

高齢者の身体組成を評価する多周波数インピーダンス法

金 憲 経・田 中 喜代次・中 西 とも子*・天 貝 均**

Multi-frequency Bioelectrical Impedance Method: Assessment of Body Composition in Japanese Men and Women Over 60 Years of Age

KIM Hunkyung, TANAKA Kiyoji, NAKANISHI Tomoko*
and AMAGAI Hitoshi**

The bioelectrical impedance analysis has become a popular method for the assessment of human body composition because it is a quick, safe, and noninvasive technique that does not require much cooperation from the subjects. Recently, new instruments using multi-frequency bioelectrical impedance have been developed since low and high frequency measurements could possibly distinguish between extracellular fluid (ECF) and total body water (TBW). Using dual energy X-ray absorptiometry (DXA; Lunar DPX-L) as a criterion method, we examined the validity of bone-free lean tissue mass (LTM) and bone mineral content (BMC) measured by a multi-frequency bioelectrical impedance instrument (Sekisui MLT-100, Japan). A number of frequencies ranging from 2.5 kHz to 350 kHz were applied to the right side of the body. The subjects were 25 older men and 44 older women, aged 60 to 88 years (men: 72.4 ± 7.33 yr, women: 73.6 ± 9.45 yr). The average LTM determined by DXA were 45.8 ± 4.68 kg for men and 32.6 ± 3.38 kg for women. Multiple regression equations developed in the present study for estimating LTM and BMC were: $LTM = 0.401Ht^2/R_{Low} - 4.897Sex + 0.164Wt + 17.586$ ($r_m = 0.964$, $SEE = 2.05$ kg) and $BMC = 0.036Wt + 0.021Ht - 0.142Sex - 2.982$ ($r_m = 0.887$, $SEE = 0.28$ kg); where r_m = multiple correlation coefficient, SEE = standard error of estimate (kg), Ht = height (cm), R_{Low} = resistance at low frequency, and Wt = weight (kg). These equations may be applicable to a wide range of older Japanese persons with relatively high precision.

Key Words: extracellular fluid, total body water, dual energy X-ray absorptiometry, lean tissue mass, multi-frequency bioelectrical impedance

1. 緒言

加齢とともに変化する^{5,26)}身体組成を簡便に評価する方法として採用されているbioelectrical impedance (BI)法は、Hofferらをはじめ、Lukaskiら、Segalら、Deurenbergら、Houtkooperら、Nakadomoらによって青少年、成人男女、肥満者、スポーツ競技選手など広範囲の対象者について検討され、

その妥当性や有用性の高いことが認められている^{6,10-12,19,21,22,25)}。普及されているBI法のほとんどは、800 μ A, 50 kHz固定の極微弱な交流電気を体に通電させるときに得る抵抗値を手がかりとして身体組成を測定する単周波数法である^{6,12,19,21,22)}。単周波数BI法に基づく、肥満者の除脂肪組織量 (fat-free mass: FFM)は過大評価^{10,25)}、高齢者^{24,28)}や

* 東取手病院 Higashi Toride Hospital

** 筑波技術短期大学理学療法学科 Department of Physical Therapy, Tsukuba College of Technology

各種スポーツ競技選手²²⁾のFFMは過小評価される傾向にあり、単周波数BI法に対する疑問の声が少なくない。この理由の1つとして、FFM内に占める体水分率が老若男女を問わず一定であるという仮定のもとで成り立っている原理が挙げられる。体水分量の加齢に伴う変化は細胞内液量 (intracellular fluid: ICF) よりも細胞外液量 (extracellular fluid: ECF) が大であり²⁷⁾、肥瘦度の増高とともに ECFが増加し²⁵⁾、筋肉量が多くなるほど相対的に ECFは少なくなり、ICFが多くなる⁷⁾など対象者による特性が単周波数BI法では十分に反映されないということになる。このように、単周波数BI法を利用して得る情報に基づいて身体組成を評価すると、対象者に特異的にみられる情報の反映度が低くなる限界から生じる誤差が大きくなり、誤った結果に基づいて現象を説明する危険性が高まる。したがって、対象者に内在する情報源がより広く反映できる精度の高い新しい方法の開発に期待が高まっている。

