

鍼通電刺激がラット体組成に与える影響の 生体インピーダンス法による研究

高橋 則人

明治鍼灸大学大学院 鍼灸基礎医学 機能系

要旨 : ラットへの鍼通電刺激が体組成 (総体液量 ; TBW, 細胞外液量 ; ECW および体脂肪量 ; BF) に与える影響を非侵襲的かつ経時的に測定するため, bioelectrical impedance analysis (BIA) の測定条件を求め, 高い相関を示すラットの体組成を経時的に得, 同時に求めた体重, 摂食量, 飲水量および糞量との相関を解析した. 耳介部への鍼通電刺激はラットの体重増加を対照に比し有意に抑制し, 後肢 (前脛骨筋) への鍼通電刺激では対照に比し, 有意な体重増加の抑制または促進が認められなかった. 耳介部への鍼通電刺激群では %TBW (体重に占める TBW), 対照および後肢 (前脛骨筋) への鍼通電刺激群では %BF (体重に占める BF) と体重が相関し, かつ %TBW と %BF は摂食量と相関し, 3群いずれの間にも摂食量には有意差を認めなかった. これら事実は, 耳介部への鍼通電刺激の影響は, 摂食量の減少ではなく, エネルギー消費の増加によることを示唆している.

I. 緒 言

ヒトの耳の経穴である神門, 肺点および噴門点への鍼刺激, ヒト耳甲介腔部の電気抵抗減弱点 (平均 $72.0\text{k}\Omega/\text{cm}^2$) への置鍼, およびラット耳介部の電気抵抗減弱点 ($10\sim 50\text{k}\Omega/\text{cm}^2$) への鍼通電刺激による体重減少が報告されている¹⁻⁵⁾. 鍼灸の臨床ではこの効果を利用し, 肥満の治療として耳への鍼治療が行われている. 肥満は「体内に過剰な脂肪が蓄積した状態」と定義され⁶⁾, その治療の目的は過剰な脂肪を減少させ, 脂肪が減少した状態を維持することとされている⁷⁾. これまでの耳への鍼治療による肥満治療の効果判定は, 体重または体重と身長から肥満度を判定する簡単な体格指数 (body mass index ; BMI ; 体重 (kg) / 身長² (m²)) を用いているものが多かった. 近年, 岡村ら⁸⁾ は, 単純性肥満症の6例を対象に耳鍼通電治療を行った結果, 体重減少を認め, この体重減少率と体脂肪量減少率との間に相関が認められることから, 体重の減少が体脂肪量の減少によるものであると報告した. 一方, 鮫島ら⁹⁾ は, 非肥満健康常人の耳介部電気抵抗

減弱点への鍼, または鍼通電刺激による体重減少は肥満者と異なり, 除脂肪量の変化, 特に体液量の減少による可能性があるとして報告している. これら報告にみられるように肥満治療による効果は, 体重と共に体脂肪量による評価が必要と考えられる.

体脂肪量を含む体組成の測定法としては, 体比重から人体の脂肪量を推定する密度法, 微量のラジオアイソトープ (RI) を人体に投与し, その分散状況により体組成を推定する RI 希釈法, 皮脂厚計を用いた肩甲骨下角と上腕後面中央部の皮膚の厚さ (cm) の合計値が全身の脂肪量と相関が高い事実を利用した皮脂厚法などがある¹⁰⁾. さらに生体インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance Analysis ; BIA) も体組成測定法のひとつで, 1969年に Hoffer らによって初めて報告された¹¹⁾. BIA は非侵襲的な体組成測定法であり, したがって同一個体を経時的に測定することが可能であり, その有用性を示す報告が多い¹²⁾. 以前われわれは BIA をラットおよびマウスに適用し, 同一個体での体組成の経時的測定と最適測

平成9年12月9日受付, 平成9年12月26日受理

Key Words : 生体インピーダンス法 : bioelectrical impedance analysis

鍼通電刺激 : electro-acupuncture stimulation ラット : rats 体組成 : body composition

連絡先 : 〒629-0392 京都府船井郡日吉町 明治鍼灸大学 大学院鍼灸基礎医学

定周波数について報告した¹³⁾。

本論文では、耳介部への鍼通電刺激がラットの体組成に与える影響を検討するため、BIAをラットに適用し、ラットの総体液量 (total body water ; TBW), 細胞外液量 (extracellular water ; ECW), および体脂肪量 (body fat ; BF) の測定法を確立し、さらにこの方法により、耳介部への鍼通電刺激、および刺激部位の比較対照として後肢 (前脛骨筋) 鍼通電刺激をラットに与えることによる影響を明らかにするため、体組成の変化を経時的に測定し、かつ体組成の変化に影響をおよぼす因子としての体重、摂食量、飲水量、および糞量を同時に測定し、解析した。

II 方法

1. 「推定式」の作成

BIAを用いてラットの体組成を測定するための「推定式」を求めた。「推定式」の作成手順を

図1に示す。対象はWistar系雄性ラット (8週齢~13週齢) で、「仮の推定式」のシミュレーションを行うためのシミュレーション群 (n=21) と「推定式」の妥当性を検討するための妥当性検討群 (n=10) であった。ラットの飼育は、環境に慣れさせるため、7週齢目より始め、8週齢目より測定を開始した。飼育条件は07:00~19:00までを日照時間とするlight-dark cycleで、一頭体ずつステンレス製の網ケージで飼育し、室温を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保ち、飼料 (飼育用MF, オリエンタル酵母社, 東京) は自由摂食で、かつ自由飲水とした。

シミュレーション群のラットは、2時間の絶食後、ペントバルビタール (30mg/kg, IP) で麻酔し、われわれが報告したと同じように自家製の測定台に固定し、インピーダンス測定用の電極 (ステンレス製, 自家製) を装着した (図2)¹³⁾。その後インピーダンスアナライザー (4192A,

