昭和63年度　日本体育協会スポーツ科学研究報告

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）

財団法人　日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和63年度　日本体育協会スポーツ科学研究報告

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）

報　告　者　（財）日本体育協会研究プロジェクトチーム
＝スプリントアシステッド・トレーニングに関する研究班＝

班　　長　青　木　純一郎[1)]

班　　員　村　木　征　人[2)]　阿　江　通　良[2)]　宮　下　　憲[2)]
佐久間　和　彦[1)]　黄　川　昭　雄[3)]　杉　浦　雄　策[1)]
宮　川　千　秋[4)]

担当研究員　金　子　敬　二（日本体育協会スポーツ科学研究所）

研究概要

陸上競技の短距離種目のトレーニングとして利用されているスプリントアシステッド・トレーニングでは，レースでも経験することのない脚の速いスピードが要求される。また，着地時の衝撃も強く，傷害の危険が大きい。

しかし，スプリントアシステッド・トレーニングはこれまでいわゆる現場で主として経験的に行われてきており，科学的研究はほとんどなされていない。したがって，その安全なトレーニング処方はもとより，そのような危険を冒してもなお利点の有るものかなどの検討もなされていないのが現状といえる。

本プロジェクトチームは，このような背景を踏まえて，2又は3年の計画で，スプリントアシステッド・トレーニングの代表的な手段である“牽引走”を標的として，最大走との比較，トレーニング効果の確認，トレーニング処方の具体化などについて検討し，現場で実践的に役立つ資料を得ることを目的にスタートした。

本年度の研究成果である本報は，五つのレポートからなり，そのおおよその構成と内容は次のとおりである。

①　スプリントアシステッド・トレーニングに関する総説（杉浦・青木）

短距離走のトレーニングには，坂上ぼり走や荷重走に代表されるスプリントレジステッド・トレーニングとトレッドミル走，坂下だり走，牽引走に代表されるスプリントアシステッド・トレーニングとがある。ここでは，後者のこれまでの研究と，牽引走によるトレーニング効果に関する内外の19の文献を紹介しながら，今後解決すべきいろいろな問題点が指摘された。

②　牽引走と最大走の比較

短距離走選手を用いたグラウンドでの牽引走と最大走の比較研究は，筑波大班と順天堂大班で行われた。

1）等張性トウトレーニングにおける適正牽引とトレーニングの即時効果（村木・阿江・宮下・伊藤）

1)順天堂大学体育学部　2)筑波大学体育科学系　3)国際武道大学体育学部　4)東海大学体育学部

新たに考案された“等張性”牽引装置を用いて，競技水準の高い短距離走者３名および比較的低い跳躍選手５名に，1.5，3.0および4.5kgの牽引力で牽引走を行わせ，適正牽引力，トレーニングの即時的効果，個別性の問題，トレーニングの力学的な負荷特性などについて検討を加えた。

２）牽引走と最大走のバイオメカニカルな比較（杉浦・佐久間・青木）

短距離走者11名を対象に，筑波大班と同じ牽引装置を用い，３および５ kgの力で牽引し，ランニング速度，ストライド，ピッチ，接地時間，滞空時間，大腿・下腿・膝・足首の動きなどについて，最大走の場合と比較検討した。

③　トウトレーニングの実践的応用と留意点（村木・阿江・宮下・伊藤）

実験結果および著者らのこれまでの実践経験から，牽引走を始めとする種々のスプリントアシステッド・トレーニングを実際のトレーニングに用いる場合の用い方および留意点がまとめられた。

④　スプリントアシステッド・トレーニングにおけるトレーニング効果と安全性に関する考察（黄川）

スプリントアシステッド・トレーニングを筋力トレーニングととらえ，トレーニングによる傷害の予防のために“体重支持指数 WBI”を提唱し，その根拠および算出方法が解説された。

・　　・　　・

これらの成果を踏まえて，２年次は牽引走によるトレーニング（トウトレーニング）の“効果”を検証し，安全で効果的なトウトレーニングの処方に資する資料を得る予定である。

Ⅰ．スプリントアシステッド・トレーニング

報 告 者　杉浦雄策　青木純一郎

1．短距離走のトレーニング方法

陸上競技の短距離走種目のトレーニングの中に，走者にかかる負荷を変えて通常のランニング形態を変化させ，スプリント能力を向上させようとするトレーニングがある[5]。一つはスプリントレジステッド・トレーニング（sprint resisted training）[3][6]であり，もう一つはスプリントアシステッド・トレーニング（sprint assisted training）[3][15]である。

スプリントレジステッド・トレーニングには，坂を利用した坂登り走（incline running）[3]および重量物を着用（weighted clothing）[3]して走る荷重走とがある。いずれもランニング動作に用いられる筋力を強化して，ランニング速度を増加させることを主目的に行われている[3]。しかし，Rowe ら[14]によれば，これらは必ずしもランニング速度を増加させることに有効ではないという理由から，近年はあまり用いられなくなってきたようである。

一方，スプリントアシステッド・トレーニングは，人為的手段を用いて，走者が自力走で経験する以上のスピードで，一定時間走らせることを目的としている[14]。その手段としては，トレッドミル走（treadmill running）[3]，坂下り走（running downhill）[3]，および牽引走（towed sprint）[7]が用いられている。しかし，トレッドミル走は経費および安全性の面で，また，坂下り走は走路の傾斜角度についての問題点があり[4]，スプリントアシステッド・トレーニングの手段としてはほとんど用いられていないのが現状である。

一方，走者を引っ張る牽引走は，自動車[16][18]，オートバイ[2][13]あるいはチューブ[9][10][11]などを用いて，比較的容易に行うことができる。また，最近は滑車の原理を用いた牽引方法の工夫やロープを用いて走者を牽引する装置[1][12][17]の開発も行われている。

2つの異なるトレーニングでの走法については，Leierer[6]がスプリントレジステッド・トレーニングではストライドを増加させるように，また，スプリントアシステッド・トレーニングではストライドを減少させないで[3]，ピッチを増加させるように強調しなければならないことを指摘している。

さらに，Magulischo[8]は，実際より速く走るように走者を assist することは，より多くの筋線維を動員する効果があり，ATP－CP 系でのエネルギー供給のスピードを増すのに有効であると述べている。

2．牽引走

Mero ら[12]は，9名の男性の短距離走者を被験者として，牽引走が走者のランニング技術，接地脚の地面反力，筋電図の活動（大臀筋，大腿直筋，外側広筋，大腿二頭筋，腓腹筋）および無酸素的能力に及ぼす影響を観察した。

測定は，被験者が35m 加速した後，一定のランニング速度が得られる区間で行われた。また，試行は，最大走，牽引走および牽引によるその後の影響をみるための最大走（posteffect run）の順序であり，それぞれ，3，5および2回行った。なお，分析には最大走の3回目，牽引走の3回目と5回目および牽引走後の最大走の2回目が用いられた。なお，牽引は被験者の腰に取り付けられたロープを電気装置が巻き取ることにより行った。

その結果，牽引によるランニング速度の増加率は，最大走と比較して4.3～4.6%であった。また，牽引走後の最大走でのランニング速度を最大走と比較すると，98.8%の達成率であった。牽引走においてストライドは有意に増加したが，ピッチの増加は観察されなかった。その理由として牽引角度が水平面に対して10～17度上方であったためと

推察された。

地面反力についての最大走と牽引走による明確な差異がエキセントリック相で観察された。特に，鉛直方向への地面反力が牽引走で有意に大きかったことは，短距離走における鉛直方向への地面反力の重要性がより強調されたことになる。

筋電図の活動には，いずれのランニングにおいても有意な違いは認められなかった。筋電図の活動の増加と同時にピッチの増加が観察された先行研究[10]の結果と矛盾したことについて，牽引の方向の違いと被験者の随意的な努力が最大下であったことによって説明できるとした。

また，最大走における血中乳酸と酸素負債は，牽引走に比べてそれぞれ27.7%および30.3%高かった。このことは牽引中における被験者の随意的な努力が必ずしも最大ではなかったことを示唆している。

このような結果から，牽引装置を用いた水平と鉛直方向への同時の牽引は，ストライドの増加を引き起こし，また少ないエネルギー消費量で高い水準の performance をもたらすことが出来ると結論された。

Mero と Komi[9]は，水平方向への牽引を用いたランニングが走者のバイオメカニカルな変数に及ぼす影響を研究する目的で，13名の男性および9名の女性の短距離走者に2回の最大下走，2回の最大走，2回の牽引走および1回の牽引走後の最大走を行わせた。また，筋バイオプシーにより外側広筋より筋サンプルを得た。なお，牽引走はニ人組になって，チューブを双方の走者の重心近くに結び付け，前方の走者がチューブを引っ張ることにより，後方の走者を超最大の速度まで牽引する方法であった。

その結果，牽引中におけるピッチとストライドの変化は，最大走と比較しそれぞれ1.7%および6.8%増加することが明らかになった。なかでも競技力の特に秀れた男性の被験者ではピッチの増加が著しかった。その理由として，彼等は競技力の秀れた男性の被験者の方が，以前に一定期間規則的に Tow-training を行っていたという事実によるのかもしれないと推測している。しかし，筋バイオプシーの結果，この被験者群においては速筋線維の占める割合が大きく，それが寄与した可能性も否定出来なかった。

牽引走と最大走のバイオメカニカルな違いは，脚の接地局面で起った。特に，牽引走では接地開始時点で，脚がより“ブレーキ”のかかる位置で接地し，膝関節角度がより大きくなることも認められた。大腿の振り出し最大水平速度も，牽引走の方が速かった。また，牽引により接地時間は短縮され，滞空時間は延長された。

牽引走後の最大走では，競技力の特に秀れた男性の被験者群においてピッチが最大走と比較し有意に増加した。この結果，牽引走後の最大走は，牽引走から一過性の効果（ピッチの増加）を得ることが可能であることが示唆された。すなわち，このことは牽引走を競技会のウォーミング・アップで用いると有効であることを指摘した。

結局，牽引走では最大走より高いピッチを達成し得ることが可能であり，牽引走を繰り返すことにより神経筋系の適応を引き起こし，その結果，より高い performance 水準に達することが可能になると結論された。なお，よりピッチを増加させるため，あるいはストライドが伸びることを防ぐために，走者は地面に対してより速く脚を press しなければならないと強調された。

Mero と Komi[10]は，その後同様の牽引方法で男性11名および女性8名の短距離走者を用いて，最大走および牽引走の速度の違いと接地脚の地面反力，筋電図の活動（外側広筋，腓腹筋）および弾性との関係について研究した。ただし，今回は特に被験者に“脚を地面に速く press するように”と指示して走らせた。

その結果，牽引中のピッチとストライドは，最大走に比べて逆にそれぞれ6.9%および1.5%の増加を示した。そして，牽引によるランニング速度の増加は，全ての被験者の相対的なピッチの増加と有意な正の相関関係にあった。また，特に男性の被験者における相対的なピッチの増加は，接地中のエキセントリック相での積分筋電図の相対的な増加と有意な正の相関関係があった。

一方，接地脚の弾性はエキセントリック相で減少した。このことは，牽引によるランニング速度は支持脚に対して負荷が強すぎるため，牽引走で

はエキセントリック相で身体重心を低くしなければ，脚は地面に対する衝撃に抵抗することができないことを意味するとした。

結論として，牽引によるランニング速度の増加はピッチの増加によって達成され，これは接地中の脚伸展筋における増加した神経活動によるものであるとした。

また，ピッチとストライドの増加率が先行研究[9]と異なったことについて，“脚を地面に速くpressするように”という指示が被験者によって忠実に実行されたためであると推察された。

さらに，MeroとKomi[11]は，先行研究[10]と同一の被験者群および牽引方法を用いて，牽引走での右脚の1サイクル（2つの連続したストライド）の間の筋電図の活動（大臀筋，大腿直筋，外側広筋，大腿二頭筋，腓腹筋）と接地脚の地面反力との関係を見い出すことを目的として研究を行った。

その結果，牽引走では脚の離地後の筋電図の活動の減少および接地中のコンセントリック相での地面反力の合力の減少が示された。したがって，牽引は被験者の身体を前方に押し出すことをassistしていることになる。

一方，脚の接地前の筋電図の活動および接地中のエキセントリック相での地面反力の合力は増加が示された。したがって，筋の硬直はランニング中の脚の接地開始時点での脚に対する激しい衝撃力に抵抗するために増加することが示唆された。

BoscoとVittori[1]は，最大走および牽引走によるバイオメカニカルな変数とランニング速度との関係を観るために，100m走を10.16～10.50秒の記録を持つ男子短距離走者4名を対象に研究を行った。牽引は牽引装置を用いて行われた。

牽引によるランニング速度の増加は，ストライドにおける有意な増加によって得られた。また，接地時間は牽引により有意に減少した。一方，ピッチが牽引により予想されたほど増加しなかったことについては，筋がある一定の力を発揮すると，多くの神経メカニズムがスピード動作を制限するためであると考えられた。

これらの結果をもとに，彼等は牽引走がバイオメカニカルな変数を発達させ，ランニングのパターンを統制する基本的なメカニズムを変化させることなしに，走者の生理学的システム（神経，筋など）に対して適度にストレスを与えるすぐれた手段であると結論した。

森田ら[13]は，9名の短距離走者を用いて，最大走とオートバイを用いた牽引走のランニング動作を比較，解明し，牽引走のピッチを高めるトレーニング手段としての有効性を検討した。

測定は，40mの助走後の10m区間を用いた。また，試行は，最大走および牽引走であり，それぞれ1および2回の順序で行った。

その結果，牽引走でのランニング速度を最大走と比較したところ，ランニング速度は有意な増加を示したが，それは主にストライドの増加に起因していた。この結果，牽引走がピッチを高めるトレーニングとしての有効性を認めることが出来なかった。

しかし，ピッチの増加が認めらた数名の被験者について牽引走でのランニング動作を観察したところ，つぎのような特徴を見い出した。

(1) 脚の離地後，脚の臀部への引きつけが速く直線的に行われている。

(2) 脚の振り出しは，脚の臀部への引きつけの一連の動きとして直線的に行われ，膝をより高い位置まで引き上げている。

(3) 回復期後半において足先の軌跡がより直線的になっている。

以上のことから牽引走は，受動的なランニングではピッチを増加させることはできず，合理的なランニング動作を理解し，ピッチを速くするという意識性を高くして実施しなければTow-trainingの目的を達成することはできないことを示唆した。

杉浦と青木[14]は，8名の男性の短距離走者を用いて，牽引走が走法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を明らかにすることを目的に研究を行った。

被験者は，あらかじめ最大走でのストライドと身長の比によって，ピッチ型およびストライド型の2群に分けられた。その後，両群とも50mの最大走および牽引走をそれぞれ2回行った。牽引走は被験者を一定の張力で牽引することのできる牽引装置を用いた。

その結果，牽引によるランニング速度の増加率

は，6.8～8.4%であった。牽引により，ピッチ型群は，ストライドが4.8～5.4%増加した。しかし，ピッチの増加は，2.1～2.4%に過ぎなかった。ピッチ型群は，最大走においてすでに滞空期における脚のふり降し速度がストライド型群より速いことから，牽引によって影響を受ける余地が残されていなかったことが示唆された。一方，ストライド型は，いずれもストライドの伸び(－2.3～3.5%)より，ピッチの増加率(3.9～11.0%)の方が大きかった。ストライド型群は，最大走におけるストライドと身長の比が大きいことから，牽引によるそれ以上のストライドの増加が認められなかったと考えられた。
ストライドを，また，ストライド型の走者ではピッチをそれぞれ重点的に増加させる傾向を示すことが結論された。

3．Tow-training

Sandwick[16]は，ストライドとランニング速度の増加を図るために，自動車の後部に取り付けたバーを走者に片手で握らせ，40ヤードを徐々に加速した後の50ヤード区間を牽引した。その結果，ランニング速度は，牽引がない100ヤード走の最後の50ヤードのベスト記録より0.5秒速かった。

そして，5年間のデータ集積の結果から，最大走で6～7フィートのストライドが牽引中では8フィートまで増加すること，さらにトレーニング効果として，ストライドが6インチの増加を示し，その結果，ランニングタイムの向上が認められるとしている。

また，用いられる筋群や関節の動作範囲は，牽引されていないランニング時より大きく，数週間のTow-training後には走者はより高い効率でランニングすることが可能になることを観察した。

Bosen[2]は，被験者4名に対して50，80あるいは100mの牽引走をバイクで行い，人為的なassistが実際の短距離走のランニング速度の増加を引き起こすかどうかを検討した。

最初のトレーニング期間においては，3日毎に5回のトレーニング頻度で，最初の30mは21～22マイル/時で徐々に牽引により加速し，その後の50mを24～25マイル/時で牽引した。このときのトレーニング量は3～4本の牽引走を1セットとし，3セット繰り返すものであった。なお，トレーニングの翌日は，ストレッチングを主とした軽い練習内容とし，また，トレーニングの前日は最大下のランニング速度で120m走や150m走を行った。

その結果，立位(standing)あるいはやや屈んだ(semi-crouch)スタート姿勢による50m走のランニングタイムは全員向上した。その後引き続いて同様のトレーニング期間，頻度で牽引による疾走区間を80mあるいは100mまで延長して行った。

ところが，競技会における100mのランニングタイムは一人を除いて向上は認められなかった。それはトレーニング期間中，スターティング・ブロックからのスタート練習を行わなかったためであった。しかし，牽引の効果は脚の動きを速くさせるだけでなく，ストライドの増加，リラクゼーションおよび基本的なランニングフォームをもたらすと結論した。

ただし，Tow-trainingについては，効果的なトレーニング期間およびどの程度の牽引速度まで安全に行えるかについての検討の余地が残されていることが補足された。

ZhukovとShabanov[19]は，Tow-trainingが短距離走者のperformanceを向上させるかどうかを観るために，2週間で60mのTow-trainingを最大ランニング速度の90,96,105および110%の強度でそれぞれ2回ずつ，4週間行った。

その結果，

1）ピッチは4.2回/秒から4.4回/秒に増加した。一方，ストライドは2.17mから2.09mに減少した。

2）脚の接地開始時点において，脚と身体重心のなす水平成分の距離がより短くなった。

3）走者の重心の飛行角度は，46.20度から43.19度に減少した。

4）接地脚の地面反力が増加した。

しかし，これらの結果についての考察は全くされなかった。

Tansley[18]はTow-trainingの方法について，現場でのコーチングの経験から，最適な牽引距離は100mであり，初心者に対しては，ゆっくりとしたランニング速度で4本行い，そして6週間で速いランニング速度で6本まで実施できるようにする

ことがよいとしている。また，牽引速度は極端に速い速度で行う必要はなく，少なくともその走者の100m走のランニング記録より1秒速く行えば十分であると述べている。

自動車を用いたTow-trainingの効果について，トレーニング中ある走者のストライドは，10フィートあるいはそれ以上まで伸び，ピッチもある走者では，4.8～5.1回／秒までになることを示している。ところが，このような現象が通常のランニングにおいて起こるかどうかを述べることは難しいとした。また，彼は，Tow-trainingによってトップ・スピードを維持する能力が向上しATPの再合成，乳酸耐性，酸素負債およびグルコースの筋細胞への供給能力を向上させることが可能であると仮定しているが，現在のところこれらを立証する科学的研究は見当らない。

また，5年間Tow-trainingを実施した結果，競技シーズン開始の5週間前のTow-trainingが有意にperformanceを増加させることを見い出したと述べているが，その具体的な方法についての記述はされていない。

4．スプリント・アシステッドトレーニングの今後と課題

今日の陸上競技の短距離走種目，特に100m走では，競技力向上を図る上で走者のピッチを増加させることが必要不可欠となってきている。したがって，人為的手段を用いて走者のピッチを増加させランニング速度を増加させることのできるスプリント・アシステッドトレーニングが注目される。

しかし，スプリント・アシステッドトレーニングに関する科学的研究は，牽引中の走者のランニング動作あるいは生理学的パラメータに関するものがほとんどであることから，今日まで具体的なトレーニング処方および効果については，コーチや指導者の経験によって示されているのが現状である。

また，スプリント・アシステッドトレーニングは走者を自力走で経験する以上のランニング速度で一定時間走らせるため，外傷や障害の危険も予想されるが，その予防対策については全く明らかにされていない。

牽引の適正負荷，トレーニング処方，トレーニング時期，障害予防など，Tow-trainingには多くの課題が残されているのが現状といえよう。

引用文献

1）Bosco, C. and C. Vittori：Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. NSA 1:39-45(1986).

