

## 小学生児童への静的筋力トレーニング の効果に関する研究

船渡 和男\*, 福永 哲夫\*

浅見 俊雄\*, 池田 成治\*\*

\* 東京大学教養学部

\*\* 元東京都目黒区立駒場小学校校長

### Isometric Strength Training for the Prepubescent Ages

Kazuo Funato\*, Tetsuo Fukunaga\*, Toshio Asami\* and Shigeharu Ikeda\*\*

\* Department of Sports Sciences, College of Arts and Sciences, The University of Tokyo

\*\* Komaba Elementary School, Meguro-ku, Tokyo

#### Abstract

The effect of isometric strength training on muscle strength and cross-sectional area of muscle was examined for prepubescent boys and girls. Subjects were ninety-five healthy elementary school children from the 2nd and 4th grades and who were assigned to either training (TG, N = 63) or control (CG, N = 32) groups. The TG participated in a strength training program for 12 weeks which consisted of three maximally sustained isometric contractions of elbow flexion for ten sec, twice a day, and three days per week. Whereas the CG did not participate in a special training program during this period. The cross-sectional areas of whole tissue, muscle, fat, and bone of the upper arm were measured by ultrasonic methods. Maximum isometric and isokinetic muscle strengths of elbow flexion were measured by means of wire tension gauge system and Cybex II dynamometer, respectively. The hand-wrist X-ray photograph (TW2 method) was used to estimate the skeletal age in each subject. Ranges of skeletal age (yrs) were from 5.3 to 10.3 and from 7.9 to 11.9 for 2nd and 4th graders, respectively. Skeletal age related to calendar age indicated that all were growing normally except for four of late matured and two of early matured. After the 12-week training period, the cross-sectional area of the elbow flexor muscle increased significantly in TG of 2nd grade females (13.81%, 0.68cm<sup>2</sup>, p<0.01), 4th grade males (14.91%, 0.94cm<sup>2</sup>, p<0.001) and 4th grade females (16.89%, 1.10cm<sup>2</sup>, p<0.001). In CG, on the other hand, no significant changes were observed in muscle area of elbow flexor for this twelve weeks.

In TG, isometric strength of elbow flexion increased significantly by 17.4%, 20.3%, 22.2% and 25.4% for 2nd grade males (1.38kg,  $p < 0.01$ ), 2nd grade females (1.55kg,  $p < 0.001$ ), 4th grade males (2.11kg,  $p < 0.001$ ) and 4th grade females (2.25kg,  $p < 0.01$ ), respectively. Whereas in CG, it did not change statistically. On the other hand, isokinetic strength did not increase in both TG and CG. Muscle strength per cross-sectional area did not show a significant increase by strength training except in the 2nd grade males. It was concluded that the gains in muscle area and strength were identified by static strength training for the prepubescent ages.

*Key words:* isometric strength training, prepubescent males and females, skeletal age, strength, muscle cross-sectional area.

## はじめに

筋力トレーニングにより、筋肉は肥大し、筋力が増加することは、成人についてはかなり確かめられている<sup>7,2)</sup>。しかし子供の中でも特に思春期前児童の筋力トレーニングの効果に関しては、効果がないとする意見が一般的であった。その理由としては、思春期前児童においては、筋や骨が未成熟であったり、蛋白質同化ホルモンの分泌が不十分である事などが挙げられている<sup>1,3)</sup>。ところで現代では、背筋力の弱い子供についての指摘がなされている。その一方で、成人が行なっている筋力トレーニングを試行錯誤的に行なった結果、障害を起こす子供が社会的にも問題となっている事は周知の事実である。このような背景を鑑みると、思春期前児童の筋力に関するトレーニング効果の有無を検討し基礎資料を得ることは急務であると考えられる。

ところで、本件と同様な問題を抱えていたアメリカでは、1985年にNSCA(National Strength Conditioning Association)から、“思春期前児童においても、適切な方法で行なわれる筋力トレーニングは効果が認められ、積極的に薦められるべきである”との声明文が打出されている<sup>3)</sup>。ところが、思春期前児童について筋力トレーニングの効果に関する報告は、特に1980年代になってその数が増してきた<sup>8,9,15,16,17,18,20,21)</sup>ものの、成人の筋力トレーニングに関する報告と比べ量的に少ない為に、トレーニング効果の有無については統一の見解が得られていないのが現状である。しかもそれらの報告の殆どは主にトレーニングによる筋力増加に関して言及したものであり、筋の量的変化からみたトレーニング効果については不明である。

筆者らは小学校1,3,5学年児童を対象に、腕立伏臥腕屈伸によるトレーニング効果をみたところ、等速性筋力は5年生男子のみにおいて僅かに増大を示したものの、筋断面積は統計上有意に増加しなかった<sup>8)</sup>。またトレーニング様式を単関節動作である肘関節の静的屈曲としたところ、筋断面積は統計上有意に増加を示したものの、筋力の増加については明確な結論を得るには至らなかった<sup>9)</sup>。

本研究では、思春期前児童と考えられる小学校2,4学年児童について、肘関節屈曲の静的筋力トレーニングの効果筋出力と上腕の筋断面積から検討することを目的とした。

## 方法

### 1. 被検者

東京都内のK小学校2,4学年児童を対象に、トレーニングの主旨および内容を記したトレーニング調査依頼書と各両親からもとめる同意書を配布し、被検者を募った。その結果本トレーニングに同意が得られた者の中から、トレーニング群(以下TG)及びコントロール群(以下CG)を各学年の男女について選択した。その中でトレーニング途中で病気の為欠席が多かったり、トレーニング前後の測定に参加できなかったものを除いた95名(TG63名,CG32名)を本実験の資料収集の対象とした。TG及びCGについて各学年の男女の集団毎に被検者数を表1に示した。

### 2. トレーニング方法

筋力トレーニングは、スメドレー式握力計(竹井機器社製)を改造して制作した持ち運び可能で、簡単に机の上に固定できる筋力トレーニング器を用いて行なった(図1)。この筋力トレーニング器を、2,4学