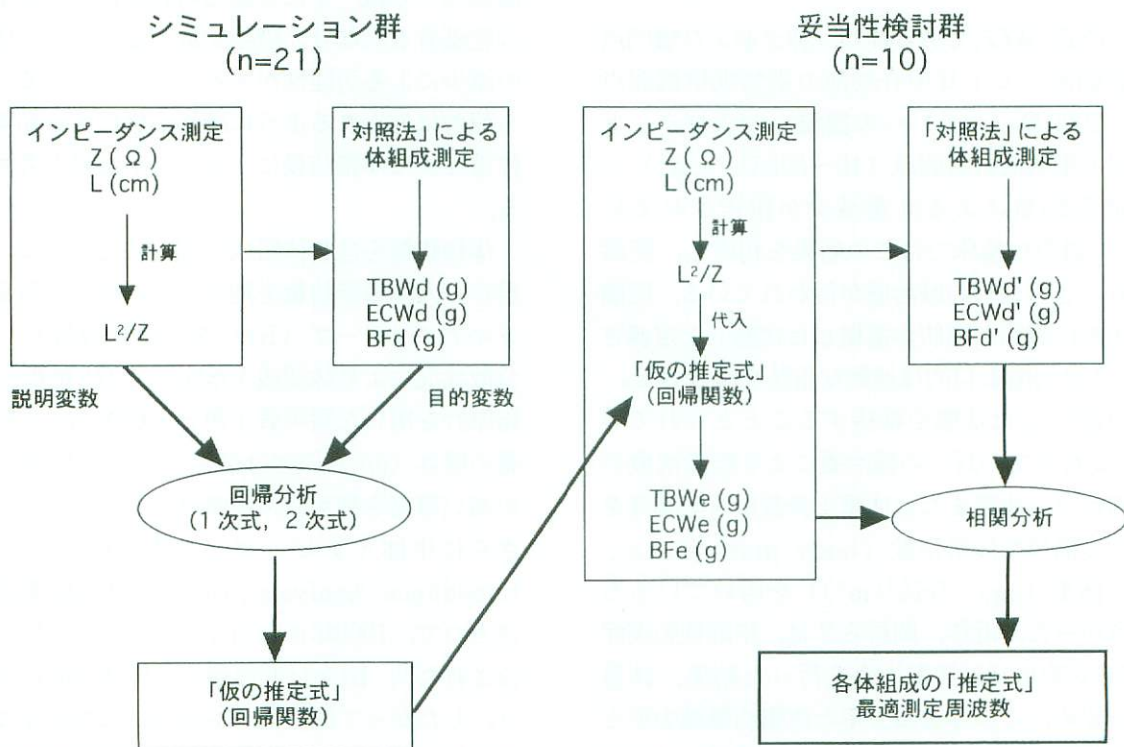


図1 体組成「推定式」の作成手順

「推定式」の作成手順はシミュレーションと妥当性検討の2段階からなる。まずシミュレーション群のラット (n=21) を用いて各体組成の「仮の推定式」を各測定周波数 (0.5kHz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 30kHz, 50kHz, 80kHz, 100kHz, 500kHz, 1MHz) について得る。その後、妥当性検討群 (n=10) にて測定した L^2/Z を、それぞれ Z を測定したときの測定周波数に対応する「仮の推定式」に代入して各体組成の推定値を得る。さらに「対照法」で得た測定値と「仮の推定式」で得られた推定値との相関分析を行い、もっとも相関係数の高いものを「推定式」とする。

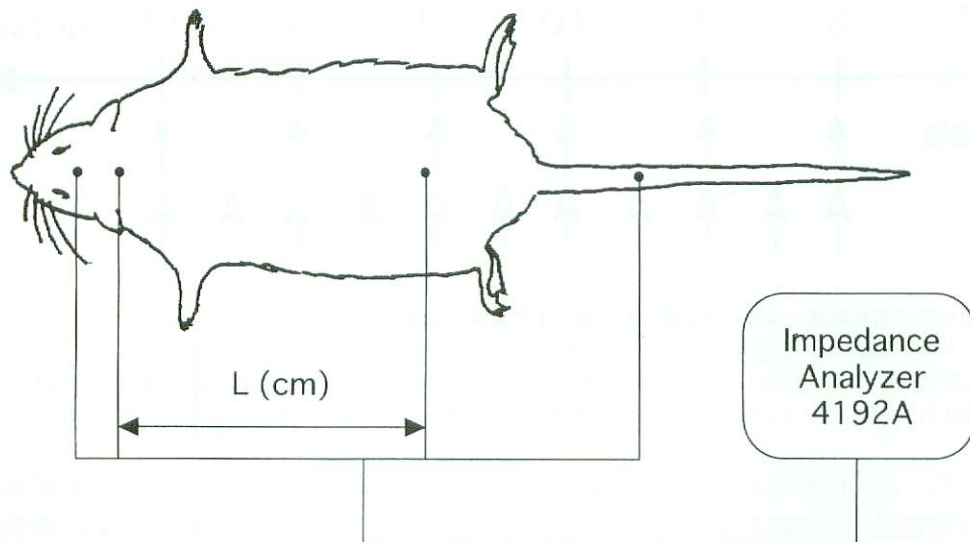


図2 インピーダンス測定における電極装着位置¹⁹⁾

図中●の部位（左右眼窩後縁を結んだ線と正中線との交点、左右耳翼根を結んだ線と正中線との交点、左右腸骨窩の中央の点を結んだ線と正中線との交点および尾根部より遠位方向へ4 cm）に自家製の電極を装着してインピーダンス測定を行う。また図中Lに相当する距離を測定電極間距離（L, cm）とした。

YHP社、東京）を用いてインピーダンス（ Z , Ω ）を測定し、かつ測定電極間距離（ L , cm）を求めた。測定周波数は0.5kHz～1 MHzの間の10種類の周波数（0.5 kHz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 30kHz, 50kHz, 80kHz, 100kHz, 500 kHz, および1 MHz）であった。測定した Z と L を用いてimpedance index (L^2/Z)を求めた。インピーダンス測定を終了したラットは、それぞれの体組成について、TBWは乾燥法、ECWは⁵¹Cr-EDTA (NEZ-147, デュポン社, USA)希釈法およびBFはクロロホルム抽出法で測定した。これらの測定は以前の報告に従っている¹³⁻¹⁵⁾。なお上述の体組成測定法をBIAによる体組成測定に対する「対照法」とする。「対照法」で求めたTBWをTBWd (g), ECWをECWd (g) およびBFをBFd (g) とした。このように求めた L^2/Z を説明変数, TBWd, ECWd および BFd をそれぞれ目的変数として、回帰分析を1次式および2次式で行い、その回帰関数を「仮の推定式」とした。

次に、シミュレーションで得られた各体組成に対する各測定周波数および回帰分析における1次式および2次式に依存する20の「仮の推定式」のうち、もっとも推定精度の高い「推定式」とその測定周波数を決定するため、シミュレーション群

と同じ条件で飼育された妥当性検討群（Wistar系雄性, 8週齢～13週齢, $n=10$ ）を用いて、相関分析を行った。シミュレーション群と同じ手順で Z と L を測定し、 L^2/Z を求めた。シミュレーション群で得られた「仮の推定式」に、各測定周波数に対応した L^2/Z を代入し、TBW推定値 (TBWe, g), ECW推定値 (ECWe, g) およびBF推定値 (BF_e, g) を算出した。さらに前述の「対照法」を用いて、これらの妥当性検討群のラットのTBW (TBWd', g), ECW (ECWd', g) およびBF (BFd', g) を測定し、TBWd' とTBWe, ECWd' とECWe およびBFd' とBF_eの相関分析を行い、もっとも相関の高い「仮の推定式」を各体組成の「推定式」とし、またその時の測定周波数を最適測定周波数とした。

2. 鍼通電刺激による体組成の経時的測定

対象はWistar系雄性ラットで、コントロール群（C群, $n=7$ ）、耳介部鍼通電刺激群（A群, $n=7$ ）および後肢（前脛骨筋）鍼通電刺激群（H群, $n=7$ ）の3群とした。鍼通電刺激がラット体組成に与える影響の経時的測定を行った。図3にBIAによる体組成と体重、摂食量、飲水量および糞量の経時的測定の手順を示す。飼育は7週齢日より開始し、8週齢日から13週齢日までを

