

平成 21 年 4 月 24 日現在

研究種目：基礎研究 (C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19500592  
 研究課題名 (和文) 多周波インピーダンスによる内臓脂肪面積推定法の開発  
 研究課題名 (英文) Development of a method for estimating Visceral Fat Area with multiple frequency impedance  
 研究代表者 小宮 秀明 (KOMIYA HIDEAKI)  
 宇都宮大学・教育学部・教授  
 研究者番号：30186811

## 研究成果の概要：

これまで内臓脂肪の過剰蓄積が生活習慣病を惹起する要因の1つであることが報告され、生活習慣病の予防には内臓脂肪量の軽減が重要とされている。従って内臓脂肪に関しても血圧や血液生化学データと同様に簡便かつ正確な測定法の確立が望まれる。我が国での内臓脂肪面積 (visceral fat area; VFA) の正常範囲は腹部の X 線 CT 法による画像診断で脂肪面積が 100cm<sup>2</sup> 未満と定められている。現在のところ X 線 CT 法による臍高部の画像診断が最も信頼しうる指標とされているが、放射線の被曝やコストの面などから簡便に測定することは困難である。そこで本研究では X 線 CT 法による画像診断で得られた VFA を妥当基準とし、多周波インピーダンス (impedance; IP) 法を用いて立位、仰臥位、座位の姿勢で3種類の電極配置を腹部に設定し、3種類の解析方法を用いて VFA を推定する方法論の開発を行った。重回帰分析より VFA を求める説明変数として採用された項目は年齢、性別、仰臥位姿勢で周波数 50kHz の周波数で検出電極と電流電極の間隔が 10 cm (電極配置 B) である IPb、腹部縦径 (sagittal abdominal diameter; SAD)、ウエスト/ヒップ比 (waist-hip ratio; WHR) であり、本式から算出される VFA の推定値は実測値と高い相関を示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	2,000,000	600,000	2,600,000
20年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 ・ 応用健康科学

キーワード：多周波インピーダンス，電極配置，内臓脂肪面積，メタボリックシンドローム，測定体位

## 1. 研究開始当初の背景

近年，高血圧，2型糖尿病や脂質異常症などの生活習慣病の発症要因の1つとして内臓脂肪の過剰蓄積が報告されている。既に米国のATPⅢをはじめ，本邦でも日本肥満学会など8学会が共同でメタボリックシンドローム(MS)の診断基準を選定し，内臓脂肪面積が $100\text{cm}^2$ 以上を必須項目と決定している。この背景には生活習慣病の原因となる adipocytokine (脂肪細胞から分泌される生理活性物質) が皮下脂肪よりも内臓脂肪から多く分泌されるためである。従って，内臓脂肪量の軽減が生活習慣病の予防と是正を行う上で極めて重要となってくる。その際，内臓脂肪量の客観的な評価法が必要であり，現在のところX線CT法による臍高部の画像診断が最も信頼しうる指標とされ，日本肥満学会においては内臓脂肪面積が $100\text{cm}^2$ 以上を内臓脂肪型肥満と規定している。一方，簡易的な評価法としてウエスト周囲径(男性85cm以上，女性90cm以上)やウエスト/身長比などが利用されているが，ウエスト周囲径は腹部の皮下脂肪厚を含むため必ずしも内臓脂肪面積との間に高い相関が得にくいことも指摘されている。しかしながら，X線CT法は精度の高い測定装置であるが機器が高額であるため誰もが簡単に測定できる装置ではなく，X線CT法に代わる簡便で信頼性の高い測定方法の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

