

10. 男女柔道選手を対象とした皮下脂肪厚からの 身体密度推定式

中京大学 北川 薫, 宮城 修, 桜井 佳世, 松尾 浩世, 寺島 徹,
長谷川 優, 竹内 外夫
千葉工業大学 西林 賢武
東京経済大学 佐藤 行那
井之頭学園 高橋 邦郎
明治大学 手塚 政孝

10. Equations for predicting Body Density from Subcutaneous Fat Thickness in Male and Fe- male *Judo* Athletes

Kaoru Kitagawa, Osamu Miyagi, Kayo Sakurai, Hiroyo Matsuo, Touru
Terashima, Masaru Hasegawa and Hokao Takeuchi (Chukyo University)
Yoshitake Nishibayashi (Chiba Institute of Technology)
Yukitomo Sato (Tokyo Keizai University)
Kunio Takahashi (Inogashira Gakuen)
Masataka Tezuka (Meiji University)

Abstract

This study was designed to develop and validate predictive equations of body density (BD) for *judo* athletes, using anthropometric variables. The subjects were 70 male and 50 female *judo* athletes, ranging in age from 15 to 22 years. The subjects were measured for standing height, body weight, subcutaneous fat thickness (SFT), as well as body composition. Body composition was estimated from densitometry using an underwater weighing method and a pulmonary residual volume measurement. SFT was measured at nine sites on the right side of the body with a B-mode ultrasound portable device (Model SM-206, Seikosha, Inc,

Japan). Using multiple regression analysis, equations to estimate BD were obtained using standing height, body weight and SFT. The effective prediction equation for male BD was:

For Males:

$$\text{BD} = 1.09651 - (0.00093 \text{ chest SFT in mm}) - (0.00042 \text{ abdomen SFT in mm}) - (0.00023 \text{ quadriceps SFT in mm})$$

$$R=0.937, \text{ SEE}=0.0084$$

A cross-validation analysis of this equation for BD correlated highly with hydrodensitometrically determined BD ($R=0.936$, $\text{SEE}=0.0063$).

For Females:

$$\text{BD} = 1.07603 - (0.00057 \text{ abdomen SFT in mm}) - (0.00094 \text{ triceps SFT in mm}) - (0.00094 \text{ quadriceps SFT in mm})$$

$$R = 0.714, \text{ SEE} = 0.0065 \text{ (n} = 50\text{)}$$

This equation was not so effective as the male equation, and not cross-validated because of the short number of subjects. Further research will be required to get a more effective equation

1. 緒言

体重階級制スポーツである柔道では、体重を目安とするが故に選手にとっては二つの問題と絶えず直面しなければならない。一つは選手の体重がしかるべき階級範囲に収まっているか、という問題であり、いま一つはその体重が筋肉に依存するか脂肪に依存するか、という身体組成にかかわる問題である。

前者は測定方法が簡単なために、日常的な管理は比較的容易であり、測定そのものが問題となるとは考えられない。しかし、後者は測定方法が簡便とはいえず、選手や指導者が気に掛けたとしても現実的な対応は難しい。とはいえ、選手の能力発揮と大きく関係する問題であり、かつて北川が報告したように現実的に不適切な事態を生ずる場合がある⁶⁾。そこでは上位の階級にある選手が下位の階級にある選手よりも身体の実質部分である除脂肪体重 (Lean Body Weight: 以下LBW) が少ないというケースがみられた。すなわち、体重階級制故に、脂肪が多いために体重が大きい選手が上位の階級に出場していたのである。このような選手は当然のことながら、動きに役立たない脂肪が多いために上位の階級での勝利は難しいであろう。また、身体組成の概念を十分に理解していない場合には、体重だけを目安にする減量法により選手が体調を崩す例は少なくない。

以上のような問題を解消するには、選手の日常的な管理手段としての簡便で精度の高い身体組成測定方法が不可欠となる。現在行なわれている身体組成の基本となる測定方法のほとんどは密度法である。しかし、この方法はフィールドワークとして簡便に行なえる方法ではない。そこで密度法の間接法としていくつかの方法が普及している。古い歴史があるのはキャリアパー法であり、近年、急速に広まりつつあるのがBI法と超音波法である⁷⁾。いずれの方法にも一長一短があるものの、測定値が具体的であり、検者間の誤差が小さい利点を考え、本研究では超音波法による柔道選手の身体組成推定式を検討することを目的とした。

