

原著

## 精度の異なる超音波測定器による皮下脂肪厚測定値の比較

COMPARISON OF MEASUREMENT VALUES OF SUBCUTANEOUS FAT THICKNESS  
BY TWO ULTRASOUND MEASUREMENT DEVICES WITH DIFFERENT PRECISION野口雄慶<sup>\*1</sup>, 出村慎一<sup>\*2</sup>, 中田征克<sup>\*3</sup>, 北林保<sup>\*4</sup>, 南雅樹<sup>\*5</sup>, 野田政弘<sup>\*6</sup>, 松澤甚三郎<sup>\*7</sup>Takanori NOGUCHI<sup>\*1</sup>, Shin-ichi DEMURA<sup>\*2</sup>, Masakatsu NAKADA<sup>\*3</sup>,  
Tamotsu KITABAYASHI<sup>\*4</sup>, Masaki MINAMI<sup>\*5</sup>, Masahiro NODA<sup>\*6</sup>,  
Jinzaburo MATSUZAWA<sup>\*7</sup>

## Abstract

This study aimed to compare the accuracy of measurement values of subcutaneous fat thickness by two kinds of ultrasound measurement devices with different precision.

Subjects were 48 healthy young males (age  $20.6 \pm 1.4$  years, height  $173.2 \pm 5.2$  cm, weight  $67.6 \pm 7.7$  kg) and 33 healthy young females (age  $20.0 \pm 1.4$  years, height  $161.6 \pm 5.7$  cm, weight  $56.3 \pm 4.9$  kg). Subcutaneous fat thickness on seventeen sites was measured twice across the entire body using two types of devices (ALOKA: SSD-900 and ELK: EU-2002B). The former has higher precision than the latter. Trial-to-trial reliabilities of measurement values by ALOKA and ELK devices were very high at over 0.81. No significant differences were found between their measurement values. Significant high correlations ( $r > 0.70$ ) were found in the following 11 items; chest, side of chest, abdominal, suprailiac, anterior region of thigh, triceps, subscapular, posterior region of thigh, biceps, outside of thigh, and inside of thigh. Significant moderate correlations ( $r = 0.40 - 0.70$ ) were found in the following eight items; zygomatic region, tongue bone region, patella region, lower thigh, upper part of back, and under part of back. No significant sex differences were found in any item.

In summary, there were no significant differences between measurement values by ALOKA and ELK devices. We can measure 10 of 11 items, except the subscapular, which show a high correlation, with the same accuracy using the ELK device as the ALOKA device.

**Keywords:** *ultrasound measurement device, subcutaneous fat thickness, measurement precision*

超音波測定器, 皮下脂肪厚, 測定精度

## 1. 緒言

皮下脂肪を測定する方法には, CT法, MRI法, 超音

波法, 近赤外線法, キャリパー法等がある<sup>14)</sup>. 中でも超音波法, 近赤外線法, およびキャリパー法の測定器

\*1 金沢大学大学院自然科学研究科 教育学修士

Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University, M.Ed.

\*2 金沢大学教育学部 教授 教育学博士

Kanazawa University, Faculty of Education, Professor, Dr.Ed.

\*3 防衛大学校 助手 学術博士

National Defense Academy, Assistant, Ph.D.

\*4 米子工業高等専門学校 講師 学術博士

Yonago National College of Technology, Instructor, Ph.D.

\*5 米子工業高等専門学校 助教授 学術博士

Yonago National College of Technology, Assistant Professor, Ph.D.

\*6 仁愛大学 助教授 教育学修士

Jin-ai University, Assistant Professor, M.Ed.

\*7 福井工業大学 教授 教育学士

Fukui University of Technology, Professor, G.Ed.

は比較的安価で、X線などの照射を受けないことから安全性も高い。

キャリパー法は、簡易測定法として広く普及している。しかし、精度の高いCT法やMRI法とキャリパー法による測定値は測定部位によって大きく異なり、測定値の妥当性が問題視されている<sup>5)</sup>。一方、超音波法(Bモード)は、MRI法などと同様に体内の組織を画像で映し出すことが可能で、皮下脂肪層を視覚的に確認できるため、キャリパー法よりも正確に皮下脂肪厚を測定することができる<sup>14,15)</sup>。超音波を利用した測定器の測定精度は様々である<sup>6)</sup>。医療に用いられる測定器は、高価で測定単位が小さく、画像が鮮明に映し出される。一方、安価で画像や測定単位が粗い簡易式の測定器も存在する。精度の低い測定器は、一般に画像が不明瞭で、目盛りの最小単位が粗く、それが測定値に影響する可能性がある。しかしながら、これまで利用されてきたBrożekの推定式に利用される上腕背部、肩甲骨下部、および腸骨上部、あるいは、Wilmore and Behnke (1970)やKatch and McArdle (1973)の推定式に利用される大腿部などの皮下脂肪厚測定部位が、安価な測定器でも正確に測定が可能であれば、実用性の点で有効である。

