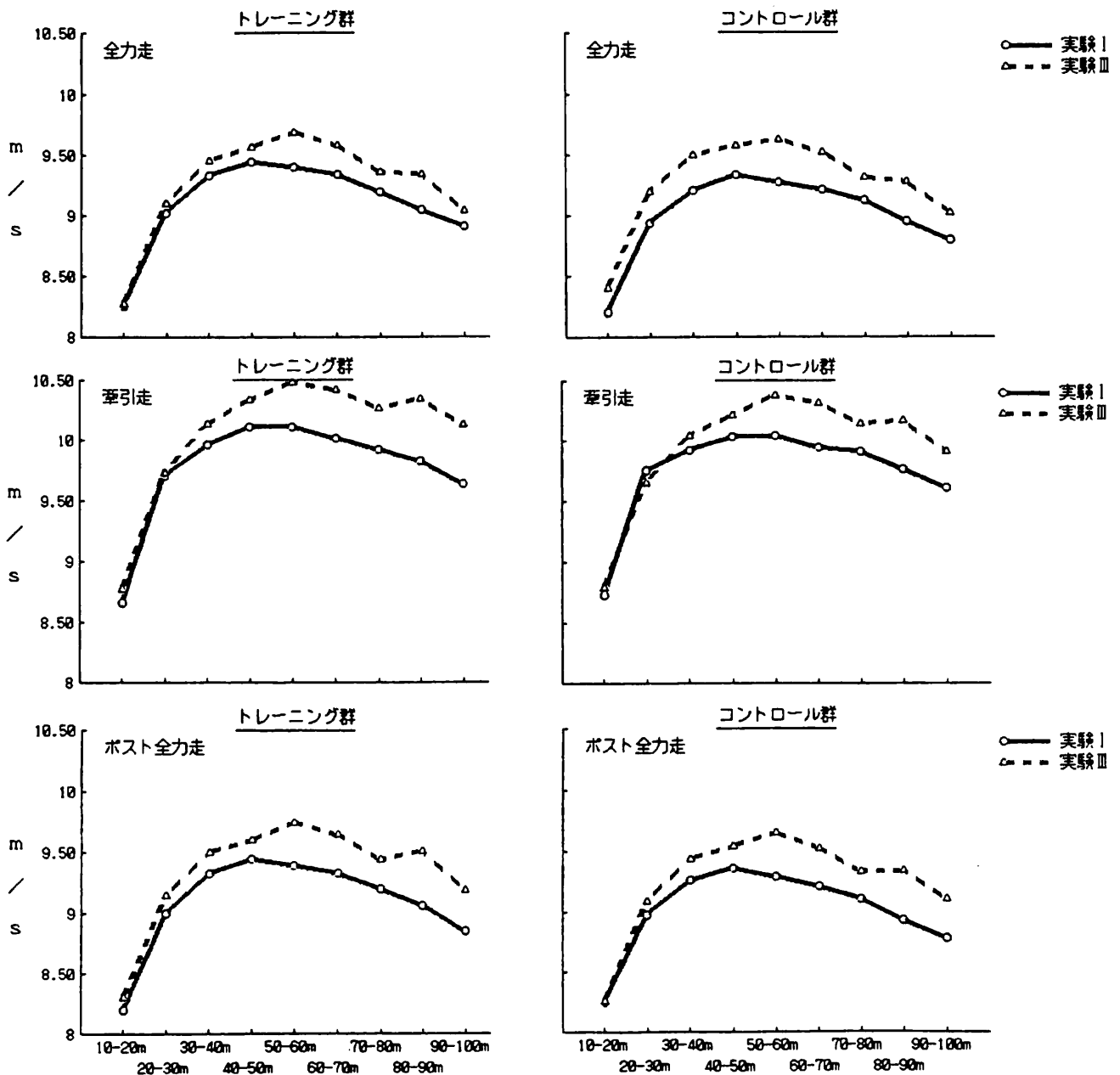


図1 トウ・トレーニング前後の各種100m走の疾走速度曲線の比較

最大疾走速度の出現区間は3試技—全力走、牽引走、ポスト全力走ともに、トレーニング前後で40-50m区間から50-60m区間への移行が見られた。しかし、最大速度の持続区間が延びることはなかった。この傾向は両群に認められ、より高いパフォーマンスレベルに至るスプリント能力の発達的变化の特徴を示した。

2) 区間速度について

被験者の100m疾走に於ける速度曲線(図1)からはその疾走局面を、スタートから30mまでの大きな加速を示す加速局面、緩やかな加速と最大速度及びわずかな減速を示す30-60mの最大速度局面、及びその後の速度持続の3局面に大別することが許されよう。

トレーニング群の全力走では、トレーニング前後で各局面での10mの区間速度に差があるが、特に最大速度局面と速度持続局面とに大きなトレーニング効果が認められる。しかし、牽引走およびポスト全力走では、両群に加速局面での差は見られない。従ってトウ・トレーニングでは、加速局面でのロウギア的パワーの向上を期待することはできないといえる。

牽引走やポスト全力走では、両群の最大速度局面や速度持続局面での区間速度に差が見られ、特にトレーニング群のポスト全力走での速度持続局

面の速度増加率が大きくなっている(コントロール群の3.5%に対して4.5%)。また、走速度の持続能力を示す速度減減率からトレーニング前後の状態を見ると、全力走やポスト全力走の自力走では5-6%であり、両群に差が見られなかった。しかし、牽引走ではトレーニング群のトレーニング前や、コントロール群のトレーニング前後で共に4%台であるのに対し、トレーニング群の牽引走ではトレーニング後に3.4%と小さくなっている。ソウルオリンピックの男子100mメダリストの速度減減率の平均が約5%であることから、トレーニング群は非常に高い疾走持続能力を示したことになる。

以上のように、1ヵ月の漸進的トウ・トレーニングは最大スピードの頭打ちを打ち破るためばかりではなく、速度持続のためのトレーニング手段としての可能性をも示唆するものである。また、トレーニング群のトレーニング後のポスト全力走に示されたように、このトレーニングの実施による牽引走後の即時的効果¹²⁾が、最大速度局面および特に、速度持続局面でその効果が大きく、また出易くなることが判明した。

3) 疾走速度のトレーニング経過について

図2は、実験Iにおける張力2kgの最大下努力での牽引走時の最大速度を基準にした、1ヵ月の

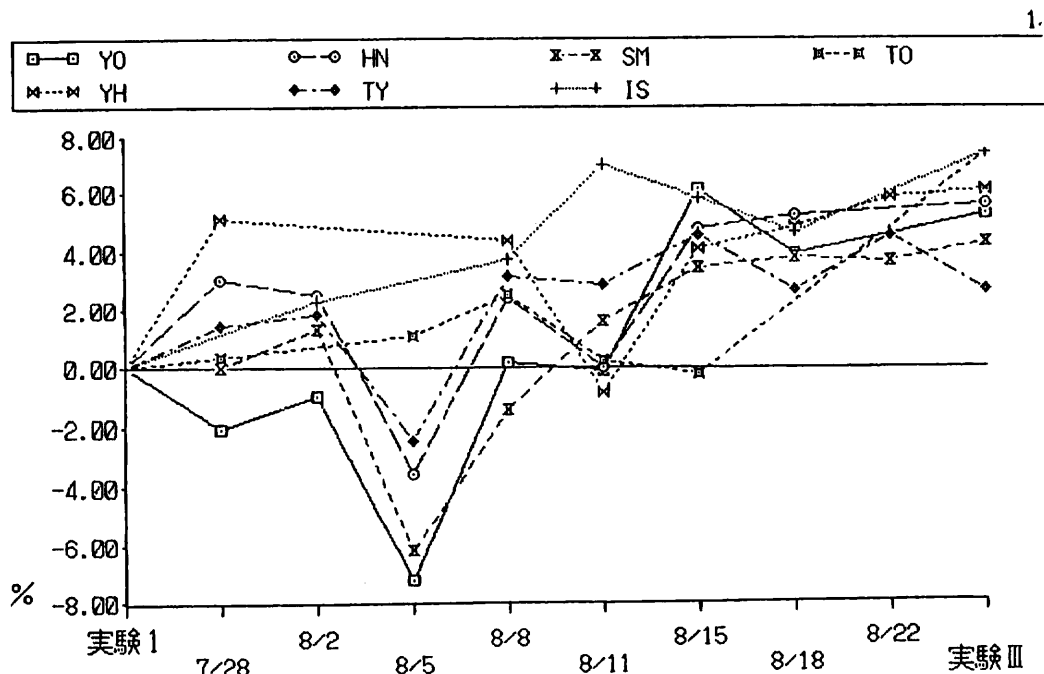


図2 最大疾走速度のトレーニング前に対するトレーニング中の変化率(%)