2）Bosen, K.O.：Experimental speed training. Track Technique 77：2382-2383(1979).

3）Dintiman, D.B.：Sprinting speed. 1st ed. pp. 138-157, Charles C Thomas：Illinois (1971).

4）Fox, E.D.： Sports Physiology. 2nd ed. pp. 201-256, Saunders College Publishing：Philadelphia(1984).

5）金原　勇：陸上競技のコーチング(Ⅰ)．第6版．pp.171-298，大修館：東京(1982).

6）Leierer, S.：A guide for sprint training. Athletic J. 59：105-106(1979).

7）Lindeman, R.：Principles of training for sprint. Track&Field Quarterly Review 86(4)：4-5(1984).

8）Maglischo, E.W.：Swimming faster. 1st ed. pp.301-347, Mayfield Publishing：California(1982).

9）Mero, A. and P. V. Komi：Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. Int. J. Sport Biomech. 1：240-252(1985).

10）Mero, A. and P. V. Komi：Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. Eur. J. Appl. Physiol. 55：553-561(1986).

11）Mero, A. and P. V. Komi：Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. Med. Sci. Sports Exerc. 19：266-274(1987).

12）Mero, A., P. V. Komi, H. Rusko and J. Hirvonen：Neuromuscular and anaerobic

performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. Int. J. Sports Med. 8 suppl.：55-60(1987).
13) 森田正利，関岡康雄，西藤宏司，宮下　憲，麻場一徳：Tow-training 法に関する一考察．日本体育学会第38回大会号A：268(1987).
14) Rowe, E.L., E. W. Maglischo and D. E. Lytle：The use of swim fins for development of sprint swimming speed. Swimming Technique 14：73-75(1977).
15) Santos, J.：Sprint assisted training. Atheletic J. 67：39-40(1986).
16) Sandwick, C.M.：Pacing machine. Atheletic J. 47：36-39(1966).
17) 杉浦雄策，青木純一郎：牽引走（supramaximal running）が走法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A：312(1988).
18) Tansley, J.：Glendale's tow training for sprinters. Track Technique 78：2473-2475(1980).
19) Zhukov, I. L. and B.V. Shabanov：Tow training. Track Technique 96：3074-3075(1986).

II. 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

報告者　村木征人　阿江通良　宮下憲
伊藤信之[1)]

緒　論

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（また，サッカー，ラグビー等の球技でさえ）最も重要なトレーニング課題の１つとされている。

このスプリント能力の発達と改善に関して，本格的な全天候性のトラック走路の時代を迎えた1970年代以降，国際的なトップレベルで，スプリント，並びに跳躍競技界における理論と実践両面で，幾つかの顕著な変革がみられる。それは第１に，スプリント疾走での地面の先取り（積極着地）と脚の高速回転（短い接地，回復時間）で代表される，トップアスリートのスプリント・フォーム上の変化である。第２には，トップ・スプリンターらの詳細な運動分析による，それらのメカニズムに関する研究からの新しい知見の蓄積である[1)2)13)14)15)21)]。また第３には，それらとの相互作用からなる，新しいトレーニング法の開発と適用の試みである[3)4)11)12)16)22)25)27)31~34)]。

この新しいスプリント・トレーニング法は，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（Supramaximal speed）でのトレーニングの可能性に注目している。このトレーニングの特徴は，疾走スピードの上昇の妨げとなる外部抵抗を軽減して（Sprint assisted），スプリントの中心的課題である脚のスイング運動へ，集中的に強度の高いトレーニング刺激を与えることにあり，神経・筋機能の発達改善と心理的な効果が期待されている。

スプリントでの外的負荷の代表的な軽減法には，下り坂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，オートバイ，専用の牽引装置等を用いた牽引走（Tow training）が知られている[16)23)]。無論後者は前者に比べて，その制御性と操作性に優れ，近年，その研究報告も幾つか見られる。

しかしながらその牽引装置の機械的問題から，走者の主体的な運動に重要な影響をもたらす，牽引の適正強度とその具体的なトレーニング効果，並びに牽引による超最大速度の疾走での生体に対する力学的な負荷の特性－腰や膝の筋肉へのトルクやパワー等に関する詳細な検討はなされていないのが現状である。また，トレーニングの実際では牽引力が大き過ぎたり，疾走速度が高まるに連れて主体的な運動遂行が消失して疾走フォームを崩したり，心理的な恐怖感を訴える場合も少なくない。また，その個人差も大きいことが経験的にも知られている[28)]。

従来のスプリントアシスティッド・トレーニングでは，傾斜走路や弾性ロープ（ゴムロープ），バイク，自動車，若しくはそれらと同様な動力機を用いた牽引装置が，一部のトレーニング現場で試験的に用いられてきた。しかし，傾斜走路では適正斜度と安全な走路選択の面で困難を極め，本来的な意味での超最大スピード・トレーニングの実現には至っていない。また，後者の動力を用いたものは，牽引機自体が生み出す一定の移動スピ

1) 筑波大学大学院体育研究科

ード(バイク，自動車等)，若しくはロープ巻取りスピードに走者が受動的に対応して行うものであった。これらは一種の“等速性”牽引法と呼ぶものであるが，その際の牽引力，並びにスピード制御の点で多くの問題を抱えていた（例えば，牽引装置のスピードに合せることからの主体的・能動的な運動の喪失に伴う疾走フォームの乱れや障害の発生，等々)。

筆者らが抱えていた既存の牽引装置での問題点に対して，山本ら[33]は工学的立場から改善策を提示し，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装置を考案試作した（実用新案登録願〈昭和61年〉)。これは，原動機で発生されるトルクを「パウダークラッチ」を介することで，この原動機によって回転駆動されるロープ巻取ドラムを，微細な制御が可能な励磁電流の値に応じて一定の大きさのトルクで回転させ，等張力的なロープの牽引を可能にしたものである。いわば，前者の“等速性”に対して，“等張性”牽引法と呼ぶべきものである。しかしながら，トレーニングの合理性を高める上で不可欠な，適正張力やトレーニング効果，個別性等の問題に対しては経験上の知見にとどまっていた。

以上のことから，本研究班では，スプリントアシスティッド・トレーニング（Sprint Assisted Training）としての，牽引法（トウ・トレーニング，Tow training method）の合理的で実践的な活用に際して直面している具体的な問題解決を中心に，以下の諸点についての解明を目指した。

1）等張性牽引装置での適正牽引力について
2）等張性牽引装置でのトレーニングの即時的効果について
3）トウ・トレーニングでの個別性（個人差）について
4）トウ・トレーニングでの力学的な負荷特性について

また，本研究内容の報告に関連して，トウ・トレーニングのより実用的・実際的な立場から，本研究で得られた知見を参考に，各国で用いられている種々の牽引法を紹介すると共に，これまでの実験的なトレーニング経験から得られた実践的な応用と留意点に関する知見をⅣ章(p39～43)に加えた。

研究方法

1．実験方法

1）実験試技と牽引装置

本研究の実験試技には，主体的な疾走動作を保ちうる臨界牽引力，すなわち適正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。被験者の平均体重に対する上記3つの牽引力の割合は，それぞれ2.2%，4.4%，及び6.6%に相当した。なお，被験者らは，実際のトレーニングで各種のトウ・トレーニングの経験者であるが，実験に先立って，1週間を本実験試技の習熟期間とした。

また，トウ・トレーニングの力学的な負荷特性とその即時的効果，並びに個別性を検討するために，牽引での実験試技の前・後に全速疾走を実施した。牽引試技前のものは，以下「全力走」と呼び，牽引疾走直後の全力走は以下「ポスト全力走」と呼ぶ。これら実験試技のプロトコールは図1に

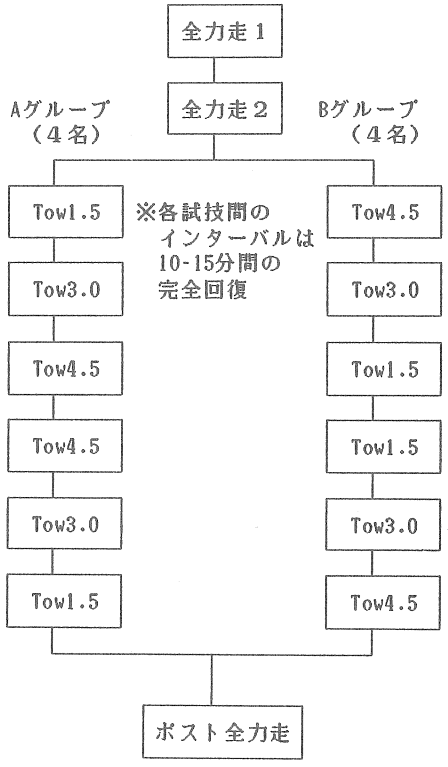


図1　トウ・トレーニングの実験プロトコール

表1　被験者の身体特性

		年齢	身長 (m)	体重 (kg)	100mタイム (秒)	種目	走幅跳 (m)	試技
H.S.	上	22	1.74	68.0	10.4	短距離		A
T.K.		21	1.74	62.5	10.9	跳躍	7.44	A
Y.TA.	下	21	1.75	65.5	11.5	跳躍	6.82	A
H.N.	下	19	1.78	81.0	11.5	跳躍	6.91	A
K.K.	上	22	1.70	68.0	10.3	短距離		B
N.M.	下	22	1.80	64.0	11.6	跳躍	7.24	B
Y.TE.		20	1.78	64.5	11.1	跳躍	7.35	B
T.Y.	上	22	1.80	69.0	10.8	短距離		B
平均		21.13	1.76	67.81	11.01			
(S.D)		1.05	0.03	5.41	0.47			

示されている。

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，40m 加速後の10m 区間の疾走動作を高速度ビデオカメラ（NAC 社製 HSV-200）によって，毎秒200コマで撮影を行った。

2）被験者

被験者はランダムにA・B二つのグループに分け，それぞれに牽引走試技の順序は逆に行い，異なる牽引力での試技順序からの影響を受けないよう配慮した。また，試技前にはレース前と同様なウォーム・アップを実施させ，試技間には15－20分の十分な回復時間を設けて実施した。

被験者には，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。尚，被験者の身体特性ならびに主要な競技記録は表１に示した。

被験者は競技レベルでの差異を検討するために，短距離の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名を下位群として選別した。

3）主観的強度

人間の運動が心理的影響を受け易いことから，本実験では以下の２つの主観的強度を設定して，各疾走直後に被験者から回答を得たものを数値化して検討材料に加えた。１つは「努力感」で，初めの全力走を基準（100%）に答えられた努力度合（%）。もう１つは「恐怖度」で，全力走を基準に，牽引走に伴う心理的な負荷－外力で引張られる際の恐怖（こわさ）の度合を，マイナスの五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，「恐怖度」に対する逆の“余裕”の度合いを意味する。

2．実験データの解析

1）映像分析

２本ずつ行われた各実験試技の中から，疾走速度の高かった試技を選択し，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

以上のようにして得られたデータから，疾走速度，ストライド，ピッチの値，および回復期における膝，腰の各関節まわりのトルク，パワー，仕事を算出した。また走の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た８時点〈①左足接地，②左足支持期中間点（左大転子が足先上を通過す

表2　疾走速度，ストライド，ピッチの平均値の実験試技間の比較

測定項目	全力走	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	ポスト全力走
牽引力の対体重比		2.22%	4.45%	6.67%	
		(0.16)	(0.32)	(0.48)	
速度 (M/S)	9.96	10.36 *	10.63 **	10.82 **	10.01
	(0.21)	(0.33)	(0.38)	(0.28)(*)	(0.35)
速度 (%)	-	+4.45	+6.69 (*)	+8.70 (**)	+0.48
	-	(1.88)	(1.96)	(1.71)(*)	(1.86)
ストライド (m)	2.13	2.20	2.25 **	2.31 **	2.12
	(2.05)	(0.07)	(0.06)	(0.06)(**)	(0.03)
身長比1)	1.21	1.25	1.28 **	1.31 **	1.20
	(0.04)	(0.04)	(0.04)	(0.04)(*)	(0.03)
支持距離 (m)	0.98	0.99	0.99	0.97	0.96
	(0.06)	(0.06)	(0.06)	(0.05)	(0.02)
前半	0.46	0.51	0.49	0.50 *	0.46
	(0.04)	(0.06)	(0.04)	(0.03)	(0.02)
後半	0.51	0.48	0.50	0.46	0.50
	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.06)	(0.02)
非支持距離	1.16	1.21	1.23 *	1.34 **	1.16
	(0.07)	(0.04)	(0.07)	(0.06)	(0.03)
ピッチ(回/秒)	4.68	4.72	4.72	4.70	4.72
	(0.13)	(0.19)	(0.19)	(0.15)	(0.14)
支持時間	94	92	91	89	93
(ms)	(6)	(6)	(7)	(3)	(4)
前半	46	49	47	48	47
	(4)	(5)	(4)	(3)	(4)
後半	49	43 *	44	41 **	46
	(4)	(4)	(5)	(5)	(2)
非支持時間	122	120	120	125	116
	(6)	(6)	(9)	(8)	(5)
滞空時間比 2)	1.30	1.31	1.34	1.41	1.25
	0.10	0.07	0.16	0.12	0.08

1)ストライド/身長
2)非支持/支持

（カッコ内の数字は標準偏差を示す）

対全力走 * P<0.05
** P<0.01
対Tow1.5(*) P<0.05
対Tow3.0(*) P<0.05

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〉で区分し，以下の局面を設けた。1）支持期①－③，2）支持期前半①－②，3）支持期後半②－③，4）非支持期③－⑤，5）回復期③－⑧，6）回復前期③－⑤，7）回復中期⑤－⑦，8）回復後期⑦－①。

これらの各時点における膝，腰関節角度および部分角度，大転子に対する足先，膝の相対速度を求めた。また，筋群によってなされた機械的仕事を，回復期での各時点間の区間毎(③－④/④－⑤/⑤－⑥/⑥－⑦/⑦－⑧/⑧－①）に求めた。

また，異なる走者と試技間の比較を容易にするために，先に定義した回復期の時間を基準(100%)に時間軸を規格化し，トルク，角速度，パワーの平均値と標準偏差を1%毎に求めた。速度，ストライド，ピッチ，下肢関節および部分角度，各種力学量の試技毎の平均値の有意差検定（T-検定）を行った。

結果および考察

1．トウ・トレーニングの適正牽引力について

適正牽引力の見極めは，以下のkinematicおよびkineticな種々の分析データ，並びに心理的な観点での主観的強度調査等のデータに基づいて行った。

1）疾走速度，ストライド，ピッチ

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運動学的変数の平均値の比較は表2に示した。

表3　下肢関節角度および部位の角度平均値の実験試技間の比較

	全力走	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	ポスト全力走
膝関節					
支持期					
接地時	152.4	156.7	154.7	162.7 **	154.5
	(6.5)	(5.2)	(5.6)	(4.6)	(6.4)
離地時	154.6	152.0	151.6	148.2	151.2
	(5.8)	(4.0)	(4.5)	(10.3)	(5.6)
回復期					
最小角度	34.8	32.3	29.8 *	33.4	31.5
	(5.6)	(2.5)	(2.7)	(5.4)	(5.1)
最大角度	156.0	157.7	159.1	165.4 **	157.3
	(4.2)	(4.1)	(4.5)	(4.2)	(4.3)
動作範囲	121.0	125.3	129.3 *	132.1 **	125.8
	(6.3)	(5.4)	(4.6)	(3.5)	(7.6)
腰関節					
支持期					
接地時	140.6	143.2	142.8	149.7 **	144.0
	(3.8)	(4.4)	(5.2)	(4.5)	(4.6)
離地時	198.7	195.1	195.1	191.5	195.1
	(3.4)	(5.1)	(4.2)	(9.2)	(6.1)
回復期					
最大角度	202.0	198.7	198.0	197.0	197.8
	(4.6)	(5.9)	(5.3)	(8.0)	(6.1)
最小角度	106.1	104.6	106.3	106.9	103.4
	(4.5)	(4.1)	(5.7)	(5.6)	(4.7)
動作範囲	95.9	94.1	91.6	90.1	94.4
	(4.0)	(5.7)	(9.3)	(10.5)	(8.8)
下腿と地面のなす角					
接地時	91.5	95.6	94.2	98.2 **	91.1
	(3.7)	(3.4)	(3.3)	(3.3)	(3.7)

（カッコ内の数字は標準偏差を示す）

*　P<0.05
**　P<0.01

疾走速度は牽引力の増大と共に増加する傾向がみられ，Tow4.5での疾走速度の平均値は10.82m/s(±0.28)であり，全力走に対する速度増加率は＋8.7%であった。Tansley[31]は，牽引疾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[3)17)19)20)28)]。

全被験者の平均値で見る限り，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り，これは支持期前半および非支持期での距離が増加した結果である。牽引疾走中に走者の足が地面から離れている間（非支持期）でも，牽引力の増大と共に，常に前方からの牽引で非支持距離も当然伸びていくことが予想された。しかし，Tow1.5からTow3.0への非支持距離の増加は僅か2cmであったが，Tow3.0からTow4.5へは11cmの顕著な増加を示した。しかしながら，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。即ち，速度の増加を，上位群では主にピッチで，逆に下位群では主にストライドでまかなうもので，疾走能力・疾走タイプによる個別性の問題を提示した（後述）（図4参照）。

一方ピッチは，牽引走でも全力走にほぼ等しい値に保たれていたが，支持後半の時間が減少する傾向にあり，Tow1.5とTow4.5では有意な減少がみられた。また，牽引走時に非支持距離が増大しているにもかかわらず，Tow1.5とTow3.0では非支持時間が全力走のものを僅かに下回り，Tow4.5でのみ全力走の値を上回った。

2）下肢の関節角度変化

表3には各関節角度の平均値の比較を示した。牽引疾走時には膝関節，腰関節とも接地時にその

表4　足先と膝の大転子に対する相対水平速度の実験試技間の比較

	全力走	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	ポスト全力走
足先					
接地時	-7.49	-7.42	-7.89	-7.29	-6.97
	(1.11)	(1.08)	(1.14)	(0.83)	(1.26)
離地時	-8.66	-9.39	-9.41	-9.55	-8.89
	(0.43)	(1.05)	(0.87)	(0.80)	(0.75)
膝					
接地時	-2.52	-2.24	-2.22	-1.97	-2.17
	(0.26)	(0.63)	(0.73)	(0.82)	(0.32)
離地時	-1.89	-2.40	-2.26	-2.79 **	-2.14
	(0.44)	(0.78)	(0.68)	(0.65)	(0.49)

