

8 比重法, 超音波法による 柔道選手の身体組成の研究

東京大学 猪飼道夫
福永哲夫
藤平田英彦

体力の研究および評価は形態計測および身体機能の面から研究されている。

形態計測は身体の外部の測度の大小から身体内部の発達状態を推測しようとするものである。しかし、身体の外部の各測度から身体内部の発達状態を推測する場合にも限度があり、不十分な点がある。

身体機能（作業能力）を評価する場合においても、身体の内部状態を十分に知ることができ、機能を発揮させる質量と関連づけることができれば、形態と機能との関係をもっと具体的に究明することができる。

そこで、身体内部の様子を具体的に知るために身体組成の研究がある。

身体組成の研究方法のなかで、皮下脂肪の測定は比較的簡単であり、皮厚計を用いる方法やX線撮影による方法がある。しかし、それらの測定方法では各組織の横断面を測定することはできない。最近、超音波による測定装置が開発され、各組織の横断面像を得ることができるようになった。

一方、全身体各構成物の重量および比率を算出する方法として、アルキメデスの原理を応用した物理的な方法がある。これは比重法（densitometry）と呼ばれ、比較的簡単でしかも応用範囲が広いという意味で一般的に広く用いられている。

本研究は超音波測定法および比重法を用いて、柔道選手の身体組成を分析し、一般成人との比較から柔道選手の身体組成を解明しようとするものである。

研究方法

1. 超音波による測定法

図1 超音波測定装置

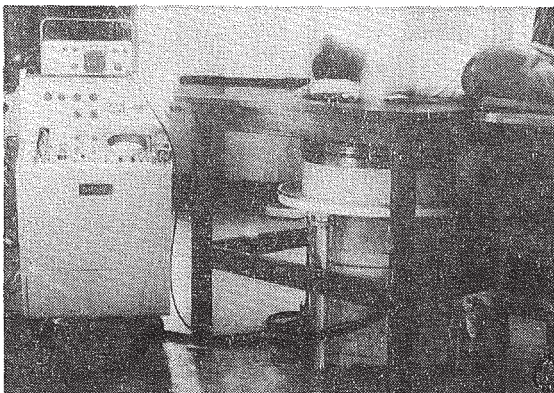
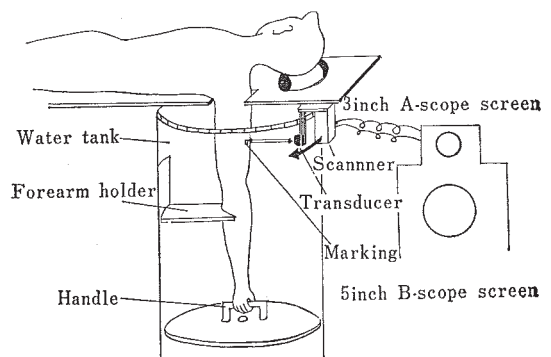


図2 超音波測定装置の模式図



本研究で用いた超音波測定装置は、発振器、走査装置、観測装置、水槽、および被検部を安定させるための固定装置からなっている。図1にその全景を示した。

発振器は直径30mmであり、振動子は水晶およびチタン酸バリウムの凹面振動子を用いた。本研究で用いた周波数は1, 2.25, 5, 10メガサイクル(MC)である。発振器は水槽中に突き出た腕(アーム)に取りつけられ、自らは発振方向が60度の扇形を描くように運動しながら、直径55cmの水槽の外周を回旋するようにした。

水槽は、深さ80cmの合成樹脂製であり、内側に段がついており、中の厚さ10mmのアルミ板をこの段に沿って動かすことにより深さを自由に調整することができる。

水槽内の体肢を安定させるための固定装置は図2に示したようなものである。腋下の動揺を少なくし、肩を固定するために、図のような切り込みのある板に肩をあてた。

“Forearm holder”は測定中に肘が屈曲しないように肘頭の部分を固定する木製のアームである。被検者は水槽中のアルミ板にとりつけられた“Handle”を軽く握ることによって、手首を固定し、腕の動揺を防いだ。“Marking”は、測定部位を確認するために測定部位に附着した長さ5mm、直径2mmの木製の棒である。

