

絶対筋力の比較による筋運動のトレーニング効果の検討

芝山秀太郎*, 平井 雄介*, 田口 信教*, 倉田 博*

Some considerations on the training effect of muscular exercise from the viewpoint of the comparison of absolute muscle strength

Hidetaro SHIBAYAMA*, Yusuke HIRAI*, Nobutaka TAGUCHI*
and Hiroshi KURATA*

Abstract

The muscles are useful because they are able to produce motion, which is the most fundamental function of the musculoskeletal system. The motion in this system is governed by the strength of muscles. It has been understood that muscular strength must be proportional to the physiological cross-sectional area of the muscle.

The present authors have conducted a study to determine the strength per unit cross-sectional area by means of ultrasonic method in living human subject. The training effect on the human arm flexor and extensor, and leg flexor and extensor was studied by subjecting 14 healthy swimmers as a training group, and 5 healthy persons as a control group. The training was made by isotonic maximum contraction, once a day, 5 times a week for 6 weeks. Ultrasonic measurement was employed to estimate the subcutaneous fat thickness and the muscle tissue.

It was found that the muscle training of 6 weeks did not change the strength of arm and leg significantly in both groups. The average value of absolute muscle strength of arm flexor and leg extensor was not shown any significant changes. From these experiments the conclusion can be drawn that it is necessary to investigate the absolute muscle strength in order to improve training programs.

KEY WORDS : *Training effect of muscular exercise, Unit cross-sectional area of muscle, Ultrasonic method, Absolute muscle strength*

緒 言

骨格筋の収縮力を増大させる主要な因子として、筋量の増大と、出力発揮に参加する運動単位数の増加があげられる。筋力トレーニングによって、はじめは筋がほとんど肥大しないにもかかわらず、

発揮される力が増大する。これは筋収縮をひき起す神経系のはたらきに変化を生じたためと考えられ、出力発揮に参加する運動単位の増加と説明されている^{6) 24)}。筋力発揮に際し、たとえば中枢神経からの刺激が運動神経を介して筋に伝達される際、個々の収縮による力が重合して、急速にかつ

*鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, 891-23, JAPAN

円滑な大きな力となる。このような神経衝撃の集中性は、トレーニングによって高進することが知られており、そのほか筋力発揮時に掛け声を発する、催眠により勇気づけられる、ピストル音を突然聞かされるなど大脳の抑制を和らげることにより促進される⁴⁾⁷⁾²⁰⁾。

しかし筋の収縮力は一般に、その横断面積に比例すると報告されている。猪飼らによれば、肘関節における屈筋力を12歳から20歳にかけて測定したところ、発育にともない筋力は増大するが、同時に屈筋群の横断面積も増加し、筋断面積あたりの筋力を求めると、男女ともに、約6 kg/cm²であったという⁸⁾。すなわち、筋力の増加は、筋断面積の増加に由来するものであり、単位断面積あたりの筋力は、性・年齢に関係なく、ほぼ一定と考えられる。

筋力トレーニングが、主として筋量の増大を目指すものであり、また規則的な反復によって、身体活動部位が肥大することは、古くから知られていた¹⁾²⁰⁾。Steinhausによれば、トレーニングによる筋量の増大は、動物実験の結果から、筋線維の肥大によることが明らかで、すでに1897年の報告にあるという²⁰⁾。しかし近年では、筋力トレーニングが筋線維数の増殖をもたらすという研究もあり、筋肥大だけではなく、筋増殖によっても、筋量の増大がもたらされると考えられるようになった¹³⁾¹⁹⁾。またウェイト・トレーニングのように、筋収縮力の増大を目的として行われるトレーニングでは、さらに、速筋線維が、遅筋線維にくらべて肥大の程度の大きいことも知られるようになった¹⁾。

このような筋量増大が筋線維の肥大か増殖か、あるいは筋線維組成そのものの変化か、といったことは、biopsyにはじまる実験室の手技を必要とし、関心事ではあってもスポーツ・トレーニングの実際では、実用化がきわめて困難であった。しかし従来の筋力トレーニングにおいても、体肢の周径囲の増加することについては多くの確認がなされている⁵⁾¹⁴⁾。この体肢の周径囲の増加が、筋量によるものか、脂肪層によるものかを識別することが可能となるだけでも、トレーニング効果

判定の精度を向上させることができる。

そこで本研究では、筋力を中心とするスポーツ・トレーニングに際し、体肢組成を、無侵襲のまま、簡便に測定しようする方法を検索しようとした。筋力トレーニングは、スポーツ活動の過半を占める等張性筋力の反復発揮とし、トレーニング期間経過後の筋力増加の確認、および体肢の周径囲の変化の測定を行い、超音波パルス反射法(Aモード)を利用して、体肢組成の分析を、主として筋量と脂肪量に分けて判定することを目的とした。