トウ・トレーニングでの各トレーニング日の最大疾走速度の変化である。トレーニング開始2週間後では、7名中4名がトレーニング前の全力走に対して2.5から7.5%の速度の低下を示したが、全体的な走速度のトレーニング過程は順調で漸進的なものであった。これは、本研究でのモデル的な漸進的トウ・トレーニング—最大下努力での漸増的牽引走シリーズ3週間とその後の全力での牽引走シリーズへの展開が、内容に無理がなく適切なものであったことを支持するものであろう。

(2) ストライドについて

1) 最大ストライドについて

100m走における一般的なストライドの変化は、スタートから加速および最大速度局面では疾走速度曲線と同じ傾向を示し、その後ゴール前ではストライドを大きくしてレースを終えている⁶⁾。本研究でも、ほとんどの被験者は100m最終の10m区間(90-100m)で最大ストライドを示した。この区間では前述したように、最大速度に比べ約5-6%の速度の低下が見られた。そのために、この区

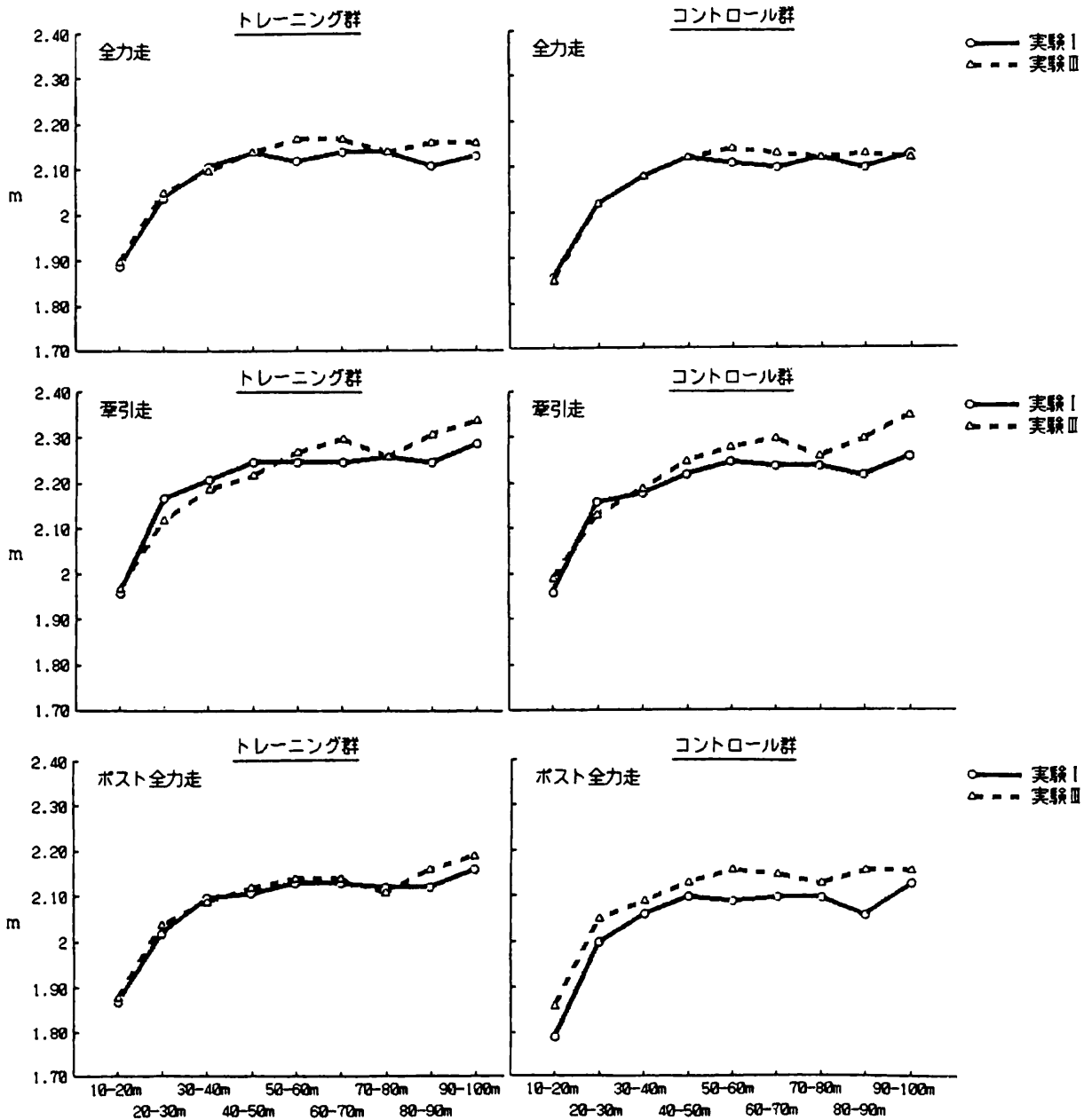


図3 トウ・トレーニング前後の各種100m走のストライド曲線の比較

間でのストライドは、必ずしも最大速度局面でのストライドとはいえない。したがって本稿では、最終区間を除く他の区間で最大のものを最大ストライドとして扱うことにした。

トレーニング前後での全力走におけるトレーニング群の最大ストライドは、7名の平均がそれぞれ2.14mと2.17mで大きくなる傾向があるものの、統計学的には有意な差ではなかった。また、全力走と牽引走との間にはトレーニング前後に有意な差があり、全力走に比べ5-6%の増加であった。ポスト全力走では全力走に比べわずかに減少する傾向があり、トウトレーニングの即時的効果をストライドに認めることはできなかった。

最大速度での疾走時のストライドは最大ストライドに対し、トレーニング群ではトレーニング前後の全力走でそれぞれ97.4、99.0%であり、他の試技ではほぼ98%台であった。

最大速度と最大ストライドの出現区間をトレーニング群で比較すると、全力走ではトレーニング前後で両者の出現区間は同じであった。しかし、最大速度が単独の区間で出現するのに対して、最大ストライドは複数の区間に出現し、最初の最大ストライド区間が最大速度区間に相当し、他はそれよりも後の区間に出現している。牽引走やポスト全力走では最大速度区間よりも遅れて最大ストライドに達していることが特徴的である。

ポスト全力走ではトレーニング群がほとんどの10m区間に於いて、トレーニング前後で小さくなる傾向があるのに対し、コントロール群ではその傾向が逆になっている。

以上のように、両群とも全力走と牽引走では最大ストライドの有意な増大があるにも拘わらず、ポスト全力走との比較では差がなく、最大ストライドに関してはトウトレーニングの効果や即時的効果も認められなかった。

2) 区間のストライドについて

全力走におけるトレーニング前後および両群にストライドの差はほとんどないが、牽引走では、両群ともに加速区間でのストライドを緩やかに増加させていく傾向がみられた(図3)。特にトレーニング群では、ストライドの立ち上がりを遅くしてスピードに対応していることが伺える。

最大速度局面と速度持続局面では全力走および牽引走で、両群にトレーニング後にストライドの増加が見られた。ポスト全力走ではトレーニング群に比べ、コントロール群に両局面での効果が認められ、特に速度持続局面に大きな即時的な効果が見られた。

3) トレーニング経過でのストライド変化

図4は、実験Iで行われた張力2kgの最大下努力での牽引走における、40-60m区間のストライドを基準にしてトレーニング経過を示したものである。

各トレーニング時の同じ区間でのストライド変化を見ると、ほとんどの者がマイナスに位置し、最大マイナス8%以内でランダムな傾向を示しながら最終的には全員が低下して終了している。トウトレーニングでは最大下の90%努力で走行し、ピッチを高めて走るという指示もあって定量的・定性的なストライドパターンが出現しなかったものと思われる。

