

近赤外線法による体脂肪計の測定条件に関する基礎的検討

勝野久美子¹ 福山由美子¹ 西山久美子¹
浦田 秀子¹ 大塚 健作¹

要 旨 近赤外線法を利用した体脂肪計 (FITNESS ANALYZER BFT2000) の測定条件について検討した。その結果、10 回連続測定による再現性は、プローブ当て続け、毎回当て直しいずれも良好であった。皮膚面からプローブが浮いた状態および直射日光下の測定ではかなり高値となり、皮膚面を布で覆うと低値となった。また当てる位置がヨコ方向にずれると値が変動した。しかし、測定者間、他者と自己測定、利き腕と非利き腕、プローブの当てる強さ、向き、屋内での遮光帯の有無、皮膚面の濡れ、温度、上腕部の圧迫による影響はほとんどなかった。BFT2000 間の機器間差はほとんどなかったが、BFT2000 と新機種 BFT3000 では 3000 による測定値が若干低く出る傾向があった。

長大医短紀要 5 : 23-32, 1991

Key words : 近赤外線, 体脂肪計, FITNESS ANALYZER, 測定条件

I はじめに

現代は飽食の時代といわれ、肥満やそれに関連する成人病が増加し、いわゆるダイエットに対する人々の関心も高い。肥満の判定には、従来、身長と体重から肥満度を算出する方法が用いられているが、正確な判定には体脂肪量を測定することが最も妥当とされている¹⁾。体脂肪量の測定は、密度法、水分法、カリウム法などがあるが²⁾、いずれも装置が大がかりで、測定に関する専門的な知識や技術を要するため、フィールドでの使用は非常に困難である。

最近、近赤外線を利用した携帯用体脂肪計

(ケット科学研究所製 BFT2000, BFT3000) が開発された。この測定器は、被験者に苦痛を与えることなく、誰でも簡単に体脂肪量を測定することができるもので、外来患者や健診をはじめ一般のダイエット効果の指標としての利用が想定される。今回、上記機種を用い、測定時に想定されるいくつかの条件について基礎的検討を行ったので報告する。

II 測定原理

近赤外線法体脂肪計の測定原理は、有機化合物が近赤外線域に特有の吸収帯を持つことを利用し、近赤外線を試料に照射したときの吸収スペクトルを分析することによりその物

1 長崎大学医療技術短期大学部看護学科

質の組成を定性・定量化するものである。脂肪の特定吸収波長域は、880～960nm であるので、この波長の光の吸収スペクトルの分析により脂肪量を測定することができる³⁾⁴⁾。

近赤外線を利用した体脂肪計は、食品成分の非破壊測定法に応用されていた近赤外分光法を Conway らがヒトの体脂肪の測定に導入したものである⁵⁾⁶⁾。特定の身体部位における近赤外スペクトルから体脂肪を推定するための携帯用測定器としてアメリカで開発されたものをケット科学研究所が日本人の体格に適したものに改良し、BFT2000 を製造した。BFT3000 はその改良型である。

Ⅲ 測定装置および基本的な測定方法

近赤外線法体脂肪計 BFT2000 および BFT3000 は、入力装置、液晶表示板、プリンターなどが組み込まれている本体と、測定面に当てるプローブならびに遮光スポンジ、およびオプティカル・スタンダード（キャリブレーションのためのブロック）から成っている（図1）。

基本的な測定方法について、マニュアルではおよそ次のように説明されている。まずオプティカル・スタンダードにプローブを差し込みキャリブレーションを行なう。被験者の性別、体重、身長、体格および運動レベルについて個人情報を入力する。プローブをオプティカル・スタンダードでチェックした後遮

光スポンジに押し込みプローブの皮膚との接触面と遮光スポンジの底辺が平面になるようにセットする。被験者の利き腕の力こぶの頂点にプローブをあて、遮光スポンジの底辺に付けられている円形の覆いで測定部位を覆うようにして、プローブを軽く押しあてる。キー操作により2波長の近赤外線を照射し測定する。

