

生体比重測定からみた鍛練者、 非鍛練者の体力科学的分析

The Meaning of the Specific Gravity on the Physical Fitness

酒井敏夫・竹中玉一・中西信行
佐藤良雄・須藤務基†

Toshio SAKAI, Tamaichi TAKENAKA, Nobuyuki NAKANISHI
Yoshio SATO and Muki SUTO*

SUMMARY

By use of the measuring of the body capacity, the specific gravity of the human was studied. The apparatus for measuring of the body capacity for the purpose of the present study was modified. The subjects were 171 boys and 189 girls in the public school, high school and college.

The age showing the maximum value of the specific gravity on the process of the development was 15 years old in boys and 11~12 years in girls simultaneously. The temporary decrease of the specific gravity at 17~18 years old would result from the influence of the study for the entrance examination against the physical growth.

In this paper, it was particularly emphasized that the examination of the specific gravity on sportmen was useful for the judgment of the training effect.

緒 言

生体計測としての体重が生体の形態的・機能的意義の判定に用いられてきた歴史は、古いし、また体重を基準とした指数の利用もしばしば行われてきた。生体計測を単なる形態的面からの観察ではなく、生体そのものの質的、あるいは機能的面からの検討をするにあたって、体構成のうち直接代謝面にのみ関与する脂肪組織を除いた非脂肪組織の重量、すなわち実質組織が問題となる。

生体を体構成の上から観察するとき、脂肪組織、非脂肪組織及び生体内電解質容積の測定が対象となろう。この問題に関しては、Fidanza, Keys & Anderson (7), Rathburn & Pace (9), Keys & Brozek (8), Siri (10), Bendell, Marshall, Du Bois & Harris (2), Thomas, Lim & Ulrich (20) 等の極めて詳細な研究が報告されている。

脂肪量の推定には体全体の比重から求めようとした試みがあり、このような生体比重測定は、Stern (11), Spivak (12), Behnke, Feen & Welham (1), Rathburn & Pace (9)

† 保健体育学教室 (Dept. of Physical Education and Health)

* Yokohama National University.

等によって行われてきた。現在も、これらの研究成果の基礎に立って生体比重測定から体構成の生理学的、病理学的意義が再検討されようとしている。

体比重測定の方法には、多くの問題点が未解決のまま残されているが、体比重については、年齢、性によって差異があることは認められている。すなわち、体比重は年齢と共に脂肪の増加に伴い低下、また男子は女子に比し体比重が大きい(8)、体位評価にあたっては、鍛練者、非鍛練者の間に、脂肪組織および非脂肪組織の容積比に差異が認められ、体比重検討が行われてきている。鈴木、長嶺(13)、(14)等は、鍛練度の高い者は体密度が高く、非脂肪組織容積が大きいと報告している。彼等は、さらにこの問題を **Kaup** 指数および **Verveck** 指数との関係から体密度の意義について検討を行っている。このように体構成の観察方法の一つとして体比重測定が、近時体力科学の分析法として注目をあびるようになりつつある。

従来の研究結果は、主として成人を対象としたものが大部分であったが、最近広い観点から体構成に関する研究が **New York Academy of Sciences (1963)** でとりあげられた。われわれは、1961年より学令期にある成長期および身体鍛練期にある青少年を対象として、体比重の測定を行ってきたので、その概要を報告する。本報告の一部は、第15、16回日本体力医学会および第12、13回日本体育学会に発表された(15)、(16)、(17)、(18)。