このような現状を踏まえて、低周波数と高周波数の両方を同時に用いる多周波数BI法が最近開発され、研究者の間で強い関心が向けられている^{9, 29, 32, 33)}。多周波数BI法の場合^{16, 30)}、1 kHz、5 kHzなどの低周波数では細胞膜の抵抗が高いために電流はICFに流れにくくなる。つまり、低周波数で得られる抵抗値は主にECFの情報を反映するものである。高周波数になるとICFに流れる電流の量が増加し、ICFとECFの両方に流れることになる。このように、高周波数で得られる抵抗値は総水分量 (total body water: TBW) を反映する情報になることから、低周波数と高周波数の情報を利用すれば、ECFやTBWの定量化が可能である。今後、多周波数の情報に基づいて身体組成を測定すれば、高齢者、肥満者、スポーツ競技選手における推定精度の上昇が期待できる。

寿命の延長に伴って高齢期がますます長期化する社会情勢の中、高齢者の健康維持と深く関わっている身体組成についての検討が欧米中心に活発に行なわれている^{1, 3, 8, 24, 28, 31, 33)}。しかし、高齢者の身体組成を評価する精度の高い推定式の開発が必要であることをKuczmarski¹⁸⁾が提案したように、高齢者の身体組成に関する研究が十分に行なわれているとは言えない。とくに、日本は世界最長寿国になっているにも関わらず高齢者の身体組成に関する研究は非常に限られている。

今回の目的は、多周波数BI法を適用し、高齢者の身体組成を評価することの妥当性について検討し、身体組成を高い精度で推定できる式を提案することである。

2. 方法

1) 対象者

本研究の対象となった高齢者は、茨城県つくば市、土浦市、牛久市、水戸市、取手市、北相馬郡、稲敷郡、筑波郡に在住する60~88歳の高齢男女69名(男性25名、女性44名)で、医師が測定を認めた者のみである。

2) 測定項目

①形態

身長

体重は二重エネルギーX線吸収法 (dual energy X-ray absorptiometry: DXA) により計測した骨塩量 (bone mineral content: BMC)、脂肪量 (fat mass: FM)、全体よりBMCとFMを除いた重量 (bone-free lean tissue mass: LTM) の合計値である。

②生理的項目

収縮期血圧、拡張期血圧、安静時心拍数

③インピーダンス値

インピーダンス値は、多周波数インピーダンス機器の本体から周波数2.5 kHz~350 kHzの信号成分を含んだ電流 (100 μ Arms) を身体に流し、そのときの手足間の電圧、身体に流れた電流を計測する装置 (MLT-100: 積水化学工業製) を利用した。1回の測定で低周波数と高周波数の抵抗値が同時に得られる。低周波数と高周波数の範囲は個人によって異なるものである。つまり、個人の臨界値より小値は低周波数、高値は高周波数になる。多周波数インピーダンス値は周辺にある金属の影響を受けて変動しやすいので、被験者を木製の簡易ベッド上に仰向けに横たわらせて測定し、測定の前30分に校正を行なった。測定方法は、仰臥位姿勢を保持し、両手と両足を軽く開いた状態で、計測部位である右手関節—右足関節をアルコールで十分に清拭した後、電極テープを介した4極法を利用した。

④身体組成

身体組成の測定は、高エネルギーと低エネルギーの線質の異なる2つのX線が組織を透過するとき、吸収と散乱による減衰の特性が2つのX線

間で異なることを利用するDXA装置(ルナ社製DPX-L)を利用して、BMC, FM, LTMを測定した²⁰⁾。

3) 資料処理

①各変数の平均値と標準偏差を求めた。

②DXA法によるBMC, LTMと各変数との関連性は、ピアソンの積率相関係数より検討した。

③DXA法によるBMC, LTMを従属変数, 低周波数での抵抗値(R_{Low})や高周波数での抵抗値(R_{High})と身長(比, 体重, 性別, 年齢などを説明変数として, 重回帰分析を行なった。精度は, 重相関係数と推定の標準誤差から検討した。