Ⅳ 方法および結果

今回は BFT2000 を用い、測定値の再現性、プローブの当て方、測定場所の明るさおよび被験者の条件の4項目に関する12種の測定条件について、さらに同一モデルの機器間差、BFT2000 と BFT3000 の機種間差についても検討した。以下それぞれの方法と結果について述べる。

1. 測定値の再現性

1) 連続測定による同時再現性

同一被験者に対し、プローブを当て続けて測定した場合と毎回当て直して測定した場合とで各々10回づつの連続測定を行ない、それぞれの変動係数を求めた。被験者10名に対して2名の測定者が測定し、測定者間の差

表1 10回連続測定における変動係数

—2名の測定者によるプローブ当て続けと当て直しの比較—

被験者	測定者 A		測定者 B	
	当て続け	当て直し	当て続け	当て直し
1	0.67	1.66	0.48	1.83
2	0.39	1.11	0.33	1.10
3	0.79	3.94	1.19	5.18
4	0.94	2.31	0.98	2.17
5	1.19	2.56	1.63	1.63
6	1.09	3.97	1.08	2.50
7	0.88	2.16	0.44	1.19
8	0.44	2.19	0.43	2.73
9	0.20	1.45	0.39	1.87
10	1.61	3.07	0.66	1.17
平均	0.82	2.44	0.76	2.12

* $P < 0.01$

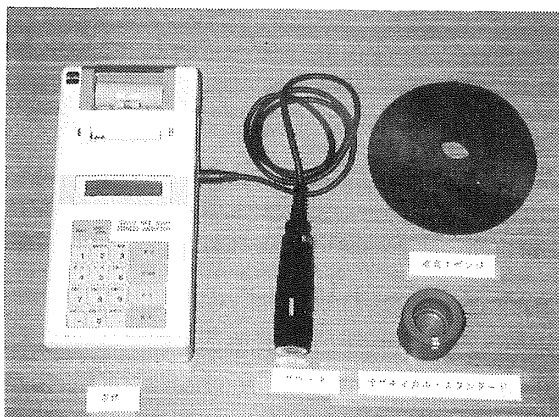


図1 FITNESS ANALYZER

異についても検討した。

その結果、10回連続測定の変動係数の平均値は、測定者Aでは「当て続け」0.82%、「当て直し」2.44%、測定者Bは「当て続け」0.76%、「当て直し」2.12%と、ABともに「当て直し」の方が有意に高かった ($P<0.01$)。しかし、ほとんどの場合変動係数は3%以下で、再現性は良好であった。また測定者間の差はほとんどみられなかった (表1)。

2) 他者測定と自己測定の違い

11名の被験者において、他者による測定と被験者自身による自己測定とを行ない両者を比較した。

他者による測定値を100としたときの自己測定の値は平均 99.6 ± 3.0 で、他者測定と自己測定との間にほとんど差はなかった。

2. プローブの当て方による影響

1) プローブを押し当てる強さの影響

同一被験者に対し、プローブを押し当てる強さを、①軽く押さえる (マニュアルに指定されている方法)、②強く押さえる、③押さえない (プローブを垂直に支えるだけ)、④浮かせる (プローブを皮膚面から数ミリ浮か

せた状態) の4通りに変えて測定した。被験者は10名であった。

プローブを軽く押さえて測定した値を100としたときの他の押え方による値は、「強く押さえる」が平均100.7、「押さえない」が99.9で、押し当てる強さによる影響はほとんどみられなかった。しかし、プローブを浮かせた状態では、平均131.2と有意に高値を示した ($P<0.01$) (表2)。