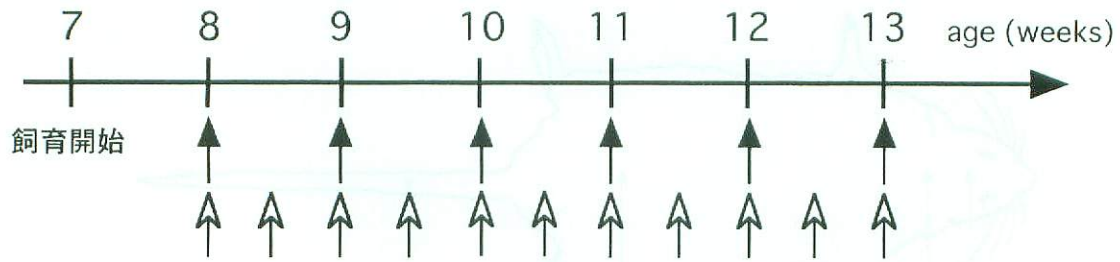


図3 BIAによる体組成と体重，摂食量，飲水量および糞量の経時的測定手順

ラットは7週齢日より飼育し，8週齢日より測定期間とした。図中黒矢印の時点でBIA測定およびC群は拘束負荷，A群は拘束負荷と両側の耳介部鍼通電刺激，H群は拘束負荷と両側の後肢（前脛骨筋）鍼通電刺激を行い，8週齢時はBIA測定のみとした。一方，図中白矢印の時点で体重，摂食量，飲水量および糞量の測定を行った。

測定期間とした。飼育開始時および測定期間中の飼育条件は「推定式」の作成を行った時と同じであった。8週齢日より体重，摂食量，飲水量および糞量の測定を図3の白矢印で示すように週2回（月曜日，木曜日）行った。体重はハロセン麻酔下（Fluothane，武田薬品，大阪）で測定し，摂食量，飲水量および糞量は測定前日09:00から測定当日09:00までの24時間の量であった。

BIAは図3黒矢印で示すように8週齢日より週1回（月曜日）測定し，C群では拘束負荷，A群では拘束負荷と両側耳介部鍼通電刺激，H群では拘束負荷と両側後肢（前脛骨筋）鍼通電刺激を9週齢日より週1回，BIAの測定直後に行った。C群のBIA測定および条件負荷は，2時間の絶食後，ペントバルビタール（30mg/kg，IP）にて麻酔し，本論文の「推定式」の作成で述べた手

順でZとLを測定し，TBW，ECWおよびBFを算出した。また，体重に占めるTBW，ECWおよびBFをそれぞれ%TBW，%ECWおよび%BFとした。次にC群においてもA群およびH群で負荷した拘束を，拘束用の布製ジャケット（自家製）を装着して，15分間加えた。A群はC群と同様にBIA測定を行い，その後拘束期間中に両側耳介部への鍼通電刺激を行った。刺激電極は直径0.14mm，鍼体長3.5mmの平軸皮内鍼（東洋医療研究所，大阪）を用い，Shiraishiら⁵⁾が報告した図4aに示す部位に，鍼体全てを皮下に沿わせるように刺入して装着した。通電は刺激強度0.5mA，頻度2Hz，duration 100 μ secとした。H群は，C群と同様にBIA測定を行い，その後A群と同じ条件で，図4bに示した両側の前脛骨筋筋腹部に鍼通電刺激を行った。全ての経時的測

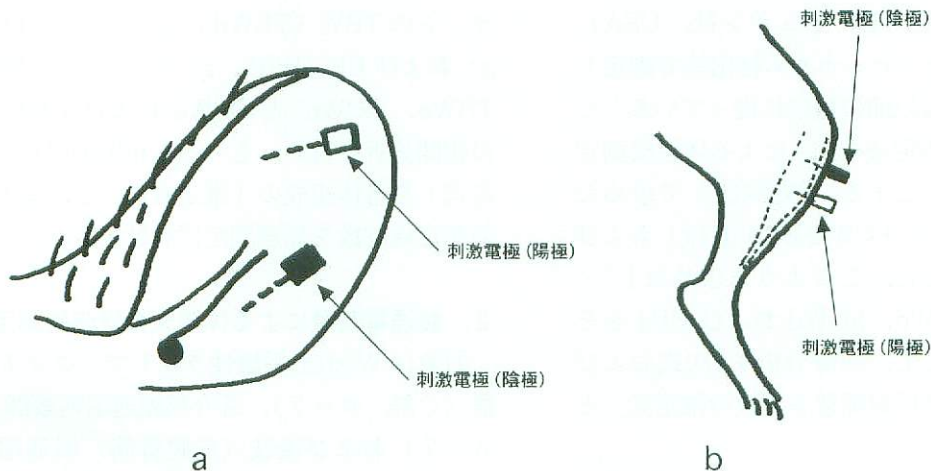


図4 鍼通電刺激部位

- a : 耳介部鍼通電刺激部位は，Shiraishiら⁵⁾の報告した両側の耳介部位を用いた。刺激電極は図に示した方向に向け，鍼体全てを皮下に沿わせるように刺入した。なお黒い電極を陰極として双極通電を行った。
- b : 後肢（前脛骨筋）鍼通電刺激部位は前脛骨筋筋腹部とし，刺激電極は前脛骨筋に対し直角に鍼体全てを刺入した。なお黒い電極を陰極として双極通電を行った。

定が終了したラットは、「対照法」でTBW, ECW およびBFを測定し、最終13週齢目のBIAによるTBW, ECW およびBFと比較して、両群の測定値の一致を二標本t検定および相関分析により解析した。

3. 統計処理

「推定式」の作成時の回帰分析および相関分析はMacintosh用統計解析ソフト(StatView 4.02J, Abacus Concepts Inc. USA)を用いて行った。経時的測定データおよびその他の統計処理は、Macintosh用統計解析ソフト(STATISTICA 4.1J, StatSoft Inc., OK. USA)を用いた。経時的測定データはHuynh Feldt補正下で二元配置分散分析を行い、多重比較はTukey法を用いて検定し、有意水準を $P < 0.05$ とした。論文中の数値およびグラフは平均値±標準誤差(mean ± S.E.)を示す。

III 結果

1. 「推定式」の決定

シミュレーション群における「仮の推定式」の決定係数(r^2)と、妥当性検討群における各体組成の「対照法」による測定値とBIAによる測定値との相関係数(r)を表1に示す。TBWd, ECWd およびBFdと L^2/Z との回帰分析の決定係数は、いずれの測定周波数でも高く、ことにTBWで5kHzの2次式, ECWで5kHzの2次式, BFで30kHzと1MHzの2次式において決定係数をもっとも高く、それぞれTBWで $r^2 = 0.888$, ECWで $r^2 = 0.893$, BFで $r^2 = 0.866$ であった。TBWd'とTBWe, ECWd'とECWeおよびBFd'とBFeの相関関係は、TBWで5kHzの1次式, ECWで5kHzの2次式, BFで1kHzの2次式において、「対照法」による測定値とBIAによる推定値との相関係数をもっとも高く、それぞれ $r = 0.992, 0.984, 0.962$ であった。これらの結果より、各体組成の「推定式」と最適測定周