測定器具の測定精度が、皮下脂肪厚の測定値に及ぼす影響について検討し、測定精度が低くても正確に測定できる部位を明確にする必要がある。さらに、皮下組織の組成は、男女で異なる。測定器の精度が低い場合、皮下脂肪厚が薄い部位は誤差の影響が大きくなると考えられることから、男女の皮下脂肪厚の違いが測定結果に及ぼす影響についても検討する必要がある。

本研究の目的は、各身体部位の皮脂肪厚を精度が異なる2種類の超音波皮下脂肪測定器(アロカ社製、0.1mm単位; エルク社製、0.5mm単位)により測定し、測定器の精度の違いがもたらす測定値への影響を部位別に検討することであった。

## 2.方法

### 2.1.被験者

本研究の被験者は健康な成人男性48名(年齢20.6±1.4歳、身長173.2±5.2cm、体重67.6±7.7kg)、及び女性33名(年齢20.0±1.4歳、身長161.6±5.7cm、体重56.3±4.9kg)であった。被験者には予め実験の方法、主旨について十分説明を行い実験参加の同意を得た。

表1. 超音波皮下脂肪測定値の試行間信頼性

		男子 N=48					女子 N=33				
		1回目		2回目		ICC	1回目		2回目		ICC
		Mean	SD	Mean	SD		Mean	SD	Mean	SD	
アロカ社	頬骨部	3.44	0.87	3.44	0.86	0.97	4.59	0.89	4.57	0.92	0.96
	舌骨部	3.58	0.99	3.60	0.94	0.97	4.63	1.02	4.68	1.09	0.97
	胸部	5.01	2.27	5.06	2.25	0.99	8.21	2.35	8.29	2.35	0.99
	側胸部	4.78	2.08	4.83	2.04	0.99	5.94	2.26	6.02	2.35	0.99
	腹部	6.76	3.38	6.83	3.38	0.99	11.35	4.60	11.46	4.55	0.99
	腸骨上部	4.10	1.95	4.10	1.99	0.99	6.12	1.96	6.14	2.05	0.99
	大腿前部	5.26	1.26	5.28	1.30	0.98	9.09	1.94	9.16	1.93	0.99
	膝蓋部	4.48	1.49	4.51	1.44	0.94	5.66	1.96	5.82	2.06	0.99
	上腕背部	5.13	1.41	5.15	1.41	0.98	7.87	2.38	7.97	2.43	0.99
	肩甲骨下部	5.75	1.72	5.79	1.77	0.98	7.58	2.40	7.41	2.65	0.81
	大腿後部	6.16	2.06	6.13	2.03	0.99	9.25	2.46	9.34	2.42	0.99
	下腿部	4.39	1.31	4.38	1.32	0.98	6.31	1.43	6.38	1.43	0.98
	背中上部	5.43	1.55	5.43	1.58	0.99	7.59	1.72	7.68	1.76	0.98
	背中下部	5.93	1.81	5.97	1.81	0.99	7.18	1.78	7.31	1.78	0.98
エルク社	上腕前部	3.19	1.03	3.23	1.04	0.98	6.38	2.88	6.42	2.86	0.99
	大腿外部	4.61	1.42	4.60	1.45	0.98	10.39	3.77	10.38	3.76	0.99
	大腿内部	7.05	2.54	7.05	2.52	0.99	12.64	3.65	12.72	3.65	0.99
	頬骨部	3.51	0.67	3.54	0.73	0.91	4.41	0.77	4.34	0.78	0.88
	舌骨部	3.60	0.68	3.56	0.70	0.89	4.44	1.03	4.46	1.06	0.96
	胸部	5.21	2.39	5.20	2.34	0.99	8.06	2.59	8.13	2.55	0.99
	側胸部	4.92	1.96	4.91	1.97	0.99	6.29	2.03	6.35	2.13	0.99
	腹部	7.07	3.78	6.98	3.65	0.99	10.46	4.57	10.62	4.67	0.99
	腸骨上部	3.90	1.68	3.99	1.76	0.99	6.05	1.63	6.04	1.57	0.98
	大腿前部	5.15	1.19	5.17	1.16	0.98	9.10	1.67	9.12	1.56	0.98
	膝蓋部	4.67	1.30	4.66	1.32	0.98	5.41	1.43	5.43	1.43	0.94
	上腕背部	5.28	1.27	5.26	1.21	0.97	7.72	1.86	7.75	1.93	0.99
	肩甲骨下部	5.93	1.27	5.97	1.36	0.98	7.71	1.89	7.77	1.99	0.98
	大腿後部	5.89	1.54	5.95	1.58	0.98	8.97	1.86	8.90	2.04	0.93
下腿部	4.51	1.00	4.53	0.99	0.98	6.54	1.29	6.44	1.30	0.96	
背中上部	5.39	1.58	5.40	1.57	0.99	7.75	2.04	7.84	2.06	0.99	
背中下部	6.02	1.81	6.02	1.85	0.99	6.99	1.69	7.00	1.68	0.97	
上腕前部	3.57	1.19	3.59	1.21	0.98	6.54	2.04	6.41	2.10	0.97	
大腿外部	4.82	1.29	4.85	1.31	0.99	9.54	2.82	9.66	2.91	0.99	
大腿内部	7.18	2.30	7.22	2.29	0.99	11.97	2.86	12.18	2.92	0.99	