2) プローブを当てる位置の影響

利き腕の力こぶの頂点を基準位置 (通常の測定を行う部位) とし、プローブの位置を基準位置の内側と外側に、また上側 (肩方向) と下側 (肘方向) にそれぞれ1cm刻みでずらし (各3cmまで) 測定した。10名の被験者にて行った。

基準位置 (利き腕の力こぶの頂点) での測定値を100としたときの各位置での値は、上方向では、1cmの位置で平均99.3、2cmで100.1、3cmで99.9とほとんど変化なく、下方向でもそれぞれ100.1、98.4、97.3と大きな差はみられなかった。しかし、外方向では、103.2、108.0、113.9と基準位置より離れるほど値が大きくなり、内方向では95.5、91.8、93.4といずれの位置も低値を示した。よこ方向 (内外) へのずれが、たて方向 (上下) へのずれより差がみられ、ばらつきも大きかった (図2)。

3) プローブの向きの影響

プローブのシールが上向き (肩方向) になるよう (マニュアルに指定されている) に当てた場合を基準位 0° とし、プローブの向きを 45° ずつ変えて (8方向) 測定した。5名の被験者にて行った。

基準位 (0°) の測定値を100とすると、各向きでの値は、時計回り 90° で平均102.9、 180° で100.5、 270° で102.1など、いずれの向きでもほとんど変動はみられなかった (図3)。

表2 プローブを押し当てる強さの影響

測定条件 被験者	体脂肪率の測定値 (%)			
	軽く押さえる	強く押さえる	押さえない	浮かせる
1	25.5	24.7	25.5	32.2
2	30.5	31.7	30.6	33.6
3	28.6	26.2	30.2	39.9
4	27.9	28.0	26.6	39.8
5	23.6	23.2	22.3	38.2
6	23.0	28.2	28.0	33.9
7	28.0	29.0	28.2	34.3
8	29.4	29.1	29.1	36.7
9	32.8	33.7	32.2	41.3
10	23.4	25.7	24.8	32.0
「軽く押さえる」を100としたときの値の平均値	100	100.7	99.9	131.2