(3) ピッチについて

1) 最大ピッチについて

トレーニング群の全力走のトレーニング前後に最大ピッチの有意な差は認められなかったが、4.42から4.47f/sへと約1%増加する傾向があった。また、全力走と牽引走との間には、トレーニング前には4.42から4.51f/sへと1%水準で、トレーニング後では4.47から4.61f/sへと5%水準でそれぞれ有意な差が認められ、トウトレーニングでは明らかに高いピッチの負荷が課せられていることが確認された。

また、トレーニング前後の牽引走間には5%水準で差異が認められ、トウトレーニングによって有意に高いピッチに耐えられるようになったことがわかる。更に、トレーニング後の全力走とポスト全力走との間にも有意な差($P < .05$)があり、トレーニング群にピッチに対するトウトレーニングの即時的効果が認められた。一方、コントロール群では、全力走と牽引走間にはピッチでなく、ストライドが大きくなる傾向があるが、有意な差には至らず、またそれぞれのトレーニング前後の試技内にも有意な差はなかった。

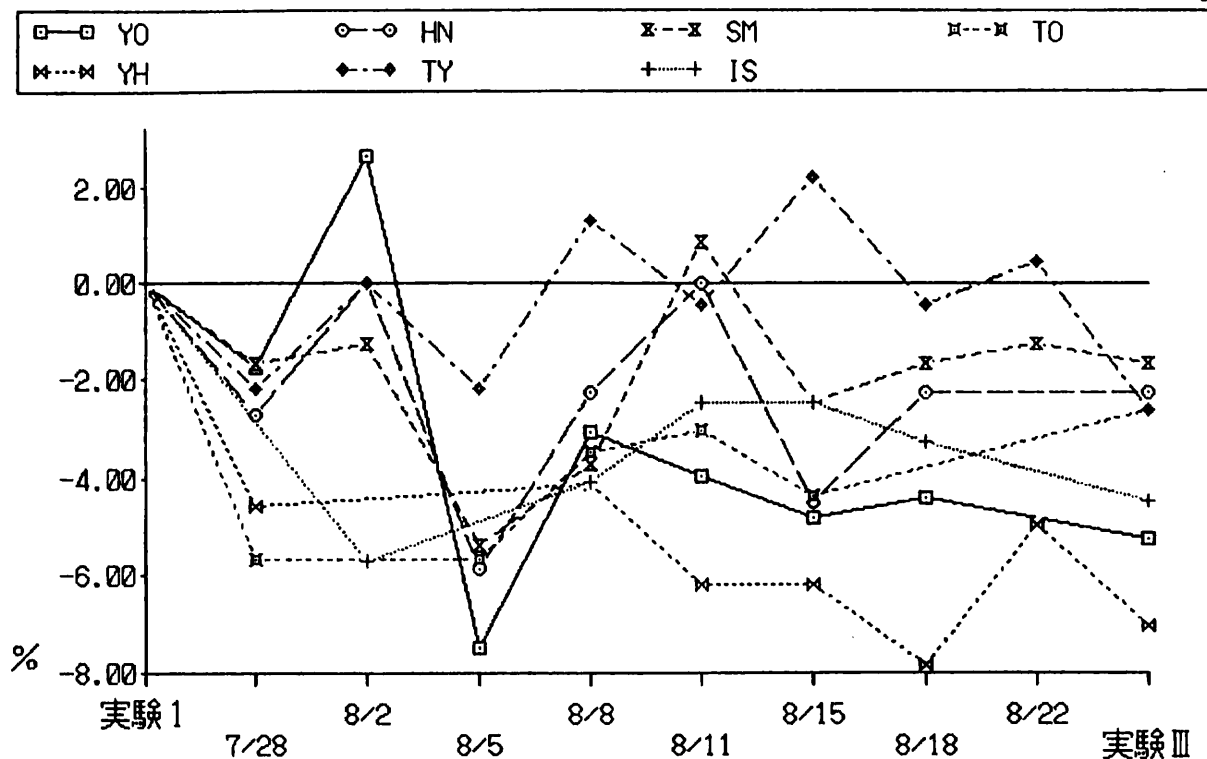


図4 最大速度局面のストライドのトレーニング前に対するトレーニング中の変化率(%)

トレーニング群の全力走に関してみると、トレーニング前では50-60m区間に、トレーニング後では30-40m区間に最大ピッチが出現し、トレーニング前後で最大速度出現区間を挟んで早期に最大ピッチの出現が移行している。すなわちより速いピッチの立ち上がりを見せストライドと対比的な傾向を示した。牽引走ではトレーニング前後ともに、最大速度が出現する直前の区間に最大ピッチが表われている。ポスト全力走ではトレーニング前後ともに最大速度と同じ区間に最大ピッチが出現している。

コントロール群での最大ピッチは、トレーニング前の試技ではポスト全力走-牽引走-全力走の順に最大速度出現区間の近くで出現している。また、トレーニング後の試技ではいずれも最大速度出現区間の2-3区間前に最大ピッチに達している。ポスト全力走では、半数の者が最大速度と最大ピッチが同時に出現しているが、6名の平均で見ると2区間前に出現を見る。このようにコントロール群では最大ピッチの出現が必ずしも最大速度に関連せず、常に最大速度に先行して最大ピッチが出現していることがわかる。

2) 区間のピッチについて (図5)

加速区間におけるトレーニング群のピッチの出現を見ると、トレーニング前後の牽引走に顕著な増加が見られる。このことを受けて、全力走におけるトレーニング前後のわずかな増加がポスト全力走で拡大している傾向を読み取ることができる。一方、コントロール群ではトレーニング前後の全力走における差が大きく、牽引走やポスト全力走では減少さえ示した。

最大速度局面でもトレーニング群では、牽引走とポスト全力走のトレーニング前後で大きな差が出現し、しかも、ポスト全力走ではこの区間のピッチの低下が著しく小さくなっている。コントロール群では全力走でトレーニング前後の差が大きく、牽引走、ポスト全力走へと試技毎に差が小さくなっている。

速度持続区間では両群とも全力疾走区間と同じ傾向を示すが、トレーニング群ではトレーニング前後の牽引走の差がそのままポスト全力走に持ち込まれていると考えられる。

以上のように、トレーニング群において全力走でのピッチに対するトウ・トレーニングの効果は

見られなかったが、牽引走では有意にピッチを向上させることができ、そのことがポスト全力走にプラスの効果を与えていると考えられる。即ちトレーニング群では、トウ・トレーニングによって高いピッチが訓練されていることが前提条件となり、ポスト・テストでの牽引走試技が起爆材となり、次のポスト全力走試技に素早く反応し、より顕著な即時的効果が引き出されたものと考えられる。このことは全力走、牽引走、ポスト全力走のピッチを同時に表わした図6で、両群にトレーニ

ング前後でのポスト全力走におけるピッチ向上の明らかな差が確認される。これらのことは、疾走速度の最大速度および速度持続局面における変化と符合するものであり、その区間での走速度は主にピッチによって生み出されたものとみなされる。

3) ピッチのトレーニング経過について

実験1の牽引走での40-60m区間で測定された平均ピッチを基準として、トレーニング経過の動態を見ると、全般的に日を経る毎にピッチの漸増が見られ、順調に高いピッチが獲得されていった

