

昭和54年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IV アイソキネティック・トレーニングに
関する基礎的研究

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和54年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IV アイソキネティック・トレーニングに関する基礎的研究

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学委員会「アイソキネティック・トレーニングに関する基礎的研究」班

班長 宮下充正¹⁾

班員 山川純²⁾ 金子公宥³⁾ 金久博昭¹⁾
小田伸午¹⁾

担当研究員 金子敬二⁴⁾

目 次

1. 筋力トレーニングの基本的な考え方 1
 2. アイソキネティック・トレーニング 7
—運動速度とトレーニング効果の関係について—
 3. アイソキネティック位置による力・速度・パワーの測定 18
 4. 女子投げ選手におけるアイソキネティック・トレーニングについて 24
- 資料：スポーツ選手の等速性筋出力 36

1. 筋力トレーニングの基本的な考え方

宮下充正 金久博昭

1. 運動を引き起こす筋の働き

人間の身体運動はすべてその運動に必要な筋が収縮し骨格が動かされることによって可能となる。人間の筋には平滑筋、心筋、骨格筋の3種類があり、これらの筋のなかで骨格筋はスポーツ活動や作業など身体の動きを直接的に生み出していく。

脚注 ¹⁾東京大学教育学部体育学研究室 ²⁾日本女子体育大学 ³⁾大阪体育大学 ⁴⁾財日本体育協会スポーツ科学研究所

る。心筋は心臓壁を構成しており、平滑筋は心臓以外の内臓諸器管の壁を形作っている。骨格筋以外の筋は意志にかかわらず自動的に収縮を繰り返しており不随意筋と呼ばれる。これに対し骨格筋は随意筋と呼ばれ、神経系を介し、大脳から伝達される司令によって収縮、弛緩を行っている。したがって人間は自分の意志によって身体の動きをコントロールすることができるるのである。

「身体活動を引き起こす」という骨格筋は収縮特性の異なる3種類の筋線維から構成されている。筋の種類によって収縮速度、持久力および張力の発揮能力に差異があることは、古くから筋全体の色調の違いによって認識してきた。すなわち赤い筋（赤筋）と白い筋（白筋）である。筋の色が収縮特性と関連があることを初めて示したのは Ranvier (1873)で²⁷⁾、彼はウサギの下肢筋を調べ白筋は赤筋より速く収縮すると報告した。それ以後同様な報告^{5), 8), 11), 20)}がいくつもなされ、原則的には白筋は収縮速度は速いが持久性に劣り、赤筋は白筋とは逆に収縮速度が遅いが持久性が高いとされてきた。ところが、赤筋でありながら白筋同様の収縮速度を示す筋もあり^{17), 22), 24)}、色調の違いによって筋の収縮特性を述べることに限界のあることが示された。

このような色調に基づく筋の分類の限界に対し、最近の組織化学および生化学的分析技術の進歩は、筋を構成する個々の筋線維の収縮特性をより正確に把握することを可能にした。

生きている人間の筋線維の分類は次のような手順で行われる。まずバイオプシーと呼ばれる直接人体から筋標本を取り出す方法によって微量の筋線維を得る。次に取り出した筋線維の酵素の活性度を知るために酵素染色を行なう。筋線維の収縮速度および持久能力の違いによって酵素の活性度が異なりその差は染色度（染まり具合）に現われる所以ある。このような方法によって人間の筋線維は次の3つに分類される。

FG線維 (Fast twitch glycolitic fiber)

速く収縮し発揮する張力も大きいが疲労しやすい。

SO線維 (Slow twitch oxidative fiber)

収縮速度は遅いが持久能力に優れている。

F OG線維 (Fast twitch oxidative glycolitic fiber)

FG線維とSO線維の両方の性質を有し、収縮速度も速く、持久力もある。

以上3種類の筋線維は収縮速度における特性からFG線維とFOG線維は速筋線維(Fast twitch fiber), SO線維は遅筋線維(Slow twitch fiber)とも呼ばれている。

また、これらの筋線維を支配する神経系はそれぞれ異なる性質を有しており、神経系と筋系を一緒にした運動単位もその収縮特性から3つのタイプ(FF, FR, SR)に分類されている^{2),3)}。このような分類と前述した酵素の活性度に基づく分類はお互いに対応すると考えられている。

それぞれ収縮特性の異なる筋線維はあらゆる身体活動において、すべて筋力発揮に関係しているのではなく、運動様式に応じて選択的に動員されてくる。例えば陸上競技における短距離走、跳躍および投げといった種目では、FG線維やFOG線維が、長距離走やクロスカントリーのような持久的な運動ではSO線維およびFOG線維が主に出力の発揮を担う¹²⁾。すなわち、ある運動をしようとするときに使用される筋線維は、その運動にふさわしい能力をもつものから活動を始めるの

である。

筋線維の動員様式に選択性があることは、個々の筋線維の収縮に必要なエネルギー供給様式をみるとことによって理解できる。すなわち、筋が収縮し力を発揮するときのエネルギーはATPが分解することによって遊離されるが、筋中に微量にしか存在しないATPを再合成する機構が筋線維の種類によって異なるのである。

FG線維では主として解糖といわれるグリコーゲンの無酸素的な分解によってATPが再合成される。この解糖によって遊離されるATP再合成のためのエネルギー産生速度はきわめて大きく力強い運動が遂行可能となる。しかし、筋中のグリコーゲンの減少および無酸素的過程のために生じる乳酸の過剰蓄積は筋収縮に必要な生化学的反応を遅延させるため、ATPの再生が遅れ疲労しやすいことになる。

SO線維では、主として酸化といわれるよう、解糖によって生じるピルビン酸を酸化することにより生じるエネルギーによってATPが再合成される。酸化によってATP再合成のためにもたらされるエネルギー産生速度は小さく、弱い運動を遂行できるにすぎないが、酸素は血液中のヘモグロビンによって体外から心臓の力によって筋へと運搬されるため、酸素の補給が十分であれば疲労しにくいことになる。

FOG線維はFG, SOの両線維の機構をそなえているという。

したがって、短時間で終了する速やい力強い運動では解糖が主体であるFG線維およびFOG線維が、長時間持続する運動では酸化が主体であるSO線維およびFOG線維がそれぞれ出力の発揮を担うことが運動遂行のために能率的であるといえる。

2. トレーニングと筋線維

骨格筋に速筋線維と遅筋線維が占める割合（筋組成）を調べた研究から^{7),8),9),14)}、スポーツ選手の筋組成と競技種目との関連が明らかにされてきた。それによると短距離走、跳躍及び投げのように極めて短時間に大きな筋力の発揮を要求される種目に参加する選手は速筋線維の占める割合が高い。逆に長距離走のように長時間の持続的な運動

に参加する選手は遅筋線維の占める割合が高い。

このようなスポーツ選手が示す筋組成は先天的なものであるといわれている。すなわち速筋線維は持続的なトレーニングを実施することによって酸化能力を高めることができる¹⁾とはいえる、筋に速筋線維が占める割合はいかなるトレーニングによても変化せず^{13),30,33}、遺伝的要因が強い¹⁹⁾とされている。

さらに筋組成と作業成績との関係について検討した研究^{16),31),32)}によれば、速筋線維の占める割合の高い者ほど瞬発的な筋力発揮に優れており、逆に遅筋線維の占める割合の高い者は持続的な運動に優れていることが報告されている。このような結果は個人の運動能力の限り、トレーニングの可能性はあまり残されていないことを示しているように思われる。しかしながら筋は日常生活における使い方やトレーニングによってその能力に変化が生じる。例えば、筋力は職業の種類あるいは年齢によって異なる。さらに意図的にトレーニングすれば筋力は向上し、逆に骨折した時のようにギブスを当てていると不使用のため、筋は細くなり筋力は低下する。このような変化は筋が外界から与えられる刺激に対し適応する能力を持っているためもたらされるものである。それゆえ速筋線維と遅筋線維の数の割合は遺伝的要因が強く変化しないとはいえたトレーニングによって、なんらかの変化が筋線維レベルにおいて生じていると考えられるのである。

トレーニングが筋線維に及ぼす影響についてまず挙げられることは、トレーニングの内容によって変化を示す筋線維が異なることである。例えば、持続的トレーニング¹³⁾では遅筋線維が、瞬発的トレーニングでは速筋線維がそれぞれ選択的に肥大される。つまり持続的トレーニングはエネルギー供給機構でみると酸化を主であるため、SO線維およびFOG線維といった酸化をエネルギー供給機構としている筋線維が動員されトレーニングされる。一方、瞬発的トレーニングでは解糖をエネルギー供給機構にもつFG線維およびFOG線維が動員されトレーニングされるのである。

かなり強度の高い持続性トレーニングを実施することによって、FOG線維の占める割合を増加

させることができると報告されている¹¹⁾。FOG線維の増加は酸化系酵素の活性度の低いFG線維が持続性トレーニングによってFOG線維へと転化した為にもたらされたものと推定されている。またこの変化は表裏一体で、Faulkner¹⁰⁾らの報告によればトレーニングの中止によってFOG線維からFG線維への転化が生じるという。

要するに、トレーニングによって遅筋線維と速筋線維の占める数の割合を変化することはできないが、高めようとする出力に必要な筋線維の機能を向上することはできるわけである。したがって、筋線維がトレーニングに対し示す適応のメカニズムを把握することは適切なトレーニングの方法を知るうえで重要な手がかりとなるのである。

2. 筋力トレーニングのねらい

スポーツ・トレーニングにおいてまず問題となるのは、どの程度の筋力を得ようとしているのかということである。身体運動における人間の出力について、Fox¹²⁾は筋収縮に必要なエネルギー供給過程から次の4つの段階に分類している。

- ① ATP-CP機構を主とする運動
- ② ATP-CPおよび乳酸性機構を主とする運動
- ③ 乳酸および有酸素的機構を主とする運動
- ④ 有酸素的機構を主とする運動

運動時間は①から順に長くなり、発揮される出力をパワーで評価すると①がハイ・パワー、②および③がミドル・パワー、④がロー・パワーの運動ということになる。

筋力トレーニングがねらいとするのは①および②における出力パワーの向上である。そのためには出力パワーの高い速筋線維を最大限にトレーニングする方法、すなわち常に速筋線維が動員されているような方法でトレーニングを行なう必要がある。

ところでトレーニングによってFG線維をFOG線維に変えることは可能ではあるが、いかなるトレーニングを行なってもSO線維の性質を速筋線維のもつ性質に変えることはできない。このことは筋の収縮速度をトレーニングによって向上させることの困難さを示している。すなわち、すばやい動作中に発揮されるパワーを確実に増加させ

ていくためには、力を規定し運動速度を増加させるか、逆に運動速度を規定し動作中に発揮される力を増加させるようなトレーニングがなされなければならないのである。このように筋線維の性質からトレーニング中の運動速度が重要な意味をもつことが理解される。

筋力強化の方法として一般的に用いられているアイソメトリック (Isometric) およびアイソトニック (Isometric) トレーニングでは発揮する力に重点がおかれ、運動速度についてはほとんど考慮されていない。しかしながら、Hellebrandt と Houtes¹⁵⁾ の報告にあるように、テンポ、スピードといった運動のペースの増大が負荷の増大と同じようなトレーニング効果をもっており、運動のペースを高めていくことにも注意が払われるべきであると指摘されている。

そこでアイソメトリック・およびアイソトニック・トレーニングのように、予め発揮される力を規定してしまうトレーニング方法に対し、運動速度を規定し、ある一定の速度内で力を発揮させるというトレーニング方法が開発された。アイソキネティック (Isokinetic)・トレーニングである。

Isokinetic という言葉は Same あるいは Constant (Iso-) motion(kinetic) ということを意味している⁶⁾。邦語では従来の“等尺性(Isometric)”, “等張性(Isotonic)”に対し、“等速性”もしくは“等運動性”と訳されている。本研究報告書では、運動速度を規定し、トレーニングを行なわせるというアイソキネティック・トレーニングの特徴から“等速性”という言葉を用いる。等速性という概念は当初はリハビリテーションの領域で研究されてきたが、Thistle ら²⁹⁾がアイソキネティック・トレーニングはアイソメトリックおよびアイソトニック・トレーニングより筋力の増加率が高いことを報告して以来、スポーツ選手の筋力トレーニングとして注目されるようになった。

一般に、運動部位には動作開始から終了まで加速度を生じるため、運動速度が一定になることはない。アイソキネティック・トレーニングでは、運動速度を人工的に一定にし、規定された速度より速く運動を行なおうとした場合、その速度を越えようとする力、つまり加速度を発生する力が抵

抗として筋にかかる。

一方、発揮する力は関節角度の変化に伴ない異なってくる。アイソトニック・トレーニングでは、一定の重量物を動かすのであるから外的に筋に加えることのできる負荷は一定である。したがって、アイソトニック・トレーニングでは、筋が最大に発揮できる力（最大筋力）に対する同一比率で負荷をかけるため、筋の受ける負荷は筋が収縮する範囲によって一定ではなくなる。それに対し、アイソキネティック・トレーニングでは規定された速度で最大に発揮できる力、すなわち最大の負荷が各関節角度において筋にかかることになる。

このような筋に対する負荷の違いは筋電図からも知ることができる。等尺性、等張性 および 等速性の各収縮様式における筋放電量を比較した Rosentwieg・Hinson²⁸⁾ の報告によれば、等速性筋収縮における筋放電量は等張性筋収縮にくらべて有意に高く、さらに等速性筋収縮の場合、関節角度における筋放電量には有意差がみられなかつたのに対し、等張性筋収縮では関節角度によって有意差がみられたという。このような結果はアイソキネティック・トレーニングでは、全可動範囲において、筋が充分にトレーニングされることを裏付けるものである。

4. アイソキネティック・トレーニングの効果

アイソキネティック・トレーニングに関する研究は、主に次の 2 点について検討してきた。すなわち、アイソメトリック、およびアイソトニック・トレーニングとの比較、そしてアイソキネティックトレーニングにおいて運動速度の違いがトレーニング効果に及ぼす影響である。

Thistle ら²⁹⁾は、アイソメトリック、アイソトニック、アイソキネティックの各トレーニングを週 4 日、8 週間行なわせた結果、総仕事量およびピーク・フォース（トルク曲線で最も高い値）の増加は、アイソキネティック・トレーニングが最も高いことを報告している。Moffroid ら²³⁾も同様な比較をなし、アイソキネティック、トレーニングはアイソメトリック、アイソトニックの両トレーニングより短期間に筋の機能を高めることができることを報告している。

Moffroid・Whipple²⁴⁾は $36^{\circ}/sec$ と $180^{\circ}/sec$ の2種類の運動速度でアイソキネティックトレーニングを行なわせ、ピーク・トルクと筋持久力についてそのトレーニング効果をみた。この場合の筋持久力は2分間の最大努力の等速性筋収縮を行なわせ、総仕事量を作業時間で除したものでありパワーの持久力を評価したことになる。それによれば、 $36^{\circ}/sec$ でのトレーニングは低速で等速性筋収縮を行なわせた際に発揮される力のみに増加をもたらしたのに対し、 $108^{\circ}/sec$ でのトレーニングはすべての運動速度で発揮される力のみに増加をもたらした。さらに $108^{\circ}/sec$ でのトレーニングは、筋持久力についても効果があることを報告している。Pipes²⁶⁾はleg press, bench press, biceps curl, bent rowing をそれぞれアイソトーニックと $24^{\circ}/sec$ および $136^{\circ}/sec$ によるアイソキネティックの収縮様式でトレーニングを行なわせ、筋力、身体組成および運動能力テストにおける効果を比較した。筋力についてアイソメトリック、アイソトーニックおよびアイソキネティックの各収縮様式における最大筋力を測定している。彼らの報告によれば $136^{\circ}/sec$ でのアイソキネティックトレーニングは、筋力の測定項目の全般にわたって最も大きなトレーニング効果が得られたとしている。

以上のように比較的高速でのアイソキネティック・トレーニングは、筋力トレーニングとして大きなトレーニング効果をあげることが期待できるが、最大のトレーニング効果が得られるスピードについては、研究が不十分であり、これからの研究が期待されるところである。

また運動時間の違いが、トレーニング効果に及ぼす影響をみるために、Lesmes ら²¹⁾はトレーニング速度を $180^{\circ}/sec$ とし、被検者を1セットに要する時間が6秒間のグループと30秒間のグループに分けてトレーニングを実施した。その結果、セット数との関係からトレーニングに要する時間を同じにしても、30秒間の脚伸展および屈曲の連続動作中における筋出力は、30秒間のトレーニング・グループの方が、6秒内のトレーニング・グループに比べ有意に高い増加率を示したと報告している。

以上のようにアイソキネティック・トレーニングでは、運動速度および時間の違いによってトレーニング効果の表われ方が異なる。このことはスポーツ・トレーニングとしてアイソキネティック・トレーニングが採用された場合、競技種目との関連で、運動速度および時間を選択する必要があることを示すものと思われる。

参考文献

- 1) Andersen, P. and J. Herikson : Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibers. *Acta Physiol. Scand.* 99: 123-125, 1977.
- 2) Burke, R. E., D. N. Levin, F. E. Zajac, P. Tsairis and W. K. Eagel : Mammalian motor units : Physiological-histochemical correlation in three types of cat gastrocnemius. *Science* : 174 : 709-712, 1971
- 3) Burke, R. E., D. N. Levin, P. Tsairis and F. E. Zajac : Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *J. Physiol. (Lond.)* 234 : 723-748, 1973.
- 4) Burke, R. E., and V. R. Edgerton : Motor unit properties and selective involvement in movement. *Exercise and sport sciences reviews*, vol. 3, ED. Wilmore, J. H. and J. F. Keogh, Academic press, New York, 1975.
- 5) Cooper, S. and J. C. Eccles : The isometric responses of mammalian muscles. *J. Physiol. (Lond.)* 69 : 377-385, 1930.
- 6) Coplin, T. H. : Isokinetic exercise : Clinical usage. *J. NATA* 6 : 110-114, 1971.
- 7) Costill, D. L., J. Daniels, W. Evans, W. Frink, G. Krahenbuhl and B. Saltin : Skeletal muscles enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.* 40 : 149-154, 1976.
- 8) Deny-Brown, D. E. : The histological features of striped muscle in relation to its functional activity, *Proc. Roy. Soc. (Lond.) Ser B* 104 : 371-411, 1929.
- 9) Edström, L. and B. Ekblom : Differences in sizes of red and white muscle fibers in vastus lateralis of *musculus quadriceps femoris* of

- normal individuals and athletes, Relation to physical performance. Scand. J. Clin. Invest. 30 : 175-181, 1972.
- 10) Faulkner, J. A., Maxwell, L. C., and Lieberman, D. A. : Histochemical Characteristics of muscle fibers from trained and detrained guinea pigs. Amer. J. Physiol. 222 : 836-840, 1972.
 - 11) Fischer, H. : Zur physiologie der quergestreiften muskeln der saugetiere. Arch. Ges. Physiol. 125 : 541-583, 1908.
 - 12) Fox, E. L. : In "Sports Physiology", W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1979.
 - 13) Gollnick, P. R. B. Armstrong, B Saltin, C. W. Saubert IV, W. L. Sembrowich and R. E. Shepherd : Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. J. Appl. Physiol. 34 : 107-111, 1973.
 - 14) Gollnick, P. D., B. Armstrong, C. W. Saubert IV, K. Piehl and B. Saltin : Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. J. Appl. Physiol. 34 : 615-618, 1973.
 - 15) Hellebrandt, F. A. and S. J. Houz : Methods of muscle training : The influence of pacing. Phys. Ther. Rev. 38 : 319-322, 1958.
 - 16) Hulten, P., A. Thorstensson, B. Sjodin and J. Karlsson : Relationship between isometric endurance and fibre types in human leg muscles. Acta Physiol. Scand. 93 : 135-138, 1975.
 - 17) Knoll, P. : Uber protoplasmaarme und protoplasmareiche muskulature. Denkschr. Akad. Wiss. Wien, Math-Nat. Kl. 58 : 633-700, 1891. Close, R. I. Physiol. Rev. (1972) より引用
 - 18) Komi, P. V., H. Rusko, J. Vos and V. Vihko : Anaerobic performance capacity in athletes. Acta Physiol. Scand. 100 : 107-114, 1977.
 - 19) Komi, P. V., J. H. T. Viitaslo, M. Havu, A. Thorstensson, B. Sjodin and J. Karlsson : Skeletal muscle fiber and enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. Acta Physiol. Scand. 100 : 385-392, 1977.
 - 20) Kronecker, H. and W. Stirling : The genesis of tetanus. J. Physiol. 1 : 384-420, 1878.
 - 21) Lesmes, G. R., D. L. Costill, E. F. Coyle and W. J. Fink, : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. Med. Sci. Sports. 10 : 266-269, 1978.
 - 22) Meyer, E. : Ueber rothe und blasse guergetreifte muskeln. Arch. Anat. Physiol. 217-231, 1875. Close, R. I. Physiol. Rev. (1972) より引用
 - 23) Moffroid, M., R. Whipple, J. Hofosh, E. Lowman and H. Thistle : A study of isokinetic exercise. Phys. Ther. 49 : 735-746, 1969,
 - 24) Moffroid, M. T. and R. H. Whipple : Specificity of speed of exercise. Phys. Ther. 50 : 1692-1699, 1970.
 - 25) Paukl, E. : Die zuckungsformen von kaninchenmuskeln verschiedener farbe und stucture : Arch. Anat. Physiol. 100-120, 1904. Close, R. I. Physiol Rev. (1972) より引用
 - 26) Pipes, T. V. and J. H. Wilmore : Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. Med. Sci. Sports 7 : 262-274, 1975.
 - 27) Ranzier, L. : Proprietes et structures differentes des muscle rouges et des muscles blanc ches lapins et ches les raries, Compt. Rend. 77 : 1038-1043, 1873. Close, R. I. Physiol. Rev (1972) より引用
 - 28) Rosentwieg, J. and M. M. Hinson : Comparison of isometric exercise by electromyography. Arch. Phys. Med. Rehabil. 53 : 249-252, 1972.
 - 29) Thistle, H. G., H. J. Hislop, M. Moffroid and E. W. Lowman : Isokinetic contraction : A new concept of resistive exercise. Arch. Phys. Med. Rehabil. 48 : 279-282, 1967.
 - 30) Thorstensson, A., B. Sjodin and J. Karlsson : Enzyme activities and muscle strength after "Sprint training" in man. Acta. Physiol. Scand. 94 : 313-318, 1975.
 - 31) Thorstensson, A., and J. Karlsson : Fatiguability and fiber composition of human skeletal muscle. Acta. Physiol. Scand. 98 : 318-322, 1976.
 - 32) Thorstensson, A., G. Grimby and J. Karlsson : Force-Velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. J. Appl. Physiol. 40 : 12-16, 1976.
 - 33) Thorstensson, A. : Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. Acta Physiol. Scand. Suppl. 443, 1976.