④統計学的な有意水準は5%とした。

3. 結果

高齢男女における測定項目の平均値, 標準偏差を求めた(Table 1)。FFM(BMC+LTM)は男性で 48.3 ± 5.18 kg(LTM: 45.8 ± 4.68 kg, BMC: 2.5 ± 0.57 kg), 女性で 34.2 ± 3.64 kg(LTM: 32.6 ± 3.38 kg, BMC: 1.6 ± 0.34 kg), 全体で 39.3 ± 7.99 kg(LTM: 37.3 ± 7.45 kg, BMC: 2.0 ± 0.60 kg)であった。 R_{Low} は男性で $459.1 \pm 47.24 \Omega$, 女性で $529.1 \pm 49.94 \Omega$, 全体で $503.0 \pm 59.35 \Omega$ であり, R_{High} は男性で $325.1 \pm 43.27 \Omega$, 女性で $399.0 \pm 50.94 \Omega$, 全体で $371.5 \pm 59.92 \Omega$ であった。

DXA法によるLTM, BMCと各変数との関連性を検討した(Table 2)。LTMとの相関はすべての

Table 1 Descriptive statistics (M \pm SD) for each variable in older Japanese men and women.

Variable	Men	Women	Total
Age (yr)	72.4 \pm 7.33	73.6 \pm 9.45	73.2 \pm 8.71
Height (cm)	161.4 \pm 4.48	147.1 \pm 5.63	152.3 \pm 8.65
Weight (kg)	60.9 \pm 7.23	49.4 \pm 7.99	53.6 \pm 9.47
HR (b/min)	65.2 \pm 8.13	69.1 \pm 7.57	67.7 \pm 7.94
DBP (mmHg)	77.0 \pm 13.06	75.3 \pm 10.64	76.0 \pm 11.50
SBP (mmHg)	131.3 \pm 14.50	134.4 \pm 15.07	133.3 \pm 14.82
% fat (%) *	20.5 \pm 6.21	29.9 \pm 7.98	26.5 \pm 8.63
Fat (kg) *	12.6 \pm 4.45	15.2 \pm 5.89	14.3 \pm 5.52
LTM (kg)	45.8 \pm 4.68	32.6 \pm 3.38	37.3 \pm 7.45
BMC (kg)	2.5 \pm 0.57	1.6 \pm 0.34	2.0 \pm 0.60
FFM (kg)	48.3 \pm 5.18	34.2 \pm 3.64	39.3 \pm 7.99
R_{Low} (Ω)	459.1 \pm 47.24	529.1 \pm 49.94	503.0 \pm 59.35
R_{High} (Ω)	325.1 \pm 43.27	399.0 \pm 50.94	371.5 \pm 59.92

HR=heart rate (b/min), DBP=diastolic blood pressure (mmHg), SBP=systolic blood pressure (mmHg)
LTM=lean tissue mass by DXA (kg), BMC=bone mineral content by DXA (kg),
FFM=fat-free mass (kg), R_{Low} =resistance at low frequency (Ω),
 R_{High} =resistance at high frequency (Ω), *measured by DXA

Table 2 Correlation coefficients of selected variables with LTM and BMC determined by DXA in older Japanese men and women.

Variable	Men		Women		Total	
	LTM	BMC	LTM	BMC	LTM	BMC
Age	-0.610 *	-0.509 *	-0.625 *	-0.577 *	-0.373 *	-0.422 *
Sex					-0.855 *	-0.694 *
Height	0.443 *	0.490 *	0.640 *	0.604 *	0.853 *	0.780 *
Weight	0.785 *	0.752 *	0.708 *	0.767 *	0.805 *	0.839 *
R_{Low}	-0.711 *	-0.530 *	-0.562 *	-0.521 *	-0.792 *	-0.697 *
R_{High}	-0.814 *	-0.633 *	-0.609 *	-0.607 *	-0.752 *	-0.755 *
Ht \times Ht/ R_{Low}	0.846 *	0.686 *	0.809 *	0.719 *	0.939 *	0.852 *
Ht \times Ht/ R_{High}	0.893 *	0.728 *	0.790 *	0.729 *	0.937 *	0.864 *

