

Bioelectrical Impedance Analysis による身体組成評価

—健康人及び血液透析患者による検討—

新潟大学医学部外科教室第一講座（主任：武藤輝一教授）

草間昭夫

Assessment of Body Composition using Bioelectrical
Impedance Analysis in Healthy Volunteer and
Patients undergoing Renal Dialysis

Akio KUSAMA

*First Department of Surgery,
Niigata University School of Medicine
(Director: Prof. Terukazu MUTO)*

The aim of this study was to determine accuracy of indices of body composition by bioelectrical impedance analysis (BIA). Measurements were performed in 60 normal Japanese volunteers (41 male, 19 female) and in 11 patients with chronic renal failure (7 male, 4 female), aged 25~85 yrs. Resistance was obtained by BIA using a tetrapolar electrode of 500 μ A and 50 kHz current. Weight (Wt), height (Ht), arm circumference and triceps skinfold thickness (TSF) were measured in healthy subjects and twice measured in patients once before and once after dialysis. Lean body mass (LBM) and percentage fat (%BF) were expressed as Ht^2/R and RWt/Ht^2 , respectively. Percent ideal body weight (%IBW), body mass index (BMI), body surface area (BSA), weight $(BW)^{0.75}$, arm muscle circumference (AMC) and arm muscle area (AMA) were calculated from the criterion methods. In healthy subjects, significant correlations were obtained between Ht^2/R and BSA, $BW^{0.75}$, AMC and AMA, respectively ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). Significant correlations were found between RW/Ht^2 and %IBW ($p < 0.05$), BMI ($p < 0.01$), and TSF ($p < 0.01$), respectively. There were significant differences in R, Ht^2/R and RW/Ht^2 before and after dialysis ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). Significant positive correlations were seen between changes in Ht^2/R and both decreases in water (ml) and changes in weight following hemodialysis ($p < 0.01$,

Reprint requests to: Akio KUSAMA,
First Department of surgery, Niigata
University School of Medicine,
Asahimachi-dori 1, Niigata City, 951,
JAPAN.

別刷請求先：〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部外科教室第一講座

草間昭夫

$p < 0.01$). The results suggest that the BIA is as reliable a method in determining LBM as anthropometric methods in a healthy Japanese population. The results also suggest that R is sensitive in detecting alternation in TBW. Changes in Ht^2/R are also useful in estimating changes in TBW associated with dialysis.

Key words: BIA, body composition, hemodialysis

はじめに

外科手術後や低栄養の患者に適切な栄養管理を行うには、栄養状態を把握し、個々の栄養必要量に見合った栄養投与を行うことが必要で、そのために身体構成々分、特に lean body mass (LBM) を知る事が重要である。また重症患者では、その体内水分の変動を把握することが必要となる。身体構成々分を測定する方法として、従来より多くの方法が示されている¹⁾。しかし、その多くは高価な設備と複雑な手技を要し、実用性に欠ける。近年、bioelectrical impedance analysis (BIA) は、臨床分野においても用いられるようになってきた身体構成成分を測定する方法であり²⁾、非侵襲的に繰り返し測定することができ、携帯性に優れ、測定者間の測定誤差がなく³⁾、再現性に優れ⁴⁾⁵⁾⁶⁾、そして安価であることが特徴である。しかし、その有用性の評価は、安静時の健康人についてのものがほとんどで、水分代謝の変動のある病態下での評価はあまり多くない。BIA を用いて体内水分量の評価ができればその有用性は大きいと考える。

本研究は、BIA により求めた除脂肪体重 (fat free mass: FFM)、脂肪重量比 (%body fat: %BF) の指標と、身体計測より求めたそれぞれの指標との相関を検討しその有用性を示すとともに、慢性腎不全患者の透析前後で、FFM の指標の変動と除水量との相関を検討し、急激な水分代謝の変動のある病態下で体内水分量の変動を BIA によって推定できるかどうかを明らかにすることを目的とした。

研究方法

1. 対象

正常健康人 (健康群): 60名 (男性41名, 女性19名) 25-47才 (平均 29.6 才) および慢性腎不全に対して血液透析が行われた透析患者 (透析群): 11名 (男性7名, 女性4名) 25-85才 (平均 50.1 才) を対象とした。