2. アイソキネティック・トレーニング

—運動速度とトレーニング効果の関係について—

金久博昭 小田伸午 宮下充正

筋出力のトレーニングとして従来から行なわれているアイソメトリック・トレーニング(Isometric training)とアイソトニック・トレーニング(Isotonic training)に加え、新しくアイソキネティック・トレーニング(Isokinetic training)が開発された。前記の2つのトレーニング方法は発揮する力に重点が置かれていたのに対し、アイソキネティック・トレーニングでは運動速度が問題とされている。これまでのアイソキネティック・トレーニングに関する研究では、比較的高速でトレーニングを行なう方がより効果的であること^{11), 14)}、そしてトレーニング速度以上の運動速度における筋出力発揮には効果がないこと⁸⁾が報告されている。すなわちアイソキネティック・トレーニングの場合、運動速度を規定し一定速度内でトレーニングを行なわせるため、トレーニング速度の選択によって効果の表われ方が異なる。

またハイ・パワーを得るためのトレーニングとしての筋出力トレーニングがねらいとするところは、1回の筋収縮において発揮される最大パワーの上限を高めることの他に、高いパワーを持続する能力の増大があげられる。ハイ・パワーの持続能力にアイソキネティック・トレーニングが及ぼす影響については、Lesmesら⁸⁾およびCostillら²⁾が作業成績および筋組成の観点から検討している。彼らの報告によればアイソキネティック・トレーニングによってハイ・パワーの持続能力が改善されること、主働筋にtype IIa(FOG)線維の占める比率が増加することが示されている。

しかしながらアイソメトリックおよびアイソトニック・トレーニングでは負荷条件が比較的明確にされているのに対し、アイソキネティック・トレーニングにおけるトレーニングの至適速度および運動時間については明らかにされていない。そこで本研究では等速性運動を可能にするCybex

II (Lumex社製)を用いて、3種類のトレーニング実験を脚の伸筋群に実施し、アイソキネティック・トレーニングの効果について検討した。

それぞれの実験がねらいとするところは次のような点についてであった。

実験I：運動速度の違いがトレーニング効果に及ぼす影響について検討した。

実験II：実験Iとの対応で作業回数がトレーニング効果に及ぼす影響について検討した。

実験III：運動速度の違いがハイ・パワーの持続能力に及ぼす影響について検討した。

方 法

実験I

被検者は一般成人男子（年齢：19.4—25.1歳）13名で、トレーニング速度によって3つのグループに分けた。

トレーニング速度は10, 30, 50rpm（回／分）の3種類とした。各トレーニング速度における被検者数は10 rpm トレーニング・グループ (10TG) が5名、30 rpm トレーニング・グループ (30TG) が4名、50 rpm トレーニング・グループ (50TG) が4名であった。1セットの作業回数は10TGが10回、30TGが30回、50TGが50回で、伸展時に要する作業時間の合計をほぼ同一にした。セット間の休息は2分間とし、日に3セット行なった。トレーニングは両脚について行ない週6日、6週間実施した。

トレーニング中の被検者の姿勢は椅座位（写真1）で膝関節を80度に屈した位置から最大努力の脚伸展を行なった。なお伸展後はできるだけ速やかに屈曲に移行し、伸展と屈曲の動作を連続して行なうように留意した。さらに体幹の移動を防ぐため2点式ベルトで腰部を固定した。

トレーニング効果は5種類(10, 20, 30, 40, 50 rpm)の運動速度で脚伸展を行なわせ、その際に発揮されるピーク・トルク（レコーダーに記録されるトルク曲線の最も高い値）でもって評価した。測定はCybex IIを用い、トレーニング前および終了後に行なった。なお各速度における試行の回数は3回とし、最も高い値を個人の代表値とした。

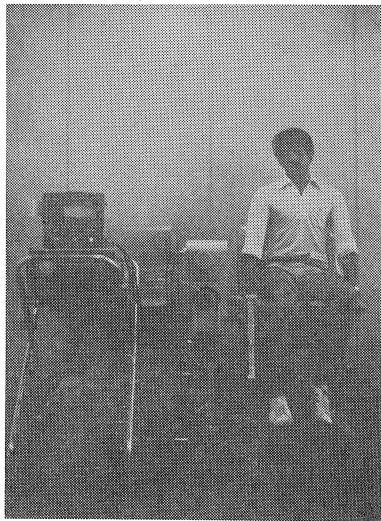


写真1 実験・測定装置 (Cybex II) と脚伸展
・屈曲時の被検者の姿勢

実験Ⅱ

トレーニング速度は実験Ⅰと同じく10, 30, 50 rpmの3種類とした。被検者は大学ラクビー選手(年齢: 19.4—24.1歳)7名で、そのうち10TG 2名, 30TG 3名, 50TG 2名であった。トレーニングの作業様式および被検者の姿勢は実験と同じで、各トレーニング・グループの1セットにおける作業回数は10TGが5回, 30TGが15回, 50TGが25回とした。セット間の休息は1分間とし、日に6セット行なった。トレーニングは両脚について行ない、週6日、6週間実施した。

トレーニング効果は実験Ⅰと同様に運動速度が10, 20, 30, 40, 50 rpmにおける最大努力の脚伸展時のピーコトルクで評価した。

実験Ⅲ

トレーニング速度は10 rpmと30 rpmの2種類とした。被検者は一般成人男子(年齢: 22.7—26.5歳)名で、そのうち10TGは3名, 30TGは4名であった。

トレーニングの作業様式および被検者の姿勢は実験Ⅰ, Ⅱと同じで、1セットの作業回数は10TGが10回, 30TGが30回とした。セット間の休息は2分間とし、日に3セット行なった。トレーニングは両脚について行ない、週6日、8週間実施した。

トレーニング効果は運動速度を10, 30 rpmとし、それぞれ20, 50回の最大努力の脚伸展を繰り返させ、各伸展毎に発揮される平均パワーでもって評価した。平均パワーは各伸展毎のトルク曲線を積分した仕事量を求め、それを時間で除すことによって算出した。ハイ・パワーの持続能力をみる指標としては、平均パワーの初期値(最初の5試行の平均値)、終末値(最後の5試行の平均値)および全試行の平均値を算出した。なお右脚のみトレーニング前後に Jones・Pearson の方法によって大腿部容積の測定を行なった。

結果

実験ⅠおよびⅡ: 運動速度および1セットの作業回数の違いがトレーニング効果に及ぼす影響について

図1および図2はそれぞれ実験Ⅰ, Ⅱにおける運動、速度別のピーク・トルクについて、トレーニング前および終了後を比較したものである。表1にはトレーニング前のピーク・トルクの値を100%として、トレーニング終了後のピーク・トルクの増加率を示した。各トレーニング・グループ別に対応のt検定を行なった結果、まず実験Ⅰでは10TGおよび30TGが全ての運動速度において有

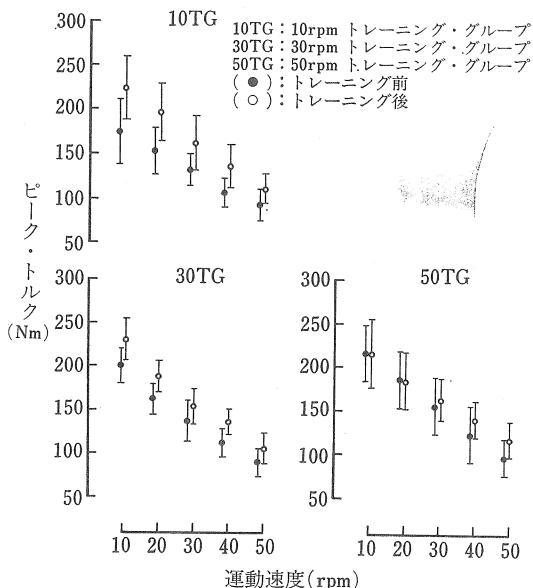


図1 実験Ⅰにおけるトレーニング前とトレーニング後の運動速度別ピークトルクの関係

表1 トレーニング前のピーク・トルク値を100%とした時のトレーニング終了後の各運動速度におけるピーク・トルク値の増加率

		運動速度 (rom)									
		10		20		30		40		50	
		平均値	S D	平均値	S D	平均値	S D	平均値	D S	平均値	D S
実験	10TG	130.8 ± 23.5**		129.2 ± 17.2**		122.8 ± 16.9**		128.3 ± 26.5**		120.8 ± 21.7**	
I	30TG	114.8 ± 3.3**		117.0 ± 15.0*		117.0 ± 15.0*		124.0 ± 19.4*		113.8 ± 18.1*	
	50TG	101.2 ± 22.2		100.1 ± 13.7		106.4 ± 17.3		117.7 ± 24.9		121.4 ± 19.3**	
II	10TG	112.4 ± 6.7*		116.0 ± 8.0*		118.8 ± 9.2*		125.4 ± 14.0*		128.4 ± 13.4*	
	30TG	111.4 ± 10.9*		115.1 ± 11.5*		117.3 ± 8.5**		120.9 ± 13.9**		123.7 ± 17.2**	
	50TG	105.4 ± 9.1		104.8 ± 8.3		109.5 ± 15.5		117.2 ± 16.4		126.1 ± 18.9*	

** P < 0.01 * P < 0.05

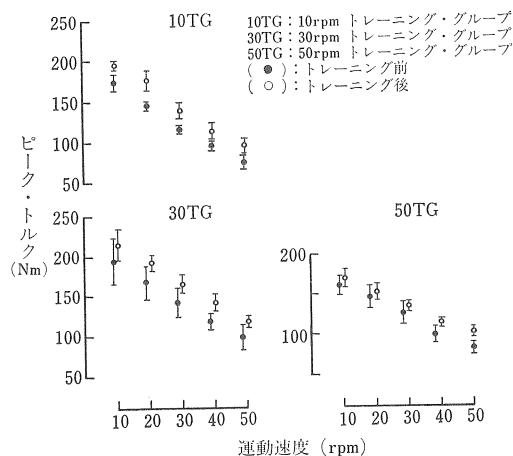


図2 実験IIにおけるトレーニング前とトレーニング後の運動速度別ピーク・トルクの関係

意な増加を示したのに対し、50TGはトレーニング速度である50 rpmでのピーク・トルクのみに有意な増加が認められた。実験IIにおいても実験Iと同様に10TGおよび30TGは全ての運動速度におけるピーク・トルクに有意な増加を示したが、50TGが有意な増加を示したのは50 rpmでのピーク・トルクのみであった。

次にグループ間のピーク・トルクにおける増加率の一様性を調べるために、分散分析を行ないその結果を表2-a, bに示した。実験Iにおける30, 40, 50 rpmのピーク・トルクの増加率および実験IIにおける各運動速度のピーク・トルクの増加率

は統計的に等平均値であることが認められるが、実験Iでの10 rpmおよび20 rpmの増加率において等平均値仮説は棄却された。さらに実験Iと実験IIの対応においても10 rpmおよび20 rpmでのピーク・トルクの増加率は等平均値仮説が棄却された。そこでまず実験Iにおけるグループ間のピーク・トルクの増加率について平均値の有意差検定を行なった結果、50TGに比べ10TGは10 rpm (P < 0.05) 20 rpm (P < 0.01)で、30TGは20 rpm (P < 0.05) でそれぞれ有意に高いことが認められた。同様に実験Iと実験IIの対応で、グループ間の増加率について平均値の有意差検定を行なったところ、実験Iにおける10TGが20 rpmで、30TGが10 rpmでそれぞれ実験IIの50TGに比べ、5%水準で有意に高いことが認められた。

実験III：運動速度の違いがハイ・パワーの持続能力に及ぼす影響について

図4は10 rpmでの試行におけるパワーの変化についてトレーニング前および終了後を比較したものである。作業回数に伴うパワーの変化について10TGと30TGを比較してみると、30TGでは運動開始から終了まで各伸展におけるパワーは増加する傾向にあるのに対し、10TGでは作業終了間近(18-20回)になるとトレーニング前と同様な値を示した。

図4は30 rpmでの試行におけるパワーの変化

表2-a トレーニング効果の分散分析

	実験 I	姿勢因	平方和	自由度	平均平方	F.	実験 II		
							平方和	自由度	平均平方
50 rpm	グループ間	259.19	2	129.59	0.321	54.73	2	27.36	0.096
	グループ内	8469.84	21	403.32		3119.45	11	283.58	
	全 体	8729.04	23			3174.18	13		
40 rpm	グループ間	459.44	2	229.72	0.390	139.19	2	67.09	0.497
	グループ内	12367.83	21	588.94		1484.11	11	134.91	
	全 体	12827.27	23			1618.31	13		
30 rpm	グループ間	1105.35	2	552.67	1.827	205.92	2	102.96	0.841
	グループ内	6351.78	21	302.46		1346.24	11	122.38	
	全 体	7457.13	23			1552.16	13		
20 rpm	グループ間	3482.34	2	1741.17	7.026	325.90	2	162.95	1.684
	グループ内	5203.83	21	247.80	(P<0.01)	1064.13	11	96.73	
	全 体	8686.17	23			1390.03	13		
10 rpm	グループ間	3666.57	2	1833.28	4.799	120.90	2	60.45	0.675
	グループ内	8020.98	21	381.65	(P<0.05)	984.24	11	89.47	
	全 体	11687.56	23			1105.14	13		

表 2-b トレーニング効果の分散分析

実験 I-II		変動因	平方和	自由度	平均平方	F.
50 rpm	グループ間	726.22	5	145.24	0.401	
	グループ内	1158.29	32	362.16		
	全 体	12315.52	37			
40 rpm	グループ間	519.28	4	129.82	0.288	
	グループ内	13037.15	29	449.55		
	全 体	13556.44	33			
30 rpm	グループ間	1319.89	5	263.97	1.097	
	グループ内	7699.89	32	245.62		
	全 体	9019.79	37			
20 rpm	グループ間	4008.18	5	801.63	4.092	
	グループ内	6268.34	32	195.88 ($P < 0.01$)		
	全 体	10276.52	37			
10 rpm	グループ間	4292.45	5	858.49	3.050	
	グループ内	9005.23	32	281.41 ($P < 0.05$)		
	全 体	13297.68	37			

についてトレーニング前および終了後を比較したものである。10TG のパワーは作業回数が運動開始から20回までは増加する傾向にあるが、それ以後の作業回数においてはトレーニング前とほとんど変わらない値を示した。一方、30TG のパワーは 10 rpm での試行同様に、運動開始から終了まで増加する傾向にあった。

表 3 は 10 rpm および 30 rpm での試行におけるパワーの初期値、終末値および全試行の平均値について示したものである。対の t 検定の結果、初期値は 10TG、30TG 共に 10 rpm および 30 rpm の両試行において 1% 水準の有意な増加を示した。一方、終末値は 30TG が再試行において 5% 水準の有意な増加を示したが、10TG には有意な変化が認められなかった。全試行の平均値は 10TG、30TG 共に両試行において 5% 水準の有意な増加を示した。初期値、終末値および全試行の平均値の増加率には、両トレーニング・グループの間に有意な差は認められなかった。

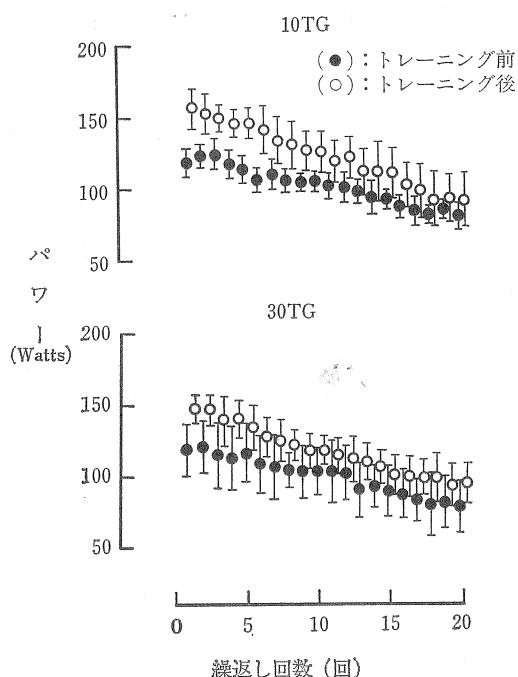


図 4 トレーニング前とトレーニング後における運動繰返し回数とパワーの関係、運動速度30 rpm

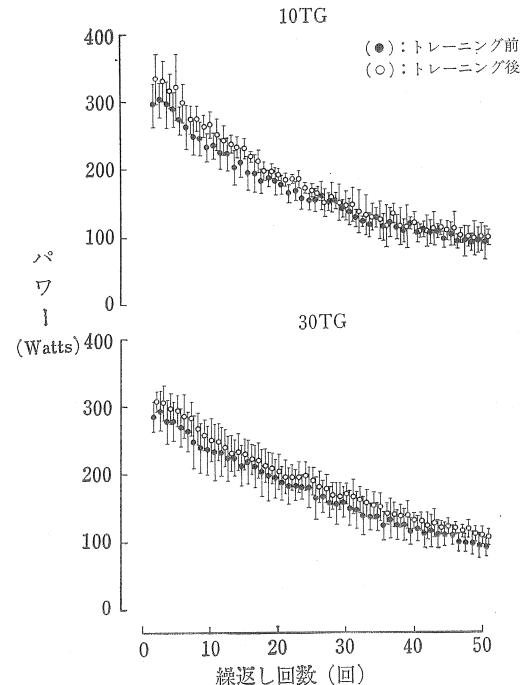


図 3 トレーニング前とトレーニング後における運動繰返し回数とパワーの関係、運動速度10 rpm

表3 10 rpm およびでの試行におけるパワーの初期値(I), 終末値(F)および全試行の平均値(M)

