

## 身体組成測定法に関する研究

富 樫 泰 一・野 村 武 男・柄 田 幸 徳

### A methodological study of body composition measurement

Taiichi TOGASHI, Takeo NOMURA and Yukinori TOMODA

The purpose of this study is to resolve various problems in underwater weighing method and to enhance the efficiency of body composition measurement systems.

Residual volume differ with each position and each subjects, maximal expired level on flexion and spine position that concerned with underwater weight were about 150ml higher than standing position.

Laying method for underwater weighing was applied in this study. This can be minimize the water turbulences in small tank. Smaller amplitude of recorded weight curve was detected on laying method (24% lower than sitting method).

#### 諸 言

競技選手にとって、適切な身体組成コントロールを行なうことは、パフォーマンス向上に欠くことができない。また、非競技者にとっても身体組成を正しく把握することは、栄養状態や発育状態が適切であるかどうかを判定する重要な指標となりうる。

身体組成測定法には、皮脂厚測定法、密度法、水分法、カリウム法等があるが、比較的正確な身体組成を求める方法に密度法に分類される水中体重法がある。水中体重法の精度を決定する因子は2つあり、1つは水中体重測定値でありもう1つは残気量測定値である。

水中体重は、身体密度を求めるために人体の水中での重量を測定するものであるが、被検者は完全に水没し、最大呼出し、かつ止息して数秒間静止しなければならない。この測定法に関して次のような問題点が指摘されている。

①屈曲位で最大呼出したあと止息するため苦しさを伴う。

②ブランコ式の場合ロープをにぎる手に力がはいる、測定値が振動する。

③バネばかりを用いた場合、指針のふれが大きく、その読み取りには検者の熟練を必要とする。

④小さな水槽を用いることが多く水槽内の水の動揺が静まりにくい。

残気量の推定には

$$\text{残気量} = \text{肺活量} \times 0.24 \quad (\text{男子})$$

$$\text{残気量} = \text{肺活量} \times 0.28 \quad (\text{女子})$$

が用いられるが、実測値との誤差が大きいことが指摘されている。

残気量の実測には閉鎖回路式ヘリウム希釈法が一般的に用いられているが、装置が大型で測定時間(1人1回7分程度)が長いことからスクリーニングなどには不向きである。

以上のような問題点を改善して測定精度を落とさずにかつ測定スピードを上げ、より簡便で実用的な水中体重測定法を開発することが必要である。

本研究は、以上の問題点を改善するため、種々の検討を試みた。

#### 方 法

##### 1. 被検者

被検者は、20才から28才までの健康な男子5名

Table 1 Physical characteristics of present subjects

SUBJECTS	SEX	AGE (yrs)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	VC (ml)
NS	male	20.0	178.0	60.4	5428
MY	male	21.0	171.5	61.2	3968
SK	male	22.0	171.0	76.7	4761
TH	male	23.0	175.5	73.0	4423
TT	male	28.0	166.0	59.0	4221
MEAN		22.8	172.4	66.1	4560
S.D.		3.1	4.6	8.2	565

で、水中体重の測定には熟練している。被検者の身体的特徴を表1に示した。

### 2. 残気量の測定

水中体重は一般的にブランコ式かそれに類似した装置が用いられ、被検者の測定時の姿勢は屈曲座位をとることが多い。ところが残気量の測定は陸上で座位か立位による場合が多く、姿勢のちがいによる残気量への影響は考慮されないことが多い。そこで、姿勢による残気量の変化を調べるため、立位、屈曲位及び仰臥位における最大呼気位、最大吸気位、肺活量及び残気量を測定した。

各姿勢における呼吸曲線は閉鎖回路式有水式スパイロメーター(チェスト製)を用い、CO<sub>2</sub>呼吸剤は使用せず、立位、屈曲位及び仰臥位について最大呼気位と最大吸気位をそれぞれ2回ずつ連続して記録した。

残気量(VR, l)は、閉鎖回路式ヘリウムガス希釈法により測定した。5l(Vb, l)の麻酔用バルーンに、10% He (FIHe, %)と90% O<sub>2</sub>を一定量入れ、20秒間の再呼吸により、バルーンと肺内のHeが平衡状態になったところで、バルーン内He濃度(FEHe, %)をマススペクトロメーター(パーキン・エルマー社製)で測定した。残気量(VR)の算出には次の式を用いた。

$$VR = Vb \left( \frac{FIHe}{FEHe} - 1 \right)$$

### 3. 水中体重の測定

水中体重の測定はブランコ式とタンカ式で行なった。すべての測定は、ロードセルの出力をストレインアンプで増幅し、その出力をペンレコーダーに記録した。本研究で用いた測定器具のブロックダイヤグラムを図1に示した。