近年，脂肪細胞の役割が単に熱発生組織やエネルギーの貯蔵庫にとどまらず特殊な生

理活性物質を生産する組織であることが明らかとなり，生活習慣病の発症との関連性が報告されている。特に腹腔内に過剰蓄積した大型の脂肪細胞から分泌される Tumor Necrosis Factor (TNF)- $\alpha$  や Plasminogen Activator Inhibitor type 1 (PAI-1) などの adipocytokine が生活習慣病を惹起することが明らかになってきた。この内臓脂肪の客観的で精度の高い評価法としては，医療用のX線CTによる画像解析が知られているが，この測定には特殊な測定装置を使用すること，高額な費用及びX線による被爆などの問題点もあり，内臓脂肪型肥満を検出する際の一次スクリーニングとしては問題点も多い。本邦では2005年に国内の8学会が共同してMSの診断基準検討委員会を設置し，日本人のMSの診断基準が発表された。そこで，VFAが過剰に蓄積した内臓脂肪型肥満が必須項目とされ，基準値は $VFA \geq 100\text{cm}^2$  もしくはその簡便な指標としてウエスト周囲径(W)：男性 $\geq 85\text{cm}$ ，女性 $\geq 90\text{cm}$  が採用されている。

一方，身体組成を推定する方法として Impedance (IP) 法が知られており，IP法は生体内に微弱な交流電流を生体に流し，得られたインピーダンス(IP)から身体内の体脂肪，骨格筋量や体水分量などを推定しようというものである。そこで，今回は内臓脂肪面積を非侵襲的かつ簡便に測定する方法として5kHzから250kHzまでの5種類の周波数を使用し，測定姿勢，電極配置，解析方法を組み合わせ，内臓脂肪面積を推定するための方法論を検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象者と測定方法

##### ①対象者

対象は年齢19歳～67歳の男女219名である。乱数表を用いて無作為に重回帰分析を行う189名と交差妥当性の試験に用いる30名に分類した。

##### ②測定方法

身体計測項目は、身長、体重、ウエスト囲(W)、ヒップ囲(H)、腹部縦径(sagittal abdominal diameter; SAD)、腹部横径(frontal abdominal diameter; FAD)を測定した。また、得られた形態計測値から Body mass index (BMI)、ウエスト/ヒップ比(waist-hip ratio; WHR)、ウエスト/身長比(waist-height ratio; WHtR)を算出した。VFAと皮下脂肪面積(subcutaneous fat area; SFA)は、臍高部のX線CT像を撮影し、VFA計測ソフト Fat Scan version 3.0(N2 System Corporation 社製)を用いて計測した。IPはTANITA社製の多周波インピーダンス装置(MFBIA-07)を使用し4電極法で測定した。

使用した周波数は、5kHz、25kHz、50kHz、100kHz、250kHzの5種類であり、測定時の体位は、仰臥位、座位、立位の3通りである。

測定には腹部全体の脂肪面積(total fat area; TFA,  $TFA=SFA+VFA$ )の情報が反映されるIPを得るために、以下の2通りの電極配置を用いた。

#### (2) 電極配置

##### ①電極配置A(図1)

検出電極(VまたはV電極)は臍を中心として左右に配置し、V電極間の距離を10cmとした。電流電極(IまたはI電極)はV電極との間の距離を7cmとし、V電極の左右遠方にそれぞれ配置し、電極配置Aから得られたIPをIPaとした。