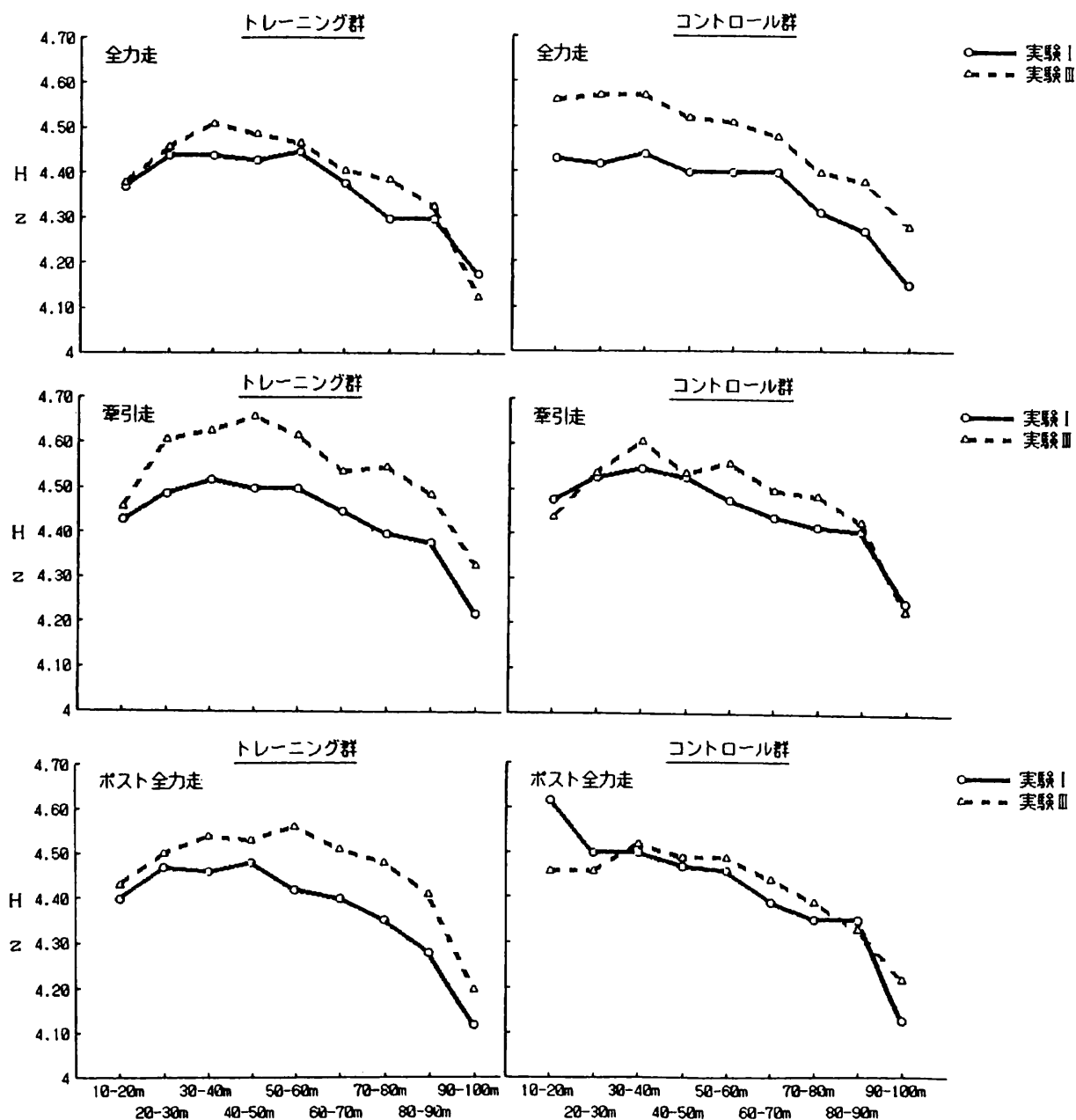


図5 トウ・トレーニング前後の各種100m走のピッチ曲線の比較-1

経緯を読み取ることができる（図7）。

（4）疾走速度、ストライド、ピッチの関係

1）最大速度、最大ストライド、最大ピッチ出現の序列性について

トレーニング群では全力走の疾走速度に、トウ・トレーニング効果としての有意な増加を示したが、ストライドとピッチの変化には有意な差がなく、両者の微増によって走速度の増加が計られたものと考えられ、特定はできなかった。

次に最大速度、最大ストライド、最大ピッチの出現の仕方を見ていくことにする。全力走では、トレーニング前後に関係なく最大速度が最大ストライドと同時に出現し、また複数区間に最大ストライドが見られる。最大ピッチはトレーニング前では最大速度後、トレーニング後には最大速度前の区間に移行し、トウ・トレーニングによって素早いピッチの立ち上げが可能になったものと考えられる。一方、コントロール群ではトレーニング群と同様に、全力走での最大速度は最大ストライ

ドとともに出現し、最大ピッチはその前の区間に表われている。

牽引走ではコントロール群のトレーニング前を除き、最大ピッチ、最大速度、最大ストライドの順に独立して出現する。この出現の序列性は実際のレースを分析した結果と一致する¹⁰⁾。そして、ポスト全力走では、トレーニング群はトレーニング前後ともに最大速度が最大ピッチと同時に出現し、その後の区間に最大ストライドが続いた。一方、コントロール群ではトレーニング前後ともに最大ピッチが最初に出現し、その後最大速度が最大ストライドと同時に表われた。

以上のように最大速度、最大ストライド、最大ピッチの関係を見ると、トレーニング群ではトウ・トレーニングを実施することによって最大速度が最大ピッチと結び付いて出現するように変化したと考えられる。