実験方法

筋力トレーニングとして、スポーツ活動に最もポピュラーな動作4種をえらんだ。すなわち、上肢屈曲力、上肢伸展力そして下肢屈曲力、下肢伸展力である。これらの筋力トレーニングは、いずれも最大努力の反復発揮とし、1日1回、週5日を原則とした。筋力トレーニングの期間は6週間とし、1991年5月初旬にプレ・トレーニング期の筋力測定を、また1991年6月下旬にポスト・トレーニング期の筋力測定を、それぞれ実施した。このときの筋力測定は、実験条件に変動のないよう配慮し、上肢屈曲力、上肢伸展力では、肘関節を90度に屈曲した位置から等尺性に、また、下肢屈曲力、下肢伸展力では、膝関節を90度に屈曲垂下した位置から等尺性に、それぞれ測定した。

被検者には、トレーニング群として鹿屋体育大学水泳部員14名をえらんだ、水泳選手では、従来、冷水に対する適応から皮下脂肪層の識別が容易との報告があったことによっている¹⁸⁾。また、対照群として鹿屋体育大学バドミントン部員5名をえらんだ、対照群では、特別な筋力トレーニングを試みることはなかったが、体育大学生としての日常生活に制限を加えたりすることは避けた。いずれも健康人で、年齢は18~21歳に分布した。表1に、これら被検者の身体的特性を示した。

筋力トレーニングにともなう体肢の体脂肪量の測定には、超音波パルス反射方式による法を用いた。すなわち超音波パルスを体表面から体内に照射し、音響インピーダンスの異なる脂肪と筋組織の境界面からの反射波を受信し、照射から受信ま

Table 1. Physical characteristics of subjects

TRAINED (SWIMMING)

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Rohrer's Index	Body density (g/ml)
TT	21	175.4	68.5	126.9	1.07578
ET	20	170.8	57.6	115.6	1.08106
MU	20	173.3	77.7	149.3	1.07402
YT	20	174.0	70.1	133.1	1.07866
ST	20	175.7	70.5	130.0	1.07546
TM	20	172.7	66.0	128.1	1.07882
TK	20	170.5	66.7	134.6	1.07834
TS	20	175.1	65.4	121.8	1.07946
YS	20	171.0	74.0	148.0	1.06474
MN	20	171.5	61.0	120.9	1.07962
YN	19	176.5	72.5	131.9	1.07994
HK	19	171.1	58.8	117.4	1.07962
MK	18	176.0	68.2	125.1	1.07898
KM	18	173.3	71.5	137.4	1.07322
Mean	19.6	173.4	67.8	130.0	1.07698
SD	0.9	2.2	5.9	10.5	0.00440

CONTROL (BADMINTON)

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Rohrer's Index	Body density (g/ml)
M	20	160.8	57.3	137.8	1.07402
Y	19	175.2	70.4	130.9	1.07066
H	19	167.1	57.0	122.2	1.07866
I	19	167.5	62.2	132.4	1.07226
K	19	175.0	67.4	125.8	1.07914
Mean	19.2	169.1	62.9	129.8	1.07495
SD	0.5	6.8	6.7	6.8	0.00425

でに要した時間を測定して、超音波の生体内脂肪組織伝播速度との関係から、体表部の皮下脂肪厚を距離として計測するものである。計測器としては、Aモード表示の超音波計測装置HD-500(林電気製)を用いた。著者らの1人、芝山はすでに、体肢の皮下脂肪厚のAモードによる1次元表示が、体肢の横断面像を求めたBモードによる2次元表示と、測定精度の等しいことを明らかにしている^{9) 20)}。

体肢の皮下脂肪厚測定部位は、上肢では、上腕前部、上腕背部および前腕部とし、下肢では大腿

前部、大腿後部および下腿部とし、それぞれの計測部位で、上腕囲、前腕囲、また大腿囲、下腿囲をスチール製巻尺で測定した。なお皮下脂肪厚は上記のほか、背部(肩甲骨下縁)および腹部(臍右横1cm)の測定を加えた。