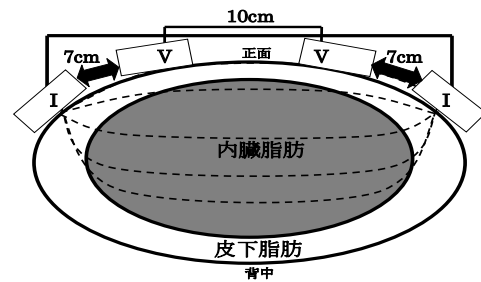


図1 インピーダンス法による電極配置A

##### ②電極配置B(図2)

電極配置Aの状態、I電極とV電極との間の距離を10cmとし、電極配置Bから得られたIPをIPbとした。

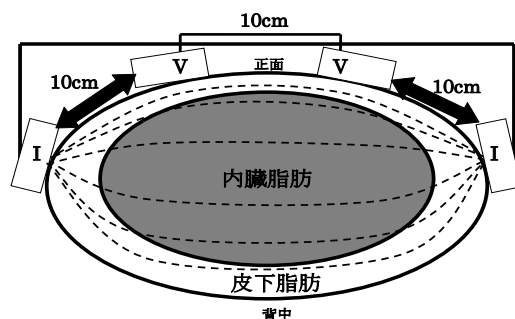


図2 インピーダンス法による電極配置B

##### ③電極配置C(図3)

更に広がり抵抗の理論を応用しV電極とI電極の間の距離を極端に狭くすることによりI電極の直下の脂肪層の情報を反映したIPを得ることができる。そこで、電極配置Cを設置し、腹部表層にあるSFAの情報を採取した。電極配置Bの状態から、右側のV電極のみをI電極に接近させ、I電極とV電極の間の距離を3cmとし、電極配置Cから得られたIPをIPcとした。

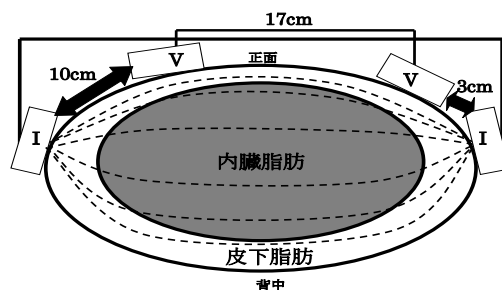


図3 インピーダンス法による電極配置C

(3) VFAの解析方法

VFAの推定値は、重回帰分析のステップワイズ法より算出した。この解析は、体位及び電極配置毎にVFAを目的変数に置き、性別、年齢、各形態計測値、各周波数のIPを説明変数として行った。

① 方法I

体位ごとにVFAを目的変数に置き、性別、年齢、各形態計測値、各周波数のIPを説明変数として解析を行った。解析に用いたIPは電極配置Aの時に得られたIP(IPa)、または電極配置Bの時に得られたIP(IPb)のみを使用し、各体位につき2通り、計6通りの回帰式を求めた(表1, 2)。

表1 方法Iの電極配置Aから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=2.19×SAD+1.33.54×WHR+1.32×IP(250kH2)+0.70×年齢-19.51×性別+1.33×BMI-150.00
座位	VFA=2.97×SAD+1.31.17×WHR+0.77×IP(100kH2)+0.63×年齢-17.73×性別+1.33×BMI-171.77
立位	VFA=2.33×SAD+1.46.03×WHR+1.10×IP(50kH2)+0.64×年齢-18.22×性別+1.26×BMI-161.09

表2 方法Iの電極配置Bから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=2.46×SAD+1.48.07×WHR+2.56×IP(50kH2)+0.68×年齢-17.18×性別+1.64×BMI-185.73
座位	VFA=3.00×SAD+1.53.74×WHR+1.75×IP(50kH2)+0.66×年齢-17.12×性別+1.30×BMI-180.80
立位	VFA=2.22×SAD+1.51.45×WHR+2.43×IP(50kH2)+0.70×年齢-16.79×性別+1.62×BMI-180.33

②方法II

全体の脂肪面積(TFA)を目的変数に置き、性別、年齢、各形態計測値、各周波数のIP(IPa又はIPb)を説明変数とした。方法Iと同様に各体位、電極配置ごとに解析し、6通りの回帰式を求めた。さらに、SFAを目的変数に置き、性別、年齢、各形態計測値、体位ごとの電極配置Cの各周波数のIP(IPc)を説明変数とし、体位ごとに解析を行い3通りの回帰式を求めた。これにより得られたTFAとSFAの回帰式から以下の論理式を各体位、電極配置A, Bごとに作成し、計6通りのVFAを推定する回帰式を求めた(表3~7)。

$$VFA = TFA - SFA$$

表3 方法IIの電極配置Aから得られたTFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	TFA=645.82×WHR+1.76×ヒップ圍+4.21×IP(100kH2)+3.97×FAD-471.44
座位	TFA=479.91×WHR+4.66×FAD+2.81×SAD+2.79×IP(250kH2)+15.60×性別+4.19×BMI-429.37
立位	TFA=492.38×WHR+3.63×IP(100kH2)+5.21×FAD+14.24×性別+4.46×BMI-407.57