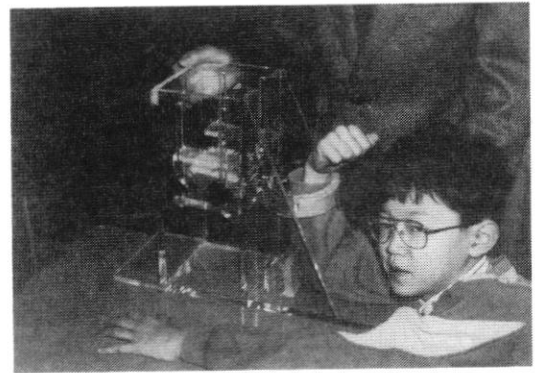


図1 筋力トレーニング装置とトレーニング風景

年のTGの教室に2~3台ずつ設置した。トレーニングは右腕のみについて行なった。被検者はトレーニング器のリング内壁に手首をあて、肘関節をストッパーにより90°になるように固定して、静的最大肘屈曲を10秒間維持した。このことを3分間以上の休息をはさんで3回行なうことを1セットとした。トレーニング頻度は1日2セット、原則として隔日の週3日とし、期間は1986年9月22日から1986年12月13日までの12週間であった。なお被検者

表1 被検者数, 暦年齢およびトレーニング期間前後での骨年齢の変化 (M: 平均値, SD: 標準偏差)

トレーニング群				calendar age (yrs)	Skeletal age (yrs)												
grade	sex	n			20 bone			20 bone % #		RUS		RUS % #		Carpal		Carpal % #	
					BT	AT	d	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	17	M	8.01	7.42	7.66**	0.26	92.24	92.94	7.48	7.69*	93.15	93.42	7.31	7.54*	90.85	91.44
			SD	0.30	1.04	0.97	0.31	11.69	10.45	0.90	0.86	10.91	10.18	1.32	1.30	15.23	14.50
4 th	F	18	M	8.02	7.69	7.96**	0.33	95.56	96.64	8.08	8.36*	100.50	101.5	7.66	7.94**	95.11	96.32
			SD	0.33	0.99	0.87	0.30	13.12	10.72	1.49	1.29	20.00	16.6	0.87	0.81	10.94	9.32
2 nd	M	15	M	9.94	9.72	10.18**	0.52	98.14	100.10*	10.05	10.65*	101.40	104.7*	9.40	9.76**	94.99	95.99
			SD	0.26	1.04	1.04	0.38	10.17	9.80	1.43	1.61	13.80	15.4	0.86	0.86	8.55	7.92
4 th	F	13	M	10.01	10.28	10.49*	0.34	102.70	102.40	11.80	12.18*	117.80	118.7	9.39	9.45	93.83	92.28
			SD	0.30	1.06	0.86	0.35	9.70	7.60	1.78	1.45	16.30	12.8	0.61	0.54	5.76	4.98

## コントロール群

コントロール群				calendar age (yrs)	Skeletal age (yrs)												
grade	sex	n			20 bone			20 bone % #		RUS		RUS % #		Carpal		Carpal % #	
					BT	AT	d	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	7	M	8.10	7.67	7.86**	0.19	94.70	93.86	7.60	7.73**	93.74	92.24	7.63	7.86**	94.27	93.94
			SD	0.22	0.34	0.37	0.09	3.81	3.49	0.69	0.74	7.13	7.19	0.21	0.23	4.57	4.32
4 th	F	8	M	8.27	8.19	8.33**	0.14	98.93	97.40	8.61	8.75*	104.10	102.30	8.15	8.30	98.49	97.10
			SD	0.13	0.61	0.61	0.11	6.77	6.60	0.96	0.94	11.10	10.40	0.44	0.41	4.45	4.28
2 nd	M	10	M	9.93	9.54	9.71	0.14	95.98	95.23	9.63	9.83	97.06	96.38	9.40	9.59	94.56	94.06
			SD	0.18	1.10	0.96	0.19	10.48	8.99	1.96	1.79	18.91	17.21	0.78	0.64	7.59	5.99
4 th	F	7	M	10.14	10.16	10.29	0.13	100.10	98.74	11.43	11.53	112.60	110.60	9.41	9.56	92.79	91.77
			SD	0.29	1.21	1.11	0.15	10.20	8.90	2.01	1.93	18.50	17.4	0.75	0.64	5.17	4.16

BT: トレーニング前, AT: トレーニング終了後  
 \*\*\*: P<0.001, \*\*: P<0.00, \*: P<0.05  
 d: AT値-BT値

#: Skeletal age/Calendar age×100 (%)  
 120%≦: Advanced  
 80~120%: Normal range  
 80%≧: Retarded

のトレーニングに対する動機づけとして, 一日に行なう2セットで発揮されたそれぞれの最大筋力値をトレーニングカードに記録させた(表2)。

前報<sup>9)</sup>でトレーニングにより上腕三頭筋の断面積および筋力が有意に増加したことについて, 多くの被検者がトレーニング中に肩関節を挙上し, 肘関節を体幹に引寄せせる動作, つまり上腕の内転動作が関与していたために, 上腕三頭筋にトレーニング刺激が与えられたものと解釈した。そこで本実験ではトレーニングを行なうにあたっては, 担任の先生もしくは本実験の検者が常に立合い, トレーニング者の肩関節が挙上しないように適宜注意するとともに, トレーニング中はトレーニング者の肩を上から押えて, 10秒間最大の筋力を維持し続けるよう励ました。一方コントロール群には特に運動制限を加えず, トレーニング期間中通常の生活を営むよう指示した。

## 3. トレーニング効果判定の為の測定

TG及びCGともトレーニング開始前及びトレーニング終了直後に, トレーニング効果判定の為の測定

を行なった。測定項目は, 身長, 体重, 上腕囲, 上腕周径囲, 骨年齢, 上腕の横断面組成(筋, 骨, 皮下脂肪)および肘関節屈曲, 伸展の静的, 動的筋力であり, 身長と体重を除く全ての測定項目の測定部位は右腕とした。

骨年齢は, 手と腕関節のX線撮影(Softex社製EMB型を使用)により得られたフィルムをTW2法<sup>19)</sup>を用いて算出した。

上腕の組織横断面図は超音波法<sup>12)</sup>により求めた。測定部位は上肢を自然に下垂伸展したときの肩峰点から橈骨頭までの直線距離の60%を肩峰点より遠位に定め, その部位での水平断面を撮影した。(Aloka社製Echo Vision, SSD-120型)。なお超音波の周波数は5MHzに設定した。撮影した上腕の横断面写真から全横断面積と筋(上腕二頭筋, 上腕筋および上腕三頭筋), 皮下脂肪及び上腕骨の各横断面積をプランメータを用いてそれぞれ測定した。