2. 測定方法および測定項目

健康群は早期空腹時に排尿後、背臥位で約20分安静の

後、利き腕と反対側の上下肢間で生体抵抗値を測定し、続いて、身体計測を行った。透析群は透析回路装着前約10分間背臥位安静の後と、透析後回路を外した直後に、それぞれ内シャント施行側と反対側の上下肢で生体抵抗値測定を行なうとともに、身体計測を施行した。なお、透析患者は透析中に既定の 500 g の食事を摂取した。透析時間は、それぞれの患者ではば予定された除水量 (1030-4880 ml, 平均 2676 ml) を得るまでの3時間5分から5時間30分 (平均 4時間31分) であった。

1) 生体抵抗値 (resistance 以下 R): 生体抵抗測定装置 1990A (Valhalla Scientific 社) を用い、4極測定法⁵⁾⁷⁾ により 50 kHz, 500 μ A の交流を流したときの R (ohm) を測定した。

2) 身体計測値: 身長 (Ht) (cm), 体重 (Wt) (kg), 上腕囲 (arm circumference: AC) (cm), および上腕三頭筋部皮下脂肪厚 (triceps skinfold thickness: TSF) (mm) を測定した。Wt は軽装着衣の状態で測定した。AC は利き腕の反対側で肩甲骨の肩峰と尺骨突起とを結んだ中点でメジャーを用い計測し、TSF は同部で栄研式キャリパーにて測定した。

3) 除水量: 透析群で透析中に排出された水分量を d-Water (ml) として記録した。

3. 検討項目および検討方法

人体の複雑な構造を単純な円柱型の導体にとえ、導体としての体積が円柱の長さの2乗をRで除した値と比例するという Hoffer ら⁷⁾ の理論より、LBM の指標として Ht^2/R 値を用いた。また、電解質溶液の resistivity がその単位溶液中に占める脂肪の比率と平行して増加するという Khaled⁸⁾ らの理論より算出された値 $R \times Wt / Ht^2$ (以下 RW/Ht^2) を %BF の指標として用いた。

健康群、透析群の透析前後でおのおの測定した R より Ht^2/R 値, RW/Ht^2 値を算出し、 Ht^2/R 値と %IBW, body mass index (BMI), body surface area (BSA), 体重の 3/4 乗 ($BW^{0.75}$), 上腕筋肉周囲長 (arm muscle circumference: AMC), そして上腕筋断面積 (arm muscle area: AMA) それぞれとの間の相関を検討し

た。また、RW/Ht² 値と%IBW, BMI 値, TSF 値それぞれとの間の相関を検討した。

次に、透析前後の Ht²/R 値の変化量 (d-Ht²/R) と体重変化量 (d-Wt), d-Water との間の相関についても検討した。

%IBW は岩鶴式推定標準体重 (男性: W=(L-100)×0.95, 女性: W=(L-100)×1.05, W: 体重 kg, L: 身長 cm) に対する実測体重の百分率で示した。

BMI 値 (kg/cm²) は Wt/Ht² で算出され、体脂肪量の指標⁹⁾ として用いた。

BSA 値 (m²) は藤本¹⁰⁾ が日本人健常人で示した年齢別の算出式 (1) を用いて、身長、体重より算出した。

$$BSA = Wt^{0.444} \times Ht^{0.663} \times 88.83 \quad (1)$$

BW^{0.75} 値は体表面積に変わる簡単な基礎代謝量の指標として Kleiber が示した値で体重の3/4乗で示した。

AMC (cm), AMA (cm²) は以下の式より算出した。

$$AMC = AC - (3.14 \times TSF / 10)$$

$$AMA = (AMC / 2\pi)^2 \times \pi = AMC^2 / (4 \times 3.14)$$

得られた値は平均±標準偏差 (mean±SD) にて表し、統計処理は Pearson の相関分析および平均値の差の検定 (対応のある t 検定) を用いて危険率 0.05 未満 (p<0.05) をもって有意とした。

結 果

1. 健常群

健常群の測定結果を表 1 に示した。

健常群における Ht²/R 値, RW/Ht² 値と各種検項目値との相関を表 2 に示した。

Ht²/R 値と%IBW, BMI 値, BSA 値, BW^{0.75} 値,

表 1 健常人の測定結果 (n=60)

	mean	SD
Resistance (ohm)	508.5	67.8
Ht ² /R (cm ² /ohm)	56.1	10.5
RW/Ht ² (ohm・kg/cm ²)	1.12	0.09
HEIGHT (cm)	166.9	8.0
WEIGHT (kg)	62.8	12.4
%IBW (%)	95.9	15.4
BMI (kg/m ²)	22.4	3.2
BSA (m ²)	1.66	0.19
BW ^{0.75} (kg ^{0.75})	22.24	3.31
TSF (mm)	12.7	5.6
AMC (cm)	24.2	3.3
AMA (cm ²)	47.5	12.7