（カッコ内の数字は標準偏差を示す）

*　P<0.05
**　P<0.01

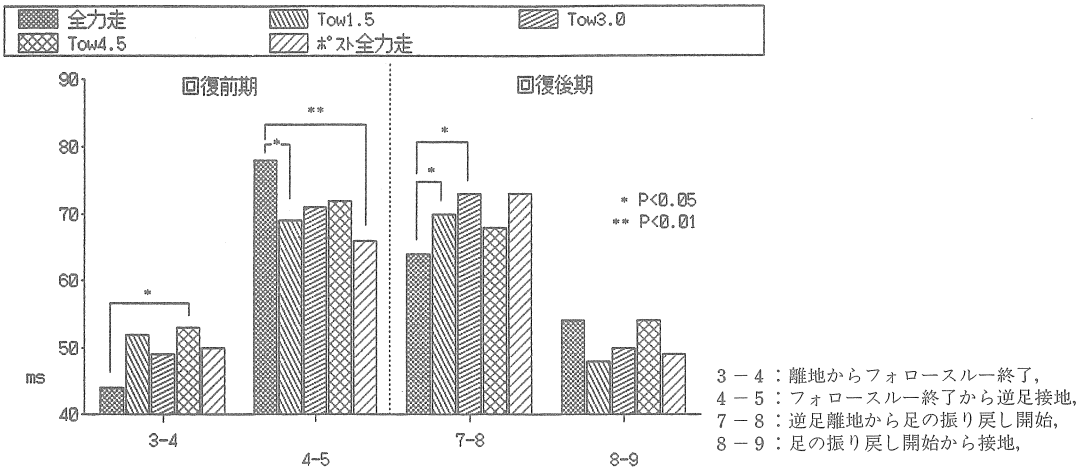


図2　走1サイクル中の各区間の平均時間の実験試技間の比較

角度が大きく，離地時には小さくなっていく傾向を示した。これらは支持期後半での，膝のピストン系の伸展動作が抑えられることを意味し，特にTow4.5に顕著であった。Mann[15]は，離地時に膝の伸展が少ないことが支持時間を減少させ，ピッチを向上させることにつながるとしているが，本研究での支持期（特にその後半）の時間減少も，これを支持するものであろう。

下腿の地面に対する傾きは，牽引走時に大きくなる傾向にあり，Tow4.5では，全力走との差が有意であった。こうした傾向は，Mero and Komi[17)20)]も報告しているが，この角度の増大は，接地時に水平速度の減速を大きくする要因となるものである。

離地時の足先の大転子に対する相対水平速度は，牽引力の増加と共に大きくなった。しかし，接地時では一定の増加傾向が見られず，Tow4.5では逆に減少し，接地時の減速作用が高まる可能性を示唆した（表4）。

牽引疾走時には，回復期の膝の最大角度の増加と最小角度の減少とで，膝関節の動作範囲は増大する傾向にある。また回復前期では，離地からフォロースルー終了までの区間（③－④）の時間が増大し（図2参照），フォロースルー終了の位置がより高くなり，膝の最小角度が減少して下腿がより高く引き上げられる傾向を示した。また，回復後期では，逆足離地から振り戻し開始までの区間（⑦－⑧）の時間は，全力走に対して，Tow1.5とTow3.0で有意に増加し（図2参照），同時に膝の最大角度も増大した。従って，牽引疾走時には足の振り戻し開始の位置が，前方に移動する傾向にあると言える。しかしながら，Tow4.5でのこの区間

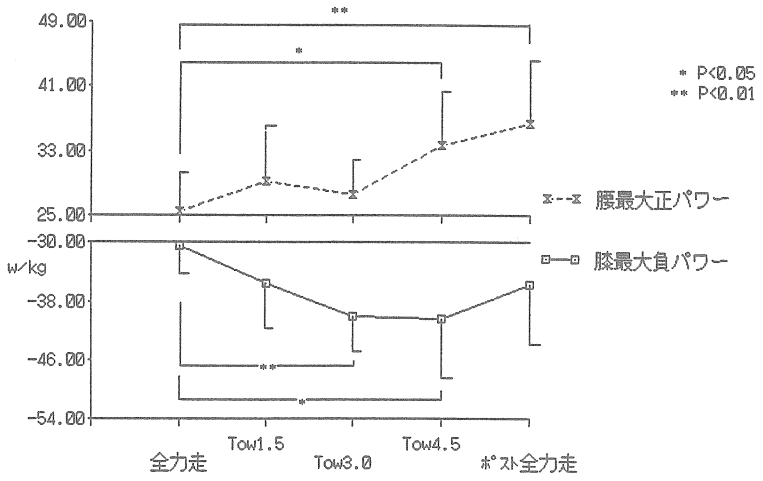


図3　腰・膝関節における最大パワーの実験試技間の比較

（⑦－⑧）の時間は，回復前期（③－④）とは逆に減少した。

表4に示された様に，離地時の膝の水平速度はTow4.5で有意に増大し，接地時には逆に減少しており，上記のことを考えあわせると，牽引疾走時，特にTow4.5では，離地時に脚を後方へ移動させる速度が増加して，フォロースルーの終了と同時に脚の前方振り出し時期も遅れ，「足が後ろに流れる」傾向が強まるものとみられる。

3）下肢関節のパワー

図3には回復期における各関節の最大パワーの値を示したが，膝の最大負パワーはTow3.0とTow4.5で有意に増大した。Chapman and Caldwell[6]は，回復期後半に膝屈筋群が発揮する負パワーが，スプリントにおける疾走スピードの限定因子であると報告している。また，阿江ら[1]は，最大疾走速度の向上のためにはeccentricな手段による，膝屈筋群（Hamstrings）のトレーニング法を工夫する必要があることを示唆している。本研究の牽引走でも，この膝の最大負パワーは全力走に比べて有意に大きく，トウ・トレーニングがこうした専門的スピード・筋力発揮に有効な，専門的トレーニング手段となりうることを示唆するものであった。また，腰の最大正パワーはTow4.5でのみ有意に増大した。膝，腰ともその最大パワーは回復後期に現れていたが，この局面で，下腿の振り戻しと腰の伸展の双方に関与する，大腿二頭筋への負荷は極めて大きなものであることが予想される（4.に後述）（図8）。

4）主観的強度

表5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。牽引疾走時の努力感は，総て全力走のものを下回ったが，牽引力の増大と共に大きくなる傾向にあった。また，Tow1.5では余裕度が大きかったが，Tow4.5では逆に恐怖度が高まった。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％に対して，Tow4.5では37.5％と著しく増加した。

牽引法は，選手への外的な抵抗（空気抵抗や重力等）を減じることから，一般に負荷軽減法の範疇に含まれる[7][8][9]。しかしながら，水平方向への牽引走における超最大スピード負荷でのトレーニングでは，生体への身体的，心理的な運動負荷の観点からは，負荷軽減法の名称は必ずしも相応しくない。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.[10]の式［R＝0.0563ArV2］，又は「ベルヌイの法則」からも近似的に求められる。本研究の条件下（平均身長176cm，疾走速度10-11m/s，気温約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。

表5　心理的主観強度の実験試技間の比較

	全力走	Tow1.5	Tow3.0	Tow4.5	ポスト全力走
努力感1)	100.0	85.0	90.6 *	96.6 **	90.6 **
(S.D.)	−	(10.3)	(6.8)	(9.3)(**)	(10.1)(**)
余裕度2)	0.0	+2.5	-0.2 **	-2.2 **	0.8 **
(S.D.)	−	(1.2)	(1.2)	(1.5)	(1.3)(**)
フォーム3)		0/16	2/16	6/16	3/8
		0.0%	12.5%	37.5%	37.5%

*　P<0.05
**　P<0.01
1)全力走を100%としての各疾走後の努力感
2)余裕度・恐怖度　（対前試技）
全力走を0として最も余裕を感じるを＋5．　(**)P<0.01
最も恐怖を感じるを－5とした　（対TOW1.5）
3)分母；各疾走条件における全試技数
分子；自己の疾走フォームを保てなかったと感じた試技数

主観的強度の尺度の一つに用いた「余裕－恐怖度」が±0であったのは，Tow3.0での牽引走で，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た。疾走直後に聞かれた被験者からのコメントは，Tow3.0に比べて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「引っ張られていい感じ」，「スピードが自然と高まってしまう」など，Tow4.5では「強く引っ張られる」，「速い」，「足がついていかない」などであった。

【トレーニング面への示唆】

以上の様に本研究では，適正牽引力として[Tow3.0]を支持する見解が得られた。しかし一方で，[Tow1.5]での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，[Tow1.5]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。

しかしこの際には，牽引によってストライドを伸ばすよりも，上位群に見られた脚の高速回転－ピッチを高めることを重視した運動課題を持つべきであろう。村木[24]が指摘するように，通常の最大下の疾走訓練（流し，ウインドスプリント等）でも，一般に脚の回転よりも「大きく走れ」と言うストライドの拡大への指示，並びに選手の課題意識が顕著で，再考を要する問題である。

一方，[Tow4.5]での牽引疾走は，肉体的・精神的に負荷が大きく，疾走動作を崩し易いものであった。このため，訓練性の低い競技者では，こうした高い強度の負荷条件で運動を遂行することで，悪い運動習性を身につけてしまう可能性も高い。しかしながら，高度に熟練し，訓練性の高い競技者にとっては，スピードの頭打ち（スピード障害）を打破するための，より質の高いトレーニング手段となりうることが示唆された。

また，体重当りの相対牽引力を考慮すると，体重の重い大型選手ほど，小柄な選手より若干大きな牽引力が適することになる。

2．トウ・トレーニングの即時的効果について

本研究では，実験試技による牽引疾走の即時的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，初めの全力走とを比較検討した。得られた即時効果は，上位群と下位群との間で，以下の様な内容的相違が顕著に見られた。

上位群では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＋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って速度もわずかに減少した(図4参照)。しかしながら，ストライドが減少し，ピッチは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，主に非支持期と支持期後半の時間の減少によるものであった（表2参照)。

ポスト全力走での各種力学量は，牽引疾走時の

ものと類似性が高かった。例えば，支持期や回復期での膝・腰角度，また回復前期・後期での時間の割合などである（表3/図2参照）。ポスト全力走では，初めの全力走に較べて，接地時と離地時での膝角度の大きさは逆転し，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（表3参照）。

宮下ら[21]は，世界一流スプリンターの膝関節角度は，接地時よりも離地時のほう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，最初に走った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みられた（図3参照）。これは，非支持時間が減少してピッチが高められることと関連するものと推測される。

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，最初の全力走より高い疾走速度を達成する中でも，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」に集中した。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易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様なプラスの効果は得られなかった(後述)。従って，競技レベルに応じて適正負荷の設定がなされた場合，トウ・トレーニングには，その後の全力走に対してプラスの即時的効果を十分期待し得るものである。例えば，競技会のタイプによっては，本レース前に牽引走で刺激を与えてレースに臨むなどである。

3．牽引疾走トレーニングにおける個別性（個人差）について

本研究では，被験者の中から競技水準と疾走フォームの両観点から，2つのタイプに類別したが，牽引疾走やポスト全力走での両者の結果は対照的なものであった。

顕著な相違の1つは，牽引疾走時の速度増加が，上位群では主にピッチでなされ，下位群ではピッチは変らず，ほとんどストライドの増大によってなされたことにある(図4参照)。この様な顕著な差は，本実験でのトレーニング負荷（量と強度）に対して，類別した両群の競技水準や訓練性，並びに疾走フォームの超最大速度への適応可能性の両面から吟味される必要がある。ここでは，本研

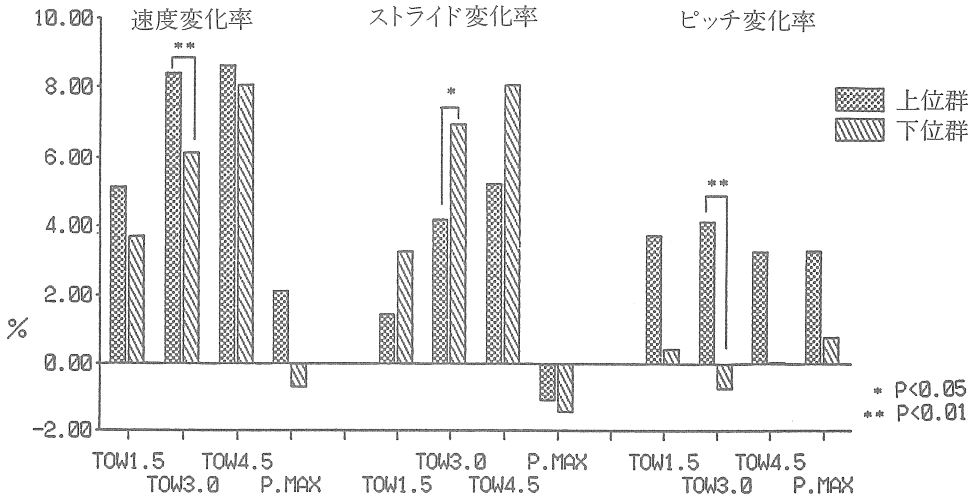


図4　初めの全力走に対する，各種の牽引走，ポスト全力走での疾走速度，ストライド，ピッチの変化率(%)．

究データから主に後者に関して検討した。

固有の疾走フォームに関連すると思われる，疾走時の意識の持ち方については，各疾走直後の被験者のコメントからも，次の様に顕著な相違が見出された。上位群では牽引疾走時に「前でとらえる」，「足が後ろに流れないように」といったことが常に意識され，逆に，下位群では牽引力が増して行くに連れて「ピッチが追いつかない」，「足が後ろに流されて前に出てこない」，「恐怖でブレーキをかけてしまう」とコメントすることが多かった。

こうした運動遂行中の意識（感覚）の違いは，回復期での膝関節の最大・最小角度および，そのタイミングの変化からも読取ることが出来る。最大・最小角度共に，上位群の方が早いタイミングで出現する(図５)。この膝関節角度の最大となるタイミングが早いことは，足が接地する前で既に下腿の振り戻しが始まり，積極的な地面接地(Active landing)を意味する。しかし，下位群の全力走では，接地時と膝関節角度が最大となる時点がほぼ同時である。

これを，区間毎の膝・腰関節での仕事から検討すると，回復期中に膝の負仕事が最大となる区間⑦－⑧で，上位群ではTow3.0とTow4.5で有意な増加が見られる(図８)。このことは上位群が，牽引疾走時には「前でとらえる」積極着地に関した動作感覚が意識されており，下位群の“押し(Push)型”に比べて，“引っ掻き（Pull）型”である走方の違いを反映したものと推察される。

上位群では，回復前期の区間③－④の時間の増加が小さく抑えられていたのに対して，下位群では牽引力の増大と共に，その時間も増加する傾向にあり，Tow3.0とTow4.5では有意な差がみられる(図６参照)。これは下位群で，牽引力が大きくなる程フォロースルーの終了が遅れ，足が後ろに流される傾向が強まることを意味する。また，下

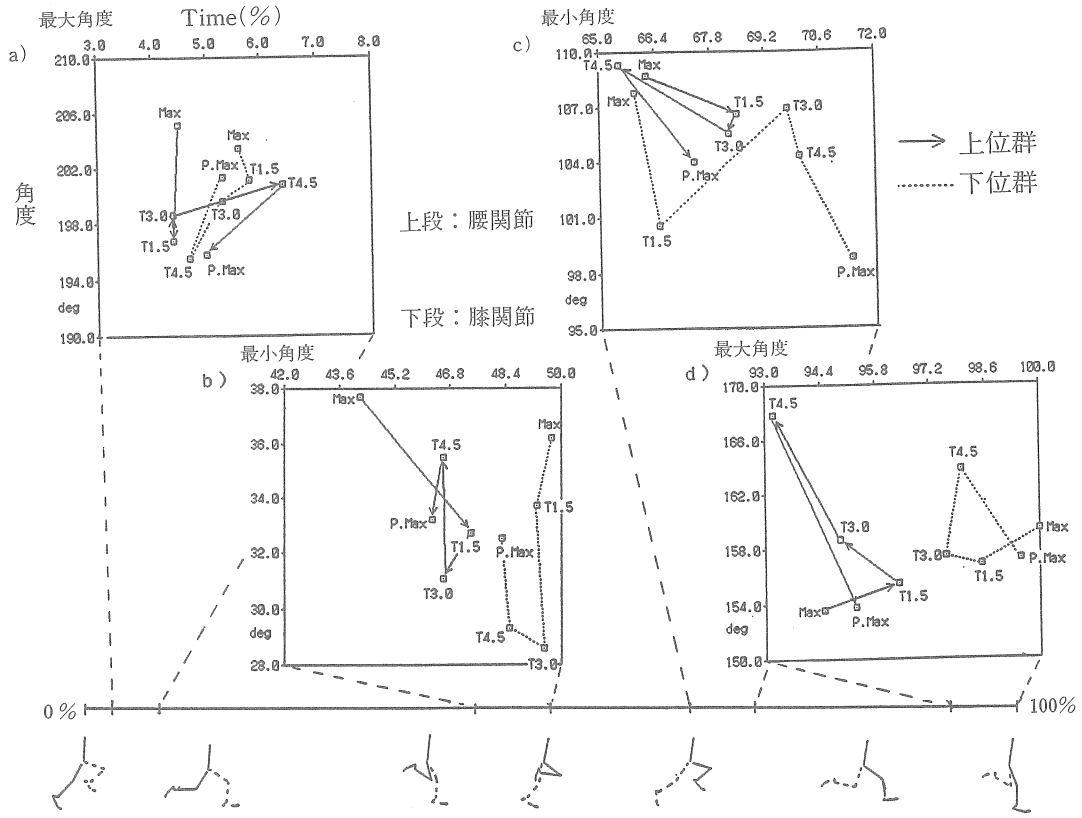


図５　回復期での腰・膝関節の最大・最小角度，およびそのタイミングの変化

位群では腰関節角度が最小となる（大腿が最も上体に引き付けられる）タイミングも，牽引力の増大に伴って遅れていく傾向がみられる(図５)。こうした現象は,牽引疾走時の下位群のコメント「足が後ろに流れて前に出てこない」にも符合するものである。

また，この区間③－④での腰関節に働く正仕事をみると，上位群では牽引力の増加とともに大きくなる。特に,全力走と Tow4.5との間には有意な差が認められた。しかし,逆に下位群の Tow4.5ではこの正仕事の減少が見られた（図８参照)。

