

## 陸上競技種目別におけるピークトルク値, 筋持久力の検討

水野増彦\*・石井隆士\*・日隈広至\*・菅原 勲\*・宮舘実能留\*\*\*  
谷代一哉\*\*\*\*・菅田真理\*\*・清田 寛\*\*\*\*・大和 眞\*\* \*\*\*\*

(平成 11 年 5 月 17 日受付, 平成 11 年 6 月 25 日受理)

## An Examination of Isokinetic Muscular Strength and Endurance of Knee Flexion and Extension by Various Groups of Track and Field

Masuhiko MIZUNO, Takashi ISHII, Hiroshi HIGUMA, Isao SUGAWARA,  
Minoru MIYADATE, Kazuya YASHIRO, Mari SUGETA,  
Hiroshi KIYOTA and Makoto YAMATO

The purpose of present study was to examine the relationship between the peak torque and angular velocity relation and isokinetic muscular endurance during the knee exercise (extension and flexion). The subjects were thirty-one inter-college level's track and field athletes (sprint: 8, middle distance: 7, long distance: 9, pole vault: 4, high jumper: 5, thrower: 5), aged 18 to 22. The peak torque for the angular velocity and muscular endurance were measured used a Cybex6000 machine (Cybex Medical, A Division of Henley Healthcare, Inc. New York), and the range of motion for the knee flexion and extension was from 0 to 90 degrees. Angular velocity used 0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/sec or 0, 1.05, 3.14, 5.26, 7.02, 8.77 rad/sec. On the other hand, muscular endurance set up an angular velocity to 180 deg/sec and enforce repeatedly, 60 times continuously with a maximal effort.

A characteristic of muscular strength was able to be observed in various groups in track and field, by catching from both peak torque-angular velocity relation and muscular endurance like this time. It is thinking that we want to be going to utilize it to practice and training in various groups in track and field, on the basis of the result that was obtained from now on.

**Key words:** Track and field, Peak torque, Muscular endurance

キーワード: 陸上競技, ピークトルク値, 筋持久力

### I. 緒 言

陸上における運動には、走・跳・投・歩くなどが挙げられる。これらの運動の多くを備えたスポーツ種目が陸上競技であるといっても過言ではない。このような観点から、陸上競技選手を対象とした基礎的な研究が積極的になされているのが実状のようであり、これらの研究成果を基に他のスポーツの練習やトレーニングに取り入れられていることは言うまでもないことである。陸上競技は運動の種類やその条件（強度、時間、頻度）により、それぞれの種目ごとにおける特徴が顕著に現れてくることから、この競技に関する研究も数多く<sup>1-4, 9, 10, 12, 14, 15, 17</sup>報告されている。また、我々もこの種目の競技力

向上のための基礎的な研究<sup>10, 12</sup>に取り組んでいる。石井<sup>10</sup>はこの競技のトラック種目を対象とし性差における筋力発揮の相違について検討し、清田<sup>12</sup>はこの種目における筋持久力の特徴について検討している。これらの研究から、我々が結論として得たことは筋の収縮速度と筋力、筋持久力の3方向より観察することにより、筋力トレーニングの新たな開発に取り組んでいる。そこで今回は、陸上競技の走・跳・投種目の選手を対象に、等速性筋力と筋持久力の両面より捉え、それぞれの種目における筋力発揮の特徴について比較・検討することを目的とした。