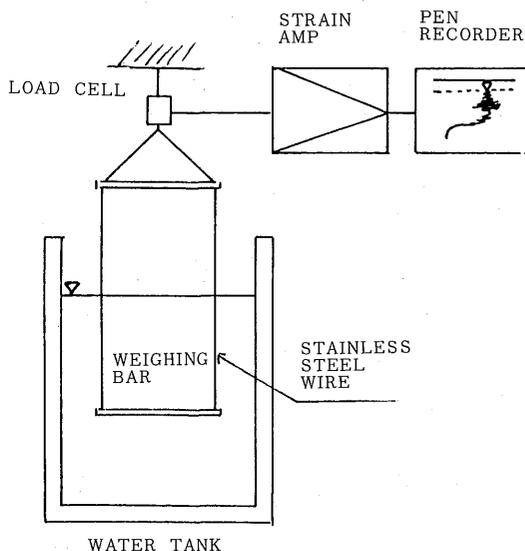


Fig. 1 Block diagram of this study. Underwater weighing, detection of underwater weight and recording systems.

共和電業製ロードセル(LT-50KF)、共和電業製ストレインアンプ(DPM-210A)、渡辺測器製ペンレコーダー(SR-6510-UM1)を用いた。

#### (1) ブランコ式による測定

図2に示すように、被検者は測定中ブランコ上で屈曲位をとる。最大吸出しおえるまに被検者が浮き上がるのを防ぐため、大腿の上にウェイトベルト(3~4kg)のをせて、安定化を図った。

水中体重測定値がプラトーになるまで3~5回繰り返し、そのうちの最大値を実測値として採用した。

水中体重の読み取りは、記録波形のドリフトが



Fig. 2 Schematic view of underwater weighing on flexion position (sitting a swing method).

小さくかつ振幅が小さくなった時点での振幅中央の値を目読し、実測値とした。図3は記録波形の1例である。

(2) タンカ式による測定

図4はタンカ式の測定方法を模式的に表わしたものである。アルミパイプ（内径30mm）4本を井桁に組んでロープで縛り、内側にナイロンネットをはり、被検者がゆっくり横になれるタンカを作った。タンカの4すみにステンレスワイヤロープをつなぎ、その上端をシャックルで1点に集め、ロードセルにつり下げた。

被検者はノーズクリップとストレートシュノーケル（塩化ビニールパイプ、内径26mm）にマウスピースを付けたものを口にくわえ、水面下すれすれに全身が水没するよう、水位を調節した。吸気時に上体が浮き上がるのを防ぐためブランコ式と同様のウェイトベルト（3～4 kg）を胸部にのせた。

最大呼出の後、数秒間止息し、苦しくなったら自由に吸息させ、これを数回繰り返した。

この間、被検者は水面上に顔を出すことも姿勢を変えることもない。

結果及び考察

1. 姿勢変化が呼吸曲線におよぼす影響

表2は、各姿勢における最大呼気位と最大吸気

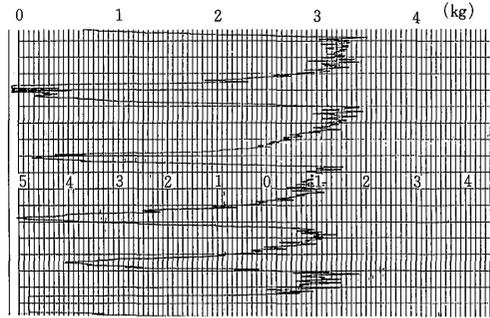


Fig. 3 A sample of recorded underwater weight curves.

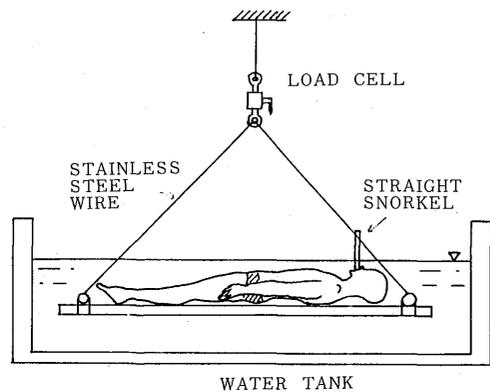


Fig. 4 Schematic view of underwater weighing on spine position (laying on a stretcher method).