観測装置はUSI-2D型(日本無線製)を用いた。指示器としては、残光性5インチブラウン管を

図3 右前腕の断面像

Cross-sectional View of Human Forearm by Ultrasonic Method

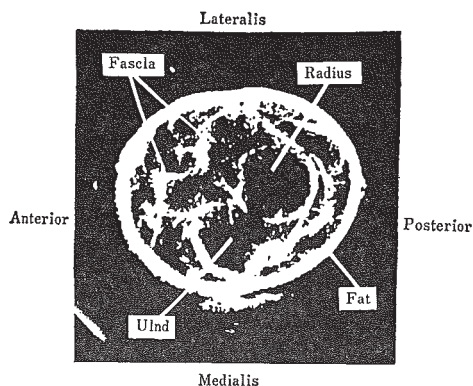


図4 右上腕の断面像

Cross-sectional View of Human Upper Arm by Ultrasonic Method

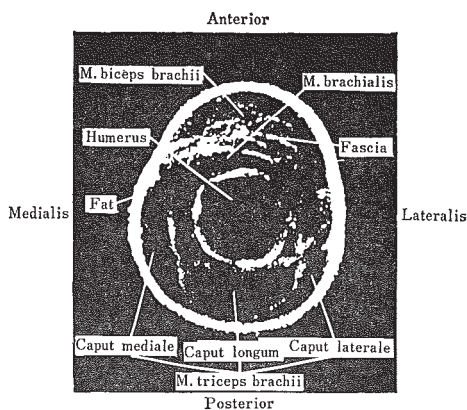
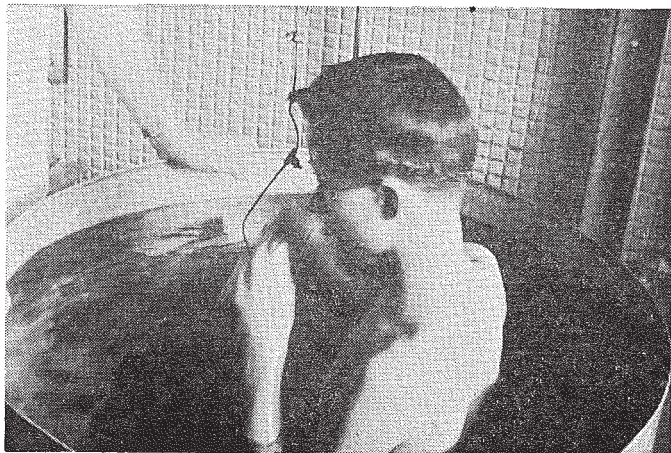


図5 → 水中体重測定



用い, モニター用として A-Scope 方式の3インチブラウン管が備えられている。5インチブラウン管に投影された体肢の横断面像は35mmカメラ(キャノン製)によって記録した。写真撮影はブラウン管に接写フードを取りつけ, 距離目盛を無限大にして, 絞り $f/8$ で発振器が水槽の外周を1周する間約30秒露光した。

被検者が体肢の被検部を水槽中に浸すと, 発振器がこの外周を扇形運動をしながら回転する。超音波は水槽中に浸された体肢の周囲のブラウン管上に表わされて被検部の横断面像となる。この横断面像はカメラによって記録される。

図3, 4はそれぞれ, 前腕, 上腕の超音波による横断面像である。この横断面像から皮下脂肪, 筋肉, 骨の横断面積を計算した。

つぎに, 各組織の横断面を測定する際の装置の至適条件を求めた。

ヒトの身体内での音速は約 150.0m/s である。波長 λ , 周波数 f と音速 c との間には一般に $\lambda = c/f$ の関係がある。音速 c は周波数に無関係な定数であるから, 同じ媒質では波長は周波数に反比例する。したがって周波数が 10MC では波長が 0.15mm , 5MC では 0.3mm , 2.25MC では 0.66mm , 1MC では 1.5mm となる。超音波では波長を短くすれば, 生体内でのパルスの長さを短くでき距離分解能が良くなるので反射源の模様を細かく知ることができる。以上のことから発振周波数として $2.25\sim 10\text{MC}$ が適当であることがわかる。さらに実測によって皮下脂肪などの浅層部の組織には $5\sim 10\text{MC}$, 骨, 筋などの深層部の組織には $2.25\sim 5\text{MC}$ の周波数を用いるとき最も鮮明に各組織の状態を認めることができた。超音波測定装置の正確性を確かめるため動物(ブタ, ウシ)の前肢の皮下脂肪を超音波により測定し, 皮厚計による測定値と比較したところ, 誤差は10%以下の精度であった。また, 超音波測定によりヒトの上腕骨を撮影し, X線撮影による値と比較したところ, X線撮影の値に対し6.7%以下の誤差であった。

測定部位として, 右上腕および右前腕の最大周径囲の部位を選んだ。

筋力は, ストレンゲージを貼布したロードセルを用いてガルバノメーターでペン書きオシログラフに記録した。

2. 身体比重測定法

身体比重を求めるにあたって, まず体容積を測定するために, 水中での体重を測定する水中秤量法(Underwater weighing)を用いた。水槽には被検者が水中に潜った時, 水槽の底, 側壁に接触しないような大きさを必要とするため直径86cm, 深さ122cm, 容積700lの円型ブリキ製の水槽を用いた。

そして, 被検者は最大呼出を行ない肺に残気量だけを残した状態で沈水し, 水槽の上部から吊るされているバネ秤に懸垂した。そして, 秤の指針の動揺が止まった時の重さを, 水中体重とした。

(図5)。この水中体重は, 最大呼出時の後, 肺に残っている空気量(残気量)を含んだみかけの体重である。

残気量は直接呼吸計によって測定することはできない。そこで, この残気量を測定するために最大呼出時の空気量(予備呼吸量)をアイカベネディクト型13.5Lのレスピロメーター(呼吸計)によって測定した(図6)。

次に, Counand-Richards の窒素稀釈法を用いて, 機能的残気量を測定した。

すなわち, 7分間純酸素を吸入させて, 肺に残っている窒素をすべて呼出させ, この窒素量から残気量を求めるわけである(7図)。

この, 機能的残気量から予備呼吸量を差し引いたものが残気量である。

なお, 水槽内の水温は, 被検者がふるえなどをおこさないように $35\sim 36^{\circ}\text{C}$ に維持した。

身体比重は定義によって次の式から求めた。

$$\text{身体比重} = \frac{\text{空気中体重}}{\left(\frac{\text{空気中体重} - \text{水中体重}}{\text{測定時の水温における水の密度}} \right) - \text{残気量}} \dots\dots(1)$$