\* 運動方法（陸上）研究室, \*\* 体育研究所, \*\*\* 発育発達研究室, \*\*\*\* 大学院健康科学・スポーツ医科学系

## II. 方 法

### A. 被験者

被験者は、陸上競技男子選手（短距離：8名，中距離：7名，長距離：9名，走り高跳び：5名：棒高跳び：4名，投擲：5名（円盤投げ：3名，やり投げ：2名））であった。それぞれの種目ごとにおける身体的特性とベスト記録は、短距離が身長 $170.5 \pm 1.2$  cm，体重 $64.7 \pm 1.6$  kg，ベスト記録（100 m） $10''35 \sim 11''08$ ，中距離が身長 $171.1 \pm 2.2$  cm，体重 $60.3 \pm 1.7$  kg，ベスト記録（800 m） $1'51''8 \sim 2'08''0$ ，長距離が身長 $170.0 \pm 1.4$  cm，体重 $57.6 \pm 1.5$  kg，ベスト記録（5,000 m） $14'21''8 \sim 14'48''7$ ，走り高跳びが身長 $182.4 \pm 1.0$  cm，体重 $67.8 \pm 1.0$  kg，ベスト記録 $1.86 \sim 2.08$  m，棒高跳びが身長 $170.5 \pm 2.4$  cm，体重 $63.8 \pm 1.5$  kg，ベスト記録 $4.90 \sim 5.10$  m，投擲が身長 $177.6 \pm 2.8$  cm，体重 $79.6 \pm 4.1$  kg，ベスト記録（円盤投げ） $41.24 \sim 44.13$  m，（やり投げ） $59.95 \sim 65.08$  mであり，年齢は19～22歳であった。

### B. 等速性収縮時におけるピークトルク値 (Newton-meter: Nm) の測定

等速性収縮時におけるピークトルク値の測定は、Cybex6000を用いて、左右の膝関節の伸展および屈曲で行った。測定条件は、椅座位で股関節90度屈曲位、膝関節90度屈曲位の状態で、体幹と腰部、大腿部にはそれぞれベルトを装着し、固定した。特に測定時には、被験者の膝関節の回転軸とダイナモメータの回転軸が一致するように注意した。測定時には、膝関節伸展位を0度とし、膝関節90度から伸展および屈曲を最大努力でそれぞれ連続3回行わせ、最大値を代表値とした。角速度は、0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/secとし、それぞれの測定間の休息は30秒とした。また、等尺性筋力(0 deg/sec)は、伸展時で膝関節角度を70度、屈曲時で30度とし、それぞれ最大努力で3秒間行った。

### C. 等速性収縮時における筋持久力の測定

筋持久力の測定は、Cybex6000を用いて、右の膝関節の伸展および屈曲で行った。測定条件は、椅座位で股関節90度屈曲位、膝関節90度屈曲位の状態で、体幹と腰部、大腿部にはそれぞれベルトを装着し、固定した。特に測定時には、被験者の膝関節の回転軸とダイナモメータの回転軸が一致するように注意した。角速度は180 deg/secに設定し、伸展および屈曲を最大努力で連続60回行わせた。得られたピークトルク値の減衰曲線より、筋持久力の評価は、それぞれの種目間における最大ピークトルク値に対して終期値（50～60回目の平均値）を除いて行った。

### D. 測定結果の処理

測定により得られた個人ごとのデータは、Cybex 6000に内蔵された、コンピュータに取り込まれ、専用のプログラムでそれぞれのピークトルク値が算出される。その後、統計的処理をするため、ハードディスクに記憶されたデータは、MO（640 MBite、富士電気社製）に転送し、さらにパーソナルコンピュータDOS/V機（IBM社製）のハードディスクに転送して、Microsoft Excelで平均値、標準誤差を求めた。

## III. 結 果

### 1. 膝関節伸展および屈曲時における体重当たりのピークトルク値-角速度 (0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/sec) 関係

陸上競技種目別における膝関節伸展および屈曲時の角速度(0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/sec)に対する体重当たりピークトルク値の平均値と標準誤差をまとめたのが、Table 1である。

#### A. 膝関節伸展時における体重当たりのピークトルク値-角速度 (0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/sec) 関係

陸上競技種目別における膝関節伸展時の体重当たりのピークトルク値-角速度関係を示したのが、Fig. 1である。両者の関係は、0 deg/secでは棒高跳びが4.78 Nm/secと高値を示し、ついで短距離、中距離、長距離、投擲、走り高跳びの順となっていた。また、角速度が速くなるに従い短距離が最も高値を示す傾向にあった。特に500 deg/secでは短距離が高値を示し、ついで投擲、中距離、走り高跳び、棒高跳び、長距離の順であった。また、種目別における両者の関係は直角双曲線を示していた。

