

# 発育期におけるスポーツ選手の等速性筋力の 特性の解明と筋力トレーニング処方 of 確立

広島大学 菊地 邦 雄  
(共同研究者) 同 調 枝 孝 治  
同 渡 部 和 彦  
同 磨 井 祥 夫

## **A Study on Analysis of Isokinetic Muscular Strength of Athletes and Prescription of Muscular Training during Adolescence**

by

Kunio Kikuchi, Koji Choshi,  
Kazuhiko Watanabe and Sachio Usui  
*University of Hiroshima*

### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to clarify the characteristics of muscular strength during isokinetic contraction and the prescription of muscular training of young athletes.

The subjects were 23 junior high school students (12 male and 11 female track and fielders), 201 senior high school students (38 male and 21 female track and fielders, 13 male and 8 female swimmers, 108 male baseball players and 8 male and 5 female oars) and 70 versities (35 male and 35 female members of ESCI tennis club).

The leg extention strength was determined by measuring the peak torque generated through a range of constant angular velocity by use of an isokinetic device (Cybex II, Lumex Inc.).

The results were summarized as follows;

1) The peak torque of male students in junior high school, senior high school and university was greater than that of female at a whole range of angular velocities.

2) Sex difference in peak torque became gradually greater as the athletes growing old.

3) Baseball players showed the largest peak torque, followed by swimmers and track and fielders.

4) No apparent difference in peak torque was found between sprinters and jumpers, but the significant differences between distance runners and other track and fielders were observed.

5) The peak torque in baseball players was the greatest in outfielders, followed by catchers, pitchers and infielders in this order.

6) The apparent effects of muscular training on peak torque and on its relative value were observed in each angular velocity.

## 要 旨

目的：発育期にある各種運動選手の等速性筋力の特性を明らかにするとともに、筋力トレーニング前後の等速性筋力を測定して、筋力トレーニング処方作成のための基礎資料を得ることである。

方法：被検者は、陸上競技選手82名（中学生男子12名，女子11名，高校生男子38名，女子21名），野球選手108名（高校生男子），水泳選手21名（高校生男子13名，女子8名），ボート選手13名（高校生男子8名，女子5名）およびエスキーテニス選手70名（大学生男女各35名）の合計294名である。

等速性筋力の測定には、Cybex II machine (Lumex社製)を用いた。被検者は座位の姿勢で右側下肢の膝関節を約90度に保ち、脚伸展動作の際のピークトルクを記録した。また、角速度の一番おそいピークトルクをもとに各角速度のピークトルクの割合を求めて%ピークトルクとした。

結果：1) 中学生，高校生および大学生の各年代のピークトルクは，各角速度ともに男子は女子をうわまわるが，%ピークトルクでは男女差は見られない。

2) 各年代におけるピークトルクの性差は，年齢の多い年代になる程少なくなる。

3) 各種スポーツのピークトルクは，野球，水泳，陸上競技の順に大きい傾向を示したが，%ピークトルクでは差は見られなかった。

4) 陸上競技の種目別のピークトルクは，短距離と跳躍の間では差はみられないが，短距離と長距離，跳躍と長距離の間では有意な差がみとめられた。%ピークトルクでは3者間で差がみられなかった。

5) 野球選手のピークトルクは，外野手，捕手，投手，内野手の順に大きい傾向を示したが，%ピークトルクではそれぞれ4者間には差がみられなかった。

6) パワーを目的とした筋力トレーニングでは，ピークトルクに著明なトレーニング効果がみられ，また%ピークトルクにも著明な効果がみられた。特に角速度の大きいピークトルク，%ピークトルクにトレーニング効果は大であった。

## 緒 言

筋力を生成する骨格筋線維は，ミオグロビンの含有量から赤筋線維，白筋線維および中間筋線維

に組織学的分類<sup>7)</sup>がなされ、電気生理学的には、収縮特性から遅筋線維、速筋線維に二大別<sup>4)</sup>されている。また、最近、骨格筋線維の中に含む諸酵素活性化から SO 線維、FG 線維および FOG 線維に組織化学的に分類<sup>8)</sup>して呼ぶことが多い。

筋力は、筋力（瞬発力）、パワー、筋持久力に大別されるが、これらの筋力と骨格筋線維のタイプ別の機能との相関は高い。単位時間あたりの出力の大きい瞬発力やパワーには、早く収縮し、高エネルギー的性質を持つ白筋線維や中間筋線維の関与する割合は大きく、長時間にわたるエネルギー生成を必要とする筋持久力の発揮には赤筋線維の働きが大きい。