さらに身体比重から次の式によって体脂肪量(%体重)および除脂肪体重(lean body mass)を求めた。

$$\text{体脂肪量} = \left(\frac{4.570}{\text{身体比重}} - 4.142 \right) \times 100 \dots\dots(2)$$

$$\text{除脂肪体重} = \text{体重} - \text{体脂肪量} \dots\dots(3)$$

また、全体水分量は除脂肪体重が72%の水分を含んでいるということから次のようにして求めた。

$$\text{全体水分量} = \text{除脂肪体重} \times 0.72 \dots\dots(4)$$

体重から体脂肪量と全体水分量を差し引いた残りを固形分とした。

$$\text{固形分} = \text{体重} - (\text{体脂肪量} + \text{全体水分量}) \dots\dots(5)$$

図 6 →
最大呼出時の空
気量(予備呼気
量)の測定



図 7 →
残気量の測定

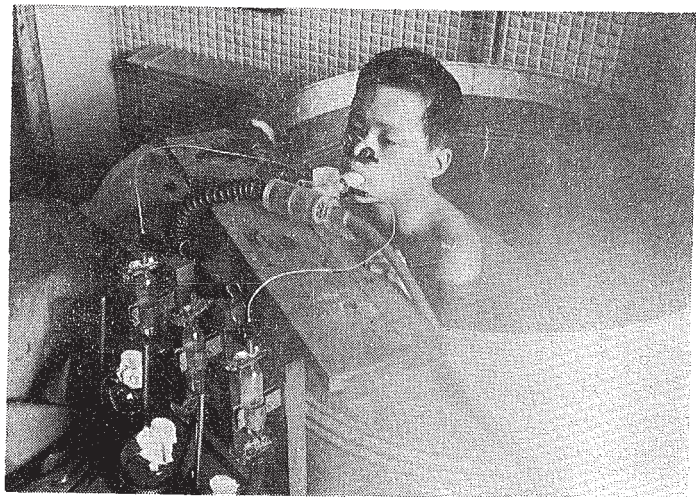
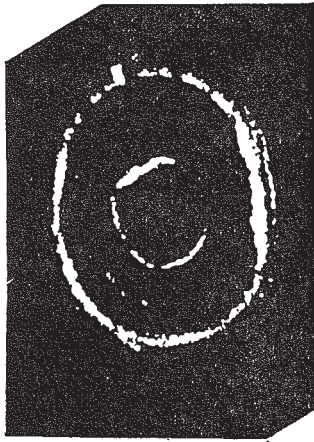
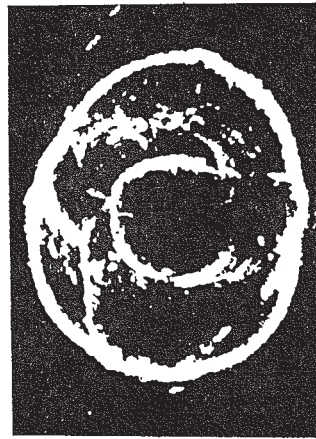


図8 柔道選手と一般人の上腕横断面像

一般人男子



柔道選手



また、皮下にある皮下脂肪量を推測するために、身体の12か所の皮脂厚を榮研式皮厚計(skinfold caliper)によって測定した。

皮厚計による測定は皮下脂肪を2倍に重ねた厚さであるから、その厚さを半分にし、それから皮膚の厚さを1.1mmと見積り、その値を皮下脂肪の厚さとした。

そこで次のようにして皮下脂肪量を算出した。

皮下脂肪(g) = 皮下脂肪厚(cm) × 体表面積(cm²) × 脂肪の比重(0.9000g/ml)(6)

皮脂厚の測定部位は次の12カ所である。

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. 顔 部——頬骨下縁 | 8. 背 部——肩甲骨下角 |
| 2. 頸 部——舌骨部 | 9. 膝蓋部——膝蓋骨の直上 |
| 3. 胸 部——乳頭の上 | 10. 前大腿部——腸棘点と膝蓋骨とを結ぶ線
上の中点 |
| 4. 側胸部——中腋窩線上で、剣状突起の高
さ | 11. 後大腿部——腸棘点と膝蓋骨とを結ぶ線
上の中点の高さで、その背側 |
| 5. 腹 部——臍の右横1cmのところ | 12. 腓腹部——腓腹部の最大囲での高さ |
| 6. 下腹部——上前腸骨棘(腸棘点)の直上 | |
| 7. 上腕部——肩峰点と橈骨点とを結ぶ線の
中点でその背側 | |

3. 被 検 者

本実験の被検者の年齢および人数については次のようである。(表1)

(表1)

被 検 者	年 令	人 数	所 属
大学柔道選手	18—21才	10名	東京教育大学柔道部員(全員2段)
一般成人男子	21—29才	14名	東京大学大学院生および学部生

結 果

1. 超音波測定による上肢組成の分析

(1) 大学柔道選手と一般成人男子との上肢組成断面積の比較

表2は18才～21才の大学柔道選手9名と21才～29才の一般成人男子12名の生体計測値，組成断面積および能力を表わしたものである。

図8は，大学柔道選手と一般成人男子の右上腕の横断面写真の一例である，大学柔道選手は筋，骨において一般成人よりも大きいことが認められる。

図9は，前腕および上腕断面積について一般成人と柔道選手を比較したものである。柔道選手の前腕断面積の平均値は 60.7cm^2 であり，一般人の値は 50.8cm^2 である。

また，前腕の筋断面積では柔道選手は一般成人よりも 8.8cm^2 大きい値を示した。上腕についてみると全断面積では柔道選手は 68.1cm^2 であり，一般成人は 52.3cm^2 である。上腕の筋断面積では柔道選手が一般成人よりも 14.5cm^2 大きい値を示した。いずれの値においても両者の間には1%水準で有意な差が認められた。

しかし皮下脂肪についてみると前腕および上腕において柔道選手と一般人との間に有意な差は認められなかった。

図10は全断面積に対する各組成の断面積の占める比率をあらわしたものである。

上腕の皮下脂肪においては，一般人は柔道選手よりも3.0%だけ高い値を示しており，両者の間には5%水準で有意な差が認められた。しかし，前腕の皮下脂肪においては両者の間に有意な差は認められずまた，前腕の筋，骨，上腕の筋，骨においても両者の間に有意な差は認められなかった。