#### B. 膝関節屈曲時における体重当たりのピークトルク値-角速度 (0, 60, 180, 300, 400, 500 deg/sec) 関係

陸上競技種目別における膝関節屈曲時の体重当たりのピークトルク値-角速度関係を示したのが、Fig. 2である。両者の関係は、0 deg/secでは短距離が2.33 Nm/secと高値を示し、ついで中距離、走り高跳び、長距離、投擲、棒高跳びの順となっていた。さらに、角速度が速くなるに従い短距離が高値を示す傾向にあった。また、種目別における両者の関係は直角双曲線を示していた。

#### C. 膝関節屈曲・伸展比-角速度関係

陸上競技種目別における膝関節屈曲・伸展比-角速度関係を示したのが、Fig. 3である。両者の関係は、0 deg/secでは約0.5～0.55の範囲にあり、中でも短距離が0.54と高値を示した。また、膝関節屈曲・伸展比は、



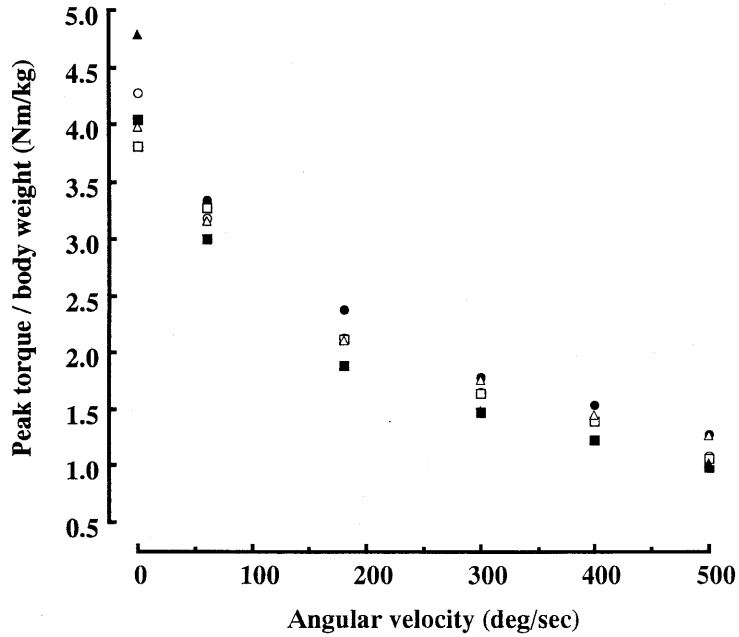


Fig. 1. Relationship between peak torque to body weight and angular velocity during knee extension for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field.

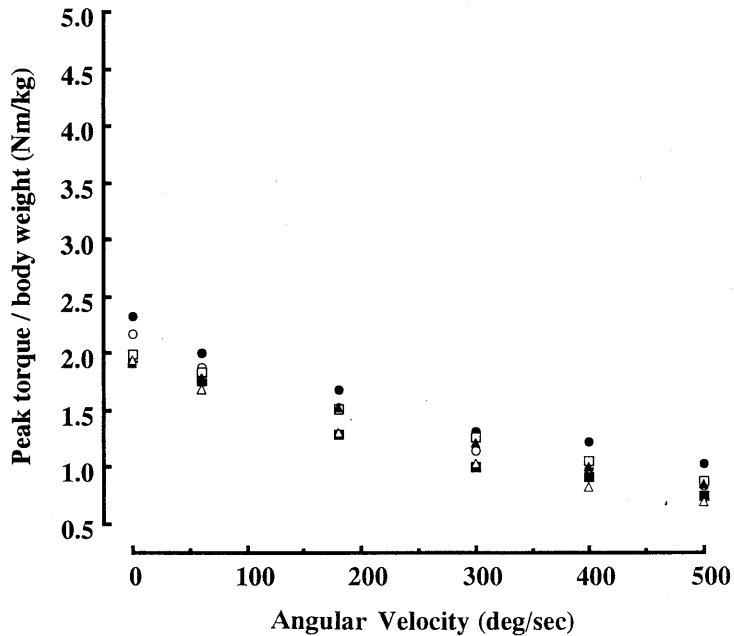


Fig. 2. Relationship between peak torque to body weight and angular velocity during knee flexion for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field.