実験方法並びに測定対象

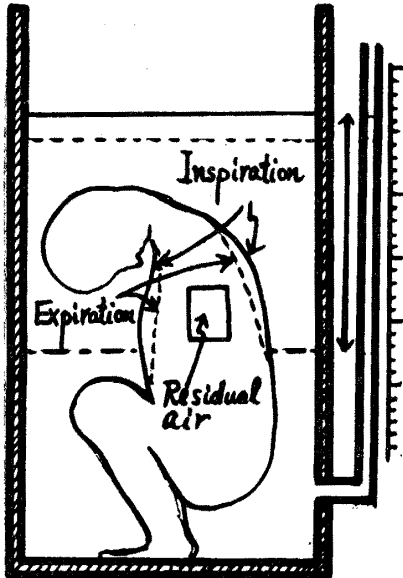
生体そのままの体比重の測定は、原理的には“**Archimedes**の原理”に基づいて行われる。すなわち、空気中での重量(M_a):体容積(V_b)比である。この際、重量測定には問題がないが、体容積測定になると技術的に困難さが伴う。これは、一つの方法として、 $V_b = (M_a - M_w) / D_w$ (D_w :測定時の水温における水の密度、 $M_w = M'_w + D_w \cdot V_r$ 、 M'_w :水中での見掛の重量、 V_r :肺、気道中の残気量によって排除される水容積)の計測が必要である。残気の定量には、**Helium gas**の吸入法によるもの、および**Nitrogen dilution method**等が行われる。

他の方法として、容積既知の気密室中に被験者を入れ、一定量の指標ガスを気密室に均等に混入し、この空気の分析からガス濃度を算出する方法が考案せられている。この方法は、装置の複雑さ、並びに誤差が大きいとされている。

われわれは、第一法の原理を使用したものであるが、水中での重量測定には特殊平秤の必要性和、これを使用計測中は、一定重量のおもりを装着して、被験者を一定時間水中に浸没させるという困難さが伴った。従って、以下に述べる如き簡便容積法をとらざるを得なかった。また、恒温室を持たない実験室、およびプールサイドで測定を行わねばならないため、適度の水温保持の困難さ、さらに多くの被験者を短時間内に測定する必要性もあったので、本報告の如き方法を採らざるを得なかった。

水槽には、底面積 4200 cm^2 ($60 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$)、高さ 100 cm の木製槽を用い、水面の移動観察を行うため、直径 3 cm の硝子管を水槽外側に装着した。水面移動に伴う硝子管内の水面表面張力を考慮して、上述の如き直径の硝子管を使用したのである。水槽における

Scheme for measuring the
Volume of the body.



Calculation of Specific Gravity

Weight of the body in air	59.5 Kg
Volume of the body in water completed expiration	56750.0 cc
Vital capacity by spirometric measurement	4133 cc
Volume of the Residual (Vital capacity × 0.30)	1239.9 cc
Volume of the body corrected by residual air	55510.1 cc
Specific gravity = Weight/Volume =	1.070

第1図 体容積測定法及び体比重算出法

水面の移動に伴う、硝子管水位の変動による読みの誤差は次の如くであった。1 mm の読みの誤差で 670 cc の容積差が入りこむことになるので、被験者を水中に没せしめてから、少くとも 1～3 秒以上水中に静止せしめる必要があり、水面の動揺が止んでから 0.2 mm までの計測値が得られるよう慎重に尺度の読みを行った。水中における姿勢は、最大呼気を行ってから、前かがみ、膝屈の状態水中に没するようにさせた。この前かがみ膝屈の姿勢は、水位変化の読みから計算される見掛上の容積変化の誤差を最小限に行なえることが可能であったからである。最大呼気が不十分の時は、水面の動揺が大きい。このような場合は、被験者を一度水中から立たしめ再び上述の如き姿勢で水中に没せしめるようにした。

空中での体重測定を行ってから、体容積の測定を行い、第1図に示したごとき計算法をもって体比重値の算出をした。この場合、たとえ最大呼気をもっても呼吸器の解剖学的構造から残気量の介入がある。Behnke, Feen & Welham 等は、指標ガスを用いて残気量の測定を行い、その結果残気量は肺活量の 29～30% なる値を求めている。従って、われわれは、今回残気量の直接測定は行わなかったが、体容積ならびに体重の計測と同時に、各被験者の肺活量を測定、これより上述の 30% としての残気量を計算、第1図に示したごとき補正を加えた。

皮下脂肪厚は、男女共に臍部横 5 cm の位置で先人が行なったと同様の方法により測定した。握力および背筋力測定は、一般に行われている要領で行い、脚筋力は膝を左右に開き、膝関節を約 90° にまげた姿勢で背筋力計の握り棒を大腿関節部にあて、垂直方向に

