

日本人青少年の身体組成の研究

—超音波法と比重法による—

東京大学教育学部体育学研究室

猪 飼 道 夫
福 永 哲 夫
藤 平 田 英 彦

I 結 論

最近からだは大きい機能がそれにもなっていないということが問題とされている。われわれのもつ体力、すなわち身体的能力とその背景にある精神的能力を高めることはよく生きていくための土台となる。

そこで、この体力に関する客観的、科学的測定を行ない、その結果から、体力の向上をはかるための「企図された体育」が行なわれねばならない。体力の研究は形態計測および身体機能の面から研究されている。形態計測のうち、体重測定は日常容易に行なわれているが、更に一步進めて体重の表現する意義について分析してみる必要がある。また、身体の作業能を評価するには代謝に直接関係している質量（脂肪ぬきの体重）と関係づけて検討してみる必要がある。

身体組成の研究方法の中に屍体を解剖して分析する直接法がある。また生体については化学的方法として、身体の全体水分量を定量して、それから各組成を求める水分法 (hydrometry) と、物理的な方法として身体の比重を測定し、それから各組成を求める比重法 (densitometry) とがある。

これらの研究方法のうち比重法は比較的簡単で、しかも応用範囲が広いという意味で広く用いられている。

また、体肢の組成の研究方法として、従来からX線透視法が広く用いられてきた。しかし、X線による写真撮影では被検部の横断面の撮影は不可能である。近年、被検部の横断面像が撮影できる超音波測定装置が開発されるようになった。そこで、本研究では生体について比較的簡単に測定しうる身体比重法と超音波法を用いて、発育発達の観点から身体組成を分析しようとするものである。

II 研究方法

1. 身体比重測定法

1) 実験装置

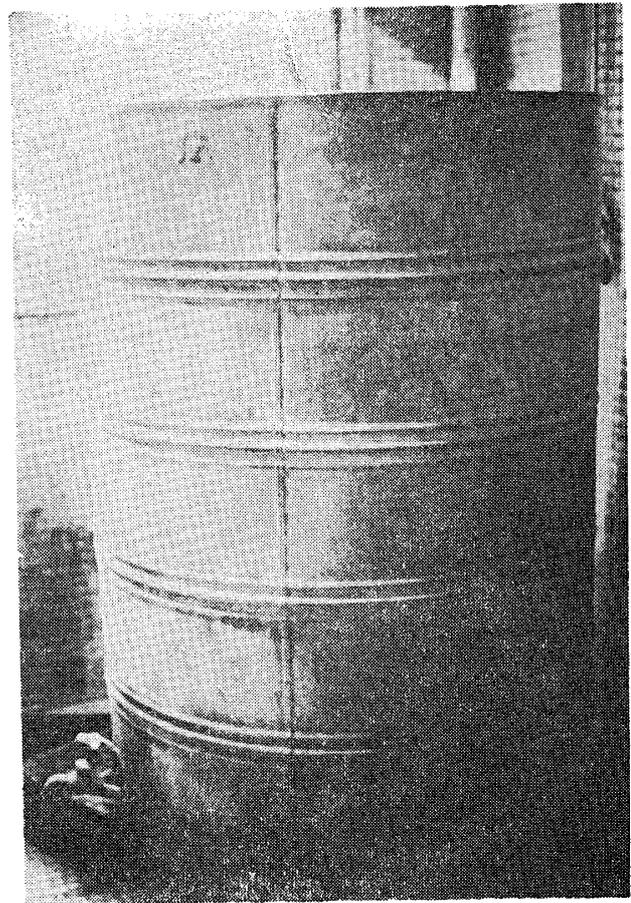


図1 水中体重測定のための装置

水中体重測定のための装置

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、十分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。その水槽の下部に排水のための栓をとりつけ浴室に設置した。そして浴室内にとりつけたガス湯わかし器によって水温を調節し、水槽の上部からお湯を流した。(図1)

水中体重測定のための秤とハンドル

水中体重測定のための秤は最高8kgまで測定でき、100gの目盛りのついたバネ秤(Spring balance)を用いた。

その秤を上部の鉄製のはりから吊るした。

バネ秤の下に直径1mmの針金を吊るし、被検者がぶらさがりやすい三角形のハンドルをとりつけた(図2)。

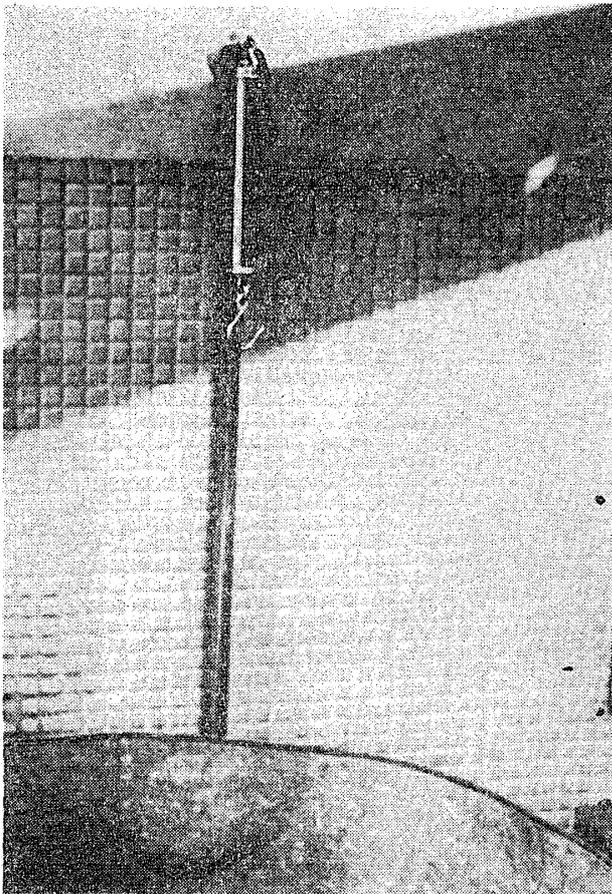


図2 水中体重測定のための秤

DIAGRAM OF MEASUREMENT APPARATUS

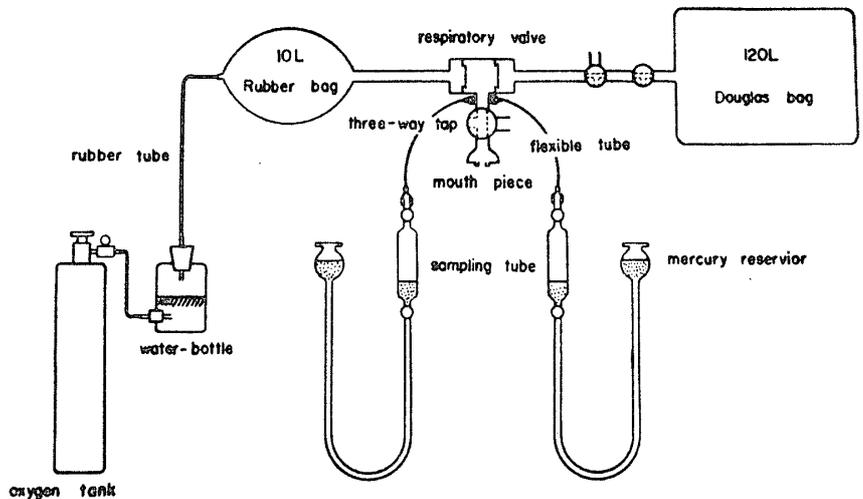


図3 残気量測定装置

残気量測定のための装置

残気量は最大呼出を行なった後、肺に残存する空気量であり、呼吸計(respirometer)によって直接測定することはできない。したがって、間接的方法で機能的残気量を測定し、この値から最大呼出時の空気量(予備呼吸量)を差し引いて残気量を求めることができる。

原理的には肺内の未知ガスの容積を、あらかじめ濃度のわかっているガスを吸入させて、すべて呼出させ、その呼気を全部呼吸計に集める。そして呼吸計内の未知ガスの定量を行なえば、肺内にあった未知ガス量が求められる。そこで本研究ではあらかじめ濃度のわかっているガスとして99.4~99.6%の純酸素を使用し、肺内の未知ガス(窒素)の定量を行なった。この方法はDarling, Cournand & Ridardsの窒素稀釈法である。本研究では、呼吸計のかわりにダグラスバッグを用いて呼気を採集した。測定装置の構造は図3に示すようなものである。なお、呼気ガスの分析はショランダー微量ガス分析器によって分析した。

2) 実験手順

生体計測

水中体重測定の前に生体計測を行なった。測定項目は次のようなものである。

身長、体重、胸囲、腹囲(臍点の高さにおける水平周径)、皮脂厚

皮脂厚: 身体の平均的な皮下脂肪の厚さおよび量を算出するために身体の各部位から12カ所を選んだ。

あらかじめ測定部位に印をつけ、榮研式皮下脂肪計によって測定した。

皮脂厚の測定部位は次の12ヶ所である。

1. 顔部——頬骨下縁
2. 頸部——舌骨部
3. 胸部——男子は乳頭の上、女子は乳頭と鎖骨の中間とを結ぶ線上で、その中点
4. 側胸部——中腋窩線で、剣状突起の高さ
5. 腹部——臍の右横1cmのところ
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 midpoint でその背側
8. 背部——肩甲骨下角
9. 膝蓋部——膝蓋骨の直上
10. 前大腿部——腸棘点と膝蓋骨とを結ぶ線上の midpoint
11. 後大腿部——前大腿部における計測点の背側
12. 腓腹部——腓腹部の最大囲での高さ

水中体重の測定

水中体重測定は次の順序に従って測定した。

1. 測定を始める前に被検者の不安を軽減するために十分測定の内容について説明する。
2. 被検者は裸になり、女子は海水着をつけて水槽に入る。
3. 被検者の最大呼出時の空気量（予備呼吸量）を測定するために鼻に鼻押えをつけアイカベネディクト型13・5Lのレスピロメーターによって数回予備呼吸量を測定する（図4）。

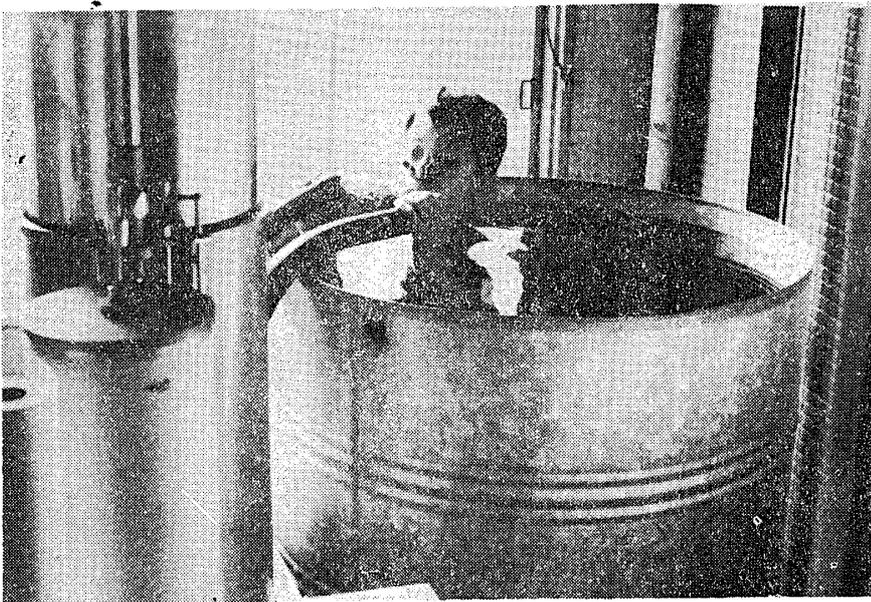


図4 予備呼吸量の測定

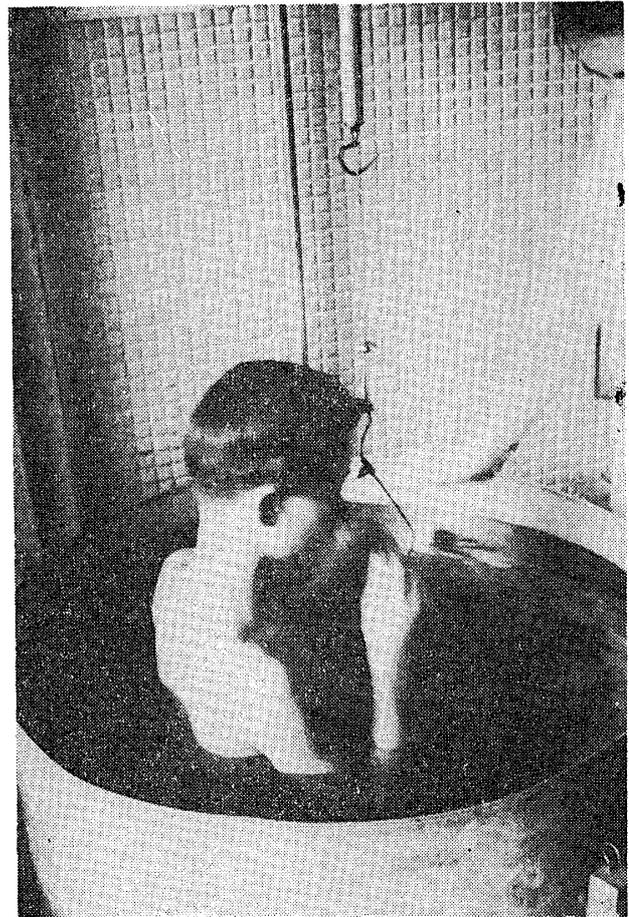


図5 水中体重の測定

4. 被検者は予備呼吸量の測定と同じ姿勢を保ち、肺に残気量だけを残す状態で最大呼出を行ない、ハンドルにつかまって静かに水中に潜る（図5）。頭頂が完全に水中に没した時、被検者は足先を水槽の底より離して、ハンドルにぶら下がる。
5. バネ秤の指針の動揺が終った時の目盛りを読みとる。この測定を数回繰り返す。なお被検者が上手に潜れないような場合には重り（5kg）を負荷した。
6. 被検者はひきつづき水槽内にとどまり、図3に示した測定装置を用いて、残気量測定を行なう。（図6）
7. 負荷した重りの水中での重さあるいは着用した水着の重さを測定する。なお水槽中の水温は被検者がふるえなど身体状態の変化をお

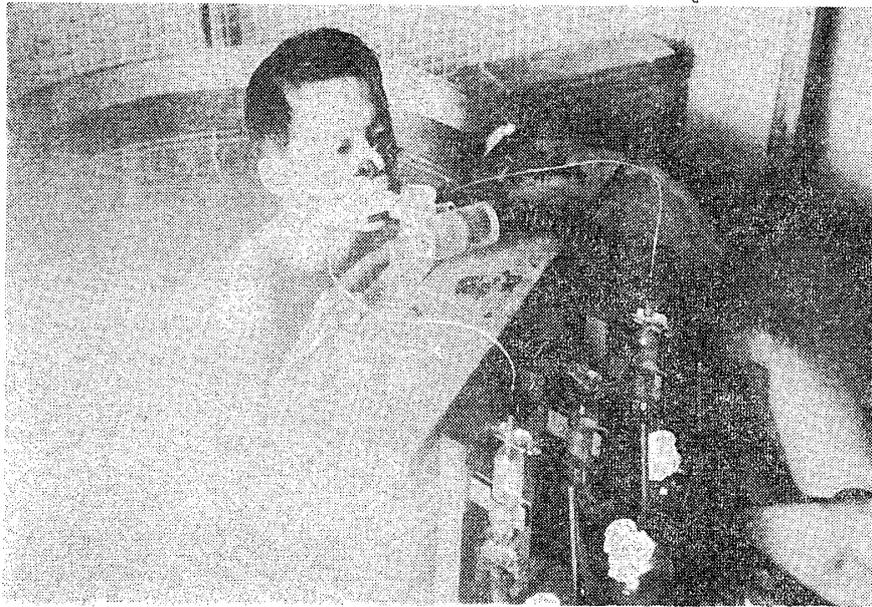


図6 残気量の測定

こさないように、35~36°Cに維持した。

身体比重ならびに身体組成の算出

身体比重は定義によって次の式によって求めた。

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

ただし、水中体重はその最大値である。

さらに、身体比重から次の式によって体脂肪量(%体重)および脂肪ぬきの体重(Lean body mass)を求めた。

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

$$\text{脂肪ぬきの体重} = \text{体重} - \text{体脂肪量} \dots\dots(3)$$

また全体水分量は脂肪ぬきの体重の72%であるということから、次のようにして求めた。

$$\text{全体水分量} = \text{脂肪ぬきの体重} \times 0.72 \dots\dots(4)$$

体重から、体脂肪量と全体水分量とを差し引いた残りの重量を固形分とした。

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

さらに、皮下に蓄積されている脂肪量の推定を次のようにした。

皮脂厚計による測定値は皮下脂肪を2倍に重ねた厚さであるから、12ヶ所の皮脂厚の合計値を平均し、その厚さを半分にし、皮膚の厚さを1.1mmと見積もり、1/2皮脂厚値から差し引いた。

皮膚の厚さ1.1mmは比重1.080以上の脂肪の少ない成人3人名の喉頭部の測定値の平均値である。また、Edwa-

rds (1950) は3人の女性の屍体の皮膚の厚さを測定した結果、平均1.1mmであったと報告している。

さらに、皮下脂肪の体積を求めるために、身長と体重からノモグラムによって体表面積を求め、皮下脂肪厚を乗じた。

また、脂肪の比重は Fidanza (1953) らの実験値から 0.9000 gm/ml (37°C) の値を用いた。さらに Fidanza らはこの値は性別や体の部位による差は少ないと報告している。

そこで次の式を用いて皮下脂肪量を推定した。

$$\text{皮下脂肪量(g)} = \text{皮下脂肪厚(cm)} \times \text{体表面積(cm}^2) \times 0.9000(\text{g/ml}) \dots\dots(6)$$

