

原 著

体脂肪率測定法の評価

長尾憲樹¹⁾ 矢野博巳¹⁾ 矢野里佐¹⁾ 松枝秀二²⁾

川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科¹⁾

川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科²⁾

(平成7年4月19日受理)

Estimation of Percent Body Fat by Several Methods

Noriki NAGAO¹⁾, Hiromi YANO¹⁾, Risa YANO¹⁾ and Shuji MATSUEDA²⁾

*Department of Health Sports Sciences¹⁾
Faculty of Medical Professions
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-01, Japan
Department of Clinical Nutrition²⁾
Faculty of Medical Professions
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-01, Japan
(Accepted Apr. 19, 1995)*

Key words : skin fold, near infrared spectroscopy, bioelectrical impedance, underwater weighing, gas dilution method

Abstract

The first purpose of this study was to estimate the prediction of percent body fat (% BF) by near infrared spectroscopy (NIR), bioelectrical impedance (BI), skin fold (SF), and underwater weighing (UW) serving as the criterion in 54 female students. Low correlations were noted between NIR and UW ($r=0.396$), and BI and UW ($r=0.444$), and SF and UW ($r=0.672$). There was significant overprediction of %BF (8.8% by NIR, 4.5% by BI, 2.5% by SF, respectively) between means of the three methods and that of the criterion. Continued research with expanded subjects is needed to get accurate prediction equations.

The second purpose of this study was to evaluate the validity of gas dilution method (GD) for the assessment of percent body fat in 34 male and female students. The body volume (BV) measured by GD was correlated highly ($r=0.999$) with that measured by

UW. However, BV by GD was significantly larger than that by UW. The correlation ($r=0.877$) was between predicted %BF by GD and %BF by UW. It is suggested that GD may provide meaningful estimates of body volume in those subject who cannot submerge underwater.

要 約

本研究の目的は、54名の女子学生について近赤外線法、インピーダンス法、皮脂厚法による各体脂肪率と、基準となっている水中体重法による体脂肪率との関係を検討することであった。近赤外線法と水中体重法($r=0.396$)、インピーダンス法と水中体重法($r=0.444$)、皮脂厚法と水中体重法($r=0.672$)と弱い相関であった。そして、各々の測定法は、水中体重法よりも平均値で8.8%、4.5%、2.5%過剰に体脂肪率を評価した。被験者数を増やして、正確な推定式の開発が必要であると考えられる。

本研究の次の目的は、34名の男女学生について、ガス希釈法での体脂肪率測定値の妥当性を検討することであった。ガス希釈法で得られた体容積と水中体重法で得られた体容積との相関係数は、 $r=0.999$ と非常に高かった。しかしながら、ガス希釈法による体容積が水中体重法よりも有意に高値を示した。ガス希釈法により推定された体脂肪率と水中体重法による体脂肪率との相関は、 $r=0.877$ であった。ガス希釈法は、潜水できない被験者に対して精度の高い体容積評価法となることが示唆された。

緒 言

成人病予防、肥満児の問題、運動処方、食事療法、運動選手の健康管理などの領域において、肥満を正確に判定することは重要である。従来から肥満の判定としては、身長、体重を使ってのローレル指数、Body Mass Index (BMI)、Brocaの桂変法等、あるいは、性別、年齢別を加えての標準体重判定表が広く用いられてきた。しかし、これらの体格指数、標準体重を基準とすることには限界がある。過体重の中でも筋肉量の多い場合と過剰な脂肪の蓄積を伴った場合を判別し、特に体脂肪率を指標とすることが必要不可欠と考えられる。

体脂肪率の測定は、わが国において簡易法としてCaliperによる皮下脂肪厚から求める方法、局所に近い近赤外線を照射して吸収スペクトルから求める方法、身体に微電流を伝導させた際の抵抗値から求める方法等が多用されている。一方、基準として用いている水中体重測定法は、アルキメデスの原理により体容積を測定し、体密度を計算して Brožek¹⁾あるいは Siri²⁾の体脂肪率推定式より求められている。本研究の一つ

の目的は、上記簡易体脂肪率測定法と水中体重測定法の相関を検討し、互換性を確認することである。

さらに、基準法としての水中体重測定法は、潜水が伴う限り、幼児、子供、高齢者、身障者、病人等には不可能である。最近、被験者に苦痛を与えることなしに、容易に体容積を測定できるガス希釈法が開発された。このガス希釈法についても検討を加えた。

方 法

実 験 I

被験者は、19—20歳の体育系の女子短期大学生54名で、その身体特性は表1の如くであった。

○水中体重測定法

(Underwater Weighing : UW)