筋力発揮の際の筋収縮の方法は、等張性筋収縮と等尺性筋収縮に大別されてきたが、最近、筋収縮の速度を一定にして筋力を発揮させる等速性筋収縮が注目されるようになった。

一定のスポーツを長年継続すると、等速性筋力や筋線維タイプの組成にスポーツ特性があらわれることが、Costill<sup>1)</sup>、Coyle<sup>2,3)</sup>、Thorstensson<sup>9,10)</sup>らによって明らかにされた。すなわち、陸上競技の短距離選手、跳躍選手、砲丸投選手、重量挙げ選手などでは、等速性筋力の角速度が大きい時のピークトルクに優れ、速筋線維の横断面積の占める割合が大きく、一方、陸上競技やスキーの長距離選手では、そのピークトルクは劣り、遅筋線維の横断面積の占める割合が大である。

本研究では、発育期にあるスポーツ選手の等速性筋力の特性を明らかにするとともに、筋力トレーニング前後の等速性筋力を測定して、筋力トレーニング処方作成のための基礎資料を得ることを目的としている。

## 研究方法

被検者は、陸上競技選手 82 名（中学生男子 12 名、女子 11 名、高校生男子 38 名、女子 21 名）、野球選手 108 名（高校生男子）、水泳選手 21 名（高

校生男子 13 名、女子 8 名）、ボート選手 13 名（高校生男子 8 名、女子 5 名）およびエスキーテニス選手 70 名（大学生男女各 35 名）の合計 294 名である。

等速性筋力の測定には、Cybex II machine (Lumex 社製) を用いた。被検者は座位の姿勢で右側下肢の膝関節を約 90 度に保ち、脚伸展動作の際のピークトルクを記録した。Cybex の角速度は、等速性筋力の特性の解明の場合には、30、120、210 および 300°/sec とし、筋力トレーニングの影響に関する検討の場合には角速度 0（等尺性筋収縮）、30、60、90、120、150、180 および 210°/sec とした。

資料の整理は、記録されたピークトルク曲線から、各角速度におけるピークトルクを計測した。また、等速性筋力発揮に参加した筋線維のタイプを検討するために、等速性筋力の特性解明の場合には角速度 30°/sec の際のピークトルクをもとに、角速度 120、210、300°/sec の各ピークトルクの割合を求め、そして筋力トレーニングの影響の検討の場合には、角速度 0°/sec のピークトルクをもとに、角速度 30、90、120、150、180 および 210°/sec の際の各ピークトルクの割合を求めて、%ピークトルクとした。

## 研究結果

### 1. 性別からみた発育期にあるスポーツマンのピークトルク、%ピークトルクの特性

表 1 は、中学生（水泳選手男女）、高校生（ボート選手男女）および大学生（エスキーテニス選手男女）のピークトルクと %ピークトルクを示したものである。

中学生のピークトルクの平均値は、各角速度において男子が女子をうわまわり、角速度 30°/sec において男子は女子の 1.28 倍、120°/sec において 1.41 倍、210°/sec において 1.47 倍および 300°/sec において 1.45 倍を示した。男女間の有

表1 中学生(水泳), 高校生(ボート) および大学生(エスキーテニス) のピークトルク, %ピークトルクの性差

年代 (スポーツ種目)	角速度 性別(N)	ピークトルク (Nm)				%ピークトルク (%)		
		30°/sec	120°/sec	210°/sec	300°/sec	120°/sec	210°/sec	300°/sec
中学生 (水泳)	男子 (11)	177.0±41.07*	126.3±26.88*	81.6±17.49*	58.8±17.11*	71.9± 6.84	46.5± 5.64	33.3± 6.84
	女子 (7)	138.1±16.42	89.3±20.27	55.5±10.44	40.5± 7.97	64.8±13.53	40.4± 6.82	28.1± 4.44
高校生 (ボート)	男子 (8)	177.2±24.33**	124.2±23.60**	85.4±17.49**	64.6±14.18**	70.0± 5.88	48.1± 5.13	36.3± 3.66
	女子 (5)	130.4±18.45	81.8±13.40	57.8± 9.12	42.7±16.13	62.7± 4.09	44.6± 6.07	32.9± 6.71
大学生 (エスキーテニス)	男子 (35)	192.1±41.56**	128.6±25.40**	87.1±19.60**	65.8±15.80**	68.1±12.20	46.1± 8.47	35.0± 8.02
	女子 (35)	128.9±23.96	81.4±13.63	54.9± 7.71	41.7± 7.60	64.0± 9.32	43.3± 6.06	32.9± 5.70

