

超音波による皮下脂肪厚の計測 と身体組成に関する研究

横浜国立大学 齋藤 歎 能
(共同研究者) 同 小川 新 吉
同 増田 幹

A Study on the Measurement of Subcutaneous Fat Tissue Thickness to Predict Body Composition by the Ultrasonic Waves

by

Kiyoshi Saitoh, Shinkichi Ogawa, Miki Masuda
Yokohama National University

ABSTRACT

Such various as hydrometry method, kalium method and under water weighing method (UW method) have been used in order to measure body composition. Although UW method is considered as the most reliable method, but needs a large experimental preparations, more simplified methods as skinfold caliper method or ultrasonic waves method (USW method) are frequently utilized to measure fat content and laen body mass.

This study was preparing the formulae for the prediction of body density by means of USW method for adult males and females basing upon our measurement of subcutaneous fat tissue thickness by B-mode* USW to know the objectivity and suitability of USW superior to skinfold caliper method.

The formulae devided from this study follows;

For male $D=1.0885-0.00098X$

For female $D=1.0815-0.00181X$

X indicating the thickness of triceps and subscapula.

* two dimensional display

要 旨

体組成の測定には、hydrometry 法、全K量から求める方法、水中体重により求める方法（水中体重法）などがある。このうち、水中体重法が最も正確であるとされるが、大規模な設備が必要なため、一部では皮脂厚計や超音波による皮脂厚の計測によって、体脂肪量や除脂肪体重が推定されている。

この研究は、Bモード表示による超音波で皮脂厚の計測を行い、皮脂厚計による計測（Caliper 法）以上の客観性や妥当性を裏付けたうえで、成人男女の体密度推定式を求めるものである。

体密度推定式は、以下のとおりである。

$$\text{男子 } D = 1.0885 - 0.00098X$$

$$\text{女子 } D = 1.0815 - 0.00181X$$

（Xは皮脂厚，上腕背部+肩甲骨下部）

緒 言

皮下脂肪厚（以下、皮脂厚とする）は、栄養状態や健康状態を推察する重要な指標であり、皮下脂肪量の多寡は、肥満の判定に用いられる¹⁾。

体脂肪量（以下、Fat 量とする）の絶対的計測には、全体液量から求める hydrometry 法、全K量から求める方法などがあるが²⁾、保健やスポーツ科学の分野では、普通、水中体重法（以下、UW 法とする）によって計量されている。

しかし、実際に UW 法によって Fat 量を測定するには、大変な労力と技術を必要とするので、保健の分野では皮脂厚を計測し、脂肪の多寡ないし、肥満の程度を判定しているのが普通である。皮脂厚は体密度と高い相関関係にあり³⁾、皮脂厚から体密度を算出することは、有効であると考えられている。

皮脂厚の計測には、日本では長嶺・鈴木らの考案による、栄研式皮厚計が広く使用されている（Caliper 法）。また、超音波による計測も、猪

飼⁴⁾、勝木⁵⁾、さらに井上²⁾、徳永⁶⁾、石田⁷⁾、近藤⁸⁾らによって、既に研究されている。ところで、skinfold による Caliper 法（Ca 法）では、計測に相等な熟練を必要とするもので、特に計測者が異なると、その正確さは期待できない。だが、超音波による計測（USW 法）は科学的であり、より客観性があるために信頼性が高いと考えられる。

また、現在広く使われている、長嶺・鈴木による体密度推定式（長嶺の式）⁹⁾は、日本人の体位や発育の改善を考えれば、改良されてしかるべきである¹⁰⁾。

そこで本研究は、UW 法により求めた体密度をもとに、USW 法が Ca 法以上に信頼し得ることを裏付け、より正確に、より簡易に体組成を求めようと試みたものである。

なお、これらの結果から、皮脂厚を計測するための専用の Bモード表示超音波装置を試作中である。

研究対象および方法

1. 被験対象

本学学生を中心とした、男子19～23歳の48名、女子19～21歳の32名である。

2. 測定方法

(1) 皮脂厚の計測と体組成の算出

皮脂厚の計測には、栄研式皮厚計と三栄測器社製リニア電子スキャン超音波トモグラフ（トモエース 2H62，周波数 3.5MHz）を使用した。本装置は反射波 Bモードで表示している。

皮脂厚の測定部位は、FAO および WHO による国際合同委員会の推奨による、上腕背部と肩甲骨下部の 2 部位とし、検者 2 名により計測を実施した。なお参考までに、腹部の皮脂厚も計測している。また、USW 法による皮脂厚は、上皮の表面から筋肉の表面までの距離とし、距離計測機能装置を活用して、ポラロイド写真を撮影した。