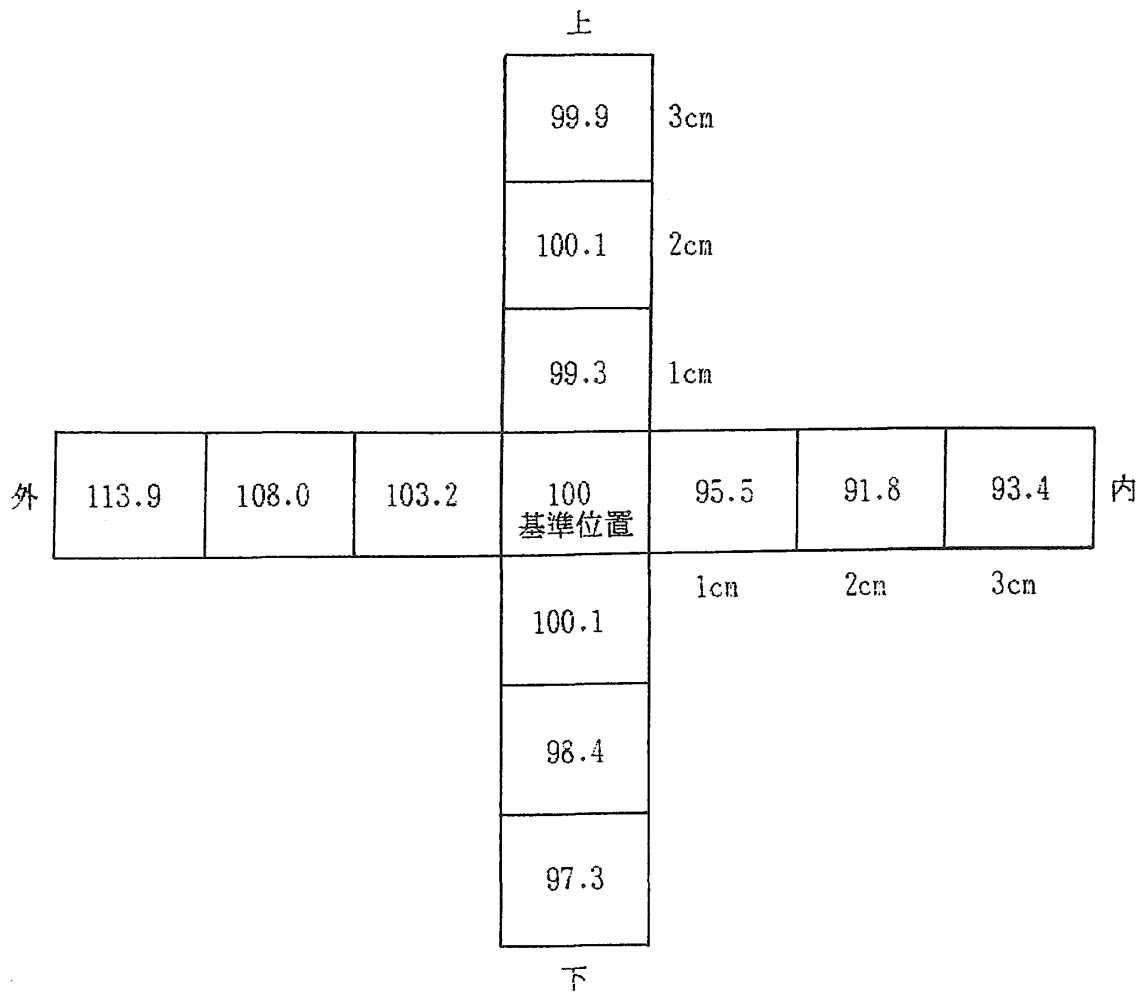


図2 プローブを当てる位置の影響
(数値は基準位置の値を 100 としたときの相対値)

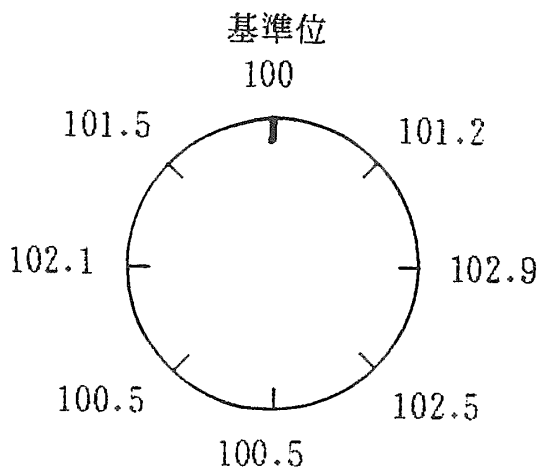


図3 プローブの向きの影響
(数値は基準位の値を 100 としたときの相対値)

3. 遮光スポンジの有無と測定場所の明るさの影響

1) 遮光スポンジの有無による影響

同一被験者について遮光スポンジを装着した場合と装着しない場合とで測定した。被験者は 10 名で、すべて屋内で測定した。

遮光スポンジ使用時を 100 とすると非使用時の値は平均 101.7 ± 9.6 で、屋内での遮光スポンジの有無による影響はほとんどみられなかった。

2) 測定場所の明るさの影響

測定場所を教官室、教室、暗室、屋外に変えて測定した。いずれも日中、晴天日に測定し、教官室では、ブラインドを明け蛍光灯をつけた明るい状態（蛍光灯）、ブラインドを

閉め蛍光灯を消した暗い状態（ブラインド）、日光のあたる窓際（窓際）の3条件で行った。被験者1名で各条件下5回ずつ測定した。

遮光スポンジを使用した場合、教室での測定値は蛍光灯下で平均 $33.7 \pm 0.31\%$ 、ブラインドで $33.1 \pm 0.23\%$ 、窓際 $33.6 \pm 0.69\%$ 、広い教室（蛍光灯下）での測定では平均 $32.7 \pm 0.35\%$ 、暗室では $32.3 \pm 0.51\%$ 、屋外直射日光下で $37.9 \pm 1.37\%$ であった。教室、暗室での測定値が若干低く、屋外直射日光下では高値を示した。遮光スポンジを使用せずに測