2. 超音波測定法

1) 超音波測定法の原理

超音波によって生物の体内の状態を測定する方法には反射法と透過法がある。

反射法は超音波を一定方向に発射し、これが組織の境界や病変部から反射してくるのを受信して反射体の位置や性質を知ろうとするものである。透過法は組織の相違による超音波の減衰度の差を利用して組織内部の様子を知ろうとするものである。現在では反射法が多く用いられている。

従来の超音波診断装置には反射法の指示方式としておもに A-scope, B-scope の2法が用いられている。A-scope 方式は反射波をブラウン管の時間軸上において時間軸と直角方向の振れとしてあらわす方式で現在最も広く用いられているが、複雑な像の解読に難点のあることが指摘されている。B-scope 方式はこの A-scope 方式で時間軸と直角方向の振れとしてあらわしたものを振れとしないでその部分だけ時間軸を光らせ、その明るさが反射波の強さに比例するように輝度変調方式をとったものである。この方式では、発振器を移動させながらそれに応じてブラウン管上の時間軸の位置を動かしていけば、これらの輝点の集りが移動していく発振器からの発振方向線で切った一つの断面像となる。図7は以上の原理を図示したものである。本研究に用いた実験装置は原理的にはこの B-scope 方式によるものである。

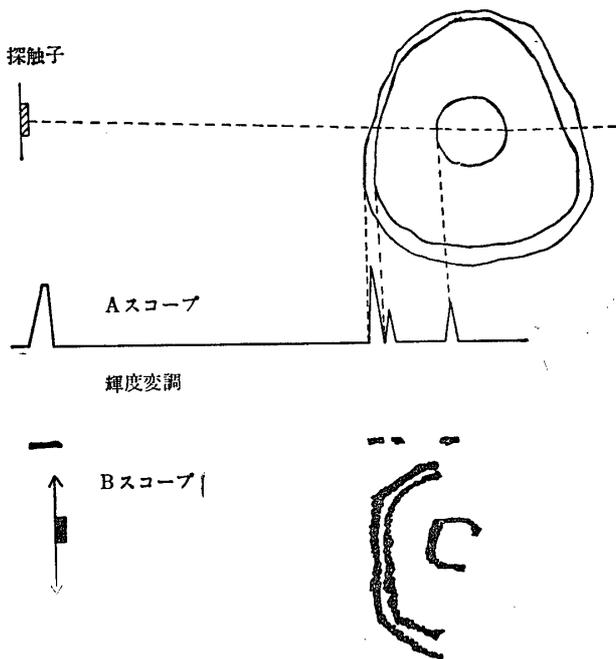


図7 超音波測定法の原理

2) 超音波測定装置

本研究で用いた超音波測定装置 (ALOKA SSD—10型 日本無線製) は、発振器、走査装置、観測装置、水槽、被検部を安定させるための固定装置からなっている。図8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

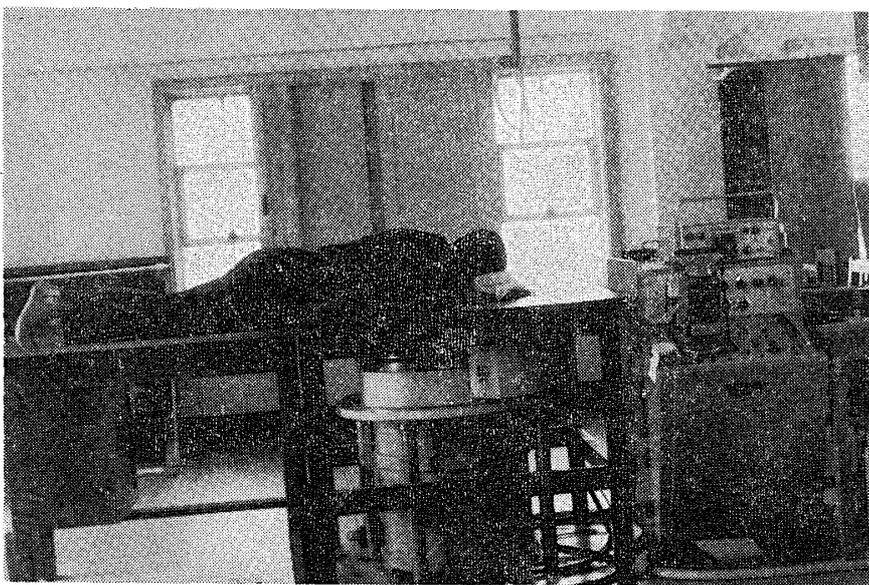


図8 超音波測定装置

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なっている。

水槽は、深さ約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節することができる。

水槽内の体肢を安定させるための固定装置は図9に示した。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属した長さ5mm、直径2mmの木製の棒である。

観測装置はUSI—2D型を用いた。指示器としては残光性5インチブラウン管を用い、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f8で発振器が水槽の外周を一周する間約30秒露光した。

3) 超音波測定法の検討

至適周波数の決定

ヒトの身体内での音速は、組織によって多少の差はあるが、ほぼ1500m/sである。波長(λ)、周波数(f)と音速(c)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。

また波長を短かくすれば、指向性が鋭くなり、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⁹⁾、反射源の模様を細かく知ることができる。したがって、生体内部を超音波を用いて測定する場合には、発振周波数は2.25~10MCが

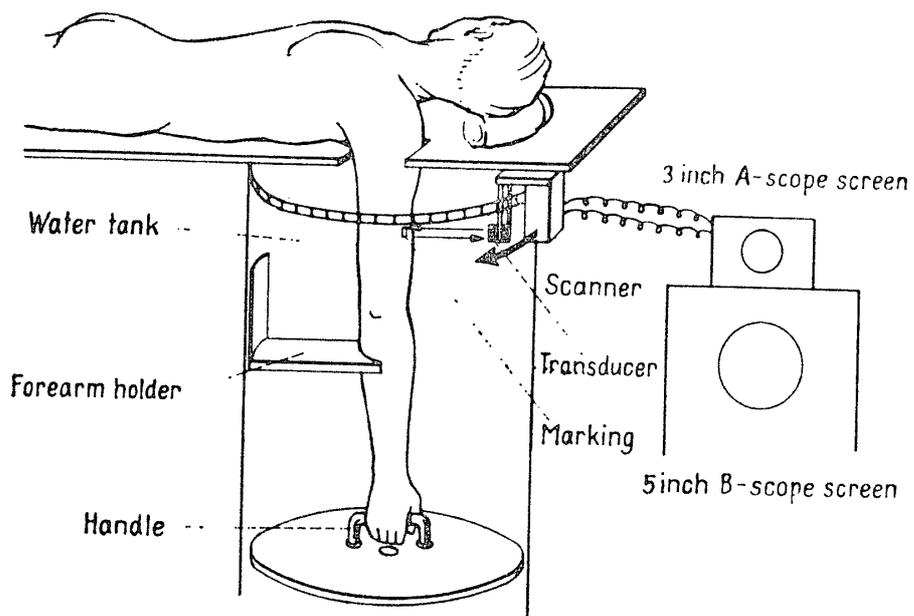
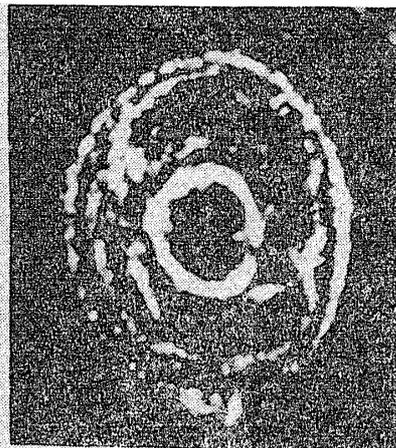


図9 超音波測定法の模式図

F : 1MC

F : 2.25MC



F : 5MC

F : 10MC

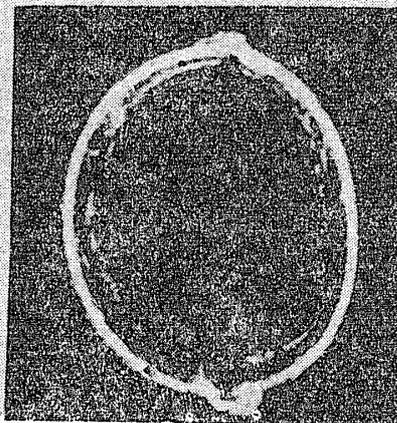
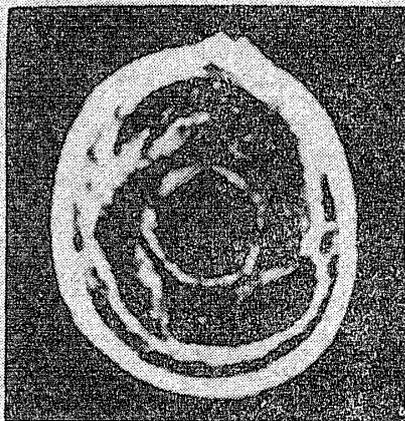


図10 至適周波数の決定のための実験

適当ということになる。

図10は超音波の周波数が1, 2.25, 5, 10MCのときの右上腕部を記録した結果の一例である。

この図から明らかなように、1MCでは、骨が明確に認めることができるが、組織間の境界はあまりはっきりしていない。一方、2.25MCの場合も骨と筋肉の境界線ははっきりしているが皮下脂肪層を明確に認めることができない。5MCでは、皮下脂肪層、筋、骨ともにその境界線が明確に認められ、筋膜も認めることもできる。10MCでは、皮下脂肪層をより一層明確に認めることができる。しかし骨、筋の様子をみることはできない。

以上の結果から、身体組成の測定に超音波を使用する場合は、深層部（骨、筋）の測定には2.25MC、浅層部（皮下脂肪）の測定には5, 10MCが適していることが明らかになった。したがって、本研究では2.25, および5MCを主として使用することにした。

超音波測定値とキャリパーによる真の値との比較

ブタの前肢を使って超音波による皮下脂肪厚の測定値とキャリパーによる実測値とを比較した。

A Cow Leg

method site	Ultrasonic (U)	Caliper (C)	$\frac{C-U}{C} \times 100$ (%)
Anterior	4.93mm	5.00mm	1.4
Posterior	3.52mm	4.00mm	8.3

A Pig Leg

method site	Ultrasonic (U)	Caliper (C)	$\frac{C-U}{C} \times 100$ (%)
Anterior	3.30mm	3.00mm	-10.0
Posterior	2.83mm	3.00mm	6.0
Medial	2.36mm	2.20mm	-7.2
Lateral	1.88mm	2.00mm	6.4

表1 超音波測定値とCalliperによる真の値との比較

その結果、表1に示すように、超音波測定値の平均値と標準偏差は 3.2 ± 0.4 mmであり、キャリパーによる真の値は 3.2 ± 0.5 mmであり、その差は0.1mmであった。また、超音波測定値と実測値との差を実測値で割った値をみると平均値が6.6%であった。

超音波測定値とX線測定値との比較

X線によってヒトの右上腕骨の前後径の測定を行ない、超音波による測定との比較をした。

表2はその結果である。6名の被検者の骨の超音波測定値の平均値を求めると21.9mmであり標準誤差は0.54mmであった。一方、X線測定値の平均値は21.3mmで標準誤差は0.36であった。超音波測定値とX線測定値との差をX線測定値で割った値の平均値は3.9%であった。

超音波測定法の再現性

同一被検者について、測定日を変えて測定し、超音波測定法の再現性をみた。表3はその結果である。

前腕および上腕の各組成について変動係数 s/x (s は標準偏差, x は平均値) を求めた。その結果1.12%から8.22%の範囲であった。

プランニメーターの精度

記録された超音波像の面積の計算には0.1cm²まで記録できる単式プランニメーター(KP-4)を用いて行なった。プランニメーターによる面積測定を10回行なった平均値と実測値とを比較した結果、その誤差は0.2%以内で

Human Upper Arm (width of humerus)

method subj.	Ultrasonic (U)	X-ray (X)	$\frac{X-U}{X} \times 100$ (%)
M. M.	21.2mm	21.0mm	1.0
K. Y.	24.0mm	22.5mm	6.7
K. K.	21.0mm	20.0mm	5.0
K. W.	22.4mm	22.0mm	1.8
H. H.	20.3mm	21.0mm	2.9
S. K.	22.3mm	21.0mm	6.2

表2 超音波測定値とX線測定値の比較

Date	Forearm (cm ³)				Upper Arm (cm ³)			
	total	fat	muscle	bone	total	fat	muscle	bone
1967. 11. 10.	46.1	4.7	36.0	5.4	41.6	4.9	31.9	4.8
12. 1.	45.4	4.5	35.0	5.9	43.9	4.2	35.0	4.7
12. 2.	46.4	4.4	36.2	5.8	44.2	4.8	34.0	5.4
$\frac{s}{x} \times 100$	1.12	3.49	1.80	4.65	3.29	8.22	4.71	7.67

表3 超音波測定法の再現性の検討

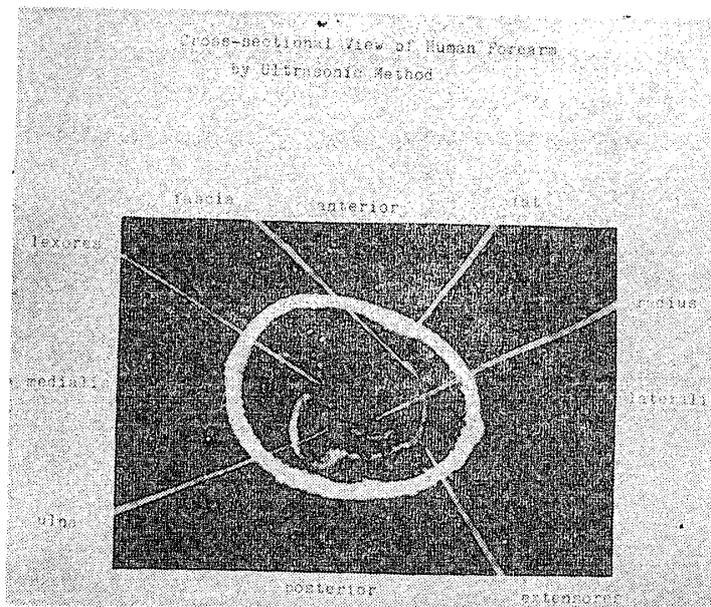


図11 前腕の超音波断面像

あった。

実際の腕の横断面積測定にあたってはプランメーターによる測定を3回行なってその平均値をとった。

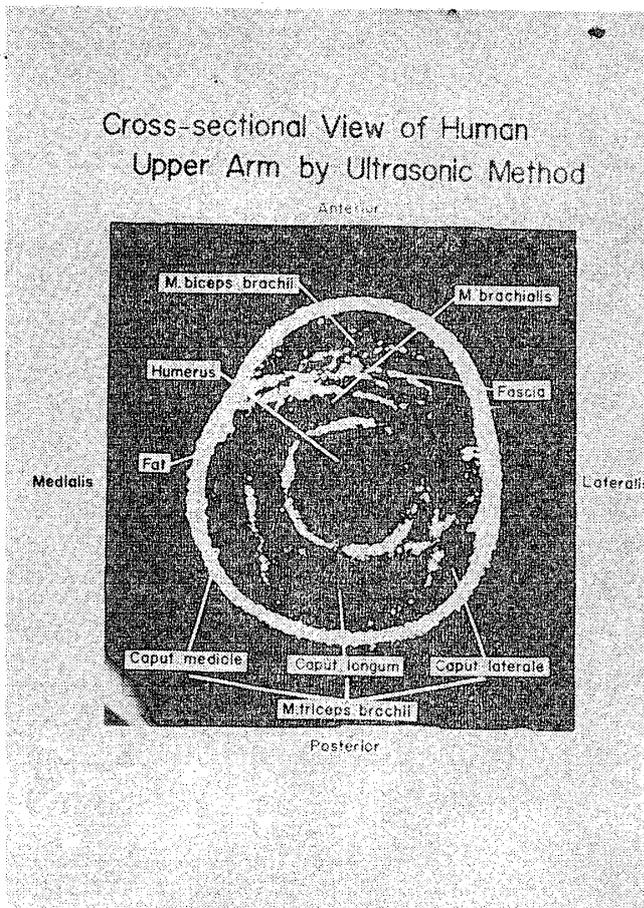


図12 上腕の超音波断面像

4) 実験手順

被検者

被検者は12才～30才の健康な男女総計250名である。その中には一卵性双生児（男子23組，女子32組），肥満児（13～16才男子），大学柔道選手（19～21才）が含まれている。

測定部位

超音波測定装置によって測定することができる部位は前腕，上腕，下腿，大腿部である。

本研究における測定部位は，右上腕最大周径，右前腕最大周径の部位である。図11，図12は前腕および上腕の断面像である。

生体計測

超音波による測定に先立ち，つぎのような生体計測を行なった。

- (1) 前腕長（尺骨茎突点↔肘頭先端）
- (2) 前腕最大囲
- (3) 上腕長（橈骨点↔肩峰点）
- (4) 上腕最大囲
- (5) 上肢長（肩峰点から中指先端までの距離）

超音波による測定手順（図9参照）

被検者は前腕および上腕の測定部位に Marking（木製の棒）を附着し，測定台の上に伏臥し，水槽中のハンドルを軽く握る。このとき，腋下を上腕の固定装置にしっかりと固定し，肘頭の部分を Forearm holder（前腕固定装置）にあて，肘を曲げないようにした。手は外転した状態でハンドルをかるくにぎり，手首が動揺しないようにした。走査装置が水槽の外周を一周し横断面像が撮影される間（約30秒）被検部位が動揺しないようにした。また，測定中に被検部位に気泡が附着しないようにした。

Ⅲ 結 果

1. 身体組成の年齢別推移と性差

1) 身体比重法からみた身体組成

表4は12～18才の男子，12～16才の肥満児童，21～29才の成人男子，18～21才の成人女子，18～21才の大学柔道部員についての生体計測値と身体比重値である。