II. 方法

A. 対象

被検者は年齢が15~22歳の高校および大学の柔道部に所属する男女各50名を身体密度推定式の作成に用いた標本とした。さらに、作成した身体密度推定式の妥当性を検討するための異なる標本として男子20名を cross-validation に用いた。

B. 測定項目

測定は全身の身体組成は水中体重秤量法による密度法、皮下脂肪厚は超音波皮下脂肪厚計を用いて行なった。以上の全測定は1993年2月より1993年7月にかけて行なった。測定手順等の詳細は以下のとおりである。

1) 水中体重秤量法による密度法の測定

被検者は水温が35~37℃に調節された深さ1.5mの水槽に入り、水槽の底に設定した椅子型体重計(エー・アンド・デイ社製 AD-6204型)に腰を掛けて、最大呼出後の状態で水中体重を求めた。そして、肺の残気量を Rahn ら¹⁰⁾の酸素再呼吸法により測定した後に身体密度を求めて Brožek ら¹¹⁾の式を用いて体脂肪率を算出し、体脂肪量とLBWを求めた。

2) 超音波法による皮下脂肪厚

皮下脂肪厚はBモード超音波皮下脂肪厚計(誠鋼社製 SM-206型)を用いて測定した。この装置は超音波周波数が3.5MHZであり探触子は幅20mm、長さ50mmの電子走査スキャンを備えており、断面像を写し出して記録することが可能である。図1にBモード超音波皮下脂肪計と実際の測定風景を示した(この時の測定部位は臍部である)。また、本装置により測定を行う場合は、被検者に楽な状態で起立姿勢をとらせて、検者が水を十分にしめらせた探触子を測定部位の皮膚面に対して垂直に保持し、被検者の皮膚にできるだけ圧力を加えないように軽く触れるように接触させた。その際、被検者が緊張して測定部位の筋肉を過度に収縮しないように十分に注意を与えた。また、測定部位への探触子の接触の向きを縦または横に繰り返し接触させ、筋膜と考えられるエコーを確定した。なお、皮下脂肪の内部に観察されるエコーは脂肪層内にある結合組織であると考えられている¹²⁾。以上の測定法により、超音波皮下脂肪厚計から得られた断面像の記録例を図2に示した。測定部位は胸部、側胸部、臍部、側腹部、上腕背部、肩甲骨下部、大腿前部、大腿後部および下腿後部の9ヶ所であった。胸部は男子が乳頭の上、女子が乳頭と鎖骨の midpoint を結ぶ線上

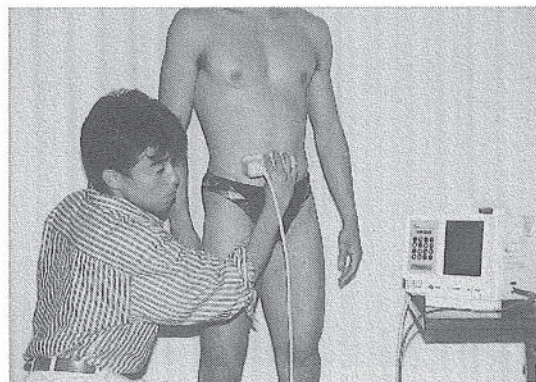
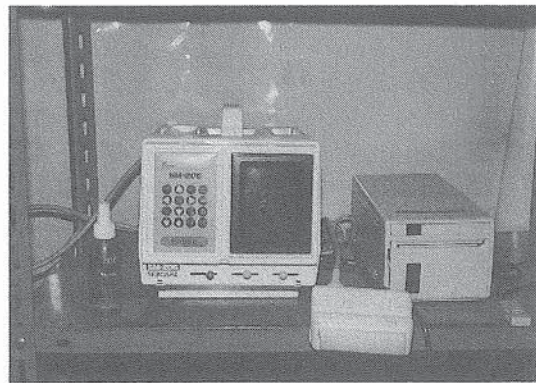


図1 Bモード超音波皮下脂肪厚計(誠鋼社製: SM206型)と測定風景

Fig. 1 B-mode ultrasound portable device (model SM-206: Seikosha, inc., Japan) and measurement scenery

でその中点, 側胸部は中腋窩線で剣状突起の高さ, 臍部は臍の右横1 cm, 側腹部は中腋窩線で臍の高さ, 上腕背部は肩峰点と橈骨点とを結ぶ線の中点でその背側, 肩甲骨下部は肩甲骨下角直下, 大腿前部は腸棘点と膝蓋骨とを結ぶ線上の中点でその前側, 大腿後部は大腿前部での計測点の背側として下腿後部は脛骨点から踵点の間の遠位30%でその背側を1 mm単位で測定した。なお, 全ての測定は右体側部にて行なった。