* $P < 0.05$

Ht=height

項目について有意($P<0.05$)であり, 身長では男性 $r=0.443$, 女性 $r=0.640$, 全体 $r=0.853$, 体重では男性 $r=0.785$, 女性 $r=0.708$, 全体 $r=0.805$ であった。 R_{LOW} および R_{HIGH} との相関は男性でそれぞれ $r=-0.711$, $r=-0.814$, 女性でそれぞれ $r=-0.562$, $r=-0.609$, 全体でそれぞれ $r=-0.792$, $r=-0.752$ であった。また, R_{LOW} や R_{HIGH} と身長を組み合わせることによって相関は顕著に高まり, R_{LOW} と身長を組み合わせさせた場合には, 男性で $r=0.846$, 女性で $r=0.809$, 全体で $r=0.939$, R_{HIGH} と身長を組み合わせさせた場合には, 男性で $r=0.893$, 女性で $r=0.790$, 全体で $r=0.937$ が得られた。

DXA法によるBMCおよびLTMを妥当基準とし, 形態項目や抵抗値を組み合わせた変数を利用して重回帰分析を施した(Table 3)。身長, 体重, 性別の3変数からBMCを推定するときの精度は重相関係数 $r_m=0.887$, 推定の標準誤差 $SEE=0.28$ kgとなった。 Ht^2/R_{LOW} , 性別, 体重の3変数を利用してLTMを推定するときの精度は, $r_m=0.964$, $SEE=2.05$ kgとなった。

DXA法により計測したFFMと多周波数BI法によって推定したFFMをプロットして相関図を描いて観察した(Fig. 1)。ほとんどのFFMは計測値と推定値が一致する $y=x$ の同一線上の付近に集中することから, 推定精度の高いことが確認された。

4. 考察

低周波数と高周波数を利用する多周波数BI法を利用して本邦高齢者の身体組成を推定するときの精度について検討したところ, LTMと R_{LOW} との相

関が高齢男性で $r=-0.711$, 高齢女性で $r=-0.562$, 高齢男女で $r=-0.792$, LTMと R_{HIGH} との相関が高齢男性で $r=-0.814$, 高齢女性で $r=-0.609$, 高齢男女で $r=-0.752$ と単一の説明変数だけでは十分とは言えない結果となった。そこで, 身長と R_{LOW} や R_{HIGH} を組み合わせた合成変数との相関関係を検討した。身長と R_{LOW} や R_{HIGH} という合成変数の利用は, 電気抵抗は長さに比例し横断面積に逆比例するという電気特性に基づいている^{11,19}。この変数については先行研究で検討されて, よく利用されている^{10,11,19,21}。その結果, 身長と R_{LOW} の合成変数による推定の精度は高齢男性で $r=0.846$, 高齢女性

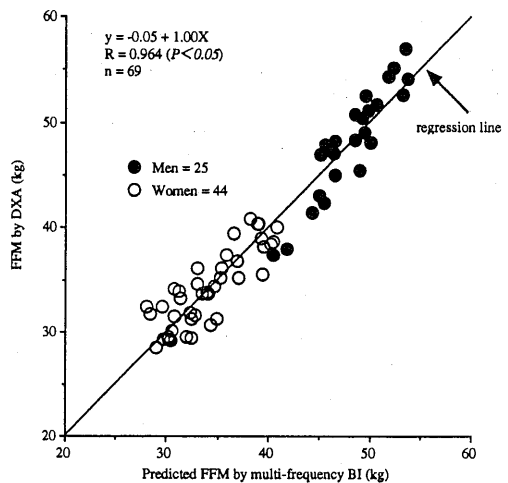


Fig. 1 Relationship between FFM determined by DXA and FFM predicted from multi-frequency bioelectrical impedance method in older Japanese persons.