\* 5%水準で有意差, \*\* 1%水準で有意差

有意差の検討を行った結果, どの角速度のピークトルクにおいても5%水準で有意な差がみとめられた。%ピークトルクでは, 各角速度において男子は女子をうわまわるが, その差は小さい傾向があり, 角速度 120°/sec の場合, 男子は女子の1.20倍, 210°/sec の場合1.15倍, そして 300°/sec の場合には1.19倍を示した。有意差の検討を行った結果, どの場合にも有意な差はみとめられなかった。

高校生のピークトルクの性差は, 角速度 30°/sec の場合男子は女子の1.36倍, 120°/sec の場合1.52倍, 210°/sec の場合1.48倍, そして 300°/sec の場合1.51倍を示し, 有意差の検討を行った結果, どの角速度の場合でも1%水準で有意な差がみとめられた。%ピークトルクでは, 男子が女子をわずかにうわまわり, 角速度 120°/sec の場合男子は女子の1.10倍, 210°/sec の場合1.05倍, 300°/sec の場合は1.10倍を示したが, 男女間では有意な差はみとめられなかった。

大学生のピークトルクでも, 男子は女子をうわまわり, 角速度 30°/sec の場合, 男子は女子の1.49倍, 120°/sec の場合1.58倍, 210°/sec の場

合1.59倍, そして 300°/sec の場合1.58倍を示し, どの角速度の場合でも1%水準で有意な差がみとめられた。%ピークトルクでは男女差は小さくなり, 120°/sec の場合男子は女子の1.06倍, 210°/sec の場合1.07倍, 300°/sec の場合1.06倍を示し, 男女間の有意な差はみられなかった。

## 2. スポーツ種目別からみた等速性筋力の特性

図1は, スポーツ種目のなかから陸上競技, 水泳, 野球を選び, 高校2年生の各選手についてのピークトルクと%ピークトルクを示したものである。各角速度におけるピークトルクは, 野球選手, 水泳選手, 陸上競技選手の順に大きい傾向を示したが, 3種目間で有意差の検定を行った結果, 角速度 30°/sec のピークトルクのみに野球選手と陸上競技選手間で5%水準で有意な差がみとめられた。%ピークトルクは, 3種目間でほとんど差はみられなかった。