		パワード (watts)					
		I 平均値 SD		F 平均値 SD		M 平均値 SD	
10 rpm 試行							
10 TG	トレーニング前	120.9 ± 9.1		85.0 ± 5.2		103.0 ± 6.5	
	トレーニング後	149.7 ± 10.6 **		95.4 ± 18.1		123.3 ± 13.1 *	
30 TG	トレーニング前	119.1 ± 20.4		84.5 ± 19.4		103.4 ± 17.4	
	トレーニング後	143.1 ± 12.5 **		101.2 ± 13.2 *		120.2 ± 11.8 *	
30 rpm 試行							
10 TG	トレーニング前	291.7 ± 25.0		93.0 ± 13.1		108.8 ± 8.2	
	トレーニング後	320.3 ± 30.9 **		100.7 ± 15.5		180.8 ± 8.0 *	
30 TS	トレーニング前	281.5 ± 28.4		100.5 ± 15.4		177.0 ± 23.6	
	トレーニング後	298.4 ± 23.7 **		116.4 ± 10.3 *		191.9 ± 14.6 *	

** P < 0.01 * P < 0.05

10 TS : 10 rpm トレーニンググループ, 30 TG : 30 rpm トレーニング・グループ

トレーニング前後の大腿部容積、大腿部容積当たりのパワーの初期値、終末値および全試行の平均値を表に示した。大腿部容積は10TGが5%水準で有意な増加を示したのに対し、30TGには有意な変化が認められなかった。大腿部容積当たりのパワーについてみてみると、両トレーニング・グループ共に 30 rpm の試行における全ての測定項目には有意な増加が認められなかった。一方、10 rpm での試行における各項目には10TGが全ての項目において有意な変化が認められなかったのに対し、30TGは終末値および全試行の平均値において5%水準の有意な増加を示した。

論議

本研究ではアイソキネティック・トレーニングにおける運動速度の違いが等速性筋出力およびハイ・パワーの持続能力に及ぼす影響について検討した。これまでに運動速度がトレーニング効果に及ぼす影響については、Moffroid・Whipple¹¹, Pipes・Wilmore¹⁴ および Lesmes ら⁸によって検討がなされている。先ず Moffroid らは 36°/sec と 108°/sec でトレーニングを行ない、36°/sec でのトレーニングは低速で等速性運動を行なわせた際に発揮される力のみに増加をもたらしたのに対し、108°/sec でのトレーニングは全ての測

定速度において発揮される力に増加が認められたことを報告している。また Pipes らは 24°/sec と 136°/sec でのアイソキネティック・トレーニングの他に、アイソトニック・トレーニングも実施し、筋力、身体組成および運動能力テストに及ぼす効果について比較している。その結果、136°/でのアイソキネティック・トレーニングは、筋力の測定項目の全般にわたって最も大きなトレーニング効果が得られたとしている。さらに Lesmes らは 180°/sec でトレーニング速度以下の運動速度における出力には有意な増加が認められたが、それより高い速度における出力には変化がなかったことを報告している。本研究における実験 I, II でのトレーニング速度は 10 rpm (60°/sec), 30 rpm (180°/sec) および 50 rpm (300°/sec) の 3 種類であった。これまでの報告を考慮すれば、最大筋出力の発揮能力の増大という点においては、より高速で行なうことが効果的であると予想される。しかしながら本研究では実験 I および実験 II において、10 TG, 30 TG が全ての運動速度でのピーク・トルクに有意な増加を示したのに対し、最も運動速度が速いトレーニング・グループである 50 TG が有意な増加を示したのはトレーニング速度である 50 rpm でのピーク・トルクのみであった。

表4 大腿部容積 (T V) および大腿部容積当たりのパワーの初期値 (I / T V), 終末値 (F / T V), 全試行の平均値 (M / T V)

	T V (1)	I / T V (watts/ ℓ)		F / T V (wattsn/ ℓ)		M / T V (watts/ ℓ)	
		平均値	S D	平均値	S D	平均値	S D
10 rpm 試 行							
10 TG	トレーニング前	5.442±0.544		21.632±3.570		15.067±1.909	18.431±2.815
	トレーニング後	5.761±0.537*		25.623±1.356		16.392±4.345	21.306±2.278
30 TG	トレーニング前	5.633±0.786		21.903±2.826		13.656±2.070	18.547±2.714
	トレーニング後	5.710±0.785		25.975±2.093		18.765±3.281*	22.079±2.522*
30 rpm 試 行							
10 TG	トレーニング前			54.398±2.381		16.308±1.544	31.074±2.302
	トレーニング後			55.336±3.223		16.384±4.435	30.834±3.324
30 TG	トレーニング前			51.002±5.071		19.128±3.822	32.631±4.139
	トレーニング後			53.357±4.463*		21.988±2.454*	35.106±3.730*

* P<0.05

10 TG : 10 rpm トレーニンググループ

30 TG : 30 rpm トレーニンググループ

さらに各トレーニンググループの増加率の比較においても、実験Ⅰでは10TGが10 rpmと20 rpmで、30TGは10 rpmでそれぞれ50TGに比べ有意に高い増加率を示した。このように50TGが他のトレーニング・グループと異なり、ピーク・トルクの増加がトレーニング速度に限られていたとの理由として次のような点があげられる。すなわち等速性運動ではCybex machineの特徴から運動部位の速度が規定した速度以上にならないと発揮されている出力はトルクとして記録されない。したがって実際に筋は収縮を行なっていてもトレーニング速度として規定されている運動速度に達するまでの時間が“あそび”の状態となり、筋に対する抵抗は無負荷に等しい。この状態は運動速度が速くなるにつれ長くなるために、筋が実際に出している出力を負荷して感じ、トレーニングされる可動範囲は小さくなってくる。

等尺性最大筋力と関係について検討した丹羽¹³は、膝関節伸展において最大筋力の出現する角度は100°であると報告している。さらにLouis⁹は等速性脚伸展において、運動速度が速くなるにつれ、最大トルクの出現する角度は大きくなると述べている。したがって50TGの場合、あそびの

状態の長さによって、50 rpmより低い速度において最大のトルクが出現する角度が十分にトレーニングされなかったことが考えられる。

また運動速度が規定されていることから、レコーダーに記録されるトルク曲線は運動中のパワーの変化を示しており、ピーク・トルクはパワーの最高値を表わしていることになる。したがって実験ⅠおよびⅡではトレーニング効果をピーク・トルクでみたが、それは間接的に各運動速度におけるパワーの発揮能力を評価したことになる。腕屈曲パワーのトレーニング効果について検討した金子⁷の報告によれば、パワーの増大に効果的な負荷量は等尺性最大筋力の30%および60%であり、等尺性最大筋力でのトレーニングは最大筋力と力の要素が大きいパワーに効果が大きく、空振り(負荷0%)のトレーニングは最大スピードの向上に効果的であるがパワー発揮能力への効果は他群に比べ低い。筋は張力・速度関係⁵にみられるように、負荷が小さくなるにつれ運動速度は速くなる。本研究のように運動速度が規定されている場合では、運動速度が速くなれば発揮される出力は小さくなる。そこで等尺性最大筋力に対する相対的な負荷量を知るために、トレーニング前の各

速度におけるピーク・トルクの等尺性最大筋力に対する割合をもとめてみると、50 rpm が $44.1 \pm 4.0\%$ 、30 rpm が $64.7 \pm 5.7\%$ 、10 rpm $90.0 \pm 7.8\%$ であった。このことを前述の金子の報告にあてはめて考えてみると、トレーニング速度が 50 rpm であっても各速度におけるパワー、すなわちトルク値の増大に効果的であることが考えられる。しかしながら金子の場合、荷重負荷法であるため少なくとも運動開始時には、筋に対しトレーニング負荷としての抵抗がかかっており、あそびの状態はない。したがって運動速度を規定し、トレーニングを行なわせるというアイソキネティック・トレーニングの長所が、高速の場合、あそびの状態を長じさせ、欠点となることが指摘される。

50 TG とは逆に 10 TG および 30 TG は全ての運動速度において有意な増加を示した。さらに 10 TG および 30 TG の各運動速度におけるピーク・トルクの増加率に有意差は認められず運動速度による特異性は認められなかった。Moffroid ら¹¹⁾およびら Lesmes ら⁸⁾の報告では、トレーニング効果がトレーニング速度あるいはトレーニング速度以下 の運動速度における筋出力に限られていた。さらに筋組成の違いが等速性運動における速度と出力の関係に及ぼす影響について検討した Thorstensson¹⁷⁾によれば、等尺性最大筋力には筋組成の違いによる差はみられないが、動的な出力発揮では主働筋に速筋線維の占める割合の高いものほど優れており、特に $180^\circ/\text{sec}$ における出力と速筋線維の占める割合には有意な相関関係が報告されている。このような筋組成と筋出力の関係を考慮すると、トレーニング速度より高速での出力に効果がないという結果は、運動速度によって動員される筋線維、特に速筋線維の比率が異なるため生じたと考えられる。すなわち、より高速での筋出力発揮に必要な速筋線維が、低速でのトレーニングではトレーニングされないことが考えられるのである。しかしながら筋出力トレーニングでは、速筋線維が優先的にトレーニングされる^{17), 18)}。また Gydykov・Kasarov⁴⁾によれば、等尺性最大筋力発揮時には速筋、遅筋の両筋線維が動員されており、さらに Walmsley ら¹⁹⁾は動的運動

時においても運動様式が最大努力の運動になるにしたがい、速筋線維を支配する運動単位が加算されてくることを述べている。したがって本研究のように最大努力の筋力発揮という条件でもって行なわれるトレーニングでは、運動速度に関係なく速筋線維および遅筋線維の両方がトレーニングされていると考えられる。したがって Thorstensson の述べるような運動速度と筋出力に及ぼす筋組成の影響はトレーニング効果に表われないことが考えられる。

さらに Close¹⁾の述べるように速筋線維と遅筋線維の単位断面積当たりの等尺性最大筋力は両方の筋線維に差がないことから、筋の出力は単に筋肉量の問題であり、Thorstensson の報告とは異なり、10 rpm から 50 rpm という運動速度では筋組成の影響を受けないことも考えられる。それゆえ 50 TG に比べあそびの状態が少なく、トレーニングを受ける可動範囲の大きい 10 TG および 30 TG が全ての運動速度において有意な増加を示したと考えられる。

次に作業回数の違いがトレーニング効果に及ぼす影響であるが、ピーク・トルクの増加率には実験 I, II 共に運動速度が同じグループ間では有意な差が認められなかった。1 セットに要する作業時間が 6 sec と 30 sec の 2 種類でトレーニング効果を検討した Lesmes ら⁸⁾は、ピーク・トルクの増加率に作業時間の違いによる差は認められないことを報告している。さらに彼らはトレーニング中の筋収縮のエネルギー供給様式について、6 sec トレーニングは ATP-CP 系であり、30 sec トレーニングは解糖系であることを述べている。本研究におけるセットの作業時間は実験 I が約 18 秒、実験 II が約 36 秒であり、筋収縮に必要なエネルギーの供給は、それぞれ ATP-CP 系および解糖によってまかなわれる時間である。したがって 1 セットに要するトレーニング時間がハイ・パワー発揮時のエネルギー供給様式である ATP-CP 系および解糖系でまかなわれる時間内であれば、単発的な運動における筋出力の発揮能力に及ぼす作業時間あるいは作業回数の影響はわずかなものであると考えられる。

また実験 I と実験 II との対応において同じトレ

ーニング速度のグループ間には増加率に有意な差は認められなかった。しかしながら実験Ⅱの20TGに比べ、実験Ⅰの10TGは20 rpmで、30TGは10 rpmでそれぞれピーク・トルクの増加率に有意な差が認められた。このことはアイソキネティック・トレーニングにおいて、単発的運動における筋出力の増大をねらいとする場合は、作業時間もしくは回数よりも運動速度の選択がより重要なことを示すものと考えられる。

実験Ⅲではトレーニング速度がハイ・パワーの持続能力に及ぼす影響について検討するために、10 rpmおよび30 rpmでトレーニングを行ない、それぞれのトレーニング速度でもって疲労実験を行なった。なお実験Ⅰ、Ⅱで50TGは他のトレーニング・グループに比べ効果がトレーニング速度に限られていたことから、実験Ⅲでは10 rpm、30 rpmの2種類の運動速度でトレーニングを行ないその効果を比較した。

本研究におけるハイ・パワーの持続能力とは、最大努力の筋収縮を連続して行なわせた場合、一定時間内に発揮される筋出力の大きさを問題としている。疲労実験における全試行のパワーの平均値は、10TG、30TG共に有意な増加を示し、さらに両トレーニング・グループの増加率には有意な差が認められなかった。したがって本研究の意味するハイ・パワーの持続能力には、最終的にトレーニング速度が及ぼす影響は少ないことが考えられる。また1セットに要する運動時間が6 secと30 secの2種類でそのトレーニング効果を比較したLesmesら⁸⁾の報告によれば、セット数との関係からトレーニングに要する時間を同じにしても、30秒間の脚伸展および屈曲の連続動作中における筋出力は、30 secトレーニング・グループの方が6 secトレーニング・グループに比べ有意に高い増加率を示している。先に述べたように同報告では、6 secグループと30 secグループの単発的な運動における最も筋出力の発揮能力に有意な差が認められないことを報告しており、ハイ・パワーの持続能力の向上のためには出力の持続を必要とされる運動時間を1セットに要するトレーニング時間の指標とすることが重要であると示唆される。

実験Ⅲにおいて大腿部容積に有意な増加を示したのは10TGのみで、30TGは何ら有意な変化を示さなかった。ハイ・パワーの持続能力を限定する因子としてまず考えられることは、筋収縮のエネルギー源であるATP、CPおよびこれらの磷酸化合物を再合成するために必要なグリコーゲンの筋中における含有量である。筋出力トレーニングによって筋中のATP、CPおよびグリコーゲンが有意に増加することは、MacDougalら¹⁰⁾によって確められている。本研究では生化学的な分析を行なっていないため、トレーニングによってATP、CPなどのエネルギー源がどのような変化を示しているかは確認することができない。しかしながらこれらエネルギー源の変化は、大腿部容積の増減から間接的にうかがい知ることができる。すなわち大腿部容積に有意な増加を示した10TGでは、エネルギー源の増大によってハイ・パワーの持続能力の改善がもたらされたものと考えられるのである。

一方、30TGの場合、大腿部容積は有意な変化を示さなかった。Lesmesら⁸⁾も本研究と同じ180°/secでトレーニングを行ない、筋の持久能力に改善がみられたにもかかわらず、形態的な面については何ら有意な変化が認められなかったことを報告している。さらに10 rpmおよび30 rpmの疲労実験における全試行の平均値は有意に増加したとはいえ、10TGと30TGのトレーニング終了後の各疲労実験におけるパワーの変化様相は異なっていた。すなわち10 rpmおよび30 rpmの両試行において、初期値は10TG、30TG共に有意な増加が認められたのは30TGのみであった。特に30 rpmでの疲労実験における10TGのパワーは作業開始から20回目まで増加を示したもの、それ以後のパワーはトレーニング前と殆んど変わらない値を示した。本研究での疲労実験における筋収縮のエネルギー供給様式は、Lesmesらの報告を考慮すれば解糖系が主体であることが考えられる。したがって筋中に蓄積される乳酸の量が問題となってくる。180°/secで繰り返えし脚伸展を行なわせ、その間の筋出力の低下と筋線維に蓄積する乳酸との関係について検討したTeschら¹⁶⁾の報告によれば、25回の作業では速筋線維に遅筋線維よ

り有意に高い乳酸の蓄積がみられたが、50回の作業では両筋線維ともに同程度の乳酸蓄積がみられたといわれている。Fuchs ら³⁾および Nakamura・Schwarz ら¹²⁾によれば、筋中の乳酸蓄積によって生じる H⁺ 濃度の上昇は、Ca²⁺ とトロポニンの結合率の低下を引き起こす。この結合率の低下がアクチンとミオシンの結びつきを弱めるため、その結果として収縮力の低下がもたらされることを Robertson „kerrick¹⁵⁾ はカエルの筋を使い確かめている。このような筋中に蓄積される乳酸の量と筋出力の関係を考慮すれば、終末値においても有意な増加を示した30TGは10TGに比べ乳酸に対する耐久力が増大したと考えられるのである。

さらに筋出力のトレーニングが筋の持久能力に及ぼす影響について、筋組成の観点から検討した Costill ら²⁾によれば、トレーニングによって type IIa (FOG) 線維の typ I (SO), type IIb (FG) 線維に対する面積比が増加することが報告されている。type IIa 線維は速筋線維のなかでも酸化系酵素の活性度が強く、持久能力に優れている。したがって30TGの場合、10TGに比べ FOG 線維が優位にトレーニングされていることも考えられる。そこでトレーニング中に発揮されているピーク・トルクの変化から動員されている筋線維を顧みよう試みた。図5は10TGおよび30TGのトレーニングセットにおけるトルク値の変化について示したものである。10TGの各セッ

トにおけるトルクには低下があまりみられないのに対し、30TGの場合、1セット目のトルクは直線的に低下していくが、2, 3セットにおけるトルクは作業後半になるとあまり低下がみられず定常状態となる。このようなトレーニング中のピーク・トルクの変化に、先に述べた筋中の乳酸量と筋出力の関係をあてはめて考えてみると、10TGに比べ30TGは乳酸の蓄積量が多く、ピーク・トルクの著しい低下に速筋線維、特にFG線維の出力の低下によるものであり、2セットおよび3セットにおける作業後半の出力は主にFOG, SO線維の出力に依存するものであると考えられる。したがって30TGは10TGに比べ、FOGおよびSO線維が優位にトレーニングされ、疲労実験における後半の出力に増加がもたらされたものと考えられる。

要 約

本研究ではアイソキネティック・トレーニングを脚の伸筋群に実施し、運動速度がトレーニング効果に及ぼす影響について検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

- 1) 単発的な運動における最大筋出力の発揮能力に及ぼす効果をみるために、10, 30, 50 rpm の3種類の運動速度でトレーニングを実施したところ、10TGおよび30TGは全ての運動速度において有意な出力の増加をみたが、50TGでは