短距離、中距離、長距離、走り高跳びともに角速度が速くなるに従い、高値を示す傾向にあったが、棒高跳びは180 deg/secで0.8と最高値を示し、その後ほぼ同値を示した。投擲は180 deg/secまでは上昇する傾向にあったが、その後角速度が速くなるに従い、減少する傾向を示した。

## 2. 連続60回の膝関節伸展および屈曲時におけるピークトルク値の変動

A. 角速度180 deg/secにより膝関節伸展時における最大ピークトルク値に対する50~60回目の相対値の平均値で種目ごとに示したのが、Fig. 4である。最大ピークトルク値に対する50~60回目の相対値の平均値(Fig. 4, 上図)は、長距離が53.5%と高値を示し、ついで中距離の45.3%、棒高跳び37.5%、走り高跳び35.5%、短距離33.0%、投擲30.9%の順に低値を示す傾向にあった。また、それぞれの種目とも回数の増加にともない、相対的ピークトルク値は指数関数的に減少する傾向にあった(Fig. 4, 下図)。

B. 角速度180 deg/secにより膝関節屈曲時における最大ピークトルク値に対する50~60回目の相対値の平均値で種目ごとに示したのが、Fig. 5である。最大ピークトルク値に対する50~60回目の相対値の平均値(Fig. 5, 上図)は、長距離が49.0%と高値を示し、ついで中距離41.4%、走り高跳び32.7%、短距離31.4%、棒高跳び29.0%、投擲28.8%の順に低値を示す傾向にあった。また、それぞれの種目とも回数の増加に伴い、相対的ピークトルク値は指数関数的に減少する傾向にあった(Fig. 5, 下図)。

C. 角速度180 deg/secにより連続60回屈伸運動中の膝関節屈曲・伸展比の平均値を種目ごとに示したのが、Fig. 6である。連続60回屈伸運動中の膝関節屈曲・伸展比の平均値(Fig. 6, 上図)は、走り高跳びが0.73%と高値を示し、ついで棒高跳び0.72%、短距離0.68%、中距離0.72%、投擲0.62%、長距離0.61%の順に低値を示す傾向にあった。中でも、投擲は他の5者と異なり25回前後を境として膝関節屈曲・伸展比が急速に減少する傾向を示した(Fig. 6, 下図)。

## IV. 考 察

### 1. 陸上競技種目の相違がピークトルク値-角速度関係に与える影響

等速性収縮時における角速度に対するピークトルク値は、トラック種目の特徴を備えながら直角双曲線を描くようであり、細谷ら<sup>8)</sup>、石井ら<sup>10)</sup>、清田ら<sup>11)</sup>の報告と一致した。このことは角速度が速くなるに従い、ピークトル

ク値は低値を示すことになる。角速度によるピークトルク値の相違は筋組成にも関係しているとの報告<sup>5, 16)</sup>もある。また、細谷ら<sup>8)</sup>らの報告をそのまま当てはめることについては、機種により異なるとの報告<sup>6)</sup>もあるので、慎重に検討することが必要である。しかし、今回の結果より、伸展時における0 deg/secのピークトルク値は棒高跳びが高値を示していた。このことはポールを持った助走練習や踏切脚であることが影響したものと考えられた。また、山本ら<sup>17)</sup>は走り幅跳びの踏切動作により助走速度を上方へ方向変換するときに伸展筋群が優位となると報告しており、今回の結果も同様に考えられた。角速度が速くなるに従い、短距離のピークトルク値が高値を示したことはCoyle<sup>5)</sup>やTihanyi<sup>16)</sup>の筋組成の結果と一致しているようにも思えるが、推察の域を脱することはできないので、今後詳細な検討が必要である。また、松井ら<sup>14)</sup>によると全力疾走時における重心軌跡から短距離が最も上下動が少なく、中距離、長距離になるに従い、上下動が大きくなると報告しており、阿江ら<sup>1)</sup>やAlexander<sup>2)</sup>の報告と今回の結果とを合わせてみると、短距離には膝関節の伸展力よりもむしろ角速度が速くなったときの屈曲力の方が重要であることが強く示唆された。また、走り高跳びがそれほど高値を示さなかったのは、踏切脚ではないことや投擲については相対値で示したことなどが、このような結果になったものと考えられた。しかし、長距離は屈曲および伸展時ともピークトルク値は最低値のグループに属していたことは、日常の練習には運動強度が低く、時間が長いため当然な結果として捉えることができた。また、膝屈曲・伸展比はBranesら<sup>3)</sup>やKuhnら<sup>13)</sup>によりスポーツ選手を対象として検討がなされている。中でも、Branesら<sup>3)</sup>によるとオリンピック短距離選手の屈曲・伸展比は角速度が速くなるに従い、この比も高値を示すと報告しており、今回のトラック種目と走り高跳びにおいては同様な結果となった。この比は角速度が速くなるに従い、高値を示すことは膝の伸展筋群よりも屈筋群の方がより速く走ったり、高く飛んだりすることに影響を及ぼしているものと推察された。したがって、今後は膝の伸展筋群や屈筋群のそれぞれに対してだけ注目するのではなく、この種目の筋力の特徴を研究する場合には、屈曲・伸展比も考慮しながら検討することの重要性が示唆された。しかし、今回は右膝の屈曲および伸展時のピークトルク値について検討したが、スポーツ種目により左右差もある<sup>11)</sup>ので今後の検討課題としていきたい。