牽引力が強まるほど，足が後ろに流れる傾向が

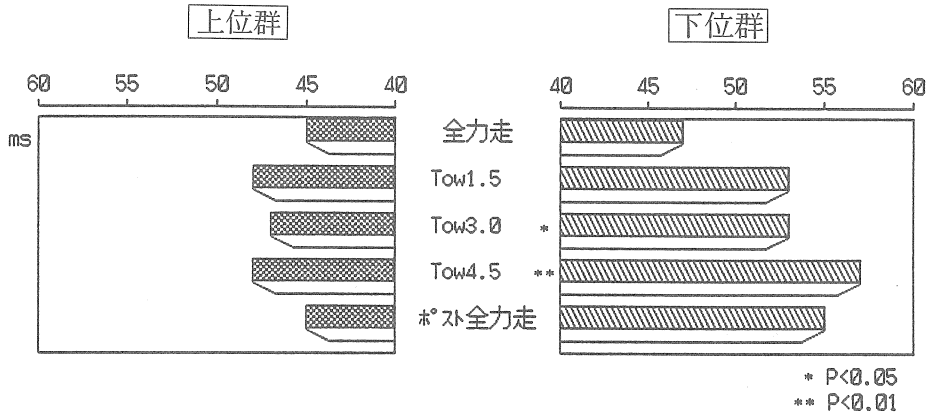


図６　各実験試技での離地からフォロースルー終了区間③－④の，上位・下位群の各平均時間の比較

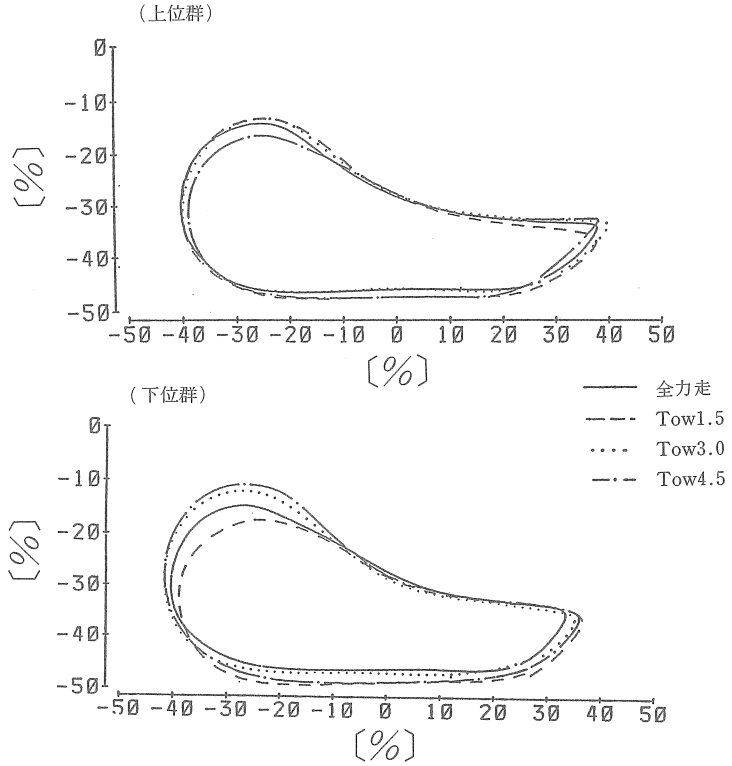


図７　各実験試技での大転子を中心とする足先の軌跡の上・下二群間の比較

強まることは前にも述べたが，上位群では「足が後ろに流れないように」という意識を常に持っていたことが，この回復前期の区間の正仕事を増大させ，この区間の時間の増加が抑えられたと思われる。この結果，牽引疾走時の足先の軌跡は，下位群よりも上位群の方が，牽引疾走時にその変化の度合いは少ない(図７参照)。従って，ピッチが増加した上位群は，牽引疾走時でも疾走フォームをあまり変化させずに，より主体的な疾走が実現できたものと言えよう。

上位群での牽引疾走時の努力感は，Tow1.5で75.0%，Tow3.0で85.8%，Tow4.5では92.5%であった。一方，下位群ではそれぞれ順に92.5%，94.2%，95.8%と上位群より努力感が大きく，３種の牽引力間の差も大きかった。また，主観的強度でも，下位群ではTow3.0から既に恐怖感を感じる傾向にあり，フォームを維持できないと答えた割合も高かった(33.3%)。こうしたことは牽引疾

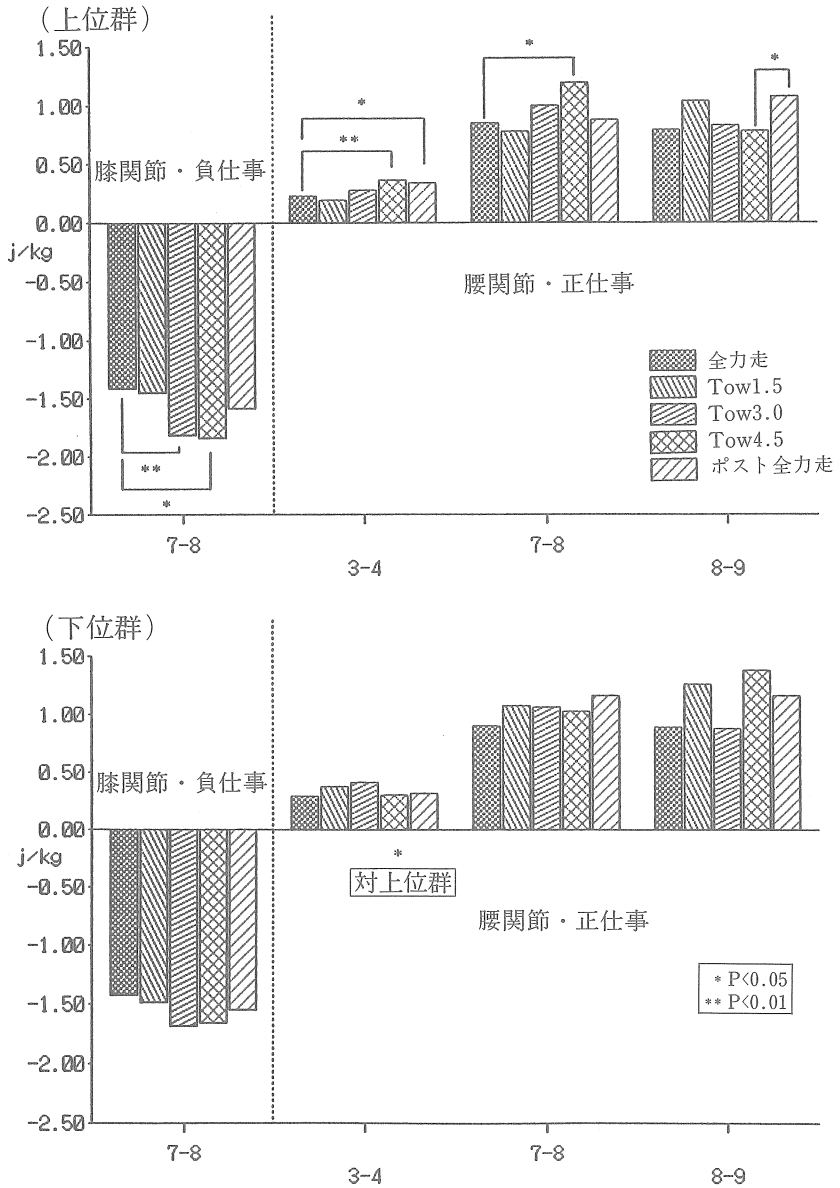


図８　各実験試技での走サイクル各局面での平均仕事の上・下二群間の比較

走回数が増すごとに，イメージが良くなっていった上位群に対して，下位群では，逆に疾走フォームを崩していく傾向がみられたことと一致する。

ポスト全力走では，上位群がピッチを増大することで，最初の全力走より疾走速度が＋2.12%上回ったのに対し，下位群ではストライドの減少と共に，疾走速度も減少する傾向にあった。また，上位群では，ポスト全力走後のコメントにも「動きやすい」，「スピードが上がった感じ」，「最初の全力走よりもイメージが良くなった」，「前でとらえられる」等々，プラス面での解答が多かった。しかし，逆に下位群では「バラバラ，ヘッドアップ」，「最初の全力走よりも悪くなった」，「足が動かない，前に出ない」等のマイナス面での解答が多かった。

【トレーニング面への示唆】

この様に，牽引疾走トレーニングでの作用には，選手の競技水準と共に疾走フォームの違いによって大きな相違が見られる。実際のトレーニングではこの様な個人差に注意し，特に，訓練性・技術性の低い者に対しては，少なくとも以下の諸点を留意すべきであろう。

1）4 kg 以上の牽引を避け，超最大速度での反復数は数回に制限する

2）3 kg 以下の余裕ある負荷と最大／及び最大下の速度で，以下の疾走フォームの改善を重視する。

・疾走イメージは“押し（Push）型”でなく，“引っ掻き（Pull）型”で

・足の回転は「身体の前」での積極着地と，「足を後ろに流さない」

・接地時間を短く，脚の高速回転ーピッチを重視する

4．トウ・トレーニングにおける力学的な負荷特性について

トウ・トレーニングの効果は，主に疾走速度，ストライド，ピッチのような運動達成要素（Performance descriptors）や，関節あるいは部分角度などによる kinematics の観点から検討されている。しかし，牽引走によって作り出される超最大速度状態が，下肢筋群の活動状態におよぼす影響や負荷の大きさについて検討したものはあまりない。ここでは，短距離走における下肢筋群の機能に関するバイオメカニクス的な知見[1)2)21)]を参考にしながら，本研究で行なった牽引走における下肢筋群のトルク，パワーなどの変数をもとに，牽引走の下肢筋群に対する力学的な負荷特性を検討した。

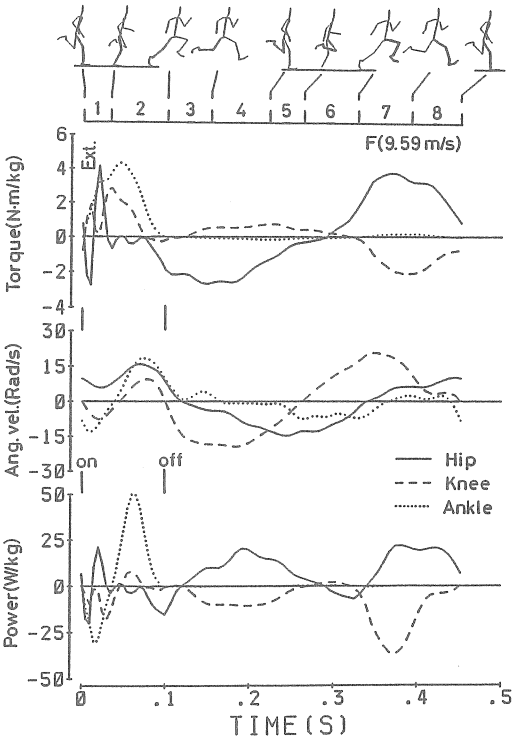


図9　全速疾走における走1サイクル中の右脚各関節の平均関節トルク（上段），関節角速度（中段），および筋の機械的パワー（下段）（阿江，他，1986[1)]より）。

1）全速疾走時の下肢筋群のトルクおよびパワー

図9は，全速疾走における右の腰，膝，足の各関節におけるトルク，関節角速度，パワーの変化を1サイクルについて示したものである。これらのデータは，先に述べたものとほぼ同様の方法で求めたもので，5名の男子短距離走者（最高記録100m：10.6±0.2秒）の平均値である。この図では，正のトルクは関節の伸筋群が，負の場合は屈筋群がそれぞれ優位に活動していることを示している。また正のパワーは筋群の concentric な筋収縮によって，また負の場合は eccentric な筋収縮によって

パワーが発揮されていることを意味している（阿江，他）[1]。

腰のトルクをみると，支持期前半では接地の衝撃による変動がみられるが，支持期後半から回復中期までは腰屈筋群が，その後回復期終了までは腰伸筋群が優位に働いていることがわかる。膝では，局面によって大きさに違いがみられるが，支持期から回復中期までは膝伸筋群が，その後は膝屈筋群が優位に活動している。このうち，膝伸筋群は支持期で，膝屈筋群は回復後期で大きなトルクを発揮している。また足底屈筋群は支持期を除くと，大きなトルクを発揮していない。

腰のパワーをみると，支持期ではトルクと同様に大きな変動がみられるが，支持期後半から離地直後にかけて負になっている。そしてほぼ回復期全体にわたって正であり，特に回復後期では大きい。逆に，膝では，回復期全体にわたって負であり，回復後期で最大パワーが発揮されている。足のパワーは支持期前半では負，後半では正となっている。

上述したトルクとパワーから，回復期における筋群のパワー発揮の状況を推測すると，回復中期までは腰屈筋群がconcentricな筋収縮により，膝伸筋群がeccentricな筋収縮によりパワーを発揮していることがわかる。その後回復期終了までは腰伸筋群がconcentricな筋収縮により，膝屈筋群がeccentricな筋収縮によりパワーを発揮していることがわかる。さらに，下肢の二関節筋群(Hamstrings)の働きに着目すると，回復前期から中期では腰屈筋であり膝伸筋でもある大腿直筋が，回復中期から後期終了までは，腰伸筋群であり膝屈筋群でもある大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋が，これらのパワー発生に関与していると考えられる。大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋は，回復期後半では伸張されているというWoodら[32]の報告から考えると，短距離疾走に大きく関与する大腿後面の筋群は，この局面ではeccentricな筋収縮によってパワーを発揮していることになろう。

短距離疾走における下肢の動きとトルクの変化から各筋群の機能をとらえると，離地から回復中期までの腰屈筋群は離地した脚（回復脚）の大腿を引きつける役割をはたし，膝伸筋群では回復脚の下腿の過度の回転を抑制し，足のキックアップが高くなりすぎて前方への引出しが遅れるのを防ぐ。回復中期から後期では，腰伸筋群および膝屈筋群では前方へ振出された大腿および下腿を接地に先立って引戻して後方に加速しながら足を接地させる機能をもっている。

図10は，疾走速度を毎秒約2mから全速まで増加したときの下肢筋群でなされた仕事を求め，疾走速度，ストライド，ピッチとの相関をみたもので，破線は1％の有意水準を示している。この図からも，上述した局面における筋群のなす仕事が疾走速度の増大に大きく関与しており，これらの筋群のパワーを高めることが大きな速度で疾走するために重要であることがわかる（阿江，他）[1]。

次に，牽引走によってこれらの局面における筋群に，どのような力学的な負荷が加わるかをみることにする。

2）牽引走における下肢筋群のトルクおよびパワー

図11および図12は，牽引力を変化させた牽引走時の膝および腰におけるトルク，角速度，パワーを，全力走の場合と比較して示したもので，図11は上位群を，図12は下位群を示している。また図8は，各局面における膝の負の仕事および腰の正の仕事を示したものである。

トルクやパワーの変化パターンには，図9に示したものと大きな違いはみられない。しかし両群とも，牽引走では，回復後期における膝屈筋群の負のパワーおよび腰伸筋群の正のパワーが全力走よりも大きくなっていることがわかる。この最大パワーの増加を全力走に対する割合（両群をあわせた平均）でみると，膝ではTow1.5では16.5%，Tow3.0では31.6%，Tow4.5では32.5%であり，腰ではそれぞれ15.5%，12.4%，40.6%であった。

局面7における膝の負の仕事（図8）は，両群とも全力走より大きくなる傾向を示し，上位群ではTow4.5で，下位群ではTow3.0で最大となった。また腰の正の仕事は局面7と8ではばらつきはあるが，両局面をあわせて回復後期としてみると，牽引走では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con-

centric 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専門的なパワートレーニングとして使えることを示していると考えられる。実際には，これらのパワーを発揮するのは，先に述べたような二関節筋であるので，これらの筋には極めて大きな負荷が加わると考えてよいであろう。

一方，回復前期についてみると，局面3では腰の正の仕事が，下位群では上位群よりも大きくなる傾向がみられる(図8)。しかし図6からわかるように，離地からフォロースルー終了までの時間は，いずれの条件においても上位群の方が下位群よりも短い傾向にあり，Tow3.0と Tow4.5では両群間に有意差がみられた。これらのことは，「足が流れる」かどうかは，離地後の腰屈筋群の正のパワーや仕事よりもそれ以前の局面，すなわち支持期後半の腰屈筋群の負のパワーや仕事の大きさによることを示唆するものであろう。またこのことは，図10に示したように，局面2および3の腰屈筋群の負の仕事と疾走速度との相関が高いことからも推測できる。従って，上位群が示した「前でとらえる」，「足が後に流れないように」という意識をもつことの力学的な効果が，支持期後半から離地直後あたりにあり，下位群のように「ピッチがあがらない」，「足が後に流れる」ような傾向にある選手には，この局面での脚の引きつけを先取りする意識をもたせることが役立つと考えられる。

局面4では牽引走の正の仕事が全力走のものよりも大きくなることがなかった。この局面では，腰の関節を介して胴体や逆脚から大腿へのエネルギーの流れ込みが大きいことが報告されているが(阿江，他)[2]，牽引走では全力走よりも大きなエネルギーの流れ込みが生じているのかもしれない。したがって，この局面における腰屈筋群のパワーや仕事は非常に大きいが，牽引走によるトレーニング効果はあまり大きくないと考えられる。

【トレーニング面への示唆】

腰および膝のパワーや仕事からみると，牽引走によって生じる力学的な負荷特性に関連して，トレーニングの実践面への示唆として以下のことが言えよう。

① 牽引走では，回復後期における腰伸筋群の

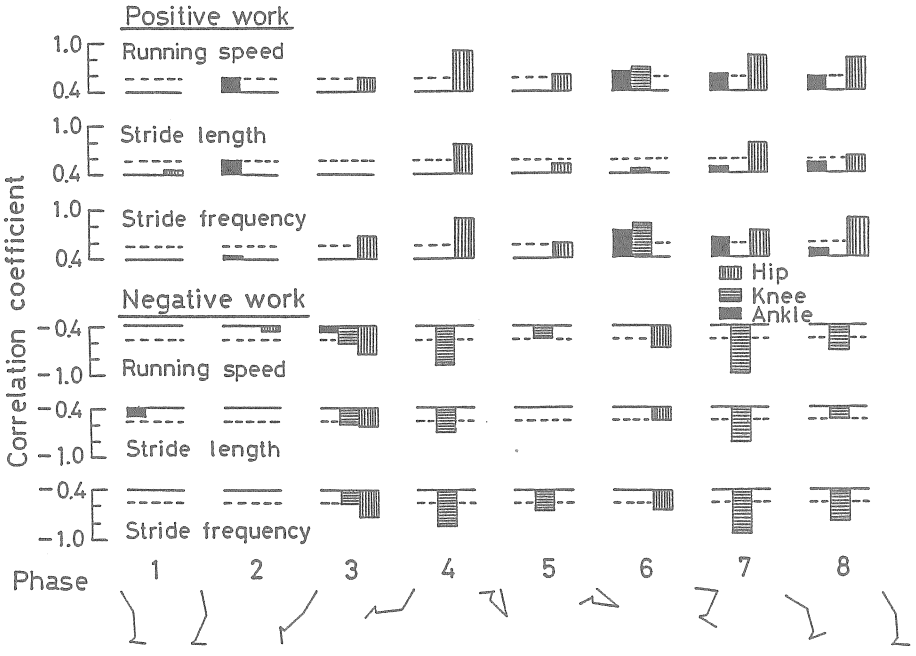


図10 全速疾走における走サイクル中の各局面での，右脚の各関節の正・負仕事と，疾走速度，ストライド，ピッチ間との相関係数の比較．図中の破線は1％水準の有意性を示す(阿江，他，1986[1]より)．

concentric なパワーおよび膝屈筋群の eccentric なパワーを高めるための負荷がかけられる。これは，実際には大腿後面の二関節筋群へかなり大きな負荷となるであろう。

② 足が流れてピッチが増加しない選手では，大きな牽引力(3.0kg 以上)を用いてトレーニングするためには，支持期後半から脚をひきつける意識をもち，足の流れない疾走フォームを身につける必要がある。

③ 張力1.5kg 程度の牽引走は，選手に恐怖を与えることもなくリラックスして疾走でき，しかも牽引されているので，支持期後半で大きく脚をキックしなくてもよいので，②の様な疾走技術のトレーニングに適しているであろう。

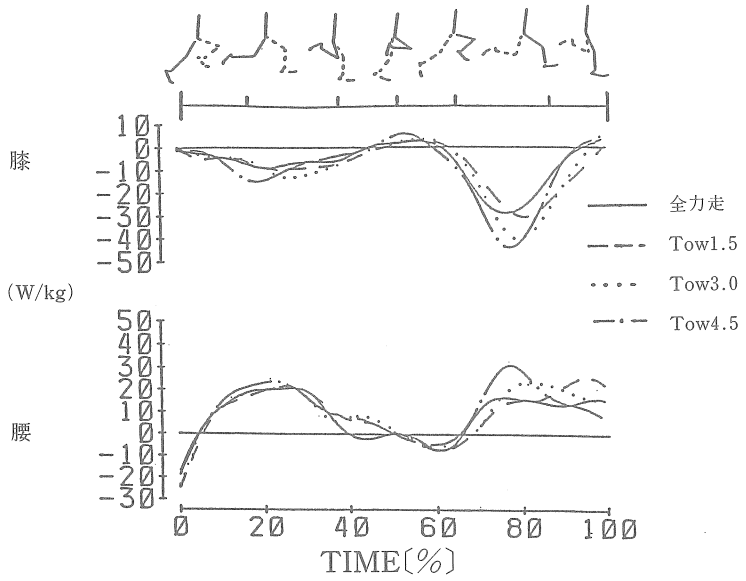


図11 上位群の全力走と各種牽引疾走における1サイクル中の膝・腰関節での各種力学量(関節トルク，角速度，機械的パワー)の比較.