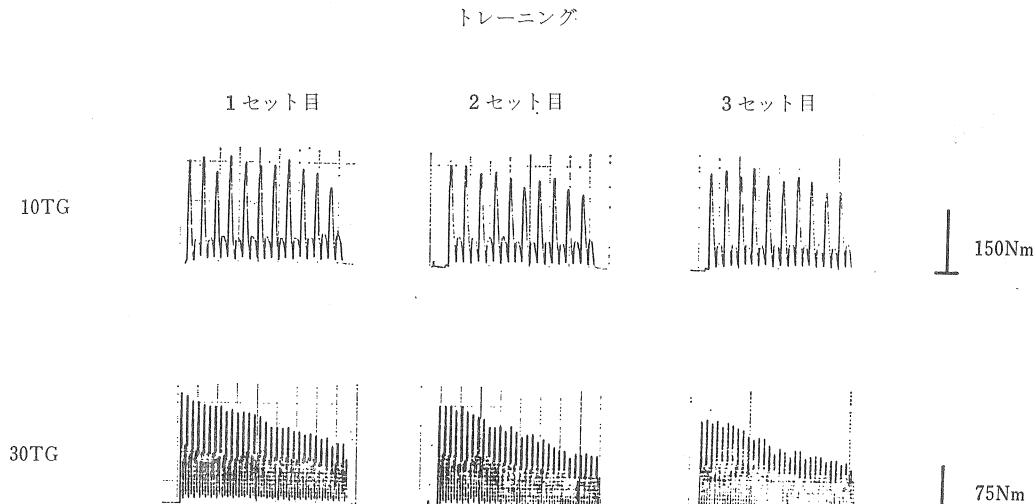


図5 トレーニング中の各セットにおけるトルクの変化

- トレーニング速度である 50 rpm での出力のみに有意な増加が認められた。
- 2) 50TGの場合、トレーニング速度を除く他の運動速度での出力に有意な増加を認められなかったことの理由として、トレーニング中の“あそび(無負荷)”の状態が長いことを挙げた。すなわちアイソキネティック・トレーニングの場合、運動部位の速度がトレーニング速度としてあらかじめ規定されている速度以上にならないと筋に対する負荷は作用しないために、高速でトレーニングを行なった際に、あそびの状態を長じさせ、筋が実際にトレーニングされる可動範囲を狭めると結論した。
- 3) 作業回数を変え、10, 30, 50 rpm の速度でもってトレーニングを実施し、単発的な運動における最大筋出力の発揮能力に及ぼす効果について検討したが、結果は 1) と同じであった。したがって最大筋出力の上限を高めるためには、作業回数および運動時間は、筋収縮に必要なエネルギー供給様式が ATP-CP 系および解糖系でまかなわれるものであれば良く、運動速度の選択がより重要であると結論した。
- 4) トレーニング速度が 10 rpm と 30 rpm の 2 種類でもってハイ・パワーの持続能力に及ぼす効果を検討した。疲労実験における全試行の平均パワーは両トレーニング・グループ共に有意に増加し、増加率にはグループ間に有意な差は認められなかった。しかしながら、トレーニング終了後の疲労実験におけるパワーの改善様相は異なっており、トレーニング時間を同一にしても運動速度の違いによって筋収縮に必要なエネルギー供給様式が異なることが推論された。

参考文献

- Close, R. I. : Dynamic properties of muscle. *Physiol. Rev.* 50 : 120-197, 1972.
- Costill, D. L., E. F. Coyle, W. F. Fink, G. R. Lesmes and F. A. Witzmann : Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 46 : 96-99, 1979.
- Fuchs, F., Y. Reddy, and F. N. Briggs : The interaction of cations with the calciumbinding site of troponin. *Biochim. Biophys. Acta* 221 : 407-409, 1970.
- Gydkov, A. and D. Kosarov : Some features of different motor units in human biceps brachii. *Pflugers Arch.* 347 : 75-88, 1974.
- Hill, A. V. : The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B.* 126 : 136-195, 1938.
- Jones, P. R. M. and J. P. Pearson : Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J. Physiol. (Lond.)* 204 : 63-66, 1969.
- 金子公宥：瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス，杏林書院，1974。
- Lesmes, G. R., D. L. Costill, E. F. Coyle and W. J. Fink : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. *Med. Sci. Sports.* 10 : 266-269, 1978.
- Louis, R. O. : Optimal isokinetic loads and velocities producing muscular power in human subjects. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 56 : 152-155, 1975.
- Macdougall, J. D., D. R. Ward, D. G. Sale and J. R. Sutton : Biochemical adaptation of hmnan skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 43 : 700-703, 1977.
- Moffroid, M. T. and R. H. Whipple : Specificity of speed of exercise. *Phys. Ther.* 50 : 1692-1699, 1970.
- Nakamura, Y. and A. Schwartz : The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J. Gen. Physiol.* 59 : 22-32, 1972.
- 丹羽昇：角度と筋力の関係—脚筋力の場合—体育学研究 15 : 48-53, 1970.
- Pipes, T. V. and J. H. Wilmore : Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. *Med. Sci. Sports.* 7 : 262-274, 1975.
- Robertson, S. P. and W. G. L. Kerrick : The effects of pH on Ca -activated forced in frog skeletal muscle fibers. *Pflugers Arch.* 380 : 41-45, 1979.

- 16) Tesch, P., B. Sjödin, A. Thorstensson and J. Karlsson : Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiol. Scand.* 103 : 413-420, 1978.
- 17) Thorstensson, A. : Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 443, 1976.
- 18) Thorstensson, A. : Observations on strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 100 : 491-493, 1977.
- 19) Walmsley, B., F. A. Hodgson and R. E. Burke : Forces Produced by medial gastrocnemius and soleus muscles during locomotion in freely cats. *J. Neurophysiol.* 41 : 1203-1216, 1978.

3. アイソキネティック装置による力・速度・パワーの測定

金子公宥

研究協力者 濑本隆文(大阪体育大学)

スポーツマンの体力ないし身体適性を評価する場合、どのような条件のもとでテストするかが問題になる。テストの条件が不適当だと、特定種目のスポーツマンの長所や適性を見抜き得ないということが起り得るからである。たとえば水泳選手は、水中(水抵抗)では素晴らしい能力を示すのに、陸上のテストではそれが十分発揮されないとすることが起り得る。このようなテスト条件の主体は、どのような負荷(ロード)を用意するかということである。

瞬発力(パワー)のテストも同様で、負荷条件の如何によってパワーの大きさが異なり、またその直接的要因である力と速度の関係も変わる⁴⁾。

これまで力と速度の法則的関係(force-velocity relationship)は、主として荷重負荷を用いて調べられてきた。その理由は、荷重負荷には、筋収縮の力が一時的に荷重と等しくなる(等張力収縮)という利点があるからである。しかし速度を一定(等速度収縮)にする粘性負荷がテスト負荷にされたこともある(いざれも文献⁴⁾参照)。

近年、アイソキネティック装置を用いた研究が盛んになり(金久と宮下の文献⁵⁾参照)、種々等角

速度条件下における力・速度関係および力・パワー関係の実験が行われている^{1),2),6),7),8),9),10)}。しかしながら、それら諸文献における力・速度関係は、何故か速度条件が極めて遅い速度(300°/sec以下)に限られている。そこで筆者らは、その原因が装置のアーム回転速度の限界によるものと考え、一部装置を改変(アームを延長)して600°/secまでの広範な速度条件を用意し、実験方法の検討をすると共に、その三つの異った競技種目の選手群について、力・速度・パワーにおける種目特性を明らかにしようとした。

〈方法〉

1. 被験者：O大学の水泳選手(短距離)5名、陸上競技選手(短距離)5名、サッカー選手5名の計15名(年令18~22才)で、各選手群の身体的特徴は、表1の通り、身長約170cm、体重66kgの同程度の体格をしている。

2. 実験装置：本実験には、日本体育協会の所有するアイソキネティック装置(Cybex II)を用いたが、速い運動を可能にするため、アームを通じて約2倍に延長してこれにペニア板の部分円盤を取り付けた。この円盤(半径0.7m)の周縁の溝に沿ってワイヤーを張り、その自由端にストレングージ張力計を介してベルトを連結した。なお、アームの回転軸に糸を巻いてこれに直線型速度計をとりつけ、速度を記録した(図1)。

3. 実験方法：膝伸展運動では、図2(左)のように、被験者は左足をブロック台において立位姿勢を保持し、30度前方に突き出した支持板に右大腿を固定される。足頸部にはベルトがとりつけ

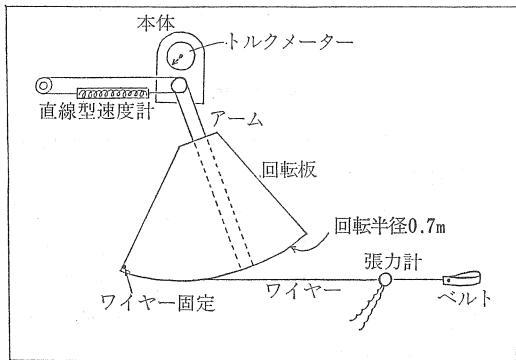


図1 アイソキネティック装置の一部改変

表1 各競技種目群の人数、年齢と身体的特徴

競技種目	人數	年齢 \bar{X}	身長(cm) \bar{X}	体重(kg) \bar{X}	下腿長(m) \bar{X}
水泳(短) { パラ バッタ バク 3人 1人 1人	5	18.8	170	67	0.349
陸上(短) { 100m 4人 200m 1人	5	20.2	172	66	0.352
サッカー(一軍) { フォワード 1人 バッカク 4人	5	21.2	173	66	0.350

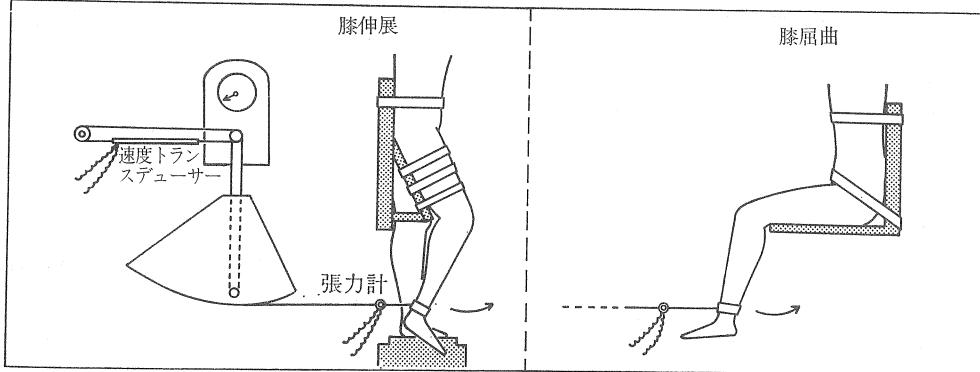


図2 膝伸展(左)と膝屈曲(右)におけるパワーの測定法

られる。そこで被験者は、膝関節を最大に屈曲したスタート位置から、最大努力で膝関節を 180° まで伸展しワイヤーを牽引する。

膝屈曲運動では、図2(右)のように、被験者は椅子位で体幹と腰をベルトで固定される。足頸部にはベルトがとりつけられる。そこで被験者は膝関節を最大に伸展(180°)した位置から、最大努力で膝を屈曲しワイヤーを牽引する。

速度の条件は、膝の伸展の場合とともに、足頸部の線速度が $0.15\sim3.67\text{ msec}$ (膝関節の角速度約 $24\sim600^\circ/\text{sec}$) の 9 段階(装置本体では $2\sim50\text{ rpm}$ にセット)とした。各被験者には、最初のシリーズで遅い速度から順に各速度で 2 回づつ、次のシリーズでは速い速度から順に 2 回づつ(各速度で計 4 回)牽引させ('series and reverse' 法)、その平均値をもって各人の成績とした。

＜結果と考察＞

I. 力曲線と速度曲線の様相

種々速度条件下での膝伸展運動における記録例を図3に、それらに共通する速度曲線と力曲線の

特徴を様式化して図4に示した。

速度は、膝伸展運動の開始(t_1)とともに急増してピークに達し(t_2)、その後から急速に減少して(t_2-t_3)、やがて等速度状態に入る(t_3-t_4)。

力曲線は、運動開始から最高速度までの間(t_1-t_2)に一つの高まり(装置とアームと回転円板の慣性負荷に抗する力)を示し、 t_2-t_3 間の速度減少期に再び急上昇してピーカトルクに達し(t_3)、以後の等速度期(t_3-t_4)に漸減する。なお、同図の t_1-t_2 間の力曲線に加えた破線が示すように、装置本体のトルク・メーターによるトルク曲線(図3の最下段)はアームに抗する力が省略されることを除けば、概ね力曲線と波形が一致する。

ピーカトルクの出現様相は急峻な山型を示すのが常であり、速度が遅くてもその特徴はみられる。この特徴は Thornstenson (1976)¹¹⁾ の記録例では明らかでないが、Perrine と Edgerton (1978)¹⁰⁾ の示した記録には明らかに認められる。速度曲線との対応に於て明らかなように、ピーカトルク(本研究では F_{\max} , kg)は最高速度出現後の減速期末に出現し、等速度条件はピーカトル

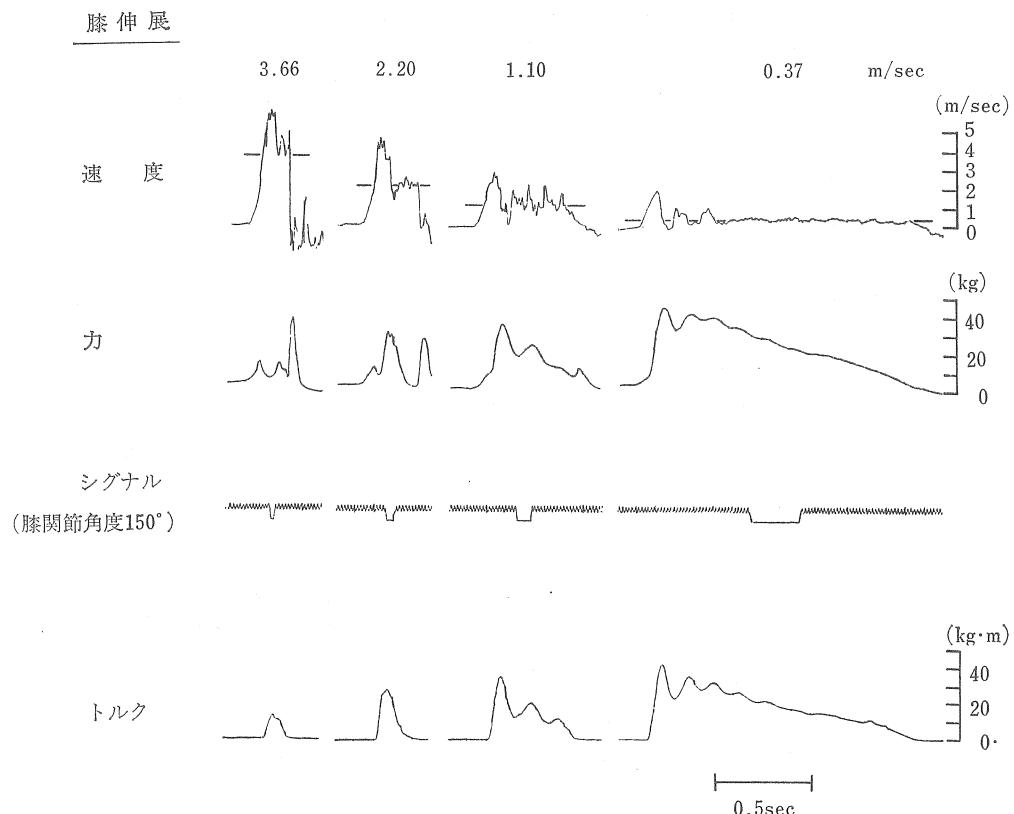


図3 種々速度条件下の膝伸展運動における記録例：上から直線型速度計による速度曲線、ストレインゲージ張力計による力曲線、膝関節 150° 通過を示すシグナル、本体のトルクメーターによるトルク曲線。なお、二段目の力曲線における終末の高まりは、アームがストッパーに当った為の衝撃力（アーティファクト）である。

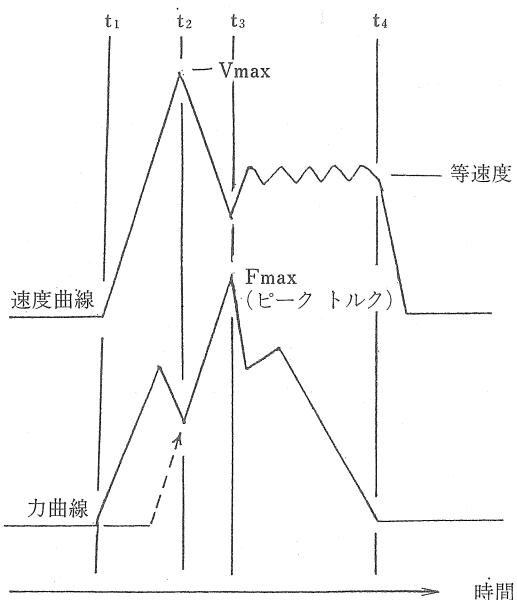


図4 速度曲線(上段)と力曲線(下段)の模式図

ク出現後に現われる。このことは、Cybex II の負荷装置にわずかな“あそび”があって、これが運動開始直後 ($t_1 - t_2$) に無負荷状態をもたらし、 t_2 時点から急に負荷（抵抗）がかかる음을意味している。したがってピーカトルクないし F_{max} は、筋が無抵抗の収縮から抵抗に直面して急激に発生する力であり、その中にはいわゆる“衝撃力”も含まれていると見なければならない。

また、ピーカトルク（ないし F_{max} ）の発現する関節角（筋肉の長さ）も一定しない。すなわち、膝伸展運動の場合のピーカトルクは、運動が速ければ膝関節 150° より大きな角度で、また運動が遅ければ 150° より小さい角度で発現する。

II. 最大力 (F_{max}) と速度の関係

1. 関係曲線のパターン： 力・速度関係 (force-velocity relationship) は、通常、等張力（負荷

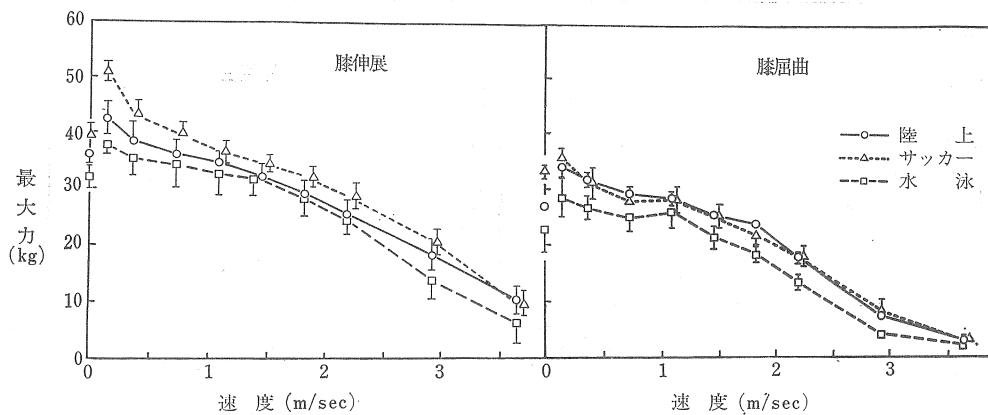


図5 種目別にみた最大力 (F_{max}) と速度の関係

が一定) のときの速度または等速度のときの力を、筋が同じ長さにあるときに測定して求める^{3), 4), 12)}。しかし Cybex II 装置ではそれほど厳密な条件規定ができないので、以下のように幾つかの試みを行った。

図5(左: 膝伸展、右: 膝屈曲)は、最大の力(maximum force: F_{max} 、実際上ピークトルクに相当)と速度(等速度のときの速度)の関係を、種目別にまとめて比較したものである。速度の上限(3.67m/sec、膝関節の角速度が約600°/sec)は、これまで用いられた最大角速度(400°/sec)¹⁰⁾の約1.5倍である。

この F_{max} と速度の関係は、膝の伸展・屈曲とともに、Wilkie¹²⁾が人体筋で得たような直角双曲線型の力・速度関係にはならず、むしろ上方に凸のパターンを示しているように思われる。この原因について Perrine and Edgerton¹⁰⁾は「Wilkieが瞬時加速度を求めずに、等速度状態の値を Hillの方程式に当てはめたため」と論じているが、それは当らない。なぜなら、Wilkie¹²⁾の実験は Hillの実験条件と比較し得る(Comparable)ものであって、むしろ彼らが得たトルクと(角)速度関係や本実験の F_{max} と速度関係の方が、(先に I. で述べた意味も含めて) Hillの双極線型方程式に当てはめるには、実験条件が違いすぎると考えねばならないからである。

2. 種目差: 種々の速度に対する F_{max} の種目差を、まず膝伸展(図5、左)でみよう。遅い

運動の場合ではサッカーの成績が最もよく、次いで水泳、陸上の順であり、各種目間にはいずれも有意差が認められる。速い速度でも種目順位に殆んど変りはないが、有意差は1.83–2.93m/secのときのサッカーと水泳間に認められるにすぎなかった(種目間の有意差検定の結果は表2に一括して示した)。