表 2 健常人における Ht²/R, RW/Ht² と各種身体計測値との相関

		r	p
Ht ² /R	%IBW	0.778	p<0.01
	BMI	0.763	p<0.01
	BSA	0.928	p<0.01
	BW	0.916	p<0.01
	AMC	0.866	p<0.01
	AMA	0.863	p<0.01
RW/Ht ²	%IBW	0.321	p<0.05
	BMI	0.399	p<0.01
	TSF	0.410	p<0.01

(n=60)

AMC 値, および AMA 値との間に有意な正の相関が認められた。RW/Ht² 値と%IBW, BMI 値, および TSF 値との間に有意な正の相関が認められた。

2. 透析群

透析前後における測定値を表 3 に示した。

透析前後で Wt は 51.1±11.7 kg から 49.1±11.1 kg に有意に減少した。R値は 529.0±67.8 ohm から 619.8±80.2 ohm に有意に増加しており、それにともない Ht²/R 値は 48.1±10.8 cm²/ohm から 41.1±9.2 cm²/ohm と減少した。

RW/Ht² 値は透析前後で 1.07±0.15 ohm・kg/cm² から 1.21±0.21 ohm・kg/cm² と有意に増加した。

%IBW, BMI 値, BSA 値, および BW^{0.75} 値は Wt

表 3 透析患者の測定結果 (n=11)

	透析前	透析後
Ht (cm)	157.4±10.4	157.4±10.4
Wt (kg)	51.1±11.7	49.1±11.1*
R (ohm)	529.0±67.8	619.8±80.2*
Ht ² /R (cm ² /ohm)	48.1±10.8	41.1±9.2*
RW/Ht ² (ohm・kg/cm ²)	1.07±0.15	1.21±0.21*
%IBW (%)	90.9±16.0	87.1±14.8*
BMI (kg/m ²)	20.5±3.3	19.6±3.1*
BSA (m ²)	1.45±0.20	1.43±0.20*
BW ^{0.75} (kg ^{0.75})	19.04±3.28	18.46±3.15*
TSF (mm)	9.5±7.0	9.5±7.0
AMC (cm)	22.0±2.5	22.0±2.5
AMA (cm ²)	39.0±8.8	39.0±8.8

(mean±SD)

*: p<0.01

表 4 透析患者における、透析前の Ht²/R, RW/Ht² と各種身体計測値との相関

		r	p
Pre-Ht ² /R	%IBW	0.367	NS
	BMI	0.434	NS
	BSA	0.899	p<0.01
	BW ^{0.75}	0.816	p<0.01
	AMC	0.933	p<0.01
	AMA	0.922	p<0.01
Pre-RW/Ht ²	%IBW	0.656	p<0.05
	BMI	0.650	p<0.05
	TSF	0.776	p<0.01

(n=11)

表 5 透析患者における、透析後の Ht²/R, RW/Ht² と各種身体計測値との相関

		r	p
Post-Ht ² /R	%IBW	0.233	NS
	BMI	0.292	NS
	BSA	0.841	p<0.01
	BW ^{0.75}	0.728	p<0.02
	AMC	0.947	p<0.01
	AMA	0.940	p<0.01
Post-RW/Ht ²	%IBW	0.716	p<0.02
	BMI	0.729	p<0.02
	TSF	0.794	p<0.01

(n=11)

の減少ともなって、透析前に比し、透析後で有意な低値として算出された。

TSF 値, AMC 値, および AMA 値は透析前後で測定値に差は見られなかった。

透析群における、透析前後の Ht²/R 値, RW/Ht² 値と各種身体計測値との相関を表 4, および表 5 に示した。

透析前および透析後で、Ht²/R 値と%IBW, BMI 値との間には有意な相関は認められなかった。透析前においては、Ht²/R 値 (Pre-Ht²/R) と BSA 値, BW^{0.75} 値, AMC 値, および AMA 値との間に有意な正の相関が認められ、RW/Ht² 値 (Pre-RW/Ht²) と%IBW, BMI 値, および TSF 値との間に有意な正の相関が認められた。透析後においても、Ht²/R 値 (Post-Ht²/R) と BSA 値, BW^{0.75} 値, AMC 値, および AMA 値との間に有意な正の相関が認められ、RW/Ht² 値 (Post-