計測は、1982年9月～1983年10月の間に実施された。

USW 法と Ca 法を用いて計測した皮脂厚から、長嶺の式⁹⁾を用いて体密度を算出した(推定体密度, D)。そして、Dから Brožek らの式¹¹⁾を用いて% Fat を算出し、さらに% Fat から除脂肪体重(LBM)を算出した。これらの式は、以下のとおりである。

成人の場合

男子 $D = 1.0913 - 0.00116X$ ⁹⁾

女子 $D = 1.0897 - 0.00133X$

(Xは皮脂厚, 上腕背部+肩甲骨下部)

$\% \text{ Fat} = (4.570/D - 4.142) \times 100$ ¹¹⁾

$\text{LBM} = (1 - \% \text{ Fat}/100) \times W$ ¹²⁾

W; 体重 (kg)

(2) UW 法による体組成の算出

被験者の肺活量(VC)を肺活量計で測定し、残気量を算出した。測定は2度行い、多い方をその値とした。

そして、水着を着用させた被験者の空気中体重(W)を測定し、次いでプールの中で最大呼息を行わせ、水中体重(UW)を測定した。測定は、水中体重計の針の振れが安定するまで繰り返し何度でも行った。

UW から Goldman の式¹²⁾を用いて体密度を算出し(実測体密度, Db), 前述の式にあてはめて% Fat と LBM を算出した。

$Db = W / \{ (W - UW) / Dw - (RV + VCI) \}$ ¹²⁾

Dw; その水温における水の密度

RV; 残気量 (0.25×VC)

VCI; 体内のガス (100cc)¹²⁾

(3) 回帰式および体組成の算出

USW 法および Ca 法で計測した皮脂厚と UW 法で測定した Db との相関から、USW 法, Ca 法に相当と考えられる体密度推定式(推定式)を最小2乗法により算出して、体組成を求めて比較検討した。

結 果

1. 被験者の身体的特徴とその比較

被験者の身体的特徴は、表1に示すとおりである。

なお、平均身長、平均体重、平均体密度について、分散の比の検定、平均値の差の検定を行ったところ、以下のことがわかった。

身長は、男女とも、長嶺・鈴木の被験者群および同年代の平均的日本人より、有意に高い(p<0.001)。

表1 Physical characteristics of subjects

	Male (n=48)		Female (n=32)	
	\bar{X}	S.D	\bar{X}	S.D
Age (Y)	20.4	0.973	19.7	0.838
Height (cm)	171.4	5.67	160.8	4.63
Weight (kg)	65.1	6.44	51.0	4.73
Underwater Weight (kg)	3.11	0.798	1.76	0.521
*Residual Volume (cc)	1136	135	892	144
Density of Body	1.0701	0.0151	1.0477	0.0107
**Fat Content (%)	12.9	6.05	22.0	4.43
Lean Body Mass (kg)	56.6	6.13	44.0	3.91

* R.V=0.25×V.C

** Fat (%)=(4.570/D-4.142)×100

体重は、男子については両集団より有意に重く ($p < 0.001$)、女子は長嶺の被験者群よりは重い ($p < 0.05$) が、平均的日本人との差は認められない。

体密度は、女子にのみばらつきの多さが指摘された ($p < 0.01$) が、平均値の差に有意差は認められなかった。

平均体脂肪量、平均除脂肪体重については、それらの算出に用いた式が違う⁹⁾ので、比較しなかった¹⁵⁾。

2. 皮脂厚と体密度の相関

USW 法および Ca 法で計測した、上腕背部と肩甲骨下部の皮脂厚と、UW 法により求めた体密度 (Db) との相関を検討した。

USW 法による推定式および相関係数は、

$$\begin{aligned} \text{男子 } D &= 1.0885 - 0.00098X \\ r &= -0.713 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{女子 } D &= 1.0819 - 0.00181X \\ r &= -0.750 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

であった。

(Xは皮脂厚、上腕背部+肩甲骨下部) (図1-1)

Ca 法による推定式および相関係数は、

$$\begin{aligned} \text{男子 } D &= 1.0939 - 0.00132X \\ r &= -0.547 \quad (p < 0.01) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{女子 } D &= 1.0644 - 0.00052X \\ r &= -0.501 \quad (p < 0.01) \end{aligned}$$