肘関節の静的および動的最大筋力は, 椅座位で測定した。静的筋力の測定は, 上腕を体幹となす角が90度になるように挙上し, Cybex II(Lumex社製)

表2 トレーニングカード記録例

きんがトレーニング 4-2 12人 1年生の1部

	1回目	2	3	2回目	1	2	3
9-29	13.0	12.0	11.0	13.0	10.5	13.5	
9-25	12.5	14.5	13.5	14.5	12.0	11.5	
9-16	12.5	13.0	11.5	12.0	14.0	9.0	
9-8	13.0	11.0	13.5	14.0	13.0	11.5	
8-30	9.0	11.5	10.0	9.5	9.5	10.0	
10-2	11.0	13.0	12.0	11.0	10.5	11	
10-9	14.0	13.0	14.5	12.5	12	11	
10-11	13	11.5	11	12.5	14	11	
10-11	15	11	10	13.5	14.5	17	
10-23	14.5	14.5	12	15.5	15.5	13	
10-14	13.5	13	13	13	13.5	12.5	
10-10	16	15.5	15	14.5	12	12.5	
10-11	12.5	12.5	14	16	13.0	12.5	
10-5	11	13.5	15	16	19.5	13	
10-20	10.5	11.5	11.5	12	13.5	13.5	
10-20	13.5	14	13.5	13	14.5	15.5	
10-29	12.5	13.5	12.5	13.5	16	18	
10-21	16.5	17.0	16	12.5	15.5	15.5	
11-1	13	14	15.5	14.5	13	13	
11-6	13.5	14	14	16	15	13.5	
11-6	13.5	15.5	16	14	17.5	18	
11-7	16.5	18	17	15.5	18	17.5	
11-10	15	18	13	16	18	18.5	
11-11	16.5	19.5	17	16.5	18	19	
11-13	18.5	15.5	19	19	19	18	
11-17	15.5	15	16	17	16	18	
11-18	19	18	19.5	15.5	17	18	
11-20	20	18.5	18	19	20.5	19	
11-26	17.5	19	16	19	18.5	21.5	
11-26	17.5	15.5	15.5	16.5	19	16	
12-2	14	20	16.5	18	16.5	19	
12-2	19	18	16	18	16.5	20	
12-2	21.5	20	21	20	21	21	
12-8	19.5	19.5	18	20	21	19.5	
12-8	17	18.5	19	20	22	22	
12-9	20.5	19	16.5	22	21.5	22	

を用いた場合は、肘関節角度を屈曲で110度（最大伸展位：180°）、伸展で130度に固定して行なった。またロードセルを用いた場合は、肘関節角度を90度として左右の静的屈曲力を測定した。動的筋力はCybex IIの動作速度を10rpm、30rpm及び50rpmに設定し、屈曲では肘関節完全伸展位から90度まで、また伸展では90度から完全伸展位までに発揮された最大のピークトルクから求めた。試行は三回行ない、そのうちの最大値を採用した。

各測定項目について、トレーニング前後の変化を調べるために、対応のあるt検定を行ない、両側検定で有意水準5%以内を統計上有意な差とした（各

表には\*： $p<0.05$ 、\*\*： $p<0.01$ 、\*\*\*： $p<0.001$ と示した。またトレーニング後の値がトレーニング前の値より小さかった場合には↓記号を付した）。なお統計的処理は、TGおよびCGそれぞれについて、各学年を男女の集団に分けて行なった。

#### 結果および考察

##### 1. 骨年齢

骨年齢はTW2法<sup>19)</sup>が示す20 bone、RUS、およびCarpalの3手法から求めた（表1）。TGの各学年およびCGの2年生の骨年齢は、20 bone およびRUSとも12週間のトレーニング期間で統計上

有意な増加を示した。また表中の20 bone %, RUS %, およびCarpal %が示すように、各学年の男女の集団は、暦年齢と比較して平均値でみる限り正常な発育を呈している(80%から120%)ことが示された。各被検者についてみると、生理学的年齢が遅れている者(Retarded: 80%以下)は、2年男子で2名、2年女子で1名、4年男子で1名の、合計4名であった。一方、生理学的年齢が進んでいる者(Advanced: 120%以上)は、2年女子の1名と4年男子の1名の計2名であった。トレーニング前の20 bone からみた骨年齢の分布は、2年生では5.3歳から10.3歳、4年生では、7.9歳から11.9歳の範囲にあった。

## 2. 形態

### (1) 身長, 体重, 上腕長, および上腕周径

TGおよびCGとも12週間のトレーニング期間中で、身長, 体重, および上腕長は、各学年の男女の全集団で増加し、それぞれについてのトレーニング前

後の差は殆どの集団で統計上有意であった(表3)。しかし上腕周径は、CGの2年女子を除いては統計的に有意な変化を示さなかった。

### (2) 上腕の組織断面積

上腕の全断面積は、TGの2年男子および4年女子、CGの2年女子において統計上有意な増加を示し、増加率(増加量)はそれぞれ3.93%(1.25cm<sup>2</sup>), 5.76%(1.81cm<sup>2</sup>), および5.10%(1.55cm<sup>2</sup>)であった。

除脂肪組織断面積は、TGの4年女子(7.17%の増加, p<0.01)を除く各学年男女で統計的に有意な変化は認められなかった。

同様に皮下脂肪断面積および骨断面積も、TGの2年男子(皮下脂肪断面積が5.2%の増加, p<0.05)およびCGの2年男子(骨断面積が18.5%の減少, p<0.05)において統計的に有意な変化が示されたのみで、他のすべての集団では統計的に変化が示されなかった。

全筋断面積に統計上有意な増加が見られたのは、

表3 トレーニング前後での身長, 体重, 上腕長および上腕周径の変化(M:平均値, SD:標準偏差)