## 3. 陸上競技選手の競技種目別と野球選手のポジション別からみた等速性筋力の特性

図2は, 陸上競技の競技種目別, すなわち短距離, 長距離および跳躍別に, 男子選手のピークトルクと%ピークトルクを比較したものである。ピ

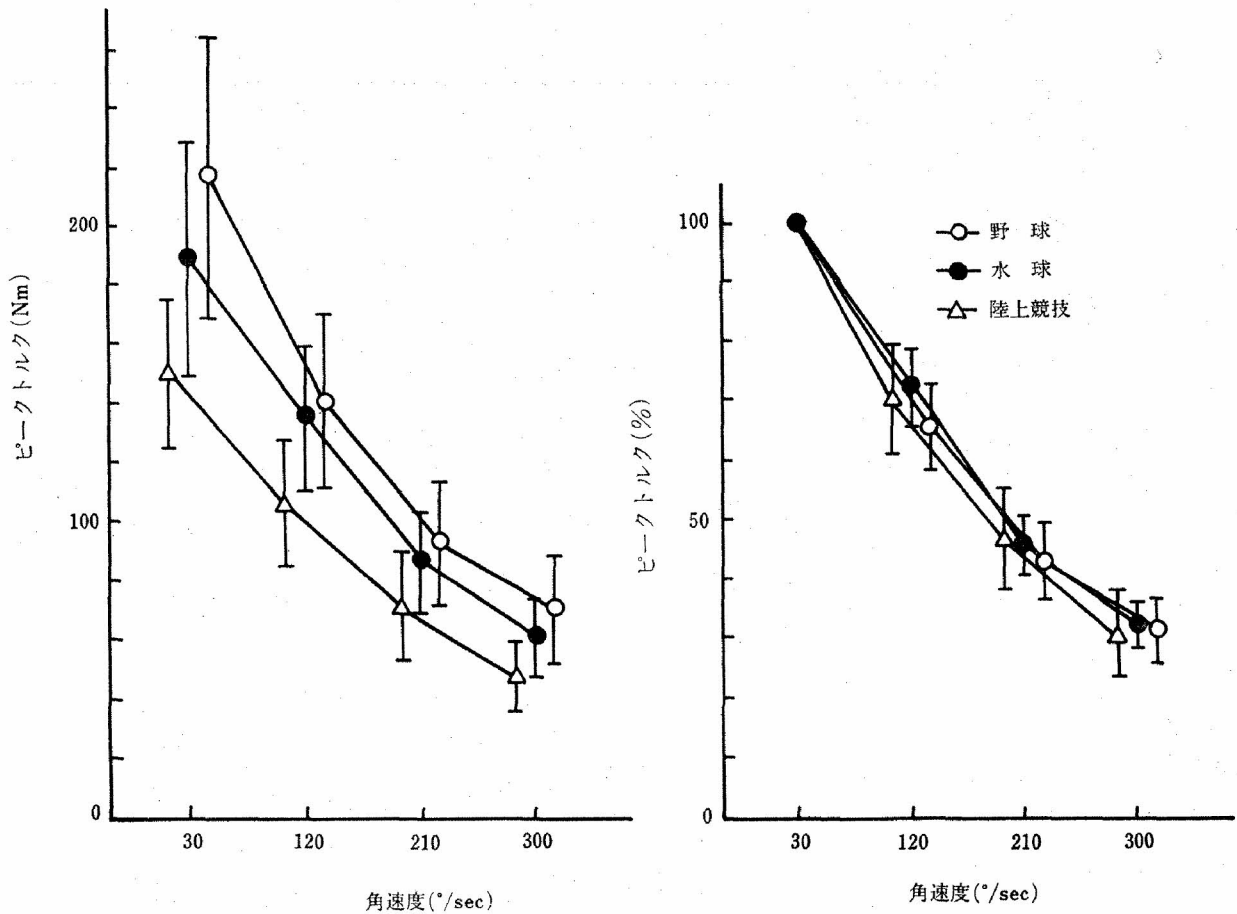


図1 陸上競技, 水泳, 野球の各選手のピークトルクと%ピークトルクの比較 (高校2年生)

ークトルクは, 短距離と跳躍の間では差は見られないが, 短距離と長距離, 跳躍と長距離の間では, 各角速度において1%水準で有意な差がみとめられた. %ピークトルクは, わずかに短距離が他の種目に比べて大きい傾向が見られたが, 3種目間のどの場合にも統計的に有意な差は見られなかった.

図3は, 野球のポジション別, すなわち, 投手, 捕手, 内野手および外野手別に, 高校生の選手についてピークトルクと%ピークトルクを比較したものである. ピークトルクは, 外野手, 捕手, 投手, 内野手の順に大きい傾向を示したが, 4者のどの場合でも有意な差は見られなかった. %ピークトルクでは, 各ポジション間の差は見られなかった.

#### 4. 等速性筋力におよぼす筋力トレーニングの影響

図4は, 水泳選手について6カ月間のパワーアップをねらいとした筋力トレーニング前後のピークトルクと%ピークトルクを比較したものである. 筋力トレーニング前のピークトルクと終了後のそれを比較すると, 各角速度において, 7.9~47.7%の増加を示し, 角速度が大きい場合ほどトレーニングの効果は著明にあらわれた. %ピークトルクは, 角速度 30°/sec の場合に減少の傾向を示したものの, 角速度 60~210°/sec では 6.7~31.8%の増加を示し, 角速度が大きいほどトレーニング効果は大であった.