注)単位;皮下脂肪関係(mm)、ICC;Interclass Correlation

## 2.2.測定器

本研究では、ALOKA 社製超音波画像診断装置 (SSD-900:以後アロカ社), ELK 社製超音波皮下脂肪計 (EU-2002B:以後エルク社) を用いて皮下脂肪厚を測定した。前者は、医療用の高精度の測定器であり、測定の最小単位は 0.1mm, 後者は簡易式の皮下脂肪測定器であり、測定の最小単位は 0.5mm であった。プローブの周波数帯はいずれも 5MHz であった。本研究では、ALOKA 社製の測定器によって得られた測定値を基準値とした。

## 2.3.測定部位

本研究では、各身体部位を代表し、先行研究<sup>1,9,12,15)</sup>で報告されている 14 カ所 (頬骨部, 舌骨部, 側胸部, 胸部, 腹部, 腸骨上部, 太腿前部, 膝蓋部, 下腿部, 上腕背部, 肩甲骨下部, 背中上部, 背中下部, 太腿後部) と, 上腕前部, 太腿内部, 及び太腿外部の計 17 カ所の皮下脂肪厚を選択した。

## 2.4.実験手順

各部位の皮下脂肪厚の測定は、十分に測定練習を積

表2. 両測定器による測定値の平均値、平均値の差の検定結果、及び相関関係

		アロカ (基準値)			エルク			測定値の差 (アロカ-エルク)		t-値	Effct Size	r
		Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	Mean	SD			
男性 N=48	頬骨部	3.44	0.87	25.2	3.52	0.69	19.6	-0.19	0.76	1.67	-0.10	0.28
	舌骨部	3.59	0.97	27.0	3.58	0.68	18.9	-0.10	0.67	0.93	0.01	0.51 *
	胸部	5.03	2.28	45.3	5.20	2.39	45.9	-0.12	1.18	0.68	-0.07	0.88 *
	側胸部	4.81	2.08	43.2	4.91	1.98	40.3	-0.09	1.10	0.54	-0.05	0.77 *
	腹部	6.79	3.40	50.0	7.03	3.75	53.4	-0.12	2.30	0.34	-0.07	0.75 *
	腸骨上部	4.10	1.99	48.5	3.94	1.74	44.0	0.06	1.45	-0.54	0.08	0.72 *
	太腿前部	5.27	1.29	24.5	5.16	1.18	23.0	0.07	1.14	-0.40	0.09	0.57 *
	膝蓋部	4.50	1.46	32.5	4.66	1.32	28.3	-0.23	1.58	0.96	-0.12	0.34
	上腕背部	5.14	1.42	27.7	5.27	1.25	23.7	-0.20	1.01	1.29	-0.10	0.72 *
	肩甲骨下部	5.77	1.76	30.5	5.95	1.32	22.2	-0.19	1.24	1.00	-0.12	0.44
	太腿後部	6.14	2.06	33.6	5.92	1.57	26.5	0.25	1.85	-0.90	0.12	0.50 *
	下腿部	4.38	1.33	30.2	4.52	1.00	22.2	-0.20	1.24	1.07	-0.12	0.45 *
	背中上部	5.43	1.57	28.9	5.39	1.59	29.4	0.18	1.22	-0.97	0.03	0.61 *
	背中下部	5.95	1.83	30.8	6.02	1.84	30.6	-0.16	1.97	0.53	-0.04	0.43
上腕前部	3.21	1.04	32.4	3.58	1.21	33.6	-0.40	1.15	2.29	-0.33	0.49 *	
太腿外部	4.60	1.45	31.4	4.84	1.31	27.1	-0.29	1.18	1.59	-0.17	0.63 *	
太腿内部	7.05	2.55	36.2	7.20	2.31	32.1	-0.05	2.32	0.14	-0.06	0.53 *	
女性 N=33	頬骨部	4.58	0.91	19.9	4.38	0.76	17.5	0.17	0.84	1.11	0.39	0.50
	舌骨部	4.65	1.06	22.8	4.45	1.05	23.6	0.13	1.09	0.67	0.31	0.44
	胸部	8.25	2.39	28.9	8.10	2.60	32.2	-0.03	1.48	-0.09	0.10	0.82 *