表1 シミュレーション群における「仮の推定式」の決定係数(r^2)と妥当性検討群における各体組成の「対照法」による測定値と「仮の推定式」による測定値との相関係数(r)
TBWd vs L^2/Z , ECWd vs L^2/Z およびBFd vs L^2/Z は、シミュレーション群における「仮の推定式」の決定係数(r^2)を示し、TBWd' vs TBWe, ECWd' vs ECWeおよびBFd' vs BFeは、「対照法」による測定値と「仮の推定式」による測定値との相関係数(r)を示す。

	測定周波数	TBW		ECW		BF	
		TBWd vs L^2/Z (r^2)	TBWd' vs TBWe (r)	ECWd vs L^2/Z (r^2)	ECWd' vs ECWe (r)	BFd vs L^2/Z (r^2)	BFd' vs BFe (r)
1次式	0.5kHz	0.843	0.979	0.840	0.972	0.784	0.939
	1kHz	0.860	0.989	0.870	0.983	0.813	0.957
	5kHz	0.884	<u>0.992</u>	0.891	0.983	0.840	0.950
	10kHz	0.872	0.987	0.878	0.983	0.831	0.937
	30kHz	0.860	0.987	0.866	0.982	0.842	0.936
	50kHz	0.855	0.970	0.858	0.967	0.830	0.922
	80kHz	0.830	0.982	0.830	0.978	0.810	0.928
	100kHz	0.805	0.978	0.803	0.973	0.782	0.923
	500kHz	0.853	0.979	0.847	0.969	0.827	0.946
1MHz	0.868	0.986	0.877	0.978	0.847	0.951	
2次式	0.5kHz	0.845	0.975	0.840	0.972	0.820	0.943
	1kHz	0.865	0.984	0.871	0.983	0.836	<u>0.962</u>
	5kHz	<u>0.888</u>	0.990	<u>0.893</u>	<u>0.984</u>	0.865	0.948
	10kHz	0.875	0.985	0.879	0.983	0.860	0.935
	30kHz	0.865	0.983	0.868	0.982	<u>0.866</u>	0.937
	50kHz	0.858	0.966	0.859	0.967	0.859	0.926
	80kHz	0.834	0.980	0.832	0.978	0.837	0.928
	100kHz	0.809	0.974	0.805	0.973	0.808	0.923
	500kHz	0.856	0.976	0.856	0.969	0.855	0.948
1MHz	0.876	0.985	0.881	0.980	0.866	0.948	

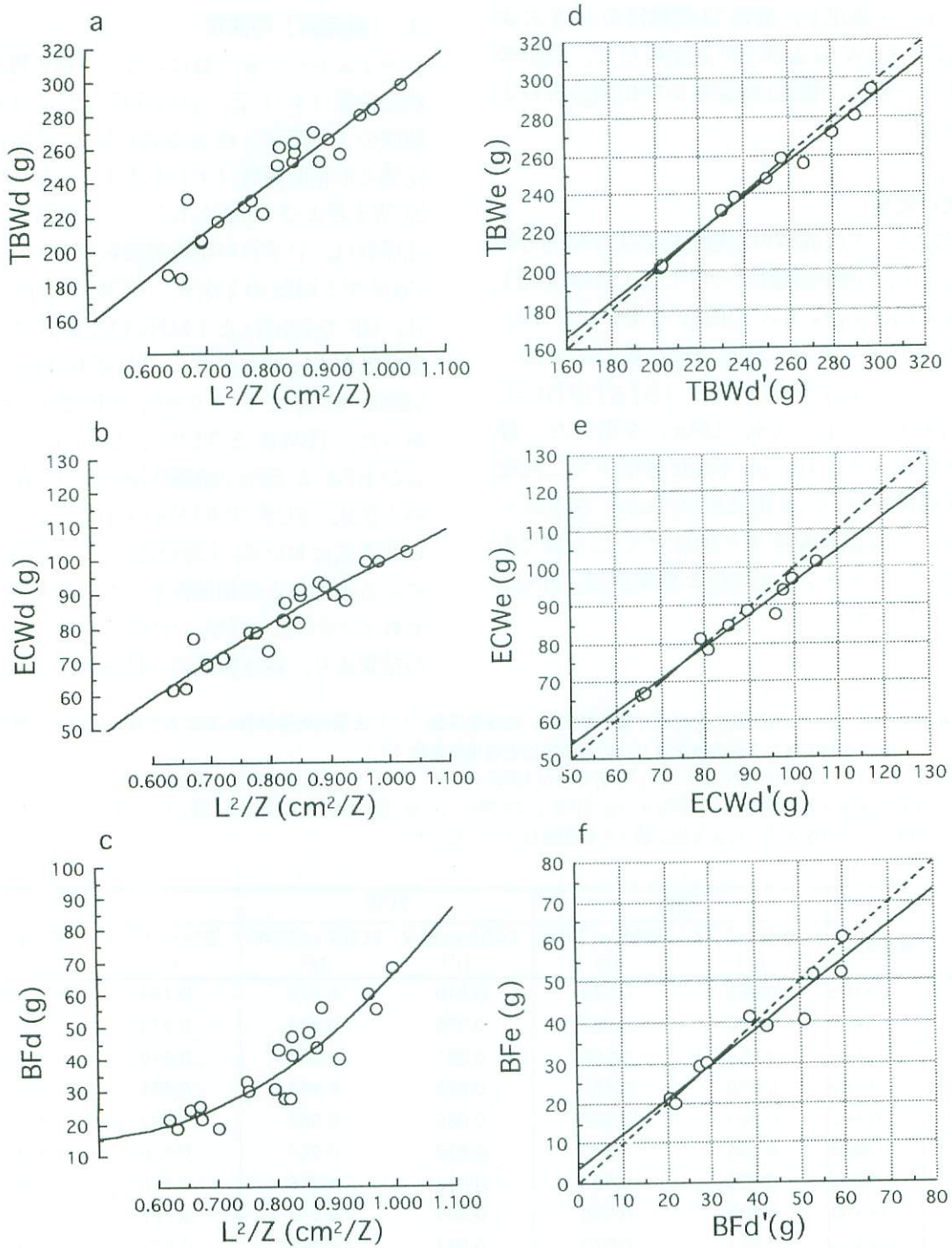


図5 「推定式」の決定

a, b, c: 上から順に総体液量, 細胞外液量および体脂肪量のシミュレーション結果を示す. 縦軸は「対照法」による各体組成測定値, 横軸は L^2/Z を示す. 総体液量と細胞外液量とはともに測定周波数が5 kHzであるが, 体脂肪量は1 kHzである.

d, e, f: 上から順に総体液量, 細胞外液量および体脂肪量の妥当性検討結果を示す. 各グラフとも横軸に「対照法」による測定値, 縦軸にBIAにより得られた推定値をプロットした. 図中の実線は相関グラフ, 破線は $r=1.000$ の直線を示す.