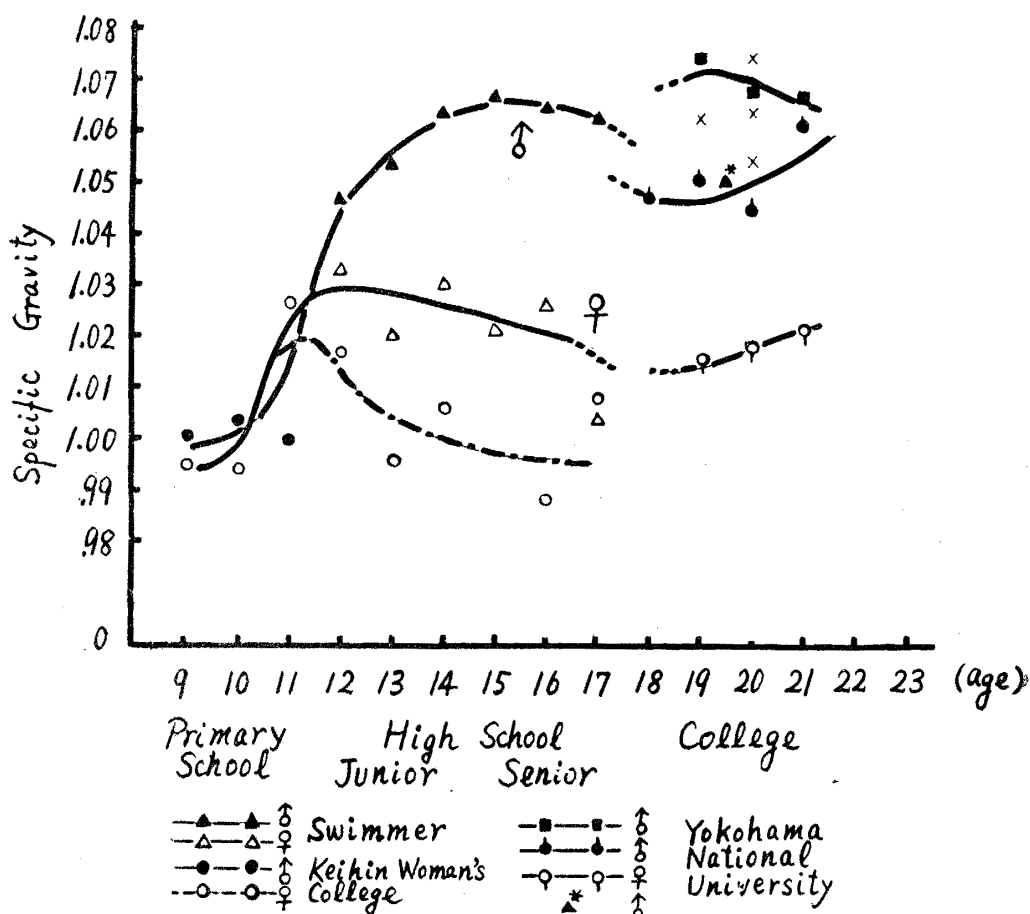
持ち上げる方法をとった。

被験者は、男子 171 名、女子 189 名である。各年令の推移を観察するために、上記の被験者には小学生 28 名、中学生 100 名、高校生 83 名および大学生 149 名をもってした。また、鍛練者の体比重を観察するためには、神奈川県選手権大会出場選手の中・高校生、および大学体育科、水泳部学生を対象とした。大学生の鍛練者の中には、みかけ上肥満型である相撲部員を加えた。この外、体比重と筋力の関係をみる目的には、主として上記大学生を除いた大学生 200 名を対象とした。

実 験 成 績

1) 体比重の年令的变化

体比重の年令的变化は、男女共 11~12 才まで年令の進むにつれて測定値は増大する傾向をとった。それ以後、男子はさらに増加し、15 才で最大値を示すようになる。女子では 11~12 才で最大値に達し、非鍛練者になると体比重値の減少は著明であった。女子鍛練者の場合でも 11~12 才以後は、増加の傾向は余り見られず、徐々に減少する結果であ