であった。(図1-2)。

これらの回帰式は、長嶺の式とは大幅に違っている。

3. 体組成の比較

UW 法で算出した体組成(A)と、Ca 法と長嶺の式から算出した体組成(B)、USW 法と長嶺の式から算出した体組成(C)、前述した推定式から算出した体組成(D)との比較を行ったのが、表2である。

なお、Ca 法で計測される皮脂厚は、皮膚と脂肪の厚さの和を2倍したものである¹³⁾。よって、(C)では、USW 法による皮脂厚を2倍してXに代入した。

男子の(A)は、分散の比について、(B)、(C)、(D)と

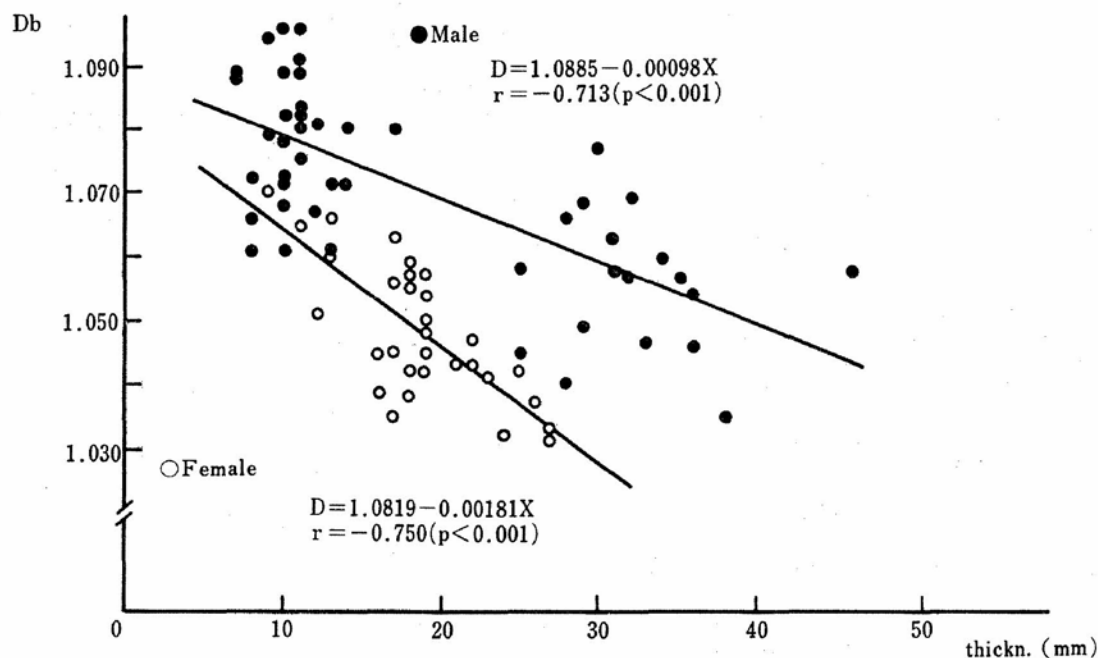


図1-1 Relation between thickness of subcutaneous fat tissue of triceps & subscaplar measured by USW and body density