### 2. 陸上競技種目の相違が筋持久力に与える影響

筋持久力は局所的な筋の耐久力として捉えることがで

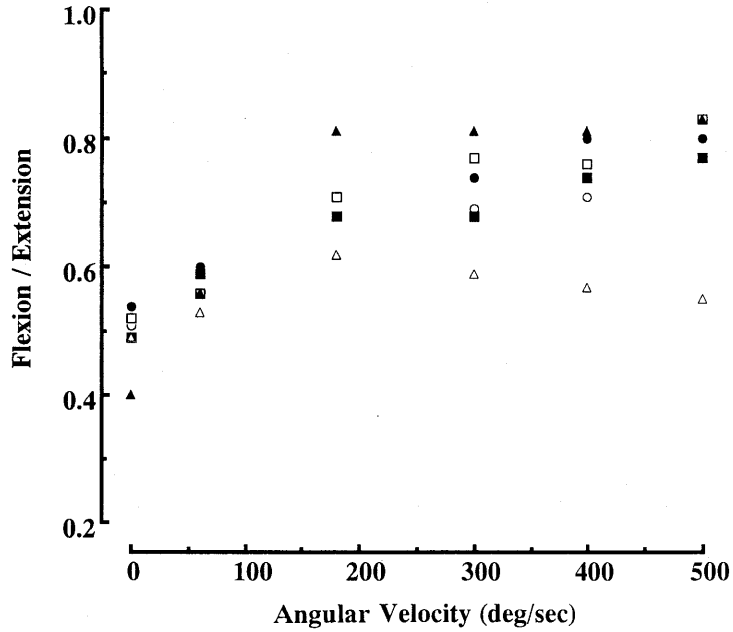


Fig. 3. Relationship between flexion/extension and angular velocity during knee exercise for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field.

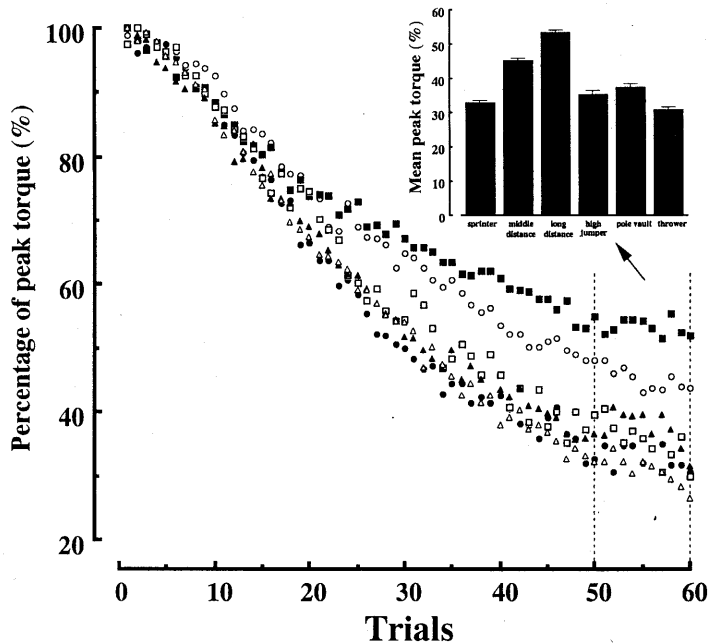


Fig. 4. Isokinetic contraction fatigue patterns during knee extension for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field. Upper figure is mean peak torque (%) at 50 to 60 trials. Symbol is mean value and standard error.