表 6 透析前後の変動量 (n=11)

d-Ht ² /R (cm ² /ohm)	7.06±3.93
d-RW/Ht ² (ohm・kg/cm ²)	0.138±0.086
d-Wt (kg)	2.07±1.01
d-Water (ml)	2676.4±1162.7

(mean±SD)

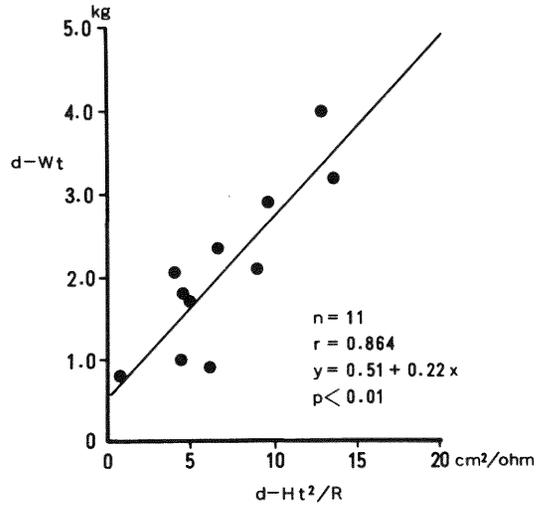


図 1 d-Ht²/R と d-Wt の相関

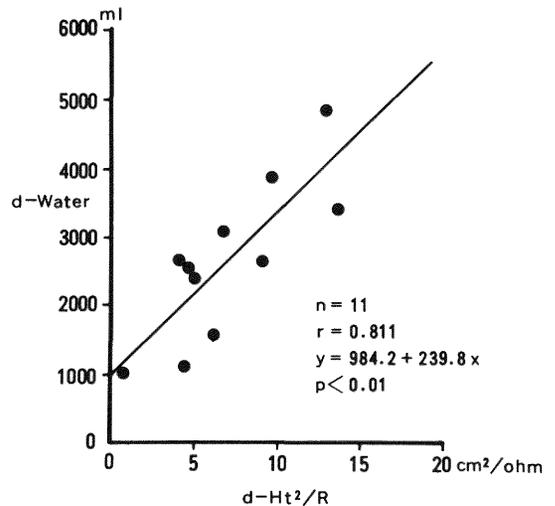


図 2 d-Ht²/R と d-Water の相関

RW/Ht²)と%IBW, BMI値, およびTSF値との間に有意な正の相関が認められた。

透析前後の, Ht²/R値, RW/Ht²値, Wtの変動量(それぞれd-Ht²/R値, d-RW/Ht²値, d-Wt)およびd-Waterを表6に示した。

d-Ht²/R値とd-Wt値, d-Water値それぞれとの間に危険率1%未満で有意な正の相関が得られた(図1, 2)。

考 察

BIA法による身体構成成分の評価は, Thomasset¹¹⁾が体内水分量の測定にBIAを用いたことに始まり, Hoffer⁷⁾らがtritium dilutionによって求めた体内水分量と, 4極電極法を用いたBIAによって算出したHt²/R値との間に強い相関のあることを示し, 広く用いられるようになった。Lukaski⁵⁾がFFMそのものを, Ht²/R値を用いて表す算出式を示し, Segal⁴⁾はRJL社が集めたデータより体比重をBIAにより算出し, Siri¹²⁾の算出式より%BFを求める方法を示した。他にも多くの身体構成成分を表す算出式が示されているが^{6), 8), 13)-17)}, 健康人でしかも欧米人の測定値をもとに算出されたものがほとんどであり, 人種^{18), 19)}, 年齢²⁰⁾⁻²²⁾, 性別^{13), 23), 24)}, 肥満度¹⁴⁾によって異なった算出式を用いることが必要とされている。また, 身体構成成分をより正確に算出するために, 算出式の項目は, BIAによって測定されたR, reactance (Xc), phase angleなどに, 身長, 体重, 年齢, 皮下脂肪厚などの身体計測値, 性別を交えた多彩なものがある²⁵⁾。日本人に適合する算出式は成人女性で示されているに過ぎない²⁶⁾。今回用いたValhalla社の生体抵抗測定装置は身長, 体重, 年齢, 性別, そしてRより, FFM, 脂肪重量(fat mass: FM), および体水分量(total body water: TBW)を算出する式が内蔵されているが, 算出式は公開されておらず, また算出式の日本人における妥当性は示されていない。著者は既存の算出式によらず, 広く認められているFFMの指標としてのHt²/R値, %BFの指標としてのRW/Ht²値を用いて, 日本人健康人におけるBIAの有用性を検討すると共に, 体内水分バランスが健康人と異なり急激な体内水分変動をとまう日本人慢性腎不全患者の透析前後での有用性を検討した。