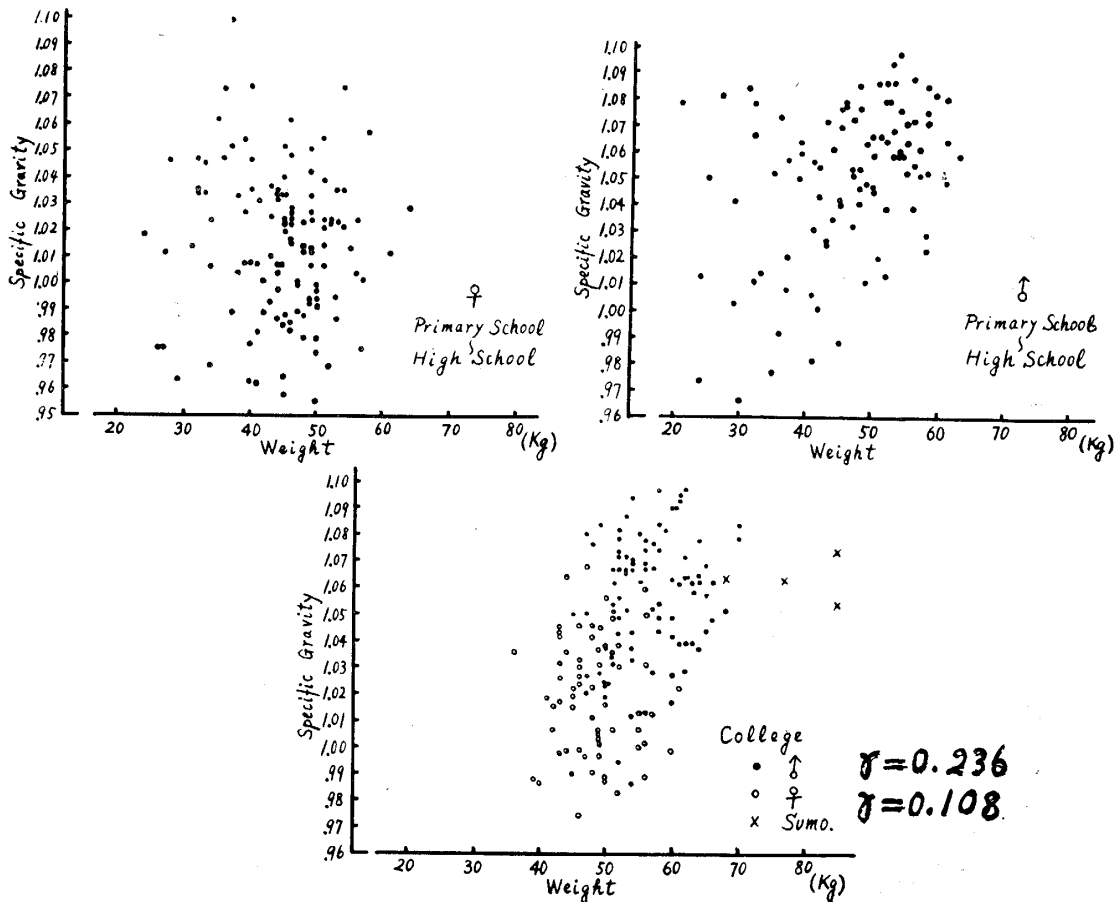
第2図 体比重の年令推移。×：拓大相撲部員

った。大学男子鍛練者（体育科専攻学生）についてみると、入学した当初は、体比重の値が高く、学年の進むにつれて減少する傾向にあった。一般学生は、入学一年次に最小値を示す。これは、高校卒業年次のものに比べ小さい値を示している。しかし、入学後、学年が進むにつれて漸次増加する傾向を示す。上述した鍛練者と認められる体育専攻学生では、最終学年に近づくにつれて一般学生の値に近似してくる傾向が見られた。また、水泳部学生の平均体比重は、一般学生のそれとほとんど差異が認められなかった。