(2) 大学柔道選手と一般成人男子との筋力の比較

図9 前腕，上腕組成の断面積

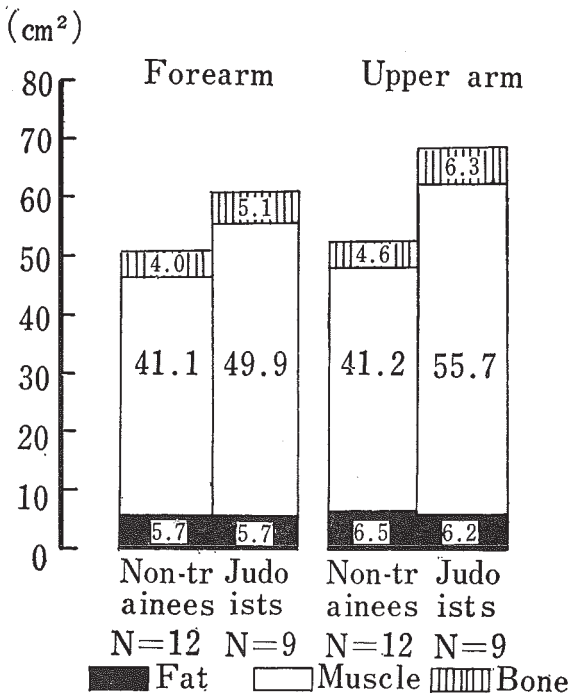
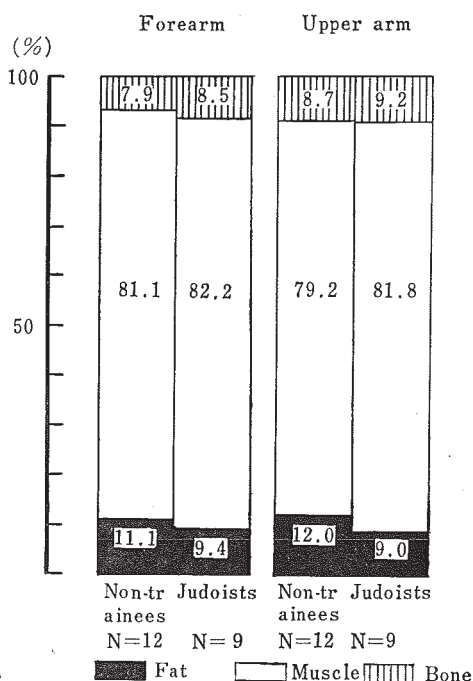


図10 全断面積に対する組成の比率



柔道選手の握力の平均値は56.3kgであり一般成人の平均値は52.4kgであり, 柔道選手は一般人よりも3.9kg高い値を示しているが両者の間に有意な差は認められなかった(表2)。

また, 腕力についてみると, 柔道選手は34.5kgであり一般成人は27.4kgで, 柔道選手は一般成人よりも7.1kg高い値を示し両者の間には1%水準で有意な差が認められた(表2)。

上腕屈筋断面積についてみると, 柔道選手は27.3cm²であり, 一般成人は20.1cm²で柔道選手は一般成人よりも7.2cm²高い値を示し両者の間には1%水準で有意な差が認められた。

しかし上腕筋断面積のなかで占める屈筋断面積の比率をみると柔道選手は48.9%で, 一般成人は49.1%であり両者の間に有意差は認められなかった(表2)。

つぎに, 図11は筋力と筋断面積との関係をあらわしたものである。

この図から筋力と筋断面積とは比例的関係にあることがわかる。また, 児童, 成人, 男子, 女子ともに同一線上にあり, 大学柔道選手も同じ線上にあることが認められた。

筋力と筋断面積とは比例関係にあるということから, 上腕屈筋について筋の単位断面積(1cm²)あたりの筋力を算出した。単位面積あたりの筋力を求めるためには, 筋自体が実際に発揮している筋力(真の筋力)を求める必要がある。そこで筋の付着点を求めるために, X線を用いて前腕を屈曲時の肘関節を中心とした上腕, 前腕を撮影した(図12)。図12から, 前腕をテコとして考えた場合, 力桿(OF)と重桿(OR)の比は4.90となった。

この値を用いて次式から真の筋力(A)を求めた。

$$A = B \times 4.90$$

B: みかけの筋力(筋力測定値)