#### トレーニング群

grade	sex		body height (cm)		body weight (kg)		length of upper arm (cm)		circumference of upper arm (cm)	
			BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	M	124.7	126.1***	26.0	27.2***	22.6	22.9**	18.5	18.3*↓
		SD	5.3	5.0	3.9	3.7	1.4	1.4	1.9	1.8
	F	M	122.6	124.0***	26.3	26.1	22.2	22.5*	18.5	18.7
		SD	4.0	4.3	8.4	3.0	1.3	1.3	1.4	2.8
4 th	M	M	135.7	137.0***	30.7	32.0***	25.1	25.6*	19.4	19.3
		SD	5.8	5.6	5.2	4.9	1.5	1.5	2.0	2.0
	F	M	136.8	138.7***	31.8	33.9***	24.7	25.3**	19.5	19.6*↓
		SD	4.8	5.1	4.7	5.0	1.1	1.3	1.8	1.6

#### コントロール群

grade	sex		body height (cm)		body weight (kg)		length of upper arm (cm)		circumference of upper arm (cm)	
			BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	M	125.5	127.4*	23.7	25.2***	23.0	23.7**	16.6	16.8
		SD	5.0	4.1	2.9	3.3	1.5	1.7	1.0	1.0
	F	M	125.1	127.3*	27.2	28.4***	23.0	23.6*	18.7	19.0*
		SD	4.0	4.2	4.5	4.8	0.9	1.2	2.7	2.5
4 th	M	M	133.7	135.1***	31.8	32.7**	24.4	24.9*	19.4	19.3
		SD	5.9	6.0	6.9	7.3	0.8	0.9	2.8	2.9
	F	M	136.4	138.0**	31.2	32.3*	25.7	26.0	18.7	18.3
		SD	5.3	5.7	3.6	3.6	1.1	1.5	1.8	1.8

BT: トレーニング前, AT: トレーニング終了直後

\*\*\*: P<0.001, \*\*: P<0.01, \*: P<0.05

TGの4年女子(8.43%, 1.26  $\text{cm}^2$ )のみであった。

屈筋群の断面積について見ると、TGでは全集団とも増加傾向を示し、この増加は2年女子(13.81%, 0.68  $\text{cm}^2$ ,  $P < 0.01$ ), 4年男子(14.91%, 0.94  $\text{cm}^2$ ,  $p < 0.001$ )および4年女子(16.89%, 1.10  $\text{cm}^2$ ,  $P < 0.001$ )において統計上有意であった(図2)。さらにTGについて屈筋群を上腕二頭筋と上腕筋に分けてみると、両筋とも2年女子および4年の男女でそれぞれ統計的に有意な増加を示した。一方、CGにおける屈筋群断面積のトレーニング期間前後での差は、全ての学年の男女の集団で統計上有意ではなかった(図2)。

上腕三頭筋は、TGおよびCGとも全ての学年の男女の集団で統計的に変化しなかった。

本研究と同様な筋力トレーニングによる上腕屈筋群断面積の増加について、13歳の男子では平均6.3% (0.8  $\text{cm}^2$ )、女子では5.2% (1.1  $\text{cm}^2$ )が報告されている<sup>7)</sup>。この報告と比較してみると、本研究のT

Gにおける同断面積の増加は、13歳児童の増加率を上回っていた。

また前報<sup>9)</sup>においてトレーニングによる筋断面積の統計上有意な増加は、屈筋群では5年男女において、伸筋群では1年女子、3年男女、5年男女において示された。このことと本実験結果を併せて考察してみると、小学生児童を対象とした場合、筋力トレーニングによる筋断面積の統計上有意な増加は、2年女子あるいは3年以降の男女において示されたことになる。

筋力トレーニングによる筋の肥大に関する研究は、その多くが思春期あるいは思春期以降の青少年<sup>7)</sup>および成人<sup>2,7)</sup>を対象としたものであるが、本研究および前報<sup>9)</sup>の結果から、思春期前児童においても筋力トレーニングにより筋肥大が生ずることが示唆される。

前報<sup>9)</sup>においては、トレーニングにより上腕三頭筋の断面積が、1年男子を除く1,3,5学年男女の集

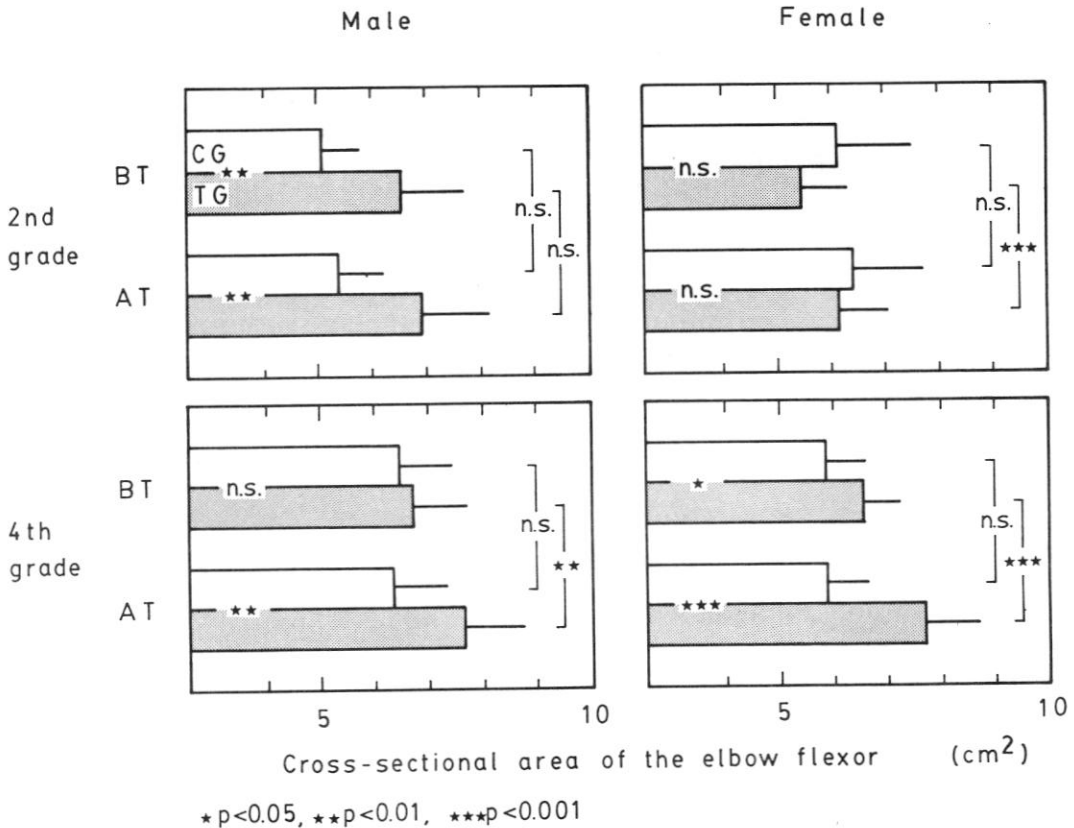


図2 上腕屈筋群断面積のトレーニング前後での変化(平均値と標準偏差)