2）走法の類型的個別性とトレーニング効果の違いについて

全力走のものを基準にして、最大ストライドを

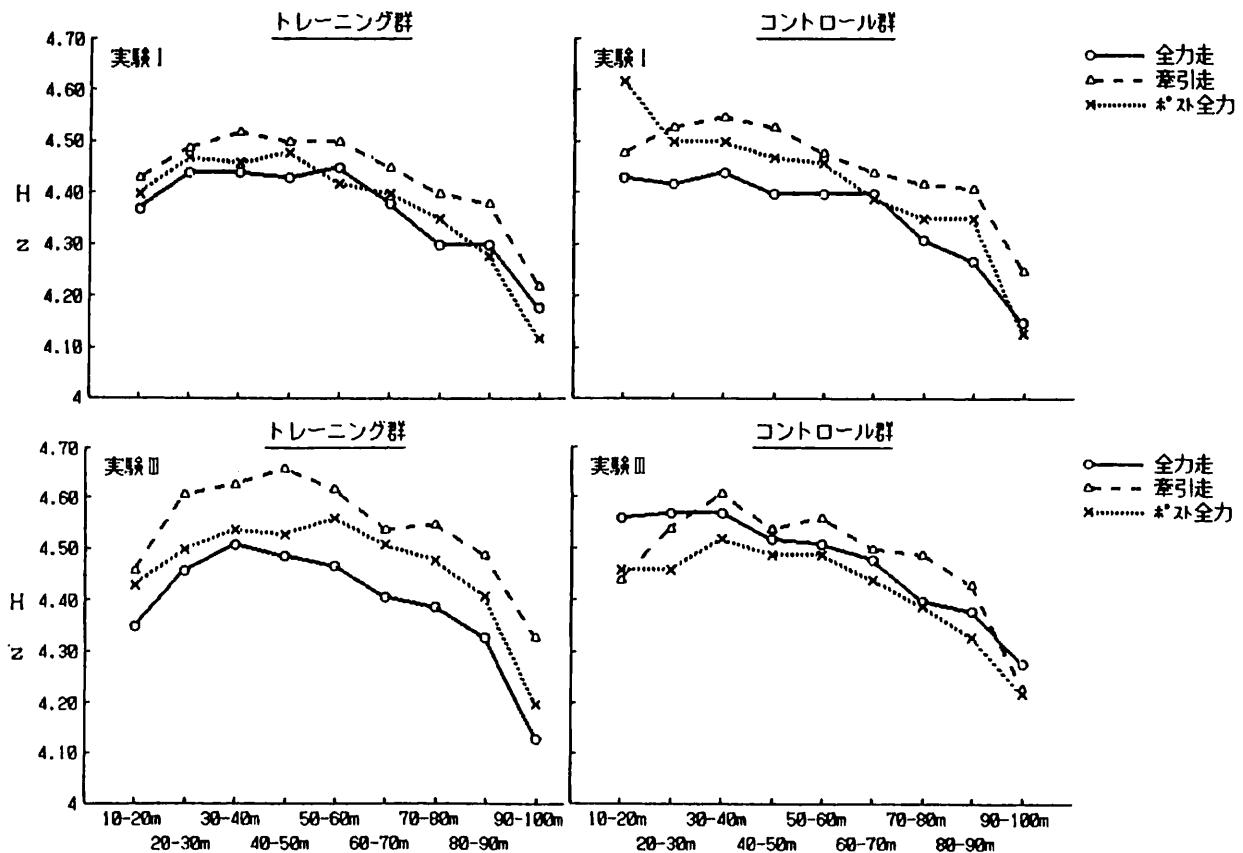


図6 トウ・トレーニング前後の各種100m走のピッチ曲線の比較-2

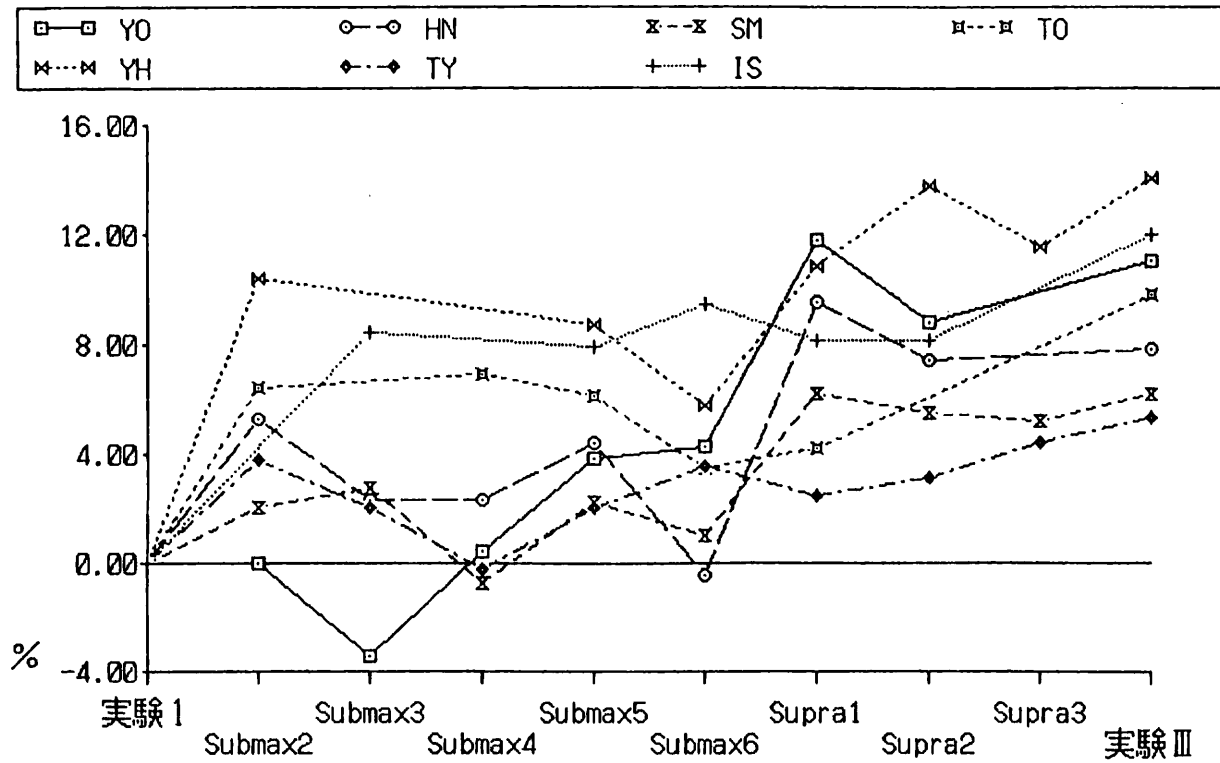


図7 最大速度局面のピッチのトレーニング前に対するトレーニング中の変化率(%)

身長比で表わしたのが図8である。
 速度の変化をピッチとストライドから考えてみると、全力走に於いて身長に対するストライド比の大きい走法（ストライド型）の者ほどピッチの変化率が大きく、また逆に、ストライド比が小さい（ピッチ型）者はストライドの変化率が大きいことが分かる(図9)。また全力走、牽引走及びポスト全力走のそれぞれの速度変化を見ると、ストライド型の方がプラスの増加率が大きい傾向を示し、しかもピッチの貢献によるものと考えられる。トウ・トレーニングでは、このようにストライド比の高い者がピッチの向上に有効に作用し、杉浦らの研究結果¹⁵⁾との一致も見られた。

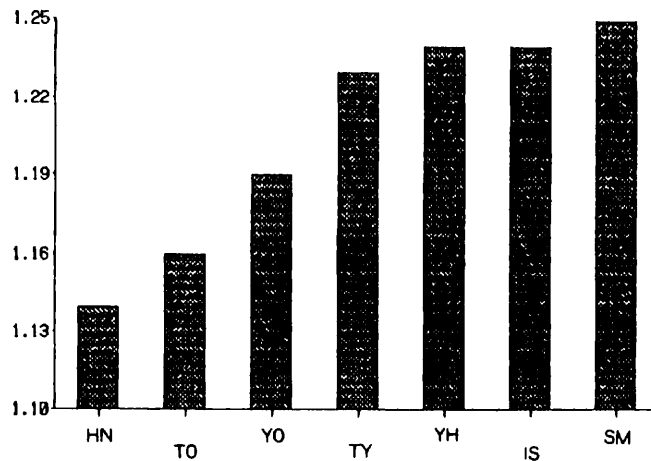


図8 トレーニング前の全力走での身長に対するストライド比

(5) 疾走フォームのダイナミクスに及ぼす影響について

トウ・トレーニングの疾走フォームのダイナミクスに及ぼす影響についての、各種力学量の運動解析データは、疾走フォームの類型的個性性の典型例として抽出した以下の3名の被験者のものを中心にみていくことにする。

被験者Hはピッチ型の特徴を示し、トレーニン

グ度が高い短距離選手である。被験者Yは400mHを専門とするストライド型の短距離選手であり、被験者Mは三段跳を専門とするストライド型の跳躍選手である。

図10の速度、ストライド、ピッチのトレーニング前後の変化率を見ると、速度は被験者Yの全力走1試技を除く全ての試技で増加を示した。ストライドについては一般的な傾向は見られないが、

牽引走においては被験者全員トレーニング後の方が減少していた。またピッチは、被験者Hの全力走が同じ値を示した以外は全ての試技で増加を示した。

1) 下肢関節角度の変化

表2は、トレーニング前後(実験I/III)の全力走、牽引走(3 kg)、ポスト全力走での各局面の膝関節角と大腿角を示したものである。トレーニング前後における牽引走では全力走に比べ、膝関節角は接地時にその角度が大きく、離地時には小さくなる傾向を示した。これはトレーニング前後に共通して見られ、先行研究の結果と一致していた。また、一流選手の全速疾走において見られる動き¹⁰⁾とも同様であった。

大腿角は、接地時に関しては共通した傾向は見られなかったが、離地時の角度はトレーニング前後でともに増加を示していた。つまり、離地時に大腿の後方への伸展が抑えられていたことになる。回復期の大腿角の変化を見ると、牽引走での大腿角は、全力走に比べて逆足接地時、逆足離地時ともに大きな値を示した。

以上の結果を総合すると、トレーニング前後の牽引走は、全力走に比べて膝関節角、大腿角共に支持期後半でそれほど伸展せず、脚の回復を早める動きを示すものである。

次に、牽引走のトレーニング前後を比較してみると、トレーニング前に比べてトレーニング後では、膝関節角・大腿角とも接地時にその値が小さく、離地時に大きくなる傾向を示した。つまり、トレーニング後での牽引走の動きの変化は、トレーニング前の牽引走よりも小さく、その動きは、