#### 考 察

発育にともなう等速性筋力の発達には, 遺伝的因

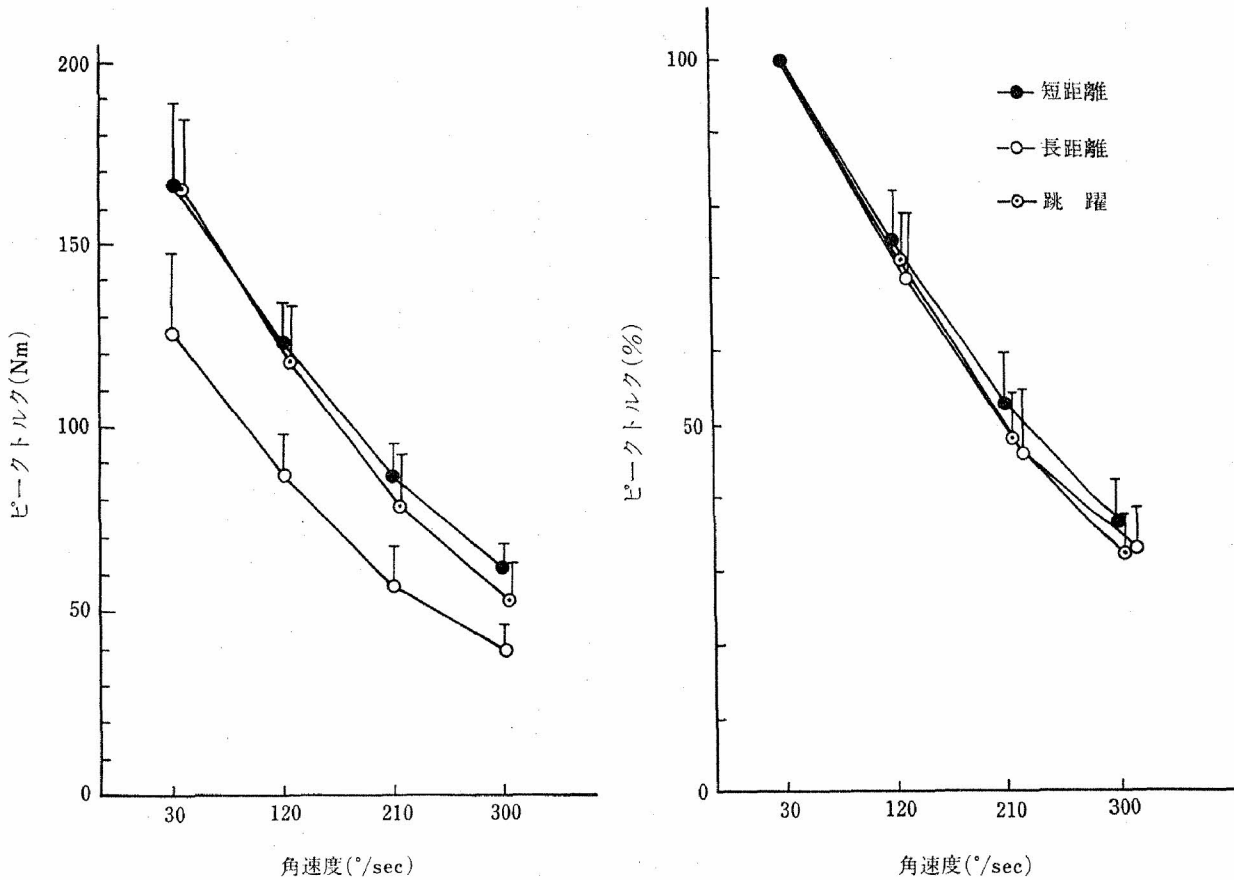


図2 陸上競技種目別の短距離，長距離および跳躍各男子選手のピークトルクと%ピークトルクの比較

子，内分泌的因子，栄養上の因子，そして筋力トレーニングの因子などによって左右される．すなわち，遺伝的因子は，神経筋単位の支配比，それを構成する筋線維タイプの組成，内分泌的因子では，成長ホルモンや性ホルモンの影響，栄養上の因子としては，蛋白質やミネラルの摂取量の問題，そして筋力トレーニングとして，方法，負荷量，期間などが問題となる．

筋速性筋力のピークトルクが，中学生，高校生および大学生ともに男子が女子を上まわったことは，筋力発揮時に参加した神経筋単位数とそれを構成する筋線維の横断面積の差異にもとづくものと考えられる．

伊藤ら<sup>5)</sup>は，生後30，70および150日のラットの *M. tibialis ant.* の筋線維数と筋横断面積の性差について筋線維のタイプ別に検討し，生後30日

では，筋線維1本あたりの平均横断面積には赤筋線維，白筋線維ともに性差はみられないが，70日になると赤筋線維で雄が雌の1.20倍，白筋線維のそれは1.43倍，そして150日では赤筋線維のそれは1.31倍，白筋線維のそれは1.60倍と生後の日数の経過とともに性差が著明になると述べている．

本研究の等速性筋力は，角速度を小さいものから大きいものに変えてそれぞれの角速度において全力で素速く筋力を発揮させる試行をするのであるが，角速度の小さな筋力発揮には，赤筋線維，白筋線維，中間筋線維の3つのタイプが参加し，角速度が大きくなるにしたがって収縮速度が速い白筋線維の参加する割合が多くなることが考えられる．どの角速度の場合にも男子のピークトルクが女子のそれをうわまわるとは，筋力発揮に参加した神経筋単位数と筋線維の横断面積の性差に