C. 統計処理

データの統計処理は Pearson の相関分析と対応のある t 検定を用いて行った。身体密度推定式の作成は水中体重秤量法による身体密度を従属変数とし, 皮下脂肪厚を独立変数とした重回帰分析により算出した。そして, 推定精度は重相関係数(以下, R)および推定の標準誤差(Standard

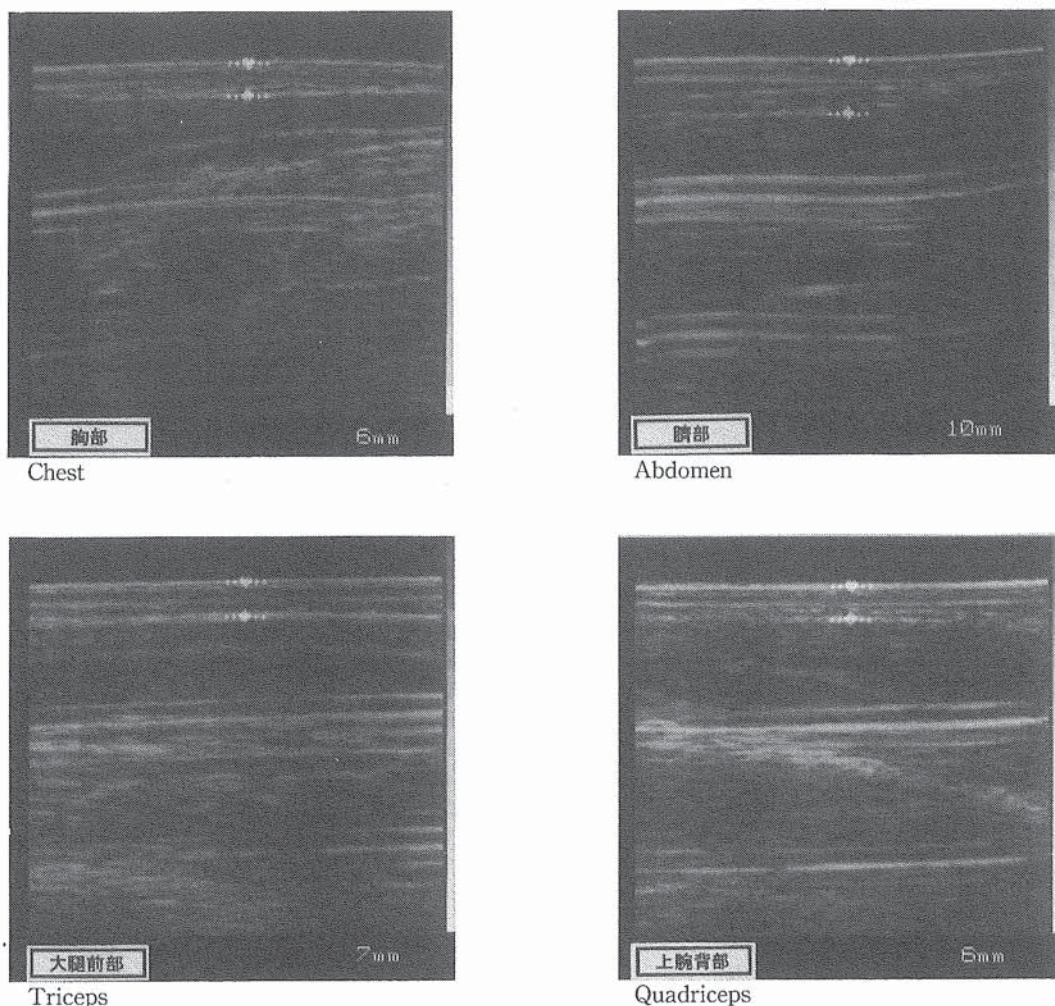


図2 Bモード超音波皮下脂肪厚計(誠鋼社製: SM206型)により得られた断面像
(図中のマーク間が皮下脂肪厚)

Fig. 2 Cross image obtained using B-mode ultrasound portable device (model SM-206: Seikosha, inc., Japan) (Subcutaneous fat thickness is thickness between ♡ mark and ◇ mark.)