Table 3 Prediction equations for determining BMC and LTM of older Japanese persons.

Variable	Prediction equation	R	SEE
BMC	$BMC=0.053Wt-0.892$	0.839	0.33
	$BMC=0.036Wt+0.027Ht-4.134$	0.884	0.29
	$BMC=0.036Wt+0.021Ht-0.142Sex-2.982$	0.887	0.28
	$BMC=0.036Wt+0.023Ht-0.118Sex+0.002Age-3.364$	0.887	0.29
LTM	$LTM=0.725(Ht \times Ht/R_{LOW})+3.041$	0.939	2.61
	$LTM=0.544(Ht \times Ht/R_{LOW})-4.557Sex+19.076$	0.956	2.25
	$LTM=0.401(Ht \times Ht/R_{LOW})-4.897Sex+0.164Wt+17.586$	0.964	2.05
	$LTM=0.379(Ht \times Ht/R_{LOW})-5.687Sex+0.121Wt-0.080Age+28.105$	0.967	1.99

R= multiple correlation coefficient

SEE= standard error of estimate (kg)

BMC= bone mineral content by DXA (kg)

LTM= lean tissue mass by DXA (kg)

Ht= height (cm)

Wt= weight (kg)

で $r=0.809$, 高齢男女で $r=0.939$, 身長と R_{HIGH} の合成変数による推定の精度は高齢男性で $r=0.893$, 高齢女性で $r=0.790$, 高齢男女で $r=0.937$ と高まり, LTMを推定する上での精度の上昇が認められた。さらに, 身長(Ht)と R_{LOW} の合成変数($\text{Ht}^2/R_{\text{LOW}}$)に性別(r_m : 0.017増加, SEE: 0.36 kg減少), 体重(r_m : 0.008増加, SEE: 0.20 kg減少)の変数を加えることにより, 重相関係数 r_m は高くなり, 推定の標準誤差SEEは低くなって精度の改善が見られた。しかし, 年齢(r_m : 0.003増加, SEE: 0.06 kg減少)を加えても精度の変化が見られなかった。この結果に基づいて, 今回は「 $\text{Ht}^2/R_{\text{LOW}}$, 性別, 体重」の3変数を利用してLTMを推定する式を提案することにした。

BMCを推定する式を作成した結果, 体重($r_m=0.839$, SEE=0.33 kg) 1つの変数による推定は精度が十分とはいえなかった。体重と身長2つの変数を利用することにより重相関係数と推定の標準誤差の変動から検討した推定精度の改善が見られた($r_m=0.884$, SEE=0.29 kg)。身長と体重の形態変数に性別(男性: 1, 女性: 2)を加えると, 重相関係数 $r_m=0.887$, SEE=0.28 kgが得られた。しかし, 年齢を加えても精度の改善が見られなかった。以上の結果から, 「体重, 身長, 性別」の3つを説明変数とする式の採用が妥当であると判断した。

作成したLTM推定式およびBMC推定式から求めたFFM(LTM+BMC)とDXA法により計測したFFMとの間には $r_m=0.964$ の高い相関が観察され, 身体組成を推定する多周波数BI法の妥当性の高いことが認められた。この結果から, 本研究で作成した式は本邦高齢男女の身体組成を評価する上で適切であると判断できる。しかし, 今回作成した推定式が本研究で用いられた集団のみに有効な推定式であるのか, より一般性を有するものであるのかに関する交差妥当性の検討が今後の課題である。この課題を解決するための資料収集が現在進行中である。

高齢者の身体組成に関する研究はまだ活発に行われていないので, 関連する専門分野において詳細な論議が必要であると思われる。まずは, 身体組成を評価するときに採用する妥当基準に関する論議であり, 2つ目は高齢者用の式が必要であるのか, 3つ目は多周波数BI法の有効性についての論議であろう。