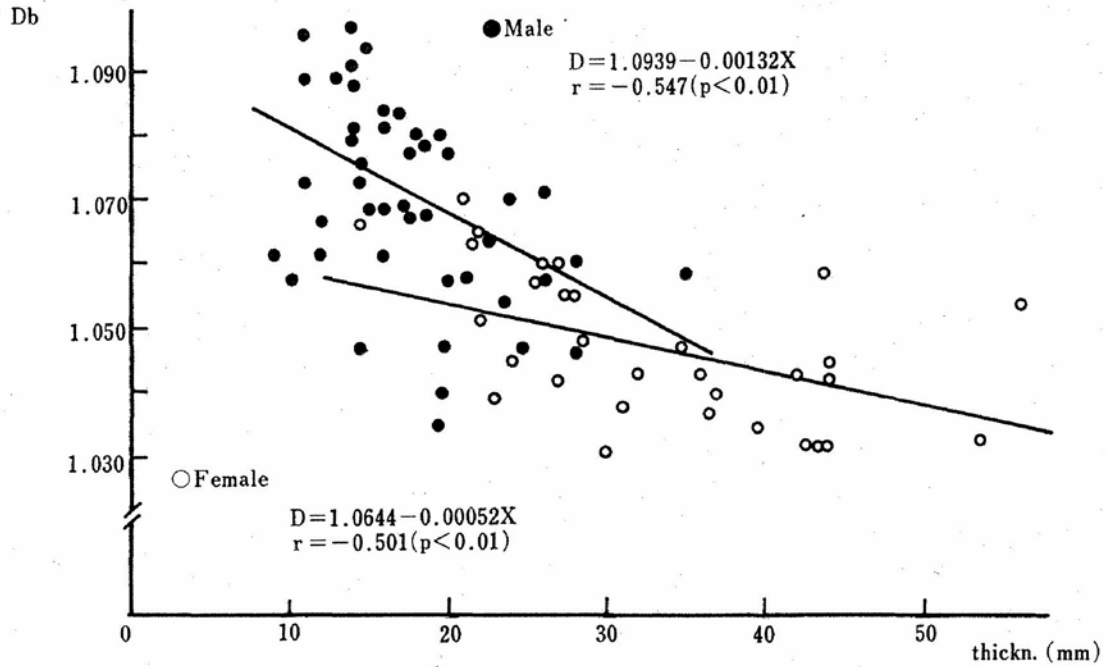


図1-2 Relation between thickness of subcutaneous fat tissue of triceps & subscaplar measured by Caliper and body density

の有意差が認められた。(p<0.01) 平均値の差では、(C)との間に有意差があり (p<0.001), (C)は、水中体重法より求められた(A)より低く評価されていると言える。

女子の(A)は、分散の比についても平均値の差についても、有意差は認められなかった。しかし、危険率を10%まで下げれば、(A)は(C)より大きいと言える。したがって、(C)は、水中体重法より求め

表2 Body composition of subjects

Male (n=48)					Female (n=32)				
		Density of Body	Fat cont. (%)	LBM (kg)		Density of Body	Fat cont. (%)	LBM (kg)	
A	\bar{X}	1.0701	12.9	56.6	A	\bar{X}	1.0477	22.0	44.4
	SD	0.0151	6.05	6.15		SD	0.0107	4.43	3.92
B	\bar{X}	1.0704	12.4	56.8	B	\bar{X}	1.0470	22.4	44.1
	SD	0.0073	3.29	4.71		SD	0.0136	5.72	3.20
C	\bar{X}	1.0507	22.2	50.4	C	\bar{X}	1.0433	23.9	43.4
	SD	0.0249	10.8	7.13		SD	0.0094	3.92	3.58
D	\bar{X}	1.0701	12.9	56.7	D	\bar{X}^1	1.0477	22.0	44.0
	SD	0.0107	4.31	5.31		SD	0.0080	3.34	3.53

A: Using Underwater Weighing App.
 B: Using Caliper by Nagamine's Formula
 C: Using USW by Nagamine's Formula
 D: USW Formula

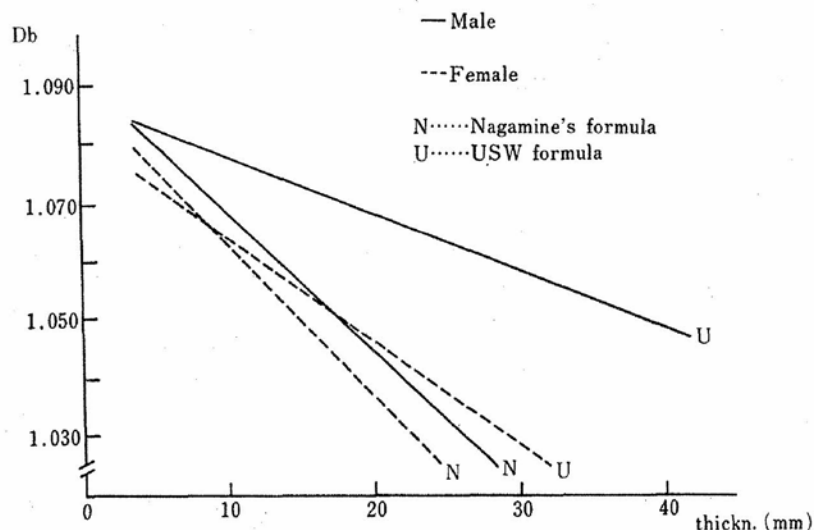


図2 Relation between thickness of skin of triceps & subscapular and body density

られた(A)より低く評価される傾向にあるというわれわれの仮説は、簡単には捨てられない。

4. 推定式の検討

図2は、皮膚の表面から筋肉の表面までの距離を横軸にとり、USW法による推定式と長嶺の式とを比べてみたものである。

なお、横軸の関係上、長嶺の式は、傾きが2倍されている。これは、両式が異質のものであることを明らかにしている。

考 察

日本人の青年期における体密度 (Db) の標準値は、男子では1.07前後、女子では1.04前後であると考えられている¹⁰⁾。本研究・結果の1.によると、男子は1.0701で、ほぼ一致する。ところが女子では1.0477でやや値が高い。これは、被験者群の選び方に、若干問題のあることが考えられる。しかし、長嶺らの研究は、22年前のものであり、また、佐藤の研究も8年前に実施されていることから、食生活の変動や発育発達の度合いを考慮すれば、その間における日本人の体位に差位が現れてくるのも何ら不思議でないと考えられる。