定した場合、教室室では、蛍光灯下で平均 $34.4 \pm 0.39\%$ 、ブラインド $32.9 \pm 0.34\%$ 、窓際 $70.5 \pm 0\%$ 、教室では $36.9 \pm 1.09\%$ 、暗室 $32.7 \pm 0.36\%$ 、屋外直射日光下 $70.5 \pm 0\%$ であった。測定場所の明るさによる変動が大きく、特に窓際と屋外では極端な高値を示した（表3）。

4. 被験者の条件

1) 利き腕と非利き腕の違い

被験者10名においてそれぞれ利き腕と非利き腕とを測定した。

利き腕の測定値を100とすると、非利き腕の値は平均99.1で、ほとんど差はみられなかった（表4）。

2) 上腕部の圧迫による影響

同一被験者に対し、測定部位の上側を駆血帯にて圧迫した状態と圧迫しない状態とで測定した。被験者は6名であった。

圧迫しないで測定した値を100とすると、圧迫した場合の値は平均95.4で、若干低値を示した（表5）。

3) 測定面の濡れによる影響

同一被験者に対し、測定皮膚面を水で濡らした場合と乾燥している場合とで測定した。

表3 測定場所の明るさによる影響

条 件		体脂肪率の測定値 (%)	
		遮光スポンジ あり	遮光スポンジ なし
教 官 室	蛍 光 灯	33.7 ± 0.31	34.4 ± 0.39
	ブラインド	33.1 ± 0.23	32.9 ± 0.34
	窓 際	33.6 ± 0.69	* 70.5 ± 0
教室（蛍光灯）		32.7 ± 0.35	36.9 ± 1.09
暗 室		32.3 ± 0.51	32.7 ± 0.36
屋外直射日光下		37.9 ± 1.37	* 70.5 ± 0

・数値は1人の被験者について同一場所
で5回連続測定したときの平均値と標準偏差
・* は5回とも70.5と表示された。

表4 利き腕と非利き腕の違い

測定条件 被験者	体 脂 肪 率 (%)	
	利き腕	非利き腕
1	25.5	26.7
2	30.5	30.8
3	28.6	24.7
4	27.9	25.5
5	23.6	25.7
6	28.0	28.8
7	28.0	26.5
8	29.4	29.7
9	32.8	33.6
10	23.4	22.8
「利き腕」を100 とした場合の値 の平均値	100	99.1

表5 上腕部圧迫の影響

測定条件 被験者	体 脂 肪 率 (%)	
	圧迫しない	圧迫する
1	23.4	20.0
2	26.6	23.6
3	30.9	29.5
4	30.9	30.0
5	24.0	20.5
6	21.6	22.2
7	28.2	28.1
8	28.4	26.0
9	28.3	30.3
10	28.8	28.9
「圧迫しない」を 100としたときの 値の平均値	100	95.4

表6 測定皮膚面を布で覆った場合の測定値に与える影響

—布質による違い—

測定条件 被験者	測 定 値 (%)								
	覆わない	綿—薄手① (メリヤス地)	綿—薄手② (ブラウス地)	綿—厚手 (トレーナー)	ウール—薄手 (ヒーター)	ウール—厚手 (ヒーター)	シルク	ナイロン	ポリエステル
1	23.4	5.8	10.4	-57.7	17.6	25.2	12.2	—	—
2	26.6	9.8	13.3	-56.0	25.7	29.2	18.8	—	—
3	30.9	13.7	18.2	-54.0	24.3	27.9	20.8	27.6	19.5
4	30.9	12.1	16.0	-55.2	21.7	23.8	20.0	25.2	16.5
5	23.2	5.8	9.5	-60.8	12.9	20.0	11.5	—	—
6	22.4	7.0	8.6	-56.6	17.2	23.2	12.3	18.4	9.7
「覆わない」を100としたときの値の平均値	100	33.6	47.4	-220.9	75.5	95.8	59.9	83.8	53.3