位、及びその差、すなわち肺活量を示している。

立位での最大呼気位と最大吸気位を基準とする、屈曲位において最大呼気位が基準値よりも大きく最大吸気位は小さかった。その平均と標準偏差は $151 \pm 128 \text{cc}$ 、 $-860 \pm 608 \text{cc}$ であった。同様に仰臥位においては、 $159 \pm 129 \text{cc}$ 、 $-30 \pm 267 \text{cc}$ であった。仰臥位の最大呼気位は立位のそれに比べて全員が大きかったのに対し、最大吸気位では大きかった者が2名、等しかった者が1名、小さかった者が2名であった。図5は上の結果をパーセンテージで表わし図示したものである。

以上のことから水中体重測定値に影響をおよぼす最大呼気位は立位が最も小さく、屈曲位、仰臥位の順に大きかった。しかし、その差は、立位の肺活量に対する比率でみると3.4～3.5%と小さいものであるが、絶対値でみると、151ccと159ccで、水中体重測定値に約150gの誤差を与える要因と

Table 2 Vital capacity, expired level and inspired level on standing, flexion and spine positions.

	POSTURE	STANDING			FLECTION		SPINE		
		SUBJECTS	VC	VC	EXP.	INS.	VC	EXP.	INS.
ABSOLUTE (ml)	NS	5428	5131	0	- 296	5332	95	0	
	MY	3968	3650	106	- 212	3809	95	-63	
	SK	4761	2899	196	-1672	4735	175	148	
	TH	4438	3068	344	-1026	4290	376	227	
	TT	4221	3015	111	-1095	3708	53	- 460	
	MEAN	4563	3553	151	- 860	4375	159	-30	
	S.D.	564	929	128	608	674	129	267	
RELATIVE (%)	NS	100	94.5	0.0	- 5.5	98.2	1.8	0.0	
	MY	100	92.0	2.7	- 5.3	96.0	2.4	- 1.6	
	SK	100	60.9	4.1	-35.1	99.4	3.7	3.1	
	TH	100	69.1	7.7	-23.1	96.7	8.5	5.1	
	TT	100	71.4	2.6	-25.9	87.8	1.3	-10.9	
	MEAN	100	77.6	3.4	-19.0	95.6	3.5	- 0.9	
	S.D.	0	14.9	2.8	13.2	4.6	2.9	6.2	

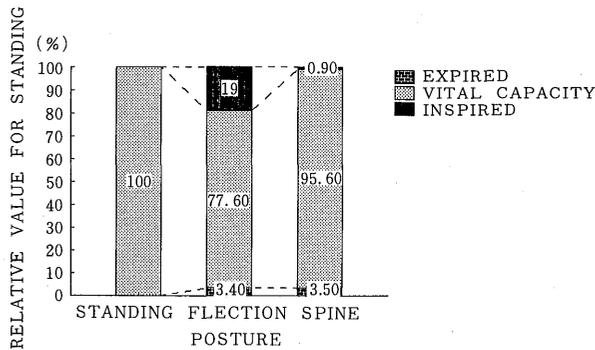


Fig. 5 Comparison of vital capacity on standing, flexion and spine position.

なることが明らかになった。従って、水中体重測定時と同様の姿勢で残気量を測定する必要があることが示唆された。

### 2. 姿勢変化が残気量測定値におよぼす影響

各姿勢における残気量測定値を表3に示した。平均値でみると各方法間に有意差はなかった。立位の平均値は $1.170 \pm 0.211$ l, 屈曲位では $1.165 \pm 0.241$ l, 仰臥位では $1.105 \pm 0.185$ lであった。

図6は各被検者の3つの姿勢で測定した残気量を比較したものである。姿勢変化が最大呼気位に与える影響については前述したが、その結果から予想された、屈曲位と仰臥位で立位よりも150mlほ

ど残気量が増えるという結果はみられなかった。

立位での残気量が最も大きかった者は5名中3名で、屈曲位が最も大きかった者は5名中2名であった。平均値では差が見られなかったものの個々のデータは、立位、屈曲位、仰臥位の順に残気量が増える傾向にあった。

### 3. 水中体重

ブランコ式とタンカ式の両方法で求めた水中体重を表4に示した。両者の差は1.02~0.10kgで平均が0.058kgであった。これは、水中体重実測値としてサンプリングした時点での記録波形の最小振幅を両方法間で比較するとブランコ式が平均

Table 3 Comparison of residual volume measurement on standing, flection and spine position.