これらの測定値をもとに身体密度Dを、Nagamineらの次式により求めた¹⁵⁾。すなわち

$$D = 1.0913 - 0.00116x$$

ここで、xは皮下脂肪厚であり、Brozekら²⁾、あるいはPollockら¹⁸⁾と異なり、長嶺¹⁶⁾が日本人についてしらべた

$$x = (\text{上腕背部皮脂厚} \times 1.50) + (\text{肩甲骨下縁皮脂厚} \times 2.08)$$

を用いた。なお身体密度Dより, Brozekら³⁾の次式により, 体脂肪率(%FAT)を求めた。すなわち

$$\%FAT = \left(\frac{4.570}{D} - 4.142 \right) \times 100$$

これにより体脂肪量(FAT, kg)および除脂肪体重(LBM, kg)を算出した。

実験成績

1. 筋力のトレーニング効果

発揮された筋力値は, 6週間の筋力トレーニングでは, 鍛練群, 非鍛練群で, 図1に示す通りい

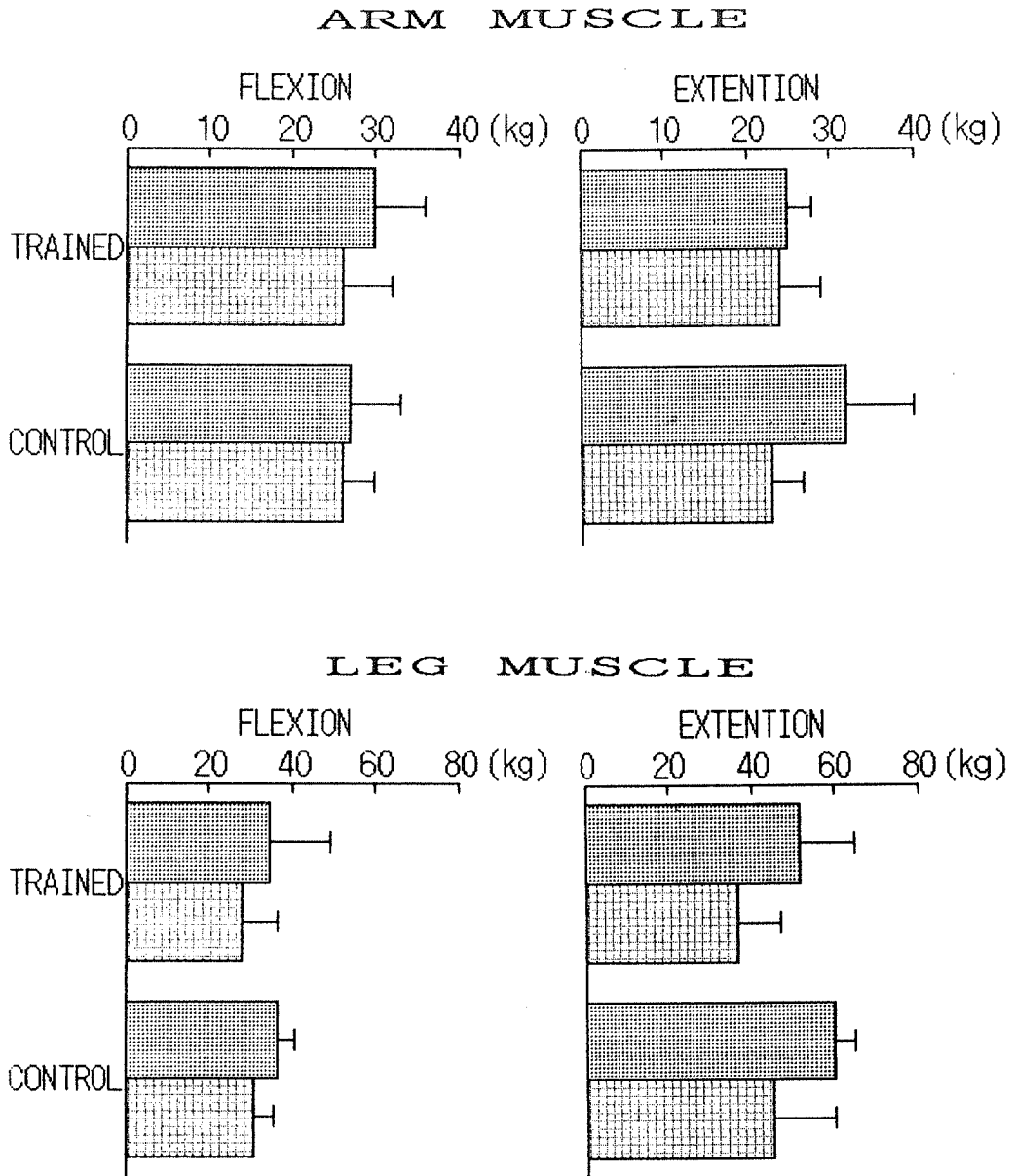


Fig. 1. Changes in muscular strength due to training for six weeks

Table 2. Changes in physiques due to training for six weeks

TRAINED (SWIMMING)

	Age (yrs)	Δ Height	Δ Weight	Δ Density	BODY FAT (%)		SKINFOLD·BACK (mm)		SKINFOLD·ABDOMEN (mm)	
					PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
TT	21	0.2	-0.4	-0.00258	10.6	11.7	4.9	5.3	6.7	6.1
ET	20	-0.5	0.1	-0.00400	8.5	10.1	4.0	4.8	3.7	4.4
MU	20	-0.3	-2.5	0.00272	11.3	10.2	3.7	5.3	3.0	4.8
YT	20	0	0	-0.00304	9.5	10.7	4.5	5.6	6.9	4.7
ST	20	-0.3	0.6	-0.00272	10.7	11.8	5.6	6.1	9.5	10.5
TM	20				9.4		4.1		5.3	
TK	20	0.5	-1.4	-0.00256	9.6	10.6	4.1	5.2	5.6	6.2
TS	20				9.2		3.6		3.6	
YS	20	0	-2.8	0.00448	15.0	13.2	9.3	7.0	12.9	15.6
MN	20				9.1		4.4		2.9	
YN	19	-0.5	-1.0	-0.00032	9.0	9.1	3.9	3.9	4.5	3.8
HK	19	0.1	3.5	0.00160	9.1	8.5	3.4	3.6	2.9	3.5
MK	18	0	0.5	-0.00128	9.3	9.9	3.5	4.2	3.6	4.3
KN	18	1.5	-1.6	0.00278	11.6	10.5	5.0	5.3	7.1	5.8
Mean	19.6				10.1	10.6	4.6	5.1	5.6	6.3
SD	0.9				1.7	1.4	1.6	1.0	3.0	3.8