従来から今日までに妥当基準として最も頻繁に用いられてきた水中体重秤量法は, 体重を脂肪とFFMに2分する単純モデルに基づいての測定であり²⁾, 加齢とともに低下する骨量⁴⁾に関する情報が反映されにくいことから, FFMを過小評価するなど限界の大きいことが論議されている^{8,13)}。また, 測定の際には被験者側に多大な協力を求めなければならず, とくに高齢者については信頼できる値を得ることが困難であるという指摘がなされている¹⁷⁾。

今回, 妥当基準として採用したDXA法は, 線質の異なる2つのX線が組織を透過するときに, 吸収, 散乱による減衰率が線質によって異なるという性質を利用して, FM, LTM, BMCを測定する方法である²⁰⁾。BMC, FM, LTMの3-component model¹⁾から身体組成を推定するDXA法の妥当性については数多くの研究が行なわれ^{3,20,26,28)}, その精度の高いことが認められている。また, DXA法に基づいて身体組成を評価する利点として次の点が挙げられる: ①対象者の違いによる方法論上の制限が少ない, ②加齢とともに減少する骨量の情報が得られる, ③被験者の協力を得やすい。このような長所から, DXA法は高齢者の身体組成を評価するときの妥当基準として適切な方法であると判断できる。

次に, 高齢者用の式が必要であるのかに関する論議を行なう。Deurenbergらは, 皮下脂肪厚法は高齢者の体脂肪率を過小評価する傾向に, Segalらの式やLukaskiらの式を利用して高齢者の身体組成を評価するとFFMを過大評価する傾向(〜6 kg)にあることを指摘し, 60〜83歳の健常な高齢男性35名, 高齢女性37名を対象者に単周波数BI法からFFMを推定する式を提案している。しかし, このモデル⁸⁾はTBWやFFMを過小評価する傾向があり, ECFに関する情報を考慮しなかったという点をVacheら³¹⁾は指摘した。Hughes & Evans¹³⁾は49〜74歳の被験者について, 水中体重秤量法によるFFMと単周波数BI法によるFFMを比較するとBI法が6〜7 kg過大評価される傾向にあることを見出し, BI法の過大評価につながる原因として, 水中体重秤量法ではFFM内の水分量やミネラル量に関する情報が反映されないことによるFFMの過小評価であると推論した。Steen²⁷⁾は, 高齢期に起こる体重の減少には体水分量(とくにECF)の減少が関与していることを指摘し, ECFに関する情報

の重要性を強調した。ECFの推定には1 kHzあるいは5 kHzが最も有効であることがDeurenbergら⁹⁾やVisserら³³⁾によって検討されている。本研究でも低周波数での測定値がLTMと有意に関連したことから、Steenの主張を裏づける結果が得られたといえる。このようなことから、高齢者の身体組成を評価するときに低周波数での抵抗値を利用することによりECFに関する情報が得られ、推定の精度が上昇すると判断できた。今回、ECFを反映する低周波数抵抗値はTBWを反映する高周波数抵抗値よりLTMに対して高い相関を示す結果を得たが、この点については今後さらなる検討が必要であると思われる。

高齢者の身体組成を検討するにあたり、先行研究で指摘されている次の2つの点を考慮することが重要であろう：①加齢に伴って減少する骨量を反映すること、②高齢者において重要な情報源となるECFを含めること。本研究で作成した式はこの2点を考慮していると思われる。つまり、DXA法を妥当基準として採用することにより骨量に関する情報が反映され、低周波数抵抗値を利用することによりECFに関する情報が得られることになる。

次に多周波数BI法の有効性について論議する。今日まで広く普及している単周波数BI法の場合、体内で重要な役割を担っている体水分量はFFMに占める割合が一定(73.2%)であるという仮定のもとで成り立っている²⁹⁾。しかし、FFMに占める体水分量の比率は加齢に伴って大きく変動する。つまり、胎児で約90%、新生児で約80%、成人で約70%、高齢者で約60%と漸減し、70~80歳の男性では60%以下、同女性では50%以下になると報告されている²⁷⁾。また、同じ年齢の個人間でも肥瘦度²⁵⁾や筋肉量⁷⁾によって大きく異なる場合があることから、この仮定をすべての人に適用すれば誤差情報が大きくなりかねない。さらに、TBWに対するECFの比は加齢とともに変化するものであり²⁷⁾、食事制限がもたらすTBWの減少はICFの減少が主であり、利尿薬はICFよりもECFに作用すること、月経前後に生じるインピーダンス値の差は性ホルモン(プロゲステロン)による月経前のECF保持作用の影響であることなどが報告されている⁷⁾。このように、生体機能上のさまざまな場面においてTBWに対するECFとICFの比が非常に重要な意味を持つことが明らかである。以上のこ