相撲選手では、各被験者の体比重値を年齢推移の上に分布せしめると、大きな個人差が認められたが、その値は概ね上述の体育科専攻学生の値に近かった。

一般女子学生においてはすべてが非鍛練者であるが、上述の一般男子学生にみとめられた傾向と等しく、体比重の絶対値は小さいが、学年の進むにつれてやや増加する傾向にあった。

中・高校の一般女生徒では年齢の進むにつれて体比重の値が減少することはすでに述べたが、この測定対象となった被験者群は特別に体育運動の盛んな学校と思われぬ学校生徒であった。従って、鍛練者としての女子水泳選手が最高値を示すとすれば、今述べてい



第3図 体比重・体重関係

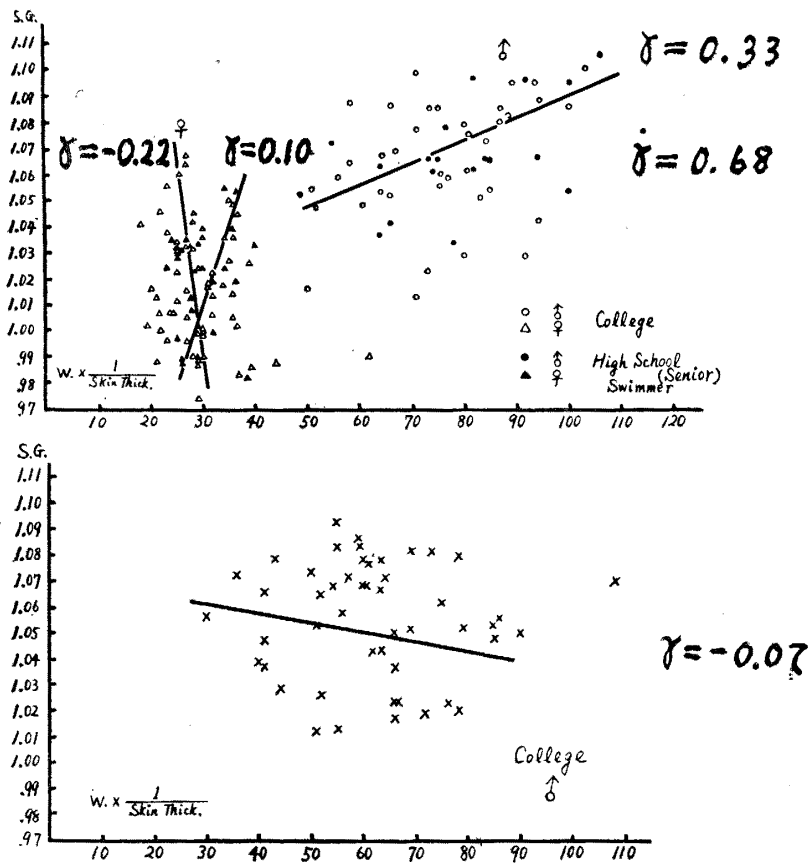
る被験者は最小値を示す群に属するものと考えられる。それ故、同一年令の女子では一般的に上述の両上限、下限の間に分布しているものと認められる。それにしても、男女共に高校生と大学生の境界に一つの谷が形成されていた。

2) 体比重と体重との関係

Welham, Behnke (21) らによると、25 才の男子鍛練者では体重の増加に従って体比重値は減少するという。体比重と体重との関係を小学生から高校生までの男子についてみると、高い相関々係があるとは認められなかった。しかし、女子については体重の増加するに従い体比重は減少する傾向にあるが、相関係数は小さかった。大学生の男子および女子における相関係数は夫々 $r=0.236$, $r=0.108$ であった。

3) 体比重と皮下脂肪厚との関係

体比重と皮下脂肪厚(皮厚)との関係を男女 9~12 才を対象としてみると、被験者数が少いためと、測定に際しての誤差介入のためか有意ある関係は求め得られなかった。しかし、男子、女子共に皮厚 10 mm 以内では体比重と皮厚の間は正相関、10 mm 以上では負相関の傾向が存在するようであった。同様の観察を高校生についてみると、体比重値の大きなものは皮厚が薄く、両者の間に負相関が認められる。大学生においても、上述の高