1. 健康群における検討

今回検討対象とした健康群は%IBWが100±35%の範囲内にあり, BMI値が22.4±3.2 kg/m²と極端な肥満や痩せのない健康日本人の標準的分布²⁷⁾に一致

する対象群と言える。健康群において, 本来LBMの指標であるHt²/R値が%IBWや%BFの指標であるBMI値と高い相関を示したことで, Ht²/R値が体脂肪量の指標としても有用であると考えられた。このことは体格が比較的均整のとれている健康群では, FFMの多い人は少ない人よりFMを大きい比率で有しているためと考えられた。

脂肪組織の代謝活動は比較的低調で無視しても差し支えないとすると, あらわれた代謝活動はすべてそれ以外の身体成分(LBM)によって営まれたことになる。すなわち安定した状態では個体当りの基礎代謝量は, 体重ではなくLBMによって算出される^{28), 29)}。BSA値, BW^{0.75}値が基礎代謝量の良い指標となることが示されており³⁰⁾, 間接的にはあるが, BSA値, BW^{0.75}値がHt²/R値と高い相関を示したことで, 今回対象としたような健康群では, Ht²/RがBSA値, BW^{0.75}値と同程度にLBMの指標として有用であると考えられた。また, AMC値, AMA値がHt²/R値と高い相関を示したことより, Ht²/R値はLBMの主要な部分を占める骨格筋肉量の指標として有用であると考えられた。

RW/Ht²値と%IBW, BMI値, TSF値とはそれぞれ有意な正の相関を示し, RW/Ht²値は体脂肪量の指標として有用と考えられた。しかし, 今回示した健康群でのBMI値は狭い限られた範囲であり, 痩せ, 肥満を含めた広い範囲での検討が必要と考えられた。また, TSF値には性差があり, 個人により身体部位での脂肪の付き方が異なるため, 体脂肪量全体を反映しておらず, 高い相関係数が得られなかった原因と考えられた。皮下脂肪厚より体脂肪量を測定する方法は, 数カ所の皮下脂肪厚より測定する方法³¹⁾が示されており, それらの方法を用いた検討が必要と考えられた。

2. 透析群における検討

透析患者では除水にともない体重が減少し, Rは平均約15%上昇したのに対し, TSF値, AC値は透析前後で測定値に差はなかった。体重の変化以外には身体計測値で透析にともなう体内水分量の変動を認識することはできなかったが, BIAを用いることによってRの変化として鋭敏に知ることが可能であった。

今回測定に用いた測定器ではXcを測定することはできなかったが, Nyboer³²⁾らは透析にともないRは13%上昇し, 同時に測定したXc, phase angleも, それぞれ50%, 30%上昇したと報告している。Rに加えXc, phase angleを測定することで, さらに鋭敏に体内の水分変動を認識できると考えられた。

脂肪重量は透析前後でその絶対量において変化の見られないはずであるが、RW/Ht² 値が透析前後で平均約13%の有意な増加をしめた。このことは体内水分量の減少にともなって相対的に脂肪の占める比率が上昇したことが影響しているものと考えられる。また、Geddes³³⁾ は生体のヘマトクリットの上昇、体温の低下がRを上昇させることを示しており、透析後に見られるRの上昇を助長している可能性も示唆される。しかし、2000 ml の除水後、%BF が13%変動したとすると、体重 50 kg、%BF 20%の人では約 0.8 kg の脂肪重量を過大評価する可能性を示しており、体内水分量の変動する状態下では、RW/Ht² 値を%BF の指標として用いる場合慎重に用いなくてはならない。

透析患者の身体計測値との検討では、透析前においても、透析後でも Ht²/R 値と%IBW、BMI 値との間に健常人と異なり有意な相関は得られなかった。体内水分バランスの崩れた状態では、Ht²/R 値を健常人と同様に体脂肪量の指標に用いることに問題があると考えられた。