表1 身体密度推定式の作成に用いた標本の身体的特徴

Table. 1 Physical characteristics for prediction equation samples

性 Gender	男子 Males	女子 Females
被検者数 (人) Subject (n)	50	50
年齢 (歳) Age (year)	18~22	15~21
身長 (cm) Height	166.9~189.0	149.9~172.0
$\bar{X} \pm SD$	174.5 \pm 5.1	159.7 \pm 5.5
体重 (kg) Weight	60.68~138.86	48.41~71.16
$\bar{X} \pm SD$	86.72 \pm 18.91	58.87 \pm 5.37
身体密度 (g/ml) Body Density	1.0149~1.0888	1.0240~1.0657
$\bar{X} \pm SD$	1.0596 \pm 0.0198	1.0479 \pm 0.0089
体脂肪率 (%) % Fat	5.5~36.1	14.6~32.1
$\bar{X} \pm SD$	17.2 \pm 8.1	21.9 \pm 3.7
体脂肪量 (kg) Fat	3.61~50.13	7.12~19.67
$\bar{X} \pm SD$	16.42 \pm 11.02	12.98 \pm 2.85
除脂肪体重 (kg) LBW	56.10~91.17	38.75~53.30
$\bar{X} \pm SD$	70.40 \pm 8.71	45.89 \pm 3.95

LBW : Lean body weight.

Error of Estimation : 以下, SEE) で示し, 統計上の有意水準は5%とした。以上の計算処理は全て統計処理ソフトウェアパッケージ SPSS/PC (SPSS JAPAN, INC) を用いて行った。

III. 結果

A. 身体組成と形態との関係
身体密度推定式の作成に用いられた標本の身体的特徴は表1, そしてcross-validationに用いられた標本については表2に示した。また, 皮下脂肪厚と水中体重秤量法による身体密度との相関係数を表3に示した。皮下脂肪厚の測定部位の中で水中体重秤量法による身体密度との間に最も高い相関関係を示した測定部位は, 男子は臍部 ($r = -0.866$), そして女子は大腿前部 ($r = -0.612$) であった。

表2 Cross validation 群に用いた男子の標本の身体的特徴

Table. 2 Physical characteristics for cross validation samples

	cross validation 群 cross validation samples
被検者数 (人) Subject (n)	20
年齢 (歳) Age (year)	18~22
身長 (cm) Height	162.7~181.6
$\bar{X} \pm SD$	174.1 \pm 4.8
体重 (kg) Weight	60.95~114.76
$\bar{X} \pm SD$	84.37 \pm 15.89
身体密度 (g/ml) Body Density	1.0211~1.0898
$\bar{X} \pm SD$	1.0566 \pm 0.0174
体脂肪率 (%) % Fat	5.1~35.0
$\bar{X} \pm SD$	18.5 \pm 7.4
体脂肪量 (kg) Fat	3.17~38.33
$\bar{X} \pm SD$	16.57 \pm 9.33
除脂肪体重 (kg) LBW	55.22~84.17
$\bar{X} \pm SD$	67.80 \pm 8.46

LBW : Lean body weight.

表3 皮下脂肪厚と水中体重秤量法による身体密度との相関係数

Table 3 Correlation coefficients between subcutaneous fat thickness and hydrodensitometrically determined body density

測定部位 Measurement site		男子 Males (n=50)	女子 Females (n=50)
皮下脂肪厚 Subcutaneous fat thickness	胸部 Chest	-0.812	-0.446
	側胸部 Side chest	-0.755	-0.478
	臍部 Abdomen	-0.866	-0.605
	側腹部 Side Abdomen	-0.791	-0.508
	上腕後部 Triceps	-0.796	-0.582
	肩甲骨下部 Subscapula	-0.889	-0.508
	大腿前部 Quadriceps	-0.727	-0.612
	大腿後部 Biceps Femoris	-0.627	-0.527
	下腿後部 Medial calf	-0.532	-0.101

n=50 r=0.361 Significant at the 0.01 level

B. 柔道選手の身体密度推定式

柔道選手の身体組成をより適切に推定できる身体密度推定式の作成にあたって考慮した点は、水中体重秤量法による身体密度との相関関係が高い部位を測定部位とすることであった。そして、相関関係が高い部位を組合せることにより得られた身体密度推定式の中から優れた推定精度の推定式を表4に示した。そのなかで最も推定精度が優れている推定式は男子で胸部、臍部および大腿前部の皮下脂肪厚を独立変数に用いた式 ($R=0.937$, $SEE=0.0084$) であった。また、女子は臍部、上腕背部および大腿前部を独立変数に用いた式 ($R=0.714$, $SEE=0.0065$) であった。