一方の膝屈曲(図5、右)では、遅い運動でも速い運動でもサッカーの成績を最高に、陸上、水泳の順である。種目間差は、遅い運動のときはサッカーと水泳の間にのみ有意差があるが、速い運動(1.47–2.93m/sec)ではサッカーと水泳間および陸上と水泳間に有意差が認められる。このようにサッカー選手の成績が優れている要因は、(1)膝伸展・屈曲運動がサッカーにおける運動と類似していること、(2) F_{max} 値が、あたかもキックするときのような衝撃的な力に相当すること(水泳ではそのように力を発揮することがない)、にあると思われる。

III. 平均力(\bar{F})と速度の関係

1. 関係曲線のパターン: 平均力(\bar{F})とは、図6(右上段)に図示したように、等速度収縮中の力の積分値(力積、 $\int F \cdot dt$)をその間の力の作用時間(t)で除した値である。この平均力と速度の関係も、Hillの直角双曲線型方程式に当てはめるには無理があるが、 F_{max} (ないしピークトルク)と速度の関係にくらべれば遙かに直角双曲線

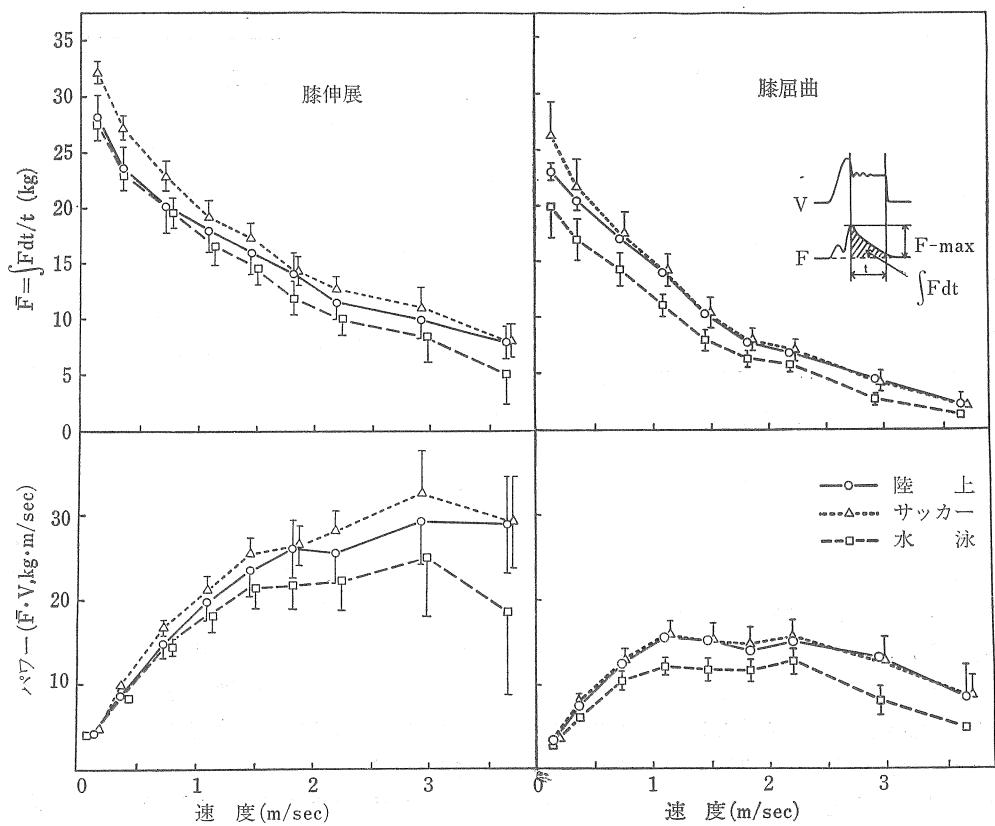


図6 種目別にみた平均力 (\bar{F}) と速度の関係(上段) およびパワー ($\bar{F} \cdot V$) と速度の関係(下段)

表2 種々速度条件下でなされた膝伸展と膝屈曲運動の F_{max} , \bar{F} および $\bar{F} \cdot V$ における種目間の有意差

		膝 伸 展							膝 屈 曲											
		速度(m/sec.)	0.15	0.37	0.73	1.10	1.47	1.83	2.20	2.93	3.67	0.15	0.37	0.73	1.10	1.47	1.83	2.20	2.93	3.67
種 目																				
F_{max}	サッカー > 水泳	***	***	***					***	***	***	*	*			*	***	***	***	
	陸 上 > 水泳	*															***	***	***	***
	サッカー > 陸上	***																		
\bar{F}	サッカー > 水泳	***	***	*				*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	陸 上 > 水泳																***	***	***	***
	サッカー > 陸上	***	*																	
$\bar{F} \cdot V$	サッカー > 水泳	***	***	*				*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	陸 上 > 水泳																***	***	***	***
	サッカー > 陸上	***	*																	

差の有意水準: * P<0.05, ** P<0.01

型に近いといえる。このことは、Cybex II 装置を利用して力・速度関係に相当する筋の特性を調べるには、少なくとも、 \bar{F} のような値を求める操作が必要だということを示唆している。

2. 種目差：種々速度における平均力 (\bar{F})においても、成績はやはりサッカー、陸上、水泳の順であり、速度との関係でみた種目間差の傾向も類似している。注目されるのは、膝伸展（図 6 左上段）の遅い運動で、陸上選手と水泳選手の間に差がみられなくなったことである。膝屈曲運動（図 6 右上段）では、全ての速度条件下でサッカーと陸上間に有意差はなく、水泳はこの両種目より殆どの速度条件（0.37—2.93m/sec）において劣っている。

IV. 平均パワー ($\bar{F} \cdot V$) と速度の関係

上記の F と速度 (V) の積による平均パワー ($\bar{F} \cdot V$) は、膝伸展では速い運動 (3 m/sec) のときに最大（最大パワー）となり、膝屈曲では中間的速度 (1.2~2.2m/sec) で最大となる（図 6 下段）。

平均パワーにおける種目間差は、当然に \bar{F} における場合と基本的には変わらないが、速い運動における種目間差が拡大されて興味深い。

以上のように、種々速度条件下における力およびパワーの発生は、サッカー選手が最も優秀で、最下位の水泳選手との間には常に一定の差が認められる。しかし第 2 位の陸上競技選手は、遅い運動では成績が悪くて水泳選手に近づき、速い運動では成績がよくなつてサッカー選手と同程度になるという特徴がある。その理由は不明だが、陸上短距離選手の日常の訓練（筋活動様式）が、遅いキネティック収縮よりも速い収縮に合致しているからかもしれない。同じことがサッカーと水泳選手にも言えよう。とくにサッカー選手にとっては、日頃の運動が、実験の膝伸展と屈曲運動に類似しているために、陸上選手を上回わる好成績を示したのかも知れない。水泳選手が他 2 種目の選手より劣った理由は不可解である。なぜなら、水の粘性に対する運動は、アイソキネティック収縮と同様に等速度になり易い運動だからである。あるいは、これまでアイソキネティック収縮との関連で指摘されてきた筋線維タイプの差異^{1), 2), 11)},

を表わしているのかも知れない。

＜まとめ＞

アイソキネティック装置 (Cybex II) を一部改変（アームを延長）して速い運動を可能にし、1) 方法論的な吟味をするとともに、2) これを陸上競技と水泳（とともに短距離）およびサッカー選手（各種目 5 名）の膝伸展・屈曲運動に適用して、力・速度・パワーにおける種目差を調べ、次の結果を得た。

1. 筋運動中に発現する最大力 (F_{max}) ないしピークトルクは、負荷装置の“あそび”（無抵抗）と、その後の急激な負荷の作用によって起こる力であつて、真に等速度収縮中に発揮される力ではない（衝撃力を含む）と解された。

2. 膝伸展運動の F_{max} は、遅い運動においてのみサッカー選手が明らかに優位を占めたが、比較的速い運動では種目間に有意な差が認められなかつた。しかし膝屈曲運動の F_{max} においては、広範な速度条件下において、サッカーと陸上選手が明らかに水泳選手を上回わる成績を示した。

3. 等速度収縮中の平均力 (\bar{F} =力積/時間) と速度 (V) の関係は、 $F_{max}-V$ 関係より遙かに Hill の直角双極線型に近く、このことから $\bar{F}-V$ 関係の方が筋の特性をよりよく反映するものと解された。

4. $\bar{F}-V$ 関係から得られる平均パワー ($\bar{F} \cdot V$) と V の関係から、最大パワーは、膝伸展では運動が速い (3 m/sec) ときに、膝屈曲では比較的遅い (1.2~2.2m/sec) ときに、それぞれ出現することがわかつた。

5. 平均力 (\bar{F}) と平均パワー ($\bar{F} \cdot V$) における種目間差は基本的に F_{max} の場合に等しく、サッカーと水泳間には広範囲な速度条件下で有意差が認められた。しかし陸上選手は遅い運動のときより速い運動のときに良い成績を示した。

＜文 献＞

- 1) Coyle, E. E., D. L. Costill and G. R. Lesmes : Leg extension power and muscle fiber composition. Med. Sci. in Sports 11 : 12-15, 1979.
- 2) Gregor, R. J., V. R. Edgerton, J. J. Perrine, D. S.

- Campion and C. Debus : Torque-velocity relationships and muscle fiber composition. *J. Appl. Physiol.* 47 : 387-392, 1979
- 3) Hill, A. V. : The heat and shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B.* 126 : 136-195, 1938.
- 4) 金子公宥 : 筋収縮速度と力～人体筋の力・速度関係を中心～体育の科学 28 : 837-842, 1978.
- 5) 金久博昭, 宮下充正 : アイソキネティックによるトレーニング, 体育の科学 28 : 870-874, 1978.
- 6) 菊地邦雄他 : 等速性筋力からみたパワートレーニングの効果と水泳記録について, 日本体育協会スポーツ科学委員会報告 (No. 2), 1978.
- 7) Lesmes, G. R., D. L. Costill, E. F. Coyle and W. J. Fine : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. *Med. Sci. in Sports* 10 : 266-269, 1978.
- 8) 宮下充正他 : 競泳選手のための陸上トレーニング, 日本体育協会スポーツ科学委員会報告 (No. II), 1977.
- 9) Miyashita, M. and H. Kanehisa : Dynamic peak torque related to age, sex and performance. *Res. Quart.* 50 : 249-255, 1979.
- 10) Perrine, J. J. and V. R. Edgerton : Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Med. & Sci. in Sports* 10 : 159-166, 1978.
- 11) Thornstenson, A. : Muscle strength, fiber types and enzymatic activities in man. *Acta Physiol. scand. Suppl.* 443 : 1-45, 1976.
- 12) Wilkie, D. R. : The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.* 110 : 249-280, 1950.

4. 女子投てき選手におけるアイソキネティック・トレーニングについて

山川 純

研究協力者 加藤 昭, 開知和子
(日本女子体育大学)

はじめに

スポーツ選手の体力トレーニングを行う時には、選手の年令や能力に応じて段階的に行わなければならない。第一段階としては、体力を構成するいくつかの資質を全面的に向上させることが必要である。しかしそのスポーツにとってベストのトレーニングは、そのスポーツを通じて行うことだともいわれ、筋力についてもバーベル等を用いるのではなく、そのスポーツと同じ動作で負荷をかけて行えともいわれている。いわゆる基礎体力のトレーニングと、専門種目の技術トレーニングとの間にも段階的にトレーニング方法を考える必要があろう。

筋力トレーニングについても、アイソメトリック・トレーニングやアイソトニック・トレーニングは、現在では高校生においても行われ、一般化して来た。しかしこれらの方法は、スポーツの動作と近似した動作で行うことはかなり難しい。これに対して、1967年に米国 Hislop, Perrine によって紹介されたアイソキネティック・トレーニングのトレーニング用に開発されたミニ・ジムは、ロープの滑車が水平方向に自由に動くようになっている関係で、かなり実際のスポーツの動作に近い動作で負荷をかけることが可能である。またその動作の全可動範囲において、運動速度を一定にして筋力を発揮する方法であり、アイソトニックとアイソメトリックの中間的性質を持つ。すなわち、一定速度で動くものを押す、または引く動作を行う方式である。

宮下ら¹⁾は、トレーニング用ミニ・ジムについて検討し、同時にミニ・ジムを利用して水泳の腕のかきを行わせ筋電図記録を行っている。その結果、ミニ・ジムの速度規定用のダイヤルは相当程度の信頼性があり、またミニ・ジムでの腕のかきは水中でのかきとほぼ同じ筋群が一定速度で働く

いっていると述べている。

本研究では、女子陸上競技投てき選手を被検者として、投てきフォームに近い形で等速性収縮中のピーク・トルク値を測定するとともに、ミニ・ジムを用いてアイソキネティック・トレーニングを行わせ、その効果の有無を明らかにしたい。また等速性収縮中のピーク・トルク値と競技記録との関係や、また静的筋力との関係などについても分析を試みたいと考えて行われた。

研究方法

1. 測定項目と方法

1) 等速性収縮中のピーク・トルク値

等速性収縮中のピーク・トルク値は、サイベックスⅡを用いて行われた。測定動作は2種類とした。一つは肘関節を最大に曲げ、手掌で入力桿を握り、前腕を伸展させる前腕伸展動作で、もう一つは、上肢を頭上にのばし、肘関節は曲がらぬよう固定し、手掌で入力桿を握って下まで引き下げる動作で、やり投動作と仮称した。被検者は測定用椅子にこしきけ、腰の部分をベルトで固定し、体を使わないように注意した。運動速度は、5, 10, 20, 30, 40及び50回転／分の6種とした。なおピーク・トルク値は東大教育学部において測定が行われた。測定は、1979年8月と12月及び1980年3月の3回行われた。

2) 上腕屈筋力

被検者は椅座位で、上腕を肩の高さで机の上に置き、肘関節を直角に曲げて計器のベルトを手首に巻き、合図と共に最大努力で肘を屈曲させた。

3) 上腕の最大屈曲速度

10kΩの同心型可変抵抗を使ったゴニオメータのアームを、肘関節を中心に上腕と前腕に固定し、上腕屈曲時の角度-時間曲線をレクチグラフに記録した。

4) $\frac{1}{3}$ 負荷におけるパワー

上腕屈筋力の $\frac{1}{3}$ 負荷を用いて、荷重負荷法で測定した。

2. ミニ・ジムによるトレーニング方法

あらかじめ、グランドにおいてやり投、円盤投、砲丸投について、テレメータを用いて投てきの際の筋電図を記録し、各筋の働き方を確かめた。

た。次にミニ・ジムを用いて、各人の専門種目の投てきのイメージを持ってロープを引かせ、その際の筋電図を記録しながら、可能な限り実際の投てき動作に近いフォームを作らせた。

ミニ・ジムの速度用のダイヤルは6とし、1セットを8回として、1日4セットから始めて、セット数を漸増させた。トレーニングは週3回、ウェイト・トレーニングを行い更に週3回ミニ・ジムによるトレーニングを行わせた。9月24日から12月22日迄に平均30回、1月7日から3月7日迄に15回のトレーニングが行われた。

3. 被検者

被検者は日本女子体育大学陸上競技部の投てき種目の選手21名である。この中、ミニ・ジムによるトレーニングの被検者は1年生6名で、各種目2名ずつである。また上腕屈筋力、最大屈曲速度、 $\frac{1}{3}$ 負荷パワーはやり投選手について測定された。

研究結果

1. 投てきの筋電図

筋電図は4チャンネルのテレメータを用いて4回に分けて記録したので、これを重ね合わせて図を作成し、分析した。

1) 砲丸投

僧帽筋、大円筋、広背筋、三角筋等の上体及び上肢帯の筋群はグライドの間持続的に放電しているが、これは砲丸の支持に働いていると思われる。投げの直前に上腕三頭筋と上腕二頭筋が同時に放電している。これは肘関節が伸展されながらも砲丸の重量を支えるために上腕二頭筋が働いたものと思われる。上腕の筋群の放電にやや遅れて、手根屈筋が放電し、いわゆる手首のスナップがかけられている（図1参照）。

2) 円盤投

円盤投では、ターンの時期には大円筋、広背筋が放電しているが、砲丸投と異なり、上腕三頭筋がターンの間中放電しており、ターンの後半から僧帽筋、三角筋外側が働いていることである。これは円盤の支持が、上肢が後に引かれた型で行われているためであろう。投げの直前に上腕三頭筋の放電が減少して、上腕二頭筋の放電が開始し、手根の筋群も放電はじめる。投げの瞬間に

は、僧帽筋、三角筋外側、上腕三頭筋の放電が大きい。円盤投と砲丸投では、使われる筋群に大きな違いはないが、筋の働くタイミングにはかなり違いが見られる（図2参照）。

3) やり投

やり投では、助走の間、僧帽筋、三角筋は足の動きと同期して放電していると思われる。投げの直前に上腕二頭筋と三角筋内側に放電がみられ、肩が前に出て肘が少し屈曲された後、大円筋、僧帽筋と共に上腕三頭筋が働いて肘関節が伸張し投

げが行われるものと思われる。手根屈筋も投げの瞬間に働いて、手首のスナップがかけられている（図3参照）。

以上の通り投ときの筋電図において、3種目に共通することは、助走時には主として上体及び上肢帶の筋群によって投とき物が支持されている。投げの直前からさらに上腕及び前腕の筋群の放電が加わり、投げの瞬間に上腕帶上腕、前腕の筋群が働いている。しかし各筋の働くタイミングは、種目によって多少異なり、それぞれの投て

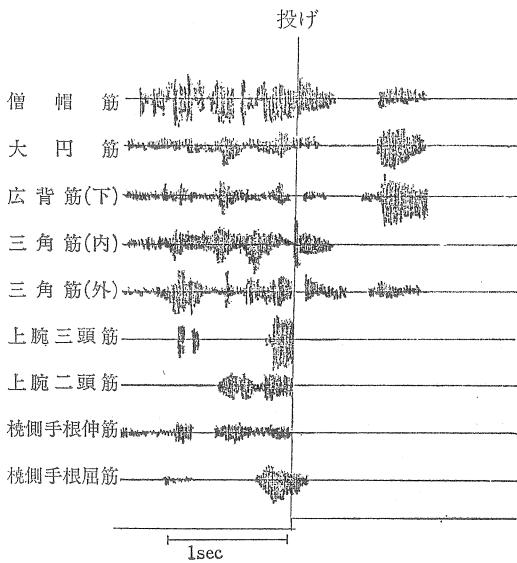


図1 砲丸投の筋電図

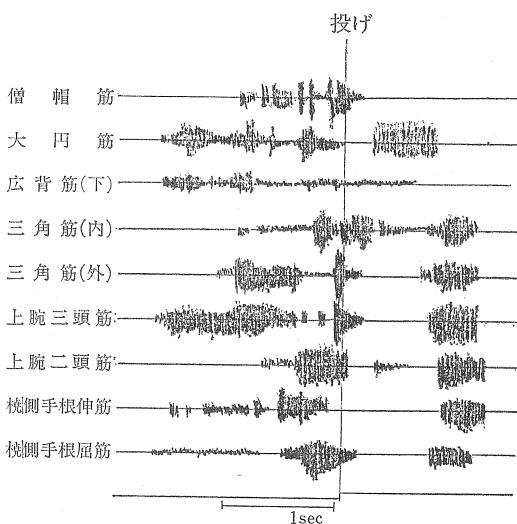


図2 円盤投の筋電図

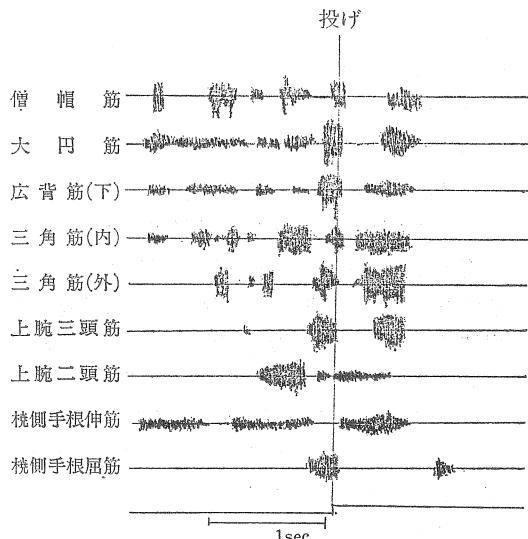


図3 やり投の筋電図

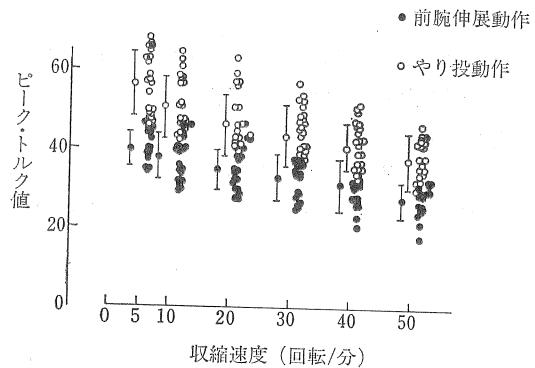


図4 等速性収縮中のピーク・トルク値

きフォームが作られていると思われる。

この投てきの筋電図を参考にして、ミニジムによる筋力トレーニング方法を研究し、各人の専門とする種目の投てきフォームに近い形で、ミニジムを引張らせ、それぞれ筋電図を見ながら引き方を練習させた。