表4 方法IIの電極配置Bから得られたTFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	TFA=658.01×WHR+1.73×ヒップ圍+6.96×IP(50kH2)+4.00×FAD+3.94×SAD+14.90×性別-600.4
座位	TFA=627.48×WHR+1.29×ヒップ圍+5.63×IP(250kH2)+3.50×FAD+1.53×SAD+14.12×性別-537.2
立位	TFA=602.23×WHR+7.21×IP(50kH2)+6.05×FAD+18.46×性別+4.47×BMI-501.03

表5 方法IIの電極配置Cから得られたSFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	SFA=184.30×WHR+1.67×ヒップ圍+1.90×IP(250kH2)+31.33×性別+2.43×FAD+2.80×BMI-389
座位	SFA=177.01×WHR+1.57×ヒップ圍+1.42×IP(250kH2)+31.68×性別+3.42×FAD+3.12×BMI-385
立位	SFA=203.86×WHR+3.75×FAD+1.52×ヒップ圍+1.66×IP(250kH2)+37.52×性別+3.15×BMI-412

表6 方法IIの電極配置Aから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=TFA-SFA
座位	VFA=TFA-SFA
立位	VFA=TFA-SFA

表7 方法IIの電極配置Bから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=TFA-SFA
座位	VFA=TFA-SFA
立位	VFA=TFA-SFA

③方法III

本研究では腹部組織の構造をSFAとVFAの並列回路モデルに当てはめ、TFAの情報が反映されているIPa又はIPbとSFAの情報が反映されるIPcを用いて以下の式から腹部の中心部であるVFAのIPvを算出した。

- ・電極配置Aの場合

$$IPv = (IPa \times IPc) / (IPc - IPa)$$

- ・電極配置Bの場合

$$IPv = (IPb \times IPc) / (IPc - IPb)$$

次に、VFAを目的変数に置き、性別、年齢、各形態計測値、各周波数のIPvを説明変数とし、方法Iと同様に各体位、電極配置ごとに6通りの解析を行い、直接VFAを推定した(表8, 9)。

表8 方法IIIの電極配置Aから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=2.41×SAD+1.51.39×WHR+0.36×IP(250kH2)+0.72×年齢-15.25×性別+1.70×BMI-174.29
座位	VFA=3.14×SAD+1.70.72×WHR+0.15×IP(250kH2)+0.68×年齢-13.89×性別+1.88×BMI-202.14
立位	VFA=2.60×SAD+1.67.35×WHR+0.22×IP(100kH2)+0.68×年齢-14.73×性別+1.73×BMI-187.93

表9 方法IIIの電極配置Bから得られたVFAを算出する回帰式(n=189)

体位	回帰式
仰臥位	VFA=2.52×SAD+1.55.03×WHR+1.52×IP(50kH2)+0.66×年齢-14.98×性別+1.95×BMI-197.41
座位	VFA=3.07×SAD+1.58.77×WHR+1.06×IP(100kH2)+0.66×年齢-15.95×性別+1.44×BMI-186.70
立位	VFA=2.24×SAD+1.56.68×WHR+1.46×IP(50kH2)+0.70×年齢-15.47×性別+1.81×BMI-187.13

得られた回帰式の中で最も相関が高かった重回帰式を用い、これとは異なる30名の被験者を用いて交差妥当性を確認した。また、推定値と実測値との誤差はBland-Altmanのplotを用いて検討した。