CONTROL (BADMINTON)

	Age (yrs)	Δ Height	Δ Weight	Δ Density	BODY FAT (%)		SKINFOLD·BACK (mm)		SKINFOLD·ABDOMEN (mm)	
					PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
M	20	0	-0.9	0.00400	11.3	9.7	6.3	3.8	6.6	7.2
Y	19	0.5	-0.3	0.00336	12.6	11.3	7.6	5.9	8.0	7.8
H	19	0.5	-0.3	0.00224	9.5	8.6	3.0	3.4	5.9	3.6
I	19	0.3	-1.5	0.00272	12.0	10.9	5.9	4.0	6.9	8.2
K	19				9.3		3.6		2.7	
Mean	19.2				10.9	10.1	5.3	4.3	6.0	6.7
SD	0.5				1.7	1.4	2.2	1.3	2.2	2.4

ずれも有意の差が見られなかった。すなわち上肢屈曲力では、両群とも平均値としては6週後もあまり変わらず、鍛練群においても筋力の増加した者は半数に過ぎなかった。上肢伸展力の6週後の変化も、屈曲力のそれと全く同一の傾向を示した。また、下肢屈曲力では、両群とも平均値としては6週後にわずかの低下傾向を示し、鍛練群においても筋力の増加した者は半数にとどまった。下肢伸展力も、6週後の変化は屈曲力のそれとほぼ同一の傾向を示した。

筋力のトレーニング効果に、鍛練群、非鍛練群

でほとんど差の認められなかったところから、これら被検者の身体特性を検討し、表2のような結果を得た。すなわち、鍛練群、非鍛練群とも、身長、体重はもちろん、身体密度、体脂肪量に、この6週経過による有意の変動は全く見られなかったということである。

筋力発揮に直接かかわる上下肢の周径囲とそれぞれの皮下脂肪厚の計測値について、トレーニング前の測定結果を表3に、また6週を経過したトレーニング後の測定結果を表4に、それぞれ掲げた。筋力トレーニングの前後で、上下肢の形態の

Table 3. Measurement of upper and lower extremities before training
TRAINED (SWIMMING)

	GIRTH (cm)				SKINFOLD THICKNESS (mm)					
	Upperarm	Forearm	Thigh	Calf	Upper-F	Upper-B	Forearm	Thigh-F	Thigh-B	Calf
TT	30.9	26.0	53.5	37.3	4.5	4.8	4.5	4.5	4.9	4.0
ET	27.5	25.0	50.0	35.7	2.9	2.4	3.1	4.6	4.7	4.3
MU	32.5	28.4	58.7	40.4	4.2	7.1	2.7	3.8	5.1	3.6
YT	28.7	26.5	55.6	38.2	4.6	3.4	5.2	5.8	4.0	3.8
ST	30.8	25.6	54.4	35.2	4.6	4.3	3.2	6.0	7.4	5.9
TM	28.0	25.0	53.0	37.5	3.9	3.7	3.7	4.1	5.4	4.6
TK	28.7	25.7	50.6	36.0	4.5	4.0	3.4	2.9	4.9	3.9
TS	29.9	27.0	52.1	34.5	3.3	3.8	3.0	3.7	4.9	3.9
YS	31.2	26.4	55.1	36.7	5.5	7.3	4.2	5.8	9.8	6.3
MN	24.9	25.3	51.5	35.0	2.8	2.9	3.0	4.2	5.0	5.4
YN	30.2	27.0	57.5	37.4	4.2	3.2	3.7	4.4	4.5	3.7
HK	28.5	25.4	48.5	35.7	2.9	3.9	3.5	3.2	3.7	3.3
MK	28.6	27.0	52.7	35.5	3.9	4.2	5.1	5.6	4.3	6.2
KM	30.5	27.2	56.1	40.4	5.5	6.3	4.7	7.1	7.2	5.2
Mean	29.4	26.3	53.5	36.8	4.1	4.4	3.8	4.7	5.4	4.6
SD	2.0	1.0	3.0	1.9	0.9	1.6	0.8	1.2	1.7	1.1

CONTROL (BADMINTON)

	GIRTH (cm)				SKINFOLD THICKNESS (mm)					
	Upperarm	Forearm	Thigh	Calf	Upper-F	Upper-B	Forearm	Thigh-F	Thigh-B	Calf
M	29.1	26.9	54.6	37.2	4.4	4.5	3.5	3.3	5.9	4.6
Y	29.2	27.5	58.0	39.3	5.3	5.3	3.1	4.7	6.5	4.3
H	25.1	23.7	51.5	34.2	4.3	4.9	3.8	5.9	4.5	5.2
I	30.3	26.8	54.7	37.2	5.4	6.0	3.5	3.5	6.5	5.4
K	28.5	26.8	56.5	39.5	6.4	4.0	4.2	4.3	5.8	4.2
Mean	28.4	26.3	55.1	37.5	5.2	4.9	3.6	4.3	5.8	4.7
SD	2.2	1.7	2.7	2.4	1.0	0.9	0.5	1.2	0.9	0.6