被験者を、12時間以上の絶食後、早朝の体重測定をし、水温35—37℃の水槽の中で最大呼息位で数秒間潜水し、ロードセル(MGF-250 : 新光電子)を用いて水中体重を測定した。3回の測定のうち、最大の値を使用した。また、第2実験では、ロードセル(LT-50KG : 共和電子)を使用した。残気量は、肺機能測定装置(CHES-

表1 実験Iの被験者特性

	女性
	平均値±標準偏差 (レンジ)
人数	54
身長 (cm)	160.0±5.0 (149.1-170.0)
体重 (kg)	54.73±4.85 (45.0-68.0)
BMI	21.4±1.6 (17.9-24.8)

BMI : Body Mass Index

表2 実験IIの被験者特性

	男性	女性
	平均値±標準偏差 (レンジ)	平均値±標準偏差 (レンジ)
人数	16	18
身長 (cm)	168.9±6.0 (158.1-178.2)	159.3±5.2 (149.0-166.0)
体重 (kg)	67.14±7.08 (56.64-76.20)	55.76±10.21 (43.14-83.64)
BMI	23.5±1.9 (19.1-26.9)	21.9±3.3 (18.3-30.9)

BMI : Body Mass Index

TAC-11 : チェスト社)を用いて、ヘリウム希釈法により測定した。また, McArdleら³⁾の考え方を参考にして、不確定な要因としての腸内ガスは計算に入れなかった。以上より、体容積を求め、体密度を計算し、Brožekの式²⁾にて体脂肪率を得た。

○インピーダンス法

(Bioelectrical Impedance : BI)

インピーダンス法は、四極法によるインピーダンスファットメーター (SIF-891 : Selco社)を用いた。出力電流は800μA、安静仰臥位において、右手、右足間のインピーダンスを計測した。インピーダンスから身体密度を求める方法として、中塘らの式⁴⁾を用いて計算し、その値をBrožekの式²⁾に代入して体脂肪率を求めた。

○近赤外線法

(Near Infrared Spectroscopy : NIR)

近赤外線法による測定は、FITNESS ANALYZER BFT-2000 (ケット科学研究所)を用いた。この測定器よりデジタル提示される体脂肪率は、近赤外吸収スペクトル値に身長、体重、身体活動量の変数を加えて、水中体重法による体脂肪率から推定されている。

○皮脂肪厚法 (Skin Fold : SF)

皮脂肪厚法による測定は、栄研式皮脂肪厚計 (Caliper)を用いた。皮脂肪厚は上腕背部と肩甲骨直下を測定し、Nagamine and Suzukiの推定式⁵⁾より体密度を求め、Brožekの式²⁾に代入することにより体脂肪率を求めた。以上の測定を同一の日に行った。

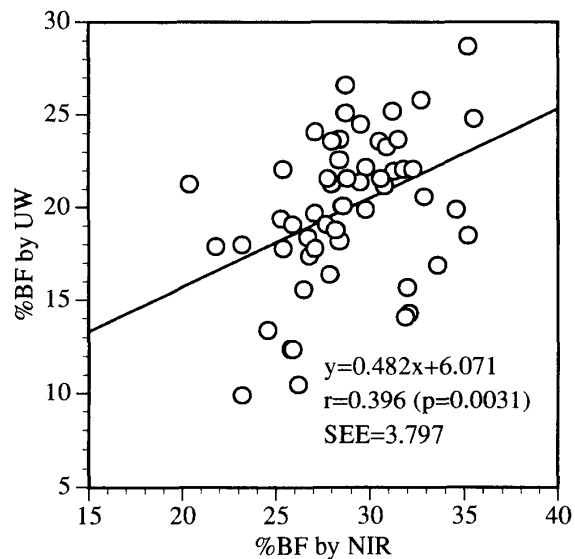


図1 近赤外線法(NIR)による体脂肪率と水中体重法(UW)による体脂肪率との関係

実験II

21-22歳の男性16名と女性18名にて水中体重法とガス希釈法について検討した (表2)。

ガス希釈法は、BSF-200 (島津製作所)を用いた。この原理は、被験者がチェンバーに入って安静呼吸し、一定濃度のSF₆ガスを注入して、空間部分のSF₆の濃度を非分散赤外分析計で測定することによる。さらに残気量の測定は必要ない利点がある。SF₆ガスは、医用ガスとして呼吸機能の判定に用いられ人体に無害である⁶⁾。

一定容積のチェンバー内部で人体の放熱による圧力の影響を受けないように内部のSF₆ガスを還流・攪拌後に、バルブ開放により大気圧と同圧にして測定する方式を採用している。