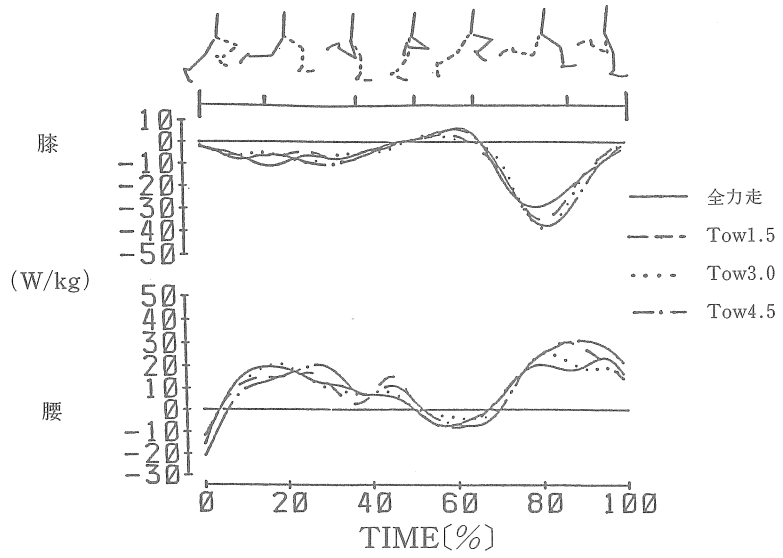


図12 下位群の全力走と各種牽引疾走における1サイクル中の膝・腰関節での各種力学量(関節トルク，角速度，機械的パワー)の比較.

④　足の流れないフォームを身につけ，かなりのピッチを出せる選手には，4.5kgあるいはそれ以上の張力で牽引することは，超最大パワーが出現する大きな強度の専門的パワートレーニングであり，神経系にも強い刺激を与えられるので，いわゆる「スピードの殻」を破ることに役立つであろう。

総　　括

本研究では，等張性牽引装置をもちいたトウ・トレーニングの実験試技の分析から，適正牽引力，トレーニングの即時的効果，個別性の問題，トレーニングの力学的な負荷特性等について検討し，以下の様な結論と，トレーニング実践面への実用的な示唆が得られたた。

1）牽引走では，回復後期における腰伸筋群のconcentricなパワーおよび膝屈筋群のeccentricなパワーを高めるための負荷がかけられる。これは，実際には大腿後面の二関節筋群へかなり大きな負荷となり，スプリントの専門的パワー・トレーニングとして相応しいものであろう。

2）適正牽引力には，1.5kg，3.0kg，4.5kgの内，平均的には中間の3.0kgを支持する見解が得られたが，以下の個別性が考慮されるべきであろう。

①　適正牽引力は，大型選手ほど若干大きく，小型選手ほど控え目にする。

②　「足が流れてピッチが増加しない」選手では，大きな牽引力(3.0kg以上)を用いてトレーニングするには，支持期後半から脚をひきつける意識をもち，足の流れない疾走フォームを身につける必要がある。

③　その様な疾走技術のトレーニングには，張力1.5kg程度(若しくは3.0kg以下)での牽引が適しており，その際には，牽引によってストライドを伸ばすよりも，脚の高速回転ーピッチを高め，「前でとらえる」積極着地と，「足が後に流れないように」脚の引きつけを先取りするという意識が役立つであろう。また，疾走イメージには“押し（Push）型”でなく，“引っ掻き（Pull）型”の，接地時間が短く，脚の高速回転ーピッチを重視したものが重視されるべきであろう。

④　足の流れないフォームを身につけ，かなりのピッチを出せる選手には，4.5kgあるいはそれ以上の張力で牽引することは，超最大パワーが出現する大きな強度の専門的パワー・トレーニングであり，神経系にも強い刺激を与えられるので，いわゆる「スピードの殻」を破ることに役立つであろう[3)]。

足の流れないフォームを身につけ，かなりのピッチを出せる選手（本研究の上位群に相当）では，牽引走直後での全力走にプラスの即時効果が認められた。しかし，「足が流れてピッチが増加しない」選手（同下位群に相当）では，必ずしもこの様なプラスの効果は期待できないであろう。

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9：229-239，1986．

2）阿江通良，宮下　憲，飯干　明：疾走中の下肢における機械的エネルギーの流れ．In：バイオメカニズム学会編：バイオメカニズム9ー機能の解析とその回復：105-113，1988．

3）BOSCO, C., VITTORI, C.：Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. New Studies in Athletics, 1：39-45，1986．

4）BOSEN, K.O.：Experimental speed training. Track Technique, 77：2382-2383，1979．

5）CHAPMAN, A.E., CALDWELL, G.E.：Factors determining changes in lower limb energy during swing in treadmill running. J. of Biomechanics, 16：69-77，1983[a]．

6）CHAPMAN, A.E., CALDWELL, G.E.：Kinetic limitations of maximal sprinting speed. J. of Biomechanics, 16：79-83，1983[b]．

7）DAVIES, C.T.M.：Effects of wind resistance and assistance on the forward motion of a runner. J. of Appl. Physiol.,48：702-709，1980．

8）ELFTMAN, H.：The work done by muscles

in running. Am. J. of Physiology, 129：672-684, 1940.
9) FENN, W.O.：Work against gravity and work due to velocity changes in running. Am. J. Physiol., 93：433-462, 1930.
10) HILL, A.V.：The air resistance to a runner. Pro. Roy. Soc.,102：380-385, 1927.
11) LAPINSKI ,R.：The tow method of training. Modern Athlete and Coach, 20-1：29-30, 1982.
12) LEIERER, S.：A guide for sprint training. The Athletic J.,59：104-106, 1979.
13) MANN, R.V., SPRAGUE, P.G.： A Kinetic analysis of sprinting. Med. Sci. Sports Exercise, 13(5)：325-328, 1981.
14) MANN, R.V.：Kinetics of sprinting. In：TERAUDS, J.(Edited), Biomechanics in Sports：305-316, Academic Publishers, 1982.
15) MANN, R.V.：The biomechanical analysis of sprinters. Track Technique, 94：3000-3003, 1986.
16) MATWEJEW, L.P.：Grundlagen des sportlichen Trainings. Sportverlag Berlin：168-173, 1981.(邦訳・江上：ソビエトスポーツ・トレーニングの原理. 白帝社, 228-245, 1985.
17) MERO, A., KOMI, P.V.：Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. IJSB, 1(3)：240-252, 1985.
18) MERO, A., KOMI, P.V.：Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. Eur. J. of Appl. Physiol., 55：533-561, 1986.
19) MERO, A., KOMI, P.V.：Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. Med. and Sci. in Sports and Exercise, 19-3：266-274, 1987a.
20) MERO, A., KOMI, P.V., RUSKO, H., HIRUVONEN, J.：Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. Int. J. Sports Med., 8：55-60, 1987b.
21) 宮下　憲, 阿江通良, 他：世界一流スプリンターのフォーム分析. J. J. Spo. Sci., 15(12)：892-898, 1986.
22) 宮下　憲：スポーツ指導者在外研修報告(陸上競技). In：昭和63年度帰国スポーツ指導者在外研修事業研修報告書：4-14, 日本体育協会競技力向上委員会, 1989.
23) 村木征人・編著：現代スポーツコーチ実践講座2, 陸上競技（フィールド). ぎょうせい, 133-139, 1982.
24) 村木征人：スプリント走における速度強度および歩幅と歩数に関する研究. In：身体運動の科学V：76-83, 1983.
25) OZOLIN, N.：How to improve speed. Track Technique, 44：1400-1401, 1971.
26) Озолин,Э.：Современная Мехника Спринта.Легкая Атлетика,11:4-7,1985. (OZOLIN, E.：Contemporary sprint technique. Soviet Sports Review, 21-3：109-114；21-4：190-195, 1986.)
27) PHILLIPS, D.A., HALL, S., JERNBERG, B., et al.：Sprint assisted training programs. Track Technique, 101：3215-3218, 1987.
28) 杉浦雄策, 青木純一朗：牽引走(Supramaximal running)が走法の異なる短距離走者のピッチとストライドにおよぼす影響. 日本体育学会第39回大会号, p. 312, 1987.
29) SANTOS, J.：Sprint assisted training. Athletic J., 67：39-40, 1986.
30) SANDWICK, C.：Pacing machine. The Athletic J., 47：36-39, 1966.
31) TANSLEY, J.：Glendale's tow training for sprinters. Track Technique, 78：247-1-2475, 1980.
32) WOOD, G.A.：Optimal performance criteria and limiting factors in sprint running.

NSA, 2：55-63, 1986.
33) 山本博章：走力等の強化装置．特許庁提出実用新案登録願，1986年10月
34) ZHUKOV, I.L., SHABANOV, B.V.：The effectivness of using 'lightened leading' in the preparation of sprinters. Soviet Sports Review, 20-30：123 , 1985.

III. 牽引走と最大走のバイオメカニカルな比較

報告者　杉浦雄策　佐久間和彦　青木純一郎

目　的

短距離選手のランニング速度を増加させることを目的とするトレーニングの1つとして行われているスプリントアシステッド・トレーニング（牽引走）[3]は，走者の牽引中のランニング速度を増加させることは事実である[1)9)10)11)12)14)18)]。

これまで牽引には，自動車[17)19)]，チューブ[9)10)11)]あるいはオートバイ[2)]などが用いられてきた。しかし，これらはいずれも走者の意志にかかわりなく強制的に走者を牽引してしまうという欠点がある。そのため，これらは走者に対する牽引力が過負荷[1)]となり，ランニング動作に及ぼす安全性上の問題点が挙げられる。

近年，走者のランニング速度に対応して一定の張力で走者を牽引することのできる装置[18)]が開発され，走者が主体となった牽引走トレーニングの可能性が示唆されるようになった。

この装置を用いた牽引走をトレーニングとして実施する場合，牽引中のランニング動作に関する基礎的なデータを得ることは，トレーニングの有効性および安全性を検討する上で重要な課題といえよう。

また，牽引走でのフォームを最大走と比較し，バイオメカニカルな観点から分析することはコーチングのみならず，合理的な動作の追求という観点からも意義があると考えられる。

そこで，本研究は，われわれが経験的な判断から頻繁に用いている3 kgおよび5 kgの張力による牽引走をバイオメカニカルな観点から分析を行い，最大走と比較検討した。

研究方法

1．被験者

順天堂大学陸上競技部に所属し短距離走を専門とする男子11名を被験者とした。

被験者の身体的特徴および最高記録を表1に示した。

彼等は少なくとも4年以上の陸上競技歴を有する者であり，週当たり5日の規則的なトレーニングを行っていた。彼等は通常のトレーニングにも牽引走を採り入れていることから，牽引走には十分慣れていた。

なお，あらかじめ彼等に実験内容を説明し全員から被験者としての同意を得た。

2．牽引装置

牽引には，トルクを発生する原動機とこの原動

表1　被験者の身体的特徴および最高記録

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	最高記録 (sec)
1	180.0	76.30	10.7
2	174.5	63.30	11.1
3	176.1	66.60	49.3◇◇
4	170.0	61.50	10.3
5	176.6	70.60	21.8◇
6	177.9	66.65	48.0◇◇
7	166.9	64.35	49.7◇◇
8	172.7	66.40	22.2◇
9	172.9	65.15	10.6
10	174.1	70.80	11.0
11	175.2	65.80	10.5
平均	174.3	67.04	
標準偏差	3.5	3.94	

◇：200m走による最高記録
◇◇：400m走による最高記録

機によって回転駆動し，励磁電流の値に応じた大きさのトルクが伝達されるパウダークラッチからなる牽引装置（999E：ニシ・スポーツ社製　最大牽引力10kg　最大牽引速度13.6m/秒）を用いた。本装置は，パウダークラッチによって回転駆動されるドラムが所定の張力でロープを巻きとり，被験者を一定の張力で牽引することが可能である。

3．最大走および牽引走

被験者は各自の通常のウォーミング・アップを行った後，スロースタート法[16]を用いた20mの助走区間に引き続いて，50mの最大走，3 kgおよび5 kgの張力による牽引走をそれぞれ行った。被験者には，できるだけ速く走るように，また，リラックスした走りを心掛けるように指示した[9]。試行は，最大走，3 kgおよび5 kgの張力による牽引走の順序で行った。なお，各疾走間の回復時間は10～20分間とした。

牽引走ではロープは被験者の腰に取り付けられた。測定区間での牽引角度は，水平面より0.3～0.5度の範囲にあった。

4．測定方法と測定項目

最大走および牽引走の測定区間は，20m助走後の41～46m区間の5mであった。この区間は1サイクルのランニングフォームがビデオに収まる距離であり，あらかじめランニング速度が一定であることが確認された。

1）ランニング動作の撮影

各試行における被験者のランニング動作を右側方からビデオ撮影した。

毎秒200フィールドで制御されているハイスピードビデオカメラシステム（HSV-400：NAC社製　ビデオ信号200フィールド/秒　シャッター速度1/2500秒）にズームレンズ（H6X 12.5R：富士写真光機社製　焦点距離12.5～75mm）を装着し，その収差誤差を少なくするため走路中央より側方40mに設置した。また，地面からのレンズ高は，被写体が画面のほぼ中央にくるように1.2mに固定した。

2）ランニング動作の分析

ビデオ分析は，ビデオ再生器（AG-3750：National社製　ダブルファインスロー方式）で毎秒100フィールドで再生し，ビデオ画像とコンピュータの画像を同一画面上に重ねることのできるパーソナルコンピュータ（X1 turbo：SHARP社製　表示能力640X400ドット）を用いて，再生されたビデオのフィールド毎に画面上の測定点の座標（X，Y）をマウスを用いて読んだ。

測定点は，被験者の右側の耳珠点：tragus，転子点：Greater trochanter，大腿骨外側上顆点：Lateral epicondyle of femoris，外果点：Lateral malleolusおよび足先点：Acropodionを用いた。

得られた測定点は，カメラの振動あるいは座標の読み取りの誤差により，不規則なノイズが混入していると考えられるため[7]データの平滑化を行った[20]。

①　ピッチ

1歩に要する接地期および滞空期の合計フィールド数からそれに要した時間を算出し，1秒間当たりの歩数に換算して[4]，2歩にわたって求め平均した。

②　ストライド

支持脚の足先点から次の支持脚の足先点までの水平距離を2歩にわたって求め平均した[15]。

③　ランニング速度

ピッチとストライドの積とした[13]。

④　接地期，滞空期および回復期

接地期は，脚の接地からその脚の離地までに要したフィールド数を時間に換算し[4]，2歩にわたって求め平均した。

滞空期は，脚の離地からもう一方の脚の接地開始までに要したフィールド数を時間に換算し[4]，2歩にわたって求め平均した。

回復期は，右脚の離地から左脚の接地までに要したフィールド数と，左脚の接地から右脚の接地までに要したフィールド数を合計し，時間を換算した[13]。また，右脚の離地から左脚の接地までを回復前半期，左脚の接地から右脚の接地までを回復後半期とした。

⑤　部分角度，膝関節角度および足関節角度

ランニングにおける接地期，回復前半期および回復後半期での下肢の位置を示すため，大腿角および下腿角の絶対角度を宮下ら[13]の方法を参考にして求めた。

大腿角は転子点と大腿骨外側上顆点を，下腿角は大腿骨外側上顆点と外果点を結ぶ線分がそれぞれの上位端と水平線とのなす角度とした。

膝関節角度は，転子点，大腿骨外側上顆点，外果点を結ぶ線分のなす角度とした。また，足関節角度は，大腿骨外側上顆点，外果点，足先点を結ぶ線分のなす角度とした。

⑥　平均角速度

接地期，回復前半期および回復後半期での大腿および下腿のそれぞれの角度変化をそれぞれに要した時間で除した[13)15)]。

5．実験期間および環境条件

実験は，1988年11月12日および11月13日に順天堂大学体育学部陸上競技場で行った。その間の気温および湿度はそれぞれ20℃，58%であった。なお，測定時の風速は，−1.3〜−2.6m/秒であった。

研究結果および考察

1．ランニング速度

最大走および牽引走のランニング速度を表2に示した。

3 kgおよび5 kgの張力による牽引走の平均ランニング速度は，それぞれ9.83m/秒および10.36m/秒であった。また，最大走に対するその増加率は，それぞれ4.5%および10.5%で共に有意($p<0.001$)であった。

年間を通して同一のトレーニング強度および頻度で短距離走のトレーニングを行っている被験者群を用いた先行研究[18)]では，5 kgの張力による牽引走でのランニング速度の増加率は7%前後であった。しかし，今回の結果はそれより大きな値を示した。これは，通常の短距離走のトレーニングの中に牽引走トレーニングを採り入れてから2年

表2　最大走および牽引走におけるランニング速度（m/sec）

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	9．00	9．52(5.8)	10．07(11.9)
2	9．26	9．85(6.3)	10．14(9.5)
3	8．98	9．61(7.0)	10．01(11.5)
4	9．53	10．28(7.8)	10．56(10.8)
5	9．46	9．69(2.4)	10．74(13.5)
6	9．71	9．93(2.3)	10．87(11.9)
7	9．08	9．66(6.4)	10．27(13.1)
8	9．16	9．42(2.8)	10．27(12.1)
9	9．82	9．92(1.1)	10．05(2.3)
10	9．65	10．22(5.9)	―――――――
11	9．83	10．00(1.7)	10．65(8.3)
平均	9．41	9．83(4.5)	10．36(10.5)
標準偏差	0．31	0．26(2.3)***	0．30(3.1)***

（　）は、最大走に対する増加率を示す。最大走対牽引走　***：$p<0.001$

表3　最大走および牽引走におけるストライド（m）

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	2．07	2．14 (3.4)	2．16 (4.3)
2	2．08	2．07(-0.4)	2．13 (2.4)
3	2．24	2．16(-3.6)	2．20(-1.8)
4	2．19	2．16(-1.4)	2．32 (5.9)
5	2．22	2．37 (6.8)	2．52(13.5)
6	2．28	2．33 (2.2)	2．39 (4.8)
7	2．22	2．22 (0.0)	2．36 (6.3)
8	2．24	2．26 (0.8)	2．36 (5.4)
9	2．21	2．23 (0.9)	2．36 (6.8)
10	2．36	2．45 (3.8)	―――――――
11	2．26	2．40 (6.2)	2．34 (3.5)
平均	2．22	2．25 (1.7)	2．31 (5.1)
標準偏差	0．08	0．11 (3.0)	0．11 (3.7)*