波数を次のように決定した。「推定式」の回帰関数グラフを図5 a, b, c に、「対照法」による測定値とBIAによる推定値との相関グラフを図5 d, e, f に示す。

$$\text{総体液量 (TBW, g)} = 265.9 \times L^2 / Z + 25.2 \quad (\text{図 5 a})$$

最適測定周波数は 5 kHz, $r = 0.992$ (図 5 d)

$$\begin{aligned} \text{細胞外液量 (ECW, g)} = \\ -38.2 \times (L^2 / Z)^2 + 165.0 \times L^2 / Z - 26.2 \end{aligned} \quad (\text{図 5 b})$$

最適測定周波数は 5 kHz, $r = 0.984$ (図 5 e)

$$\begin{aligned} \text{体脂肪量 (BF, g)} = \\ 178.4 \times (L^2 / Z)^2 - 166.0 \times L^2 / Z + 54.0 \end{aligned} \quad (\text{図 5 c})$$

最適測定周波数は 1 kHz, $r = 0.962$ (図 5 f)

2. 鍼刺激による体組成の経時的変化

図6に体重, 図7に摂食量, 飲水量および糞量, 図8に%TBW, %ECW および %BF のC群, A群, H群の経時的測定結果を示す。体重は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週

齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで, C群では $262.2 \pm 2.6\text{g}$ から $472.2 \pm 2.2\text{g}$, A群では $268.8 \pm 2.8\text{g}$ から $457.1 \pm 7.2\text{g}$, H群では $260.9 \pm 1.9\text{g}$ から $476.6 \pm 1.1\text{g}$ まで体重が有意に増加した ($F = 5.174$, $df = 11$, $p < 0.05$)。Tukey法による多重比較では, 13週齢日月曜日において, C群 ($464.1 \pm 1.5\text{g}$) に比してA群 ($446.6 \pm 7.7\text{g}$) が有意に体重が低かった (図6中の*, $p < 0.05$)。一方, C群とH群では測定期間中を通して両群の体重に有意差は認められなかった。またA群, H群に関しては, 12週齢日月曜日 (A群; $424.6 \pm 5.0\text{g}$, H群; $440.7 \pm 3.9\text{g}$), 12週齢目木曜日 (A群; $434.7 \pm 5.9\text{g}$, H群; $455.4 \pm 2.5\text{g}$), 13週齢日月曜日 (A群; $446.6 \pm 7.7\text{g}$, H群; $468.5 \pm 1.7\text{g}$) および13週齢目木曜日 (A群; $457.1 \pm 7.2\text{g}$, H群; $476.6 \pm 1.1\text{g}$) において, A群がH群に比して体重が有意に低かった (図6中の#, $p < 0.05$)。摂食量は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで, 有意に ($F = 92.615$, $df = 11$, $p < 0.05$) 減少し, 3群間に有意差を認めなかった

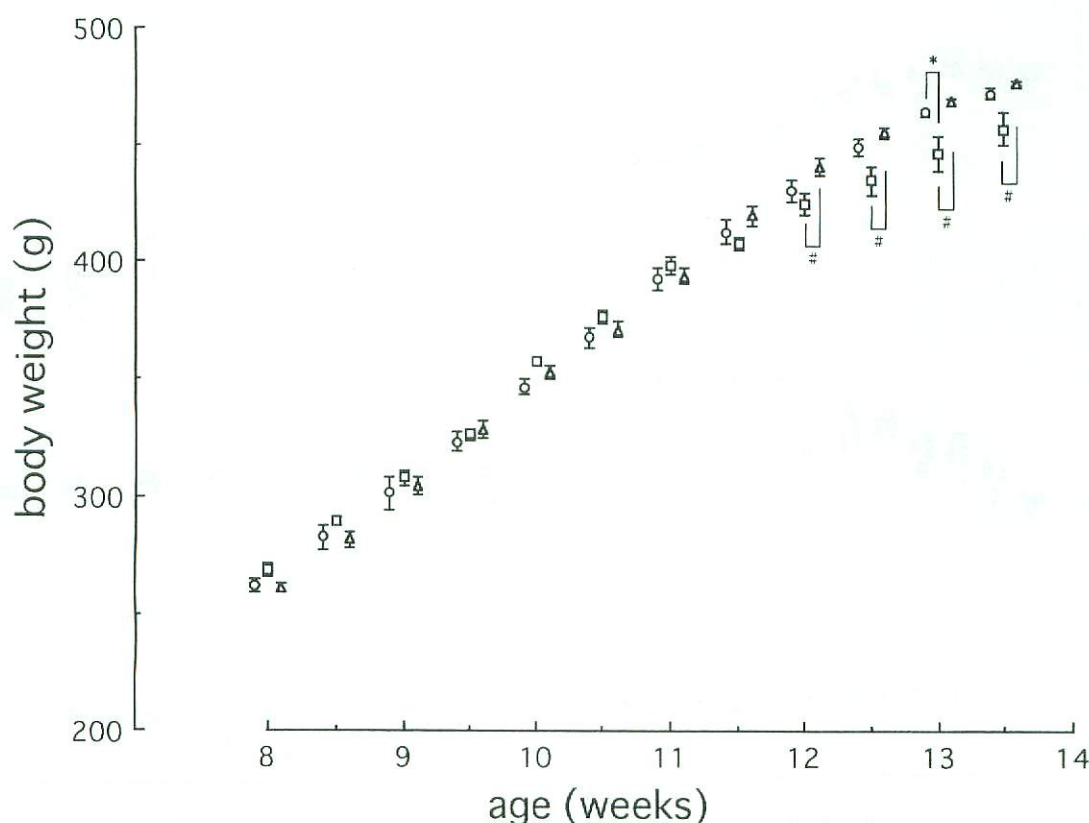


図6 体重の経時的変化

図中○はC群, □はA群, △はH群を示す。横軸はラットの週齢を示す。
(* ; $p < 0.05$, # ; $p < 0.05$)

($F = 0.585$, $df = 2$, $P = 0.567$). 飲水量は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで有意に増加し ($F = 45.323$, $df = 11$, $P < 0.05$), Tukey 法による多重比較の結果, C群とA群, C群とH群との間に有意差を認めなかった. 一方, A群とH群に関しては, 11週齢目木曜日 (A群; $52.0 \pm 3.4g$, H群; $43.9 \pm 1.2g$) および12週齢日月曜日 (A群; $59.7 \pm 5.1g$, H群; $51.7 \pm 1.9g$) において, A群がH群に比して, 飲水量が有意に多かった (図7中の*, $p < 0.05$). 糞量は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで, 有意な経時変化を示さなかった ($F = 1.597$, $df = 22$, $P = 0.104$). Tukey 法による多重比較では, C群とA群に関して12週齢目木曜日 (C群; $7.1 \pm 0.6g$, A群; $9.2 \pm 0.5g$), 13週齢日月曜日 (C群; $7.1 \pm 0.5g$, A群; $9.3 \pm 0.3g$) および13週齢目木曜日 (C群; $7.4 \pm 0.5g$, A群; $9.4 \pm 0.4g$) において, C群に比しA群が糞量が有意に多かった (図7中の*, $P < 0.05$). 一方, C群とH群

に関しては, 12週齢目木曜日 (C群; $7.1 \pm 0.6g$, H群; $8.9 \pm 0.4g$) および13週齢日月曜日 (C群; $7.1 \pm 0.5g$, H群; $8.7 \pm 0.3g$) において, C群に比してH群が糞量が有意に多かった (図7中の#, $P < 0.05$). またA群とH群の間に有意差は認めなかった.