表3 測定法の違いによる体脂肪率の比較

	近赤外線法	インピーダンス法	皮脂厚法	水中体重測定法
平均 (%)	28.8***	24.5***	22.5***	20.0
標準偏差	3.4	4.6	4.0	4.1

***：水中体重法の平均値との間に $p < 0.0001$ で有意差がある

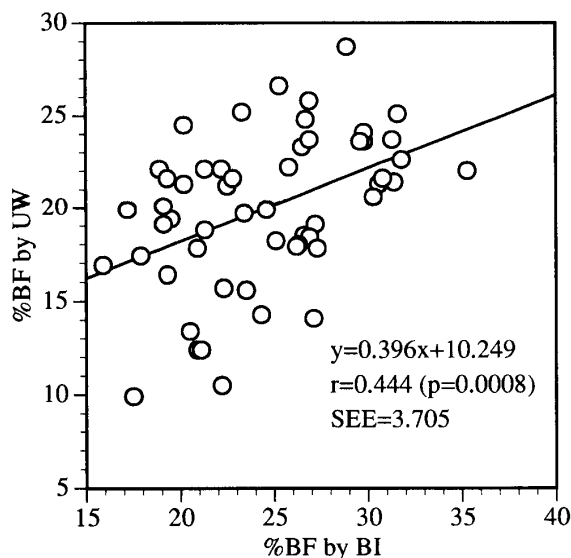


図2 インピーダンス法(BI)による体脂肪率と水中体重法(UW)による体脂肪率との関係

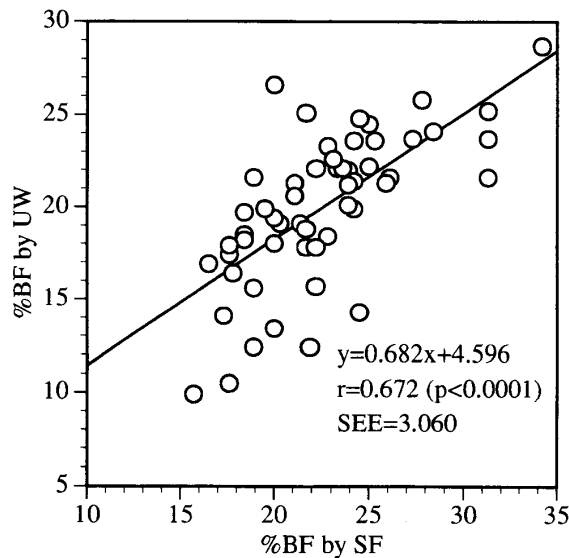


図3 皮脂厚法(SF)による体脂肪率と水中体重法(UW)による体脂肪率との関係

ガス希釈法による測定後、実験 I と同様の条件で速やかに水中体重測定を行った。

統計処理

水中体重法から求めた体脂肪率の値を従属変数とし、他の3つの方法により求めた体脂肪率を独立変数として、回帰分析を行った。また、ガス希釈法と水中体重法の回帰分析も同様に行った。それぞれの体脂肪率の平均値の差の検定、あるいは水中体重法による容積とガス希釈法における体容積の平均値の差の検定には、対応のある t 検定を用いた。

結 果

結 果 1

被験者54名の水中体重法による体脂肪率と近赤外線法による体脂肪率との相関図は、図1の通りであった。すなわち、相関係数 $r = 0.396$ と低い相関であった。

また、インピーダンス法の体脂肪率と水中体

重法による体脂肪率とでは、 $r = 0.444$ の相関係数を示した(図2)。

皮脂厚法の体脂肪率と水中体重法による体脂肪率とでは、 $r = 0.672$ と前者の2つの測定方法と比して高い相関が見られた(図3)。さらに、表3のように、各測定法の体脂肪率とも、水中体重法よりも有意に高値を示した。水中体重法に比して、平均値で近赤外線法は8.9%、BI法4.5%、皮脂厚法は2.5%の差であった。

結 果 2

34名の水中体重法の体容積とガス希釈法の体容積との間には、 $r = 0.999$ の有意な相関が見られた(図4)。一方、ガス希釈法による体容積の方が水中体重法の体容積よりも、平均値の差で1.53 (ℓ) と有意に高値を示した(表4)。そこで、ガス希釈法の体容積を水中体重法による体容積への変換を図4の回帰直線の式より求め、推定値より体密度を計算し、Brožekの式¹⁾から体脂肪率を求めた。この体脂肪率と水中体重法