（　）は、最大走に対する増加率を示す。最大走対率引走　*：$p<0.05$

目になることから，そのトレーニング効果として被験者が牽引走に慣れてきたためと考えられる。このことは，われわれの2年間のデータ集積による牽引走でのランニングタイムの向上からも認めることができる。

2．ストライドおよびピッチ

最大走および牽引走におけるストライドを表3に示した。

最大走での平均ストライドは，2.22mであり，3 kgの張力による牽引走では，2.25mでその増加はわずかに0.03mであった。しかし，被験者2，3，4および7は，減少あるいは変わらない結果を示した。これらのことから，3 kgの牽引力では，必ずしもストライドの増加を引き起こすのには十分でないことが示された。

一方，5 kgの張力による牽引走では2.31mであり，0.11mと有意に増加した（$p<0.05$）。このことは，5 kgの牽引力がストライドの増加を引き起こすのに有効であることを意味する。

しかし，ストライドは身長との比によって最適なストライドの長さがあることが示されており，その比は1.3が限度とされている[5]。5 kgの張力による牽引走では，その比が1.3以上を示した被験者が7名も認められた。このことから，5 kgの張力による牽引走でのストライドの有意な増加は過度の増加を意味する。

MeroとKomi[9]は，牽引走ではストライドの増加を防ぐために走者は地面に対して，より速くpressしなければならないとしており，われわれもこの知見を支持する。

最大走および牽引走におけるピッチを表4に示した。

3 kgの張力による牽引走での平均ピッチは，4.37回/秒で，5 kgの張力による牽引走では，4.48回/秒であった。ピッチもストライド同様5 kgの張力による牽引走で有意に増加した（$p<0.01$）。

3 kgの張力による牽引走でのピッチは，ストライドが減少あるいは変化しない被験者（2，3，4および7）でピッチが大きく増加する傾向にあった。他の被験者は，ほとんど変わらないか減少する傾向にあった（−4.5〜2.3%）。

これらの結果から，ピッチを増加させるという牽引走トレーニングの目的を達成させるためには，3kgの牽引力ではストライドを短くし，ピッチを上げなければならないといえる。牽引走トレーニングの本来の目的はストライドを減少させないで，ピッチを増加させるようにしなければならない[3]ことから，3 kgの牽引力では正しい方法によってトレーニングを行うことは難しいと思われる。

一方，5 kgの張力による牽引走では，ストライドの減少を示す者はわずかに1名であり，また，ピッチが有意な増加を示す。

これらのことから，牽引走トレーニングにおける目的が満たされる有効な牽引力は5 kgであるといえる。

表4　最大走および牽引走におけるピッチ（strides/sec）

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	4．35	4．45 (2.3)	4．66 (7.1)
2	4．45	4．76 (7.0)	4．76 (7.0)
3	4．01	4．45 (11.0)	4．55 (13.5)
4	4．35	4．76 (9.4)	4．55 (4.6)
5	4．26	4．09 (-4.5)	4．26 (0.0)
6	4．26	4．26 (0.0)	4．55 (6.8)
7	4．09	4．35 (6.4)	4．35 (6.4)
8	4．09	4．17 (2.0)	4．35 (6.4)
9	4．45	4．45 (0.0)	4．26 (-4.3)
10	4．09	4．17 (2.0)	―――――
11	4．35	4．17 (-4.1)	4．55 (4.6)
平均	4．25	4．37 (2.9)	4．48 (5.2)
標準偏差	0．15	0．22 (4.9)	0．16 (4.5)**

（　）は、最大走に対する増加率を示す。最大走対牽引走　**：$p<0.01$

3．接地時間，滞空時間および回復時間

最大走および牽引走における接地時間を表5に示した。

いずれの牽引走においても接地時間は有意に短縮され($p<0.01$)，先行研究[1)9)10)18)]と同様の結果を示した。これは間接的に牽引によるピッチの増加を示している。

最大走および牽引走における滞空時間を表6に示した。

滞空時間は，異なる牽引力であっても最大走と変わらない傾向にあったが，牽引によるストライドの増加率が大きい被験者（3 kg：5および11，5 kg：5および9）では大きく延長されることが観察された。

最大走および牽引走における回復時間を表7に示した。

回復時間は，5 kgの張力による牽引走で有意に短縮された（$p<0.05$）。特に，牽引によるピッチの増加率が大きい被験者（3 kg：3および4，5 kg：3）で大きく短縮された。一方，ピッチが増加しない被験者では延長される傾向にあった。これは，接地時間同様，回復時間の短縮は間接的に牽引によるピッチの増加を示している。

4．大腿および下腿の動作範囲

最大走および牽引走における接地期での大腿および下腿の動作範囲を，それぞれ表8，9に示した。

下腿の動作範囲は，接地期において牽引力が増すにつれて大きくなる傾向が認められ，5 kgの張力による牽引走では有意に増加した（$p<0.05$）。これは，牽引走では足先がよりブレーキのかかる位置で接地したことを意味するかもしれない。事実，接地時における下腿と地面のなす角度は，牽引走により小さくなる傾向がみられ（最大走：79.8度，牽引走［3 kg］：78.5度，牽引走［5kg］：75.4度），先行研究[9)]の結果と一致した。

最大走および牽引走における回復期での大腿および下腿の動作範囲を，それぞれ表10，11に示した。

大腿の動作範囲は，回復後半期において3 kgの張力による牽引走で有意に小さくなる傾向があっ

表5　最大走および牽引走における接地時間（msec）

被験者＼走条件	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	105	100	100
2	115	100	100
3	120	100	100
4	90	85	85
5	105	95	100
6	110	110	100
7	110	105	100
8	120	105	105
9	105	105	105
10	110	100	― ― ―
11	105	100	100
平均	109	100	100
標準偏差	8	6**	5**

最大走対牽引走　**：$p<0.01$

表6　最大走および牽引走における滞空時間（msec）

被験者＼走条件	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	125	125	115
2	110	110	110
3	130	125	120
4	140	125	135
5	130	150	135
6	125	125	120
7	135	125	130
8	125	135	125
9	120	120	130
10	135	140	― ― ―
11	125	140	120
平均	127	129	124
標準偏差	8	11	8

表7　最大走および牽引走における回復時間（msec）

被験者＼走条件	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	350	350	330
2	340	320	320
3	380	350	340
4	370	340	350
5	360	390	370
6	360	360	340
7	380	350	360
8	370	370	350
9	340	340	360
10	380	380	― ― ―
11	360	380	340
平均	363	357	346
標準偏差	14	20	14*

最大走対牽引走　*：$p<0.05$

表8　最大走および牽引走における接地期での大腿の動作範囲（deg）

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	70.2	65.2	63.2
2	69.7	64.0	62.9
3	77.7	66.8	68.8
4	55.9	67.1	70.1
5	67.2	60.8	58.5
6	74.6	67.1	68.5
7	79.1	76.8	79.8
8	72.6	66.2	74.2
9	73.3	73.1	74.6
10	80.0	74.7	－－
11	66.5	69.0	69.4
平均	71.5	68.5	69.0
標準偏差	6.6	4.6	6.0

表9　最大走および牽引走における接地期での下腿の動作範囲(deg)

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	60.3	63.5	68.4
2	63.3	62.9	63.3
3	61.3	57.2	58.1
4	60.7	59.9	63.8
5	63.5	65.1	77.3
6	65.8	73.0	68.0
7	54.0	57.7	64.0
8	66.7	65.5	69.9
9	63.0	65.3	70.1
10	59.2	60.4	－－
11	67.1	70.3	69.5
平均	62.3	63.8	67.2
標準偏差	3.6	4.8	4.9*

最大走対牽引走＊：$p<0.05$

表10　最大走および牽引走における回復前半、後半期での大腿の動作範囲(deg)

走条件 / 被験者 / 期	最大走		牽引走 3kg		牽引走 5kg	
	前半	後半	前半	後半	前半	後半
1	54.5	63.9	52.4	64.9	49.9	64.3
2	37.3	79.8	43.8	63.5	35.5	71.9
3	30.2	74.2	41.6	67.9	37.6	65.8
4	41.6	72.1	33.0	61.3	46.3	67.2
5	50.4	62.2	56.1	54.2	51.9	57.3
6	55.3	65.6	49.4	59.0	42.7	62.3
7	44.6	78.5	38.2	62.1	35.0	74.8
8	38.4	72.4	53.1	62.8	37.1	73.9
9	51.4	67.8	36.5	72.9	35.7	71.9
10	56.9	60.3	41.6	68.6	－－	－－
11	34.6	82.8	48.6	68.9	47.6	72.6
平均	45.0	70.9	44.9	64.2	41.9	68.2
標準偏差	8.8	7.2	7.1	5.0*	6.2	5.5

最大走対牽引走＊：$p<0.05$

表11　最大走および牽引走における回復前半、後半期での下腿の動作範囲(deg)

走条件 / 被験者 / 期	最大走		牽引走 3 kg		牽引走 5kg	
	前半	後半	前半	後半	前半	後半
1	62.8	149.8	68.7	154.7	62.3	143.1
2	64.5	154.2	57.1	136.3	62.8	142.3
3	85.0	168.4	78.8	155.0	89.6	157.4
4	67.5	160.1	79.0	143.6	76.9	167.4
5	86.1	171.1	73.6	169.9	59.1	165.3
6	63.4	158.5	67.6	159.9	73.9	165.0
7	84.7	159.9	77.7	151.7	85.7	161.6
8	73.5	164.2	71.3	159.8	79.6	172.4
9	69.7	145.4	80.0	155.3	78.3	156.6
10	74.6	167.9	80.6	176.5	－－	－－
11	73.4	162.8	68.5	158.9	73.0	162.0
平均	73.2	160.2	73.0	156.5	74.1	159.3
標準偏差	8.3	7.6	6.8	10.5	9.6	9.4

表12　最大走および牽引走における接地期での大腿の平均角速度(deg/sec)

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	638.2	652.0	632.0
2	633.6	640.0	629.0
3	647.5	668.0	688.0
4	508.3	745.6	778.9
5	672.0	608.0	585.0
6	678.2	632.7	685.0
7	719.1	768.0	798.0
8	605.0	601.8	674.5
9	666.4	664.5	678.2
10	727.3	747.0	－－－
11	665.0	690.0	694.0
平均	650.9	674.3	684.3
標準偏差	56.4	54.4	61.5

表13　最大走および牽引走における接地期での下腿の平均角速度(deg/sec)

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	548.0	635.1	683.4
2	575.3	629.1	632.6
3	510.8	572.3	580.6
4	552.1	665.8	708.9
5	634.9	650.9	772.8
6	598.4	671.3	679.8
7	491.3	576.7	639.5
8	556.2	595.1	635.0
9	573.1	593.4	636.9
10	538.1	604.1	－－－
11	671.0	702.5	695.4
平均	568.1	626.9	666.5
標準偏差	49.4	40.4***	50.5***

最大走対牽引走 *** ：$p<0.001$

た（$p<0.05$）。これは，回復後半期において膝の高い引き上げが十分でなかったことを意味するかもしれない。ストライドを増加させるためには膝の高い引き上げが必要である[6]。このことから，3 kgの張力による牽引走においてストライドの増加がわずかであったことは，膝の高い引き上げが十分でなかったことによると考えられる。

5．大腿および下腿の平均角速度

最大走および牽引走における接地期での大腿および下腿の平均角速度を，それぞれ表12，13に示した。

下腿の平均角速度は，いずれの牽引走においても有意に増加することが認められた（$p<0.001$）。これは，接地中の脚がより速い速度で後方に送り出されていることを意味し，牽引走では接地中の素速いキックによって速いランニング速度が得られることが示唆された。

最大走および牽引走における回復前半期での大腿および下腿の平均角速度を，それぞれ表14，15に示した。また，同様に回復後半期での大腿および下腿の平均角速度を，それぞれ表16，17に示した。

いずれの牽引走においても回復期での大腿および下腿の平均角速度は，牽引によるピッチの有意な増加にもかかわらず変わらない傾向にあった。また，個人差の大きい結果が示され，一定の傾向は認められなかった。

これらの結果から，牽引走におけるピッチの増加は，回復期での下肢の動きの速さには関連がなく，接地期における下腿の素速い後方への送り出しによって達成されていると考えられる。

6．膝関節および足関節

最大走および牽引走における脚の接地時点および離地時点での膝関節角度を表18に示した。

接地時点における膝関節角度は，有意な差が認められなかったが，牽引走でより大きくなる傾向

表14　最大走および牽引走における回復前半期での大腿の平均角速度(deg/sec)

被験者＼走条件	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	454.0	436.3	453.7
2	338.7	398.1	323.1
3	251.6	347.0	313.1
4	346.3	274.8	355.8
5	387.5	374.1	399.1
6	461.2	380.0	355.8
7	318.4	293.8	250.3
8	295.7	379.1	285.2
9	428.7	304.3	274.9
10	406.1	296.8	― ― ―
11	314.3	373.5	432.3
平均	363.9	350.7	342.0
標準偏差	65.3	50.0	60.2

表15　最大走および牽引走における回復前半期での下腿の平均角速度(deg/sec)

被験者＼走条件	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	523.6	572.3	566.0
2	586.5	519.3	570.6
3	708.0	656.6	746.3
4	562.1	658.3	591.8
5	662.3	490.4	454.8
6	528.3	520.2	615.4
7	604.6	598.0	612.2
8	565.5	508.9	612.0
9	580.9	666.8	602.3
10	532.5	576.0	― ― ―
11	667.1	526.8	663.4
平均	592.9	572.1	603.5
標準偏差	58.9	62.1	70.0

にあり（3 kgでは11例中8例，5 kgでは10例中9例），先行研究[9]の結果と一致した。また，このことは接地開始時点で脚伸展筋がより力を発揮できるように脚が接地していることを意味する[9]。

離地時点に膝関節の伸展が小さくなることは，ピッチの向上に役立つと考えられている[8][13]。しかし，牽引によってピッチの増加を示した被験者の離地時点における膝関節の伸展の変化は，必ずしもピッチの増加とは一致しなかった。このことは，牽引走におけるランニング動作が受動的であったことを意味する。すなわち，牽引走において走者のピッチを速くするという意識は必ずしも高くな

表16　最大走および牽引走における回復後半期での大腿の平均角速度(deg/sec)

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	639.2	649.4	643.4
2	613.6	705.8	718.6
3	618.6	678.9	597.8
4	655.5	612.8	672.4
5	621.5	677.3	572.9
6	656.1	536.6	623.0
7	604.0	620.7	623.3
8	723.8	697.2	821.3
9	677.5	607.4	718.8
10	502.4	623.6	― ― ―
11	690.0	574.2	605.2
平均	636.6	634.9	659.7
標準偏差	54.8	50.2	71.1

表17　最大走および牽引走における回復後半期での下腿の平均角速度(deg/sec)

走条件 / 被験者	最大走	牽引走 3kg	牽引走 5kg
1	881.0	909.9	841.5
2	856.6	801.7	837.3
3	765.3	861.2	874.4
4	889.3	897.3	1046.3
5	950.8	944.1	869.9
6	880.3	888.4	916.7
7	841.6	892.3	897.9
8	912.2	888.0	1014.1
9	855.1	817.3	823.9
10	932.7	980.1	― ― ―
11	814.2	794.2	852.5
平均	870.8	879.5	897.5
標準偏差	50.6	55.0	71.8

表18　最大走および牽引走における接地、離地時点での膝関節角度(deg)

走条件 / 被験者 / 時点	最大走		牽引走 3kg		牽引走 5kg	
	接地	離地	接地	離地	接地	離地
1	152.8	162.6	156.4	158.4	160.1	154.9
2	150.3	156.8	154.3	155.4	153.6	158.2
3	151.3	167.7	155.0	164.6	155.0	165.8
4	158.9	154.1	158.3	165.4	157.2	164.4
5	169.3	173.1	169.2	165.0	170.7	151.9
6	151.7	160.4	162.8	157.0	161.5	162.0
7	148.8	173.4	146.2	164.0	149.4	158.7
8	151.2	157.0	155.6	156.3	157.9	162.2
9	154.3	165.1	155.0	162.9	158.5	161.5
0	143.9	164.8	146.1	160.4	― ― ―	― ― ―
11	166.6	166.0	161.5	160.2	167.3	167.2
平均	154.5	163.7	156.4	160.9	159.1	160.7
標準偏差	7.3	6.1	6.4	3.6	6.0	4.6

表19　最大走および牽引走における接地、離地時点での足関節角度(deg)

走条件 / 被験者 / 時点	最大走		牽引走 3kg		牽引走 5kg	
	接地	離地	接地	離地	接地	離地
1	115.5	119.9	134.6	122.9	135.9	115.5
2	110.1	140.6	110.1	142.5	105.1	137.5
3	117.0	144.1	112.6	139.3	119.9	133.9
4	110.1	137.7	116.8	132.0	113.3	129.6
5	124.9	127.9	124.9	133.9	125.4	135.9
6	110.9	135.9	117.2	127.2	118.4	131.3
7	106.6	144.5	107.1	145.3	116.4	133.0
8	117.7	141.3	118.5	142.3	118.8	147.4
9	112.3	135.6	117.8	131.6	116.5	134.1
10	106.0	138.1	106.6	140.1	― ―	― ―
11	120.6	141.2	120.5	145.7	121.2	144.1
平均	113.8	138.6	115.6	137.7	117.8	136.3
標準偏差	5.6	4.4	5.5	5.9	5.4	5.3

かったと思われる。

最大走および牽引走における脚の接地時点および離地時点での足関節角度を表19に示した。

接地時点における足関節角度は有意な差が認められなかったが，5 kgの張力による牽引走では大きくなる傾向にあった(10例中9例)。牽引走では，脚の接地中の地面反力が増加し[10]，接地時点における足関節角度が大きくなることと合わせて考えると，接地時点における足関節にかかる負担度は大きいことが予想される。このことは牽引走トレーニング後，足関節に痛みを感ずる症例があることからも一致する。

要　約

最大走と牽引走の比較から，つぎのような牽引走の特徴が明らかになった。

1．3 kgおよび5 kgの張力による牽引走の平均ランニング速度は，それぞれ9.83m/秒，10.36m/秒であった。また，最大走に対するその増加率は，それぞれ4.5%および10.5%であった。

2．牽引によるストライドおよびピッチの平均増加率は，3 kgの張力による牽引走ではそれぞれ1.7%および2.9%であったが，個人差の大きい結果が認められ，必ずしも増加しないことが示された。一方，5 kgの張力による牽引走ではそれぞれ5.1%および5.2%であり，その増加率は共に有意であった。

3．接地時間は，いずれの牽引走においても有意に減少することが示された。また，回復時間も牽引により減少する傾向がみられ，5 kgの牽引走で有意であった。

4．接地期での下腿の平均角速度は，いずれの牽引走においても有意に増加することが認められた。

5．脚の接地時点での膝関節および足関節角度は，牽引により大きくなる傾向があった。

引用文献

1) Bosco, C. and C. Vittori：Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. NSA 1．39-45(1986).

2) Bosen, K.O.：Experimental speed training. Track Technique 77：2382-2383(1979).

3) Dintiman, G.B.： Sprinting speed. 1st ed. pp. 138-157, Charles C Thomas：Illinois (1971).

4) Fishberg, B.A.：An analysis of overground and treadmill sprinting. Med. Sci. Sports Exerc. 15：478-485(1983).

5) Hoffman, K.：Stature, leg, length, and-stride frequency. Track Technique 46：1463-1469(1971).

6) 金原　勇：陸上競技のコーチング(Ⅰ)．第6版．pp.171-298，大修館：東京(1982)172-181.