図13は年齢別の身体比重値の平均値と標準偏差を示したものである。

身体比重は12才から14才までは年齢の増加とともに高くなることを示し，14才以後はほぼ一定の値を示している。

表4 生体計測値と身体比重値

Subject	Age	No.	Body Height (cm)	Body weight (kg)	Chest Circumference (cm)	Abdominal Circumference (cm)	Difference C - A * (cm)	weight/Height
Boys	12	10	146.4±5.0	36.7±3.1	70.6±2.3	61.5±3.2	9.1±3.2	25.1±1.8
	13	8	152.0±5.5	40.5±3.8	73.3±3.7	61.2±3.0	12.1±2.4	26.6±1.7
	14	9	160.3±4.3	45.3±4.6	77.6±3.0	64.1±2.8	13.5±2.3	28.2±2.5
	15	10	165.1±1.5	53.7±3.5	82.3±3.4	68.8±2.8	13.5±1.9	32.5±2.1
	16	9	165.7±3.3	59.1±4.1	83.8±3.0	69.4±3.7	14.3±2.8	33.9±2.3
	17	6	167.3±4.2	55.8±4.2	83.3±3.0	69.4±4.5	13.9±3.8	33.3±2.3
	18	7	168.5±2.7	59.4±2.5	85.3±3.69	71.3±2.9	14.0±3.1	35.2±1.1
Obese Boys	12—16	8	162.7±9.7	79.5±16.1	99.6±9.9	96.0±11.3	3.6±1.9	48.5±8.2
Adultmen	21—29	14	165.6±4.4	60.3±6.6	88.3±3.2	74.8±4.6	13.5±3.1	36.4±3.5
Adult-women	18—21	11	155.7±5.6	52.9±4.6	80.9±2.8	74.4±4.6	6.6±5.9	34.0±3.5
Univ. Judomen	18—21	10	170.7±3.1	71.3±5.2	94.7±4.1	77.4±6.1	17.3±4.6	41.8±2.9

Subject	Age	No.	Rohrer's Index	Body surface area (cm ²)	Body weight in the water (kg)	Residual volume (ml)	Body volume (l)	Body density
Boys	12	10	1.17±0.10	1.23±0.06	1.50±0.50	740±140	34.7±2.9	1.0580±0.0124
	13	8	1.15±0.05	1.32±0.08	1.70±0.50	810±250	38.2±3.7	1.0607±0.0134
	14	9	1.13±0.09	1.44±0.08	2.40±0.32	930±110	42.4±4.3	1.0727±0.0050
	15	10	1.19±0.09	1.58±0.04	2.54±0.43	1250±130	50.2±3.4	1.0693±0.0077
	16	9	1.23±0.09	1.62±0.06	2.60±0.30	1230±260	52.6±3.9	1.0677±0.0050
	17	6	1.19±0.09	1.63±0.07	2.60±0.40	1160±140	52.3±4.4	1.0669±0.0109
	18	7	1.24±0.05	1.68±0.04	3.15±0.68	1180±90	55.4±7.0	1.0725±0.0152
Obese Boys	12—16	8	1.87±0.27	1.80±0.19	1.44±0.34	1000±280	77.5±15.6	1.0255±0.0037
Adultmen	21—29	14	1.33±0.12	1.66±0.10	3.26±0.42	1170±300	56.1±6.3	1.0740±0.0071
Adult-women	18—21	11	1.40±0.11	1.51±0.09	1.55±0.47	930±110	50.8±4.4	1.0427±0.0090
Univ. Judomen	18—21	10	1.43±0.09	1.83±0.07	4.15±0.49	1090±360	66.5±5.3	1.0733±0.0093

* C : Chest Circumference
A : Abdominal Circumference

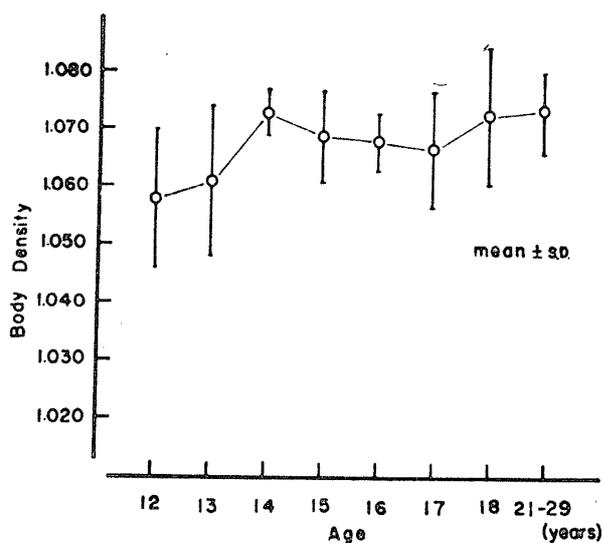


図13 身体比重値の年令別推移 (男子)

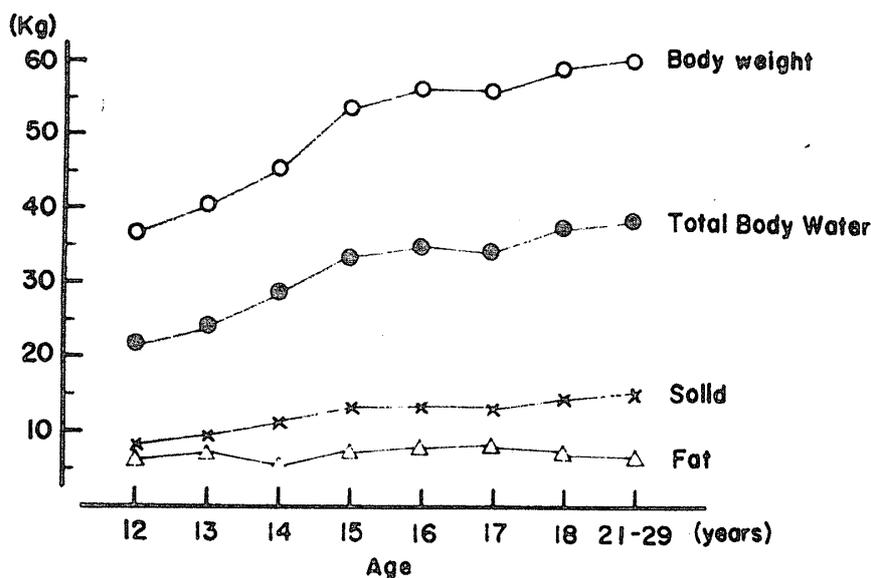


図14 身体各構成物の年令別推移 (男子)

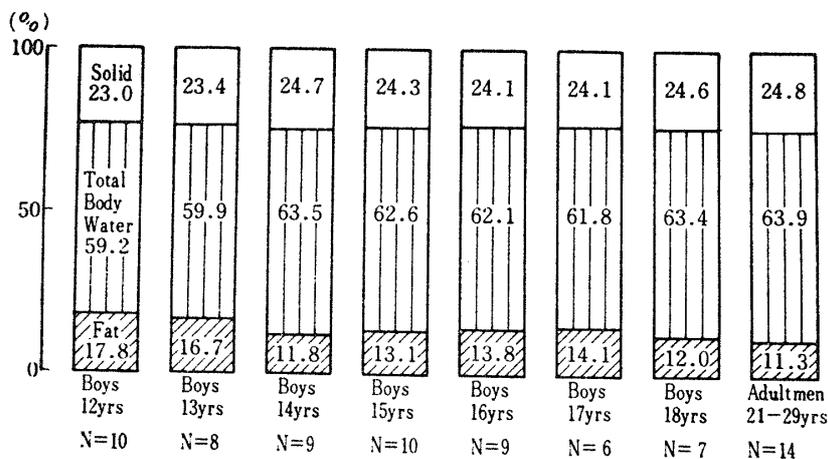


図15 体重あたりの脂肪, 水分, 固形分の年令別推移 (男子)

しかし, 14才と18才だけがとくに高い値を示している。そこで13才, 14才, 15才の男子と17才と18才との男子の身体比重値について有意差検定をしてみると, 13才と14才との間には有意差が認められたが ($t=2.795$, $p<0.05$) 14才と15才の間には認められなかった。 ($t=1.101$, $p<0.1$)

また, 17才と18才の間にも有意差は認められなかった。 ($t=0.844$, $p<0.1$)

図14は各年令の身体構成物の重量を表わしたものである。それぞれの身体構成物の総和が体重である。

12才から15才までの体重の増加率が著しい。その年間増加率についてみると, 12才から13才までは10.4%, 13才から14才までは11.9%, 14才から15才までは18.5%の増加を示し, 15才以後は約4~6%の年間増加率である。固形分と全体水分量においても, 体重とほぼ同じよ

うな増加率を示し, とくに13才から14才の固形分と全体水分量の年間増加率はそれぞれ, 19.0%, 18.1%, 14才から15才ではそれぞれ, 16.1% 17.1%である。

脂肪は12才から13才の間で年間4.6%の年間増加率を示し, 14才では13才の脂肪量より減少し, その後15才から17才までは増加するが17才以後は逐次減少している。

図15は図14に示す各構成物を体重あたりの比率で表わしたものである。

図から明らかなように固形分と全体水分量は年令の増加とともに増加しているが, 脂肪については年令の増加とともに減少する傾向がみられる。

図16は脂肪ぬきの体重の年令別の重量を示したものである。

年令の増加とともに脂肪ぬきの体重の増加がみられる。

とくに, 12才から15才までの増加が著しい。

図17は12カ所の皮脂厚の合計値を年令別に示したものである。

各年令間について有意差検定をした結果, いずれの年令間にも有意差

は認められなかった。また、測定値の平均でもっとも高い値を示した13才(90.3mm)ともっとも低い値を示した18才(74.4mm)との間についても有意差は認められなかった。(t=1.610, p>0.1)

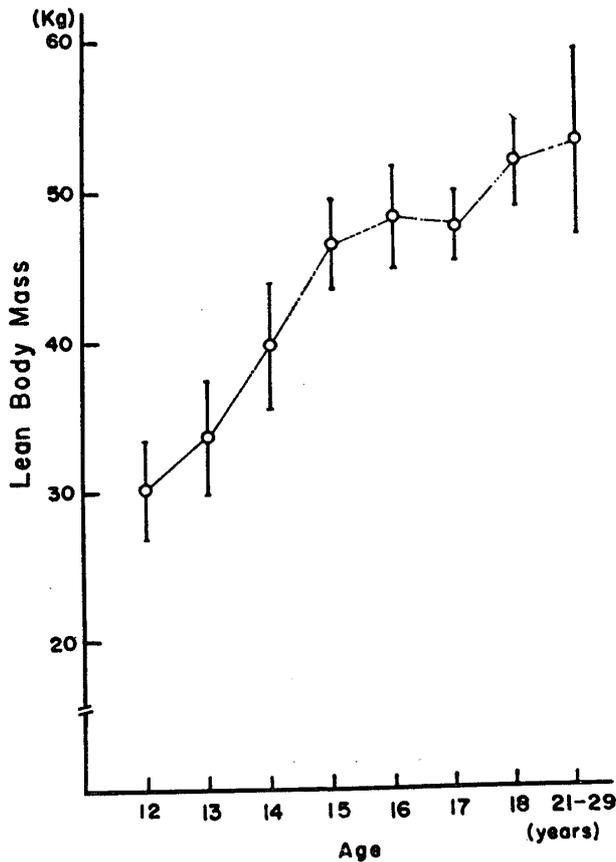


図16 脂肪ぬきの体重の年齢別推移(男子)

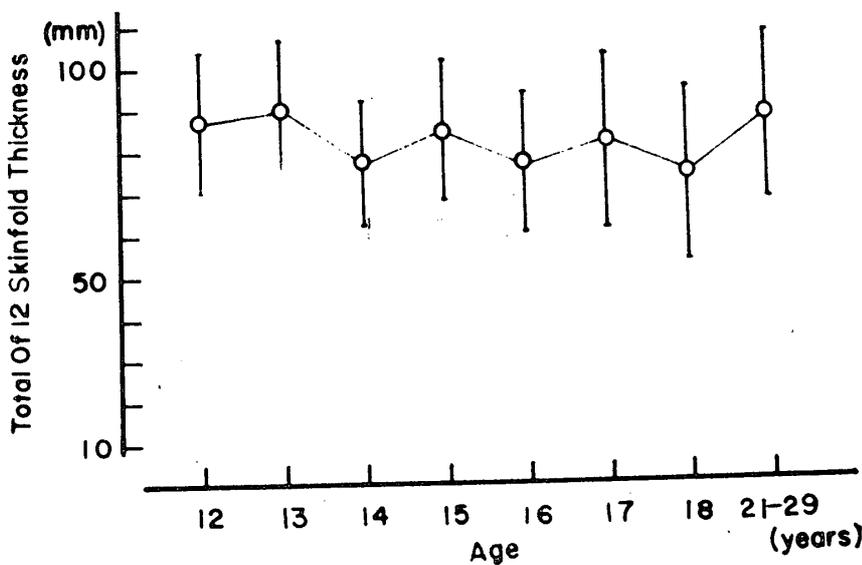


図17 身体12か所の皮脂厚の合計値(男子)

したがって、12ヶ所の皮脂厚の合計値についてみると年齢による変化はみられない。

図18は12カ所のそれぞれの部位についての皮脂厚を年齢別に示したものである。

胸部、腹部、背部の皮脂厚は年齢の増加とともに厚くなる傾向がみられるが、しかし、腓腹部や大腿部の皮脂厚は年齢の増加とともに薄くなる傾向がみられる。

そして、12~14才の腓腹部や大腿部の皮脂厚は、胸部、腹部、背部の皮脂厚の約2倍であるが、年齢の増加とともにほぼ同じ値になる。

喉頭部、下腹部、上腕、膝蓋部の皮脂厚については顕著な変化はみられない。

図19は身体の12か所の皮脂厚の平均値と皮下脂肪量、体重あたりの皮下脂肪量を年齢別に示したものである。

皮脂厚と皮下脂肪量のいずれにおいても各年齢間に有意差は認められなかった。

体重あたりの皮下脂肪量は年齢の増加とともに減少する傾向がみられる。

図20は身体内部の脂肪と皮下脂肪の比率を年齢別に示したものである。

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。

12才から15才までは全体脂肪量に対する皮下脂肪量のしめる比率は、平均値でみると12才では平均44.4%である。13才では50.3%, 14才では51.5%, 15才では49.8%である。年齢の増加とともに皮下脂肪のしめる比率はわずかに増加するが、16才から以後は内部脂肪のしめる比率の方がわずかに大きくなる。

図21は21~29才の成人男子と18~21才の成人女子の身体構成物のそれぞれの重量と、それらの体重あたりの比率を表わし、比較したものである。

脂肪量では成人女子は成人男子より多いが、全体水分量と固形分量では少ない。

脂肪量についてみると、男子は平均6.8kg、体重あたりの比率は12.8%であるのに対し、女子は平均12.8kgその体重あたりの比率は24.1%である。そして、脂肪の重量も体重あたりの比率も女子は男子の約2倍である。脂肪ぬきの体重では成人男子は53.5kg、全体重の88.7%であるのに

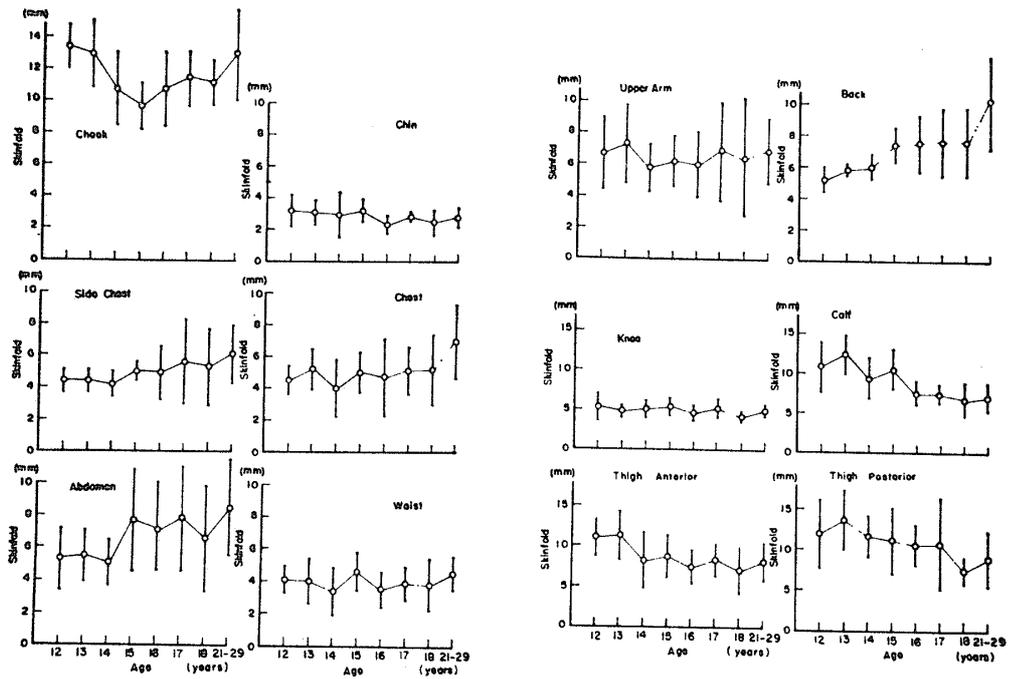


図18 身体各部位の皮脂厚 (男子)

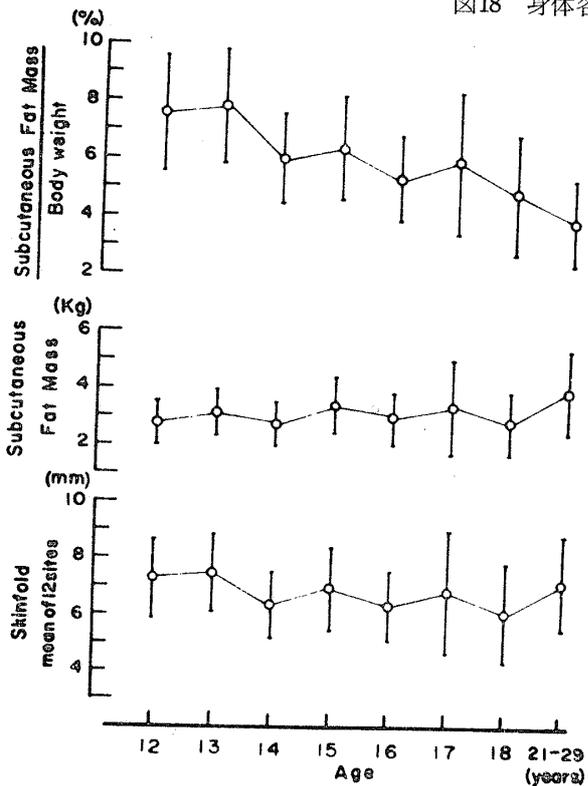


図19 年齢別の皮脂厚, 重量, 体重あたりの比率 (男子)