つぎに, 筋の単位面積あたりの筋力(kg/cm²)を真の筋力と筋断面積とから求めた。

図11 筋力と筋断面積の関係

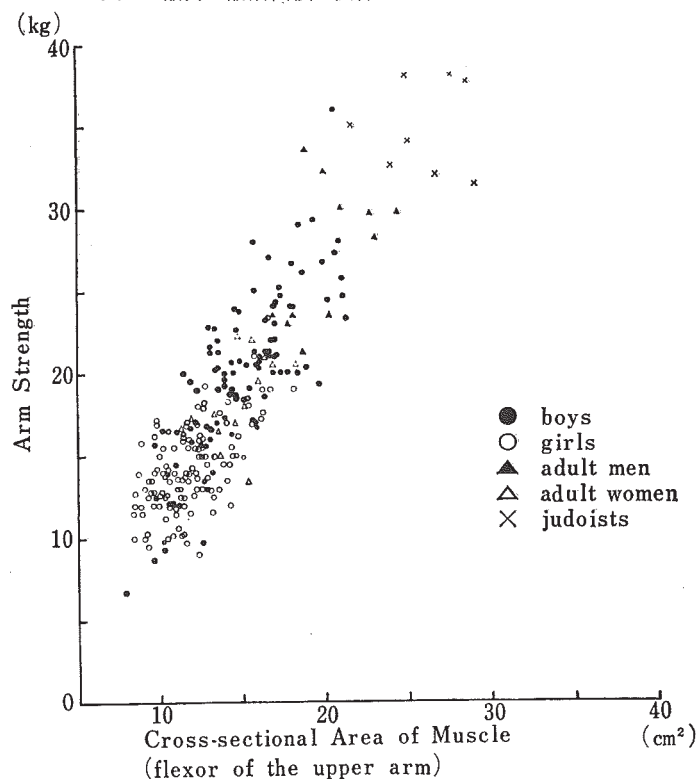


図13は、大学柔道選手および一般成人男子の筋力、筋断面積、および単位面積あたりの筋力をあらわしたものである。

この図から、大学柔道選手は一般成人男子よりも、筋力、筋断面積において大きな値を示しているが、単位面積あたりの筋力ではほぼ同じ値であった。すなわち、柔道選手は $6.4 \pm 0.9 \text{ kg/cm}^2$ 、一般成人は $6.7 \pm 1.1 \text{ kg/cm}^2$ であり、両者の間に有意な差は認められなかった。

2. 身体比重測定法による身体組成の分析

(1) 大学柔道選手と一般成人男子との身体比重および身体組成の比較

表3は18—21才の大学柔道選手10名と21—29才の一般成人男子14名の生体計測値と身体比重値を表わしたものである。

表4は身体比重から算出した身体構成物の体重あたりの比率を表わしたものである。

身長、体重、胸囲および胸囲と腹囲との差においてはいずれも大学柔道選手の方が一般成人男子よりも大きく、いずれも1%水準で有意差が認められた。

また、比体重、ローレル指数、体表面積においても、大学柔道選手の方が一般成人男子より大きく、いずれも1%水準で有意差が認められた。

大学柔道選手の身体比重の平均値は1.0733で一般成人男子の身体比重の平均値は1.0740であった。両者の平均値の間には有意差は認められなかった。 $(P > 0.1)$

表2

被検者	年齢	形 態 計 測				前 腕						
						各 組 織 断 面 積 (cm ²)				全断面積に対する各組織断面積の比率(%)		
		身長 cm	体重 kg	胸 囲 cm	ローレル 指数	全	脂 肪	筋	骨	脂肪	筋	骨
H・K	19	168.7	64.3	90.8	1.34	52.9	3.8	45.3	3.8	7.2	85.6	7.2
T・H	19	172.5	64.5	91.8	1.26	57.0	3.6	46.9	6.5	6.3	82.3	11.4
Y・Y	18	168.3	65.9	88.6	1.38	55.8	6.8	46.6	2.4	12.2	83.5	4.3
H・O	19	165.7	67.5	92.2	1.49	59.6	4.1	48.6	6.9	6.9	81.5	11.6
Y・H	21	167.1	72.1	95.7	1.55	62.2	6.8	49.3	6.1	10.9	79.3	9.8
K・S	19	170.3	74.0	100.7	1.49	60.6	6.8	48.9	4.9	11.2	80.7	8.1
T・O	18	171.9	75.9	98.5	1.49	63.7	5.0	54.3	4.4	7.8	85.2	6.9
M・T	19	175.3	78.1	93.0	1.44	62.0	7.3	50.1	4.6	11.8	80.8	7.4
K・O	20	172.4	79.1	100.8	1.54	72.8	7.2	58.7	6.9	9.9	80.6	9.5
平 均		170.7	71.3	94.7	1.43	60.7	5.7	49.9	5.2	9.4	82.2	8.5
標 準 偏 差		3.0	5.2	4.0	0.09	5.4	1.4	4.0	1.6	2.2	2.1	2.2
一般成人男子	21	(1)166.7	60.1	87.0	1.33	50.8	5.7	41.1	4.0	11.1	81.1	7.9
	29	(2) 3.5	11.5	9.4	0.12	8.6	2.2	6.5	1.5	3.0	3.8	1.9

(1)平均値 (2)標準偏差

図14は両者の身体構成物の重量とそれぞれの体重あたりの比率を表わしたものである。

大学柔道選手の脂肪量, 全体水分量, 固形分量はそれぞれ平均 8.0kg, 45.6kg(45.9%), 17.7kgで, 一般成人男子はそれぞれ 6.8kg, 38.5kg(38.7%), 15.0kg で, いずれも大学柔道選手の方が大きい。

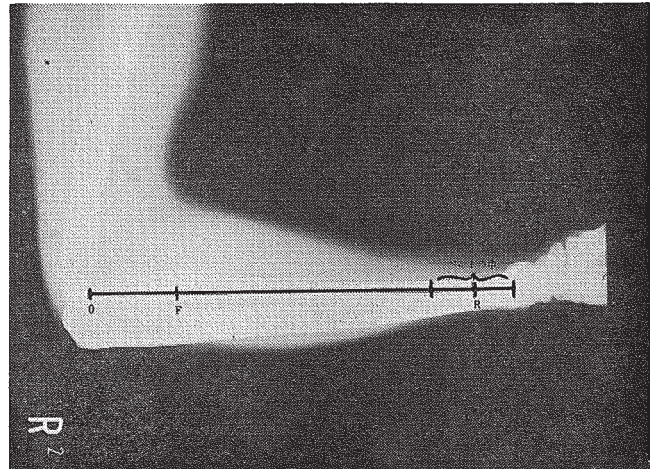
しかし, 体重あたりの比率でみると両者ともほぼ等しく, 各平均値間には有意差は認められなかった。

また, 除脂肪体重でみると, 大学柔道選手は63.3kgで, 一般成人男子は53.5kgで, 大学柔道選手の方が9.8kg 大きい。しかし, 体重あたりの比率ではほぼ等しい。