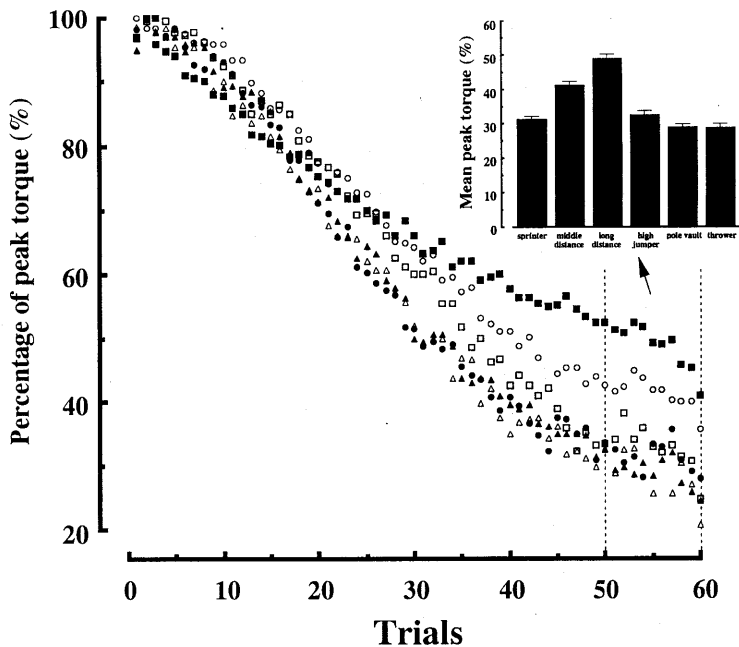


Fig. 5. Isokinetic contraction fatigue patterns during knee flexion for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field. Upper figure is mean peak torque (%) at 50 to 60 trials. Symbol is mean value and standard error.

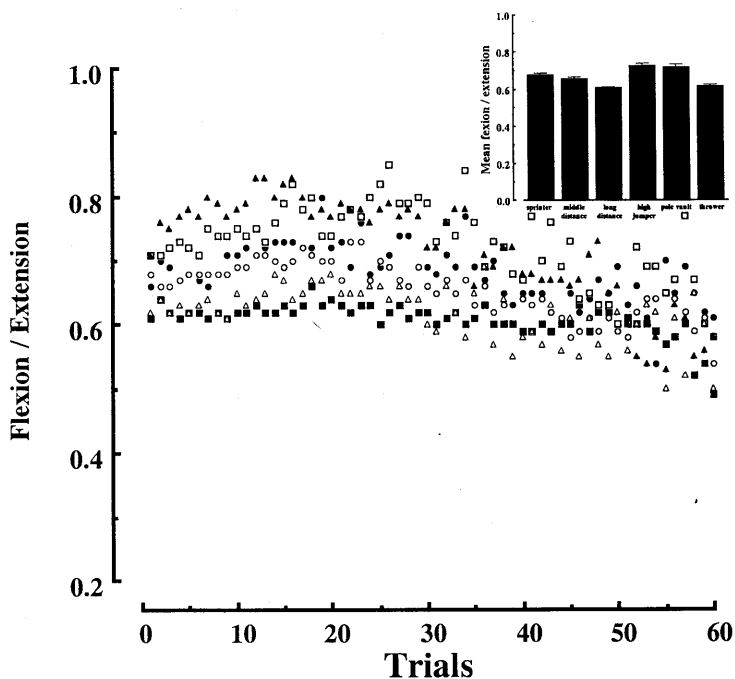


Fig. 6. Isokinetic contraction fatigue patterns during knee flexion/extension for various events (●: sprinter, ○: middle distance, ■: long distance, □: high jumper, ▲: pole vault, △: thrower) in track and field. Upper figure is mean peak torque (%) at 50 to 60 trials. Symbol is mean value and standard error.