被験者は10名であった。

測定皮膚面が乾燥した状態で測定した値を100とすると、水で濡らした場合の値は、平均 95.2 ± 3.2 でやや低値を示したが、有意な差はみられなかった。

4) 測定面を布で被った場合の影響

同一被験者に対し、測定皮膚面をいろいろな布質の布で被った場合と何も被わない場合とで測定した。6名の被験者にて行った。

測定皮膚面を何も被わないで測定した値を100とすると各種布で被ったときの値(平均)は、薄手の綿2種(メリヤス地とブラウス地)の場合それぞれ33.6, 47.4, 厚手の綿では-220.9, 薄手のウールは75.5, 厚手のウール95.8, シルク59.9, ナイロン83.8, ポリエステル53.3であった。いずれの布で覆った場合も低値となり、特に厚手の綿では、極端な低値を示した(表6)。

5) 測定皮膚の温度の影響

同一被験者について、測定皮膚面を冷電法した場合と温電法した場合とで測定し、通常の方法による測定値と比較した。冷電法にはアイスノンを、温電法には約60℃のお湯をしぼったタオルをビニールに包んで用い、測定皮膚面にそれぞれ5分間あてた。4名の被験者にて行った。

表7 測定皮膚面の温度による違い

測定条件 被験者	測 定 値 (%)		
	平常温	冷電法	温電法
1	28.8	29.9	29.0
2	31.4	31.1	29.4
3	32.5	33.0	31.0
4	19.9	21.3	20.4
「平常温」を100としたときの値の平均値	100	102.9	98.1

平常皮膚温での測定値を100とすると、冷電法後の値は平均102.9, 温電法では98.1で、皮膚温による変化はほとんどみられなかった(表7)。

5. 機器間差および機種間差

同一被験者に対しBFT20002台(a機, b機)を用い、機器間差を検討した。同様に、BFT2000とBFT3000とで測定し、機種間差についても検討した。いずれも30名の被験者について行った。

BFT2000のa機で測定した値を100としたときのb機の値は平均 99.98 ± 7.0 で、データのばらつきはみられたが平均値ではほとんど同値となった。機器間の相関係数は $r =$

0.916 であった。

さらに、BFT2000 の値を 100 としたときの BFT3000 の値は平均 87.1 ± 4.0 で、3000 の方が有意に低値を示した ($P < 0.01$)。実測値では、体脂肪率として平均約 3.5% の差がみられた。BFT2000 (a 機, b 機) と BFT3000 間では相関係数 $r = 0.948, 0.962$ の高い相関がみられた。

V 考 察

身長と体重から求める従来の肥満判定法は、同じ体格でも筋肉質か、そうでないかの体組成を判別することはできない。正確な肥満の判定には体脂肪率を知ることが必要であるが、体脂肪率の測定は水中体重法、水分法、カリウム法など²⁾いずれも大がかりな装置や時間が必要で、被験者に対する負担も大きい。

今回われわれが検討した測定器は、近赤外線を上腕部に照射したときの吸収スペクトルを測定し、それを基に体脂肪率が計算される。非常に簡単な操作で体脂肪が求められるが、1 部位からの推定値であるため測定時の条件や操作が測定結果にいくらかの影響を及ぼすことも考えられる。

今回の実験は、すでに折茂⁴⁾が行なった基礎検討を参考に、通常測定時に想定される測定条件を考慮し、再現性、プローブの当て方の影響、測定場所の明るさの影響、被験者の条件による違い、機器および機種間差について検討した。