	側胸部	5.98	2.34	39.1	6.32	2.11	33.3	-0.42	1.97	-1.19	-0.24	0.61 *
	腹部	11.40	4.65	40.7	10.54	4.68	44.5	0.58	1.75	1.86	0.29	0.83 *
	腸骨上部	6.13	2.03	33.2	5.96	1.71	28.8	0.20	1.36	0.82	0.15	0.74 *
	太腿前部	9.12	1.96	21.5	9.11	1.63	17.9	-0.07	1.23	-0.33	0.01	0.77 *
	膝蓋部	5.74	2.04	35.5	5.42	1.44	26.6	0.20	1.38	1.08	0.29	0.44
	上腕背部	7.92	2.44	30.9	7.74	1.92	24.8	0.18	1.34	0.76	0.13	0.83 *
	肩甲骨下部	7.49	2.44	32.6	7.74	1.96	25.4	-0.34	1.97	-0.96	-0.18	0.60 *
	太腿後部	9.30	2.48	26.6	8.93	1.94	21.7	0.38	1.55	1.38	0.26	0.72 *
	下腿部	6.34	1.45	22.8	6.49	1.30	20.0	-0.19	1.32	-0.80	-0.17	0.54
	背中上部	7.64	1.76	23.0	7.79	2.08	26.7	-0.24	1.88	-0.70	-0.13	0.52
	背中下部	7.24	1.80	24.9	6.99	1.70	24.3	0.19	1.54	0.68	0.23	0.61 *
上腕前部	6.40	2.91	45.5	6.48	2.09	32.3	-0.16	2.32	-0.38	-0.05	0.60 *	
太腿外部	10.39	3.82	36.8	9.60	2.91	30.3	0.69	2.21	1.89	0.37	0.83 *	
太腿内部	12.68	3.71	29.2	12.07	2.93	24.2	0.59	3.10	1.06	0.29	0.58 *	
全体 N=81	頬骨部	3.88	0.83	21.3	3.92	1.04	26.5	-0.04	0.82	-0.18	-0.04	0.61 *
	舌骨部	3.94	0.94	23.9	4.03	1.12	27.9	0.00	0.89	0.35	-0.09	0.61 *
	胸部	6.40	2.83	44.2	6.37	2.79	43.8	-0.04	1.28	-0.54	0.01	0.82 *
	側胸部	5.50	2.12	38.7	5.29	2.24	42.3	-0.24	1.54	-1.29	0.09	0.77 *
	腹部	8.48	4.46	52.6	8.71	4.52	51.9	0.27	1.96	0.71	-0.05	0.83 *
	腸骨上部	4.78	1.97	41.3	4.95	2.22	44.8	0.16	1.33	0.95	-0.08	0.72 *
	太腿前部	6.80	2.38	35.0	6.89	2.48	35.9	-0.02	1.18	0.07	-0.04	0.83 *
	膝蓋部	4.98	1.40	28.2	5.02	1.81	36.1	-0.10	1.40	-0.09	-0.03	0.56 *
	上腕背部	6.29	1.96	31.2	6.31	2.34	37.1	-0.05	1.19	-0.29	-0.01	0.83 *
	肩甲骨下部	6.69	1.83	27.3	6.49	2.22	34.1	-0.26	1.60	-1.29	0.10	0.77 *
	太腿後部	7.17	2.27	31.6	7.47	2.71	36.3	0.29	1.69	1.54	-0.12	0.72 *
	下腿部	5.34	1.48	27.8	5.21	1.67	32.0	-0.21	1.27	-1.34	0.08	0.68 *
	背中上部	6.39	2.14	33.5	6.36	1.96	30.8	-0.01	1.56	-0.44	0.01	0.66 *
	背中下部	6.42	1.83	28.5	6.49	1.91	29.3	-0.03	1.63	-0.07	-0.04	0.54 *
上腕前部	4.78	2.15	45.0	4.55	2.56	56.2	-0.32	1.75	-1.48	0.10	0.77 *	
太腿外部	6.81	3.14	46.2	7.04	3.91	55.6	0.15	1.78	0.73	-0.06	0.80 *	
太腿内部	9.22	3.50	38.0	9.42	4.13	43.8	0.12	2.58	0.71	-0.05	0.78 *	