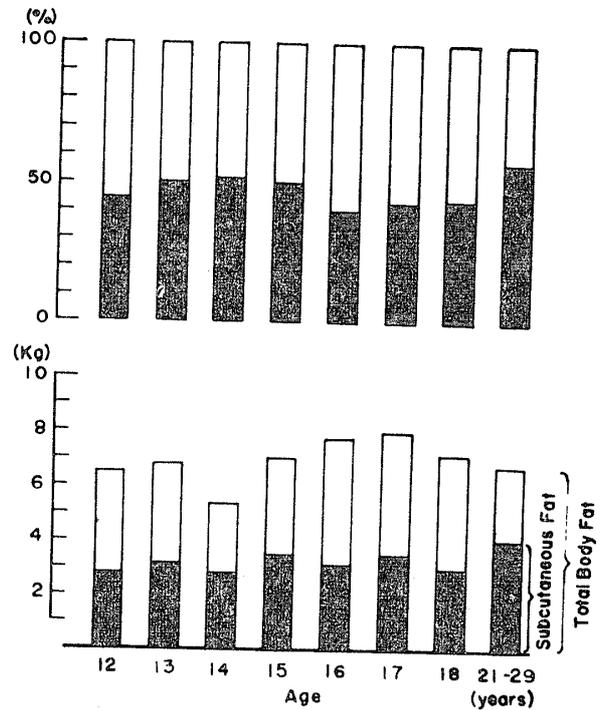


図20 身体内部の脂肪と外部 (皮下脂肪) の比率

対し, 成人女子は40.1kg, 75.9%である。

成人女子は脂肪ぬきの体重の重量, 体重あたりの比率ともに成人男子より小さい。

図22は成人男子と女子および12~16才の一般児童と同

年齢の肥満児童について, 身体の12ヶ所のそれぞれの皮脂厚の分布状態を示したものである。

図から明らかかなように女子は男子に比較して, 腹部や上腕部, 下腿部, 大腿部の厚さが著しい。

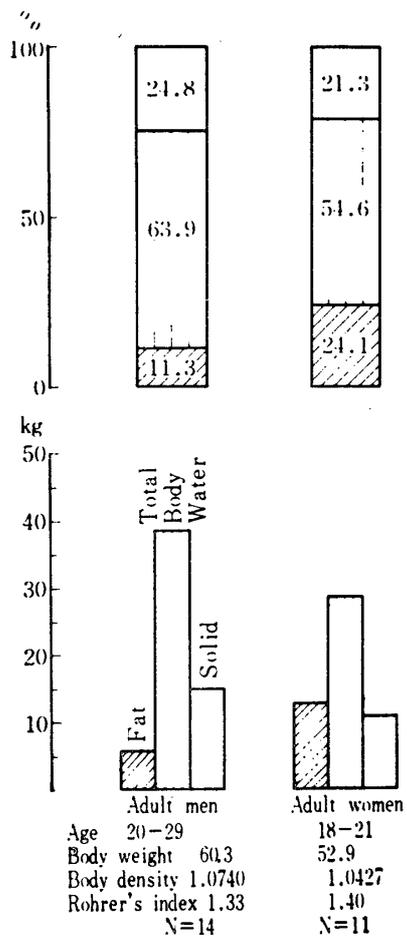


図21 成人男子と女子との身体各構成物の重量と比率

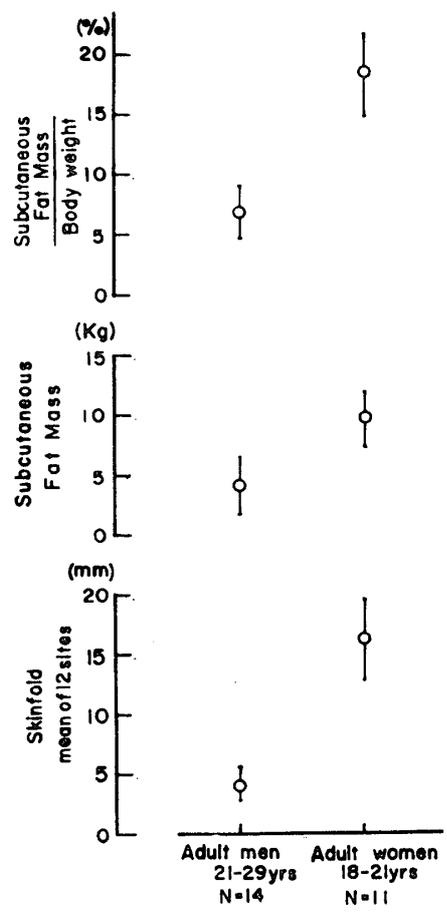


図23 成人男子と女子との皮脂厚, 重量, 体重あたりの比率

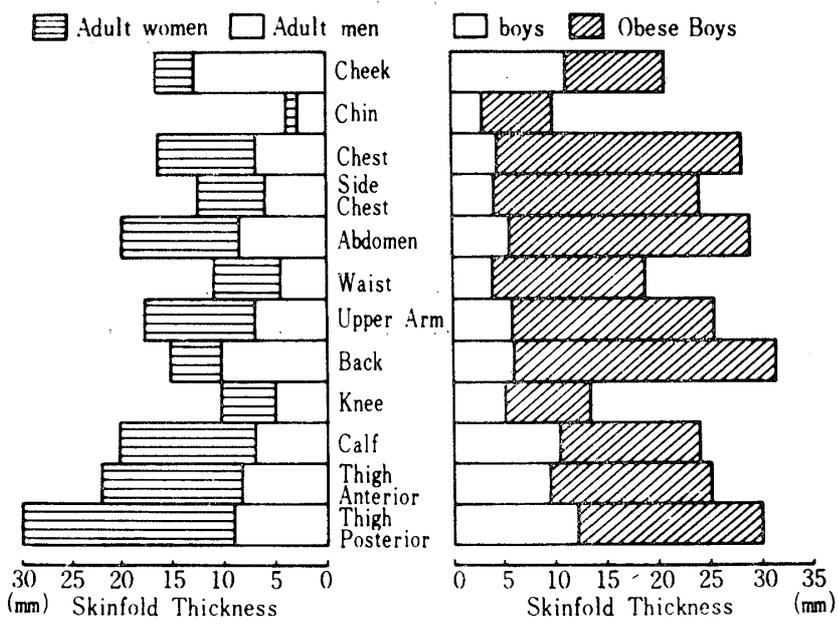


図22 成人男子と女子, 普通児童と肥満児童の皮下脂肪の分布

図23は身体の12カ所の皮脂厚の平均値と皮下脂肪量, 体重あたりの皮下脂肪量をそれぞれ比較したものである。

成人男子の皮脂厚の平均は7.3mm, 皮下脂肪量は4.1kg, 体重あたりの比率は6.8%である。女子についてはそれぞれ16.3mm, 9.7kg, 18.3%で男子と比較して, 厚さと量では約2倍であるが, 体重あたりの比率で見ると約3倍になる。

図24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

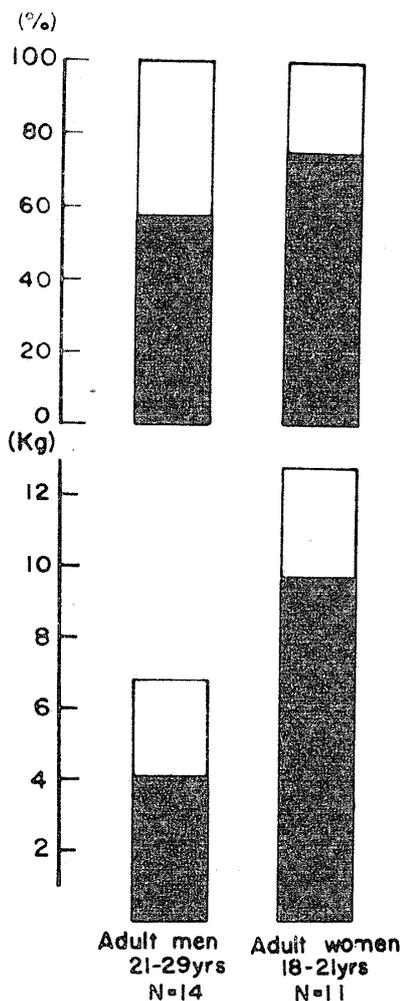


図24 成人男子と女子との身体内部と外部との脂肪の比率

占める比率は、成人男子では平均57.6%であるのに対し、成人女子では、その比率は75.3%である。

したがって、成人女子は全体脂肪量の約3/4以上が皮下脂肪量であることがわかる。

2) 超音波測定法からみた身体組成

超音波測定による前腕組織質量の算出

ヒトの身体各部分の組織の質量については、W, Braune, O, Fischer⁴⁹らの報告がある。しかしこの報告は少数の屍体より得た値である生体に関するものとしては松井⁴⁰の報告がある。松井はX線撮影によって骨容積を求め骨質量を算出している。

本研究では、超音波測定によってヒトの生体での前腕の皮下脂肪、筋肉、骨の質量を算出した。

測定の方法は次のようにして行なった。

(1) 前腕長（尺骨茎突点から肘頭までの距離）を10等

分し、超音波によって各部位における断面像を撮影し、組織の断面積を求めた。

(2) 各部位における全断面積に対する組織断面積の比率を求め、前腕における各組織の占める比率を算出した。

(3) 水槽を用いて前腕全体の容積を求めた。各組織の容積は次のようにして求めた。

各組織容積 = 前腕容積 × 各組織の比率 ((2)で求めた)

(4) 前腕組織の質量は次のようにして求めた。

前腕各組織質量 = 各組織容積 × 各組織比重

((3)で求めた)

ここで、皮下脂肪、筋、骨の比重を求めることが必要であるが、ヒトの組織の比重については Behnke (2)の値（骨1.2, 筋1.04, 脂肪0.9）を用いた。

図25は前腕長（尺骨茎突点から肘頭まで）を10等分し各部位における超音波断面像を撮影した結果の一例である。

表5は各部位における組織の全断面積に対する比率および組織の容積、質量である。この表にみられるように成人男子13名について各組織質量の平均値を求めると、皮下脂肪119.2g, 筋691.9g, 骨211.8gであった。また前腕の総質量を算出すると $119.2g + 691.9g + 211.8g = 1022.9g$ となった。

松井⁴⁰は、身体各部の質量 = (各部分の体積 - 骨体積) × 筋密度 + 骨質量として計算した結果、4名の男子の前腕質量平均値が893.4gであったと報告している。この松井の値は本研究の値よりも少し低いが、その原因としては、測定方法が異なっていることと、本研究における被検者が体育専攻生であり（平均体重63kg）松井の被検者（平均体重59kg）、よりも体格が大きいためであると考えられる。

上肢組成断面積の性、年齢別差異

超音波測定によって、日本人青少年男女計250名の前腕および上腕を構成する組織の横断面積を測定し、その性、年齢別差異を明らかにした。表6、図27、図28はその結果である。

皮下脂肪断面積

前腕では、男子12才が4.5cm²、20才が5.7cm²と12才から20才までに27%の増加を示し、女子12才が7.2cm²、20才が9.7cm²と24%の増加を示している。各年齢においては女子が男子よりも約40%高い値を示している。

つぎに、上腕についてみると上腕においては男女間で年齢間の増加の比率に大きな差異を示している。男子で

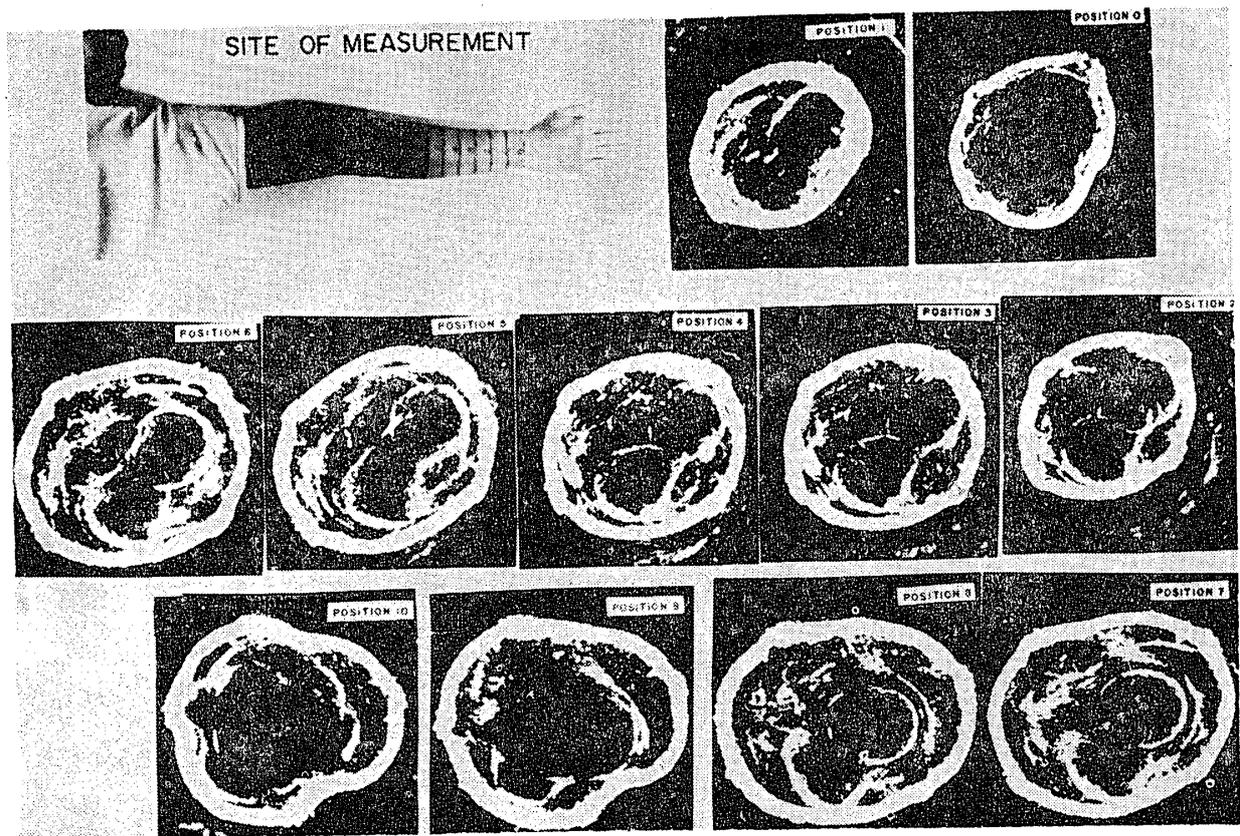


図25 前腕各部位の断面写真

Subj	Tissue Area (%)			Forearm Volume (ml)	Tissue Volume (ml)			Tissue Weight (g)		
	Fat	Muscle	Bone		Fat	Muscle	Bone	Fat	Muscle	Bone
P. W	11.6	69.1	19.0	945	110	653	180	99.0	679.1	216.0
K. Y	12.7	69.4	17.9	1000	127	694	179	114.3	721.8	214.8
M. M	13.2	67.6	19.1	910	120	615	174	108.0	639.6	208.8
H. T	12.7	66.6	26.3	1105	140	736	291	126.0	765.4	349.2
T. Y	12.3	67.9	19.8	845	104	574	167	93.6	597.0	200.4
Y. S	18.2	64.1	17.7	1020	186	654	181	167.4	680.1	217.2
S. T	12.4	67.5	20.1	975	121	658	196	108.9	684.3	235.2
A. H	14.0	68.4	17.7	1100	154	752	195	138.6	782.1	234.0
T. F	14.7	70.5	14.7	1010	148	712	148	133.2	740.5	177.6
K. K	13.7	70.0	16.3	1050	144	735	171	129.6	764.6	205.2
K. Ku	15.5	71.4	13.2	870	135	621	115	121.5	645.8	138.0
M. K	13.6	70.5	15.9	835	114	589	133	102.6	612.6	159.6
K. Y	12.7	69.8	17.5	940	119	656	165	107.1	682.2	198.0
Mean	13.6	68.7	18.1	970	133	665	177	119.2	691.9	211.8
s. e.	0.48	0.54	0.88	24.7	1.9	15.9	11.5	5.5	16.5	13.8

表5 前腕組織の質量

Cross-sectional Area of Human Limb

Age	Sex	Forearm (cm ²)				Upper arm (cm ²)			
		Total	Fat	Muscle	Bone	Total	Fat	Muscle	Bone
12	*F	*32.8±4.3	4.5±1.1	23.2±3.1	3.2±1.2	31.8±4.0	6.5±2.1	22.4±2.1	3.0±2.9
	*M	33.6±4.1	7.2±3.1	23.6±2.4	2.7±0.7	34.0±6.1	11.0±4.7	20.6±2.7	2.5±0.7
13	M	37.0±3.8	4.6±0.9	28.4±2.6	4.0±1.0	34.9±4.6	5.0±1.3	26.0±3.1	4.0±1.0
	F	34.0±2.9	6.8±2.0	23.8±1.8	3.4±1.0	34.7±4.5	9.6±3.6	25.1±2.3	3.6±1.0
14	M	41.6±2.5	5.2±0.5	32.6±2.5	3.9±0.9	38.7±4.4	5.4±1.3	29.7±3.3	3.6±0.7
	F	33.9±3.1	6.2±2.0	25.2±0.7	2.5±0.9	33.5±5.8	9.3±3.2	21.0±2.1	2.9±0.9
15	M	41.3±5.7	5.0±0.8	32.5±4.7	3.7±1.3	39.2±5.5	5.7±1.0	29.8±4.6	3.8±0.8
	F	35.6±5.0	7.3±1.9	26.3±3.5	2.0±0.6	36.6±4.9	11.5±2.7	23.0±3.6	2.2±0.4
16	M	47.8±7.5	6.1±2.6	37.9±5.1	3.8±0.4	47.9±11.0	9.3±6.9	34.8±5.8	3.8±0.8
	F	36.7±5.5	7.4±1.7	27.1±3.8	2.2±0.5	39.9±7.0	13.8±4.0	23.8±3.2	2.3±0.5
17	M	46.5±6.0	5.2±1.3	36.8±4.6	4.5±1.2	45.9±7.8	6.4±2.9	34.9±5.2	4.6±1.4
	F	38.4±4.6	9.0±1.7	27.2±3.3	2.2±0.3	40.9±6.3	14.8±3.1	23.6±3.6	2.5±0.7
18	M	47.5±5.2	5.7±1.5	37.7±3.6	4.1±1.0	47.5±5.8	6.4±2.7	36.5±5.0	4.6±0.8
	F	42.8±5.3	9.0±2.2	30.9±3.8	2.9±0.8	46.0±5.3	15.0±3.5	28.2±3.4	2.8±0.8
19	M	50.2±5.4	8.8±2.1	37.1±4.2	4.3±0.4	51.2±7.5	11.8±4.7	36.1±5.5	3.3±0.6
	F	41.8±3.5	8.8±1.7	30.5±2.8	2.5±0.8	45.8±5.2	15.6±3.3	27.3±3.4	2.9±0.7
20s	M	50.8±8.6	5.7±2.2	41.1±6.5	4.0±1.5	52.3±10.1	6.5±3.2	41.2±6.5	4.6±1.9
	F	44.3±6.5	9.7±2.7	31.4±4.6	3.2±1.1	50.1±6.7	16.7±5.6	30.4±3.8	3.0±1.1

*M=Male F=Female mean±S.D.