による相関は、 $r=0.877$ と有意に高い相関を示した(図5)。

考 察

簡易法による体脂肪率測定は、多数の対象を速やかに測定するフィールドワーク等に不可欠である。本研究で用いた近赤外線法は、Conwayら⁷⁾の研究に端を発するもので、体脂肪率との相関が最も高かった上腕二頭筋中央部を測定部位としている。日本人成人女性のデータに関しては、沢井ら⁸⁾は18名の測定結果から水中体重法との相関係数 $r=0.70$ を発表している。

また、インピーダンス法に関しては、Segal⁹⁾、Lukaski¹⁰⁾らによって、身体組成評価に応用された方法である。中塘ら⁴⁾は、日本人の成人女性107名を対象として、体密度の推定式を開発した。そして、別の健康一般成人女性122名を対象とし

て、その体脂肪率は水中体重測定法と $r=0.869$ と高い相関があり、推定式の妥当性が高いことを報告している¹¹⁾。

Caliperを使用した皮脂厚法に関しては、測定の習熟度が測定値に及ぼす影響、測定時における測定部位のズレ、皮下脂肪の摘み具合等の誤差要因が大きいという指摘がある¹²⁾¹³⁾。Nagamine and Suzukiの推定式は、約30年前に考案されたものであり、この実験の際には残気量の実測は行われず、推定残気量を用いている⁵⁾。以上のごとく、3つの体脂肪率測定方法が評価されている。

我々の行った実験結果によると、それぞれの測定方法が推定式を出す際に用いた基準の水中体重法との相関が低く、さらに各測定法による体脂肪率と水中体重法による体脂肪率の平均値に有意に差がみられた。本研究の被験者は体育系の女子学生で均一な集団であったと考えられるが、そのみが相関の低い理由とはならない。このことは、各測定法の推定式の妥当性に問題があることを示唆している。今回検討した3つの方法を使用する場合、互換性はないものと考えられた。今後、被験者数を増し、データを蓄積して妥当性のある推定式の開発が望まれる。