4. 研究成果

### (1) 重回帰分析の結果

VFA を求める説明変数として得られた測定条件は方法Ⅲで電極配置 B の時であり, SAD, WHR, IPv (50kHz と 100kHz), 年齢, 性別であった. この式から算出される VFA の推定値は実測値と高い相関を示した ( $r=0.860\sim 0.871$ ). 既に SAD と VFA との間には高い相関が認められており, VFA の蓄積を予測する指標として妥当と考える. VFA はその蓄積に男女差があることが知られており, 平成 16 年国民健康・栄養調査をみると, 年代の上昇に伴い男性, 女性ともに W: 男性 85cm 以上, 女性 90cm 以上の基準値を超える割合が増加していくことが報告されている. また, IP と VFA は高い相関があり, IP を用いた VFA の推定法も報告されており, 今回得られたたの変数も VFA の蓄積と深い関わりがあるため, 各説明変数は妥当と考える.

最も高い相関が得られた回帰式は仰臥位, 周波数 50kHz, 電極配置 B の時で,  $VFA=2.52 \times SAD+155.03 \times WHR-14.98 \times 性別+0.66 \times 年齢+1.52 \times IP(50kHz)-197.41$  であった ( $r=0.871, p<0.01$ , 推定式) (図 4).

### (2) 測定条件の検討

#### ① 測定体位について

測定時の体位が変わると IPv が変化し, VFA を推定する回帰式の重相関係数は体位によって異なった. これは, 体位の変化によって体液の分布や筋の伸縮・緊張の程度が変わるためと考える. また, 座位や立位では仰臥位より内臓が垂下し臍高部の VFA の分布が変わること, さらに座位においては腹部に脂肪が集積するため, SFA の分布も立位や仰臥位と比べて異なり, 測定体位の異なりにより重相関係数に影響を及ぼしたと考える.

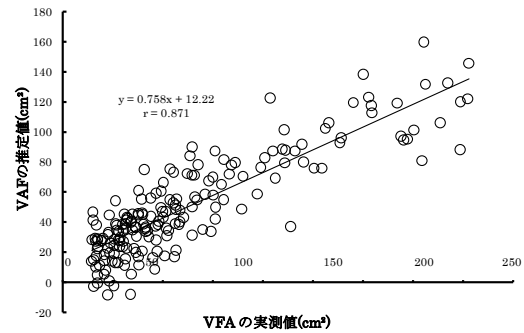


図 4 VFA の実測値と推定値の関係

従って, 仰臥位で最も高い相関が得られた要因として, VFA を測定するための X線 CT の撮影が仰臥位で行われていることが考えられる.

#### ② 測定周波数について

腹部は抵抗の高い皮膚や脂肪層で覆われているため, これらを通過し深部まで電流を流すには高い周波数が必要と予測される. 今回の成績では推定に適した仰臥位で得られた説明変数の IPv の周波数は 50kHz, 100kHz と 250kHz であり, 最も高い相関が得られた重回帰式の周波数は 50kHz であった. これまでの我々の成績では 250kHz が理想の周波数であることを報告してきたが, 今回の成績ではそれよりも低い周波数であり, これまでの成績と異なった原因については更に症例数を増やし検討する必要がある.

#### ③ 電極配置について

I 電極と V 電極の間隔は, 測定したい部位までの深さと同程度の距離をとることが望ましいとされている. 本研究で測定の深さに相当する SAD の最低値は 12.5cm であった. 重回帰分析の結果, 電極間距離が広い電極配置 B ( $r=0.860\sim 0.871$ ) が電極配置 A ( $r=0.856\sim 0.867$ ) に比し高い相関が得られた. このことから, IP は電極間距離が広い電極配置 B でより深部の情報を反映し, VFA の情報を採取できると考える. 従って, BI 法によ