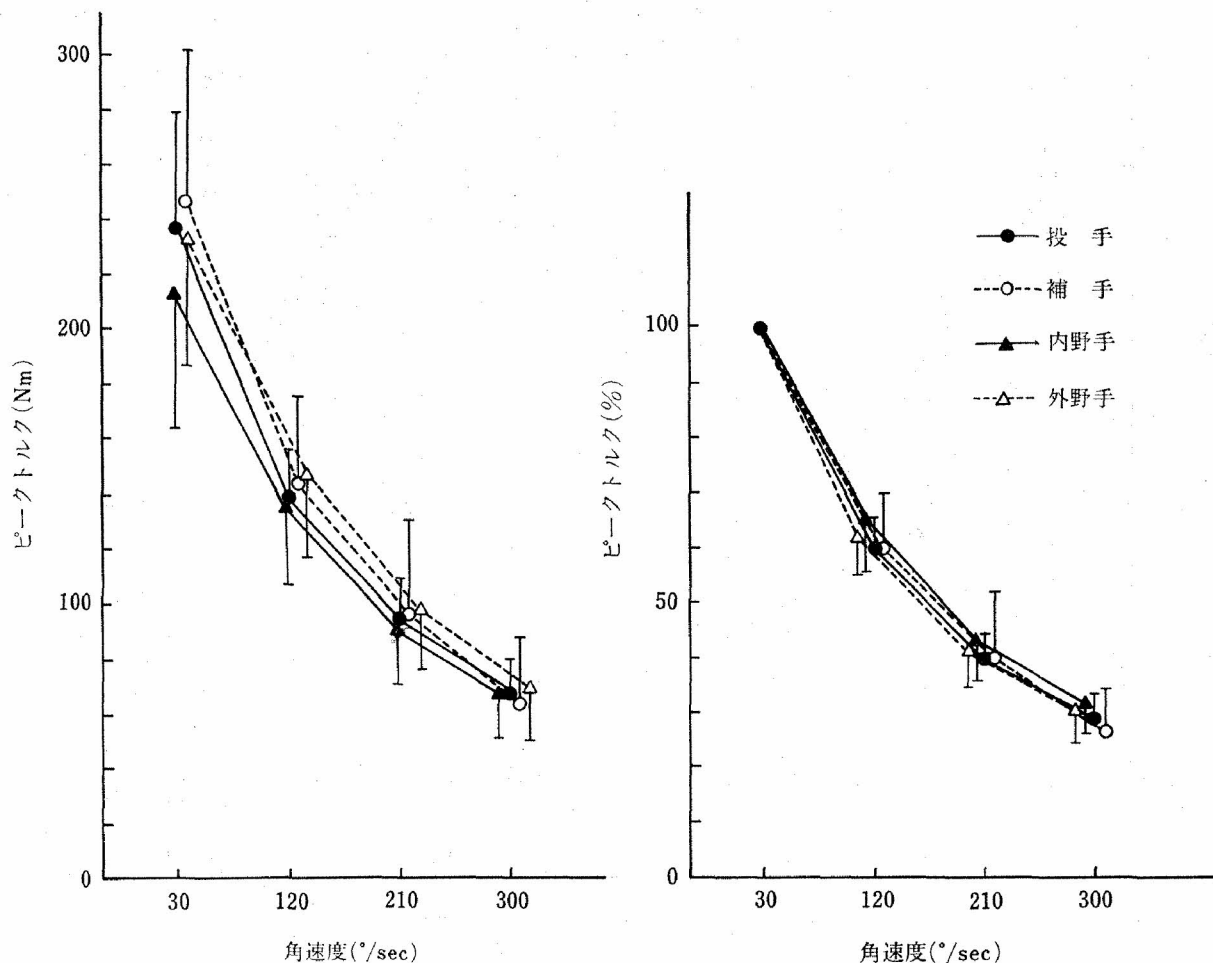


図3 野球ポジション別の投手，捕手，内野手および外野手のピークトルクと%ピークトルクの比較

もとづくことも原因の一つであろう。一方，%ピークトルクにおいて，男女差が少なくなることは，筋力発揮に参加した筋線維のタイプ別の数や面積の割合，すなわち，赤筋線維，白筋線維および中間筋線維の数や面積の割合に男女間で差が見られなかったことが推察できる。しかし，各年代別の性差が中学生，高校生，大学生になるにしたがって小さくなっていくことは，発育とともに筋線維の発育する割合が男子と女子の間でちぢまることを意味している。

スポーツ種目別の等速性筋力のピークトルクでは，野球選手，水泳選手，陸上競技選手の順に大きい傾向を示した。これらの選手達の競技経験は，早いものは小学校4年生頃から体験し，スポ

ーツ歴の多いもので7年，少ないもので4年半の経験を持っているので，ピークトルクの種目間の差は，それぞれのスポーツ特性があらわれていると解釈できる。

特に，陸上競技選手のピークトルクが一番小さい傾向を示したことは，一般に筋力が劣ると言われている長距離選手を含んでいたことも原因の一つであろう。

一方，%ピークトルクにはスポーツ種目間で有意な差が見られなかったことは，この年代では筋力発揮に参加した神経筋単位数やそれを構成する筋線維の横断面積に種目間の差が見られなかったものと推察できる。