%TBW は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで, C群では $69.4 \pm 0.7\%$ から $59.2 \pm 1.1\%$, A群では $69.5 \pm 0.7\%$ から $59.4 \pm 0.9\%$, H群では $69.7 \pm 1.2\%$ から $59.7 \pm 1.1\%$ まで有意に減少した (図8, $F = 168.983$, $df = 5$, $P < 0.05$). 一方, 3群間には有意差を認めなかった ($F = 0.176$, $df = 2$, $P = 0.840$). %ECW は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日月曜日から測定終了の13週齢目木曜日まで, C群で $21.0 \pm 0.4\%$ から $20.0 \pm 0.4\%$, A群で $21.4 \pm 0.3\%$ から $20.1 \pm 0.4\%$, H群で $21.0 \pm 0.3\%$ から $20.2 \pm 0.4\%$ まで有意に減少した (図8, $F = 20.993$, $df = 5$, $P < 0.05$). 一方, 3群間には有意差を認めなかった ($F = 0.363$, $df = 2$, $P =$

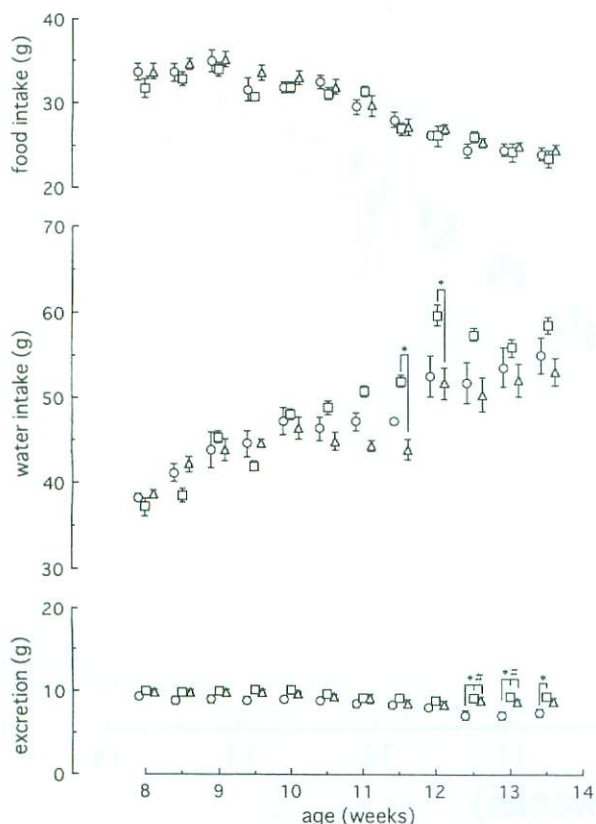


図7 摂食量, 飲水量および糞量の経時変化
図中○はC群, □はA群, △はH群を示す. 横軸はラットの週齢を示す. (*; $p < 0.05$, #; $p < 0.05$)

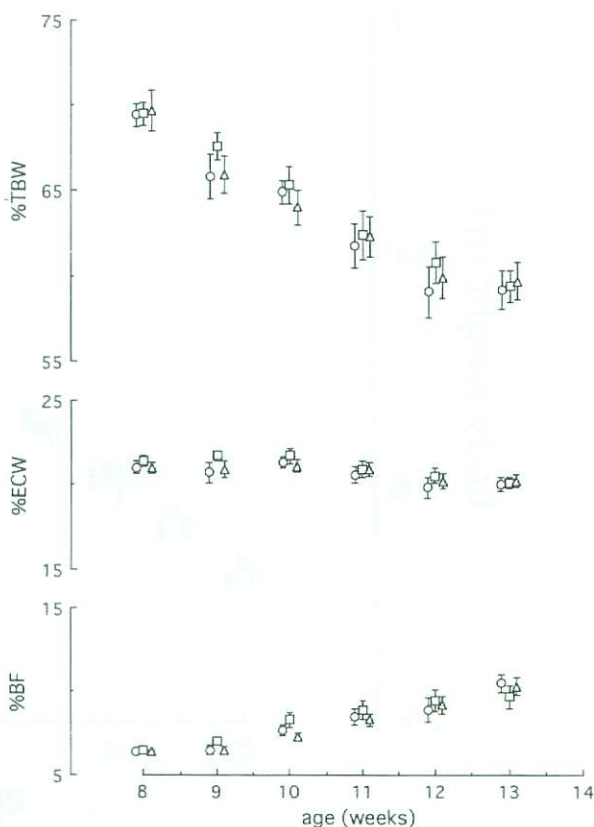


図8 %TBW, %ECW および %BF の経時変化
図中○はC群, □はA群, △はH群を示す. 横軸はラットの週齢を示す.

表2 %TBW, %ECW および %BF と体重, 摂食量, 飲水量および糞量との相関係数 (r)

		body weight	food intake	water intake	excretion
C群	%TBW	-0.773	0.746	-0.732	0.752
	%ECW	-0.282	0.477	-0.407	0.691
	%BF	0.776	-0.548	0.359	-0.160
A群	%TBW	-0.808	0.629	-0.528	0.421
	%ECW	-0.443	0.530	-0.229	0.313
	%BF	0.740	-0.304	0.598	-0.311
H群	%TBW	-0.792	0.637	-0.807	0.522
	%ECW	-0.290	0.423	-0.522	0.402
	%BF	0.809	-0.649	0.425	-0.288

0.700). %BF は二元配置分散分析の結果, 3群とも測定開始時の8週齢日曜日から測定終了の13週齢日曜日まで, C群で6.4±0.1%から10.5±0.6%, A群で6.5±0.1%から9.7±0.7%, H群で6.4±0.1%から10.3±0.5%まで有意に増加した(図8, F=86.792, df=5, P<0.05). 一方, 3群間には有意差を認めなかった(図8, F=0.195, df=2, P=0.824).

体重の変化と体組成の関係について, C群, A群およびH群における%TBW, %ECW および%BF と体重, 摂食量, 飲水量および糞量をおのおの相関分析した結果を表2に示す. C群, A群およびH群の%TBW と%ECW は, いずれも体重と負の相関にあり, A群では体重と%TBW との相関関係がもっとも高く, r=-0.808であった. %BF はC群, A群およびH群いずれにおいても体重と正の相関を示した. ことにC群とH群では体重と%BFとの相関がもっとも高く, それぞれr=0.776, 0.809であった. さらに各体組成と摂食量, 飲水量および糞量との相関関係を解析し表2に示した. 摂食量はC群, A群およびH群いずれにおいても%TBW と%ECW とは正の相関を示し, %BF とは負の相関を示した. ことにC群とA群では, 摂食量と%TBW との相関がもっとも高く, それぞれr=0.746, 0.629であった. 一方, H群では, 摂食量と%BF との相関がもっとも高く, r=-0.649であった. 飲水量はC群, A群およびH群いずれにおいても%TBW と%ECW とは負の相関, %BF とは正の相関を示した. ことにC群とH群では, 飲水量と%TBW との相関がもっとも高く, それぞれr=-0.732, -0.807であった. 一方, A群では%BF との相関が最も高く, r=0.598であった. 糞量はC群,

A群およびH群いずれにおいても%TBW と%ECW との間に正の相関, %BF との間に負の相関を認めた. また糞量は3群いずれも%TBW ともっとも相関が高くC群, A群およびH群それぞれr=0.752, 0.421, 0.522であった.