透析前後で、Ht²/R と BSA 値、BW^{0.75} 値、RW/Ht² 値と%IBW、BMI 値との間にそれぞれ高い有意な正の相関が得られ、健常群同様、透析群でも Ht²/R 値、RW/Ht² 値がそれぞれ LBM、%BF の指標として従来の指標程度に有用であると考えられる。しかし、健常群以外では、BSA 等の指標が正確に身体構成成分を表出しているかどうかの検討はされておらず、種々の病態下における BIA の評価は、Cohn³⁴⁾ が指摘するように、LBM を直接測定し十分正確な値を得てからさらに検討されなくてはならないと考える。また、一般外科手術後³⁵⁾、嚢胞線維症患者³⁶⁾、慢性拘束性肺疾患患者³⁷⁾ などの特殊な病態下では、BIA による身体構成成分測定精度は低下すると報告されている。今回の検討でも、Ht²/R 値と AMC 値、AMA 値との間の相関係数は透析前後で異なり、透析後で透析前に比し高い値を示した。健常人に近い体液バランスの状態が高い BIA の信頼性が得られたと考えられる。

3. 体内水分量の変動の検討

d-Water、d-Wt と d-Ht²/R 値の変化量との間に高い相関が得られた。TBW は健常人では LBM の 72-74%とかなり固定された値を示す³⁸⁾ ことから、透析前後の TBW は LBM の指標としての Ht²/R 値を用いて以下のように示すことが出来る。

$$\text{pre-TBW} = k1 \cdot \text{Ht}^2 / \text{pre-R} + A1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{post-TBW} = k2 \cdot \text{Ht}^2 / \text{post-R} + A2 \dots\dots\dots (2)$$

但し、K1、A1 は、透析前における個体に特有の定数で、k2、A2 は、透析後における定数。ここで、k1、k2 は、同一個体における透析前後の定数なので k1=k2 とすると (1)-(2) より

$$d\text{-Water} = k1 \cdot d\text{-Ht}^2 / R + (A1 - A2) \dots\dots\dots (3)$$

と表すことができる。今回の検討で、d-Ht²/R と d-Water との間に高い相関が得られた事から、Ht²/R 値を LBM の指標として用いることの有用性が確認できたものとする。

Jebb and Elia³⁹⁾ は透析施行時における Ht²/Z 値 (Z: impedance) の変動量と除水量との相関を各症例毎に検討し、r=0.880-0.999 と良好な相関を示した。しかし、その回帰直線はそれぞれ異なった傾きを示し、同一症例でも透析の度に異なった回帰直線を示しているこのことは、3) 式における k1 値が症例によって異なっていることを示しているものと考えられる。透析群の症例が均一の正常体液バランスであれば、さらに良好な相関が得られたと考えられる。しかし、今回の検討で得た回帰式でも、1 l 以内の誤差で除水量を推定することが可能であり (図 1, 2)、BIA は体液バランスが崩れた状態でも体内水分量の変動を推定する方法として有用と考えられた。

d-Wt と d-Water の間には、平均で約 600 g の差がみられるが、これは透析中に許可された経口摂取量約 500 g を反映したものと考えられる。d-Ht²/R 値と d-Wt との間で、d-Water との間より高い相関係数を示したことより、BIA が消化管内容も含めた体内水分量を反映して変動する可能性があると考えられた。消化管内容や、限局した液体貯留のある状態での BIA の評価は十分なされておらず、今後の検討が重要と考えられた。

BIA による測定値は、細胞外液、細胞内液、細胞膜性状の変化、そしてそれら相互のバランスによって変動する⁴⁰⁾。今回の透析前後の検討では、おもに細胞外液の変化が主体であるため、R の変化のみで水分の増減を推定することが出来た。しかし、高度侵襲手術の周術期や重症患者では細胞内外の水分バランスのみならず、電解質バランスや細胞膜の性状にまで変化が及んでおり R のみの変動で体内水分量を推定することは困難と考えられる。R に加え細胞膜の性状によって大きく変動する Xc、phase angle の変動も考慮してさらに検討を加えることが必要と考えられた。また、その結果として、細胞膜の性状等を評価できれば、BIA が病態把握の一助となる可能性が考えられた。

結 語

生体抵抗測定装置 1990A (Valhalla 社) を用い、健康日本人60例と、慢性腎不全に対して透析の施行された患者11例の透析前後にRを測定し以下の結論を得た。