注)測定単位:皮下脂肪関係(mm)、 $\alpha'=0.05/17$ 、網掛け  $r>0.70$

んだ検者によって行われた。試行間信頼性の検討のために、各皮下脂肪厚は2回測定した。被験者をランダムに2群分け、測定器の利用順番による影響が無いように配慮した。

### 2.5.統計解析

測定値の信頼性を検討するために、級内相関係数 (ICC) を算出した。両測定器による測定値間の差は対応のある t-検定、及び測定値の差の性差は対応のない t-検定により検定した。また、ピアソンの相関係数により、両測定器による測定値間の関係を検討した。平均値の差の検定の大きさを検討するために、効果サイズ (Effect Size) を算出した。また、それぞれの測定値の変動係数、及び両測定器の測定値の差を算出した。

本研究の統計的有意水準はすべて 5% とし、全体の確率を管理するために Bonferroni の有意水準の調整を行った。

## 3. 結果

### 3.1.測定値の信頼性

表 1 は男女別に算出した試行間信頼性の結果を示している。アロカ社及びエルク社製測定器による測定値の試行間信頼性 (ICC) は、男女ともに 0.81 以上の高い値であった。

### 3.2.アロカ社とエルク社測定器による測定値の差、及びその性差

表 2 は両測定器による、測定値の平均値の有意差検定の結果、効果サイズ及び相関係数を示している。男女別、及び全体において、有意差はいずれの部位にも認められなかった。全体の効果サイズ (ES) は小さかった (-0.12~0.10)。男子における ES は -0.33~0.12 であり、上腕前部 (-0.33) が最も大きかった。女子における ES は -0.24~0.39 であり、頬骨部と大腿外部 (0.39, 0.37) が他の部位に比べて大きかった。

表 3 には両測定器による測定値間の差及びその性差の検定結果、及び効果サイズを示している。測定値の差に有意な性差は認められなかった。ES は頬骨部 (-0.46) 及び大腿外部 (-0.58) が他の部位よりも大きかった。

### 3.3.アロカ社とエルク社測定器による測定値間の相関係数及び変動係数

男女全体における相関係数は、全ての部位において有意であった。0.70 以上の高い相関が認められたのは、胸部、側胸部、腹部、腸骨上部、大腿前部、上腕前部、肩甲骨下部、大腿後部、上腕前部、大腿外部、及び大腿内部であった。その他の部位は中程度の相関 ( $r=0.40\sim0.70$ ) であった。

男女とも 0.70 以上の有意に高い相関が認められたのは、胸部、腹部、腸骨上部、及び上腕背部で、0.40~0.70 の有意に中程度の相関が認められたのは上腕前部、及び大腿内部であった。一方、男女とも有意な相関が認められなかったのは頬骨部と膝蓋部であった。男女で相関係数に違いが認められた部位は、側胸部、大腿前部、大腿後部、及び大腿外部であった。また、舌骨部、下腿部、背中上部、肩甲骨下部、及び背中下部は男女いずれかにのみ有意な相関が認められた。

男女全体において、腹部、大腿外、上腕前、および胸部の変動係数はアロカ社製測定器 ( $CV=44.2\sim52.6$ ) およびエルク社製測定器 ( $CV=43.8\sim56.2$ ) 共に大きかった。アロカ社製測定器で変動係数が小さかった部位は、頬骨部、舌骨部、下腿部、膝蓋部であった ( $CV=21.3\sim28.5$ )。エルク社製測定器の測定値でも膝蓋部 ( $CV=36.0$ ) を除き、同様の傾向 ( $CV=26.5\sim32.0$ ) あった。