経時的測定終了時のBIAによる各体組成測定値と, 「対照法」で求めた各体組成測定値の一致を検定した. 二標本t検定では両群の間に有意差(P<0.05)は認めなかった. 一方, BIAによる各体組成測定値と, 「対照法」で求めた各体組成測定値との相関分析の結果は, TBWでr=0.914, ECWでr=0.826 およびBFでr=0.707の正の相関を認めた.

IV 考 察

1) BIAによるラット体組成測定について

BIAは, 生体の細胞内外の水分含有量や細胞膜の電気特性の違いにより生じる抵抗値が, 測定対象となる体組成(TBW, ECW, BF, 細胞内液量, 除脂肪体重)の絶対量と相関性が高いことを利用した体組成測定法である. その最大の利点は, 非侵襲的測定法であるために, 同一個体を経時的に測定することが可能であり, 鍼灸刺激の生体への影響を同一個体で経時的に測定し解析する方法として極めて有用である. 本研究ではラットのTBW, ECW およびBFの3種類の体組成を非侵襲的かつ経時的に測定する方法としてBIAを用いた.

2) TBWの「推定式」について

われわれはBIAによるラットおよびマウスのTBWの測定を報告し, 両者において非常に高い精度でTBWの測定が可能であることを最適測定

周波数とともに示した¹³⁾。以前ラットについて報告した「推定式」および最適測定周波数は

$$TBW (g) = 67.5 \times L^2 / Z + 96.1$$

最適測定周波数は 1 MHz

であった。本実験で得られた TBW の「推定式」および最適測定周波数は

$$TBW (g) = 265.9 \times L^2 / Z + 25.2$$

最適測定周波数は 5 kHz

であり、ラットの TBW に関する上記の「推定式」とその最適測定周波数の間に差異がある。このような差異は、研究者間においても同一種を測定対象する場合にもみられ^{16), 17)}、われわれの場合、同種のラットを測定対象としているが、前回の実験と本実験との間に実験条件に次の違いがある。

- (a) 実験対象としたラットの週齢範囲が、前回の実験では 8 週齢と 9 週齢であったのに対し、本実験ではラットの週齢の範囲が 8～13 週齢であった。
- (b) BIA 測定用電極を前回は測定毎に交換したが、本実験では全ての実験を通して同じ電極を用いた。

これら事実は、BIA の体組成測定への適用において、実験条件の同一動物種の測定対象においても「推定式」とその最適測定周波数に影響することを示唆している。したがって「推定式」と最適測定周波数は、同一種の測定対象においても実験毎に求める必要がある。

TBW の測定精度は、前回のわれわれの実験に比し、本実験では向上している。すなわち、前回の実験で得られた妥当性検討群における TBW の測定精度は、「対照法」による TBW 測定値と BIA による TBW 推定値との比率の標準偏差を求め、 ± 0.024 を得た。一方、本実験における上述の標準偏差は ± 0.018 であり、TBW の測定精度の向上が認められた。

3) BIA の「推定式」の作成について

本実験では、シミュレーション群にて「対照法」による体組成測定値と L^2/Z を回帰分析することにより「仮の推定式」を得た後、妥当性検討群にて「対照法」による体組成測定値と「仮の推定式」によって得られた体組成推定値との相関分析より、相関係数が高くなる推定値を算出した「仮の推定式」を「推定式」およびその測定周波

数を最適測定周波数として採用した¹⁸⁾。この手順の必要性は、次の本実験で得られた事実からも示唆される。すなわち ECW に関しては、シミュレーションでもっとも高い決定係数を示した「仮の推定式」(2 次式, $r^2 = 0.893$) と、妥当性検討によりもっとも高い相関係数が得られた推定値を算出した「仮の推定式」(2 次式, $r = 0.984$) の最適測定周波数が一致した (5 kHz)。しかし TBW と BF に関しては、シミュレーションでは TBW は 5 kHz の 2 次式 ($r^2 = 0.888$)、BF は 30 kHz および 1 MHz の 2 次式 (それぞれ $r^2 = 0.866$) の「仮の推定式」で決定係数が高くなる一方、妥当性検討においては、TBW では 5 kHz の 1 次式 ($r = 0.992$) で、「対照法」による測定値と「仮の推定式」によって得られた推定値との相関が高くなる一方、BF では 1 kHz の 2 次式 ($r = 0.962$) で、「対照法」による測定値と「仮の推定式」によって得られた推定値との相関が高くなる。したがってシミュレーションのみではなく、妥当性検討の手順を加えることにより各体組成の「推定式」と最適測定周波数を決定することは、体組成の測定精度を高めることとなる。

妥当性検討において、測定全期間 (8 週齢～13 週齢) のデータから得られた各体組成の「推定式」による測定値と「対照法」で得られた各体組成の測定値との相関は、TBW は $r = 0.992$ 、ECW は $r = 0.984$ および BF は $r = 0.962$ であった。一方、測定全期間 (8 週齢～13 週齢) のデータから得られた体組成の「推定式」による測定値と経時的測定終了時 (13 週齢目) に「対照法」で得られた各体組成の測定値との相関は、TBW は $r = 0.914$ 、ECW は $r = 0.826$ および BF は $r = 0.707$ であった。妥当性検討における相関に比し、後者では相関係数は低くなり、ことに BF では $r = 0.962$ から $r = 0.707$ まで低下していた。この低下は「推定式」の特性が現れたものと考えられる。すなわち図 5 d, e, f に示すように、測定対象の体組成値が大きくなると、BIA 測定値は低く推定され、ことに ECW と BF では TBW に比し大きく認められる。上述した両者の差異を少なくするために、週齢の因子を「推定式」に組み込むことが考えられる。しかし同じ週齢であっても満腹中枢を破壊されたラットや遺伝性肥満ラットでは、明らかな体脂肪蓄積が認められ¹⁹⁾ 過体重となっていること

があり、週齢の因子を直接「推定式」に組み込むには議論の余地があると考えられる。

4) 耳介および後肢への鍼通電刺激が体組成に与える影響について

耳介部への鍼通電刺激がラットの体組成と体重、摂食量、飲水量および糞量とにどのような影響を与えるのかを検討し、かつ鍼通電刺激部位の影響の部位差を検討するため、後肢（前脛骨筋）に対し、同じ条件で鍼通電刺激を行った。体重に関しては、3群とも測定前期間中（8週齢～13週齢）一方向性の増加を示した。ただし3群の間に図6に示すような体重増加のパターンの差異がみられた。すなわちA群の体重はC群に比し、13週齢日月曜日、H群に比し12週齢日月曜日から13週齢日木曜日において有意に低く、A群における体重増加の抑制がみられた。一方、H群の体重は本実験における刺激条件ではC群と有意差は認めなかった。これらの事実は、耳介部への鍼通電刺激が、体重増加を抑制し、かつ鍼通電刺激部位に部位特異性が存在することを示唆している。