1. 健康人において、 Ht^2/R 値は BSA 値、 $BW^{0.75}$ 値、AMC 値、AMA 値と有意な相関を示し LBM の指標として有用であった。

2. 透析時における TBW の変動は、体重以外の身体計測では検出できなかったのに対し、BIA を用いることで鋭敏に検出できた。

3. 短時間に TBW が減少する場合、BIA は%BF を過大評価する可能性が示唆された。

4. 透析患者の検討で、 $d-Ht^2/R$ と d-Water が良好な相関を示した事より、体内水分量の変動を BIA により推定できる可能性が示唆された。

稿を終わるに臨み、御指導と御校閲を賜りました武藤輝一教授に深甚なる謝意を捧げます。直接御指導、御教示を戴いた松原要一講師に感謝いたします。またこの研究にご協力戴いた教職員各位に深謝いたします。

本論文の要旨は第25回日本外科代謝栄養学会で発表した。

参 考 文 献

- 1) **Lukaski, H.C.**: Methods for assessment of human body composition: traditional and new, *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**: 537~556, 1987.
- 2) **Zarowitz, B.J. and Pilla, A.M.**: Bioelectrical impedance in clinical practice, *DICP*, **23**: 548~555, 1989.
- 3) **Jackson, A.S., Pollock, M.L., Graves, J.E. and Mahar, M.T.**: Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition, *J. Appl. Physiol.*, **64**(2): 529~534, 1988.
- 4) **Segal, K.R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J. and Van Itallie, T.B.**: Estimation of human body composition by electrical impedance methods: A comparative study, *J. Appl. Physiol.*, **58**(5): 1565~1571, 1985.
- 5) **Lukaski, H.C., Johnson, P.E., Bolonchuk, W.W. and Lykken, G.I.**: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body, *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**: 810~817, 1985.
- 6) **Van Loan, M. and Mayclin, P.**: Bioelectrical impedance analysis: Is it a reliable estimator of Lean Body Mass and Total Body Water?, *Hum. Biol.*, **59**: 299~309, 1987.
- 7) **Hoffer, E.C., Meador, C.K. and Simpson, D.C.**: Correlation of whole-body impedance with total body water volume, *J. Appl. Physiol.*, **27**: 531~534, 1969.
- 8) **Khaled, M.A., McCutcheon, M.J., Reddy, S., Pearman, P.L., Hunter, G.R. and Weinsier, R.L.**: Electrical impedance in assessing human body composition: the BIA method, *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**: 789~792, 1988.
- 9) **Garrow, J.S. and Webster, J.**: Quetelet's index (W/H^2) as a measure of fatness, *Int. J. Obes.*, **9**: 147~153, 1985.
- 10) 藤本薫喜, 渡辺 孟, 坂本 淳, 湯川 幸, 森本和枝: 日本人の体表面積に関する研究第18篇 三期にまとめた算出式. 日衛誌, **23**: 443~450, 1968.
- 11) **Thomasset, A.**: Bio-electrical properties of tissue impedance measurement, *Lyon. Med.*, **207**: 107~118, 1962.
- 12) **Siri, W.E.**: Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In: *Techniques for measuring body composition*, edited by J. Brozecz and A. Henschel. Washington, DC: Natl. Acad. Sci. 1961, 223~244.
- 13) **Kushner, R.F. and Schoeller, D.A.**: Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis, *Am. J. Clin. Nutr.*, **44**: 417~424, 1986.
- 14) **Segal, K.R., Van Loan, M., Fitzgerald, P.I., Hodgdon, J.A. and Van Itallie, T.B.**: Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four site cross-validation study, *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**: 7~14, 1988.
- 15) **Hodgdon, J.A. and Fitzgerald, P.I.**: Validity of impedance predictions at various levels of fatness, *Hum. Biol.*, **59**: 281~298, 1987.
- 16) **Gray, D.S., Bray, G.A., Gemayel, N. and Kaplan, K.**: Effect of obesity on bioelectrical impedance, *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**: 255~260, 1989.