2. 等速性収縮中のピーク・トルク値

1) 女子投てき選手のピーク・トルク値

CybexⅡにより6種の運動速度で測定された女子投てき選手21名のピーク・トルク値は図4及び表1の通りである。

前腕伸展動作及びやり投動作の2種の方法によるピーク・トルク値は、図1に明らかな通り各速度ともやり投動作ピーク・トルク値の方が前腕伸展動作のピーク・トルク値より大きい値を示した。21名の平均値を比較すると、5回転／分の最も遅い運動速度で、前腕伸展動作は、平均 39.96 ± 4.439 Nmに対し、やり投動作では平均 55.64 ± 7.945 Nmで、約40%大きかった。他の5種の運動速度においても、やり投動作のピーク・トルク

値の方が前腕伸展動作より大きく、両動作のピーク・トルク値の差は、すべて1%の有意水準で有意の差を示した。

またやり投動作も前腕伸展動作も、ともに運動速度の増大に伴いピーク・トルク値の低下を示した。やり投動作では5回転／分における 55.64 Nmが、50回転／分では 37.68 Nmとなり、約48%の低下を示している。同じく前腕伸展動作のピーク・トルク値も5回転／分に対し50回転／分では、約36%の低下であり、運動速度の遅い方がピーク・トルク値は大きい値を示した。

前腕伸展動作や、やり投動作による等速性収縮中のピーク・トルク値は、一般女子について測定されていないので比較できないが、運動速度が速くなるのに伴い、ピーク・トルク値が低下していることは、宮下ら²⁾が水泳選手について前腕屈曲や下腿伸展動作で測定したものと、同一の傾向であった。

2) 投てき種目別に見たピーク・トルク値

1979年8月の第1回測定値について、砲丸投を専門とする選手8名と、やり投を専門とする選手10名の種目別・運動速度別平均値を算出してみると、図5の通りである。なお円盤投を専門とする者は3名のみのため除いた。

砲丸投群は、前腕伸展動作において各運動速度とも、やり投群より10—15%大きいピーク・トルク値を示した。各種運動速度の中、10, 20及び30回転／分の速度については、いずれも5%以下の有意水準で、有意に砲丸投群のピーク・トルク値の方が大きかった。しかしやり投動作のピーク・トルク値は、砲丸投群とやり投群で殆ど差がなかった。

サイベックスを用いて等速性収縮状態での筋力を測定するのに際して、前腕伸展動作とやり投動作の2種を選んだが、前者は砲丸投の動作、後者はやり投の動作を想定したものである。前腕伸展動作のピーク・トルク値は明らかに砲丸投群の平均値が大きかったが、やり投動作のピーク・トルク値は、特にやり投群の方が大きい傾向は見られなかった。筋電図からみると、砲丸投もやり投も上肢帶の筋群の放電量には大きい差が見られなかったことと考え合わせると、上肢帶の筋力は投て

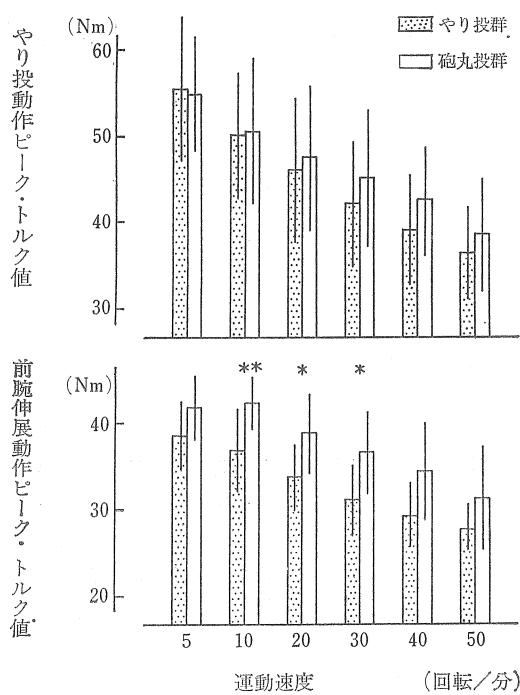


図5 砲丸投群とやり投群のピーク・トルク値の比較

表1 女子投げ選手のピーク・トルク値(1979. 8. 測定値)

Subj	f.p.m	Subj					Subj					Subj				
		5	10	20	30	40	50	5	10	20	30	40	50	5	10	20
M・S	48.53	47.56	46.58	38.82	42.70	38.82	M・S	40.18	41.33	37.88	34.44	32.14	29.85			
T・T	66.10	64.15	63.18	57.35	51.52	46.66	T・T	45.36	43.61	40.71	40.12	39.54	36.64			
Y・Y	49.50	50.47	46.58	46.58	39.79	31.06	Y・Y	47.39	45.68	42.25	38.83	36.54	33.12			
Y・O	57.23	50.44	46.56	46.56	44.62	43.65	Y・O	43.62	44.20	43.62	44.20	42.48	39.03			
A・E	47.56	40.56	43.67	43.67	42.70	34.94	A・E	35.23	39.85	38.12	34.07	30.03	25.41			
I・N	57.26	47.56	43.67	45.61	42.70	42.70	I・N	44.80	44.80	43.68	37.52	34.72	34.16			
K・Y	49.50	39.79	32.99	29.12	28.16	27.17	K・Y	38.46	35.01	28.13	26.40	22.96	18.94			
A・T	63.05	56.26	50.44	48.50	45.59	42.68	A・T	39.03	34.44	33.29	33.87	32.14	33.29			
S・M	65.93	58.17	50.41	50.41	49.45	43.63	S・M	46.48	44.80	43.12	38.64	32.48	32.48			
K・J	46.61	46.61	42.72	38.84	34.96	33.01	K・J	35.40	30.83	27.98	26.84	25.12	24.55			
M・N	62.99	62.99	57.17	53.30	47.48	43.61	M・N	39.40	43.97	35.40	35.97	35.40	30.83			
K・K	54.35	46.58	40.76	38.82	31.06	29.12	K・K	45.68	43.40	38.26	35.40	31.41	30.26			
K・H	68.04	58.32	59.29	52.49	50.54	43.74	K・H	39.54	36.64	31.98	28.49	27.33	29.08			
Y・K	58.32	57.35	56.38	52.49	47.63	44.71	Y・K	39.03	40.75	38.46	35.59	30.99	27.55			
Y・S	65.02	58.23	57.26	53.38	46.58	47.70	Y・S	35.97	29.12	29.69	28.55	29.69				
A・S	62.14	40.78	32.04	29.13	33.99	33.01	A・S	38.08	39.20	34.16	34.72	35.28	32.48			
K・S	47.75	44.83	41.90	37.03	36.06	29.24	K・S	40.12	34.89	30.82	25.59	20.93	22.10			
A・M	48.55	42.72	36.90	36.90	33.01	34.96	A・M	36.54	32.54	30.83	27.98	25.12	25.70			
N・Y	58.23	51.44	43.67	40.76	36.88	35.91	N・Y	30.24	31.40	29.66	27.33	27.91	25.01			
Y・O	46.61	40.78	44.67	38.84	36.90	33.01	Y・O	34.83	32.14	30.42	29.27	28.70	26.98			
S・S	65.16	61.27	46.68	41.82	36.96	36.96	S・S	43.89	43.31	40.43	36.96	32.92	28.88			
M	56.59	50.81	46.84	43.83	40.92	37.68	M	39.97	38.66	35.67	33.43	31.08	28.17			

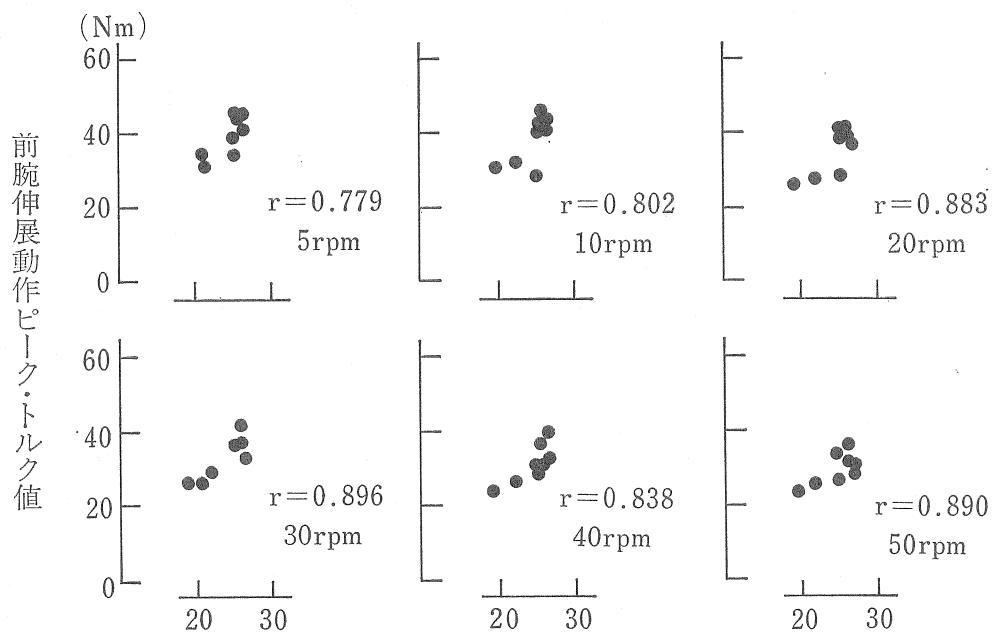


図6 上腕屈筋力と前腕伸展動作ピーク・トルク値の相関図

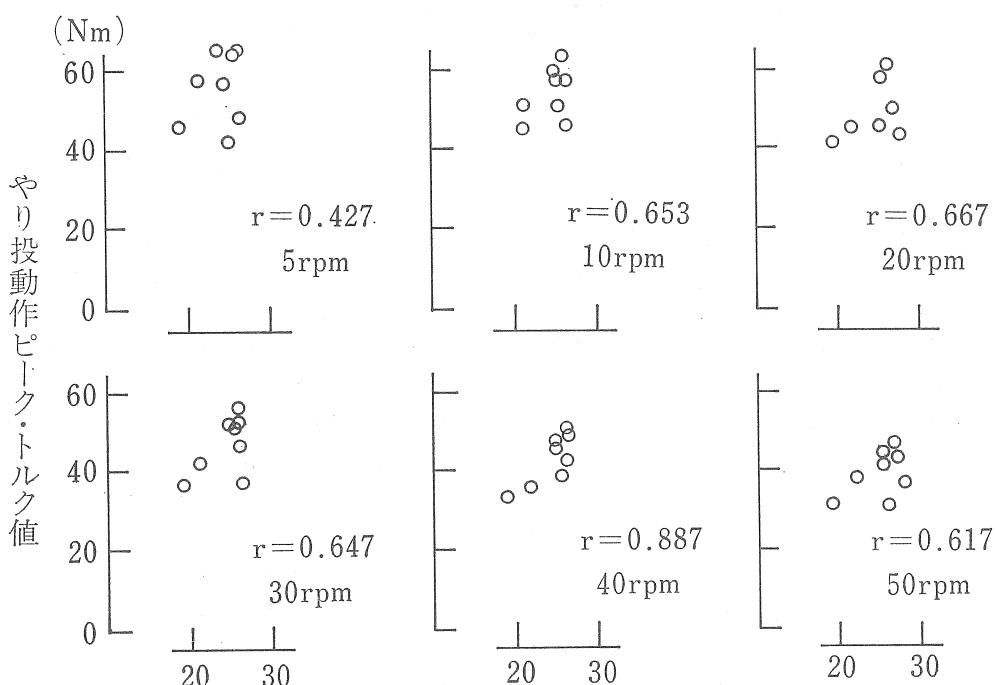


図7 上腕屈筋力とやり投動作ピーク・トルク値の相関図

き種目の選手のすべてに重要な筋力であると思われる。

3) 等速性筋力と等尺性筋力との関係

本被検者のやり投群10名の中、8名については2カ月毎に上腕屈筋の等尺性最大筋力及び荷重負荷法（最大筋力の $\frac{1}{3}$ 負荷）によるパワーが測定されていた。そこでサイベックスによる等速性収縮中のピーク・トルク値と同時に測定された上腕屈筋の最大筋力、最大収縮速度及び $\frac{1}{3}$ 負荷パワーとの相関関係をみた。測定値はすべて1979年8月のものである。

図6は前腕伸展動作時の各速度におけるピーク・トルク値と上腕屈筋力との相関図であり、両者の間には各運動速度とも5%の有意水準で正の相関が認められた。しかしやり投動作によるピーク・トルク値と上腕屈筋力との間には、図7の通り正の相関を示す傾向がみられるが、統計的に有意性のある相関関係を示したのは40回転／分のみであった。

したがって、上腕屈筋の最大筋力の大きい者は、上腕伸筋による各運動速度でのパワーも大きいと考えられ、上腕における屈筋と伸筋の筋力が投てき練習によって同じように訓練されていたものと思われる。しかし上腕の筋力と上肢帶の筋力との間には、現時点では、必ずしも高い一致性があるとは言えない。

次に上腕屈筋力と $\frac{1}{3}$ 負荷パワー及び前腕伸展動作40回転／分のピーク・トルク値との相関並びに、上腕屈曲時の最大収縮速度と $\frac{1}{3}$ 負荷パワー及び前腕伸展動作40回転／分のピーク・トルク値との相関関係を図8に示す。 $\frac{1}{3}$ 負荷パワーは負荷一定の条件で表わされたパワーであり、ピーク・トルク値は速度一定の条件で表わされたパワーと考えられるが、両パワーとも上腕屈筋力と5%水準で有意の相関関係を示した。これに対して、上腕屈筋の最大収縮速度と2種のパワーの間には、いずれも相関関係が認められなかった。ただし、図中に黒丸で示した $\frac{1}{3}$ 負荷パワー測定期の収縮速度と、 $\frac{1}{3}$ 負荷パワーの間には高い相関関係が見られた。

すなわち、速度一定のパワーも、負荷一定のパワーも、ともに上腕屈筋力の大きい方がパワーが

大きく、最大収縮速度の大小はパワーに影響を与えていなかった。個人的に見ても上腕屈筋力最小の者が最大収縮速度は8名中最大の値を示しているが、両パワーとも最小値であった。

3. ミニ・ジムによる training 効果

投てき選手の中、週2—3回のWeight trainingのみを行った7名(W群)と、これにミニ・ジムによる等速性筋力 training を週2—3回行った者6名(M群)の training 前後のピーク・トルク値を比較すると、図9及び図10の通りである。

図9は、1979年8月に行われたミニ・ジム training 開始前の測定値と、training 6カ月後の1980年3月の測定値を比較したものである。前腕伸展動作における各速度のピーク・トルク値の群別平均値は、training 前には両群の間に殆ど差がなかった。training 後は、両群とも20回転／分以上の速い運動速度におけるピーク・トルク値の増加が著明であった。5, 10, 20及び30回転／分におけるピーク・トルク値の差がみられなくなった。training 前には5回転／分のピーク・トルク値にくらべて50回転／分のピーク・トルク値は約30%低下していたが、training 後には低下の割合は約15%となり半減した。また training 後にはややW群の平均値の方が大きい傾向を示した。

やり投動作における各運動速度のピーク・トルク値の群別平均値も、training 前には両群の間に殆ど差がなかった。training 後には両群とももっとも遅い運動速度の5回転／分のピーク・トルク値が著明に減少し、50回転／分の速い運動速度のところではやや増加した。

図10は training 前(BT)を100%にして training 後(AT)の増減率を算出し、群別平均値で示したものである。前腕伸展動作では、20回転／分以上の運動速度では、平均10—20%の増加を示している。しかし増減率の個人差は大きく、training 前にくらべて training 後にピーク・トルク値が5%以下の有意水準で有意の増加を示したのは、M群は20, 30, 40回転／分であり、W群は30, 40, 50回転／分の運動速度であった。また両群の増加の割合を見ると、ややW群の方が大きいが、有意の差が見られたところはなかった。やり投動作に