(2) 皮脂厚および皮下脂肪量の比較

表5は身体の12カ所の皮脂厚と皮下脂肪量を表わしたものである。

図12 前腕屈曲時の肘関節を中心としたX線写真



(表2のつづき)

上							腕		筋 力		単位面積あたりの筋力 (kg/cm ²)
各 組 織 断 面 積 (cm ²)				全断面積に対する各組織断面積の比率 (%)			屈 筋 断面積 (cm ²)	屈筋断面積 ／ 筋断面積	握 力	腕 力	
全	脂 肪	筋	骨	脂 肪	筋	骨					
59.1	4.0	50.9	4.2	6.8	86.1	7.1	24.1	47.4	55.5	32.5	6.6
58.5	4.3	47.1	7.1	7.4	80.5	12.1	25.1	53.2	65.0	34.0	6.6
59.7	5.8	49.8	4.1	9.7	83.9	6.9	21.7	43.6	63.5	35.0	7.9
71.3	4.7	59.3	7.3	6.6	83.2	10.2	28.7	48.4	ネンザ	37.6	6.4
71.4	6.0	60.8	4.6	8.4	85.2	6.4	27.7	45.5	55.9	38.0	6.7
66.3	7.0	51.7	7.6	10.6	78.0	11.5	29.1	56.2	53.3	31.4	5.5
68.3	5.6	55.2	7.5	8.2	80.8	11.0	25.0	45.3	53.0	38.0	7.4
70.6	9.7	54.0	6.9	13.7	76.5	9.8	26.8	49.6	57.5	32.0	5.9
87.8	8.3	72.5	7.0	9.5	82.6	8.0	37.1	51.2	60.0	37.0	4.9
68.1	6.2	55.7	6.3	9.0	81.8	9.2	27.3	48.9	56.3	34.5	6.4
8.6	1.8	7.2	1.4	2.1	2.9	2.0	1.3	1.2	6.1	3.0	0.9
52.3	6.5	41.2	4.6	12.0	79.2	8.7	20.1	49.1	52.4	27.4	6.7
10.1	3.2	6.5	1.9	3.4	4.1	2.9	2.9	1.4	4.8	5.2	1.1

12カ所の皮脂厚の合計値では柔道選手の方が4.8mm大きい。両者の平均値の間には有意差は認められなかった。

各部位についてみると、胸部と腹部については一般成人男子の方が大学柔道選手より大きい。しかし、皮脂厚のいずれの部位においても両者の平均値の間には有意差は認められなかった。

図15は身体の12カ所の皮脂厚の平均値と皮下脂肪量、体重あたりの脂肪量の比率をそれぞれ比較したものである。

大学柔道選手の皮脂厚の平均は7.3mm、皮下脂肪量は4.1kg、体重あたりの皮下脂肪量比率は6.8%である。一般成人男子はそれぞれ7.7mm、4.6kg、6.4%でいずれの値の間にも有意差は認められなかった。

図16は身体内部の脂肪と皮下脂肪の比率を比較したものである。全体脂肪量から皮下脂肪量（黒い部分）を差し引いた残りの脂肪量が身体内部の脂肪である。

全体脂肪量に対する皮下脂肪量のしめる比率は、大学柔道部員で平均56.2%，一般成人男子では57.6%である。

図13 筋力，筋断面積，単位面積あたりの筋力の比較

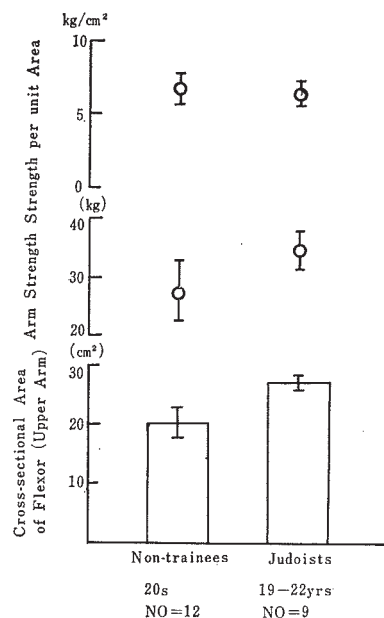


表3 大学柔道選手と一般成人男子の生体計測値と身体比重

被検者	年令	身長 cm	体重 kg	胸囲 cm	腹囲 cm	胸一腹 比	比体重	ローレル 指数	体表面積 m²	水中体重 kg	残気量 ml	体容積	身体比重
H・K	19	168.7	64.3	90.8	70.9	19.9	38.1	1.34	1.73	4.80	1220	59.2	1.0861
T・H	19	172.5	64.5	91.8	71.6	20.2	37.4	1.26	1.76	4.05	910	59.9	1.0678
Y・Y	18	168.3	65.9	88.6	68.3	20.3	39.2	1.38	1.74	4.35	740	61.2	1.0678
H・O	19	165.7	67.5	92.2	76.0	16.2	40.7	1.49	1.77	4.00	1390	62.5	1.0800
N・K	18	174.3	71.6	94.7	76.5	18.2	41.1	1.35	1.86	4.15	1330	66.5	1.0767
Y・H	21	167.1	72.1	95.7	83.5	12.2	43.1	1.55	1.81	3.65	1360	67.5	1.0681
K・S	19	170.3	74.0	100.7	83.1	17.6	43.5	1.49	1.87	3.75	660	70.0	1.0571
T・O	18	171.9	75.9	98.5	76.7	21.8	44.2	1.49	1.88	5.25	670	70.4	1.0781
M・T	19	175.3	78.1	93.0	87.1	6.9	44.6	1.44	1.94	3.55	900	74.1	1.0540
K・O	20	172.4	79.1	100.8	80.5	20.3	45.9	1.54	1.92	4.55	1680	73.3	1.0791
平均値		170.7	71.3	94.7	77.4	17.3	41.8	1.43	1.83	4.15	1090	66.5	1.0733
標準偏差		3.2	5.2	4.2	6.1	4.6	2.9	0.09	0.07	0.19	360	5.4	0.0093
一般成人男子	21—29	165.6	60.3	88.3	74.8	13.5	36.4	1.33	1.66	3.26	1170	56.1	1.0740
		4.4	6.6	3.2	4.6	3.1	3.5	0.12	0.12	0.42	300	6.3	0.0071