きる。Hirovonen ら<sup>7)</sup>は400 m 疾走時におけるATP, CPの消費や乳酸の産生について検討している。その結果100 m 時点ではATPとCPが急激に減少し, 400 m 疾走中に乳酸の蓄積が増大すると報告している。また, 尾縣ら<sup>15)</sup>は400 m 疾走中の遞減指標と股関節屈曲・伸展筋持久性指標との間には関係が深いことを示唆していた。これらの結果は400 m 走は, 生化学的または筋力特性の両面においても, 無酸素的能力の限界に近く, 短距離走の中では最も困難なトラック種目として捉えることができる。今回の結果から, 膝伸展時における筋持久力に最も優れていたのは長距離であり, ついで中距離であった。短距離, 走り高跳び, 棒高跳びはほぼ同値を示し, 投擲が最も低かった。この傾向は膝屈曲時においても類似した傾向を示していた。よって, 全身持久性に富んだ種目ほど筋持久力に富んでおり, 反対に投擲のように最大筋力に優れている種目ほど筋の耐久性が低いことになり清田<sup>12)</sup>やKanehisa ら<sup>9)</sup>の報告とほぼ一致していた。

したがって, 今回のようにピークトルク値-角速度関係と筋持久力の両面から捉えることにより, 陸上競技種目別における筋力の特徴が明確となった。今後はこれらの結果に基づき, それぞれの種目別における筋力トレーニングに活用していきたいと考えている。

## V. 要 約

陸上競技種目選手(短距離: 8名, 中距離: 7名, 長距離: 9名, 走り高跳び: 5名, 棒高跳び: 4名, 投擲: 5名)を対象に, Cybex6000を用いた等速性収縮時の膝関節屈曲および伸展時における角速度-ピークトルク値および筋持久力については, 以下のごとくまとめることができた。

1. 膝関節伸展時の体重当たりのピークトルク値-角速度関係は, 0 deg/secでは棒高跳びが高値を示し, 短距離, 中距離, 長距離, 投擲, 走り高跳びの順となった。しかし, 角速度が速くなるに従い短距離が最も高値を示す傾向にあった。

2. 膝関節屈曲時の体重当たりのピークトルク値-角速度関係は, 0 deg/secでは短距離が高値を示し, 中距離, 走り高跳び, 長距離, 投擲, 棒高跳びの順となった。さらに, 短距離は角速度が速くなるに従い, 他の種目よりもさらにピークトルク値が高値を示す傾向にあった。

3. 膝関節屈曲・伸展比-角速度関係は, 0 deg/secでは6種目とも約0.5~0.55の範囲にあり, 中でも短距離が0.54と高値を示した。さらに, 短距離, 中距離, 長距離, 走り高跳びは角速度が速くなるに従い, 高値を示す

傾向にあったが, 棒高跳び, 投擲は異なる傾向を示した。

4. 膝関節伸展時における筋持久力は, 長距離が最も優れており, ついで中距離の順であり, 棒高跳び, 走り高跳び, 短距離はほぼ同値を示し, 投擲が最も低値を示した。また, 6種目とも回数の増加に伴い, ピークトルク値は指数関数的に減少する傾向を示した。

5. 膝関節屈曲時における筋持久力は, 長距離が最も優れており, ついで中距離, 走り高跳び, 短距離の順であり, 棒高跳び, 投擲が最も低値を示した。また, 6種目とも回数の増加に伴い, ピークトルク値は指数関数的に減少する傾向にあった。

6. 膝関節屈曲・伸展比の推移は, 投擲を除く5種目ともほぼ一定水準にあった。投擲の屈曲・伸展比は25回前後を境として急速に減少する傾向にあった。

以上の結果より, 陸上競技種目ごとのピークトルク値-角速度関係と筋持久力の両面より捉えることにより, それぞれの種目間における筋力の特徴について示唆することができた。