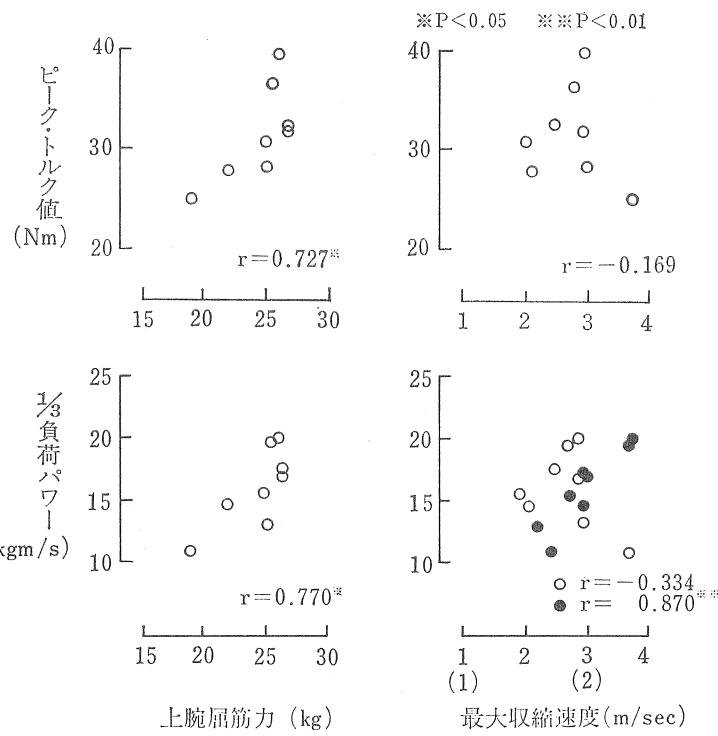


図8 上腕屈筋力、最大収縮速度とピーク・トルク値及び $\frac{1}{3}$ 負荷パワーとの相関

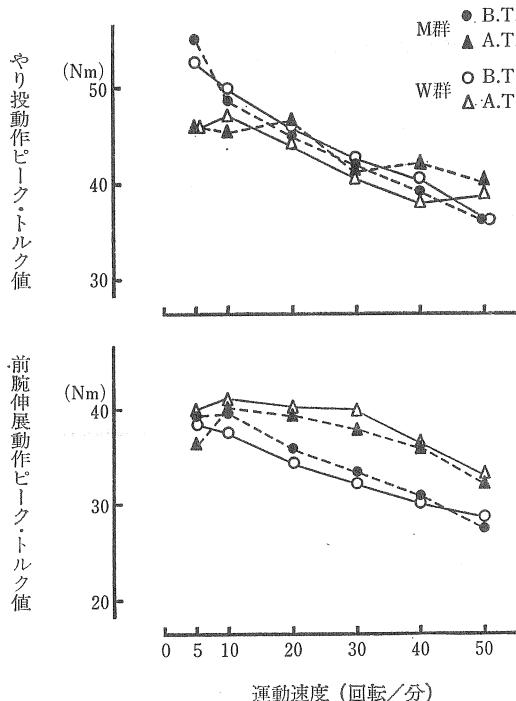


図9 M群とW群のtraining 前後のピーク・トルク値

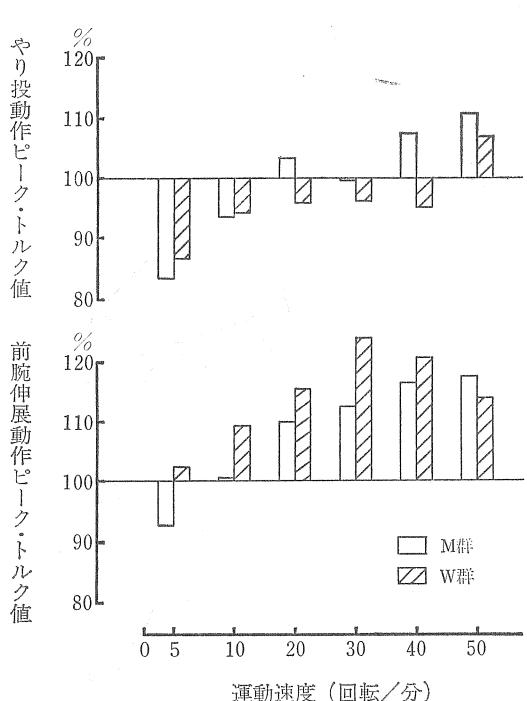


図10 M群とW群のtraining に伴う増加率の比較

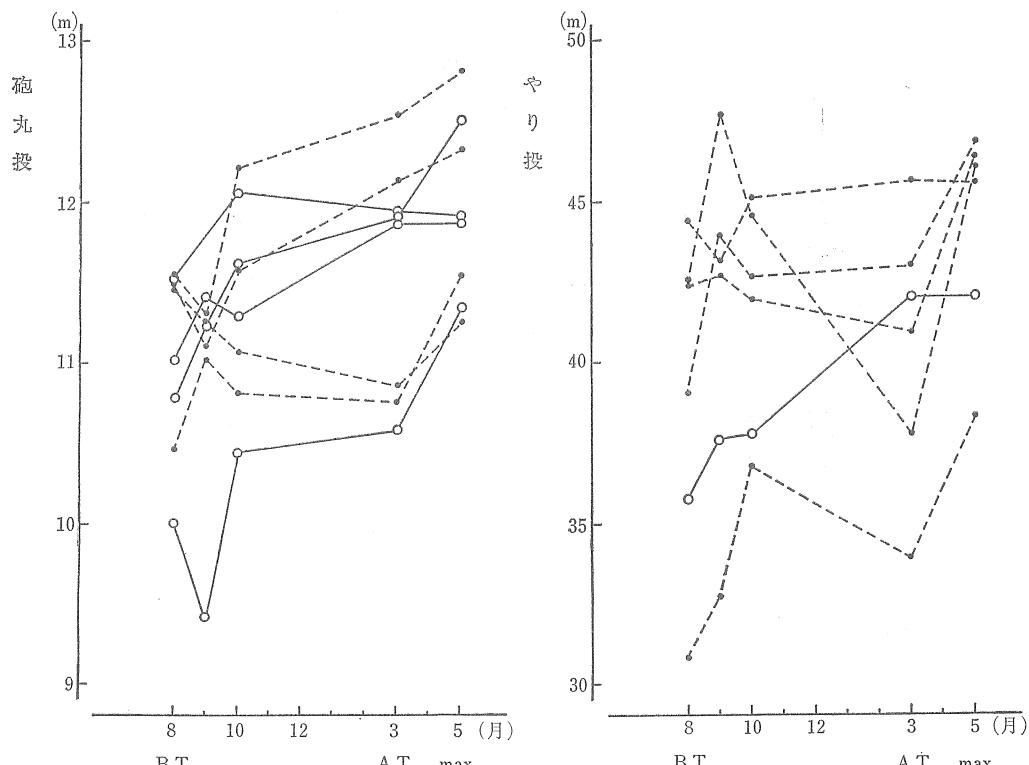


図11 やり投及び砲丸投記録の推移

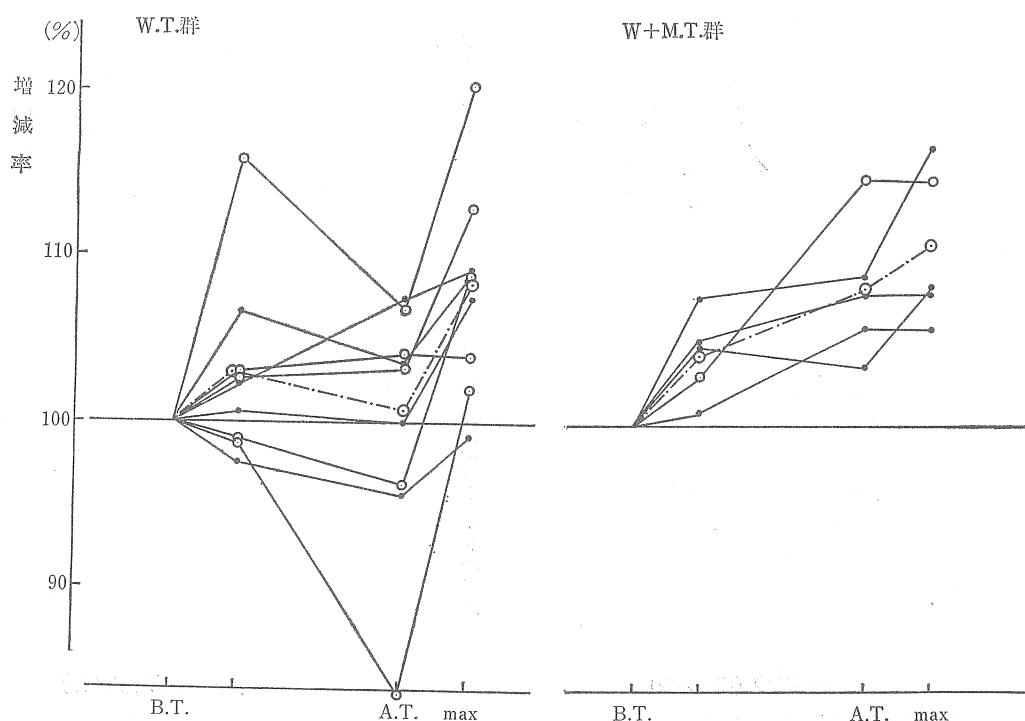


図12 M群とW群の競技記録の増減率の比較

においては、W群は5回転/分から40回転/分まで減少しているのに対し、M群は、20回転/分以下は変化がないか増加している。したがって、ややM群の方がtraining効果の大きい傾向を示したが、統計的には有意の差を示したところはなかった。

以上のことから、ミニ・ジムによるtrainingが等速性収縮のピーク・トルク値に与えた効果は、やり投動作での早い運動速度のピーク・トルク値においてW群よりやや増加が大きかったのみで、特にミニ・ジムによるtrainingがweight trainingより効果があったとは言えない。

2) 競技記録に対するミニ・ジム training の影響

training前後の競技記録の比較のため競技記録は、各種競技会及び東京女子体育大学との間で定期的に行われている記録会の記録を集めて検討した。その結果、training前の値としては、1979年8月18日及び9月22日に行われた記録会の記録を用い、training1ヵ月後の10月21日の記録会の記録を中心期の値とし、training後は1980年3月15日に行われた記録会の値を用いた。また参考迄に3—5月中の最高記録を最高値として示した。

図11に砲丸投群とやり投群の個人の記録の推移を示した。また図12に8月18日と9月22日の記録の平均値を100%として、10月及び3月の記録の

割合を算出し、これをW群とM群に分けて示した。

図に明らかな通り、M群は全員記録が向上し、training終了時の3月の記録は、平均108.2%の増加率を示した。M群の増加率108.2%は $t=3.738$ で $P<0.01(N=5)$ と有意の増加であり、また3—5月中の最高値では平均110.7%の増加率であった。これに対しW群は、9月の記録にくらべて3月の時点では記録が低下している者もいたが、3—5月の最高値では平均増加率108.5%で前年より増加していた。

以上の通り、競技記録から見れば、ミニ・ジム trainingを行ったM群の記録の向上の方が著しかった。しかしM群は全員1年生であり、過去の経験では1年生から2年生になる頃の記録の向上が著しいとのことなので、77年度と78年度入学者についても1年生の6月の記録と2年生の春の記録を比較してみた。図13は投げ選手の77年度、78年度、79年度入学者の記録の6月の記録に対する増加率の推移である。77年及び78年度入学者の記録向上の割合にくらべて、ミニ・ジム trainingを行った79年度入学者の記録向上の割合は大きい。79年度は6月にくらべ10月は平均109.5%，3月は111.4%で、両者とも t 検定の結果有意の増加であった。77年度は10月が102.0%，3月は105.6%の増加率であったが、いずれも統計的には有意性がなく、3—5月中の最高値の平均増加率は108.3%で $t=2.812(N=5)$ 、 $P<0.05$ を示した。

すなわち、1年生から2年生への記録の向上の割合を年度別に比較してみても、ミニ・ジム training群の増加の割合は大きい。特にシーズンあけの第1回の記録会に全員良い記録が出たのに対し、77年度の入学生でみると、シーズンあけの3月の記録は良い者も悪い者もあり、3月から5月の間に徐々に記録が向上し、この間のそれぞれの最高値をとってみれば、有意の増加を示した。

4. やり投の記録とピーク・トルク値の関係

サイベックスで測定したパワーと、実際のやり投の記録との関係を見るため、相関図を作った。図14は、前腕伸展動作の各速度のピーク・トルク値とやり投選手のやり投距離について、8月の値と3月の値のそれぞれの相関であり、図15はやり投動作のピーク・トルク値とやり投距離との相関

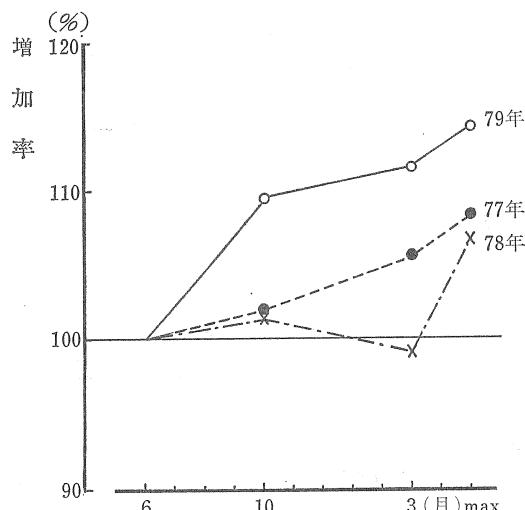


図13 入学年度別競技記録増加率の比較

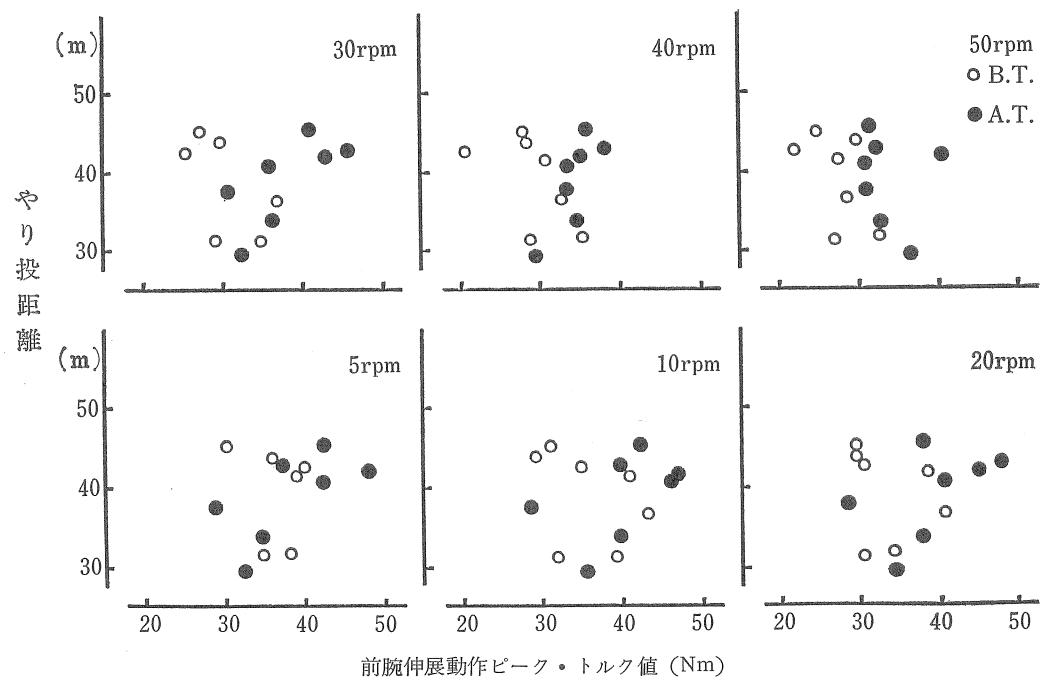


図14 やり投記録と前腕伸展動作ピーグ・トルク値の相関

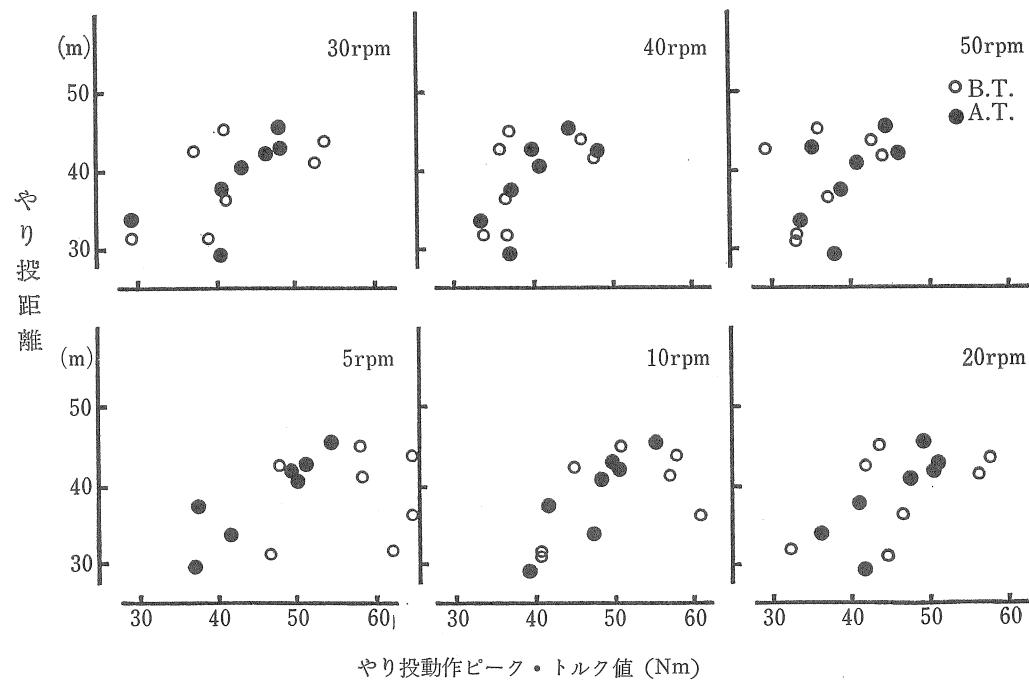


図15 やり投記録とやり投動作ピーグ・トルク値の相関

図である。

8月のピーク・トルク値とやり投距離の間に、前腕伸展動作もやり投動作も投距離との間に全く相関が見られなかった(表2参照)。しかし3月の測定値では、やり投距離とやり投動作の各収縮速度との間に高い相関関係を示していた。

まとめ

女子陸上競技投てき選手21名を被検者として、やり投動作及び前腕伸展動作による等速性収縮中のピーク・トルク値の測定を行うとともに、アイソキネティック・トレーニング用のミニ・ジムを用いて、6名の選手にトレーニングを行わせた。その結果、次のことがわかった。

1. 女子投てき選手のピーク・トルク値は、前腕伸展動作より、やり投動作の方が40-30%大きく、また両動作とも運動速度の遅い方が速い方より大きい値を示し、運動速度が速くなるのに伴って、ピーク・トルク値は低下した。

投てき選手のピーク・トルク値は、同一方法で測定した女子大学バレー部の二軍の者にくらべれば、表3の通り大きい値を示した。殊に運動速度の遅い時に投てき選手の方が35%も大きいピーク・トルク値を示した。したがって、一般女子にくらべれば、かなり大きい値を示すものと推察される。

表2 やり投距離と前腕伸展及びやり投動作のピーク・トルク値との相関係数

		5 rpm	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	50 rpm
前腕伸展 P.T. とやり投距離	8月	-0.206	-0.288	-0.134	-0.345	-0.494	-0.417
	3月	0.639	0.489	0.514	0.745*	0.727*	0.532
やり投動作 P.T. やり投距離	8月	0.126	0.442	0.470	0.485	0.405	0.310
	3月	*** 0.863	*** 0.860	* 0.677	* 0.714	* 0.737	0.536

表3 女子陸上投てき選手と女子大学バレー部選手(二軍)のやり投動作による
ピーク・トルク値の比較

rpm	5	10	20	30	40	50	
陸上投てき群	55.9±7.49	50.3±8.21	46.2±7.71	42.7±8.00	40.4±6.08	36.5±5.61	N=21
バレー部選手群	41.3±7.39	41.1±6.90	40.2±7.97	38.3±7.73	36.4±6.66	33.8±6.43	N=12
%	135.4	120.9	114.9	111.5	111.0	108.0	

2. 前腕伸展動作のピーク・トルク値は、各運動速度とも上腕屈筋力と5%の有意水準で正の相関が認められた。またやり投選手にくらべて砲丸投選手の平均値の方が有意に大きかった。これに対して、やり投動作のピーク・トルク値は上腕屈筋力との相関は殆どなく、またやり投選手と砲丸投選手の間に差が認められなかった。

さらに、前腕伸展動作のピーク・トルク値で表わされる速度一定のパワーと、荷重負荷法で測定された負荷一定のパワーは、いずれも上腕屈筋力と高い相関を示したが、上腕の最大収縮速度とは全く相関がみられなかった。以上のことから、本被検者のピーク・トルク値は、いずれも筋力に依存する部分の大きいパワーではないかと考える。

3. ウエイト・トレーニング群(W群)も、またこれにミニ・ジム・トレーニングを加えたM群も、training後には速い運動速度におけるピーク・トルク値が増したが、遅い運動速度でのピーク・トルク値は減少した。またやり投動作におけるピーク・トルク値の増加の割合はM群がやや大きい傾向を示し、前腕伸展動作ではW群の増加の方が大きい傾向を示した。しかし両群の増加率の差には有意性が認められず、ミニ・ジムのトレーニングによって、等速性収縮による筋出力が特に増加したとは言えなかった。

4. 競技記録に対するミニ・ジム・トレーニン

グの影響は、競技記録の増加率からみてやや効果があったのではないかと思われる。特にミニジムのトレーニングを投てきフォームにできるだけ近い形で行わせたためか、シーズン明けの3月の記録会において全員よい記録を示した。

なお、やり投の記録とやり投動作のピーク・トルク値は、3月には有意の正の相関を示した。したがって、競技動作に近い形で測定される筋出力は、競技成績を推定する上に有意であると思われる。

文 献

- 1) 宮下充正他8名：競技種目別体力トレーニング処方に関する研究—第1報—、競泳選手のための陸上トレーニング、昭和52年度日本体育協会スポーツ医・科学調査研究事業報告、P. 1-16.
- 2) 宮下充正他5名：競技種目別体力トレーニング処方に関する研究—第2報—、競泳選手のためのア