- 17) **Deurenberg, P., Weststrate, J.A. and Van der Kooy, K.:** Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements, *Am. J. Clin. Nutr.*, **49**: 401~403, 1989.
- 18) **Heitmann, B.L.:** Prediction of body water and fat in adult Danes from measurement of electrical impedance. A validation study, *Int. J. Obes.*, **14**: 789~802, 1990.
- 19) **Zillikens, M.C. and Conway, J.M.:** Estimation of lean body mass in black adults by total body impedance, *Fed. Proc.*, **46**: 16, 1987.
- 20) **Svendsen, O.L., Haarbo, J., Heitmann, B.L., Gotfredsen, A. and Christiansen, C.:** Measurement of body fat in elderly subjects by dual-energy x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and anthropometry, *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**: 1117~1123, 1991.
- 21) **Guo, S., Roche, A.F. and Houtkooper, L.:** Fat-free mass in children and young adults predicted from bioelectric impedance and anthropometric variables, *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**: 435~43, 1989.
- 22) **Deurenberg, P., Kooji, K., Evers, P. and Hulshof, T.:** Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged >60 y, *Am. J. Clin. Nutr.*, **51**: 3~6, 1990.
- 23) **Wang, J., McKeon, E., Berman, K., Kral, J. and Segal, K.:** Validation of body fat estimation by BIA using dual photon absorptiometry (DPA), *Fed. Proc.*, **46**: 16, 1987.
- 24) **Guo, S., Roche, A.F., Chumlea, W.C., Miles, D.S. and Pohlman, R.L.:** Body composition predictions from bioelectric impedance, *Hum. Biol.*, **59**(2): 221~233, 1987.
- 25) **Baumgartner, R.N., Chumlea, W.C. and Roche, A.F.:** Bioelectrical impedance phase angle and body composition, *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**: 16~23, 1988.
- 26) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間悦男, 前田如矢: Bioelectrical Impedance 法による日本人女性の身体組成評価. *体力科学*, **39**: 164~172, 1990.
- 27) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修: 第4次改訂日本人の栄養所要量. 東京, 第一出版, 1989.
- 28) **Webb, P.:** Energy expenditure and fat-free mass in men and women, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**: 1816~1826, 1981.
- 29) **Miller, A.T. and Blyth, C.S.:** Lean body mass as a metabolic reference standard, *J. Appl. Physiol.*, **5**: 311~316, 1953.
- 30) 佐々木 隆: 日本人の基礎代謝の推移. *代謝*, **16**: 3~12, 1979.
- 31) **Durnin, J.V.G.A. and Rahaman, M.M.:** The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness, *Br. J. Nutr.*, **21**: 681~689, 1967.
- 32) **Nyboer, J. and Sedensky, J.A.:** Bioelectrical impedance during renal dialysis, *Proc. Dialysis Transplant Forum*, **4**: 214~219, 1974.
- 33) **Geddes, L.A. and Baker, L.E.:** The specific resistance of biological materials, *Med. Biol. Eng.*, **5**: 271~293, 1967.
- 34) **Cohn, S.H.:** How valid are bioelectric impedance measurements in body composition studies?, *Am. J. Clin. Nutr.*, **42**: 889~890, 1985.
- 35) **Schroeder, D., Christie, P.M. and Hill, G.L.:** Bioelectrical impedance analysis for body composition: Clinical evaluation in general surgical patients, *JPEN*, **14**: 129~133, 1990.
- 36) **Newby, M.J., Keim, N.L. and Brown, D.L.:** Body composition of adult cystic fibrosis patients and control subjects as determined by densitometry, bioelectrical impedance, total-body electrical conductivity, skinfold measurements, and deuterium oxide dilution, *Am. J. Clin. Nutr.*, **52**: 209~13, 1990.
- 37) **Schols, A.M.W.J., Wouters, E.F.M., Soeters, P.B. and Westerterp, K.R.:** Body composition by bioelectrical-impedance analysis compared with deuterium dilution and skinfold anthropometry in patients with chronic obstructive pulmonary disease, *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**: 421~4, 1991.
- 38) **Pace, N. and Rathburn, E.N.:** Studies on body composition, III. the body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content, *J. Biol. Chem.*, **158**: 685~691, 1945.
- 39) **Jebb, S.A. and Elia, M.:** Assessment of changes in total body water in patients undergoing renal dialysis using bioelectrical impedance analysis, *Clinical Nutrition*, **10**: 81~84, 1991.

- 40) **Kanai, H., Sakamoto, K. and Haeno, M.:** fluid volume, J. Microwave Power, 18(3):
Electrical measurement of fluid distribution in 233~243, 1983.
human legs: estimation of extra- and intra-cellular (平成3年10月24日受付)
-