表6 上肢組成の性年令別差異

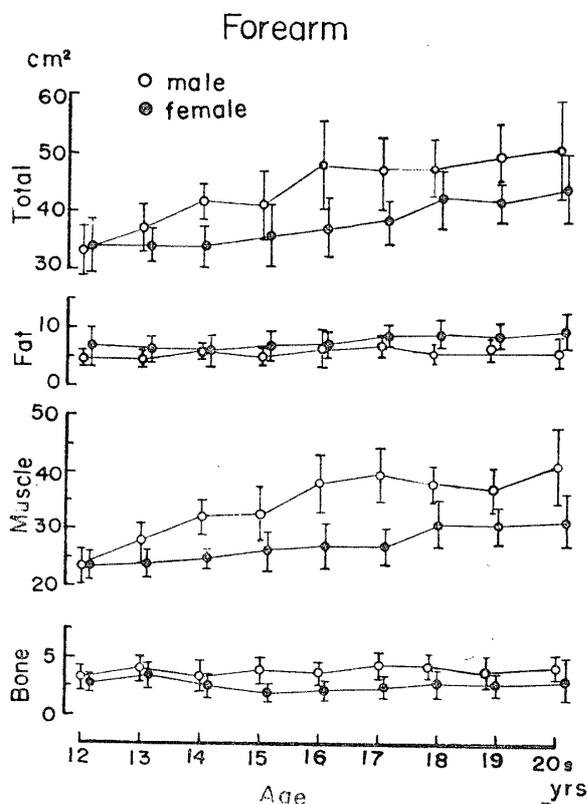


図27 前腕組成の性年令別差異

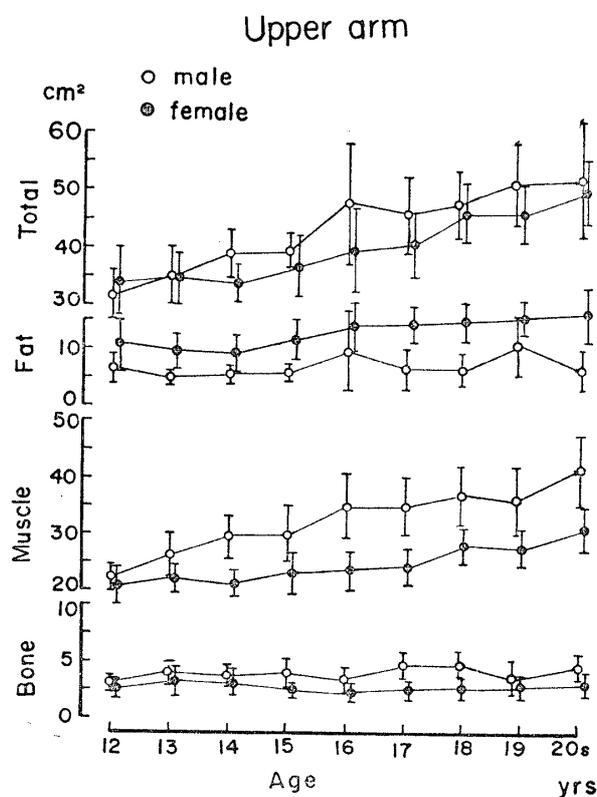


図28 上腕組成の性年令別差異

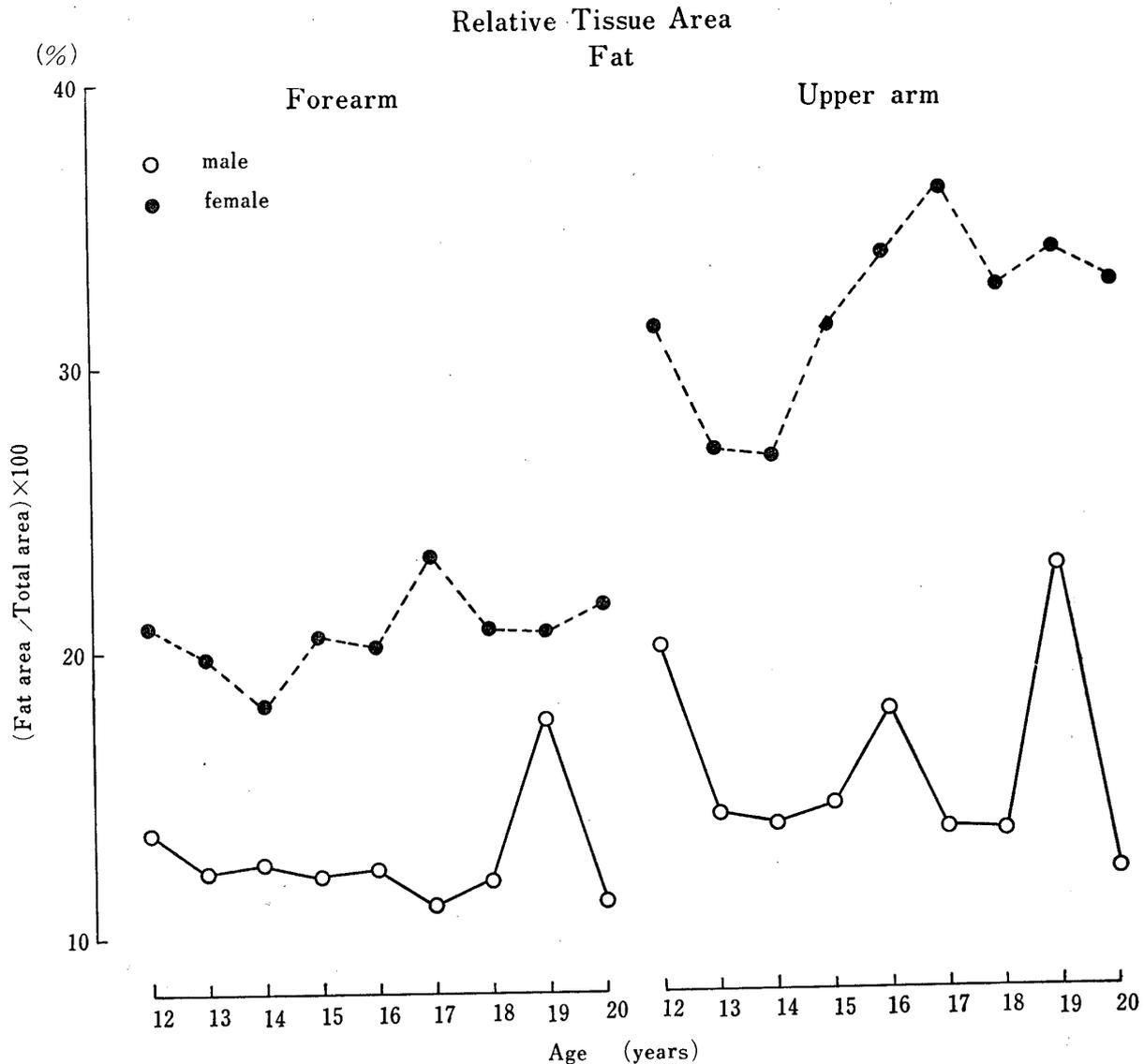


図29 全断面積に対する皮下脂肪断面積の占める比率

は12才で6.5cm², 20才で6.5cm²と各年齢でほぼ同じ値を示している。しかし、女子では12才11.0cm², 20才16.7cm²と12才から20才までに52%の増加の傾向がみられた。各年齢における男女間の値を比較すると、12才では女子は男子よりも69%高い値を示し、20才では女子は男子よりも157%高い値を示している。皮下脂肪の年間増加量は男子では15才~16才で3.6cm², 18才~19才で5.4cm²であり、女子では15才~16才で2.3cm²であった。

図29は上腕における全断面積に対する皮下脂肪断面積の占める比率を表わしたものである。この図からみられるように、男子では12才で20%であるが、その後年齢とともに減少する傾向がみられ、20才では12%となっている。しかし女子においては、12才で31.3%であり、その

後14才まで一時減少の傾向がみられるが14才以後は年齢とともに増加の傾向を示し17才では36%となっている。

1939年鈴木⁰⁴は日本人の腹部皮脂肪厚を皮厚計を用いて測定した結果、腹部皮脂肪厚の性差は12才以後急激に現われ、女子においては12才~15才の間に極めて急激なる皮脂肪厚の増大を示すに反し、男子は徐々に20才頃まで、しかも女子の1/2以下の増加しか示さなかったと報告している。

また、1953年岡本⁰³は上腕屈側の皮脂肪厚をX線撮影法によって測定した結果、男子では年齢とともに減少するのに対して、女子は年齢とともに増加し、女子の皮脂肪厚は男子よりも2.2倍であったと報告している。

鈴木、岡本はいずれも皮下脂肪の厚さを測定したもの

であり、本研究における横断面積を測定したものと直接比較することはできないが、その結果は本研究における結果とよく似た傾向を示している。

筋断面積

前腕最大囲における筋断面は主として、腕撓骨筋、手根伸筋、手根屈筋、円回内筋、回外筋によって構成されている。

前腕では、図27、表6にみられるように男子12才では23.2cm²、20才では41.1cm²と12才から20才までに75%の

増加を示した。しかし、女子においては、12才で23.6cm²、20才で31.4cm²と33%の増加を示し、男子ほどの急激な増加は示さなかった。

上腕の最大囲の部位を形成する主要な筋群は上腕二頭筋、上腕筋、上腕三頭筋である。上腕筋群の性、年齢別差異は、図28、表6にみられるように前腕と同じような傾向がみられた。

すなわち、男子12才では22.4cm²、20才では41.2cm²と12才から20才までの間に80%の増加がみられた。しかし、

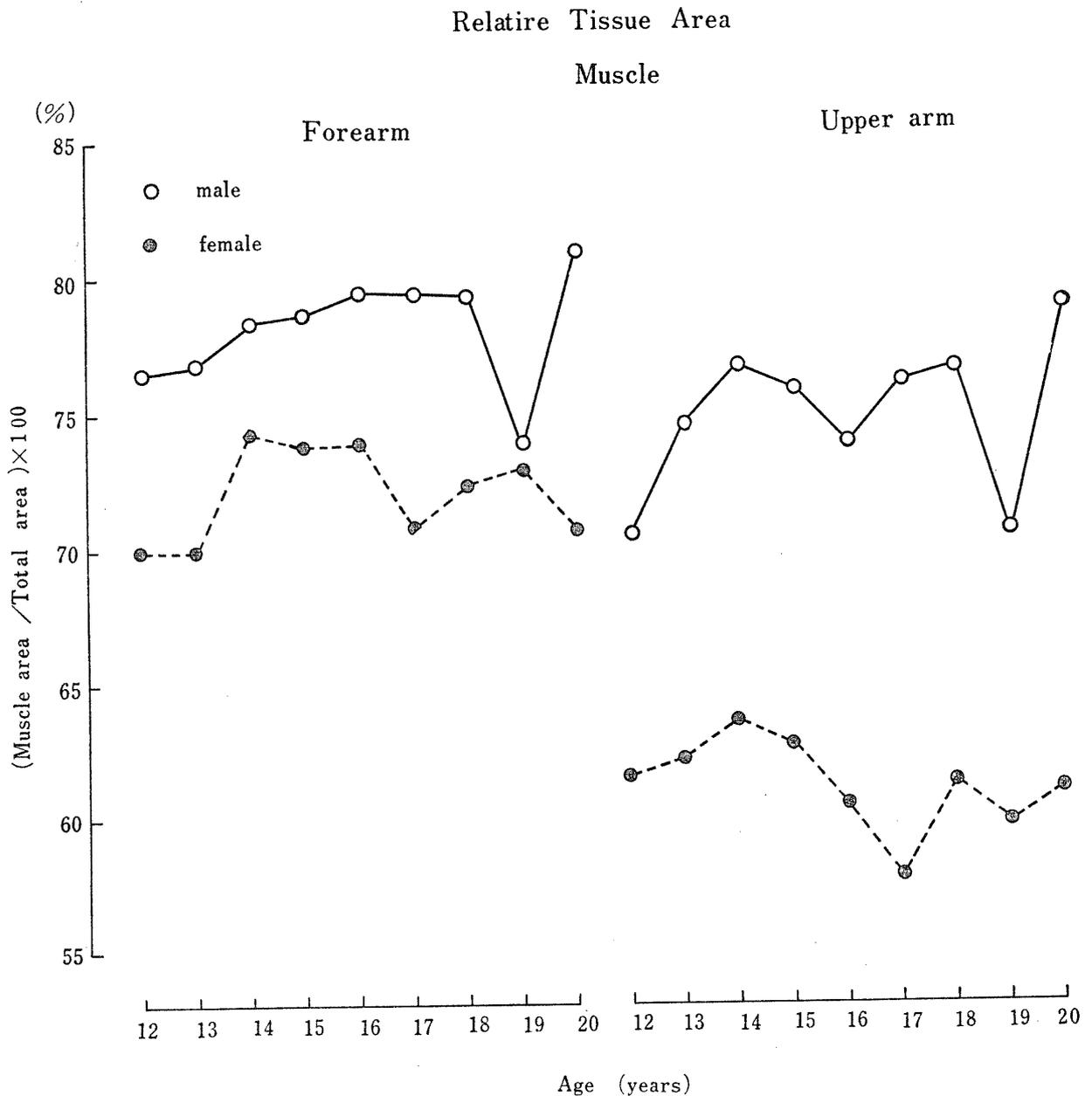


図30 全断面積に対する筋断面積の占める比率

女子においては男子ほどの増加を示さず、12才で20.6 cm^2 、20才で30.4 cm^2 と48%の増加であった。

年間の上腕の筋断面積の増加量を見ると、男子15~16才の間で5.0 cm^2 、19才~20才の間で5.1 cm^2 と、男子では15才から16才までの間と、19才から20才までの間に筋断面積の大きな増加がみられた。

女子では、17才から18才までの間で大きな増加を示し年間増加量は4.6 cm^2 であった。

1953年に岡本³⁾はX線撮影によって5才から50才までの上腕の筋厚を測定した結果、男子では10才から20才までの間で急激な増加を示し、その増加率は71%であったと報告し、また女子では10才から15才までに増加が著しく、10才から20才までの間は44%の増加を示したと報告している。

本研究における結果は岡本の報告とよく似た傾向を示している。

図30は全断面積に対して筋断面積の占める比率を表わしたものである。上腕についてみると男子は12才で70.6%であるが、年齢とともに増加し20才では79.2%となっている。しかし、女子の場合は年齢の増加にともなう増減の傾向がみられず、12才で61.6%、20才で61.0%であった。前腕においても、上腕と同じような傾向がみられた。

以上は、筋の発育状態を年齢別にみたものであるが、次に身長を基準とした相対成長の観点からみると図31にみられるような結果となった。図31は縦軸に筋断面積、横軸に身長をそれぞれ対数目盛で表わしたものである。その結果、男子では身長が155 cmのところまで直線の傾斜が増加して2本の直線であらわされることになる。しかし、女子においてはその傾向はみられなかった。

すなわち、身長が155 cmまでは男女ともに身長の増加にともなって筋断面積も増加する。しかも、身長が同じであれば、男女ともほぼ同じ筋断面積であることを示している。しかし、身長155 cm以後、男子は急激な発育を示すが、女子の場合はそれまでとほぼ変らない増加しか示さない。

図32は縦軸に上腕全断面積を表わしたものであるが、この場合は身長が140 cmから160 cmまで女子が男子よりも高い値を示している。この男女の差は女子に皮下脂肪が多いことに