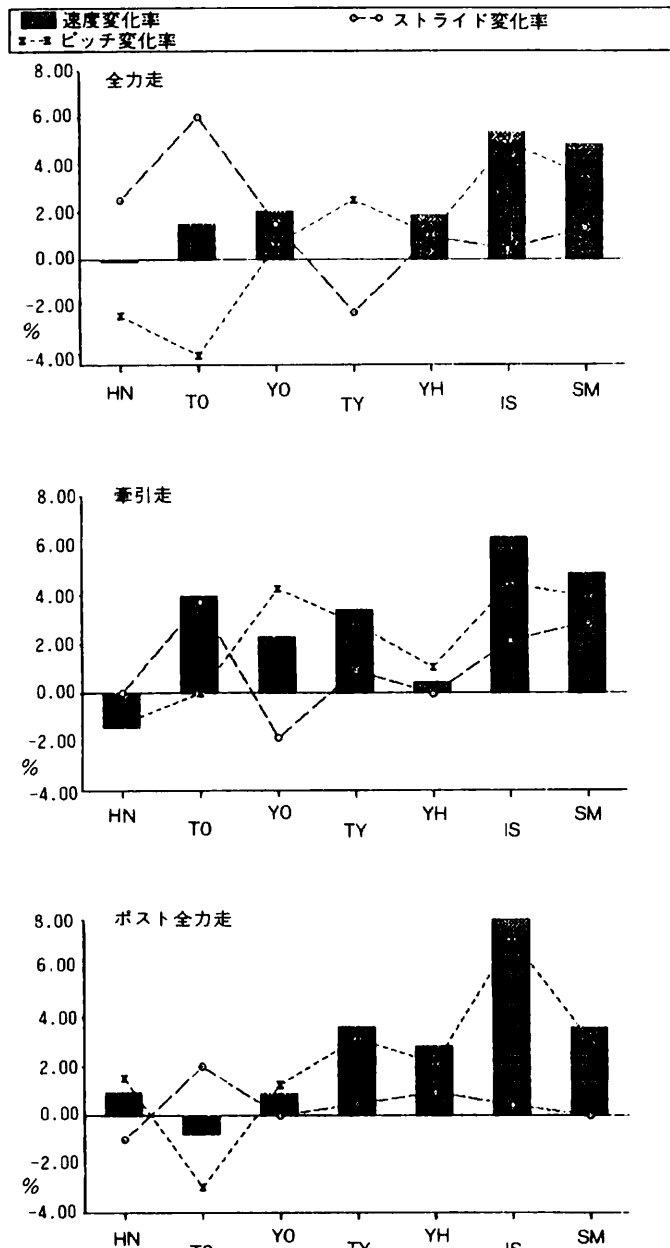


図9 トレーニング群における各種100m走の疾走速度、ストライド、ピッチのトレーニング前後の変化率(%)

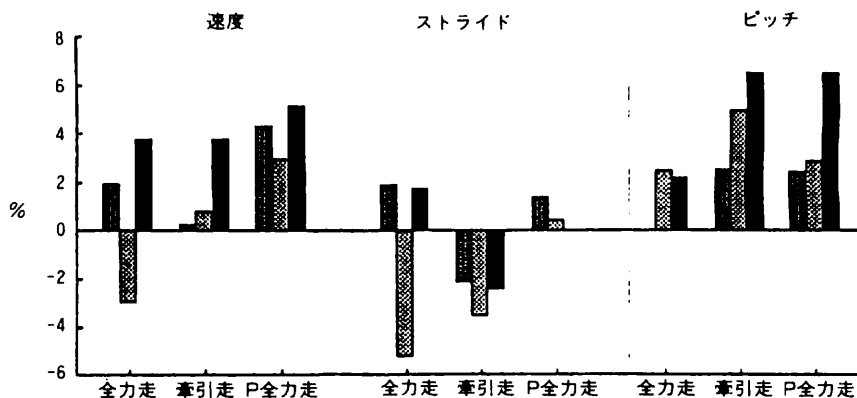


図10 各種100m走の疾走速度、ストライド、ピッチのトレーニング前後の変化率(%)

表2 トレーニング前後の種々の100m走（全力走、牽引走、ポスト全力走）における各局面の膝関節角度と大腿角

実験Ⅰ、実験Ⅲの下肢関節および部分角度

測定項目	全力走		牽引走		ポスト全力走	
	実験Ⅰ	実験Ⅲ	実験Ⅰ	実験Ⅲ	実験Ⅰ	実験Ⅲ
膝関節						
接地時						
H	149.7	149.6	158.1	153.4	155.3	151.6
Y	144.0	152.9	144.4	155.0	144.4	149.4
M	156.7	154.1	168.6	156.3	155.9	154.3
離地時						
H	144.9	152.6	139.6	143.8	149.9	154.2
Y	143.5	146.4	143.2	146.5	144.4	146.6
M	152.8	151.9	147.4	145.1	149.8	152.4
大腿角						
接地時						
H	31.1	31.9	35.2	30.4	28.0	26.9
Y	32.3	27.5	29.2	28.1	28.2	30.9
M	27.1	25.1	20.0	29.1	27.6	26.2
離地時						
H	-16.0	-25.0	-13.8	-23.8	-23.3	-27.9
Y	-22.1	-23.4	-20.9	-22.1	-23.5	-23.0
M	-27.5	-23.5	-12.7	-16.7	-19.7	-23.4
逆足接地						
H	16.2	10.2	30.5	23.0	15.5	14.8
Y	19.7	18.7	29.7	25.1	17.0	25.4
M	5.1	24.7	7.1	31.7	7.3	17.6
逆足離地						
H	78.5	74.4	85.9	85.7	80.1	75.0
Y	72.6	77.5	77.6	79.0	74.2	81.5
M	60.8	77.5	68.0	77.3	52.6	72.0

全力走とトレーニング前での牽引走の動きの中間的なものであるといえる。これは、1ヵ月のトウトレーニングを通じて、牽引走への適応状態の改善が進められたものと考えられる。

ポスト全力走について見ると、被験者により異なるため、トレーニング前後の変化に共通した傾向はあまり見られなかったが、離地時の膝関節角度がトレーニング前よりもトレーニング後の方が大きくなっていった。

2) 下肢関節の力学的仕事

ここでは動作分析から得られた、関節まわりの力学的仕事量 (J/kg) のトレーニング前後の変化を見ることにする。図11は全力走、牽引走 (3 kg) およびポスト全力走における、膝関節まわりの筋

群がなした負の力学的総仕事を、トレーニング前に対するトレーニング後の変化率 (%) として示したものである。

図11では、それらが被験者Mの牽引走を除く全ての試技での増加を示している。つまり膝のなした負の総仕事量、トレーニング後に増加したことを示している。このときどの局面でその仕事が増減したのかを示したのが図12および図13である。図12は全力走のトレーニング前後での変化量 ($\Delta J/kg$) を各局面ごとに示したもので、図13は同様に、牽引走のトレーニング前後での変化量を示している。

図12、図13を見ると、負の仕事が増加した局面は各被験者により異なっていたが、主に回復期後

半の局面7と8において見られた。膝のなした負の総仕事が、トレーニング後の牽引走で減少した被験者Mは、トレーニング後の全力走において他の被験者と同様に局面7で顕著な増加を示し、総仕事も増加している。しかし牽引走では局面7で減少を示し、結果として総仕事を減少させている。

CHAPMAN, A.E., CALDWELL, G.E.⁴⁾らは、スプリントでは膝関節の発揮する負のパワーが下腿の振り戻しに大きく関係し、これがスプリントにおける疾走スピード、ストライド、ピッチの増加に大きく関係してスプリントにおける疾走スピードの限定因子になると述べている。また阿江¹⁾は、膝における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パワーの大きいことが極めて重要になると述べている。

本研究でのトレーニング前後の変化率を見たとき、ほとんどの試技において膝のなした負の総仕事が増加していた。なかでも回復期後半の増加は顕著であり、これがトレーニング後の各試技において、回復期後半の膝関節の伸展をくい止め、下腿の素早い振り戻しに大きく貢献したと考えられる。その結果としてほとんどの試技においてピッチが増加しており、疾走速度も増加していた。以上のことから、牽引走は先行研究と同様に、疾走速度の向上もしくは速度耐性を高めるためのトレーニングとして、また膝屈曲筋群のエキセントリックな筋力発揮トレーニングとして有効であると考えられる。

図14は図11と同様に、腰関節まわりの筋群がなした正の力学的総仕事を、トレーニング前後の変化率(%)として示したものであり、被験者によってその値は大きく異なっていた。被験者HとYは全ての試技において減少を示していたが、被験者Mは全ての試技において増加を示していた。つまり被験者HとYについては、腰まわりの正の総仕事が、トレーニング前よりも減少したことを示している。