C. 本研究で作成した身体密度推定式の cross-validity

本研究で作成した身体密度推定式の妥当性を検討するために、男子の推定式に cross-validation に用いられた標本の測定値を代入した。そして、得られた推定身体密度と水中体重秤量法による身体密度との関係を表5に示した。その結果、作成した身体密度推定式から求められた推定身体密度と水中体重秤量法による身体密度との間にいずれの推定式も有意に高い相関関係が認められ、かつそれぞれの方法から得られた身体密度の平均値の間に有意な差は認められなかった。そして、推定身体密度と水中体重秤量法による身体密度との間に得られた推定精度は身体密度推定式作成時とはほぼ同様な結果 (男子 $r=0.936$, $SEE=0.0063$, 男子の(1)式) が得られた。

IV. 考察

本研究では柔道選手を対象として、できる限り高い推定精度の推定式を作成することを目的とした。一般的に、スポーツ競技者は年間を通じて一定の強度や量のトレーニングを継続して行うことは少ない⁵⁾⁹⁾。また、特に体重階級制で行われる柔道選手は試合において、ある階級範囲に体重を収める必要があるため、年間の各時期において身体組成にかなりの変化が生じていると思われる²⁾³⁾⁵⁾⁹⁾¹¹⁾。そのため、柔道選手の身体組成を高い精度で推定することはトレーニングの効果やシーズン中の身体組成の変化を確かめるうえでも非常に重要なことである。そこで、身体密度推定式の作成条件として考慮したのは、水中体重秤量法による身体密度と相関関係が高い部位を測定部位とすることであった。その結果、男女に共通して選択された測定部位は臍部であった。この臍部での皮下脂肪厚については、福永と金久⁴⁾の相撲選手と一般人肥満者を対象に超音波皮下

表4 柔道選手の身体密度推定式
Table. 4 Equations for predicting body density of judoists

身体密度推定式 (g/ml) Prediction equations		R	SEE (g/ml)
男子 Males			
(n=50)	(1) BD=1.09651-0.00093胸部-0.00042臍部-0.00023大腿前部 Chest in SFT Abdomen Quadriceps	0.937	0.0084
	(2) BD=1.10568-0.00092胸部-0.00230肩甲骨下部-0.00193大腿前部 Chest Subscapula Quadriceps	0.932	0.0086
	(3) BD=1.10162-0.00148胸部-0.00334大腿前部 Chest Quadriceps	0.907	0.0099
	(4) BD=1.08429-0.00087胸部-0.00066臍部 Chest Abdomen	0.899	0.0098
女子 Females			
(n=50)	(1) BD=1.07603-0.00057臍部-0.00094上腕背部-0.00094大腿前部 Abdomen Triceps Quadriceps	0.714	0.0065
	(2) BD=1.07803-0.00118大腿前部-0.00094上腕背部-0.00055側腹部 Quadriceps Triceps Side Abdomen	0.703	0.0066
	(3) BD=1.07208-0.00126大腿前部-0.00070臍部 Quadriceps Abdomen	0.691	0.0067
	(4) BD=1.07468-0.00154大腿前部-0.00070側腹部 Quadriceps Side Abdomen	0.680	0.0067

R ; 重相関係数 Multiple Correlation coefficient

BD, Body density

SEE=推定の標準誤差 Standard error of estimation

脂肪厚計による皮下脂肪厚を測定した報告がある。それによると、体幹に近位な部位ほど皮下脂肪厚の沈着が著しく体脂肪量の増大に伴う皮下脂肪厚の沈着は腹部を中心として生じるとのことである。この福永と金久の結果からしても、男女とも臍部は高い推定精度を求める上では欠くことのできない部位と考えられる。そして、各測定部位の組み合わせにより作成した身体密度推定式の中から相関係数が高く、かつSEEが小さい

表5 作成した身体密度推定式の cross validity (男子)
Table. 5 Cross validity of the prediction equations in this study (Males)

(n=20)		
身体密度推定式 Prediction equations	r	SEE
(1)	0.936	0.0063
(2)	0.904	0.0076
(3)	0.939	0.0099
(4)	0.894	0.0080

r ; Correlation coefficient

SEE ; Standard error of estimation

推定式を選択した。その結果、男子の測定部位は胸部、臍部および大腿前部の皮下脂肪厚(R=0.937, see=0.0065g/ml)、女子は臍部、上腕背部および大腿前部の皮下脂肪厚(R=0.714, SEE=0.0065g/ml)であった。