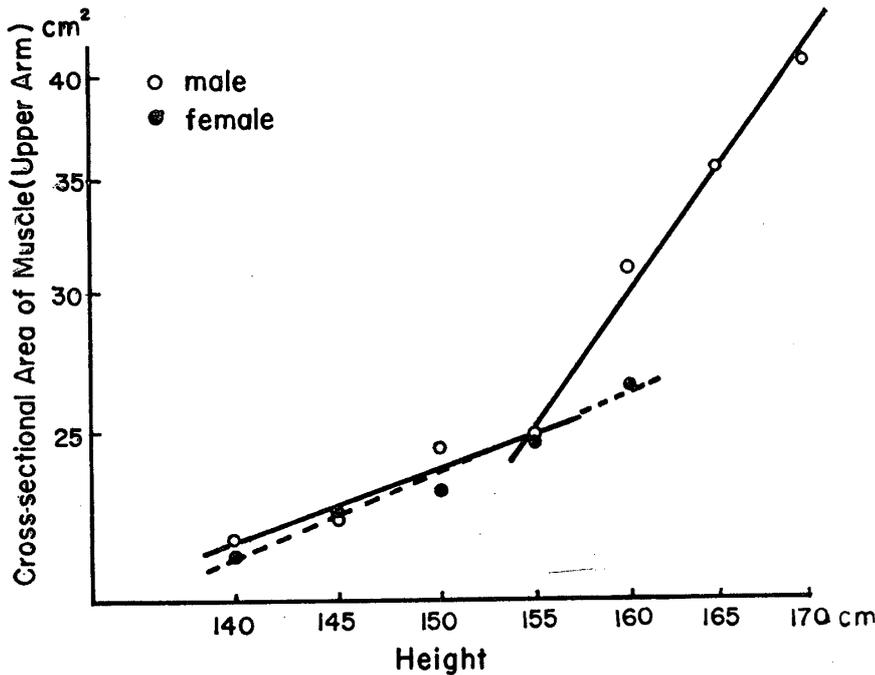


図31 身長別筋断面積相対発育曲線

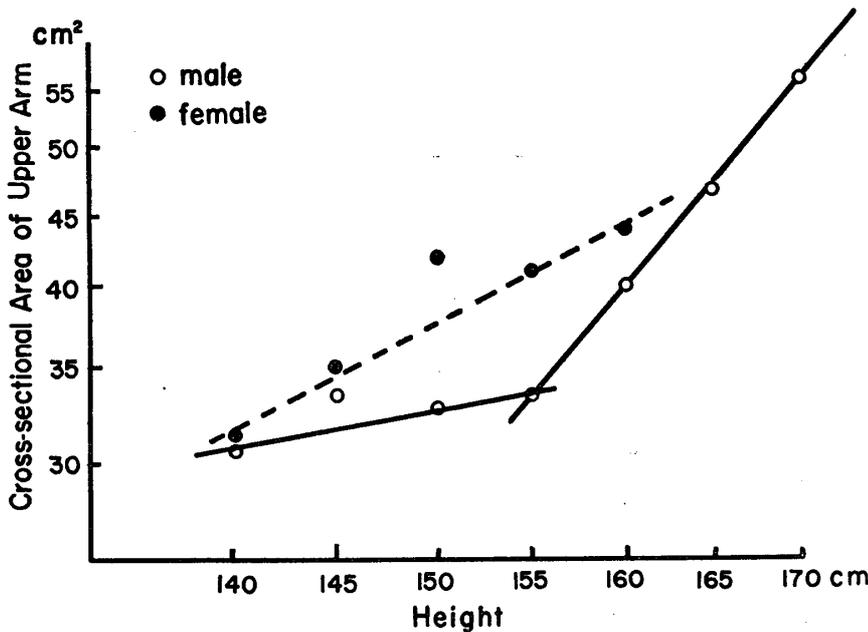


図32 身長別上腕全断面積相対発育曲線

よるものである。

走速度、走巾跳などの運動能力と身長との関係においても、男子では身長 155 cm で直線の傾斜が増加する(猪飼⁸⁾)。

これらの現象は男子の成熟の徴候が身長 155 cm を境に表われるためと考えられ、それ以後急激な筋および神経系の発達がみられるためであると考えられる。

骨断面積

前腕の骨断面積は、橈骨および尺骨断面積を合計したものであり、上腕は上腕骨断面積である。

上腕についてみると男子12才では3.0 cm²、20才では4.6 cm²と年齢にともなって53%の増加がみられた。女子では12才2.5 cm²、20才3.0 cm²と12才から20才までの間に20%の増加がみられた。

また、各年齢においていずれも男子が女子よりも高い値を示した。

前腕においても、上腕とほぼ同じような傾向がみられた。

2. 体肢組成におよぼす遺伝と環境の影響

双生児の体肢組成

ヒトの身体組成が、遺伝と環境によってどのように発達し、つくられるかという問題を追求するには双生児法を用いることが有力である。双生児には一卵性双生児と二卵性双生児とがある。一卵性双生児は一個の受精卵に

起源をもち、発生の途中で2個体に分れたものであると考えられる。したがっていつも2人は同じ性で、遺伝学的には同一の個体である。そこで1卵性双生児の2人の間で身体組成のちがいがあれば、そのちがいは環境によって生じたものと考えられる。2卵性双生児は、同時かあるいは相ついで排卵された2個の卵が、別々の精子によって受精し発育したものであり、遺伝学的には、ふつうの兄弟程度のちがいがあると考えられる。したがって2卵性双生児の2人の間にみられる組成のちがいは、遺伝のちがいと環境のちがいの両方の結果であると考えられる。

そこで、体肢を構成している組織断面積が遺伝よりも他の条件によってより強く影響されているならば、1卵性双生児の似ている程度と、2卵性双生児の似ている程度は同じはずである。また、ある組織が遺伝の影響を強くうけているとすれば、1卵性双生児の2人の間のちがいは非常に少なくなるはずである。

そこで、体肢を構成している組織の横断面積を測定し、1卵性双生児と2卵性双生児の比較を行なった。

図33、図34は1卵性双生児および2卵性双生児の上肢及び下肢の超音波断面像である。図35は前腕、上腕、下腿、大腿の組織の断面積についての対差百分率

$$\left(\frac{\text{双生児の対間の差}}{\text{対間の平均}} \times 100 \right)$$
 を表わしたものである。この図にみられるように、全断面積では1卵性双生児(EZ) 2卵性双生児(ZZ)ともに5~10%であるが

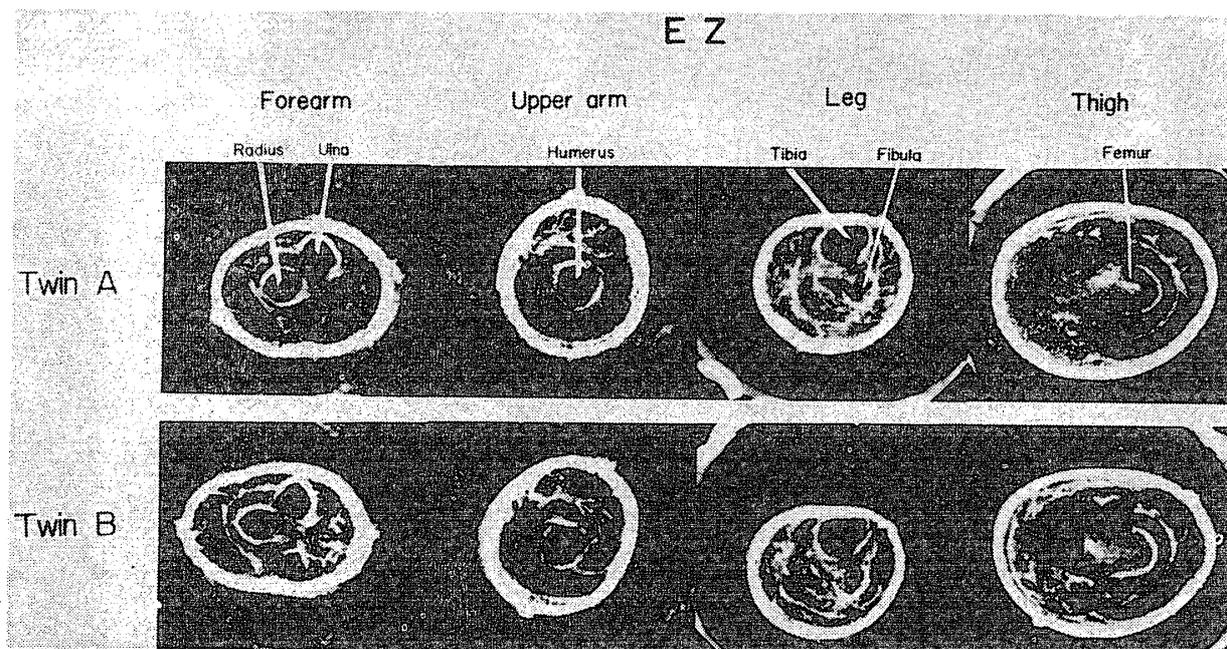


図33 一卵性双生児の体肢断面像

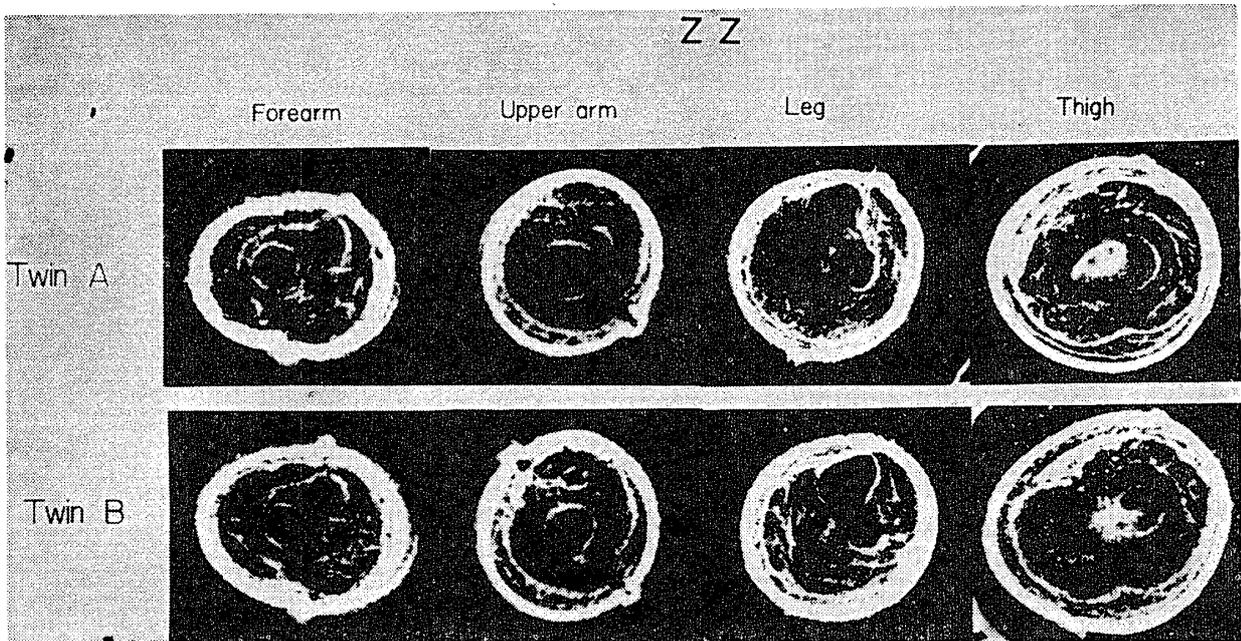


図34 二卵性双生児の体肢断面像

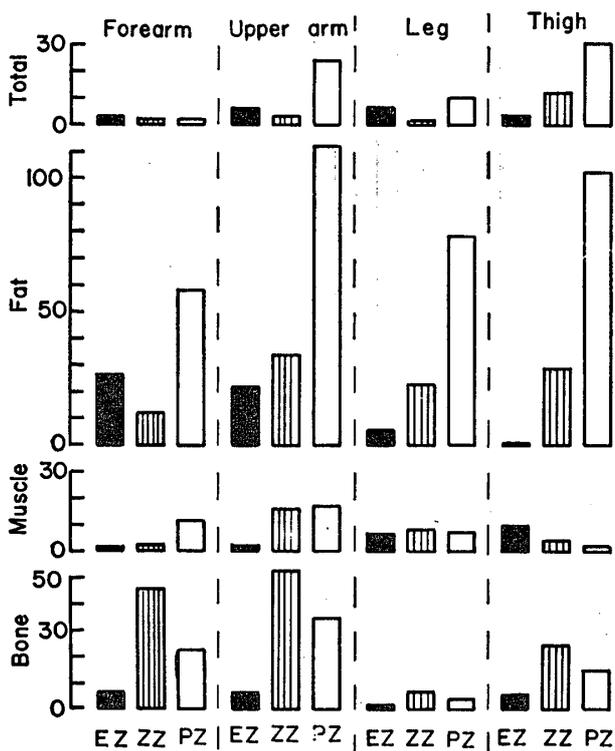


図35 E Z (一卵性双生児) Z Z (二卵性双生児) P Z (異性双生児) の対差面分率

骨断面積では、E Zが5%~7%であり、Z Zは30%~50%とZ ZはE Zに比較して対差百分率が非常に高い値を示している。

図36は1卵性双生児55組についての対間の相関係数を表わしたものである。縦軸に相関係数(r)を表わし、横軸にH(身長), W(体重), F(皮下脂肪), B(骨), T(全断面積), M(筋)及び腕力, 握力を表わした。

その結果, 女子の握力以外の全ての項目について相関係数は0.1%水準で有意であった。

女子の握力は1%水準で有意であった。

測定項目の間で相関係数を比較してみると, 男子の身長が最も高く $r=0.981$, 次いで体重が $r=0.966$ であった。組織の断面積では皮下脂肪が男子 $r=0.955$, 女子 $r=0.889$ で最も高い相関を示し, 次いで骨男子 $r=0.884$, 女子 $r=0.871$ であった。筋は男子 $r=0.807$, 女子 $r=0.836$ と組織の中では一番低い相関を示した。筋力(腕力, 男子 $r=0.619$, 女子 $r=0.722$)はいずれも組織よりも低い相関を示した。

また, 全断面積に対する各組織断面積の占める比率をみると, 骨(B)が最も高い相関を示した。

女子はいずれの測定項目においても男子よりも対間の相関が低い傾向がみられた。

以上のことから, 1卵性双生児では対間の身体組成は非常によく似ていることがわかった。2卵性双生児と比較すると全断面積(腕の太さ)は1卵性, 2卵性ともに同じぐらいの類似度であるが, 内部の組成をみると, 2卵性に比較して1卵性双生児の骨はとくにその類似度が高いように思われる。しかし, 2卵性双生児の被検数を

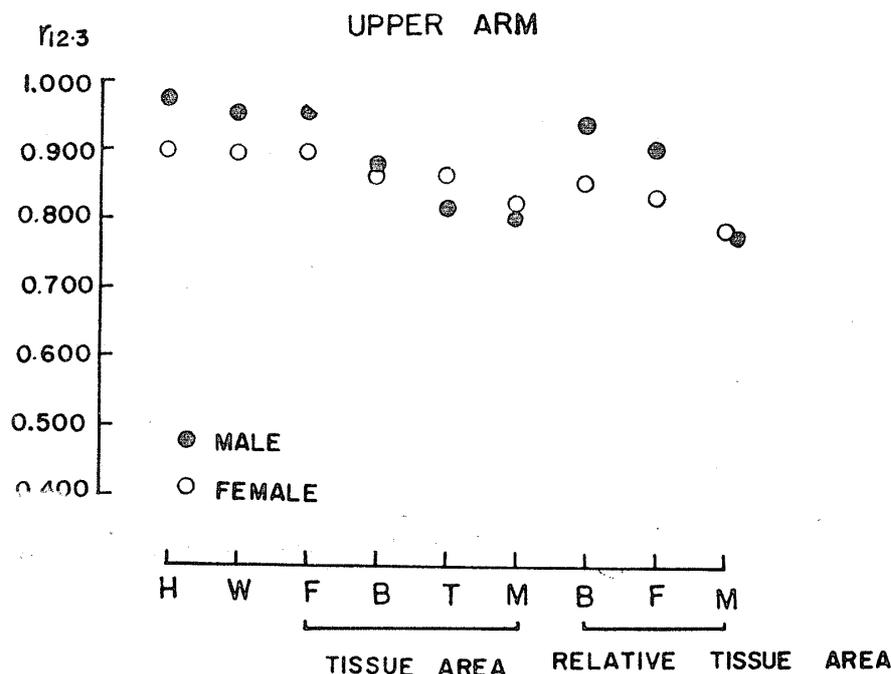


図36 一卵性双生児の身体組成の相関係数

もっと多くしなければ明確なことはいえないであろう。

3. 一般児童と肥満児童との身体組成の比較

1) 身体比重法による身体組成の分析

12~16才の一般児童と同年令の肥満児童との身体構成物のそれぞれの重量とそれらの体重あたりの比率を表わしたものが図37である。肥満児童の体重は平均79.5kgで一般児童の体重の平均は46.5kgであり、肥満児童の体重は一般児童の体重の約1.7倍である。

肥満児童は同年令の一般児童より、脂肪量、全体水分量、固形分量が多いが、それぞれの体重あたりの比率では小さい。しかし、脂肪量の比率は大きい。

脂肪についてみると、一般児童は全体脂肪量とその体重あたりの比率はそれぞれ平均6.8kg、14.6%であるのに対し、肥満児童ではそれぞれ平均25.0kg、31.5%である。

肥満児童は一般児童より、脂肪の重量で約3.6倍、体重あたりの比率では約2倍である。脂肪ぬきの体重では一般児童は平均39.7kg、その体重あたりの比率では85.5%であるのに対して、肥満児童はそれぞれ54.5kg、68.4%である。