前述の耳介部への鍼通電刺激による体重増加の抑制と、%TBW、%ECW および %BF との相関を検討した。表2に示すように、C群とH群に関しては体重と %BF との相関関係がもっとも高く、正の相関であることから、体重増加には %BF の増加がもっとも関係していることが考えられる。一方、A群については、体重と %TBW との相関がもっとも高く、負の相関であることから、体重増加には、%TBW の減少がもっとも関係していることが考えられる。C群とH群に関して、体重増加への関係が強い %BF にもっとも相関の高い因子は、両群とも摂食量で負の相関であった。これは %BF の増加とともに摂食量が減少していることを示している。摂食量が減少しているにも関わらず、%BF が増加し、それとともに体重も増加している原因として、摂食量の減少よりもエネルギー消費の減少が大きいことが示唆される。一方、A群に関しては、%TBW ともっとも相関の高い因子は摂食量で、正の相関であることから %TBW の減少と共に摂食量が減少することが示唆される。したがって、耳介部への鍼通電刺激では、摂食量の減少と共に %TBW の減少が、体重増加の抑制に関係していると考えられる。摂食量に関しては、測定期間中（8週齢～13週齢）C群

とA群、C群とH群およびA群とH群のいずれの群間にも有意差が認められないにも関わらず、A群のみ体重増加の抑制がみられた原因は、A群のエネルギー消費がC群およびH群に比し多いことを示唆している。

V 結 論

(1) ラットへの鍼通電刺激が体組成 (TBW, ECW および BF) に与える影響を非侵襲的かつ経時的に検討するため、BIA をラットに適用し、高い相関を示す TBW, ECW および BF を得た。

(2) ラットの耳介部への鍼通電刺激では体重増加が抑制され、体重増加と共に %TBW は減少した。一方、ラットの後肢（前脛骨筋）への鍼通電刺激では、体重増加の抑制および促進は有意にみられず、体重増加と共に %BF は増加した。これらの事実は、鍼通電刺激がラットの体重および体組成に与える影響には、部位差が存在することを示唆している。

(3) A群の %TBW とC群およびH群の %BF は、いずれも摂食量と相関関係を認めたが、摂食量に関しては3群いずれの間にも有意差は認めなかった。これらの事実は、A群のエネルギー消費がC群およびH群に比し多いことを示唆している。

VI 謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に御指導を頂きました明治鍼灸大学大学院機能学西川弘恭教授に深謝いたします。

VII 参考文献

- 1) 向野義人：肥満の耳針療法—有用性及びその作用機序についての検討—。全日本鍼灸学会誌, 31(1) : 67~74, 1981.
- 2) 向野義人, 恒矢保雄, 服部 徹：肥満の耳針療法 (2) —皮電点の意義について—。全日本鍼灸学会誌, 32(3) : 226~232, 1982.
- 3) 向野義人, 荒川規矩夫, 恒矢保雄：肥満の耳針療法における噴門点と肺点の効果差。全日本鍼灸学会誌, 33(3) : 279~284, 1983.
- 4) 影山照雄, 鮫島恭夫, 小島孝昭ら：「耳鍼療法」の基礎的研究—体重測定と減量効果—。全日本鍼灸学会誌, 44(4) : 339~346, 1994.

- 5) Shiraishi T, Onoe M, Kojima T, et al: Effects of auricular stimulation of feeding-related hypothalamic neuronal activity in normal and obese rats. *Brain Res Bull*, 36(2): 141~148, 1995.
- 6) 池田義雄: 肥満の判断. 日本肥満学会, 肥満症診療のてびき編集委員会編: 肥満症—診断・治療・指導のてびき, 医歯薬出版, 東京, pp14~24, 1993.
- 7) 荒瀬高一, 坂田利家: 行動療法. 日本肥満学会, 肥満症診療のてびき編集委員会編: 肥満症—診断・治療・指導のてびき, 医歯薬出版, 東京, pp171~181, 1993.
- 8) 岡村祐志, 森 珠美, 中村直登ら: 耳鍼通電による単純性肥満の治療. *明治鍼灸医学*, 15: 31~38, 1994.
- 9) 鮫島恭夫, 影山照雄, 小島孝昭ら: 耳鍼療法の基礎的研究(第7報) 耳介刺激の体脂肪に及ぼす影響. *肥満研究*, 2(suppl): 187, 1996.
- 10) Lukaski H C: Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr*, 46: 537~556, 1987.
- 11) Hoffer E C, Meador C K, Simpson D C: Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol*, 27(4): 531~534, 1969.
- 12) Segal K R, Gutin B, Presta E, et al: Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J Appl Physiol*, 58(5): 1565~1571, 1985.
- 13) 高橋則人: 生体インピーダンス法によるラット及びマウスの総体液量と細胞外液量の推定. *明治鍼灸医学*, 16: 69~79, 1995.
- 14) Nose H, Morimoto T, Ogura K: Distribution of water losses among fluid compartments of tissues under thermal dehydration in the rat. *Jpn J Physiol*, 33: 1019~1029, 1983.
- 15) Rothwell N J, Stock M J: In vivo determination of body composition by tritium dilution in the rat. *Br J Nutr*, 41: 625~628, 1979.
- 16) Jenin P, Lenoir J, Rouillet C, et al: Determination of body fluid compartments by electrical impedance measurements. *Aviat Space Environ Med*, 46(2): 152~155, 1975.
- 17) Segal K R, Burastero S, Chun A, et al: Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical impedance measurements. *Am J Clin Nutr*, 54: 26~29, 1991.
- 18) Houtkooper L B, Going S B, Lohman G L, et al: Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth; a cross-validation study. *J Appl Physiol*, 72(1): 366~373, 1992.
- 19) 下村伊一郎, 山本徳男: 脂肪組織蓄積の分子生物学—内臓脂肪および皮下脂肪の代謝特性. *最新医学*, 48(6): 819~826, 1993.

The study of the effects of electro-acupuncture stimulation on rat
body composition using bioelectrical impedance analysis

TAKAHASHI norihito

*Department of Physiology, Graduate School of Acupuncture and
Moxibustion, Meiji University of Oriental Medicine*

Summary : We examined the conditions of bioelectrical impedance analysis (BIA) to measure non-invasively and in time course the effects of electro-acupuncture stimulation (EAS) on rat body composition (total body water; TBW, extracellular water; ECW and body fat; BF) of the following three groups. The three groups were composed of control group, the group with EAS in auriculae and the group with EAS in hind limbs. The rat body composition values with good correlation coefficients with the values obtained with reference method were analyzed using correlation with body weight, food intake, water intake and excretion. EAS in the rat auriculae restrained significantly an increase of body weight in comparison with control rat. On the other hand, EAS in the hind limbs gave no significant effect on the body weight in comparison with control rat. The body weights of the group with EAS in the auriculae and with EAS in the hind limbs correlated with their %TBWs and %BFs respectively. %TBWs and %BFs of three groups had good correlation with their food intakes. There were no significant differences among the food intakes of three groups. These evidences suggested that EAS in the rat auriculae might not decrease food intake, but increase energy consumption.