有意の変動はほとんど認められなかった。

2.. 絶対筋力にたいするトレーニング効果

筋力の大きさが筋の断面積に依存することは経験的にも知られており、筋力トレーニングの効果は、筋の生理学的断面積をどれだけ大きくしたかによって評価される。6週間の筋力トレーニングでは、上下肢に筋力変化を生じなかった本研究の場合、絶対筋力、すなわち筋の生理学的断面積1cm²あたりの最大筋力発揮も変化を示さなかったかという問題が残る。そこで上下肢の絶対筋力を求

めてみた。

体肢の横断面がほぼ円形を成すことについては、著者らの1人、芝山をはじめ多くの報告があり^{5) 9) 10)}、表3および表4から上下肢の周径 ℓ (ただし $\ell = 2\pi r$) をもとに、上腕部および大腿部の横断面積を、次式により求めた。

$$S_r = \ell^2 / 4\pi$$

ここで成人の場合、福永によれば上腕部全断面積の $8.0 \pm 2.6\%$ 、また大腿部全断面積の $3.3 \pm 0.8\%$ が、骨の占める断面積 S_B となる⁹⁾。

一方、上下肢の全断面積のうちLBM組成は、

Table 4. Measurement of upper and lower extremities after training
TRAINED (SWIMMING)

	GIRTH (cm)				SKINFOLD THICKNESS (mm)					
	Upperarm	Forearm	Thigh	Calf	Upper-F	Upper-B	Forearm	Thigh-F	Thigh-B	Calf
TT	30.5	25.8	54.0	36.4	4.5	6.2	4.3	4.3	6.0	3.5
ET	29.0	25.0	49.0	34.4	2.6	4.1	3.9	5.8	5.8	4.6
MU	32.5	28.9	58.4	39.6	3.8	3.8	3.4	4.5	4.1	4.0
YT	29.8	26.2	54.8	36.4	4.1	4.2	5.6	3.6	4.8	3.8
ST	31.5	26.2	58.4	35.0	4.5	5.5	3.5	3.7	3.8	5.5
TM										
TK	30.5	26.0	52.3	36.4	5.7	4.5	4.5	5.3	4.4	4.0
TS										
YS	33.4	27.8	56.5	36.8	7.5	6.8	4.1	7.5	6.3	4.7
MN										
YN	30.1	26.6	56.5	36.0	3.5	3.4	3.3	3.8	5.0	3.4
HK	29.3	26.5	52.0	36.5	2.6	2.7	3.8	4.0	4.1	3.5
MK	30.0	27.2	55.0	36.3	4.1	4.3	4.2	4.2	5.7	5.6
KM	31.0	27.3	57.0	39.3	4.7	4.2	3.9	4.1	6.1	5.5
Mean	30.7	26.7	54.9	36.6	4.3	4.5	4.0	4.6	5.1	4.4
SD	1.4	1.1	3.0	1.6	1.5	1.3	0.7	1.2	1.0	0.9

CONTROL (BADMINTON)

	GIRTH (cm)				SKINFOLD THICKNESS (mm)					
	Upperarm	Forearm	Thigh	Calf	Upper-F	Upper-B	Forearm	Thigh-F	Thigh-B	Calf
M	28.4	27.5	52.6	37.2	4.6	4.5	3.5	4.9	7.7	5.5
Y	28.0	27.5	52.4	37.2	5.7	4.9	3.8	5.9	4.5	4.5
H	25.3	24.6	50.8	33.6	2.2	3.1	3.3	3.6	3.9	3.1
I	29.7	26.5	54.9	36.5	6.0	6.2	4.5	4.0	4.6	4.3
K										
Mean	27.8	26.5	52.4	36.1	4.6	4.7	3.8	4.6	5.2	4.4
SD	2.1	1.6	1.5	2.0	2.0	1.5	0.6	1.2	2.0	1.1

上腕部の前および後部, また大腿部の前および後部の各皮下脂肪厚 a の測定値から,

$$S_{LBM} = (\ell - \pi a)^2 / 4\pi$$

により求めることができ, これより S_B 組成を減じたものが, 上下肢の全断面積に占める筋組成断面積と考えられる。

上肢屈曲力の発揮に関与する上腕屈筋は, 紡錘筋であり, 解剖学的断面積と生理学的断面積とは等しく, 多くの報告により屈筋断面積の割合は 47.9% を占めることが明らかにされている。また下肢伸展力の発揮に関与する大腿伸筋は, 筋断

面積の 51.0% を占めるが, 羽状筋であり, 猪飼ら⁷⁾, または福永ら⁴⁾ は, 解剖学的断面積の 1.31 倍が生理学的断面積に相当するという。

ここで上肢屈曲力および下肢伸展力の発揮は, 関節を動かす筋の附着点 (力点) が支点と重点の間に存在する第 3 種のテコに相当し, 手または足などの末端に作用する力 (測定された筋力値 W) は, それほど大きな値を示さないときであっても, 力点で発揮される真の筋力 F は, 非常に大きな値を示している。これらの肘関節屈曲または膝関節伸展の各関節におけるテコ比は, 福永らによれば,