肥満児童は脂肪ぬきの体重の重量では一般児童より大きいですが、しかし、体重あたりの比率で見ると小さくなる。

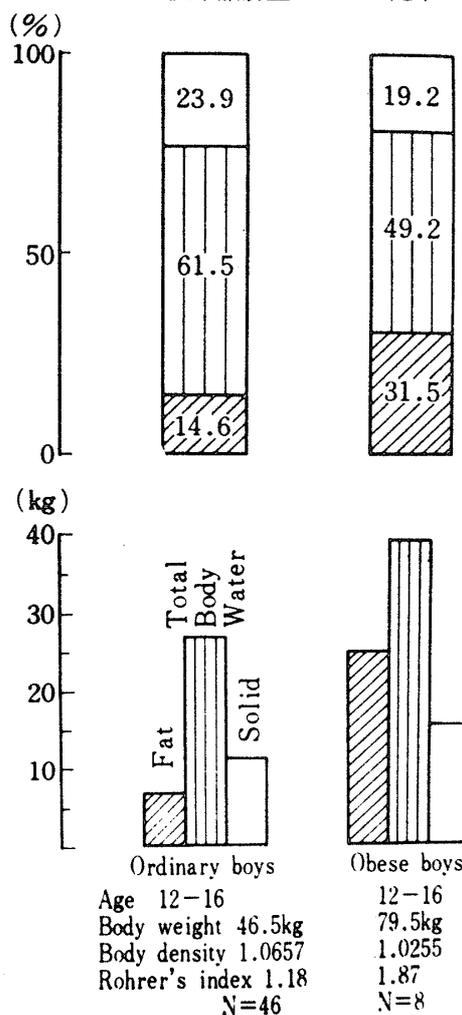


図37 一般児童と肥満児童との身体組成の比較

図38は12ヶ所の皮脂厚の平均値と皮下脂肪量、および体重あたりの比率を表わしたものである。一般児童の皮脂厚、皮下脂肪量、体重あたりの皮下脂肪量の比率はそれぞれ6.9mm、3.1kg、6.7%であるのに対して、肥満児はそれぞれ21.9mm、16.5kg、19.1%で厚さでは約3倍、重量では約5倍、体重あたりの比率では約3倍である。

図39は身体内部の脂肪と皮下脂肪の比率を表わし、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。

一般児童では全体脂肪量に対する皮下脂肪量のしめる比率は47.1%で

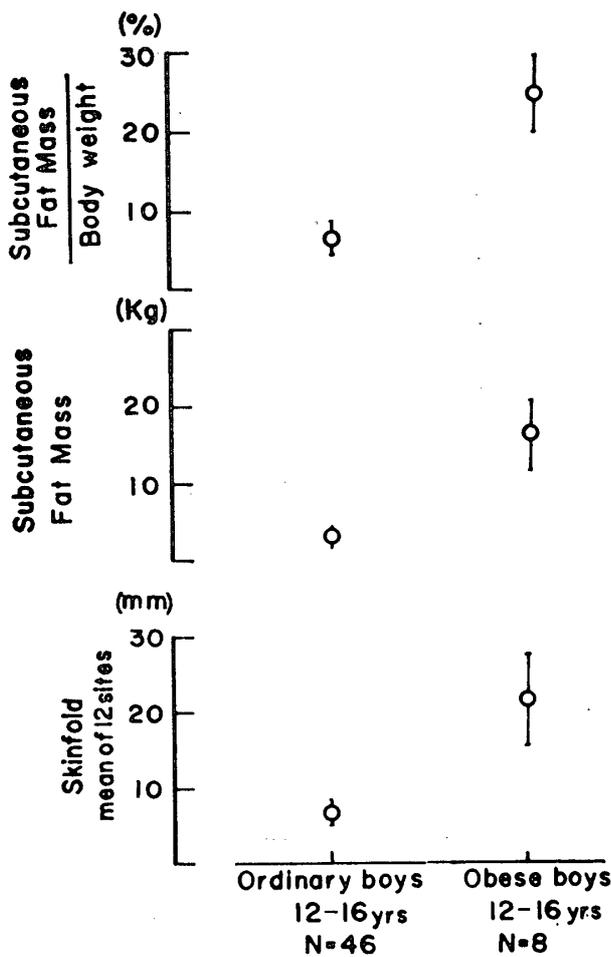


図38 普通児童と肥満児童との皮脂厚、重量、体重あたりの比率

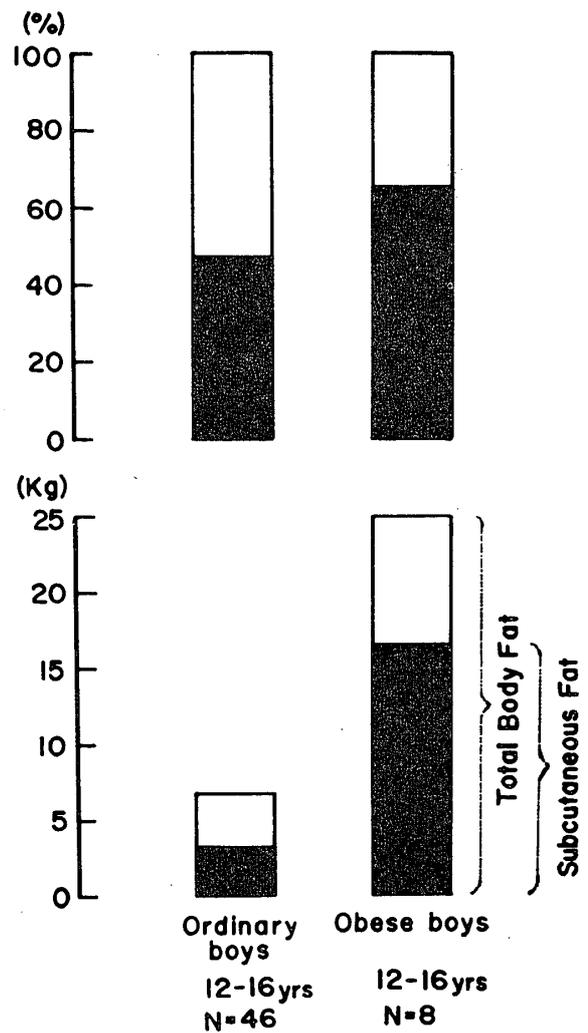


図39 普通児童と肥満児童との身体内部と外部との脂肪の比率

あるのに対し、肥満児童では65.2%ある。したがって肥満児童の全体脂肪量の約65%が皮下脂肪量であることがわかる。

また、皮脂厚の分布状態を比較してみると、図22に示すように、一般児童は、身体の下部へいくほど厚くなるのに対し、肥満児童は全体にほぼ等しく厚く、とくに胸部、腹部、上腕部、背部、下肢部の皮脂厚が著しい。

2) 超音波測定法による上肢組成の分析

超音波法によって、肥満児童の前腕および上腕の横断面像を撮影し、肥満児童の体肢組成の特徴を明らかにしようとした。

図40および図41は、肥満児童と一般児童の上腕の超音波断面像および全断面積に対する各組織断面積の占める比率を表わしたものである。

この図にみられるように、13才~16才までの一般児童の皮下脂肪の占める比率は13.5%であるのに対し、同年令の肥満児童では37.6%と非常に大きな値を示している。

図42は、各組織断面積について、肥満児童と一般児童を比較したものである。前腕および上腕において肥満児童は皮下脂肪断面積が非常に大きい、特に上腕においてその傾向が著しい。上腕の皮下脂肪では一般児童5.2cm²、肥満児童31.6cm²と、肥満児童は一般児童に比較して約6倍の皮下脂肪を有している。

しかし、肥満児童の場合、皮下脂肪はもちろん大きいわけであるが、筋断面積においても一般児童よりも71%大きい値を示している（一般児童28.0cm²、肥満児童31.6cm²）

表7は筋断面積と、単位面積あたりの筋力（筋断面積

Composition of Upper Arm from
Ultrasonic Method

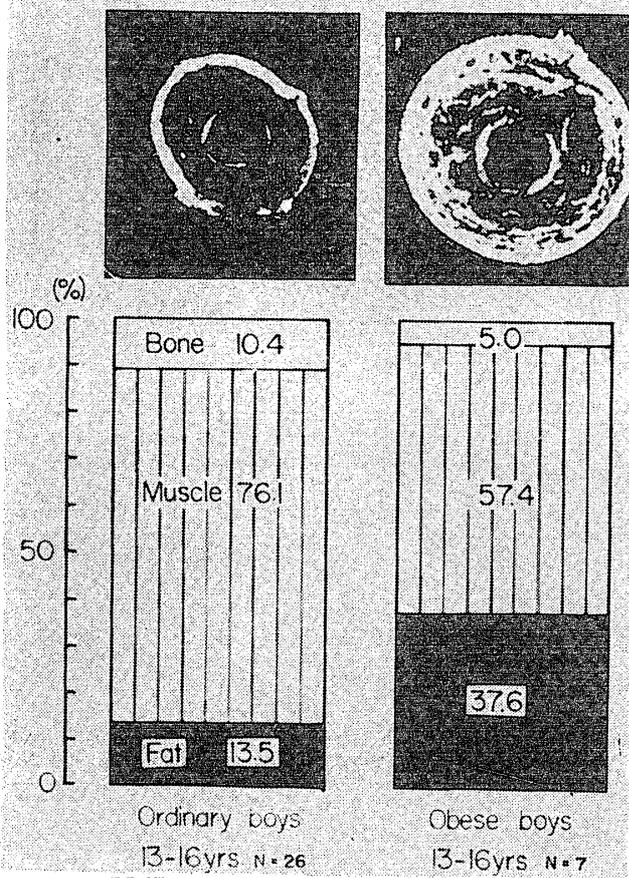


図40 肥満児童の上腕断面像

	Ordinary boys (A) N=26	Obese boys (B) N=7	(B)/(A)
Arm Strength (KG)	19.0 ± 2.94	25.8 ± 5.03	1.36
The Strength of Muscle Relative to the Cross-Section (KG/CM ²)	6.4 ± 1.08	5.5 ± 1.03	0.86

P < 0.05

表7 肥満児童の筋力・及び単位面積あたりの筋力

1 cm²が発揮することができる筋力)を求めたものである。その結果、肥満児童の場合は、筋断面積では一般児童よりも大きい値を示しているが、単位面積あたりの筋力では肥満児童5.5kg/cm²、一般児童6.4kg/cm²と一般児童

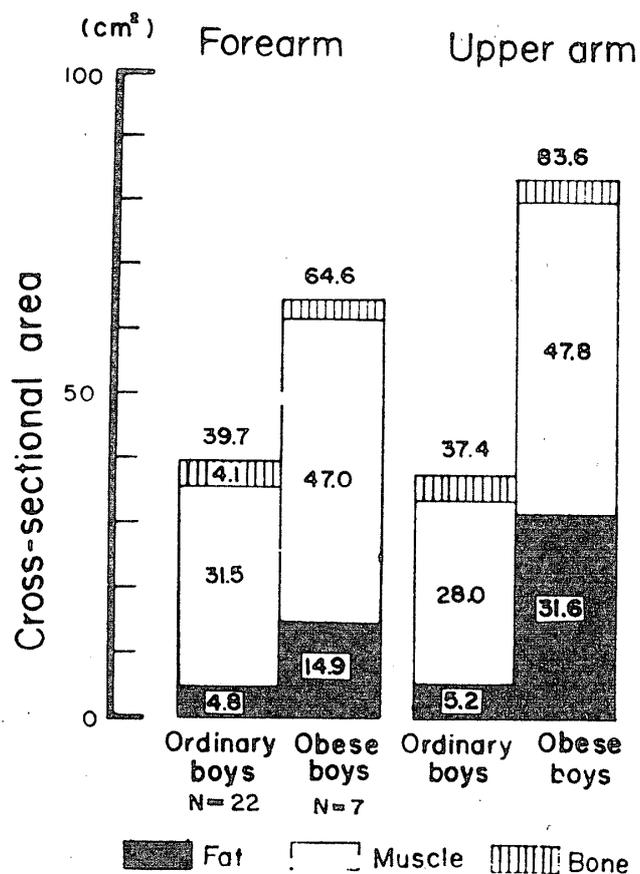


図41 肥満児童の全断面積に対する各組織断面積の比率

よりも0.9kg/cm²低い値を示し、この差は5%水準で有意であった。

すなわち、肥満児童の場合は筋断面積は大きい、それに相当した筋力を発揮することができないということになる。

1968年猪飼⁷⁾は筋力は筋断面積に比例し、単位面積あたりの筋力は性、年齢にかかわらず一定(6.3kg/cm²)であると報告している。

本研究においては、皮膚および皮下脂肪と骨を除いたものを筋肉として測定している。しかし、肥満児童の場合は、筋肉の内部に脂肪の蓄積があることが考えられる。

1951年 Frantzell は30~40才以後筋肉内の結合組織間に脂肪の蓄積がみられると報告している。

従って肥満児童の単位面積あたりの筋力が一般児童よりも低いことの原因の1つとしては、肥満児童の筋肉内の脂肪の蓄積による影響であると考えられる。

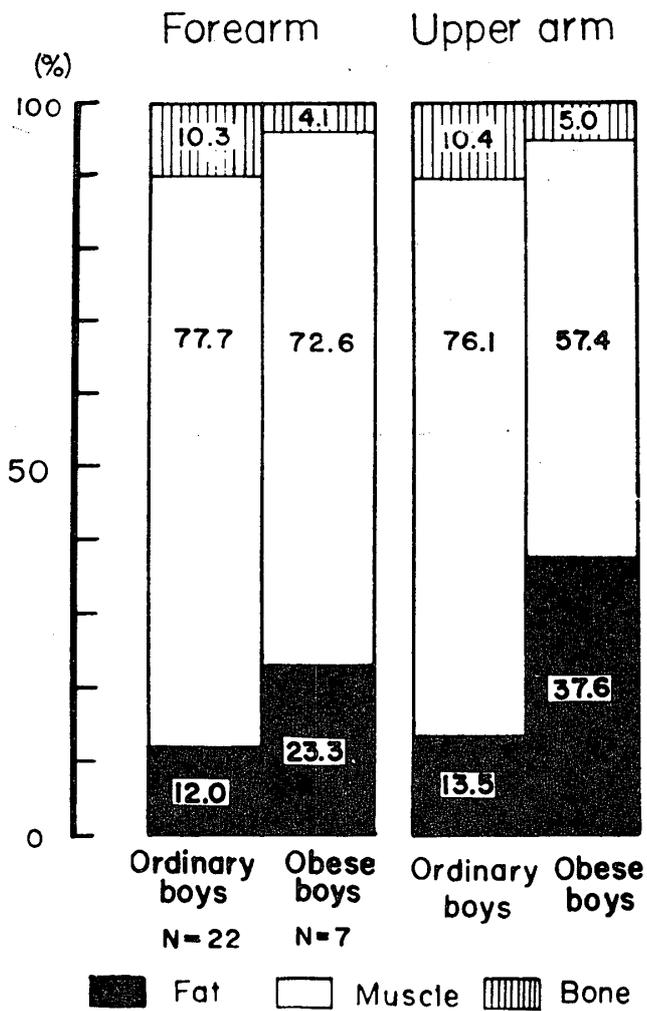


図42 肥満児童の体肢断面積

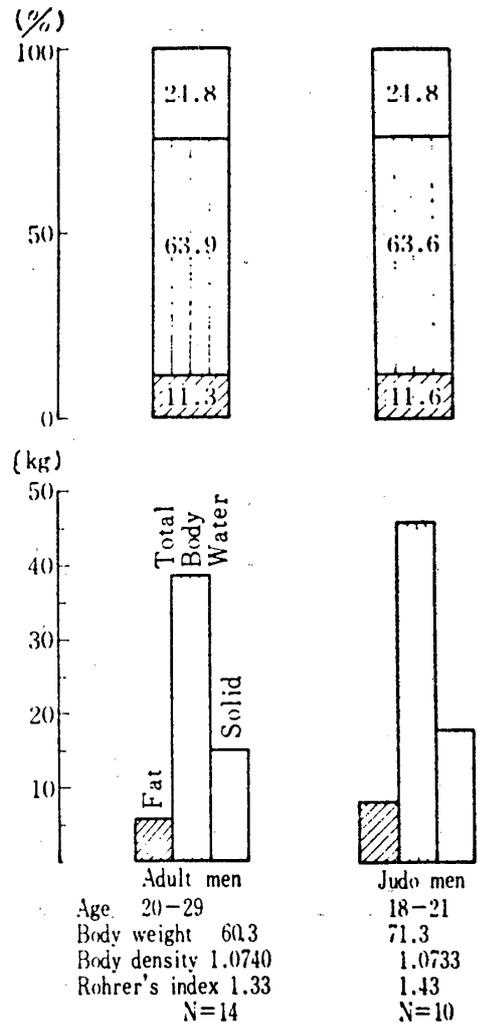


図43 一般成人男子と運動選手との身体各構成物の重量と比率

4. 一般成人男子と運動選手との身体組成の比較

1) 比重法による身体組成の分析

図43は21~29才の一般成人男子と18~21才の大学柔道部員の身体構成物のそれぞれの重量とそれらの体重あたりの比率を表わし比較したものである。

一般成人男子と柔道部員とを比較すると、柔道部員は脂肪量、全体水分量、固形分量はそれぞれ8.0 kg, 45.6 kg, 17.7kgで成人男子よりそれぞれの重量においても大きい、体重あたりの比率ではほぼ等しい。

一方、脂肪ぬきの体重の重量では、柔道部員は一般成人男子に比較して大きい、体重あたりの比率ではほぼ等しい。

図44は身体の12ヶ所の皮脂厚の平均値と皮下脂肪量、

体重あたりの皮下脂肪量をそれぞれ比較したものである。

柔道部員の皮脂厚の平均は7.7cm、皮下脂肪量は4.6kg 体重あたりの比率は64%で、一般成人男子とほぼ同じ値を示している。

図45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、成人男子は平均57.6%であり、柔道部員は平均56.2%でほぼ等しい値を示している。