結果の2.にある相関係数の比較から、USW法の優位性が明らかである。また、Ca法による推定式と長嶺の式に大幅な差が認められるのは、測定者の差や技術の差に起因するものであると考えられる。つまり、Ca法では同一測定者でなければその体組成を比較することは大変難しいと考えられる。

結果の3., 4. から、USW法で得た皮脂厚を長嶺の式に代入することは適当ではなく、USW法専用の回帰方程式を作るのが妥当と考えられる。

以上の事実より、皮脂厚の計測には超音波による計測が皮脂厚計以上に適しており、本研究の被験者を対象としたUSW法の推定式は、一般の日本人に対しても適応できる可能性があることを十分示唆している。

結 論

健康な、20.4±1.0歳の男子48名、19.7±0.8歳の女子32名を対象として、水中体重法 (UW法) より体密度 (Db) を算出し、USW法、Caliper法で計測した皮脂厚との相関から、より正確な体

組成を求める方法を検討した。また、これらの結果から、皮脂厚計測専用のBモード表示による超音波装置を開発している。

(1) UW法より算出した体密度(Db)の平均は、男子は1.0701、女子は1.0477であり、% Fatのそれは、男子12.9%、女子22.0%であった。これは、一般的な日本人の従来の体組成¹⁰⁾と、差異は認められなかった。

(2) USW法で計測した皮脂厚とDbとの相関は、男子 $r = -0.713$ 、女子 $r = -0.750$ であった。また、Caliper法によるそれは、男子 $r = -0.547$ 、女子 $r = -0.501$ であった。したがって、USW法は、Caliper法に比べ、優れた計測方法であると思われる。

(3) USW法に適当な推定式を検討したところ、

$$\text{男子； } D = 1.0885 - 0.00098X$$

$$\text{女子； } D = 1.0819 - 0.00181X$$

(Xは皮脂厚；上腕背部+肩甲骨下部)

であった。

(4) この推定式から算出した体組成(D)は、水中体重法より算出した体組成(A)はもちろん、従来の方法から算出した体組成(B)と比較しても大きな差はないように思われる。したがって、この推定式は、十分信じ得られるものであると考えられる。

文 献

- 1) 湊谷昭夫；水相分析より測定せる生体総脂肪量、ならびにこれと皮厚および臨床諸検査成績との関係について、東北医誌，71，275～296 (1975)

- 2) 井上 博，宮川勇生，森 憲正；女性腹部皮下脂肪厚の測定，第2回肥満研究会記録，139～143 (1980)
- 3) 長嶺晋吉；皮厚の測り方と意義，臨床医，2(4) (1976)
- 4) 猪飼道夫，福永哲夫；身体組成の研究(Ⅲ)，体育の科学，17(2)71～76 (1967)
- 5) 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)
- 6) 徳永勝人，石川勝憲，松沢佑次，三木 均，垂井清一郎；ヒト肥満症の脂肪組織に関する研究，第2回肥満研究会記録，144～148 (1980)
- 7) 石田良恵，角田直也，金久博昭，福永哲也；体肢における皮下脂肪厚の分布(超音波による測定)，日本体育学会第34回大会号，4028 (1983)
- 8) 近藤正勝，池川繁樹，矢田秀昭，角田直也，金久博昭，福永哲也；相撲選手と一般成人の体肢組成の比較，日本体育学会，第34回大会号，4029 (1983)
- 9) Nagamine, S and Suzuki, S; ANTHROPOMETRY AND BODY COMPOSITION OF JAPANESE YOUNG MEN AND WEMEN, *Human Biol.*, 36, 8 (1964)
- 10) 佐藤光毅；日本人のBody Fat Massに関する研究，体力科学，24，134～150 (1975)
- 11) Brožek, J. Grande, F. Anderson J.T. and Keys, A.; Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110, 113～140 (1963)
- 12) 大槻文夫；Body Composition 体組成，体育の科学，26(7)，542～545 (1976)
- 13) 北川 薫；身体組成，体育の科学 28(7)473～478 (1978)