7) 小林一敏，大島義晴：画像解析におけるフィルタリング．J. J. Sports Sci. 2：172-

181(1983).
8) Mann, R.V.: The biomechanical analysis of sprinters. Track Technique 94: 3000-3003(1986).
9) Mero, A. and P. V. Komi: Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. Int. J. Sport Biomech. 1: 240-252(1985).
10) Mero, A. and P. V. Komi: Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. Eur. J. Appl. Physiol. 55: 553-561(1986).
11) Mero, A. and P. V. Komi: Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. Med. Sci. Sports Exerc. 19: 266-274(1987).
12) Mero, A., P. V. Komi, H. Rusko and J. Hirvonen: Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters atmaximal and supramaximal speed. Int. J. Sports Med. 8 suppl.: 55-60(1987).
13) 宮下　憲，阿江通良，横井孝志，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: 892-898(1986).
14) 森田正利，関岡康雄，西藤宏司，宮下　憲，麻場一徳：Tow-training 法に関する一考察．日本体育学会第38回大会号A: 268(1987).
15) 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　3: 55-72(1973).
16) 佐久間和彦：4 x100m リレーにおけるバトン受け走者のスタート方法の検討．順天堂大学保健体育紀要　27: 105-111(1984).
17) Sandwick, C. M.: Pacing machine. Atheletic J. 47: 36-39(1966).
18) 杉浦雄策，青木純一郎：牽引走（supramaximal running）が走法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A: 312(1988).
19) Tansley, J.: Glendale's tow training for sprinters. Track Technique 78: 2473-2475(1980).
20) 山内二郎，森口繁一，一松　信：電子計算機のための数値計算法 I．第15版．pp.64-73, 培風館：(1975).

IV. トウ・トレーニングの実践的応用と留意点

報告者　村木征人　阿江通良　宮下　憲
伊藤信之

スプリントトレーニングに用いられる負荷のかけ方には2通り考えられる。疾走スピードを助長する負荷の与え方と，抑制する負荷の与え方である。前者は走者にとってマイナスの負荷，すなわち，負荷を軽減してより高いスピードレベルを生起させ，それによってスピードの養成をめざすものである。本研究のスプリント・アシスティッド・トレニング（Sprint Assisted Training）はこれに相当する。後者はスプリント・レジスティッド・トレーニング（Sprint Resisted Training）と言われるものであり，与えられる負荷に打ち勝って疾走を続けることによってスプリントに必要とされるパワーや筋持久力を養成するものである。

ここでは，本研究の主題であるスプリント・アシスティッド・トレーニングとして実践的に取り組まれてきた幾つかの代表的な方法を概括し，これまでの国内外でのトレーニング経験と若干の実験的研究から見出された実践上の留意点を付記した。

1．スプリント・アシスティッド・トレーニング法のタイプと特性

疾走の負荷軽減は作用する2つの方向，すなわち，水平及び垂直方向からの負荷のかけ方から規定され，両者は更に自然環境的な負荷条件と人為的負荷条件に大別される。

1）自然環境的な負荷の軽減法

自然環境条件を利用してより高い疾走スピードを生み出す方法は，以下の2つに大別される。

①　下り坂の利用

2ないし3度の下り勾配（5度以上では強過ぎる）の坂を全力で走り下る方法である。この方法では疾走中のストライドやピッチを同時に高めることができる。支持期後半で各脚関節を早い時期に伸展から屈曲に切換えられることから，特にピッチを高めるために有効な方法である。この方法は坂上り走や平地走と組合せることによって更に有効性を持つことが報告されている。

②　追風の利用

計画的に用いたり負荷をコントロールすることはできないが，風を背に受けた疾走では，疾走スピードが助長されることは周知の通りである。トレーニングで走方向を一定にせず，狙いに応じて風を利用すべきである。

③　滑らかで疾走に合った素材をコーティングした走路（全天候型走路）の利用

全天候型走路の普及によって，この走路でのトレーニングが日常的なものとなり，疾走条件を軽減する意味合いが減じつつあるが，この走路の出現によって走者が得た心理的負荷の軽減は計りしれないものがある。

2）人為的な負荷の軽減法

ここでは疾走を助長するために考案された機械・装置を用いる全ての方法を言う。これらの機械・装置によって走者を進行方向に牽引したり，走路を高速回転させることによって負荷を軽減する方法である。この負荷の軽減法は，用いる機械・装置の性能によって走者にかけられる負荷の性質を，等速性，等張性，そして前2者ほど厳密に負荷を規定できない変化する負荷とに区別することができる。

①　等速性牽引による方法

これには自動車，モーターバイク，スクター等

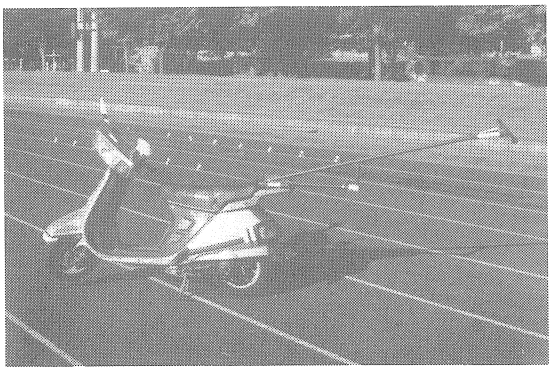


写真　牽引アームを装着したスクーターの例

の動力車に走者用取っ手（写真）やゴム性チューブを取り付けて走者を牽引したり，紐を巻取る小型エンジンによって走者を牽引したり，また，高速トレッドミルを用いることによって超最大速度に物理的に引上げる方法である。

ⅰ）自動車による牽引：

既に古典的な方法でもあるが，これらモータリゼーションを用いた方法はギアの変換のないものによって，またギア変換をスムースに行なうことによって目的とする走速度に到達させることが大切である。動力車に取っ手を付けたものは腕振り動作ができない欠点がある半面，牽引からの離脱が可能で安全性が高く，また自力疾走に直接結びつけることができる。一方，ゴムチューブを繋いだ場合には，走者は腕振りが自由となり自然な動作の中で超最大速度を迎えることができるが，離脱は前者より困難となる。

ⅱ）紐を巻取る小型エンジンでの牽引：

速度が表示されるものが良い。この方法では紐にたわみがでないように，スタートと終末部分での注意が必要である。

ⅲ）高速トレッドミルを用いる方法：

大がかりな装置を必要とする。日本では走行最大速度が毎分500mのトレッドミルが多く，超最大速度の為の練習には不十分である。近年改良型の高性能なものが出現しており，利用できそうであるが，バランスを保つことを含めた安全性の確保に十分に留意することが大切であろう。

等速性の負荷では走スピードを制御することができるので，段階的に超最大速度に到達させることが可能であるが，一方で受動的な疾走となり易い。走者によってはストライドの増加のみによって超最大速度を生起させる場合があり，注意が必要である。本研究で得られた示唆と同様に，意識的にピッチを高める走りを強調することが大切である。

②　等張性牽引による方法

この方法は本研究に用いられたもので，牽引張力を一定にするための特殊な装置が施された紐を巻取る小型モーターによって走者を牽引するものである（II参照）。この装置を用いた超最大走では等速性の牽引法に比べて，走者がストライドとピッチの両方を同時に高める主体的な疾走が行い易く，牽引する負荷としては理想的である。等速性の牽引法に比べて，疾走スピードの制御は牽引装置自体ではなされず，走者の主体的な努力に任されるが，牽引する張力をコントロールすることでこれを補うことが可能である。研究結果（II）に示されたように，いずれの牽引力を用いても走者の積極的な走りがトウ・トレーニングの成果に影響を持つ。

③　牽引力が変化する負荷を用いる方法

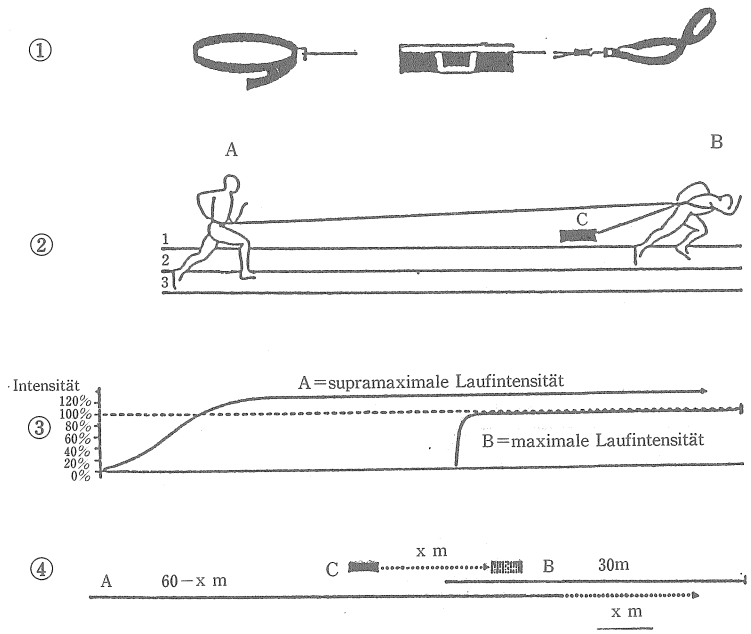
前述の2つの方法の様な負荷の正確な制御は難しいが，弾性チューブや滑車を利用した簡便な牽引装置による方法がここに含まれる。

ⅰ）弾性チューブを用いる方法：

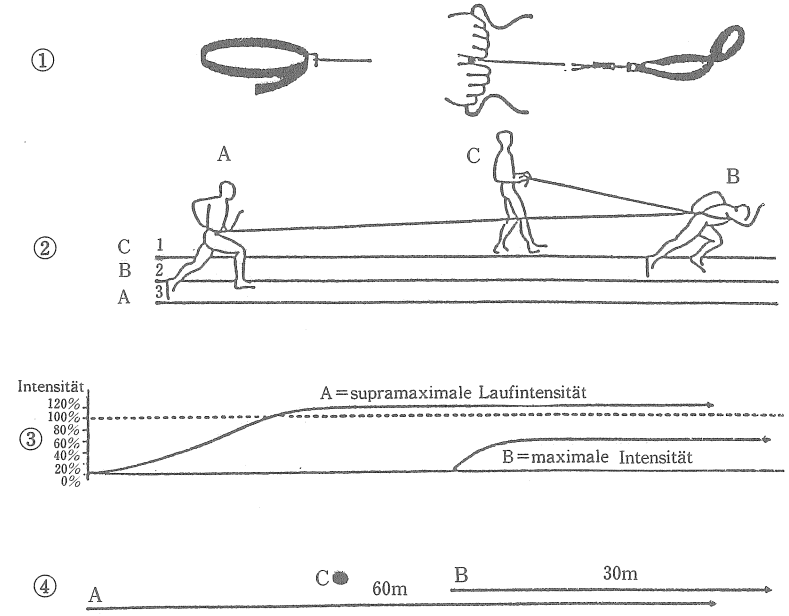
牽引する者とされる者との間にチューブを張り，牽引者が最初に走り出し，かなりの張力が発生した時に被牽引者がその張力を利用して走り始め，その後超最大速度に到達する方法である。この方法では走り始めに張力が大きく，非常にスピードの立上がりが早い疾走となり危険性を伴う。また，前で牽引する者がかなりの距離に渡って高速で走ることが要求される。スタートダシュの様な，静止した状態からの素早い走り出しの加速練習には有効であろう。

ⅱ）動滑車の原理を利用した牽引法：

この装置は，スイスのDr. E. SEBESTYENによって考案されたものであるが（商品名：SPEEDY），市販の自在滑車，ベルト，ロープを組合せて容易に手作りが可能である。この方法も牽引の原動力は，背中（又は腰）にベルトで滑車を



図A　動滑車式牽引法(移動支持型)
①必要部品(左から)：被牽引用ベルト・フック，移動固定用重り箱、牽引用ベルトと自在動滑車、並びにロープ
②配置：1コース＝重り箱(C)，2コース＝牽引走者(B)，3コース＝被牽引走者(A)
③負荷の経過：被牽引者の速度強度(A)，牽引者の速度強度(B)，破線は100%強度水準
④疾走移動距離：被牽引者(A)，牽引者(B)，重り箱(C)



図B　動滑車式牽引法(固定支持型)
①必要部品(左から)：被牽引用ベルト・フック，固定支持用ハンドル，牽引用ベルトと自在動滑車，並びにロープ
②配置：1コース＝コーチ(C)，2コース＝牽引走者(B)，3コース＝被牽引走者(A)
③負荷の経過：被牽引者の速度強度(A)，牽引者の速度強度(B)，破線は100%強度水準
④疾走移動距離：被牽引者(A)，牽引者(B)，固定支持位置(C)

付けた人間である。被牽引者は腰に細手ロープをひっかけるためのフックを付けたベルトをしめ，牽引者が引くのを待つ。ロープの長さは約50mで，一端は被牽引者のフックにひっかけられ，他端は牽引者の背中にある滑車を通り，地面に置かれている重りケースに固定するか，または補助者が保持する。ケースが重かったり補助者が動かない場合には，牽引者の2倍の速さで牽引される。この場合牽引者は，抵抗が大きくてそれほど早く走ることができないので，比較的緩やかに立上がった後，超最大速度に達することができる（図A参照）。

ケースが軽くて引きずられるような条件であったり，補助者が進行方向に平行して移動する場合には，牽引者への抵抗が軽減されるためにより大きな速度で牽引することが可能となる。従って走者の立上がりを早め，より大きな走速度に到達させることができ，しかも牽引される距離を長くすることができる。また，この方法では，走者は牽引された後，紐から開放されて自力疾走に移行することが可能である（図B参照）。

この牽引法は，牽引力や牽引スピードを確定できない欠点はあるが，2人1組で多少経験を積むことによってうまくスピードを立上げたり，速度の調整も可能となる。また何よりも，高価で大掛かりな装置を必要とせず，手軽に取り組める点でより実用的なものと言えよう。動滑車を用いて重りを引き摺る方法では，比較的一定の張力を得ることが出来ると同時に，牽引者へも大きな負担をかけずに十分な疾走距離を取ることも可能である。

2．トレーニングでの取り組み方

ここでは主に，本研究結果を踏まえながら，平行して取り組んできたこれまでの実験的トレーニング実践から導き出された，等張性の牽引装置を用いた超最大速度での疾走トレーニング実施の際の留意点をまとめた。

1）望ましい疾走フォーム

運動の前にまず機械によって引かれるという意識ではなく，積極的に走る意欲に満ちていなければならない。そして，集中力の高まった条件下で実施する必要がある。このような心理的条件下で，如何にピッチの上がる走り方をするかが課題となろう。そのためには第一に，積極的に地面を捉えることが大切である。回復期の脚の動きは後方に流れないように引き付けを先取りさせること，支持脚を通過する時に脚を高く運ぶこと，そして身体の前で地面を引き込むように捉えることが大切である。その結果，接地時間，特にその後半の時間の短縮が見られるような走りとなろう。

2）用いる運動強度

超最大疾走トレーニングでは全力走に対して110％前後の速度がよいとされている。その為には牽引力を5 kg前後にすることが必要とされる。しかし，主体的な疾走動作を保ちつつ，更にフォームの改善を求めるならば3 kg以下での最大及び最大下の負荷が適切であろう。練習課題によって負荷の与え方が異なるが，トウトレーニングの実際場面では与える負荷を1.5kgから始め，2－3段階を経て5 kg前後に漸増させることが勧められる。

3）取入れられる時期

このトレーニングは大変強度の高いものであり，特に中枢神経系に与える影響が大きいと考えられる。従って，年間を通して用いることは不可能であり，全力疾走が可能となるまでは用いるべきではないであろう。すなわち，試合期前半の試合準備期に集中して行ない，目標とするレースの2週間前には終えることが良いようである。

一方，本研究からの結果から，牽引後の全力走に超最大走の即時的効果が認められたことから，競技会でのウォーミングアップの一環として利用できる可能性が示唆される。「スピードはスピードを殺す」と言われるように，効果があるから何時でも用いるのではなく，用いる時期を間違えると怪我の誘発や，早期スピードの頭打ちの原因となることに注意することが大切である。

4）用いる距離，回数，休息法

紐を介した牽引という性格上，用いるのは直走路上であり，長さにして60mの牽引部とその後の停止用の30～40mの合計約100mで行なわれるのが一般的である。用いられる回数は4回から8回の範囲であるが，超最大疾走の反復は4回止りである。これにはZhukov,I.L.（1985）らが用いた練習法が参考になるであろう：2×60m（全力走の90％），2×60m（96％），2×60m（105％），2×60

m（110%）という練習を週2回，4週間行なっている。このように1回の練習の中で段階的に走スピードを漸増して課すことが勧められる。

このトレーニングは筋神経のコーディネーションを改善してより高い走スピードに達成させることが課題であり，エネルギーの出力系による考慮ばかりではなく，先にも述べたように中枢神経系の疲労をも考慮して，十分な休憩をとって反復することが大切である。

5）個人差の考慮

本研究結果でも明らかなように，走者の競技水準や疾走フォームの違いによっても顕著な個別性が認められる。鍛練された者はスピードの増加が主にピッチによるものであり，十分鍛練されていない者はストライドの増加による場合が多い。また，疾走フォームの違いによっても走速度に対する適応の仕方に違いが生ずる。従って，特に訓練性や技術性の低い者に対しては大きな牽引力を避け，余裕のある負荷でのフォーム作りから始めるべきである。

V．スプリントアシステッド・トレーニングにおけるトレーニング効果と安全性に関する考察

報 告 者　黄 川 昭 雄

はじめに

ＳＡＴ（sprint-assisted training）とは文字通りにトレーニングの一方法である。しかしながら，ＳＡＴの実施に当っては，その目的と効果が充分に理解されて行われているとは思われない。ＳＡＴの詳細については杉浦等の報告があるので改めてここでは触れないことにする。ＳＡＴはトレーニングであるからして，人の運動表現において神経系あるいは筋肉系，またはその両面において明らかなトレーニング効果が証明されなければならない。あるいは，ＳＡＴの客観的なトレーニング強度の基準が提示される必要がある。

ＳＡＴの実施の中で現在共通認識と思われているところは，未経験の高速走速度を与えることによってより高度な走技術の獲得を目指すという点にあると思われる。確かに，スピードの身体感覚に及ぼすトレーニング効果は否定できないものがあるが，走技術を単的に改善する目的でＳＡＴが効果あるものとは考えにくい。その根拠は，運動の法則とエネルギーの関係，および筋力と身体傷害の相関から述べることができる。

本報告では，ＳＡＴのトレーニング安全性を検討することを目的として，ＳＡＴを筋力トレーニングとして捕らえ，そのトレーニング理論を客観的に解釈すると共に，トレーニング傷害性を防止するためのＳＡＴ強度基準を求めるための基礎資料を提供するものである。

SATのトレーニング目的の本質

走運動中に人体は空気抵抗を受ける。その抵抗力は走速度が増すにつれて増加することは経験的にも理解できる現象である。空気抵抗（Ｆ）を式に表すと表１のようになる。走者の進行方向の断面積を0.5m²と仮定するとＦ＝9.03pv/t となる。

１気圧，25℃，無風状態で10m/sec の速さで走ると空気抵抗力は3.030kg, 14m/sec の速さとなると，5.940kg となる（表２）。一般的に考えれば，無風条件下で陸上短距離選手は全力疾走中に常に３～６ kg の空気抵抗を受けていることになる。これに向かい風，追い風の影響が加わると空気抵抗力が変化することは容易に理解できる。ＳＡＴの具体的方法は，走方向前方から一定の力によって走者を牽引し空気抵抗を０ないしはマイナスにす