表3. 測定値の差の性差の検定結果

	男子 N=48		女子 N=33		t-値	Effect Size
	Mean	SD	Mean	SD		
頬骨部	-0.19	0.76	0.17	0.84	-1.93	-0.46
舌骨部	-0.10	0.67	0.13	1.09	-1.11	-0.26
胸部部	-0.12	1.18	-0.03	1.48	-0.11	-0.07
側胸部	-0.09	1.10	-0.42	1.97	0.84	0.22
腹部	-0.12	2.30	0.58	1.75	-1.21	-0.33
腸骨上部	0.06	1.45	0.20	1.36	-0.23	-0.10
大腿前部	0.07	1.14	-0.07	1.23	0.32	0.12
膝蓋部	-0.23	1.58	0.20	1.38	-1.55	-0.28
上腕背部	-0.20	1.01	0.18	1.34	-1.44	-0.33
肩甲骨下部	-0.19	1.24	-0.34	1.97	0.38	0.10
大腿後部	0.25	1.85	0.38	1.55	-0.43	-0.07
下腿部	-0.20	1.24	-0.19	1.32	-0.10	-0.01
背中上部	0.18	1.22	-0.24	1.88	1.09	0.28
背中下部	-0.16	1.97	0.19	1.54	-0.98	-0.19
上腕前部	-0.40	1.15	-0.16	2.32	-0.68	-0.14
大腿外部	-0.29	1.18	0.69	2.21	-2.42	-0.58
大腿内部	-0.05	2.32	0.59	3.10	-1.38	-0.24

注) 単位 (mm)、\* :  $\alpha'=0.05/17$

表4. エルク社とアロカ社の測定器による測定値の相関係数

	男子		女子		全体	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
頬骨部	0.28		0.50		0.61	*
舌骨部	0.51	*	0.44		0.61	*
胸部	0.67	*	0.62	*	0.63	*
側胸部	0.72	*	0.61	*	0.66	*
腹部	0.70	*	0.62	*	0.66	*
腸骨上部	0.72	*	0.62	*	0.67	*
大腿前部	0.57	*	0.62	*	0.63	*
膝蓋部	0.34		0.44		0.56	*
上腕背部	0.72	*	0.62	*	0.67	*
肩甲骨下部	0.44		0.60	*	0.71	*
大腿後部	0.50	*	0.62	*	0.71	*
下腿部	0.45	*	0.54		0.68	*
背中上部	0.61	*	0.52		0.66	*
背中下部	0.43		0.61	*	0.54	*
上腕前部	0.49	*	0.60	*	0.63	*
大腿外部	0.63	*	0.62	*	0.63	*
大腿内部	0.53	*	0.58	*	0.64	*

注) \* :  $\alpha'=0.05/17$ 、網掛け:  $r\geq 0.70$

## 4. 考察

皮下脂肪厚を測定する方法の中でも、超音波法は、CT法やDXA法のように大がかりな設備は必要でない、キャリパー法のように、皮膚や脂肪の厚さによる測定が困難な部位が少ない<sup>12)</sup>ことから、実用性に優れていると考えられる。しかしながら、超音波法でも、測定器自体の性能が、測定値に影響を及ぼす可能性がある。

一般に高価な測定器は測定精度が高く、安価な測定器は測定精度が低い。例えば、皮下脂肪の層が一つでなく二重三重にみえるときには、高い測定精度の測定器の場合、筋肉層との境目を詳細に写しだし判別可能であるが、低い精度の測定器の場合、明確な画像が表示されず正確な判別が困難である。また、測定器の目盛りの大きさの違いによる測定誤差も、誤差要因として影響をおよぼすと考えられる。

精度の低い測定器であっても、Brozekの推定法に利用される上腕背部、肩甲骨下部及び腸骨上部、あるいはそれ以外の部位で、高性能な測定器と同程度の正確な測定値が得られるのであれば、実用性の点で非常に有効である。測定器の性能の違いによる測定値への影響について検討する必要がある。

#### 4.1. 測定値の信頼性

皮下脂肪厚の測定値は信頼性が高いことが重要である<sup>4)</sup>。つまり、同じ部位を測定した際に得られる測定値の変動が小さいことが望ましい。そのため、測定器の精度が影響し、測定誤差が大きくなり皮下脂肪厚測定値の信頼性が低くなることは問題である。超音波測定法において信頼性が低くなる原因として、検者の測定技術が乏しく、測定部位あるいは探触子のセット位置がずれる、Bモード法によって映し出された画像から皮下脂肪の層を読み取る際に、異なる層を選ぶ<sup>1)</sup>、ことが考えられる。本研究における測定値の信頼性は、アロカ社及びエルク社製測定器の測定値のいずれも男女ともに高かった (ICC>0.81)。したがって、両測定器による測定値の信頼性は高いと判断される。