さらに，陸上競技の競技種目別，野球のポジシ



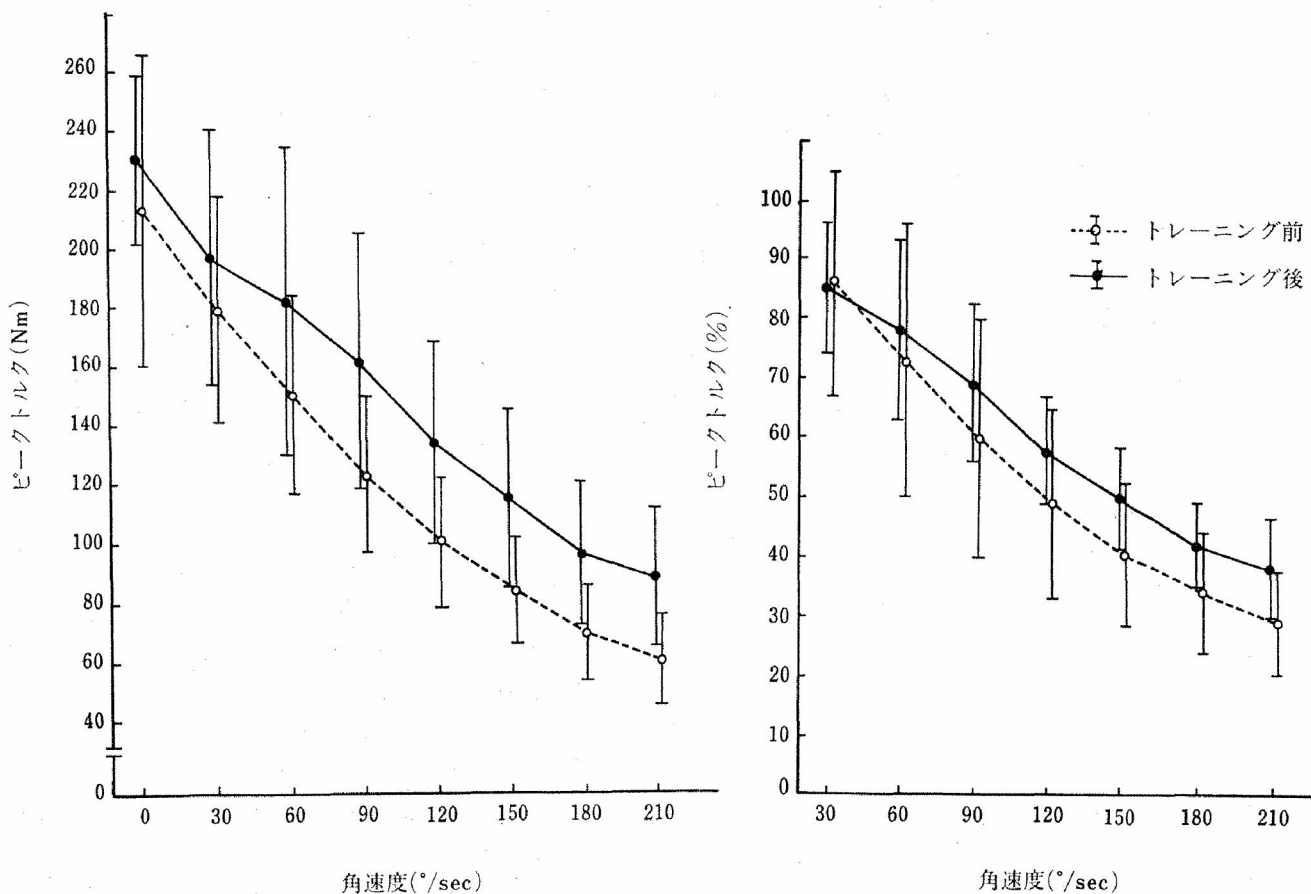


図4 筋力トレーニングがピークトルクおよび%ピークトルクにおよぼす影響（水泳選手）

種目別のピークトルクを検討した結果、陸上競技では短距離、跳躍は長距離に比べてすぐれており、野球では外野手、捕手、投手、内野手の順に大きい傾向が見られたことは、同じスポーツ種目のなかでも競技種目やポジションで特性があらわれてくると解釈できる。しかし、%ピークトルクでは競技種目やポジション別に一定の傾向を示さなくなることは、発育期の中学生や高校生の段階では神経筋単位や筋線維タイプ間の占める面積の割合などに、著明な差が生じていないことを示すものであろう。