## 謝 辞

今回の測定は, 本学の陸上競技部レギュラー選手の御協力を頂き, 心より感謝の意を表します。測定に用いたCybex6000やこの実験に関する機器等については, 平成9, 10, 11年度「私学振興財団の特色ある研究」の補助によるものであります。関係各位の方々には心より感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 阿江通良: 機械的パワーから見た疾走における下肢筋群の機械および貢献度, 筑波大学体育科系, 9, 223-239 (1986).
- 2) Alexander, J.L.: The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters, *Can. J. Spt. Sci.*, 14(3), 148-157 (1989).
- 3) Barnes, W.S.: Selected physiological characteristics of elite male sprint athletes, *J. Sports Med.*, 21, 49-54 (1981).
- 4) Chapman, A.E. and Caldwell, G.E.: Kinetics limitations of maximal sprinting speed, *J. Biomechanics*, 16 (1), 79-83 (1983).
- 5) Coyle, F., Costill, D.L. and Lesmes, G.R.: Leg extension power and muscle fiber composition, *Med. Sci. Sports*, 11(1), 12-15 (1979).
- 6) 浜野 学, 津山 薫, 清田 寛, 大橋信行, 細谷治朗, 岸田謙二: Cybex6000とCybexII+を用いた伸展および屈曲時におけるピークトルク値とその時の膝関節角度の比較, 日本体育大学紀要, 25巻2号, 137-141 (1996).



- 7) Hirvonen, J., Nummela, A., Rusco, H., Rehunen, S. and Härkönen, M.: Fatigue and changes of ATP, Creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint, *Can. J. Spt. Sci.*, **17**(2), 141-144 (1992).
- 8) 細谷治朗, 関口 脩, 岸田謙二, 大橋令子, 荒尾章三, 松田竜太郎, 清田 寛: 男女重量挙げ選手の筋力特性に関する研究—CybexII+を用いた膝関節の伸展および屈曲時のピークトルクの比較—*日本体育大学紀要*, **26** 巻1号, 59-65 (1996).
- 9) Kanehisa, H., Ikegawa, S. and Fukunaga, T.: Force-velocity relationships and fatiguability of strength and endurance-trained subjects, *Int. J. Sports Med.*, **18**, 106-112 (1997).
- 10) 石井隆士, 日隈広至, 水野増彦, 菅原 勲, 登坂一晴, 宮脇実能留, 松田竜太郎, 細谷治朗, 岸田謙二, 渡辺文雄, 小泉一久, 長谷川 健, 清田寛, 大和 眞: 陸上競技男女トラック種目の等速性筋力の特徴, *日本体育大学紀要*, **28**(1), 67-75 (1998).
- 11) 清田 寛, 松田竜太郎, 浜野 学, 大橋信行, 大和 眞, 細谷治朗, 関口 脩, 岸田謙二, 齊藤照夫, 芦原正紀: 男女サッカー選手の等速性筋力に関する基礎的研究, *日本体育大学紀要*, **27** (2), 209-220 (1998).
- 12) 清田 寛, 長谷川 健, 石井隆士, 水野増彦, 松田竜太郎, 細谷治朗, 岸田謙二, 村本和世, 渡辺文雄, 小泉一久, 大和 眞: 陸上競技トラック種目男子選手の等速性筋持久力の特徴, *日本体育大学紀要*, **28**(2), 163-169 (1999).
- 13) Kuhn, S. and Gallagher, A.: Comparison of peak torque and hamstring/quadriceps femoris ratios during high-velocity isokinetic exercise in sprinters, cross-country runners, and normal males, *Isokinetics and Exercise Science*, **3**(1), 138-145 (1991).
- 14) 松井秀治, 只木英子: 走運動の動力学的研究(その1) 全速疾走時に於けるフォームとその重心位置について, *体育学研究*, **17**(1), p. 210 (1963).
- 15) 尾縣 貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 鍋倉賢治, 宮下 憲, 関岡康雄, 永井 純: 下肢の筋持久力と400 m 走中の疾走速度遅減との関係, *体育学研究*, **42**, 370-379 (1998).
- 16) Tihanyi, J., Apor, P. and Fekete, G.: Force-velocity power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**, 331-343 (1982).
- 17) 山本利春, 山本正嘉, 金久博昭: 陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較—100 m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として—, *Jpn. J. Sports Sci.*, **11**, 72-76 (1992).