同時再現性については、プローブを毎回当て直して測定した場合変動係数は 2% 程度、当て続けた場合 1% 以下であった。折茂の行なった同時再現性の検討では変動係数は 1% 程度であったが、われわれの結果も再現性は良好であった。また測定者間の差はほとんどなく、測定者間の違いによる誤差もあまり大きくないと思われる。今回の測定時には、力こぶの頂点にマーカーで印を付け測定位置がずれないようにしたが、連続して測定する場

合はプローブを当て続けて測定する方が誤差の少ない値が得られるようである。さらに遮光スポンジの耳の両側に 15 cm のマジックテープを付け測定時に固定し、プローブがずれないように工夫したところ、遮光が容易でキー操作がしやすく同一被験者の連続測定には便利であった。

被験者による自己測定の場合は、プローブと遮光スポンジを非利き腕で押さえるため、幾分操作しにくかったが、他者測定との間にはほとんど差がなかった。フィールドでの自己測定も特に問題はないと思われる。

プローブの当て方について、折茂は、押し付ける強さが強すぎるとデータが変動すると報告しているが、われわれの実験では押し当てる強さによる変動は少なく、プローブが測定皮膚面より浮いた場合にのみ有意に高い値を示した。したがって遮光スポンジをプローブに装着する際にはマニュアルに指示されているように「つらいちにする (プローブの測定面と遮光スポンジの底辺を平面にする)」ことの確認が必要であろう。測定位置では、上下方向より左右方向へずれた場合の影響が大きく、基準位置 (力こぶの頂点) よりも内側へずれると低く、外側へずれると高くなった。これについては折茂も同様の結果を報告している。さらにマニュアルにはプローブに記されたシールを上向きに当てるよう指示されているが、異なった向きでも測定結果にはほとんど影響なかった。

測定場所の明るさの影響のうち、まず遮光スポンジの必要性をみるため、屋内の通常の明るさでその有無による違いを調べたが、差はほとんどみられなかった。さらに測定場所による違いをみるため、明るさの違う環境下での測定を行なった。遮光スポンジを使用した場合は、暗室のように非常に暗いところでは幾分低値を示したが、屋内での測定であれば測定場所の明るさの影響は小さいと思われる。しかし、屋外直射日光下の非常に明るい

ところでは遮光スポンジを使用した場合でもかなり高値を示した。また遮光スポンジをしなかった場合は、屋内であっても測定場所の明るさによって測定値に変動がみられ、直射日光下の非常に明るい場所では、測定値がすべて70.5という異常値を示した。折茂によれば、明るい場所では遮光スポンジを使用しないと高値となるが、遮光スポンジを使用すれば明るさによらず一定の測定値が得られるとしている。しかし、明るい場所で測定する場合は遮光スポンジを使用し、直射日光のあたるような場所での測定は避けた方がよいと思われる。

被験者の条件については、マニュアルに利き腕を測定するよう指示されているが、非利き腕を測定した場合との違いはほとんどみられなかった。ただし左右の腕の運動量が極端に異なる場合は、その差が生じることが推測されるので、一応利き腕に統一しておく方がよいと思われる。

上腕部の駆血帯による圧迫は、測定時の衣服による圧迫を想定したもので、折茂の報告とは異なり、駆血すると若干低くなる傾向があった。また、測定皮膚面が濡れている場合もわずかながら低値を示す傾向がみられたが、いずれも有意な差ではなかった。測定皮膚面を布で被った場合はいずれの布質でも直接皮膚にあてて測定した場合よりも低値を示した。これらの条件による変動理由は明らかではないが、実際の測定時には上腕部をできるだけ圧迫せず、乾いた皮膚に直接プローブを当てて測定する方が、より正確なデータが得られると思われる。また皮膚の温度の違いは、近赤外線法への影響があるのではないかと考えられたが、我々の実験範囲では冷電法後の値も、温電法後の値も有意な変化はみられなかった。