イソキネティック・トレーニング、昭和53年度日本体育協会スポーツ医・科学調査研究事業報告。

資料：スポーツ選手の等速性筋出力

金久博昭 小田伸午 宮下充正

これまでに筋出力の種目特性については、中西ら³⁾が五輪候補選手を、山崎と金子⁴⁾が大学の運動部員を対象に、静的筋出力の発揮能力から検討している。さらに動的筋出力については金子¹⁾および川初²⁾がパワーの発揮能力に関する報告を行なっている。本研究では五輪候補選手の等速性筋出力を測定し、動的筋出力の発揮能力における種目特性を知るための資料を得ることを目的とした。

被検者は五輪候補選手男子82名であった。等速性筋出力の測定には Cybex II (Lumex 社製) を用い、測定速度は10, 20 rpm (回/分) の2種

表1 競技種目別のピーク・トルク値 単位: Nm

	N	腕					脚			
		30 F	30 E	10 E	10 F	30 E	30 F	10 E	10 F	
ボクシング	6	m S D	26.38 2.78	20.46 2.91	33.40 7.49	27.21 4.40	93.65 16.16	64.38 13.48	144.93 32.44	81.30 17.92
柔道	6	m S D	43.91 7.28	45.06 6.51	53.31 10.56	57.30 8.39	152.65 27.62	104.43 20.94	240.15 52.05	138.73 24.96
グランドホッケー	9	m S D	33.95 6.03	27.70 4.47	37.78 8.08	34.66 6.84	123.40 17.71	86.88 14.93	184.33 30.77	105.58 20.58
ボート	6	m S D	44.25 11.72	45.60 7.38	49.75 5.51	57.06 6.70	173.43 14.40	110.00 13.89	258.16 37.41	144.83 12.99
近代五種	9	m S D	29.84 5.95	27.06 4.73	35.96 7.11	33.03 6.41	113.05 20.04	73.40 16.08	185.88 33.25	101.74 16.41
ウェイトリフティング	7	m S D	36.18 10.50	31.87 8.41	36.40 9.11	36.35 8.86	136.45 8.17	86.75 12.97	206.45 20.97	113.65 18.40
自転車	9	m S D	36.52 6.09	25.94 6.54	39.94 5.97	33.00 7.70	106.87 18.82	69.18 10.88	169.07 21.87	92.15 16.61
レスリング	9	m S D	39.21 9.48	29.60 6.87	49.72 13.91	38.66 7.20	116.74 24.01	79.64 19.66	179.87 36.86	102.47 28.19
ハンドボール	12	m S D	37.96 5.57	37.50 6.26	45.97 7.22	44.65 7.46	145.45 23.04	108.29 17.24	249.96 22.35	155.10 16.58
陸上競技(短距離・跳躍)	6	m S D	32.76 5.47	25.26 3.14	39.98 5.57	29.55 5.83	147.80 24.69	87.43 20.98	236.73 43.89	115.71 22.04
陸上競技(長距離)	3	m S D	26.90 2.68	20.36 5.91	30.26 3.60	24.06 5.96	113.50 23.35	84.06 21.25	164.80 25.99	94.46 18.78

30 E : 30 rpm 伸展, 30 F : 30 rpm 屈曲, 10 E : 10 rpm 伸長, 10 F : 10 rpm 屈曲

類とした。動作様式は腕および脚の屈曲・伸展で、動作中に発揮されるピーク・トルクでもって等速性筋出力を評価した。各動作における測定法は次の通りであった。

1. 脚の屈曲および伸展

被検者は上腕を前方に肩の高さまで挙げ所定の台上に置き、腋下及び胸部を台縁に密着させた。被検者は肘関節を完全に伸展(180度)した位置で Cybex II の入力レバーを握り、最大努力の屈曲を行ない、続いて伸展を行なった。

2. 脚の伸展および屈曲

被検者は椅子座位で膝関節を直角に屈した位置から、最大努力の脚伸展および屈曲を行なった。

Cybex II の入力レバーは被検者の足首部に固定した。なお2点式ベルトでもって被検者の腰部を固定した。

各動作における試行回数は3回で、最も高い値を代表値とした。

競技種目別のピーク・トルクの平均値および標準偏差値は表1に示した。競技種目別にピーク・トルクの発揮能力についてみると、腕・脚とともにボート、柔道およびハンドボールが高い出力を示し、ボクシングが全ての測定項目において最も低い値を示した。表2には屈曲時に対する伸展時のピーク・トルクの割合(E/F)を示した。腕のE/Fは柔道およびボートが高く、脚では陸上競技が(短距離・跳躍)高い値を示した。次に形態

表2 屈曲時に対する伸展時のピーク・トルクの割合

	m S D	腕		脚	
		30rpm	10rpm	30rpm	10rpm
ボクシング	m S D	0.776 0.092	0.782 0.126	1.479 0.253	1.792 0.248
柔道	m S D	1.052 0.133	1.090 0.155	1.469 0.121	1.730 0.187
グランドホッケー	m S D	0.794 0.268	0.950 0.240	1.433 0.255	1.765 0.224
ボート	m S D	1.059 0.190	1.152 0.130	1.587 0.146	1.781 0.181
近代五種	m S D	0.920 0.206	0.933 0.174	1.559 0.218	1.848 0.281
ウェイトリフティング	m S D	0.971 0.128	1.037 0.110	1.618 0.293	1.848 0.301
自転車	m S D	0.716 0.169	0.834 0.193	1.544 0.125	1.867 0.333
レスリング	m S D	0.757 0.085	0.835 0.168	1.537 0.218	1.808 0.309
ハンドボール	m S D	0.995 0.164	0.986 0.207	1.383 0.166	1.621 0.171
陸上競技 (短距離・跳躍)	m S D	0.804 0.198	0.748 0.174	1.738 0.311	2.093 0.494
陸上競技 (長距離)	m S D	0.748 0.143	0.786 0.107	1.396 0.421	1.765 0.227

の違いがピーク・トルク値に及ぼす影響をなくすために、腕のピーク・トルクは上腕の周径囲で、脚のピーク・トルクについては大腿囲と体重で除し、その結果を表3, 4に示した。また図1-a, bにはピーク・トルクの絶対値および周径囲、体重で除した値を競技種目別に示した。ピーク・トル

クを周径囲で除した値は、腕・脚ともに絶対値の大きい競技種目ほど高い値を示す傾向にあった。一方、体重で除した脚のピーク・トルクは、陸上競技(短距離・跳躍)、ポート、ウェイトリフティング、ハンドボールが高く、絶対値では上位にランクされる柔道が低い値を示した。

表3 上腕周径囲に対する腕ピーク・トルクの割合

	m S D	PTE/AG-E		PTF/AG-F		PT(E+F)/ AG-E		PT(E+F)/ AG-F	
		30rpm	10rpm	30rpm	10rpm	30rpm	10rpm	30rpm	10rpm
ボクシング	m S D	0.783 0.083	1.041 0.140	0.889 0.086	1.180 0.162	1.792 0.138	2.388 0.256	1.578 0.132	2.095 0.225
柔道	m S D	1.282 0.107	1.634 0.209	1.158 0.138	1.404 0.220	2.528 0.149	3.144 0.352	2.346 0.178	2.920 0.374
グランドホッケー	m S D	1.034 0.171	1.296 0.263	1.136 0.193	1.264 0.260	2.298 0.278	2.669 0.413	2.063 0.236	2.425 0.350
ボート	m S D m	1.555 0.237	1.950 0.263	1.341 0.357	1.508 0.174	3.073 0.631	3.657 0.440	2.718 0.528	3.245 0.341
近代五種	m S D	1.014 0.168	1.236 0.229	0.975 0.166	1.175 0.197	2.127 0.294	2.578 0.386	1.872 0.234	2.555 0.306
ウェイトリフティング	m S D	1.096 0.209	1.252 0.224	0.994 0.122	1.114 0.207	2.223 0.293	2.515 0.386	1.961 0.266	2.218 0.352
自転車	m S D	0.946 0.181	1.205 0.212	1.204 0.163	1.316 0.150	2.288 0.244	2.675 0.241	2.163 0.370	2.396 0.186
レスリング	m S D	0.983 0.160	1.290 0.165	1.163 0.235	1.476 0.386	2.292 0.403	2.951 0.552	2.040 0.338	2.625 0.465
ハンドボール	m S D	1.264 0.192	1.505 0.238	1.176 0.154	1.424 0.199	2.542 0.317	3.055 0.389	2.337 0.294	2.806 0.339
陸上競技 (短距離・跳躍)	m S D	0.999 0.117	1.152 0.212	1.102 0.180	1.344 0.169	2.284 0.215	2.717 0.284	1.963 0.155	2.339 0.248
陸上競技 (長距離)	m S D	0.873 0.200	1.037 0.218	1.011 0.049	1.136 0.086	2.036 0.243	2.345 0.325	1.770 0.213	2.037 0.272

PTE：伸展時のピーク・トルク

PTF：屈曲時のピーク・トルク

AG-E：腕伸展囲

AG-F：腕屈曲囲

表4 大腿屈(TG)および体重(BW)に対する脚ビーグ・トルク(PT)の割合

		PT (Nm) / TG (cm)						PT (Nm) / BW (kg)						
		30rpm E	30rpm F	10rpm E	10rpm F	30rpm (E+F)	10rpm (E+F)	30rpm E	30rpm F	10rpm E	10rpm F	30rpm (E+F)	10rpm (E+F)	
柔 柔道	ボクシング	m SD	1.995 0.295	1.372 0.261	3.079 0.582	1.730 0.332	3.367 0.449	4.809 0.796	1.675 0.184	1.157 0.218	2.580 0.360	1.455 0.234	2.832 0.314	4.035 0.509
	グランンドボクシング	m SD	2.518 0.176	1.725 0.214	3.947 0.414	2.291 0.230	4.243 0.371	6.238 0.538	1.717 0.118	1.176 0.139	2.691 0.278	1.571 0.240	2.892 0.242	4.261 0.471
ボク ボクシング	近代五種	m SD	2.245 0.114	1.584 0.173	3.355 0.491	1.927 0.143	3.829 0.212	5.281 0.561	1.886 0.250	1.333 0.248	2.818 0.438	1.619 0.334	3.219 0.425	4.437 0.723
	ウェイトフティング	m SD	2.460 0.153	1.559 0.183	3.715 0.280	2.039 0.243	4.019 0.095	5.753 0.278	2.163 0.137	1.369 0.129	3.217 0.404	1.803 0.057	3.532 0.213	5.020 0.450
自動車	ハンドボール	m SD	1.945 0.293	1.259 0.161	3.078 0.263	1.682 0.276	3.204 0.411	4.760 0.397	1.788 0.254	1.158 0.191	2.931 0.329	1.612 0.203	2.946 0.395	4.542 0.449
	陸上競技(短距離)	m SD	2.101 0.222	1.430 0.235	3.235 0.318	1.837 0.370	3.531 0.409	5.072 0.582	1.685 0.216	1.138 0.160	2.587 0.259	1.459 0.249	2.822 0.348	4.046 0.377
E: 伸展時のビーグ・トルク		F: 屈曲時のビーグ・トルク												

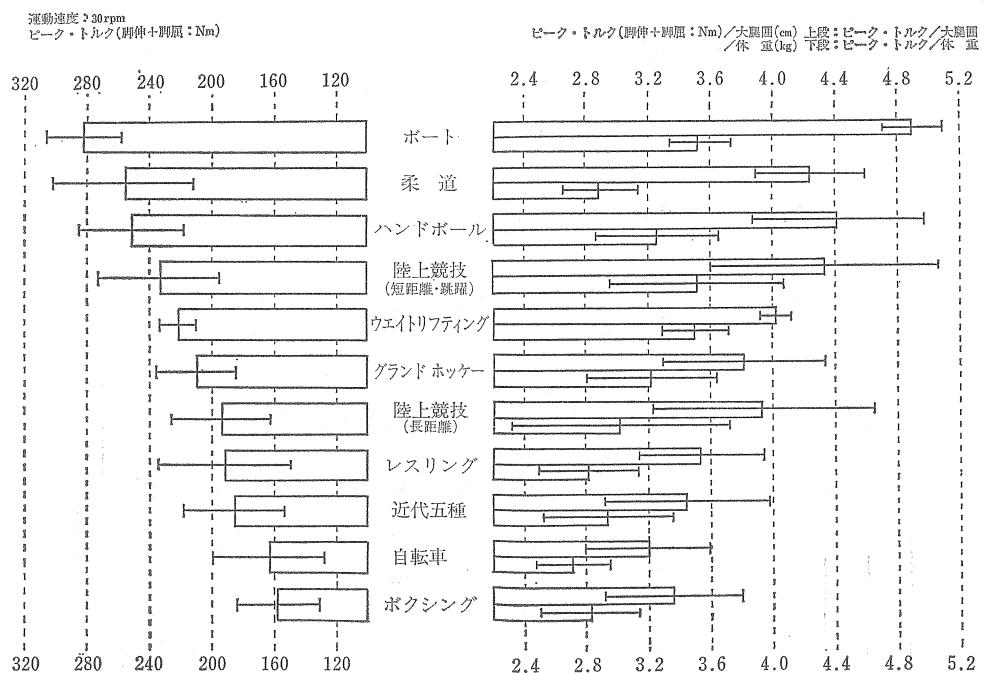
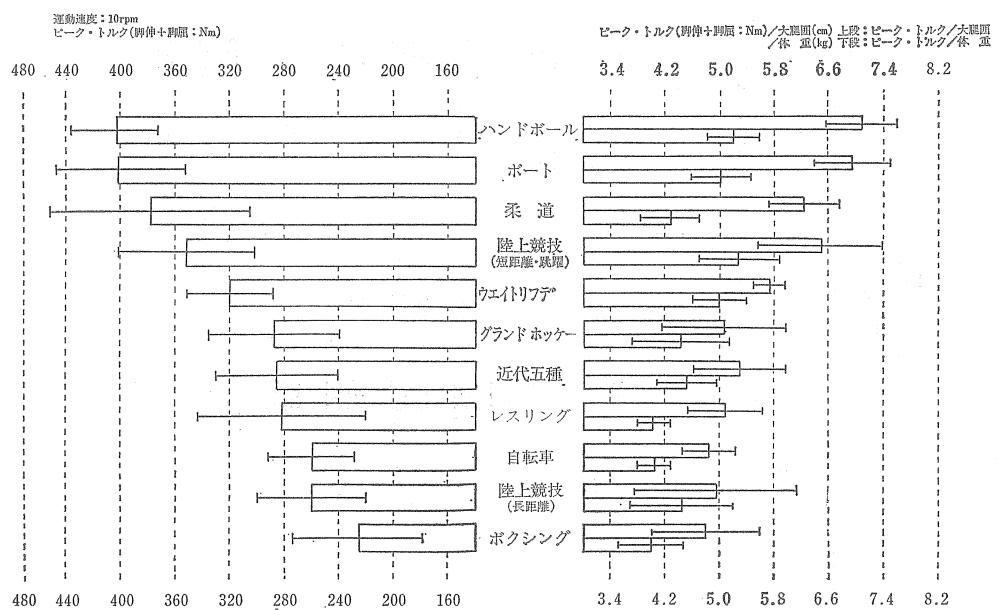


図 1-a 競技種目別にみたピーク・トルクおよび周径囲、体重当りのピーク・トルク

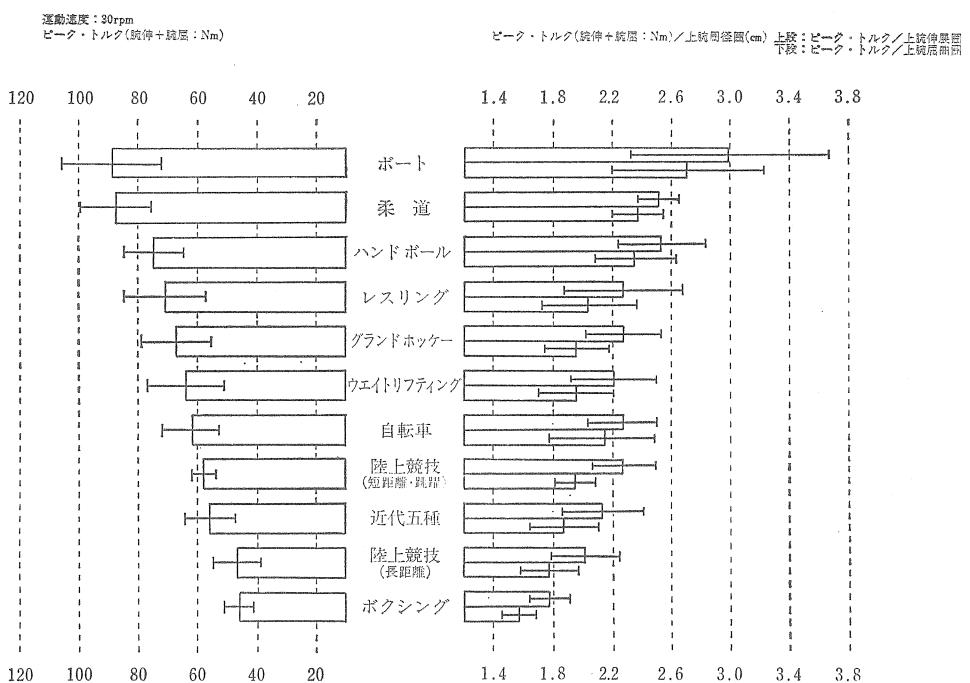
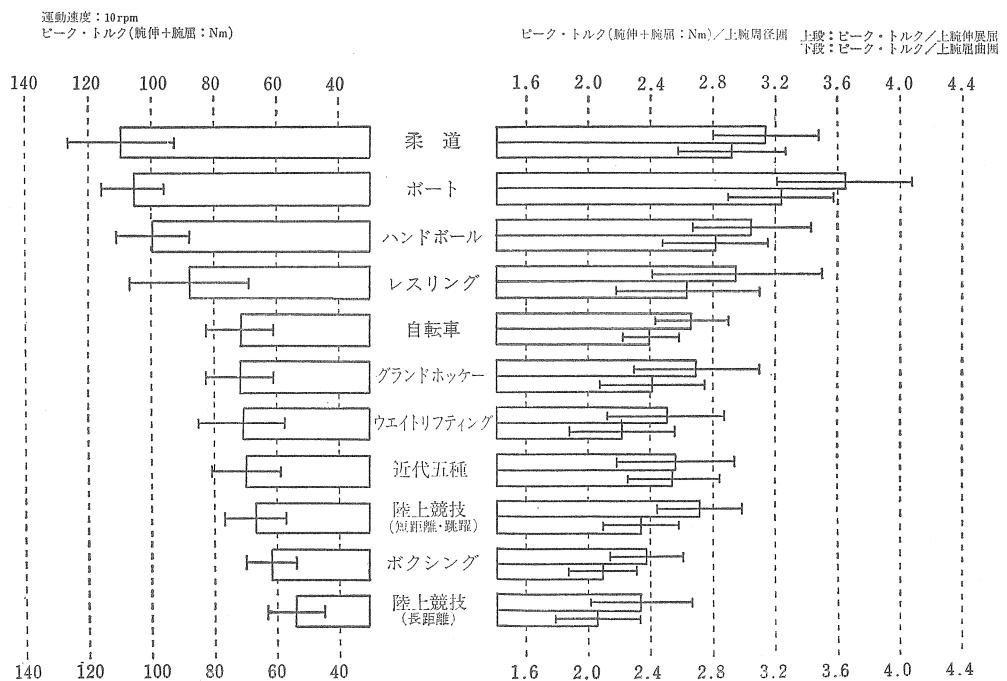


図 1-b 競技種目別にみたピーク・トルクおよび周径、体重当りのピーク・トルク

参考文献

1. 金子公宥：瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス，杏林書院，1974。
2. 川初清典，猪飼道夫：ヒトの脚パワーと力・速度要因力（Ⅱ）スピード・パワーにおける個人特性について，体育学研究 17： 17-24，1972。
3. 中西光雄，塙越克己：体力測定結果のまとめ——競技内の比較および特徴，東京オリンピック・スポーツ科学的研究報告，pp. 587-617，日本体育協会，1995。
4. 山崎武，金子公宥：四肢の屈・伸筋力からみた各種運動部員の特徴，体育学研究 17： 213-219，1973。