ガス希釈法に関しては、ヘリウムガスを用い

表4 水中体重法とガス希釈法による体容積の平均値との比較

	水中体重測定法	ガス希釈法
平均(L)	62.73	64.30***
標準偏差	6.86	6.62

*** : $p < 0.001$

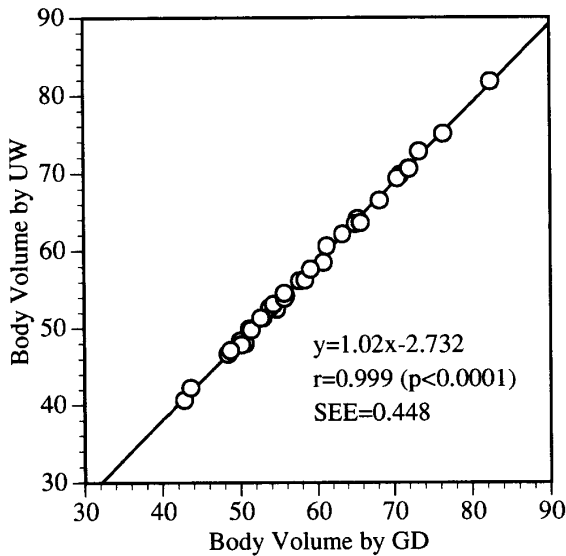


図4 ガス希釈法(GD)による体容積と水中体重法(UW)による体容積との関係

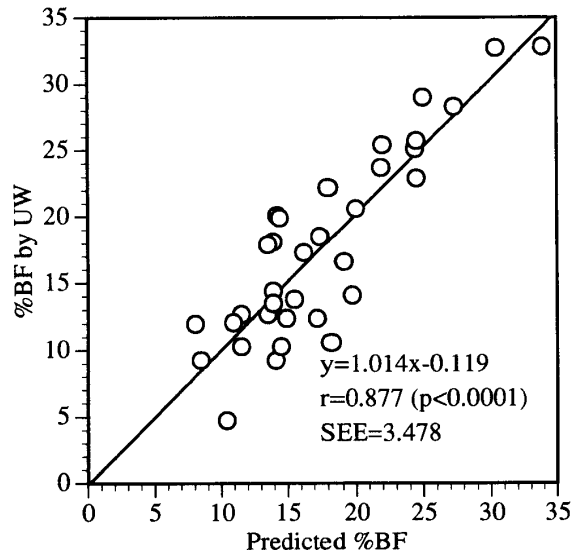


図5 ガス希釈法(GD)による体容積を水中体重法(UW)による体容積に変換して求めた体脂肪率と水中体重法(UW)による体脂肪率との関係

た Fomon ら¹⁴⁾, Gnaedinger ら¹⁵⁾, Halliday¹⁶⁾の研究があるが、熱力学上の問題点、操作法の煩雑さから普及していないのが現状である。実験IIとして行ったガス希釈法 (BSF-200) による体容積は、水中体重法の体容積との間に $r=0.9999$ の非常に高い相関があった。しかし体容積の平均値で、ガス希釈法が水中体重法より 1.53 (ℓ) 多く測定した。これに関して、我々がガス希釈法の前回の装置である BSF-100 を検討した結果によると、被験者の BMI と体容積の差 (ガス希釈法による体容積—水中体重法による体容積) に有意な相関を認めた。この差の理由として、潜水による水圧、体位、最大呼息の影響を考察して報告した¹⁷⁾。今回使用した BSF-200 は、BSF-100 と同様の傾向はめられなかった。BSF-200 と BSF-100 の装置としての相違点は、BSF-200 のチェンバー内の被験者の体容積

に対する空間部分が極端に狭くなり SF₆ の検出感度を上げたことである。人体の放熱の影響を除去できる機構になっているものの、その対策がまだ充分でなく、改良の余地があるものと考えられる。現状では、結果の図5に示したように、ガス希釈法の体容積を水中体重法より得られた体容積に回帰して推定し、体脂肪率を求めざるを得ない。しかし、この方法は、体密度法を基準として行っている我が国において、体密度を直接求められる方法として水中体重法が不可能な幼児、子供、高齢者、身体障害者、病人の正確な判定法となる可能性が考えられる。

ガス希釈法 (BSF-200) の測定に関して多大な協力を頂きました島津製作所生産技術研究所の三谷寿氏、新事業開発部の大野和正氏、中本心氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Brožek J, Grande F, Anderson JT and Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition. *Annals New York Academy of Sciences*, **110**, 113—140.
- 2) Siri WE (1961) Body composition from fluid spaces and density: analysis of method. In: Brožek J, Henschel A, eds. *Techniques for measuring body composition. National Academy of Sciences National Research Council, Washington*, pp223—244.
- 3) McArdle WD, Katch FI and Katch VL (1985) *Body Composition Assessment. Exercise Physiology*. 2nd ed. Lea & Febiger, Philadelphia, pp495—496.
- 4) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭男, 前田如矢 (1990) Bioelectrical Impedance 法による日本人女性の身体組成評価. *体力科学*, **39**(3), 164—172.
- 5) Nagamine S and Suzuki S (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biology*, **36**, 8—15.
- 6) Wagner KD, Saltzman HA, West JB (1974) Measurement of continuous distributions of ventilation-perfusion ratios: theory. *Journal of Applied Physiology*, **36**(5), 588—599.
- 7) Conway JM, Norris KH and Bodwell CE (1984) A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *American Journal of Clinical Nutrition*, **40**, 1123—1130.
- 8) 沢井史穂, 白山正人, 武藤芳照, 宮下充正 (1990) 近赤外線法による体脂肪測定. *体力科学*, **39**(3), 155—163.
- 9) Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J and Van Itallie TB (1985) Estimation of human body composition by electrical impedance method: a comparative study. *Journal of Applied Physiology*, **58**(5), 1565—1571.
- 10) Lukasaki HC, Bolonchuk WW, Hall CB and Siders WA (1986) Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *Journal of Applied Physiology*, **60**(4), 1327—1332.

- 11) 中塘二三生 (1991) Bioelectrical Impedance 法による身体組成評価. 大阪府立看護短大紀要, **13**(2), 129—144.
- 12) 北川 薫 (1991) 皮下脂肪厚とその問題点. 身体組成とウェイトコントロール, 初版, 杏林書院, 東京, pp20—32.
- 13) 小宮秀一 (1991) 身体組成の推定法を考える. *Annals of Physiological Anthropology*, **10**(1), 3—17.
- 14) Fomon SJ, Jensen RL and Owen GM (1963) Determination of body volume of infants by a method of helium displacement. *Annals New York Academy of Sciences*, **110**, 80—90.
- 15) Gnaedinger RH, Reineke EP, Pearson AM, Van Huss WD, Wessel JA and Montoye HJ (1963) Determination of body density by air displacement, helium dilution, and underwater weighing. *Annals New York Academy of Sciences*, **110**, 96—107.
- 16) Halliday D (1971) An attempt to estimate total body fat and protein in malnourished children. *British Journal of Nutrition*, **26**, 147—153.
- 17) Nagao N, Tamaki K, Kutiki T and Nagao M (1995) A new gas dilution method for measuring body volume. *British Journal of Sports Medicine*, in printing.