図15と図16は膝の場合と同様、腰の正仕事のトレーニング前後の変化量を、それぞれ全力走(図15)と牽引走(図16)について局面毎に示したも

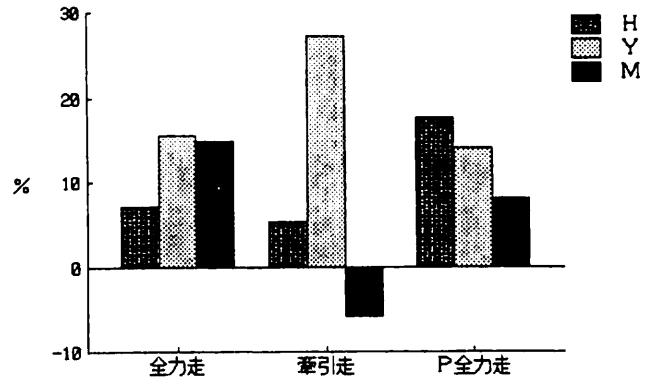


図11 膝の総負仕事のトレーニング前後の変化率(%)の比較

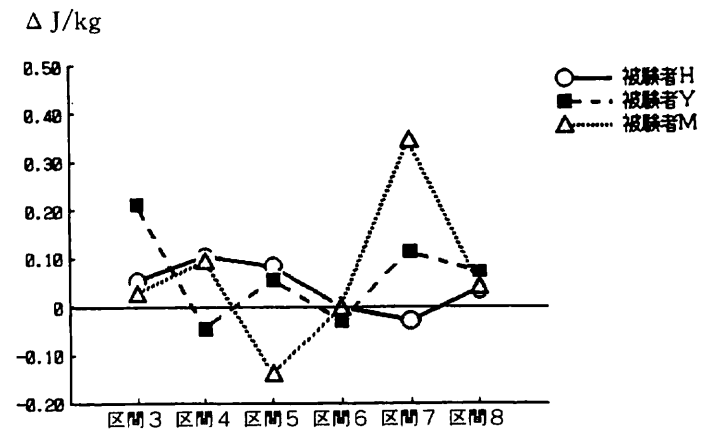


図12 全力走に関する膝の負仕事のトレーニング前後の変化量(ΔJ/kg)の走サイクル局面間の比較

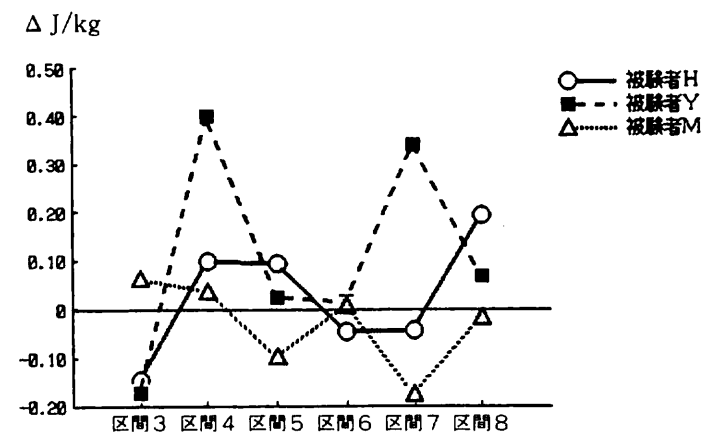


図13 牽引走に関する膝の負仕事のトレーニング前後の変化量(ΔJ/kg)の走サイクル局面間の比較

のである。被験者HとYは回復期前半の局面3と4で減少を示し、被験者Mはそこで逆に増加を示している。これは、牽引走での被験者HとYの脚の回復がトレーニング前よりも遅れており、被験者Mについては回復が早まっていることが考えられる。

表2を見ると、牽引走のトレーニング前後の比較において、被験者HとYは離地時に大腿がより後方へ伸展されていた。また、逆足接地時の値を見るとトレーニング後の方が小さく、トレーニング前より脚の回復が遅れていた。しかし前述のように、被験者HとYはトレーニング後での全力走と牽引走との比較では、脚の回復の遅れは見られなかった。

一方、被験者Mは牽引走のトレーニング前後の比較では、離地時の大腿がトレーニング後でより後方へ伸展されていたものの、その値は被験者HとYのトレーニング後の牽引走の値よりも6-7度小さく、それほど後方へ伸展されてはいなかった。また、逆足接地時には24.6度、逆足離地時には11.3度トレーニング後の方が小さな値を示しており、脚の回復を極端に早めていたことがわかる。

図17は腰まわりの正仕事を、トレーニング前での全力走に対する牽引走の各局面での仕事変化を示す。同様に図18は、トレーニング後での全力走に対する牽引走の変化を示している。両図を比較してみると、被験者HとYは、トレーニング前(図17)では、局面3で正、局面4と5で負になっているが、トレーニング後(図18)では逆に局面3で負、局面4と5で正を示している。このことは、トレーニング前の牽引走では早い時期(局面3)に全力走より大きな仕事をし、トレーニング後では少し遅れた時期(局面4と5)に全力走より大きな仕事をしたことを示す。これに対して被験者Mはトレーニング前後共、ほぼ同じように局面3で正、局面4で負を示していた。このことはトレーニング前後でも同じように早い時期(局面3)に全力走よりも大きな仕事をしたことを示している。

以上のことから、トレーニング前の牽引走では、被験者全員が脚の回復を早めることを強調したことがうかがえる。しかし、トレーニング後の牽引

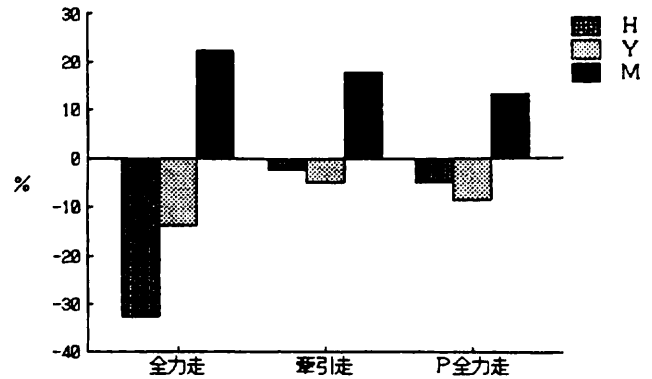


図14 腰の総正仕事のトレーニング前後の変化率(%)の比較

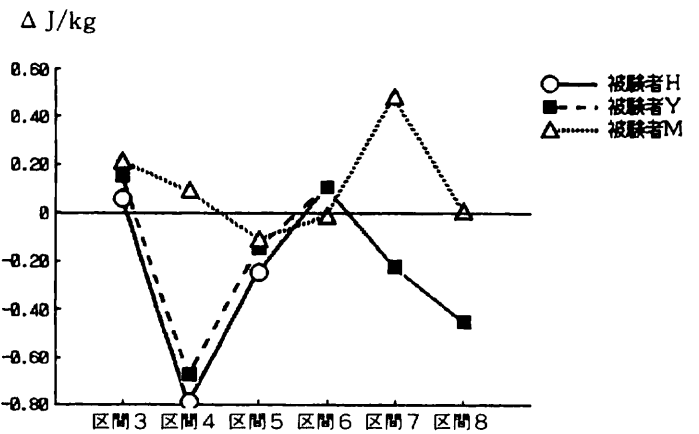


図15 全力走に関する腰の正仕事のトレーニング前後の変化量(ΔJ/kg)の走サイクル局面間の比較

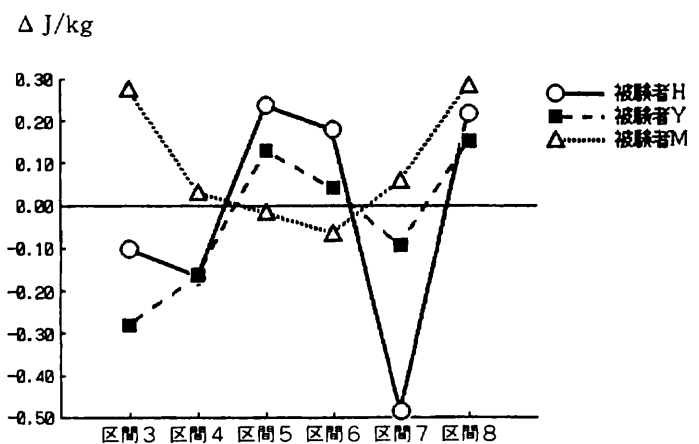


図16 牽引走に関する腰の正仕事のトレーニング前後の変化量(ΔJ/kg)の走サイクル局面間の比較

走での被験者HとYは、脚の回復を早めることだけでなく、支持期中に十分キックすることができるようになったが、被験者Mは脚の回復を早めることだけが強調され過ぎて、支持期の特に後半でのキックが不十分な所謂空回り状態になったものと考えられる。