SUBJECT	POSTURE		
	STANDING	FLECTION	SPINE
NS	0.891	1.444	1.242
MY	1.331	1.386	1.328
SK	0.999	0.903	0.868
TH	1.355	0.983	1.089
TT	1.272	1.107	0.997
MEAN	1.170	1.165	1.105
S.D.	0.211	0.241	0.185

$r = -.183$	$r = .892$
$T_s = .032$	$T_s = 1.186$
N.S.	N.S.
$r = .156$	
$T_s = .562$	
N.S.	

Table 4 Comparison of underwater weight measured on sitting method and laying welhod.

SUBJECT	METHOD		
	SITTING	LAYING	DIFE
NS	3.37	3.28	- 0.09
MY	3.10	3.20	0.10
SK	3.05	3.03	- 0.02
TH	4.06	4.03	- 0.03
TT	3.20	3.25	0.05
mean	3.36	3.36	0.058
S.D.	0.37	0.35	0.032

173.8±37gであったのに対しタンカ式では131.4±34.3gと有意に低かった(P<0.01)。振幅が小さいことは正確なデータを読み取るために重要な因子となりうる。

本実験のタンカ式では、長さ2.5m、巾0.9m、水深0.5mの小さな水槽を用いたにもかかわらず、測定開始から終了まで被検者が水槽内で体を動かす必要がないことから、水槽内の水の動揺を最小限に押さえることができた。

また、被検者1人につき必要な測定時間は3分以内で多人数の測定にも十分適応しうるものであることが確かめられた。

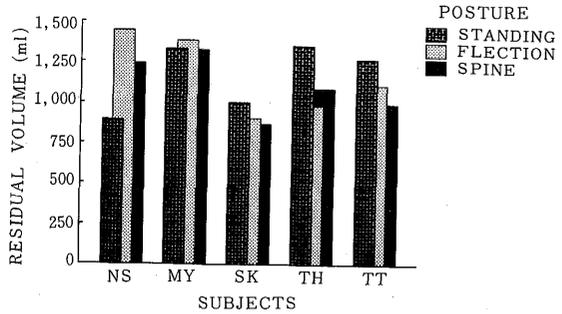


Fig. 6 Comparison of residual volume measured on standing, flection and spine position.

本研究では、残気量の測定に始まり、水中体重の測定が終わるまで、約5分程度である。

筆者らは、現在、水中体重を測定中に残気量を同時に測定して、被検者に止息させる必要のないシステムを開発中である。このシステムにより、さらに測定時間が短縮されることが期待できる。

まとめ

1. 姿勢変化と肺気量分画の変動

残気量は、立位・屈曲位及び仰臥位では有意差がなかった。最大呼気位は、立位で最も低く屈曲位・仰臥位より約150ml大きかった。最大吸気位は立位・仰臥位がほぼ等しく屈曲位では860ml小さかった。

2. ブランコ式とタンカ式による水中体重測定値の比較

両方法とも水中体重測定値の平均値に有意差はなかった。しかし、サンプリング時の最小振幅はタンカ式の方が有意に小さく、ブランコ式の173.8gに対してタンカ式は131.4gと約24%小さかった。また、測定に要する時間も短く1人3分以内で済んだ。

参考文献

- 1) Katch Frank L., Katch Victor L.: Measurement and Prediction Errors in Body Composition Assessment and the Search for the Perfect Prediction Equation., Research Quarterly for Exercise and Sports., Vol.51, No. 1, pp249-260, 1980
- 2) 北川薫: 身体組成, 体育の科学, Vol.28, 7, 1978
- 3) 村本信幸他: 残気量に及ぼす姿勢変化と環境(水の内外)変化の影響, 日本体育学会第36回大会号,

p561, 1985

- 4) 濁川孝志他：再現性の高い残気量測定法と測定時間の短縮化の検討，日本体育学会第36回大会号，p560, 1985
- 5) 大石和男他：種々の形態計測値からの残気量予測，日本体育学会第36回大会号，p562, 1985