団で有意な増加を示した。これに対して本研究では、同断面積に統計上変化が示されなかった。この違いは方法で述べたように、トレーニングを管理するにあたって、担任の先生あるいは本研究の検者がトレーニング者に肩関節を挙上しないよう指示し、肘関節屈曲のみのトレーニングを的確に行なわせたためであると考えられる。

### 3. 筋力

#### (1) トレーニング中の最大筋力の逐日的変化

トレーニング記録カードから一日に発揮された筋力の最大値の変化を図3に示した。トレーニング初期値と終末値について見ると、2年男子ではそれぞれ  $11.9 \pm 2.1$  kg,  $13.7 \pm 1.7$  kg, 2年女子ではそれぞれ  $10.0 \pm 2.0$  kg,  $11.2 \pm 2.4$  kg, 4年男子で

はそれぞれ  $11.9 \pm 1.7$  kg,  $16.3 \pm 3.7$  kg, 4年女子ではそれぞれ  $10.9 \pm 1.9$  kg,  $14.4 \pm 2.1$  kgであった。

逐日的な筋力増加傾向について見ると、2年生では男子ともトレーニングの初期にある水準まで達し、それ以後はほぼ一定かあるいは、一旦低下して増加を示す傾向が見られる。これに対して4年生では、トレーニング期間全般にわたって筋力の増加傾向が示されている。トレーニング初期に見られる筋力増加は、神経系のトレーニング効果によると解釈する<sup>7)</sup>と、特に2年男子ではトレーニングにより筋断面積が統計上有意に増加していないことから、図中に見られる筋力の増加は、筋収縮に参加する運動単位の量と、運動単位のインパルス発射頻度の増加<sup>10,14)</sup>のみによってもたらされていることが考えられる。

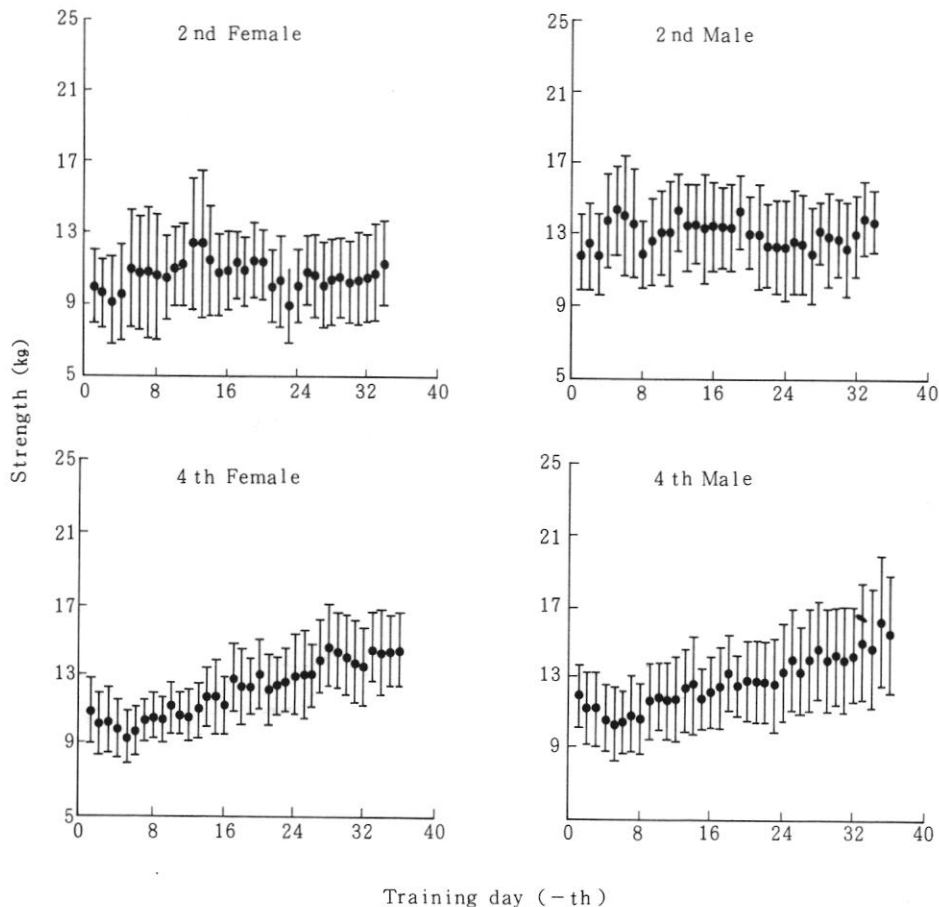


図3 トレーニング中に発揮された最大筋力の逐日的変化(平均値と標準偏差)



## (2) トレーニング前後の静的最大筋力

右肘関節屈曲力は、TGにおいて各学年の男女とも統計上有意な増加を示し、ロードセルから得られたトレーニング前後での筋力増加率は、2年男子で17.4% ( $P < 0.01$ ), 2年女子で20.3% ( $p < 0.001$ ), 4年男子で22.2% ( $p < 0.001$ ), 4年女子で25.4% ( $p < 0.01$ )であった。これに対してCGの肘関節屈曲力は、各学年の男女の全集団において統計的な変化を示さなかった(図4)。

またTGにおいては、非トレーニング肢である左の肘関節屈曲力においても増加が認められた。ここで統計的に有意な増加を示したのは、2年男子(12.3%,  $p < 0.01$ ), 2年女子(13.6%,  $p < 0.001$ )および4年男子(9.5%,  $p < 0.01$ )であった。このことは、トレーニングをしていない対側肢にトレーニング効果が転移するという交差トレーニング<sup>11)</sup>の影響が考えられる。

肘関節の静的伸展力は、TGの2年女子(17.5%,  $p < 0.05$ ), 4年女子(22.5%,  $p < 0.05$ )およびCGの2年女子(32.4%,  $p < 0.01$ ), 4年女子(21.4%,  $p < 0.05$ )において増加がみられた。