第4図 体比重—体重/皮厚—関係

校生と同様、いずれも負相関が存在した。

4) 体比重と体重/皮厚との関係

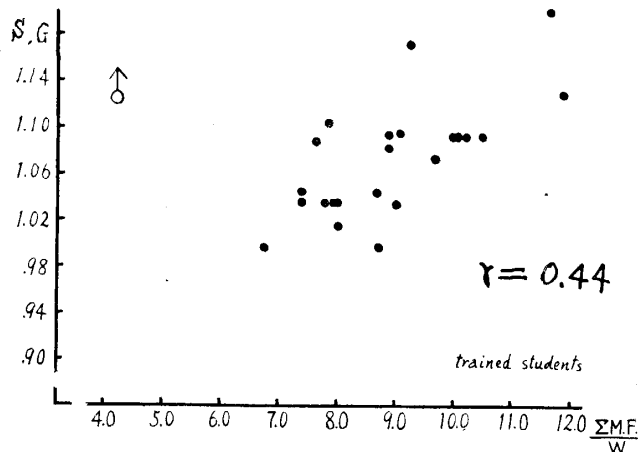
われわれの対象とした体重 70 kg 以下の被験者においては、一般的に体比重—体重の相関性は正、体比重—皮厚の相関性は負の傾向があった。そこで、体比重、体重および皮厚の間にある関係を概観する目的をもって、次のごとき試みを行ってみた。

体比重と体重/皮厚との関係を大学生の鍛練者である体育科専攻学生および高校水泳選手についてみると、両者ともに正相関を示し、夫々相関係数は $r=0.33$, $r=0.68$ であった。

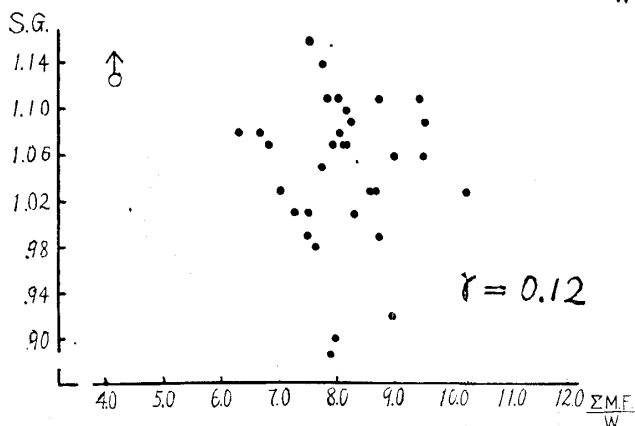
高校女子水泳選手においては男子程高い相関々係はなかったが、相関性は正で相関係数は 0.10 を示した。ところが、一般男子・女子大学生では、いずれも負相関を示し、相関係数は夫々 $r=-0.07$, $r=-0.22$ であった。

5) 体比重と筋力との関係

男子を対象とした場合の体比重と筋力の相関々係は正相関を示し、体比重と皮厚との間



には負相関が成立している。すなわち、体比重の値が大であることは、体構成の非脂肪組織としての骨格筋量が多いことと考えられる。特に脂肪組織の少なくなった鍛練者では骨格筋の充実度が高いことといえる。これに關聯して、長嶺、鈴木 (13) らは、身体充実度の指標である Kaup 指数および Ver-vek 指数との関係を比較して上述の検証を試みている。



われわれも、以上の理由から体比重と筋力の関係を求めてみた。この場合、筋力とは部分的な筋力測定でなしに全身の大筋群である各部位の筋力の総合をもって、その積分量の大きなものを高度に鍛練された筋力の所有者と見做した。すなわち、筋力測定には左右握力、押引力、背筋力および脚筋力を求めその積算値を夫々の被験者筋力とした。かかる場合、全身筋力の大きいことは体重との関係が密接で、体重は鍛練度により増加する