個人差もほとんどなく、それぞれ4.90および8.10であったという⁴⁾。そこで、真の筋力Fを次のようにして求めた。

$$\text{上肢屈曲力 } F = W \times 4.90$$

$$\text{下肢伸展力 } F = W \times 8.10$$

そこで、絶対筋力Kは、これら真の筋力Fをそれぞれ、上腕屈筋または大腿伸筋の生理学的断面積で除すことにより求めた。すなわち、上肢屈曲力では、

$$K = F / (S_{LBM} - S_B) \times 0.479$$

下肢伸展力では

$$K = F / (S_{LBM} - S_B) \times 0.510 \times 1.31$$

6週間の筋力トレーニングにともなう、鍛練群および非鍛練群の絶対筋力を求め、それぞれ一括して表5に掲げた。

単位面積あたりの筋力、すなわち絶対筋力は、肘関節屈曲位で、鍛練者 $5.39 \pm 1.30\text{kg}$ 、非鍛練者 $5.48 \pm 1.65\text{kg}$ であった。また膝関節屈曲垂下位で、鍛練者 $3.63 \pm 0.70\text{kg}$ 、非鍛練者 $3.93 \pm 0.27\text{kg}$ であった。絶対筋力については、鍛練者に特長的な表われかたをみることもない上に、6週間の筋力トレーニングが特異的な影響を及ぼすこともなかった。

Table 5. Changes in absolute muscle strength due to training for six weeks TRAINED (SWIMMING)

	Age (yrs)	ARM FLEXION (kg/cm ²)		LEG EXTENTION (kg/cm ²)	
		PRE	POST	PRE	POST
TT	21	4.85	4.43	4.36	3.51
ET	20	5.76	3.89	3.69	
MU	20	4.34	5.16	4.04	2.90
YT	20	5.31		4.27	
ST	20	4.25	4.82	2.21	1.56
TM	20	8.83		2.50	
TK	20	4.92	5.48	3.43	2.77
TS	20	5.37		3.49	
YS	20	5.03	3.82	3.96	2.88
MN	20	7.06		4.50	
YN	19	5.90	3.68	2.64	3.34
HK	19	4.61	3.98	3.78	3.35
MK	18	3.19	4.78	3.55	2.77
KM	18	5.62	5.98	4.33	3.46
Mean	19.6	5.39	4.60	3.63	2.95
SD	0.9	1.30	0.74	0.70	0.57

CONTROL (BADMINTON)

	Age (yrs)	ARM FLEXION (kg/cm ²)		LEG EXTENTION (kg/cm ²)	
		PRE	POST	PRE	POST
M	20	5.31	4.46	3.91	2.13
Y	19	3.90	4.73	3.72	3.01
H	19	8.75	6.49	4.06	4.13
I	19	5.00	5.48	4.23	3.99
K	19	4.43		3.74	
Mean	19.2	5.48	5.29	3.93	3.32
SD	0.5	1.65	0.73	0.27	0.70