一方、本研究では作成した身体密度推定式の妥当性を確認するために、作成した男子の推定式に異なる標本の値を代入して検討したところ、表4に示した推定式とほぼ同様な推定精度が得られ、作成した身体密度推定式の妥当性が認められた(表5)。

ところで、作成した身体密度推定式の推定精度は女子が男子に比較して低い結果であった。この原因として、本研究における女子の被検者の階級範囲において重量級の被検者が少なかったこと、また女子は男子に比較して皮下脂肪の分布に個人差が大きいこと⁸⁾などから、女子の推定精度は

男子に比較して低くなったのではないかと考えられる。

V. 要約と結論

本研究は、柔道選手を対象として超音波法による身体密度推定式を作成し、かつ作成した身体密度推定式の妥当性について検討した。その結果、

男子は

$$\text{身体密度} = 1.09651 - 0.00093x_1 - 0.00042x_2 - 0.00023x_3$$

$$R = 0.937, \text{SEE} = 0.0084 \quad (n = 50)$$

女子は

$$\text{身体密度} = 1.07603 - 0.00057X_2 - 0.00094X_4 - 0.00094X_3$$

$$R = 0.714, \text{SEE} = 0.0065 \quad (n = 50)$$

X_1 = 胸部

X_2 = 臍部

X_3 = 大腿前部

X_4 = 上腕背部

が柔道選手を対象とした超音波法による身体密度推定式としてもっとも適切と考えられた。また、男子の身体密度推定式については cross-validity を検討したところ推定式作成時とほぼ同様な推定精度が得られ、高い妥当性が認められた。以上のことから柔道選手を対象として、超音波法により身体組成を推定する場合、本研究で作成した身体密度推定式を利用することが有用であると考えられる。しかし、女子の推定式については、男子のように高い推定精度が得られず、また cross-validity の検討ができなかった。今後、特に重量階級の選手のデータを集め、さらに推定精度を改善していく必要がある。

なお、上記の推定式は誠鋼社製 B モード超音波皮下脂肪厚計 SM-206型に柔道選手用バージョンとして装備され市販化されていることを付記する。

謝辞：本研究の実施にあたっては、関 徹氏、福井博泰氏（名城大学）、柴田光徳氏（愛知学院大学）、大塚義夫氏（三菱自動車名古屋自動車製作所）、田村 猛氏（同朋高校）、石田 三氏、河合孝氏（桜ヶ丘高校）、杉山 拓氏（高浜高校）、佐口耕一氏（安城南高校）酒井武司氏（四日市商業高校）および各校の柔道部員の多大なる御協力を得たことを記し、深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) Brozek, J., F. Grande, J. T. Anderson and A. Keys (1963): Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110, 113-140.
- 2) Coleman, A. E., P. Kreuzer, D. W. Friedrich and J. P. Juvenal (1974): Aerobic and anaerobic responses of male college freshman during a season of basketball. *J. Sports Med.*, 14, 26-31.
- 3) Foster, C., M. Pollock, P. Farrell, M. Maksud, J. Anholm and J. Hare (1982): Training responses of speed skaters during a competitive season. *Res. Quart. Exer. Sports.*, 53, 243-246.
- 4) 福永哲夫, 金久博昭 (1990): 日本人の体組成. 初版, 朝倉書店, 東京, 64-73.
- 5) Hanson, J. S. (1975): Changes in body composition and physique of nordic skiers during a competitive season. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 7, 213-216.
- 6) 北川薫 (1989): 柔道選手と体重, 柔道, 60 (7): 3-6.
- 7) 北川薫, 高見京太, 宮城修, 桜井佳世, 小川勝之 (1993): Health Related Physical Fitness Test

- としての体脂肪量の測定法, *J. J. Sports Sci.*, 12, 655-660.
- 8) 丸山康子, 飯塚幸子, 吉田敬一 (1991): 超音波による日本人青年の皮下脂肪分布の性差. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 10, 61-70.
 - 9) Meleski, B. W. and R. M. Malina (1985): Changes in body composition and physique of elite university level female swimmers during a competitive season. *J. Sports Sci.*, 3, 33-40.
 - 10) Rahn, H., W. O. Fenn and A. B. Otis (1949): Daily variations of vital capacity, residual air, and expiratory reserve including a study of residual air method. *J. Appl. Physiol.*, 1, 725-736.
 - 11) Wright, G. R., T. Bompa and R. J. Shephard (1976): Physiological evaluation of winter training programme for oarsmen. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 16, 22-37.