#### 4.2. 測定器の精度の違いによる測定値の差及びその性差

厚さ数ミリである皮下脂肪厚を測定する際には、測定器の精度、つまり最小測定単位の違いが測定誤差に影響する可能性が考えられる。本研究の結果、アロカ社とエルク社製測定器の測定値間に有意差は認められなかった。本研究で用いた測定器の最小単位は、アロカ社製測定器が0.1mm、エルク社製測定器が0.5mmである。測定最小単位が0.1~0.5mm程度の範囲であれば測定値に大きな差は生じないと考えられる。しかし、超音波法によって映し出される皮下脂肪層は厳密には約2~3mmの皮膚の厚さも含まれている。皮膚の厚さを考慮し、厳密に皮下脂肪厚のみを比較する場合、特に皮脂厚の薄い部位において、アロカ社とエルク社製測定器による測定値間に差が生じる可能性がある。

また、両測定器による測定値間の差は、頬骨部、大腿外部を除く部位は男女で同様の傾向を示したことから、身体の多くの部位では測定器の精度による影響は少ないと考えられる。しかし、効果サイズの値が中程度(0.37, 0.39)である頬骨部、及び大腿外部は、男女に

よって測定器の精度が影響を及ぼすかもしれない。特に、大腿外部は女子においてアロカ社とエルク社製測定器による測定値の差が $0.69 \pm 2.21 \text{mm}$ であり、全14箇所の測定部位のうち最も差が大きかった。男子は下半身よりもむしろ上半身の腹部周辺に脂肪がつきやすく<sup>8)</sup>、女子は下半身に脂肪がつきやすい<sup>1)</sup>という報告があるが、今回の結果では、顕著な性差は大腿外部に認められた。元々の皮下脂肪厚の性差が、測定器間の差に影響している可能性もある。あるいは、本研究における男子の脂肪量が、一般成人男性よりも比較的少なかったことも影響しているかもしれない。今後男女ごとに、さらにサンプル数を増やし測定誤差の影響を検討する必要がある。

#### 4.3. アロカ社とエルク社測定器の測定値間の相関関係

測定値の比較には、平均値の差のみならず、測定値間の相関(方向性)についても検討する必要がある<sup>11)</sup>。相関が低ければ、同部位を測定しているにもかかわらず、測定値間に直線関係が成り立たず、両者の結果が異なるものを捉えている可能性がある。本研究では、男女全体では全ての部位に中程度以上の有意な相関が認められた。よって、両測定器の測定値は概ね同様の皮脂厚を測定しているものと考えられる。しかし、相関係数の大きさは中程度から高いものまで、部位によって異なっことは注目される。

Brozekの推定式に利用される、上腕背部、肩甲骨下部、及び腸骨上部は、いずれも両測定器間の相関係数は高くエルク社製測定器でも十分測定が可能である。しかし、肩甲骨下部に関しては男子のみ測定器間に有意な相関が認められず、測定器による影響が男女で異なる傾向が認められた。肩甲骨付近は、広背筋の筋組織の発達度や皮下脂肪厚の厚さなど、測定値の誤差を生み出す要因がいくつか考えられる。今後、性差について詳細に検討する必要がある。

その他の部位の特徴として、皮下脂肪の厚い腹部や、大腿部周辺部位は、比較的相関が高く、皮下脂肪が薄い顔周辺や、膝から下腿にかけての部位では相関が低い傾向にあった。皮下脂肪の厚い部位は、脂肪の層が明らかに大きく、測定器の性能による影響が少ないが、皮下脂肪厚の薄い部位は、測定器の最小単位の違いが影響している可能性がある。また、頬骨部、舌骨部、及び下腿部などは、変動係数が他の部位よりも低いことから、個人差も小さく、よって相関も低くなると推測される。

アロカ社とエルク社製測定器の測定値間の相関が低い傾向にあった背中上部や背中下部、あるいは下肢の膝蓋部は、皮下組織に筋肉や骨、靭帯など様々な器官が混在している<sup>10)</sup>。そのため、それらの部位の測定画像は、様々な組織が表示され煩雑になる。精度の低いエルク社製の測定器では、皮下脂肪層が読み取りにく

く、正確な測定値が得られず相関が低くなったと考えられる。

また、両測定器の測定値間の相関が高い部位の中にも、側胸部、大腿前部、大腿後部、あるいは大腿外部などは男女における相関係数に若干の違いが見られる。肩甲骨下部と同様に、測定器の精度の違いの影響が男女で異なる可能性が示唆される。しかし、肩甲骨下部と異なり、これらの部位は、男女とも両測定器間には有意な相関が認められたことから、性差があるにせよ、大きく異なることはなく、エルク社の測定器でも十分測定可能と考えられる。性差については今後さらに詳細に検討することにより、有効な測定部位が提示されると考えられる。