(註) 一般成人男子の上段は平均値，下段は標準偏差

図14 大学柔道選手と一般成人男子の身体組成

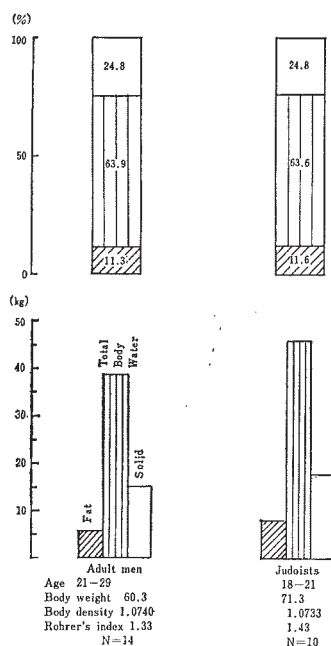


表4 大学柔道選手と一般成人男子の身体組成

被検者	脂 肪 %	全体水分量 %	固形分 %	除脂肪体重 %
H・K	6.6	67.3	26.1	93.4
T・H	10.1	64.8	25.1	89.9
Y・Y	10.1	64.6	25.3	89.9
H・O	8.9	65.6	25.5	91.1
N・K	10.1	64.8	25.1	89.9
Y・H	13.7	62.1	24.2	86.3
K・S	18.2	58.9	22.9	81.8
T・O	9.7	65.0	25.3	90.3
M・T	19.4	58.0	22.6	80.6
K・O	9.3	65.2	25.5	90.7
平均値	11.6	63.6	24.8	88.4
標準偏差	4.2	3.0	1.2	4.2
一般成人	11.3	63.9	24.8	88.7
男子	2.8	2.0	0.8	2.8

(註) 一般成人男子の上段は平均値, 下段は標準偏差

図15 皮脂厚の平均値, 皮下脂肪量, 体重あたりの皮下脂肪量

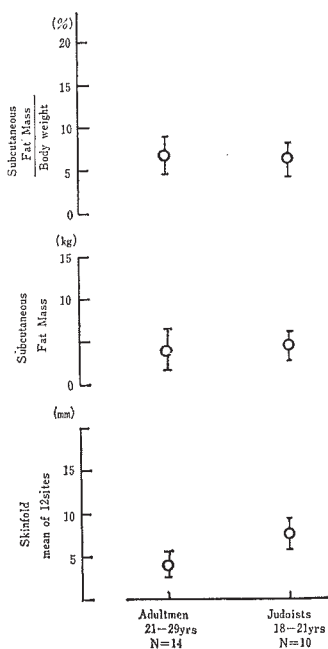
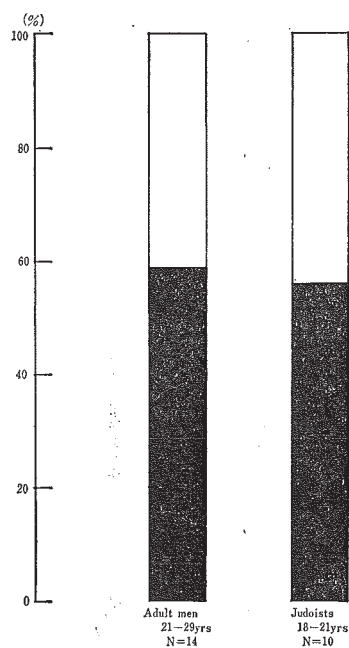


図16 全体脂肪量に対する皮下脂肪量の比率



両者の平均値の間には有意差は認められなかった。

考 察

(1) 大学柔道選手と一般成人男子との身体組成の比較

超音波法によって前腕および上腕の組成断面積を分析した結果、前腕全断面積および上腕全断面積において柔道選手は一般人よりも高い値を示している(図9)。

全断面積を構成している組成についてみると柔道選手は一般人よりも筋断面積において高い値を示している(図9)。

しかし、全断面積に対する組成断面積の比率をみると、上腕の皮下脂肪を除いて、柔道選手と一般人は同じ比率である(図10)。

つまり、組成断面積の絶対値についてみると柔道選手は一般人よりも大きいですが、組成の比率では一般人と等しい。また、前腕と上腕を比較すると、一般成人ではほぼ同じ断面積であるが、柔道選手では上腕の筋断面積が前腕に比較して大きい。その原因としては上腕の筋群が前腕に比較して柔道の練習などでより多く使用されるためだと考えられる。

上腕の皮下脂肪の比率において柔道選手は一般人よりも低い値を示し有意差が認められたが、その原因としては、柔道選手の上腕の筋断面積が大きいことによるものである。

また、上腕の筋断面積のなかで占める屈筋群断面積と伸筋の比率は約49対51でわずかに伸筋の占める比率が大きく、この比率は柔道選手も一般人も変らなかった。

運動選手の身体比重については酒井(1962)は相撲部員の身体比量が一般成人より高いことを報告している。また Behonke(1942)はプロフットボール選手25名について、平均1.080であったと報告している。