第5図 単位体重に対する全身筋力と体比重の関係。

(A) 鍛練者 (B) 非鍛練者

ことは当然であろう。しかも、有効な筋力の鍛練効果としては単位体重に対する全身筋力をもって示した方が合理的のように考えられる(22)。そこで、ここでいう筋力とは単位体重に対する筋力としての値を筋鍛練度指標として用いた。

単位体重に対する筋力と体重の関係を観察するには、予め鍛練者の選択並びに鍛練度の量的表現が必要であった。鈴木、長嶺等は Kaup 指数, Vervek 指数を用いているが、われわれはあらかじめ過去における体力測定の結果および各運動種目における活動状態から鍛練者群と非鍛練者群に区分した。この区分による鍛練者は非鍛練者に対し、一般的に体比重は大であった。しかし、これをもって直ちに骨格筋鍛練度の高いものと判定することは不可能であろう。そこで、鍛練度の指標として単位体重に対する筋力関係を調べてみた。 $x = \frac{\sum M.F.}{W}$, $y = w$ (w : 体重, $\sum M.F.$: 全身筋力) の間には $y = -ax + b$ (a, b は恒数) の関係があり、鍛練者、非鍛練者並びに性別によって夫々恒数が定まり、群別が可能であった。

このように群別された男子被験者の体比重 $\frac{\sum M.F.}{W}$ 関係を第5図に示した。男子における鍛練者および非鍛練者の夫々の相関係数は、 $r=0.44$, $r=0.12$ で鍛練者において高い相関関係を示している。女子では、何れの群も負の相関を示し、両者間の差異を判別出来なかった。

実験成績に対する考察

今回測定した体比重値は、Behnke, Feen & Welham (1), Rathburn, Pace (9), Keys, Brozek (8), Fidanza, Keys & Anderson (7) 等が推定した脂肪密度、非脂肪密度から算定される値に比べて小さい。鍛練者縦に入る体育科専攻学生の値は、大略 Behnke, Feen & Welham (1) 等が米国合衆国海軍々人を対象とした測定に一致していたが、若年者および非鍛練者群はすべて低い値を示した。実験方法で述べたごとく、測定および算出の上で誤差が入り、精密な測定値を得ることが困難ではあったが、相対値としては利用出来るであろう。

9~11 才の男子における値は、ほぼ類似していたが、一般的にこの年齢層では体比重が成人に比べ小さい。その後年齢の進むにつれて体比重は大となり、特に高校生になると性別の差が顕れてくる。水泳選手になると体比重の増大は顕著となった。これは、内分泌活動の差異による脂肪組織の分配、および鍛練による非脂肪組織の充実度が体比重値の変動をもたらしたものと見えよう。この際、男子では 15 才で最大体比重値を示し、女子ではたとえ水泳選手といえども 12 才で最大値を示し、それ以後では体比重値が減少する傾向であった。女子のこのような年齢的推移は、特別男性化がない限り脂肪組織の増加に伴い、非脂肪組織成分の相対的減少から由来する体比重減少と考えてよからう。

17~18 才の間に体比重値が一時的谷を示した。対象の選択による差異も考慮すべきことであるが、大学入試という心身に大きな影響をもたらす要因のために起ったこと、考え

でも、これはさ程の困難はなかろう。酒井、佐々木 (19) は、大学入試が体位に大きく影響している事実を、本報告の対象である大学生について発表している。体育科専攻学生を除いた一般学生の体比重が学年と共に漸次増加していく傾向は、酒井、佐々木等の体位研究の結果とほぼ一致していた。体育科専攻学生の学年々次と逆比例することは、高校時代に比べ練習量が少く、この練習量の多寡が体比重値に現われたものと考えられる。相撲選手は、皮厚と逆比例して体比重が大きいことは、彼等の非脂肪組織充実度の高いことを示している。

体比重と体重との間には、逆相関があると Welham & Behnke (21) が述べている。しかし、本測定では上述の彼等の結果とは一致しなかった。大学生及び男子中・高校生では特に逆相関があるとは断言出来ない。これは、Welham & Behnke (21) 等の対象とした 25 才以上の成人と、それ以下の年齢層との間に、体構成成分の分布が異なること、あるいは米国人と日本人との栄養摂取法の違いによるものと思われる。