2) 超音波法による上肢組成の分析

超音波法によって19~22才の柔道選手の9名の前腕、

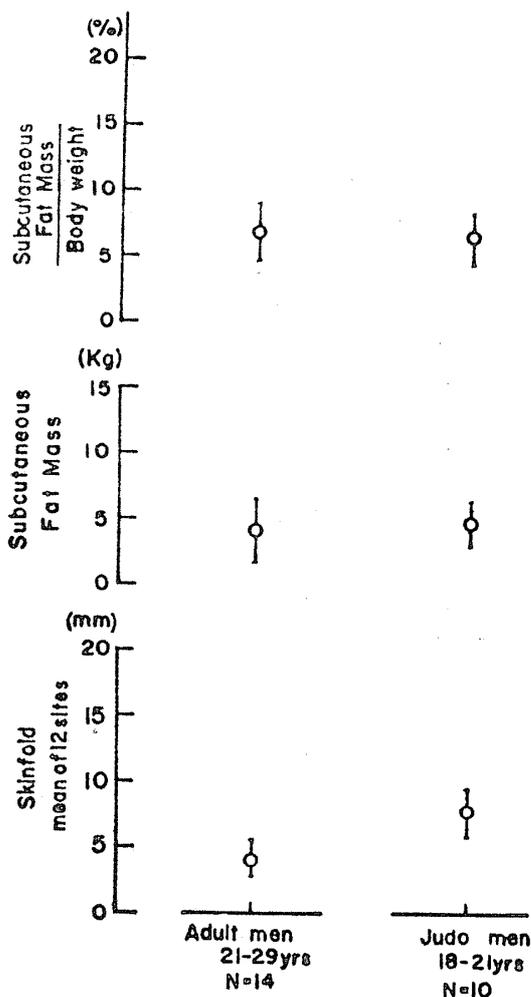


図44 一般成人男子と運動選手との皮脂肪厚，重量，体重あたりの比率

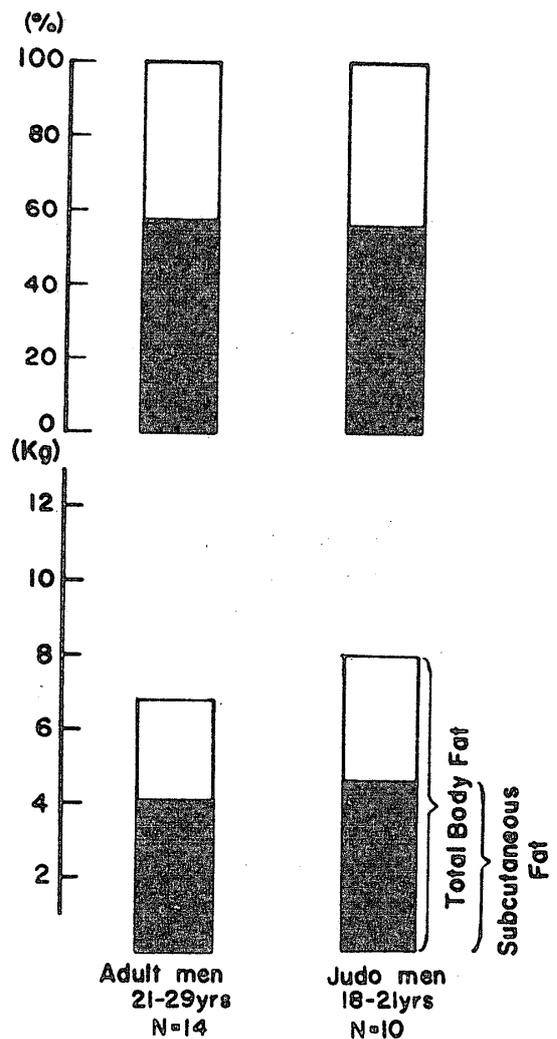


図45 一般成人男子と運動選手との身体内部と外部との脂肪の比率

上腕の横断面像を撮影し，柔道選手の体肢組成の特徴を明らかにしようとした。

図46は一般人と柔道選手の上腕の超音波断面像である。

図47は各組織の断面積を表わしたものであり，図48は全断面積に対する各組織断面積の占める比率を表わしたものである。

図47からみられるように，前腕の筋断面積では一般人41.1cm²，柔道選手49.9cm²であり，上腕の筋面積では，一般人41.2cm²，柔道選手55.7cm²と，柔道選手の筋断面積が一般人よりも前腕で21%，上腕では35%それぞれ高い値を示している。しかし，図48からみられるように，全断面積の中で筋断面積の占める比率をみると，前腕では柔道選手82.2%，一般人81.1%，上腕では柔道選手81.8%一般人79.2%と一般人と柔道選手との間にはほとんど差が

ないことがみられる。

表8および図49は，上腕の屈筋断面積，筋力，単位面積あたりの筋力を表わしたものである。その結果，柔道選手は，筋力および筋断面積ともに一般人よりも大きな値を示している。

表8 柔道選手の筋力，筋断面積，単位面積あたりの筋力

	筋力 (kg)	筋断面積 (cm ²)	単位面積あたりの筋力 (kg/cm ²)
一般成人男子	27.4 ± 5.2	20.1 ± 2.9	6.7 ± 1.1
柔道選手	34.5 ± 3.0	27.3 ± 1.3	6.4 ± 0.9

mean ± S. D.

Ultrasonic View of Human Upper Arm

Ordinary man

Judo man

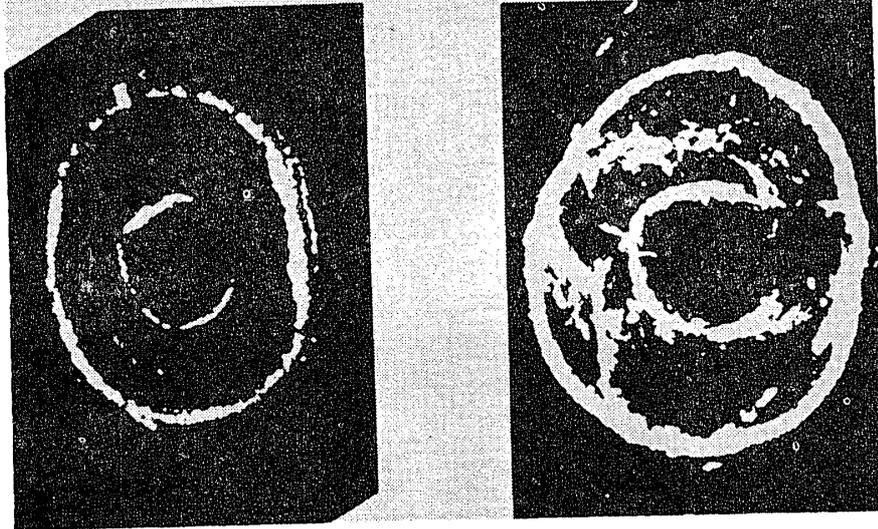


図46 柔道選手と一般人の上腕断面像

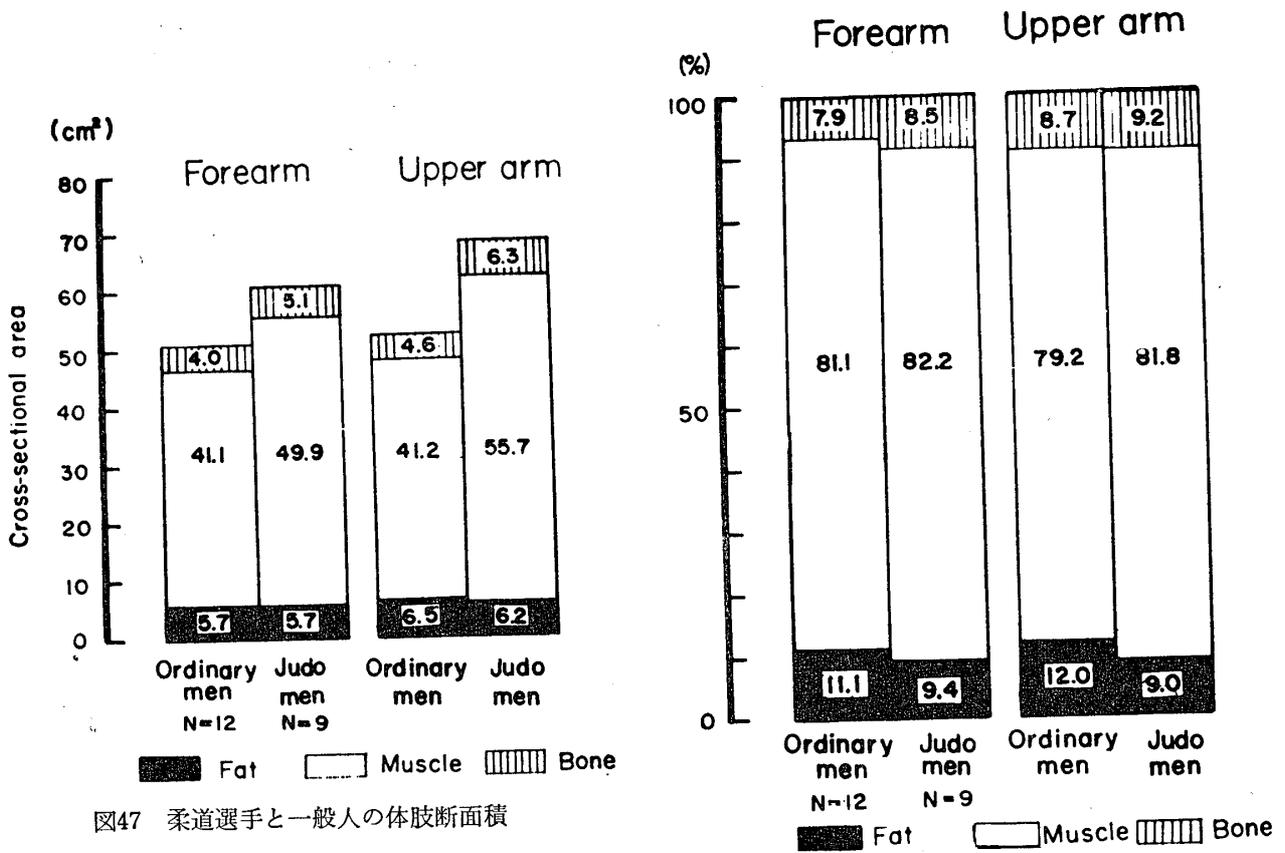


図47 柔道選手と一般人の体肢断面積

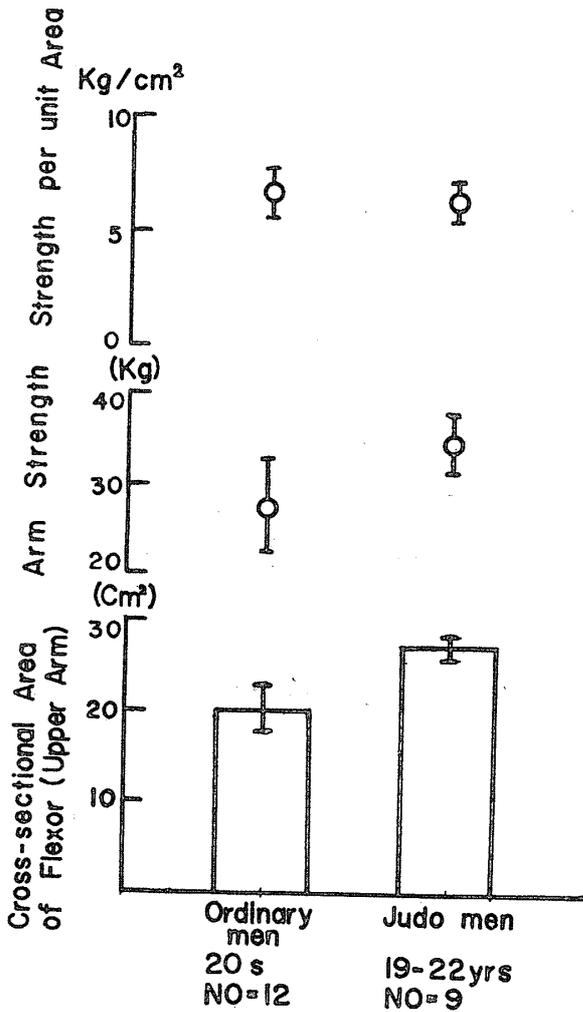


図49 柔道選手の筋断面積，筋力，単位面積あたりの筋力

5. 身体比重法と超音波法との身体組成の比較

図50は超音波装置による上腕の全横断面積あたりの皮下脂肪の断面積の比率と比重法による体重あたりの全体脂肪量との比率との関係を示したものである。

図から明らかなように両者の比率がともに約15%までは局所の脂肪の面積比と全身の脂肪量との比はよく一致するが，しかし，それ以上になると上腕の全横断面積あたりの比率の方が体重あたりの全体脂肪量の比率を上まわるようになる。

IV ま と め

以上の結果から二つの方法からみた身体組成について上記の結果に従ってまとめてみると次のようなことがいえる。

(1) 身体比重値は年齢の増加とともに上昇し，14～18才ではほぼ一定の値を示した。構成物からみると，全体水分量と固形分は年齢の増加とともに増大するが，しかし全体脂肪量は殆ど一定の値を示した。脂肪ぬぎの体重の増加はとくに12～15才で著しかった。女子の脂肪量は成人男子のほぼ約2倍で，そのうち全脂肪量の約90%が皮下脂肪であった。

四肢の組成についてみると，皮下脂肪では女子は12才から20才までの間に56%の増加があった。しかし男子では上記の年齢の間で有意な増加はみられなかった。

女子の皮下脂肪は各年齢において男子よりも多く，20才では女子は男子の約2.5倍の皮下脂肪があった。

筋断面積では，男子は12才から20才までの間に84%の増加があったが女子では上記の年齢間で42%の増加であった。

筋断面積と身長との関係を両対数グラフで表わすと，男子では身長155cmを境に2本の直線に分れた。この結果は男子では身長155cm以後に急激な筋組織の発達を表われることを意味している。

(2) 肥満児童の身体比重値は同年令の児童に比較して3.8%低い。ま

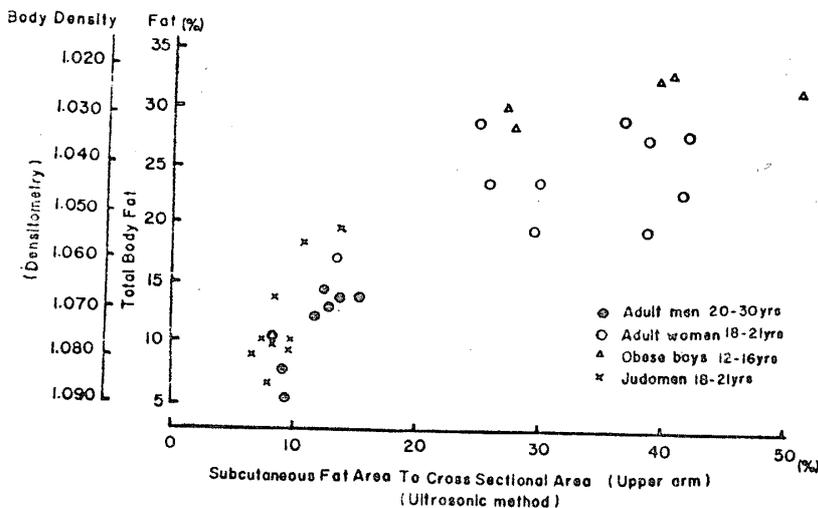


図50 比重法による全体脂肪と超音波法による体肢の脂肪との比較

た、全体脂肪量の体重あたりの比率は約32%で普通児の約2倍であった。

肥満児童の上腕の皮下脂肪断面積は同年令の一般児童の約6倍であった。また、単位面積あたりの筋力は5.5 kg/cm²であり、この値は一般児童より0.9kg/cm² (14%)低い。

(3) 柔道選手の身体比重値は一般成人男子とほぼ等しい。身体各構成物の比率もほぼ等しかった。このことから、柔道選手と成人男子の体重の差としての増加分は全体の比率と同じ比率で増加しているといえる。いわば一般成人男子の体をひとまわり大きくしたのが柔道選手といえるだろう。

柔道選手の上腕の筋断面積は、一般人よりも大きかった。しかし、全断面積に対する筋断面積の占める比率は柔道選手82.2%であり、一般人81.1%とほとんど差はなかった。

また、柔道選手は筋力、筋断面積ともに一般人よりも高い値を示した。

本研究は文部省科学研究費、機関研究「双生児の訓練可能性」および、特定研究「生物圏の動態」の一部として行われたものである。記して感謝の意を表する。

REFERENCE

- 1) Arne Frantzell and Bo E. Ingelmark : Occurrence and distribution of fat in human muscles. Acta Societatis Medicorum Upsaliensis 56 : 58~88, 1951.
- 2) Behnke, A.R., E. F. Osseman, and W. C. Welham: Lean body mass its clinical significance and estimation from excess fat and total body water determination. Archives of Internal Med. 91 : 585~601, 1953.
- 3) Boyd, E.: The specific gravity of the human body. Human Biology. 5: 646~672, 1933.
- 4) Brozek, J., F. Grande, J. T. Anderson and A. Keys: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. Annals New York Academy of Sciences 110: 113~140, 1955.
- 5) Edward, D. A. : Observation on the distribution of subcutaneous fat. Clin. Sci. 9: 259~270, 1950.
- 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. & T. Fukunaga : Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol. 26, 21~32, 1968.
- 8) 猪飼道夫, 森下はるみ, 正木健雄 : 日本人青少年の相対成長に関する研究, 体育学研究, 4 (1), 1959.
- 9) 菊池喜充, 金子仁郎, 他 : 超音波医学. 日本超音波医学会編. 医学書院, 1966.

- 10) Maresh, M. M. : Bone, muscle and fat measurements. Longitudinal measurements of the bone, muscle and fat width from roentgenograms of the extremities during the first six years of life. Pediatrics 28: 971~980, 1961.
- 11) 松井秀治 : 身体重心の測定, 体育の科学社, 1958.
- 12) Novak, L. P. : Age and sex differences in body density and creatine excretion of high school children. Annals of the N. Y. Academy of Sciences, 110: 545~577, 1963.
- 13) 岡本竜馬 : 上膊部の「レ」線学的研究, 金沢医理学叢書, 23: 1~41, 1953.
- 14) 鈴木慎次郎 : 本邦人における腹部脂薄厚度の性的並びに年令的差異に就いて, 労働科学研究, 16(9): 34~53, 1939.
- 15) W. Braune, O. Fischer : Ueber den Schwerpunkt des menschlichen Körpers mit Rücksicht auf die Ausrüstung des deutschen Infanteristen. Abhandl. d. Mathem. Naturw. Klasse. d. Königl. Sacho. Akad. d. Wissensch. 15, 1889.
- 16) Welham, W. C. and A. R. Behnke: The specific gravity of healthy men. J. A. M. A. 118(7): 498~501, 1942.