### 5.まとめ

アロカ社製およびエルク社製の超音波測定器による測定値の信頼性は高く、測定値に差はない。しかし、皮下脂肪厚の薄い部位（頬骨部、舌骨部、下腿部）、あるいは皮下組織の複雑な部位（背中上部、背中下部、膝蓋部）は、測定器の精度の違いが、測定値の誤差に影響を及ぼす可能性が示唆された。推定式に利用頻度の高い胸部、腹部、腸骨上部、および上腕背部は測定器の精度の影響が少なく、かつ性差もなく、エルク社の測定器でもアロカ社と同様に測定が可能である。他の側胸部、大腿前部、大腿後部、上腕前部、大腿外部、及び大腿内部もほぼ同様であるが、肩甲骨下部や大腿外部は、男女により精度の違いが測定値の誤差に影響する可能性があり、今後の検討が必要である。

### 《参考文献または引用文献》

- 1) 阿部孝, 福永哲夫: 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, 146-149, 1998
- 2) Abe T, Kearns CF, Fukunaga T: Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults, *Br J Sports Med*, 37(5), 436-440, 2003
- 3) Demura S, Sato S and Kitabayashi T: Percentage of total body fat as estimated by three automatic bioelectrical impedance analyzers, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 23, 93-99, 2004
- 4) Flygare A, Valentin L, Karlstrand-Akeson P, Flodmark CE, Ivarsson SA, Axelsson I: Ultrasound measurements of subcutaneous adipose tissue in infants are reproducible. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 28(5), 492-494, 1999.
- 5) Himes J. H., Roche A. F. and Siervogel R. M.: Compressibility of skinfolds and the measurement of subcutaneous fatness, *The Amer. J. Clin. Nutri*, 32(8), 1734-1740, 1979
- 6) 伊東正安, 望月剛超: 音波診断装置, コロナ社, 2003
- 7) Katch FI, McArdle WD.: Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women, *Hum Biol*, 45, 445-454, 1973
- 8) Larsson B, Bengtsson C, Bjorntorp P, Lapidus L, Sjostrom L, Svardsudd K, Tibblin G, Wedel H, Welin L, Wilhelmsen L.: Is abdominal body fat distribution a major explanation for the sex difference in the incidence of myocardial infarction?, *Am J Epidemiol*, 135(3), 266-273, 1992
- 9) Martin Moreno V, Gomez Gandoy JB, Antoranz Gonzalez MJ., Measurement of body fat with bioelectric impedance, skinfold thickness, and equations based on anthropometric measurements. Comparative analysis, *Rev Esp Salud Publica*, 75 (3), 221-236, 2001
- 10) 中井準之助: 解剖学事典, 朝倉書店, 1984
- 11) Orphanidou C, McCargar L, Birmingham CL, Mathieson J, Goldner E.: Accuracy of subcutaneous fat measurement: comparison of skinfold calipers, ultrasound, and computed tomography, *J Am Diet Assoc*, 94(8), 855-858, 1994.
- 12) 下方浩史: 体脂肪分布 腹部型肥満の基礎と臨床, 杏林書院, 1996
- 13) Simpson CR, Kohl M, Essenpreis M, Cope M.: Near-infrared optical properties of ex vivo human skin and subcutaneous tissues measured using the Monte Carlo inversion technique, *Phys Med Biol*, 43(9), 2465-2478, 1998
- 14) Walia BN, Bhalla AK, Suri S.: Reliability of skinfold calipers as a tool for measuring body fat in human beings, *Indian J Med Res*, 96, 255-257, 1992
- 15) Weits T, van der Beek EJ, Wedel M.: Comparison of ultrasound and skinfold caliper measurement of subcutaneous fat tissue, *Int J Obes*, 10(3), 161-168, 1986
- 16) William W W, Janice E S, Nancy F B, E O'Brian S, and Kenneth J E.: Estimating body fat in African American and white adolescent girls: a comparison of skinfold-thickness equations with a 4-compartment criterion model, *Am J Clin Nutr*, 72, 348-354, 2000
- 17) Wilmore JH, Behnke AR.: An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women, *Am J Clin Nutr* 23, 267-274, 1970.

### 《連絡先》

野口雄慶

〒920-1192 石川県金沢市角間町

金沢大学大学院自然科学研究科

TEL:076-264-5555 (2643) fax:076-234-4120

e-mail: takanori@ed.kanazawa-u.ac.jp

(2005年3月14日受付, 2006年2月13日採用決定, 討論受付期限2007年2月末日)