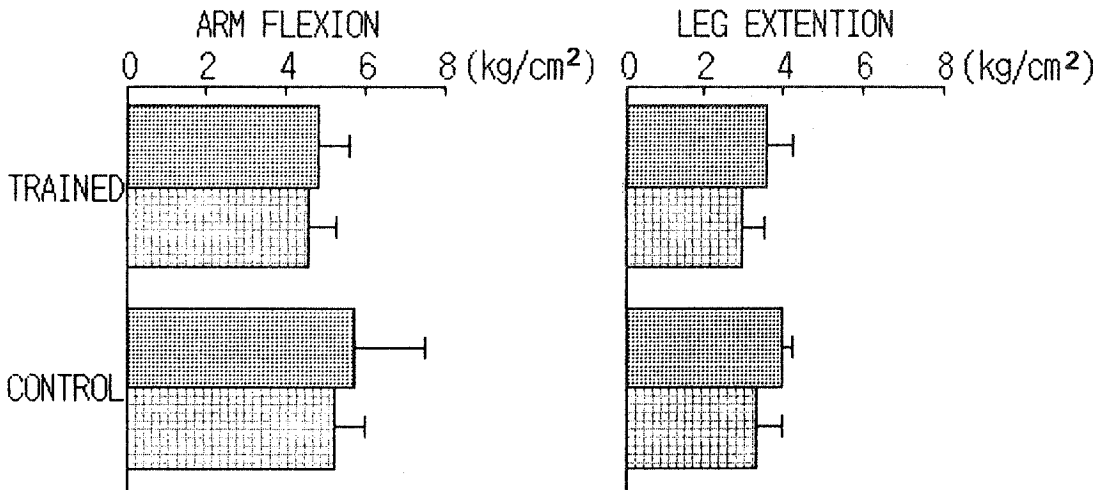


Fig. 2. Changes in absolute muscle strength before and after training

表5のうち、筋力トレーニングの前後で絶対筋力を求めることのできた者のみを抽出し、平均的傾向として図2に、絶対筋力の推移をあらわした。

考 察

筋力トレーニングによって体肢の周径囲の増加することは、古くから経験的に知られていた。とくにHettingerは等尺性に発揮される筋力のトレーニング処方を作成し、1日1回、最大筋力の2/3の強度で反復刺激を行えば、筋力の増大がみられると報告した⁹⁾。この筋力増加は、犬で確められた資料をもとに、筋の断面積の増加によると考察しているが、筋線維の肥大によるとする報告は多い。日常生活で使用することのない頸部筋群の力を特別にトレーニングした中島らの報告によれば、頸の周径囲の増大が先行して、引きつづいて筋力の増加があらわれるという¹⁰⁾。前田らは、こうした筋力トレーニングの効果は、等尺性、等張性といったトレーニング法の差や負荷強度の大きさとは無関係であったという¹²⁾。

本研究では、筋力トレーニングの効果を、上肢屈曲力および上肢伸展力、また下肢屈曲力および下肢伸展力で、それぞれ最大値の推移を観察した。最大努力の筋力トレーニングでは、4週間ないし6週間で、効果がみられるとした報告が多い^{11) 13)}にもかかわらず、図1に示したように、上肢筋群、

下肢筋群のいずれにおいても、トレーニング後における有意の筋力増加は観察されなかった。

実験方法で触れたように、本研究で用いた超音波計測装置によれば、無侵襲のまま、体脂肪の計量が可能であり、筋力トレーニングの前後における身体組成の変動を検討した^{11) 20) 25)}。表2に示したように鍛練群の推定体脂肪量も非鍛練群のそれも、ほとんど変化がなく、またトレーニング前後の体肢組成も、表3および4に示したように、筋力同様、有意の変化は認められなかった。

筋力増加が筋線維の肥大によるとするならば、本研究で計画した筋力トレーニングが、筋力に変化をもたらすに至らなかった主因として、身体組成あるいは体肢組成など、形態的变化をとまわなかったことをあげることができる^{5) 23) 26)}。

筋力トレーニングは、また、出力発揮の効率、すなわち絶対筋力に、何らかの影響を及ぼしたことが考えられる。従来から、筋線維の質的变化が生じない以上、絶対筋力は変わらないとする説と、神経支配の改善により絶対筋力は増加するという報告とがある^{11) 13)}。本研究で用いられた計測装置によれば、体肢の除脂肪組織を求めることができ、これにより表5のように絶対筋力を知ることができる。そこで上肢の屈筋力、あるいは下肢の伸展力について、それぞれ絶対筋力を求め、トレーニング前後で比較してみた。絶対筋力は4ないし

8 kg/cm²のあいだで正規分布するという多くの報告と本研究の測定値とはよく一致しており、しかも図2にあるように、6週を経て有意の変化を示すことはなかった。

これらのトレーニング結果を要約すれば、最大努力による6週間の筋力トレーニングは、多くの先行研究と異なり、筋力の有意の増加をもたらさなかった。その主因は、鍛練群、非鍛練群の別なく、身体組成や体肢の形態に変化の認められなかったことがあげられ、超音波法により、無侵襲のまま、体肢の筋の生理学的断面積を求めて、絶対筋力の変化を観察しても、トレーニング効果を認めることはできなかった。筋力増加の認められない筋力トレーニングは、実は日常的に経験される事実であり、トレーニング期間中の継続的観察により、筋の増量を示唆する体肢の形態的变化を確認する、あるいは神経支配の改善を示唆する絶対筋力変化を確認するなどの、新しい判断の付加されることが期待されよう。

総 括

筋力トレーニングは、筋収縮に参加する筋量の増大をはかることと出力発揮に参加する運動単位数の増加をはかることが重要とされる。前者においては身体組成や体肢の筋の生理学的断面積が関係し、後者においては出力発揮の効率を絶対筋力により検討することができる。そこで本研究ではAモード表示の超音波パルス反射法により、無侵襲のまま、体肢組成を筋量と脂肪量に分けて測定した。

筋力トレーニングには上肢屈曲力、上肢伸展力、下肢屈曲力、下肢伸展力をえらび、いずれも最大努力の反復発揮とし、1日1回、週5日、期間を6週間とした。被検者は、年齢18~21歳の体育大学生とし、鍛練群として水泳部員14名、対照群として特別に筋力トレーニングを行わないバドミントン部員5名をえらんだ。プレ・トレーニング期と6週を経過したポスト・トレーニング期に、上肢屈曲力、上肢伸展力、下肢屈曲力および下肢伸展力を、それぞれ等尺性に測定したほか、関係する体肢の周径囲と皮下脂肪厚を測定した。皮下脂

肪厚測定の部位は、上肢では、上腕前部、同後部および前腕部、下肢では、大腿前部、同後部および下腿部とし、これに背部と腹部とを加えた。

6週間の筋力トレーニングにより、上肢屈曲力、上肢伸展力、下肢屈曲力、下肢伸展力のいずれにおいても、非鍛練群はもちろん、鍛練群であっても、有意の筋力増加は観察されなかった。その主因として、両群とも、身体組成や体肢の形態に変化の認められなかったことがあげられた。超音波法により、無侵襲のまま、体肢の筋の生理学的断面積を求めて、絶対筋力の推移を検討したが、トレーニング効果はほとんど認められなかった。