筋力トレーニングを行うと、筋肥大が起こり、筋力が増加する。本研究では水泳選手を対象に、特に下肢筋群のパワー増強を目的とした6カ月間のトレーニングプログラムを個人別に作成し、トレーニング効果を等速性筋力で検討した結果、ど

の角速度のピークトルクにもトレーニング効果は見られた。特に角速度の大きいピークトルクにその効果が著明にあらわれたことは、白筋線維のトレーニング効果が著明であることが推測できる。白筋線維の持つ性質は筋自体が早く収縮する筋であるので、筋力トレーニングの内容に出きるだけ小さな負荷量を用い、1回の試行を早くさせる方法を取り白筋線維のトレーニング効果を期待したが、その目的と結果がほぼ一致したものと見てよいであろう。

同じく、パワーアップを目的として野球選手について筋力トレーニングを実施しているが、筋力トレーニングに用いる負荷量は最大筋力の約10%からはじまり、1回試行の筋収縮の時間を早くし、最大持続回数の30%程度の負荷量で行ない、2週間毎に漸増的に負荷を大きくする方法をとっ



ている<sup>6)</sup>。この場合にも筋力トレーニングの効果判定に等速性筋力のピークトルクを用いて検討し、トレーニング期間6カ月でかなりの効果がみとめられた。

現在、球技種目、格技種目についての等速性筋力の特性の検討を行っているが、今後もあらゆるスポーツ種目の検討を重ねてスポーツ種目別に筋線維組成の特性を明らかにし、さらには筋力トレーニング処方確立を行う予定である。

## 結 語

発育期にあるスポーツ選手合計294名を対象として等速性筋力の特性と筋力トレーニングが等速性筋力におよぼす影響について検討し、つぎの結果を得た。

1) 中学生、高校生および大学生の各年代のピークトルクは、各角速度とも男子は女子をうわまわすが、%ピークトルクでは男女差はみられない。

2) 各年代におけるピークトルクの性差は、年齢の多い年代になる程少なくなる。

3) 各種スポーツのピークトルクは、野球、水泳、陸上競技の順に大きい傾向を示したが、%ピークトルクでは差は見られなかった。

4) 陸上競技の競技種目別のピークトルクは、短距離と跳躍の間では差はみられないが、短距離と長距離、跳躍と長距離の間では有意な差がみとめられた。%ピークトルクでは3者間で差がみられなかった。

5) 野球選手のピークトルクは、外野手、捕手、投手、内野手の順に大きい傾向を示したが、%ピークトルクではそれぞれ4者間に差はみられなかった。

6) パワーをねらいとした筋力トレーニングでは、ピークトルクに著明なトレーニング効果がみられた。また、%ピークトルクにも著明な効果が

みられた。特に、角速度の大きいピークトルク、%ピークトルクにトレーニング効果は大であった。

## 文 献

- 1) Costill, D.L., W.J. Fink, and M.L. Pollock; Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners, *Med. Sci. Sports*, **8**: 96—100 (1976)
- 2) Coyle, E.F., D.L. Costill and G.R. Lesmes; Leg extension power and muscle fiber composition, *Med. Sci. Sports*, **11**(1): 12—15 (1974)
- 3) Coyle, E.F., S. Bell, D.L. Costill, and W.J. Fink; Skeletal muscle fiber characteristics of world class Shott-Putters, *The search Quarterly*, Vol. 49, No. 3, 278—284 (1978)
- 4) Gollnick, P.D., R.B. Armstrong, G.W., S.K. Piehl, and B. Saltin; Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men, *J. Appl. physiol.*, **33**(3): 312—319 (1972)
- 5) 伊藤一生, 万井正人, 菊地邦雄; 組織像からみた骨格筋線維の性差について (II), *体育学研究*, **13**: 5 (1969)
- 6) 菊地邦雄; 野球選手のトレーニング—高校生について—, 広島県薬業株式会社発行, pp. 1~14, 1984.
- 7) Ogata, T; A histochemical study of the red and white muscle fibers, Part I activity of the succinoxidase system in muscle fibers, *Acta. Med. Okayama*, **12**: 216—226 (1958)
- 8) Peter. J.B., R.J. Barnard, V.R. Edgerton, C.A. Gillespie and K.E. Stempel; Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits, *Biochemistry*, **11**: 2627—2633 (1972)
- 9) Thorstensson, A., L. Larsson, P. Tesch, and J. Karlsson; Muscle strength and fiber composition in athletes and sendary men, *Med. Sci. Sports*, **9**: 26—30 (1977)
- 10) 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)