とを踏まえると、単周波数BI法ではFFM内に占める水分量が一定であるという仮定のもとに身体組成を推定せざるを得ないため、この方法での評価は原理的に限界であろう。

多周波数BI法も単周波数BI法と同様に体水分量を情報源として利用している。しかし、多周波数BI法は生体の電気伝導性に対して重要な役割を果たしている細胞膜の電気的特性を考慮している。生体の電気特性を検討するときの細胞膜の電気抵抗は100~1000Ωcmである¹⁴⁾。また、細胞膜の電気容量は普通の細胞で1cm²あたり1μFであるが、筋細胞では10μF以上になる¹⁵⁾。つまり、電気的な特性からみて細胞膜は容量の大きなコンデンサと見なすことができる。このような生体電気特性に基づき、1kHzや5kHzなどの低周波数の場合は電気がECFのみに流れ、ECF量を反映する抵抗値の計測が可能となり、一方で100kHzや200kHzなどの高周波数の時には電気が細胞膜を通過してECFとICFの両方に流れるので、TBW量の推定が可能な抵抗値が得られるといえる。このように、ECFやTBWに関する情報を利用する多周波数BI法は^{7,9,16,29,31-33)}、FFM内に占める水分量が一定と仮定する単周波数BI法の限界を補うものであろう。

以上の論議から、本研究で提案した推定式を利用することにより高齢者の身体組成をより高い精度で評価できると思われる。しかし、本研究で対象とした被験者の数が十分とは言えないことから、今後さらに詳細な検討を進める計画である。

V. まとめ

健常な高齢男女69名から得たBMCとLTM(DXA法)を妥当基準とし、高齢者の身体組成を評価する多周波数インピーダンス法の有用性について検討した。その結果、低周波数での抵抗値と形態変数を利用すれば、高齢者の身体組成を高い推定精度で評価できるという知見が得られた。本研究で提案した推定式の一般性についての検討は、今後の課題である。