4. ま と め

本研究では、20名の被験者のうち11名をトレーニング群、残り9名をコントロール群として1ヵ月間の等張性の漸進的トウ・トレーニングを、実験プロトコールに基づいてトレーニング群に行った。最初の3週間には最大下の努力での100m牽引(2 kg)、第4週目には最大努力での牽引走(3 kg)を漸進的な負荷の与え方で行った。このようなトウ・トレーニングが、100m走での走速度、ストライド、ピッチ、及び疾走動作のダイナミクスに与える影響について検討した結果、以下の知見が得られた。

(1) 全力走、牽引走及びポスト全力走のいずれも、トレーニング前後で最大速度が有意に増加した($P < .05$)。全力走での最大速度は9.43から9.63 m/sへ2.2%の増加を示し、最も大きな変化を示したのは牽引走で、10.12から10.40 m/sへ2.84%の増加であった。トウ・トレーニングの即時的効果を示すポスト全力走では、9.42から9.68 m/sの増加を示した。

(2) トウ・トレーニングによる加速局面へのトレーニング効果は期待できないが、最大速度局面や速度持続局面に効果があり、特に牽引走での速度逓減率が小さく、速度持続局面への効果が期待される。

(3) 全力走においてはストライドやピッチに有意な差が認められず、速度の増加は両者の微増であり因子の特定はできなかった。しかし100mの各区間でみると、最大速度局面や速度持続局面では両者に大きな増加がみられた。

(4) トウ・トレーニングによってピッチの立ち上がりが早くなる。また、牽引走では明らかにピッチの高い疾走になり、即時的な効果がピッチに直接的に反映された。

(5) 100mでの最大速度は、全力走では最大スト

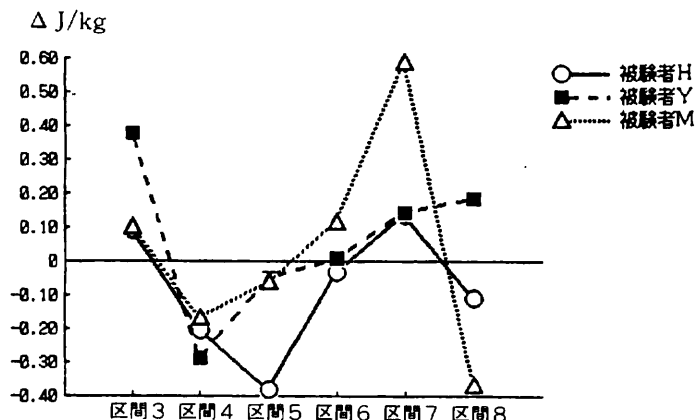


図17 トレーニング前の全力走に対する牽引走での腰の正仕事の変化の比較

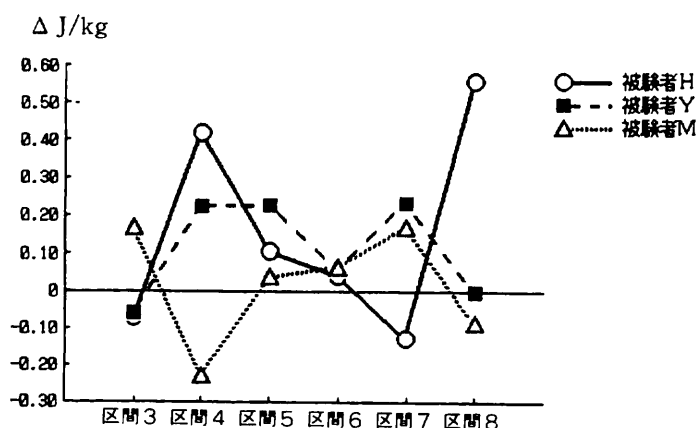


図18 トレーニング後の全力走に対する牽引走での腰の正仕事の変化の比較

ライドと共に出現するが、牽引走が挿入された後のポスト全力走では最大ピッチと共に出現した。

(6) ストライド比が大きい者(ストライド型)はピッチの変化が大きく、逆にこの比が小さい者(ピッチ型)はストライド変化率が高い傾向を示した。

(7) 漸進的な牽引負荷を通して、最大速度やピッチは順調なトレーニング経過を示したが、ストライドの変化に定性的な傾向を認めることはできなかった。

(8) 90%の最大下(Submaximal)努力での課業であっても、牽引での抵抗負荷軽減(Assisted)によって、実際の遂行速度は+5~6%の超最大速度で遂行される。従って、牽引走でのスピードの強度的負荷は著しく大きい(超最大Supramaximal)ので、トレーニングへの実践的組み込みには、トレーニング後の遅発的効果として、超過回復までの至適インターバルを考慮する必要がある

う。

(9) 牽引走時の下肢関節の動きは、先行研究の報告と同様に接地時に大きく、離地時に小さくなる傾向を示した。

(10) トレーニング後の牽引走時の下肢関節は、トレーニング前ものより全力疾走に近い動きを示し、トウ・トレーニングを通じて、全力での牽引条件のもとでも疾走フォームを持続しうる適応性の改善が認められ。

(11) 全力走と比較した場合、牽引走の回復期後半の膝関節まわりの筋群がなした力学的仕事は増加を示した。また、その値はトレーニング前よりも、トレーニング後の試技で顕著に大きく、膝屈筋群にエキセントリックなパワー発揮がより必要とされた。

(12) 選手によっては、牽引走時に脚の回復が遅れないように支持期後半の早い時期に、伸展から屈曲へ切り替えからのピッチ増加を強調しすぎることは、ピッチの増加は望めても、身体を前方にドライブする支持期—特にその後半でのキックが十分にできず、推進性に乏しい脚の空回りの動きを身につける危険性を含んでいる。

参考文献

- 1) 阿江通良, 宮下 憲, 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: 229-239, 1986.
- 2) BOSEN, K.O.: Experimental speed training. *Track Technique*, 75: 2382-2385, 1978.
- 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) COSTELLO, F.: Training for speed using resisted and assisted methods. *NSCA*, 7-1, 1985.
- 6) グンドラッハ H: 歩巾・歩数からみられた100m疾走速度の研究。オリンピア, 20: 303-305, 1963.
- 7) MERO, A., KOMI, P.V.: Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *I.J.S.B.*, 1: 240-252, 1985.
- 8) MERO, A., KOMI, P.V.: Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal, and supramaximal running speed in sprinter. *Eur. J. Appl. Phys.*, 55: 553-561, 1986.
- 9) MERO, A., KOMI, P.V.: Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal: *Med. Sci. SportExerc.* 19: 266-274, 1987.
- 10) 宮下 憲, 横井孝志, 阿江通良, 橋原孝博, 大木昭一郎: 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析。 *J.J. Sports Sci.*, 5-12: 892-898, 1986.
- 11) 森田正利, 関岡康雄, 他: スプリントトレーニングの手段に関する基礎的研究。日本体育学会第40回大会号B, 585-1, 1989.
- 12) 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的効果。日本体育協会スポーツ科学研究報告書, 財団法人日本体育協会スポーツ科学委員会, 1989.
- 13) 陸上競技マガジン。第38巻第13号, 1988.
- 14) SANDWICK, C.M.: Pacing machine. *Athletic J.* 47: 36-39, 1966.
- 15) 杉浦雄策, 青木純一郎: 牽引走が走法の異なる短距離選手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A, 312, 1988.
- 16) ZHUKOV, I.L., SHABANOV, B.V.: Tow training. *Track Technique*, 96: 3074-3075, 1986.