思春期前児童を対象にした筋力トレーニングに関

する研究<sup>15,16,18,21)</sup>についてまとめてみると、トレーニング期間は4から14週間で、筋力の増加率は12.0%から42.9%の範囲の値が報告されている。また26~29歳の成人男子について、本研究と同様な筋力トレーニングを行なった報告<sup>7)</sup>では、91.8%の筋力増加率が示されている。これに対して本研究の結果から得られた肘関節屈曲力の増加率は、17.9%から52.3%の範囲にあり、思春期前児童を扱った他の報告と概ね一致した。

以上のようにトレーニングによる筋力増加率は成人の値に比べ差がみられるものの、本研究の結果から思春期前児童においても、最大筋力に対するトレーニングの効果は十分に期待できると言えよう。

## (3) 単位断面積当たりの筋力

TGとCGについて、トレーニング前後での筋の断面積と筋力との関係を図5に示した。図中に見られるように両者の間には、トレーニング前におけるTGの男子およびCGの女子における関係を除いて、相関係数が0.510から0.636の範囲で有意な相関関係が示された。

単位断面積当たりの筋力(表4)についてみると、

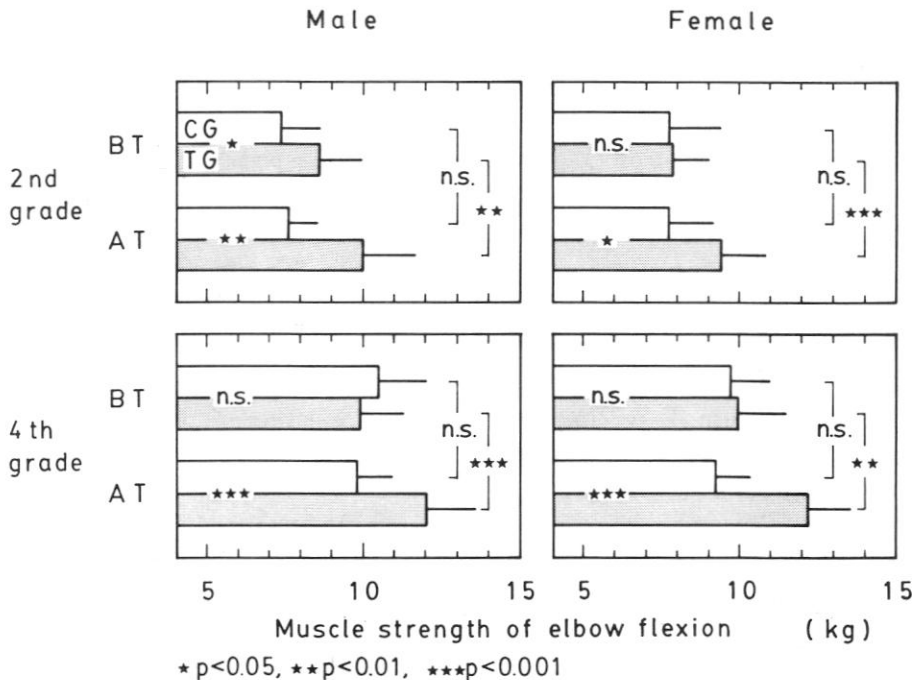


図4 肘関節静的最大屈曲力のトレーニング前後での変化(平均値と標準偏差)

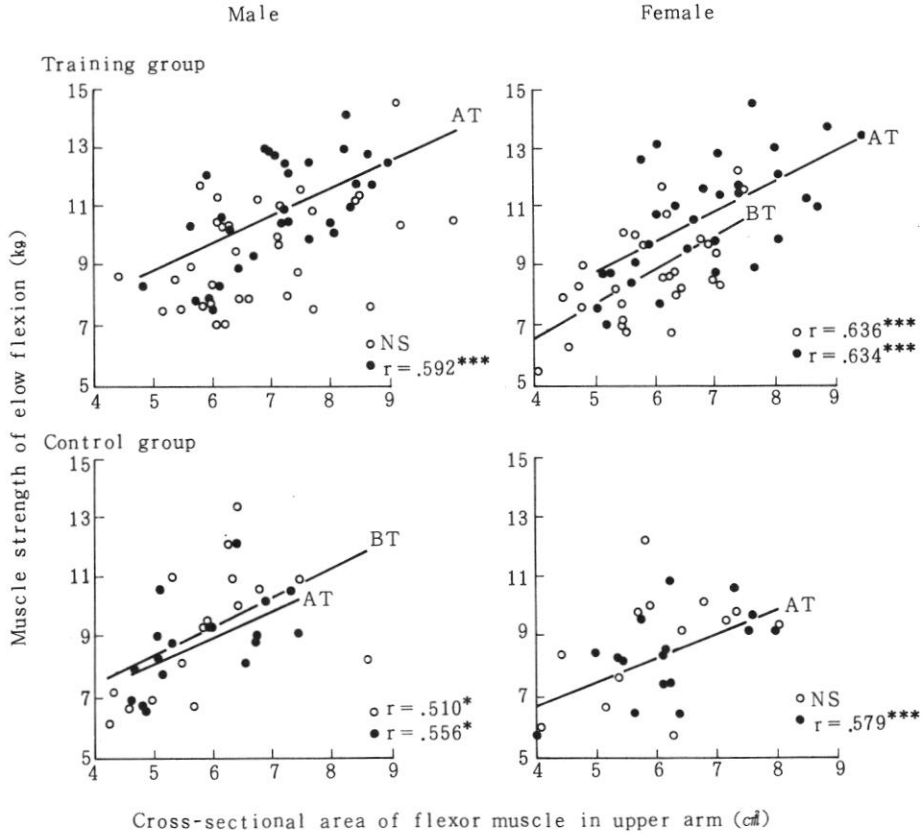


図5 トレーニング前後における上腕屈筋群の横断面積と肘関節静的最大屈曲の関係(○: BT, トレーニング前, ●: AT, トレーニング終了直後, \*\*\*  $p < 0.001$ , \* :  $p < 0.05$ )

TGでは屈曲力で2年男子(44.3%,  $p < 0.01$ ), 伸展力で2年女子(16.6%,  $p < 0.05$ )と4年女子(19.8%,  $p < 0.05$ )に統計上有意な増加が見られたものの、殆どのグループで統計的に変化しなかった。