このような筋力増加の認められない筋力トレーニングは、日常の経験的事実であるが、トレーニング期間中の継続的観察により、筋の増量を示唆する体肢の形態的变化、あるいは神経支配の改善を示唆する絶対筋力変化などを、本研究で用いた超音波法で確認することにより、新しい判断をつけ加えていくことが必要とされよう。

本研究は、平成2年度教育研究特別経費「筋肉トレーニングの効果をあげるための分析法の研究」の援助により行われた。研究の実施にあたっては、鹿屋体育大学水泳部員およびバドミントン部員の好意あるご協力を頂いた。ここに記して厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Astrand, P. O. and K. Rodahl: The textbook of work physiology. McGraw-Hill. NY. 1970. (浅野勝己訳「オストランド運動生理学」大修館書店. 東京. 1976)
- 2) Brozek, J.: Body measurements, including skinfold thickness, as indicators of body composition. In Brozek, J. and A. Henschel eds. "Techniques for measuring body composition." pp. 3-35. National Academy of Science. Washington DC. 1961.
- 3) Brozek, J., F. Grande, J.T. Anderson and A. Keys: Densitometric analysis of body composition. Revision of some quantitative assumption. Ann. NY Acad. Sci. 110, 113-140. 1963.
- 4) 福永哲夫: ヒトの絶対筋力. 杏林書院. 東京. 1978.

- 5) 福永哲夫・金久博昭: 日本人の体組成. 朝倉書店. 東京. 1990.
- 6) Hettinger, Th. : Physiology of strength. Charles C. Thomas. Ill. 1961.
- 7) Ikai, M. and K. Yabe : Training effect of muscular endurance by means of voluntary and electrical stimulation. *Int. Z. Angew. Physiol. Arbeitphysiol.* 28, 55-60. 1969.
- 8) Ikai, M. and T. Fukunaga : A study on training effect on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol. Arbeitphysiol.* 28, 173-180. 1970.
- 9) Katsuki, S., H. Shibayama, M. Ikai, S. Kondo and R. Uchida : The Application of ultrasonic method to the study of body composition. *Med. Ultrason.* 2 (2) 29-31. 1964.
- 10) 勝木新次, 芝山秀太郎, 猪飼道夫, 近藤四郎: 超音波による body composition 測定装置. *体力研究*, 4, 34-41. 1965.
- 11) 北川 薫: 身体組成とウェイトコントロール. 杏林書院. 東京. 1991.
- 12) Maeda, A., K. Tokui and H. Shibayama : The effects of concentric and eccentric training on the muscular power of the legs. *Ann. Physiol. Anthropol.* 10 (4) 250. 1991.
- 13) 宮下充正: トレーニングの科学. 講談社. 東京. 1980.
- 14) Morris, C. B. : The measurement of the strength of muscle relative to the cross-section. *Res. Quart.* 19, 295-303. 1948.
- 15) Nagamine, S. and S. Suzuki : Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.* 36, 8-15. 1964.
- 16) 長嶺晋吉: 皮下脂肪厚からの肥満判定. *日本医師会誌*, 68, 919-924. 1972.
- 17) 中島 剛, 前田 明, 西菌秀嗣, 倉田 博, 芝山秀太郎: 頸部筋群の筋力トレーニングと形態的発達. *体力科学*, 40 (6) 808. 1991.
- 18) Pollock, M. L., H. S. Miller, A. C. Linnerud and K. H. Cooper : Frequency of training as a determinant for improvement in cardiovascular function and body composition of middle-aged men. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 56, 141-145. 1975.
- 19) Ricci, B. : Physical and physiological conditioning for men. W.M. C. Brown. Iowa. 1976. (芝山秀太郎・江橋 博訳「科学的な身体づくり」現代人社. 東京. 1976)
- 20) 芝山秀太郎, 江橋 博: 身体組成測定のための新しい水中秤量法. *体力研究*, 48, 66-73. 1981.
- 21) 芝山秀太郎, 江橋 博: 形態発育と身体組成の測定. *体力研究*, 53, 29-34. 1982.
- 22) 芝山秀太郎, 江橋 博, 一木昭男: 運動と体力の生理学. 一条書店. 東京. 1987.
- 23) Shibayama, H. : Programs of lifelong sports and exercise for health promotion. *J. Human Ergol.* 19 (1) 72. 1990.
- 24) Steinhilber, A. H. : Toward an understanding of health and physical education. W.M. C. Brown. Iowa. 1965.
- 25) Wilmore, J. H., R. N. Girandola and D. L. Moody: Validity of skinfold and girth assessment for predicting alterations in body composition. *J. Appl. Physiol.* 29, 313-317. 1970.
- 26) 矢部京之助: 人体筋出力の生理的限界と心理的限界. 杏林書院. 東京. 1977.