り VFA を推定するには、体位が仰臥位、周波数が 50kHz、電極配置が電極配置 B の測定条件が最も適していると考えます。

### (3) VFA の実測値と推定値の誤差の確認

VFA の実測値と推定式を用いて算出される VFA の推定値の一致度を Bland-Altman の手法を用いて検討した(図 5)。

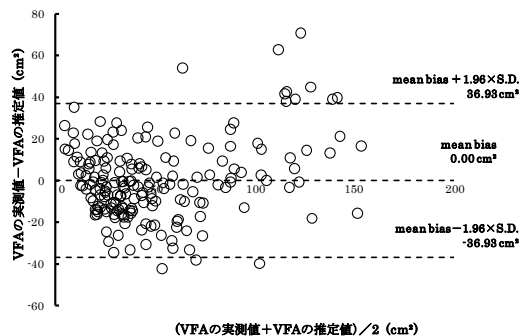


図 5 Bland-Altman Plot

実測値と推定値の平均値の差は  $0.00\text{cm}^2$  と全く差はみられなかった。

従って、平均値に誤差はないため推定式は精度が高いといえる。しかしながら、個人ごとに  $\pm 36.93\text{cm}^2$  のばらつきが認められたためその傾向を詳細に観察すると、横軸が  $100\text{cm}^2$  以上では縦軸がプラスに分布している。このことから横軸が  $100\text{cm}^2$  を僅かに超える程度の者は  $VFA \geq 100\text{cm}^2$  であるにも係わらず、 $VFA < 100\text{cm}^2$  と誤判別される可能性がある点に注意を払う必要がある。

### (4) 交差妥当性の確認

最も高い相関が得られた推定式の交差妥当性を確認したところ、推定値と実測値の間に高い相関が得られた ( $r=0.881$ ,  $p<0.01$ ) (図 6)。

従って、交差妥当性を確認しても高い相関が得られ ( $r=0.881$ ,  $p<0.01$ )、推定式の精度は高いといえる。

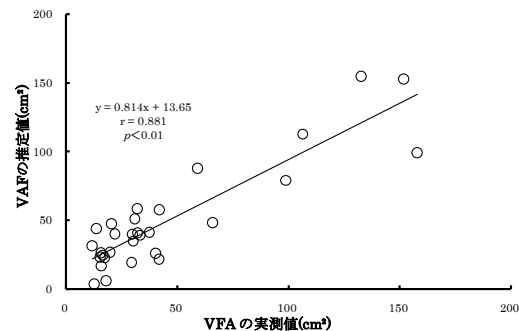


図 6 交差妥当性の結果

以上より、VFA は多周波 IP 法を用いることにより簡便で非侵襲的に測定することができ、その方法は精度が高く、スクリーニング検査として適切であると考えます。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Development of a New Method for Estimating Visceral Fat Area with Multi-Frequency Bioelectrical Impedance.

MASATO NAGAI, HIDEAKI KOMIYA, YUTAKA MORI, TERUO OHTA, YASUHIRO KASAHARA, YOSHIO IKEDA

Tohoku Journal Experimental Medicine 214(2) 105-112. 2008. 査読あり

[学会発表] (計 2 件)

① 多周波インピーダンス法による電極間隔と解析方法の違いから見た内臓脂肪面積推定の検討

小宮秀明, 永井雅人, 田所紗貴子, 森豊, 笠原靖弘, 池田義雄

第 29 回日本肥満学会 2008 年 10 月 大分

② 測定体位、電極配置、周波数を考慮した多周波インピーダンス法による内臓脂肪面積の推定. 永井雅人, 林達也, 小宮秀明, 笠原靖弘, 佐藤等, 森豊, 池田義雄

第 13 回ボディ・コンポジションと代謝研究会 2008 年 3 月 東京

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

30.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小宮 秀明・宇都宮大学・教育学部・教授・

30186811

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

森 豊・東京慈恵会医科大学・准教授・

30220031