皮厚との間に明らかな逆相関々係が成立し、皮厚が脂肪組織の多寡を示す indicator となることは肯定される。

体重の有する体力的意義を、生体の充実度の部分的表現とするならば、脂肪組織の多寡による体比重の変動に対し体比重分析の一要因として介在していること当然であろう。

そこで、体重/皮厚 と体比重との間における関係を、実験成績の項で述べたごとく試みしてみた。その結果からすると、鍛練度の高い対象には正相関が、鍛練度の低い対象では逆相関があった。すなわち、このような見方をすれば、鍛練度の推移を観察することが可能のよう思われる。

以上のごとく、体重の持つ生体充実度、あるいは鍛練度の軽重を分担する骨格筋の持つ意義が問題となろう。大きな筋力の所有者は、当然骨格筋鍛練者であり、体構成の上では非脂肪組織のまさったものである。この結果は体比重の面にも現れ、 $\Sigma M.F./W$ と体比重の間に正相関があり、非鍛練者群にあっては、この相関性が低いという事実にあらわれている。

摘 要

生体の容積測定から個人の体比重を算出する方法を用い、年齢、性および鍛練者、非鍛練者につき体力科学的検討を行った。

25 才以下の年齢層を対象とした場合、体比重は年令的推移によって変動する。男子では発育の過程で 15 才で最大、女子では 11~12 才で体比重の最大を示した。また、鍛練者は最大値を維持出来るが、非脂肪組織、脂肪組織量の割合で体比重は減少し、鍛練度と相関性のあることを知った。これは、非鍛練者との比較および大学入試準備期間等によって上述の事実が実証された。この外、全身筋力、体重との関係からも理解出来る結果であった。

女子の場合、一般的に脂肪組織の発達のため、男子で認められるような詳細な結果を得るには困難の面があった。

文 献

- 1) Behnke, A. R., B. G. Feen and W. C. Welham: J. Amer. Med. Ass., 118, 495, 1942.
- 2) Bendell, G. N., R. Marshall, A. M. Du Bois and J. Harris: J. Clin. Invest., 35, 336, 1956.
- 3) Boyd Edith.: Human Biology, 5, 646, 1933.
- 4) Brozek, J.: Fed. Proc., 11, 784, 1952.
- 5) Brozek, J., K. R. Chen, W. Carlson and F. Bonzky: Fed. Proc., 12, 21, 1953.
- 6) Brozek, J.: Annals of the New York Academy of Sciences, 110, 1-424 & 110, 425-1018, 1963.
- 7) Fidanza, F., A. Keys and J. T. Anderson: J. Appl. Physiology. 6, 252, 1953.
- 8) Keys, A. and Brozek, J.: Physiol. Rev., 33, 245, 1953.
- 9) Rathburn, E. N. and N. Pace: J. Biol. Chem., 158, 667, 1945.
- 10) Siri, W. E.: Rev. Sc. Inst., 27, 729, 1956.
- 11) Stern, H.: M. Rec., 59, 204, 1901.
- 12) Spivak, C. D.: Arch. Int. Med., 15, 628, 1915.
- 13) 鈴木慎次郎，長嶺晋吉：体力科学，9，449，1960.
- 14) 鈴木慎次郎，長嶺晋吉：第16回日本体力医学総会，1962.
- 15) 酒井敏夫：第15回日本体力医学総会，1961.
- 16) 酒井敏夫：第16回日本体力医学総会，1962.
- 17) 竹中玉一，酒井敏夫他：第12回日本体育学会，1962.
- 18) 酒井敏夫，中西信行：第13回日本体育学会，1963.
- 19) 酒井敏夫，佐々木志郎：The Educational Sciences Journal of the Yokohama National University, No. 2, 79, 1962.
- 20) Thomas, P. K., Lim and Ulrich, C. Luft: Am. J. Med., 30, 825, 1961.
- 21) Welham, W. C. and A. R. Behnke: J. Amer. Med. Ass., 118, 498, 1942.
- 22) Cureton, T. K.: Physical Fitness Appraisal and Guidance, Mosby Co., 1947.