筋力トレーニングによる単位断面積当たりの筋力については、26~29歳男子では53.3%の増加<sup>7)</sup>が報告されている。また8.2±1.3歳の男子における筋力トレーニング効果についてWeitman, E.ら<sup>21)</sup>は、周径は増加しなかったことから、筋肥大は生ぜず筋力が増加することが子どもの特徴であるとしている。

本研究の結果は、思春期前児童ではトレーニングにより筋力および筋断面積は増加を示すものの、両者の比である単位断面積当たりの筋力に増加が示されないことが特徴であった。この原因としては、トレーニングによる神経衝撃の改善が低いこと、あるいは筋組成の影響が推察される。

ところで子どもの無酸素性パワーが低い原因として、成人に比べ解糖能力が低いことが指摘されており<sup>5,13)</sup>、特に解糖反応の速度に影響を及ぼすとされるPFK活性水準が子どもではもともと低く<sup>4)</sup>、無酸素性トレーニングによっても成人ほど同酵素は増加しない<sup>6)</sup>ことなどが報告されている。従って、本研究における筋力トレーニングでの、筋断面積と筋力へのアンバランスなトレーニング効果は、筋収縮における酵素活性が一制限因子となっているとも考えられる。

#### (4) 等速性最大筋力

TGにおいて等速性最大筋力は、トレーニング後に低下する傾向が示された(表5)。特に50 rpmの肘関節伸展力では、2,4年の男女で統計上有意な低下が示された。

本研究ではトレーニング方法として静的筋力発揮

表4 上腕屈筋群の単位断面積あたりの筋力の変化(M:平均値, SD:標準偏差, 単位:kg/cm<sup>2</sup>)

トレーニング群

grade	sex		elbow flexion			
			BT	AT	$\Delta$	$\Delta\%$
2 nd	M	M	4.10	5.35**	1.25	44.33
		SD	1.20	0.93	1.42	57.21
	F	M	4.69	4.73	0.04	5.30
		SD	1.15	0.80	1.25	27.87
4 th	M	M	5.39	5.46	0.07	3.58
		SD	0.86	0.80	0.97	21.34
	F	M	5.34	5.39	0.05	5.90
		SD	1.41	1.06	1.56	31.86

コントロール群

			elbow flexion			
			BT	AT	$\Delta$	$\Delta\%$
2 nd	M	M	6.76	6.01	-0.76	-9.01
		SD	1.05	0.66	1.38	19.34
	F	M	4.91	5.72	0.81	18.52
		SD	0.85	1.04	1.19	23.93
4 th	M	M	5.71	6.25*	0.55	10.50
		SD	0.87	1.00	0.70	14.68
	F	M	5.56	6.68*	1.12	22.33
		SD	0.76	0.83	1.21	23.44

BT:トレーニング前, AT:トレーニング終了直後  $\Delta$ :AT値-BT値\*\*\*:p<0.01, \*\*:p<0.01, \*:p<0.05  $\Delta\%$ :100× $\Delta$ /BT値

表5 トレーニング前後での等速性最大筋力(M:平均値, SD:標準偏差, 単位:kg)

トレーニング群

grade	sex		elbow flexion						elbow extension					
			10 rpm		30 rpm		50 rpm		10 rpm		30 rpm		50 rpm	
			BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	M	4.82	4.51	3.38	3.22	2.33	1.75***↓	6.99	7.17	5.86	5.17*↓	4.84	3.74***↓
		SD	1.16	1.13	0.78	0.80	0.82	0.68	1.67	1.64	1.20	0.88	0.90	0.86
	F	M	4.19	4.17	3.11	2.81*↓	1.97	1.57***↓	6.36	6.67	5.02	4.38*↓	3.82	3.18*↓
		SD	0.68	0.73	0.64	0.61	0.54	0.56	1.17	1.16	0.99	1.03	0.94	0.76
4 th	M	M	5.37	5.56	3.91	3.77	2.61	2.32	7.91	7.17*↓	6.32	5.74	5.09	3.83***↓
		SD	0.97	1.23	0.72	1.00	0.73	1.04	1.23	1.09	0.90	0.99	1.11	1.19
	F	M	5.67	5.59	4.12	3.74	2.35	2.13	7.89	7.28	6.02	5.52	4.50	3.88*↓
		SD	0.98	0.80	0.98	0.90	0.79	0.53	1.20	1.22	1.26	1.11	1.26	0.66

コントロール群

grade	sex		elbow flexion						elbow extension					
			10 rpm		30 rpm		50 rpm		10 rpm		30 rpm		50 rpm	
			BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT	BT	AT
2 nd	M	M	5.11	4.31***↓	3.53	3.17	2.07	1.63*↓	7.01	6.61	5.50	5.10	4.33	3.61*↓
		SD	0.92	1.04	0.69	0.90	0.72	0.69	1.25	1.47	1.22	1.46	1.29	1.03
	F	M	4.81	5.83**	3.45	4.14*	1.95	2.68**	6.41	7.69*	4.76	6.08*	3.48	4.75**
		SD	0.72	1.08	0.63	0.63	0.37	0.53	1.18	1.52	1.29	0.92	1.29	1.17
4 th	M	M	5.86	5.16***↓	4.37	3.69***↓	3.09	2.19***↓	7.64	7.28	6.13	5.69***↓	4.75	4.30
		SD	0.47	0.71	0.56	0.43	0.48	0.39	0.91	0.53	0.65	0.81	0.83	0.80
	F	M	5.63	5.21*↓	4.16	3.80	2.44	2.26	7.09	6.63	5.54	5.84	4.06	4.41
		SD	0.64	0.72	0.44	0.45	0.75	0.36	0.90	0.81	1.00	0.76	0.91	0.85