また、Novak(1966)は高校バスケットボール、フットボール選手では1.0827であったと報告し、いずれも非運動選手より身体比重の高いことを報告している。

本実験においては、一般成人男子の身体比重とほぼ等しい値を得た。

また、身体の新組成の体重あたりの比率も一般成人男子とほぼ等しい値を得た。

図17 単位面積あたりの筋力



しかし, 身長, 体重, 胸囲については大学柔道選手の方が一般成人男子より大きい。すなわち, 外見上の形態は明らかに一般成人男子より大きく, 各組成の絶対量も大きい。しかし, 体重あたりの比率でみると一般成人男子とほぼ等しい結果を得た。

このことは, 大学柔道選手の体重と一般成人男子の体重との差である11.0kgの内容についてはそれぞれの身体構成物が一般成人と同じような比率で増加していることを意味するものである。

(2) 大学柔道選手と一般成人男子の筋力の比較

柔道選手の腕屈曲力は一般人よりも高い値を示した(図13)。

そこで, 腕屈曲力の発現筋である上腕屈筋群の断面積をみると柔道選手は一般人よりも高い値を示している(図13)。これまで, 筋力は筋断面積に比例するといわれてきた。本研究においても筋力と筋断面積に比例的傾向がみられた(図11)。

9名の柔道選手のみについてみると筋力と筋断面積の関係に個人差がみられるがこれは, 筋力発現の際の心理的限界の個人差によるものと考えられる。更に例数を増せば筋力と筋断面積との比例関係は明確になるものと考えられる。

また, 筋の単位面積あたりの筋力についてみると柔道選手と一般成人の間には有意差がみられなかった(図13)。

245名の男女の単位面積あたりの筋力についてみると, 図17に示すように4kgから8kgの範囲にある。柔道選手の単位面積あたりの筋力は一般成人と同じ範囲内に分布していることがわかる。以上のことから, 柔道選手の場合にはトレーニングによって単位面積あたりの筋力を8kgまで高められることが考えられる。

結 論

柔道選手の身体組成を超音波測定法と身体比重法によって測定した。その結果

(1) 柔道選手の体脂肪, 固形分, 体水分量は一般成人よりも約18%高い値を示した。しかし, 体重に対する各組成の比率は柔道選手と一般成人の間に統計的に有意差はみられなかった。また, 上腕, 前腕においても同じ傾向がみられた。

(2) 柔道選手の最大筋力は一般成人よりも約26%高い値を示した。しかし, 単位面積あたりの筋力では両群の間に統計的に有意差はみられなかった。柔道選手は $6.4 \pm 0.9 \text{ kg/cm}^2$, 一般成人は $6.7 \pm 1.1 \text{ kg/cm}^2$ である。

表5 大学柔道選手と一般成人男子の皮脂厚値

被 検 者	顔 mm	頸 mm	胸 mm	側 胸 部 mm	腹 mm	下 腹 部 mm	上 腕 部 mm	背 mm
大学柔道選手	13.4	3.1	6.2	6.1	7.6	5.1	6.7	10.2
	2.7	1.8	2.1	3.8	3.1	1.3	3.4	2.2
一般成人男子	13.1	2.9	7.0	6.1	8.5	4.5	6.9	10.2
	3.1	0.6	2.4	1.8	3.0	1.1	2.1	3.1
被 検 者	膝 蓋 部 mm	下 腹 部 mm	前大腿部 mm	後大腿部 mm	合 計 mm	平 均 mm	皮下脂肪量 kg	
大学柔道選手	6.5	9.2	8.9	10.2	92.9	7.7	4.6	
	1.5	4.1	2.6	3.4	30.4	1.8	1.7	
一般成人男子	5.0	7.0	8.2	8.9	88.1	7.3	4.1	
	0.9	1.9	2.3	3.3	20.5	1.7	1.5	

(註) 上段は平均値, 下段は標準偏差)

参考文献

- (1) Behnke, A. R., B. G. Feen, and W.C. W. Welham: The specific gravity of healthy men. *J. A. M. A.* 118 (7) 495—498 1942
- (2) Brozek, J, F. Grande, J. T. Anderson, and A. Keys: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumption. *Annals New York Academy of Sciences* 110 113—140 1955.
- (3) Coarnand, A, E. D. Baldwin, R, C, Darling, and D. W. Richards JR. Studies on intrapulmonary mixture of gases, III. The significance of the pulmonary emptying rate and a simplified open circuit measurement of residual air. *J. Clin. Invest.* 20 681—689 1941.
- (4) Garn, S. M.: Fat Patterning and fat intercorrelations in the adult male. *Hum. Biol.* 26: 59—69, 1954.
- (5) Hettinger, Th.: physiogy of strength Charles C-thomas, Publisher. 1961.
- (6) Howry, D. H. & W. R. Bliss: Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body. *J. Lab. Clin. Med.* 40: 579—585 1952.
- (7) Ikai, M., and Fukunaga, T.: Calculation muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. angew. physiol. Arbeitsphysiol.*, 26, 26—23 1968
- (8) 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
- (9) 菊池喜充, 金子仁郎, 他: 超音波医学, 日本超音波医学会編, 1966医学書院
- (10) Morris, C. B.: The measurement of the strength of muscle relative to the cross-section. *Res. Quart.* 19: 295—303 1948.
- (11) Novak, L. P.: physical activity and body composition of adolescent boys. *J. A. M. A.* 197 891—893 1966.
- (12) 鈴木慎次郎, 長嶺晋吉: 皮下脂肪厚と体密度に関する研究 体力科学 9 (5), 449, 1960
- (13) 竹中玉一, 酒井敏夫: 生体比重の測定, 体育学研究 7(1), 185, 1962