表１　走運動中の空中の空気抵抗力

$$F=\frac{1}{2}\cdot\frac{r}{g}V^2s$$　（ベルヌイの法則）

$$r=354\cdot p/t$$
（ボイルシャルルの公式より）

Ｆ＝空気抵抗力〔kg〕
r＝空気の比重〔p/t〕
ｐ＝圧力　〔atm〕
ｔ＝絶対温度　〔'K〕
ｖ＝速度　〔m/sec〕

表２　温度・気圧と走運動中の空気抵抗力

走者の速度〔m/sec〕	走者が受ける空気抵抗力〔kg/1atm. 25℃〕
2	0.121
4	0.485
6	1.090
8	1.940
10	3.030
12	4.360
14	5.940

表3　運動エネルギーと筋力の関係

（重心移動エネルギー）　（重心位置エネルギー）

① $1/2\ mv^2 + mgh = 一定$

m：体重
v：走速度
g：重力加速度
h：重心の高さ

② $1/2\ v^2 + gh = \frac{エネルギー}{m} \fallingdotseq \frac{筋力}{m}$

ることである。牽引力は機械動力によってなされる。

ＳＡＴのトレーニング効果を考えるとき，ＳＡＴでの走運動は走者の意思とは無関係に機械力によって一定の仕事量が決定されてしまうことを理解すべきである。牽引力が一定であるから機械が走者になす仕事は一定であり，走者がＳＡＴによる走運動を保つためには牽引速度によって規定される機械的エネルギーと同等の運動エネルギーを機械に対し供給しなければならない。すなわち，走者を未経験の走速度で走らせることにより得られるトレーニング効果は，運動エネルギー供給機構の質的変化に求められる。

運動エネルギーは筋繊維の収縮によって発生するものであり，すべての運動トレーニングの目的はエネルギー発生効率の改善を目指すものである。以上のことから，ＳＡＴのトレーニング目的は機械的に走速度を上げることによって，これまでに筋肉が経験したことのないエネルギー供給を求め，その結果として筋力増加を含む筋肉組織および神経筋強調性の改善をはかるものである。

運動エネルギーと筋力の関係

すべての運動エネルギーは筋肉から供給される。筋力の最大値（最大筋力ＭＶＣ）はエネルギー供給能力の大きさを表すと理解すべきである。人も質量を有する物体と考え，閉鎖運動系を仮定するかあるいは一定の仕事をし続ける状態を想定すれば，運動の法則とエネルギー保存の法則から筋力とエネルギーの関係が明かになる（表３）。①式はエネルギー保存の法則である。ＳＡＴにおいては一定の運動エネルギーを要求されることから，この①式を適応させることができる。ランニングの場合，重心位置の変化によるエネルギー変動は少ないと仮定できるために，運動エネルギーは速度の変数となる。速度を増加することによって求められる運動エネルギーを筋肉が供給できるように適応することがＳＡＴの目的である。

ＳＡＴにおいては速度（ｖ）も一定になるので運動エネルギは質量（体重）に比例することになる。すなわち一定の運動条件を設定すれば，人の場合筋力は体重に比例することが理解できる。体重の多い者ほど多くの運動エネルギーを必要とし筋力を発達させざるを得ない。筋力の絶対値は運動能力を表すものではなくエネルギー供給能力を示すものであることの認識が必要である。

筋力に関してさらに重要なことは，一定の運動（一定の速度と重心の高さを維持）を続けるためには，①式で求められたエネルギーをＥとすれば，２Ｅのエネルギーを筋肉が供給しなければならないということである。移動エネルギーと位置エネルギーの総和は，実際には合成ベクトルとして大地に衝突するエネルギー（衝撃エネルギー）に変わる。筋肉がＥのエネルギーしか供給しなければ動きは止まってしまうことになる。したがって一定の重心位置を保って運動を行うためには２Ｅのエネルギーが必要になる。

筆者は下肢の運動機能と大腿四頭筋に関する臨床的調査結果から，大腿四頭筋ＭＶＣを体重１ kg 当りの数値で表すと，一定の運動機能を評価する客観的指標になることを報告してきた。それは運動エネルギーとエネルギー供給源としての筋肉の関係および体重との相関から，体重の移動を伴う運動に必要なエネルギーが大腿四頭筋筋力に依存しているためと考えられる。大腿四頭筋の強化は医療的リハビリテーションにおいても競技のための下肢筋力においても経験的になされてきている事実は否定できない。筆者はこの大腿四頭筋ＭＶＣを体重で除した値，すなわち体重１ kg 当りの筋力を体重支持指数（ＷＢＩ：weight bearing index）と呼び，トレーニング目的およびトレーニング効果の指標として有用であることを証明している。

図１，表４は下肢のスポーツ傷害後のＷＢＩと下肢機能の関係を調査したときの結果を示したも

のである。一定の運動機能を行うための最低限の筋力が体重に密接に関係していることが明らかである。一般性人および子供たちの体重と脚筋力の関係を日常生活の範囲で調べると，ＷＢＩにして0.6以上の数値を維持していることが理解できる(表5)。異なる競技レベルでの比較においても，競技スポーツを行うにおいてＷＢＩは1.0以上である(表6)。

競技におけるトレーニングとは，筋力にエネルギー負荷を掛けることに他ならないのである。そして一定のトレーニング効果を期待し，なおかつ身体組織の安全性が確保されねばならない。その意味において，トレーニングが計画されたときには，まず各個人のＷＢＩを把握してエネルギー供給能力に見合ったトレーニングの質・量を決めるべきである。

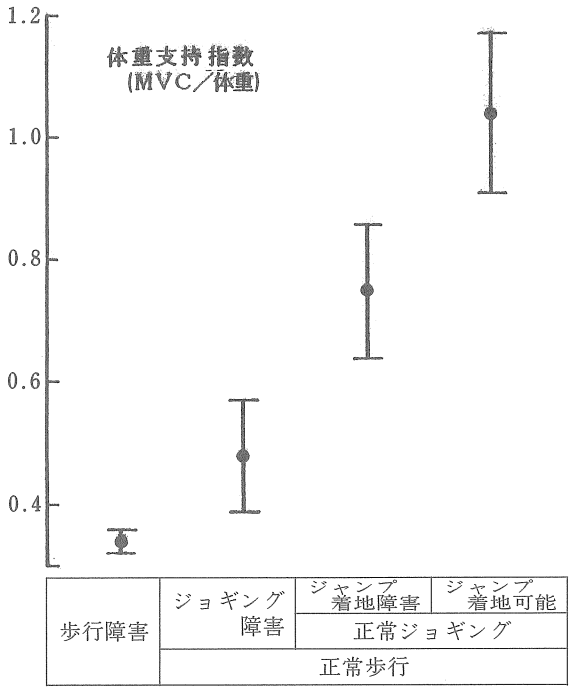


図1　体重支持指数(WBI)と下肢運動機能の関係

ＳＡＴにおける傷害性の可能性について

走速度を増加させることによるＳＡＴのトレーニング効果は筋力強化トレーニングであると結論付けることができる。運動エネルギー増大に伴う身体と地面との間の衝撃エネルギーは，個人の脚筋力に無関係に機械の牽引力によって決定されてしまう。筋力すなわち体重支持指数（ＷＢＩ）が劣る者は衝撃エネルギーを処理し切れず，走フォームの乱れあるいは適応障害としての医学的臨床

表4　体重支持指数

$$WBI = \frac{\text{大腿四頭筋MVC}}{\text{体　重}}$$

体重支持指数	運動機能
1.0	最低限の競技動作
↑	↑
0.6	最低限の日常動作
0.4	正常歩行の限界

表5　年代別および男女別のWBIの比較

年代	男性 (N)	男性 WBI (標準偏差)	女性 (N)	女性 WBI (標準偏差)
70代	(10)	0.70 (0.14)	(6)	0.70 (0.15)
60代	(17)	0.80 (0.16)	(13)	0.64 (0.10)
50代	(11)	0.84 (0.18)	(19)	0.70 (0.12)
40代	(3)	0.96 (0.25)	(24)	0.82 (0.09)
30代	(6)	1.08 (0.14)	(6)	0.79 (0.19)
10代	(46)	0.92 (0.21)	(10)	0.79 (0.15)

表6　運動競技レベルによるWBIの比較

運動レベル	(N)	平均ＷＢＩ(標準偏差)
十種競技(6500点以上)	(11)	1.24 (0.10)
男子体育大学生	(484)	1.03 (0.19)
高校運動部員	(133)	1.16 (0.17)

症状を呈する可能性がある。ＳＡＴを負荷してランニング障害を作り出す実験は許されることではない。そこでランニングを主体としたトレーニングを負荷することで，脚筋力とランニング障害の発生の関係を調査した。

調査対象は，本格的なランニングトレーニングの経験のない高校野球部員59名であり，冬季トレーニングの一環として１ヶ月間の走トレーニングを実施した。全体を野球の能力や学年に関係なく，体重支持指数の値によって３群に分けた（表７）。

Ａ群はＷＢＩ値1.31以上の者16名。これらはランニング障害を起こさない群と仮定し，ハードルを使った跳躍補強，連続ダッシュ，300m インターバル走，および7.5km 走を90分間に消化させた。

Ｂ群はＷＢＩ値1.11以上1.30の者23名。これらは体重支持力不十分な群と判断しＡ群の70％のトレーニング内容を負荷した。

Ｃ群はＷＢＩ値1.10以下の者20名。これらは走トレーニング不適格群とし，身体重心の上下動を伴うトレーニングおよび量的な走り込みを禁止し，基礎的な筋力トレーニングに終始した。

トレーニング終了後の調査では，３群における50m 加速走タイムは平均0.2～0.3秒の記録短縮が認められ，脚筋力の増加も認められたが３群間の統計的有意差はトレーニングの前も後も無かった。ただし３群間において差が認められたものはランニング障害の発生率であった。Ａ群においては障害例は１例も無く，逆に軽いトレーニング内容のＢＣ群全体で40％の障害発生を確認した。これらは予測できた障害のため，適切な処置をし早期にトレーニングに復帰させることができた。

このＷＢＩ値からランニング障害を予測することは，競技力向上を目的とするトレーニングを行う上で画期的な試みということができる。ＷＢＩ値に差があれば負荷する運動量を変えざるを得ない。しかし負荷量がＷＢＩに見合った適切なものならば，負荷の質にかかわらずそれぞれに記録向上が期待できることが証明された。

ＳＡＴと走技術の関係について

ＳＡＴを処方するに際して，一律に牽引力を負荷することは危険としか言い様がない。また走能力持ちタイムで個人の運動能力を分類することも不可能である。それらの理由はこれまでに論じてきた通りである。

ＳＡＴでの牽引走において走フォームが安定する者はＷＢＩ値が高い者であり，走フォームが乱れる者はＷＢＩ値が低い者であることが推測できる。ＳＡＴは走速度を上げることにより筋エネルギー供給負荷を与えるトレーニング形態である。

表７　ランニング障害と筋力および走能力の比較

		ＭＶＣ (Kg)	体重 (Kg)	ＷＢＩ	50mタイム	ランニング障害
Ａ群	Ｙ．Ｓ．	104.3	70	1.49	6′01	
	Ｋ．Ｍ．	91.4	63	1.45	6′09	
	Ｍ．Ｒ．	81.1	58	1.41	6′72	
	Ｓ．Ｏ．	93.1	67	1.39	5′71	
	Ｋ．Ｕ．	70.4	51	1.38	6′55	
	Ｈ．Ｙ．	93.8	68	1.38	6′59	
	Ａ．Ｉ．	81.4	59	1.38	6′23	
	Ｔ．Ｋ．	88.4	65	1.36	6′06	
	Ｍ．Ｏ．	76.2	56	1.36	6′05	
	Ｉ．Ｔ．	69.7	52	1.34	6′08	
	Ｔ．Ａ．	67.8	51	1.33	6′37	
	Ｓ．Ｇ．	97.1	73	1.33	6′04	
	Ｈ．Ｏ．	88.4	67	1.32	6′36	
	Ｙ．Ｓ．	79.9	61	1.31	5′78	
	Ｈ．Ｍ．	76.6	59	1.31	6′53	
	Ｍ．Ｙ．	70.7	54	1.31	6′63	
Ｂ群	Ｎ．Ｇ．	91.6	71	1.29	5′78	
	Ｔ．Ｋ．	81.3	63	1.29	6′54	
	Ｋ．Ｗ．	104.5	81	1.29	6′65	
	Ｋ．Ｂ．	69.1	54	1.28	6′24	
	Ｋ．Ｊ．	73.7	58	1.27	6′07	
	Ｓ．Ｈ．	86.9	69	1.26	6′33	大腿屈筋挫傷
	Ｋ．Ｂ．	80.0	65	1.23	6′36	腫骨後粘液包炎
	Ｋ．Ｒ．	73.2	60	1.22	6′60	シンスプリント
	Ｓ．Ｈ．	78.1	64	1.22	6′33	
	Ｍ．Ｍ．	65.9	54	1.22	6′18	
	Ｉ．Ｗ．	73.2	60	1.22	6′13	
	Ｋ．Ｇ．	86.6	71	1.22	6′47	足関節捻挫
	Ｋ．Ｂ．	67.8	56	1.21	7′01	大腿四頭筋挫傷
	Ｈ．Ｍ．	69.0	58	1.19		
	Ａ．Ｋ．	66.1	56	1.18	6′70	
	Ｎ．Ｋ．	87.3	74	1.18	6′07	大腿内転筋挫傷
	Ｉ．Ｉ．	72.5	62	1.17	6′11	
	Ｓ．Ｍ．	64.4	55	1.17	7′09	シンスプリント
	ＳＳ．Ｍ．	72.3	64	1.13	6′41	
	Ｍ．Ｒ．	65.5	58	1.13	6′13	梨状筋症候群
	Ｉ．Ｓ．	70.6	63	1.12	6′92	膝関節炎
	Ｋ．Ｋ．	78.8	71	1.11	6′45	
	Ｉ．Ｍ．	88.8	80	1.11	6′93	
Ｃ群	Ｏ．Ｚ．	69.3	63	1.10	6′64	足関節捻挫
	Ｓ．Ｋ．	67.7	62	1.09	6′23	シンスプリント
	Ｉ．Ｋ．	69.6	65	1.07	6′30	
	Ｎ．Ｇ．	79.2	74	1.07	6′28	シンスプリント
	ＮＳ．Ｅ．	74.2	70	1.06	5′85	足関節捻挫
	Ｓ．Ｓ．	75.3	71	1.06	6′39	
	Ｗ．Ｔ．	63.0	60	1.05	5′64	
	Ｋ．Ｕ．	70.4	67	1.05	6′45	
	Ｔ．Ｋ．	85.3	82	1.04	6′40	大腿内転筋挫傷
	Ｓ．Ａ．	64.5	62	1.04	6′50	
	Ａ．Ｒ．	59.7	58	1.03	6′50	
	Ｔ．Ａ．	60.0	60	1.00	6′42	
	Ｈ．Ｏ．	76.0	76	1.00	6′43	
	Ｉ．Ｗ．	71.0	71	1.00	6′26	
	Ｔ．Ｔ．	66.6	68	0.98	6′24	
	Ｎ．Ｋ．	63.7	67	0.95	5′99	
	Ｍ．Ｙ．	76.0	80	0.95	6′32	膝関節炎
	Ｔ．Ｎ．	54.0	60	0.90	6′65	
	Ｕ．Ｉ．	60.7	69	0.88	7′01	鷲足炎
	Ｋ．Ｚ．	54.6	65	0.84	6′15	シンスプリント

したがって，確実なトレーニング効果を求め，かつトレーニング安全性を確保するためにはＷＢＩの把握が不可欠である。そしてＷＢＩ値によってＳＡＴの牽引力をコントロールする必要がある。

表８は金久が報告した各種競技の全日本学生代表選手の身体プロフィールからＷＢＩを算出したものである。運動競技を行うには貧弱な筋力としか言えない。彼等に一律にＳＡＴを負荷したならばほとんどの者がランニング障害を起こしてしまうであろう。

体重支持指数(ＷＢＩ：weight-bearing index)の算出方法について

ＷＢＩの算出方法は表４の如くであり，大腿四頭筋の最大筋力（ＭＶＣ）を測定し，体重比を求めればよい。したがって問題はＭＶＣの測定方法にある。

最も一般的な方法としてはケーブルテンションメーター，あるいはストレインゲージ歪計などを用いて等尺性最大筋力を測定する。

最近は等速度運動負荷器（アイソキネティックマシーン）が普及し筋力をトルク値で表現する傾向が多いが，トルク値から筆者の提唱するＷＢＩを求めるためには物理的に単位換算を行わなければならない。そこで等速度運動負荷でのＭＶＣ測定の注意点を述べる。

1．測定前に必要な数値は，体重，およびトルク入力桿の支点から入力点までの距離(m, ft)である。
2．大腿四頭筋ＭＶＣの測定肢位は座位で，膝は70°屈曲位とする。
3．ＭＶＣがトルク値で測定可能な機種においては，得られたトルク値(N･m, ft･Lbs)を入力桿の長さで割って力（N, Lbs）を求める。さらにＮ単位は9.8で割り，ftは通常の換算率でkg値を求める。
4．Cybexマシーンはキャリブレーション法でＭＶＣを求める。あらかじめ被検者が使用する入力桿の位置で40kg重量の錘(重量は問わない)で記録用紙にキャリブレーションする。

表８　全日本学生代表選手の体重，脚力及びWBIの比較

種目（n）		平均重量（kg）	大腿四頭筋MVC（kg）	ＷＢＩ
（男　子）				
サッカー	(11)	67.4	82.4	1.22
スピードスケート	(16)	69.6	84.4	1.21
パワーリフティング	(13)	66.3	76.0	1.15
重量挙げ	(10)	75.7	85.0	1.12
陸上短距離	(5)	62.8	69.7	1.11
ボート	(22)	72.2	79.9	1.08
バレーボール	(8)	72.8	71.5	0.98
中長距離	(10)	56.9	54.7	0.96
レスリング	(31)	75.8	71.8	0.95
相　撲	(14)	98.9	82.9	0.84
柔　道	(11)	100.8	82.1	0.82
一般男子学生	(42)	65.2	59.6	0.91
（女　子）				
スピードスケート	(9)	58.1	67.1	1.16
投てき	(10)	69.5	73.8	1.06
バレーボール	(6)	66.7	60.8	0.91
クラッシックバレー	(10)	46.6	36.9	0.79
一般女子学生	(36)	56.0	39.5	0.71

個人によって入力桿のトルク入力位置（レバーアーム長）違うので，必ずそれぞれの位置でのキャリブレーションを行う。
5．Cybex角速度0°/秒にて記録紙にトルク曲線を描き，その最大値と先に得た40kgのキャリブレーション値からＭＶＣを算出する。

おわりに

ＳＡＴのトレーニング目的とその効果を，ＳＡＴが筋力トレーニングの１方法であることの認識が必要である。ＳＡＴの安全性と確実なトレーニング効果を求めるためには大腿四頭筋筋力からＷＢＩを求め，そのＷＢＩ値によって牽引力をコントロールすることが重要である。

参考文献

1）黄川昭雄ら：スポーツ障害予防のための下肢筋力評価。整形外科スポーツ医学会誌　6：141-145，1987.
2）黄川昭雄ら：体重支持力と下肢のスポーツ障害。J. J. Sports Sci.，5：837-841，1986.
3）黄川昭雄ら：アスレティックリハビリテーションにおける下肢の機能評価および筋力評価。臨床スポーツ医学　5：213-215，1988.