BT:トレーニング前, AT:トレーニング終了直後

\*\*\*:P&lt;0.001, \*\*:P&lt;0.01, \*:P&lt;0.05

を行なった為に、動的筋力が増加しない点については、トレーニング効果の特異性として捉えることができる。しかしながらトレーニングした筋に対して

拮抗作用をもつ筋(上腕三統筋)の短縮性筋力を高速で発揮する場合ほどトレーニング後の値の低下が著しかったことについての解釈は不明である。

## まとめ

小学生2,4学年児童(95名)を対象に,筋力トレーニングの効果の有無を,主に筋断面積と最大筋力の変化から検討することを目的とした。トレーニング群(以下TG,63名)は以下に述べるトレーニングを行ない,コントロール群(以下CG,32名)には特に運動制限を加えず,通常の学校生活を営むよう指示した。トレーニング内容は肘関節静的最大屈曲の10秒間維持を3分以上の休息を挟んで3回行なうことを1セットとし,頻度は1日2セット,1週間に隔日の3日,期間は12週間とした。トレーニング効果判定のための測定として,肘関節屈曲,伸展の静的および動的筋力をロードセルあるいはCybex IIを用いて,また上腕組織横断面積は超音波法により測定した。また各被検者の骨年齢をTW2法により算出した。

結果は以下のとおりである。

- 1) 骨年齢の分布は2年生では5.3歳から10.3歳,4年生では7.9歳から11.9歳の範囲を示し,殆どのもは正常の発育段階にあった。
- 2) 上腕屈筋群の横断面積は, TGでは全集団とも増加傾向を示し,この増加は2年女子(13.81%,0.68  $\text{cm}^2$ ,  $p < 0.01$ ), 4年男子(14.91%, 0.94  $\text{cm}^2$ ,  $p < 0.001$ )および4年女子(16.89%, 1.10  $\text{cm}^2$ ,  $p < 0.001$ )において統計上有意であった。これに対して, CGの同断面積は,どの学年および男女の集団においても統計的に変化しなかった。
- 3) トレーニング前後での右肘関節の静的最大屈曲力は, TGにおいては,各学年の男女とも統計上有意な増加を示し,ロードセルから得られたトレーニング後の筋力増加率は2年男子で17.4% ( $p < 0.01$ ), 2年女子で20.3% ( $p < 0.001$ ), 4年男子で22.2% ( $p < 0.001$ ), 4年女子で25.4% ( $p < 0.01$ )であった。これに対してCGの同筋力は,どの学年および男女の集団においても統計的に変化しなかった。
- 4) TGにおける単位断面積当たりの屈曲力は,2年男子のみに統計上有意な増加が見られ,他のグループでは統計的に変化しなかった。
- 5) 思春期前児童の静的筋力トレーニングでは,筋力および筋断面積は増加を示すものの,単位断面積当たりの筋力に有意な増加が示されないことが特徴であった。

## 謝辞

本研究を行なうにあたって被検者となっていたいた東京都目黒区駒場小学校の先徒の皆さんおよび,クラス担任でトレーニングを管理して頂いた山下真理子先生と山本俊夫先生に深謝いたします。また骨年齢の計測にあつては,東京女子医科大学第二病院小児科の村田光範教授および多田羅裕子助手に御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 文献

- 1) American Academy of Pediatrics:(1983) Weight training and weight lifting: information for the pediatrician. *Phys. Sportmed.*, 11, 157-161.
- 2) Dons, B., Bollerup, K., Bonde-Petersen, F., & Hancke, S.: (1979) The effect of weight-lifting exercise related to muscle fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 40, 95-106.
- 3) Duda, M.: (1986) Prepubescent strength training gains support. *Phys. Sportsmed.*, 14(2), 157-161.
- 4) Eriksson, B.O., Gollnick, P.D., and Saltin, B.: (1973) Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol. Scand.* 87, 485-497.
- 5) Eriksson, B.O., Karlsson, J., & Saltin, B.: (1971) Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr. Scand. (Suppl)*, 217, 154-157.
- 6) Fournier, M., Ricci, J., Taylor, A.W., Ferguson, R.J., Montpetit, R.R., & Chaitman, B.R.: (1982) Skeletal muscle detraining. *Med. Sci. Sports Exer.*, 14, 453-456.
- 7) 福永哲夫:(1978) ヒトの絶対筋力—超音波法による体肢組成・筋力の分析—,杏林書院,東京
- 8) 福永哲夫,浅見俊雄,奥山秀雄,角田直也:(1985) 思春期前のトレナビリティに関する研究(第1報)—II 小学性男子に対する筋力トレーニングの効果—,昭和59年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, IV, 21-27.
- 9) 船渡和男,福永哲夫,浅見俊雄,池川繁樹,金久博昭,奥山秀雄:(1988) 思春期前児童における肘関節屈曲の静的筋力トレーニング効果, *体力科学* 37(1), 64-76.
- 10) Hakkinen, K., & Komi, P.V.: (1986) Training induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55, 147-155.
- 11) Hellebrant, F.A.: (1951) Cross education: Ipsilateral and contralateral effects of unimanual train-

- ing. *J. Appl. Physiol.*, 4, 136-144.
- 12) Ikai, M. and Fukunaga, T.: (1968) Calculation of muscle ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol.*, 26, 26-32.
  - 13) Inbar, O., & Bar-Or, O.: (1986) Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18, 264-269.
  - 14) Milner-Brown, H.S., Stein, R.B., & Lee, R.G.: (1975) Synchrony of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 38, 245-254.
  - 15) Pfeiffer, R.D., & Francis, R.S.: (1986) Effects of strength training on muscle development in pre-pubescent, pubescent, and postpubescent males. *Phys. Sportsmed.*, 14, 134-143.
  - 16) Rarick, G.L., & Larsen, G.: (1959) The effects of variations in the intensity and frequency of isometric muscular effort on the development of static muscular strength in pre-pubescent males. *Int. Z. Angew. Physiol.* 18, 13-21.
  - 17) Servedio, F.J., Bartels, R.L., FACSM, Hamlin, R.L., Teske, D., Shaffer, T., & Servedio, A.: (1985) The effects of weight training, using olympic style lifts, on various physiological variables in pre-pubescent boys. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17, 288(abstract).
  - 18) Sewall, L., & Micheli, L.J.: (1986) Strength training for children. *J. Pediatr. Orthop.*, 6, 143-146.
  - 19) Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Marshall, W.A., Healy, M.J.R., & Goldstein, H.: (1975) Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (Tw2 Method), Academic Press.
  - 20) Vrijens, J.: (1978) Muscle strength development in the pre- and postpubescent age. *Med. Sport*, 11, 152-158.
  - 21) Weltman, A., Janny, C., Rians, C.B., Strand, K., Berg, B., Tippitt, S., Wise, J., Cahill, B.R., & Katch, F.I.: (1986) The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18, 629-638.