謝辞

本研究は平成10年度文部省科学研究費補助金「基盤研究(C)(課題番号10680012)」およびTARA田中プロジェクトの支援を受けて実施された。

引用文献

- 1) Baumgartner RN, Stauber PM, McHugh D, Koehler KM and Garry PJ (1995): Cross-sectional age differences in body composition in persons 60+ years of age. *J Gerontol Med Sci* 50A: M307-M316.
- 2) Brozek J, Grande F, Anderson JT, and Keys A (1963): Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumption. *Ann N Y Acad Sci* 110: 113-140.
- 3) Chapman NC, Bannerman E, Cowen S, and MacLennan WJ (1988): The relationship of anthropometry and bio-electrical impedance to dual-energy X-ray absorptiometry in elderly men and women. *Age Aging* 27: 363-367.
- 4) Cohn SH, Vaswani A, Zanzi I, and Ellis KJ (1976): Effect of aging on bone mass in adult women. *Am J Physiol* 230: 143-148.
- 5) Cohn SH, Vartsky D, Yasumura S, Sawitsky A, Zanzi I, Vaswani A, and Ellis KJ (1980): Compartment body composition based on total body nitrogen potassium and calcium. *Am J Physiol* 239: E524-E530.
- 6) Deurenberg P, Weststrate JA, and Kooy K (1989): Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurement. *Am J Clin Nutr* 49: 401-403.
- 7) Deurenberg P, Koody K, Leenen R, and Schouten FJM (1989): Body impedance is largely dependent on the intra- and extra-cellular water distribution. *Eur J Clin Nutr* 43: 845-853.
- 8) Deurenberg P, Weststrate JA, and Hautvast JG (1990): Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged > 60y. *Am J Clin Nutr* 51: 3-6.
- 9) Deurenberg P, Tagliabue A, and Schouten FJM (1995): Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Br J Nutr* 73: 349-358.
- 10) Gray DS, Bray GA, Gemayel N, and Kaplan K (1989): Effect of obesity on bioelectrical impedance. *Am J Clin Nutr* 50: 255-260.
- 11) Hoffer EC, Meador CK, and Simpson DC (1969): Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol* 27: 531-534.
- 12) Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, and Van Loan M (1992): Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: A cross-validation study. *J Appl Physiol* 72: 366-373.
- 13) Hughes VA, and Evans WJ (1987): Assessment of fat free mass in an older population using bio-electrical impedance. *Fed Proc* 46: 1186a (abstr).
- 14) 池田謙一(1968): 膜とその物理化学. *医用電子と生体工学* 6: 154-159.
- 15) 金井寛(1975): 生体物性(2) —電気特性. *医用電子と生体工学* 13: 307-315.
- 16) Kanai H, Haeno M, and Sakamoto K (1987): Electrical measurement of fluid distribution in legs and arms. *Med Prog Tech* 12: 159-170.
- 17) 北川薫(1989): 密度法による体脂肪量の測定法. *体育の科学* 31: 433-437.
- 18) Kuczmarski RJ (1989): Need for body composition information in elderly subjects. *Am J Clin Nutr* 50: 1150-1157.
- 19) Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, and Lykken GI (1985): Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 41: 810-817.
- 20) Mazess RB, Barden H, Bisek JP, and Hanson J (1990): Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 51: 1106-1112.
- 21) Nakadomo F, Tanaka K, Hazama T, and Maeda K (1990): Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn J Appl Physiol* 20: 321-330.
- 22) Oppliger RA, Nielsen DH, Shetler AC, Crowley ET, and Albright JP (1992): Body composition of collegiate football players: Bioelectrical impedance and skinfolds compared to hydrostatic weighing. *JOSPT* 15: 187-192.
- 23) Pace N, and Rathbun EN (1945): Studies on body composition: III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J Biol Chem* 158: 685-691.
- 24) Reilly JJ, Murray LA, Wilson J, and Durnin JVG (1994): Measuring the body composition of elderly subjects: A comparison of methods. *Br J Nutr* 72: 33-44.
- 25) Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, and Van Itallie TB (1988): Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: A four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr* 47: 7-14.
- 26) Snead DB, Birge SJ, and Kohrt WM (1993): Age-related differences in body composition by hydrodensitometry and dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol* 74: 770-775.
- 27) Steen B (1988): Body composition and aging. *Nutr Rev* 46: 45-51.
- 28) Svendsen OL, Haarbo J, Heitmann BL, Gotfredsen

- A, and Christiansen C (1991): Measurement of body fat in elderly subjects by dual-energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and anthropometry. *Am J Clin Nutr* 53: 1117-1123.
- 29) Tagliabue A, Cena H, and Deurenberg P (1996): Comparative study of the relationship between multi-frequency impedance and body water compartments in two European populations. *Br J Nutr* 75: 11-19.
- 30) 田中喜代次, 金憲経(1998): 生体電気インピーダンス(BI)法とその応用. *臨床検査* 42: 1055-1058.
- 31) Vache C, Rousset P, Gachon AM, Morio B, Boulier A, Coudert J, Beaufriere B, and Ritz P (1998): Bioelectrical impedance analysis measurements of total body water and extracellular water in healthy elderly subjects. *Int J Obes* 22: 527-543.
- 32) Van Loan MD, and Mayclin PL (1992): Use of multi-frequency bioelectrical impedance analysis for the estimation of extracellular fluid. *Eur J Clin Nutr* 46: 117-124.
- 33) Visser M, Deurenberg P, and Van Staveren WA (1995): Multi-frequency bioelectrical impedance for assessing total body water and extracellular water in elderly subjects. *Eur J Clin Nutr* 49: 256-266.