さらに、実際のフィールドでの測定時には、複数の機器の使用が想定されるため機器間差、機種間差の検討を行った。BFT2000のa機

とb機では相関係数も高く、測定値にもほとんど差がなかったことから、同一モデルであればデータ上特に問題はないと思われる。BFT2000とBFT3000との相関も非常に高かったが、実測値ではBFT3000が、体脂肪率として平均約3.5%低めになった。したがって複数の機器を使用する場合は、同一機種を用いるべきであると思われる。

ま と め

近赤外線を利用した体脂肪計 FITNESS ANALYZER BFT2000の測定条件について検討した結果を以下のようにまとめた。

- ① 連続測定および測定者の違いによる変動係数は3%以下で、再現性は良好であった。
- ② 今回検討した測定条件のうち、他者と自己測定、プローブを当てる強さと向き、屋内における遮光帯の有無、利き腕と非利き腕、上腕部の駆血、測定皮膚面の濡れと温度については、ほとんど影響がないと思われる。
- ③ プローブが皮膚面より浮いた状態、プローブの測定位置がよこ方向にずれた場合、直射日光の当たる場所、測定皮膚面を布で被った場合は、測定値にいくらかの影響を及ぼし、中には極端な異常値を示す場合もあった。
- ④ 機器間、機種間いずれにも高い相関があるが、新機種BFT3000はBFT2000に比べ有意に低値を示した。

文 献

1. 小宮秀一, 佐藤方彦, 安河内朗: 体組成の科学, 朝倉書店, 東京, 1988, pp97-101.
2. 北川薫: 身体組成とウェイトコントロール〜子どもからアスリートまで〜, 杏林書院, 東京, 1991, pp1-19.
3. 沢井史穂, 白山正人, 武藤芳照, 宮下充正: 近赤外線法による体脂肪測定, 体力

- 科学, 1990 ; 39 : 155-163.
4. 折茂淳 : 近赤外線を利用した体脂肪計の基礎検討, 動態研ニュース, 1991 ; 9 : 1990, pp2-19.
 5. 岩元睦夫 : 近赤外分光法による食品成分の非破壊測定. 日本食品工業学会誌, 1980 ; 27 : 464-472.
 6. Joan M Conway, Karl H Norris, and CE Bodwell : A new approach for the estimation of body composition : infrared interactance. Am J Clin Nutr 1984, 40 : 1123-1130.

(1991年12月28日受理)

Practical evaluation of the instrument for estimation of body composition by near infrared spectroscopy

Kumiko KATSUNO¹, Yumiko FUKUYAMA¹, Kumiko NISHIYAMA¹,
Hideko URATA¹ and Kensaku OTSUKA¹

1 Department of Nursing, The School of Allied Medical Sciences,
Nagasaki University.

Abstract The test for manipulation of Fitness Analyzer BFT2000, an instrument for estimation of percent fat (%Fat) in human by near infrared spectroscopy. The instrument is portable in size, and is consisted of a probe (for radiation of infrared ray and reception of interactance spectra), a main system box (circuit, computer, key board and display) and a band for shade. Near infrared interactance spectra are measured on the anterior biceps by using a probe with a band for shade, then the values of %Fat computed from the spectral data is indicated on the display.

The reproducibility of the values by BFT2000 was assessed by CV obtained from 10 replicated measurements; the results were satisfactory for practical applications. A space between the probe and the skin made the values for %Fat higher. The values were also affected when the position of the probe was shifted from a middle line of the biceps, and were lowered by covering with cloths on the skin surface to place a probe.

The values obtained from BFT3000, a new model of Fitness Analyzer were slightly lower than those from BFT2000.

Bull. Sch. Allied Med. Sci., Nagasaki Univ. 5 : 23-32, 1991