

III. 肥満・肥満症の診断と評価

最新の測定機器による腹腔内脂肪量
および体組成の測定

井田みどり 平田雅一 細田公則 中尾一和

Abdomen specific bioelectrical impedance analysis (BIA) methods for
evaluation of abdominal fat distributionMidori Ida, Masakazu Hirata, Kiminori Hosoda, Kazuwa Nakao
Department of Medicine and Clinical Science,
Kyoto University Graduate School of Medicine

Abstract

Two novel bioelectrical impedance analysis (BIA) methods have been developed recently for evaluation of intra-abdominal fat accumulation. Both methods use electrodes that are placed on abdominal wall and allow evaluation of intra-abdominal fat area (IAFA) easily without radiation exposure. Of these, "abdominal BIA" method measures impedance distribution along abdominal anterior-posterior axis, and IAFA by BIA method (BIA-IAFA) is calculated from waist circumference and the voltage occurring at the flank. Dual BIA method measures impedance of trunk and body surface at the abdominal level and calculates BIA-IAFA from transverse and antero-posterior diameters of the abdomen and the impedance of trunk and abdominal surface. BIA-IAFA by these two BIA methods correlated well with IAFA measured by abdominal CT (CT-IAFA) with correlation coefficient of 0.88 ($n=91$, $p<0.0001$) for the former, and 0.861 ($n=469$, $p<0.01$) for the latter. These new BIA methods are useful for evaluating abdominal adiposity in clinical study and routine clinical practice of metabolic syndrome and obesity.

Key words: abdominal adiposity, intra-abdominal fat area, bioelectrical impedance analysis

はじめに

腹腔内脂肪蓄積を特徴とする腹部肥満はメタボリックシンドロームや肥満症の成因と病態に密接にかかわりがあり¹⁾、腹部肥満の診療にはその定量的な評価が重要である。現在、腹腔内脂肪蓄積の評価方法として、MRI、CT、DEXA、超音波を用いた画像診断および生体インピーダ

ンス法 (bioelectrical impedance analysis: BIA)、ウエスト周囲長測定が利用されている。CTによる定量的評価は腹腔内脂肪蓄積評価のゴールドスタンダードとされているが、X線被曝やコスト面で、集団健診などにおけるスクリーニング検査としては適さない。MRIは測定可能な施設が限られ、コストの問題もある。DEXAでは、体脂肪量の測定の中で、腹部に相当する部位の

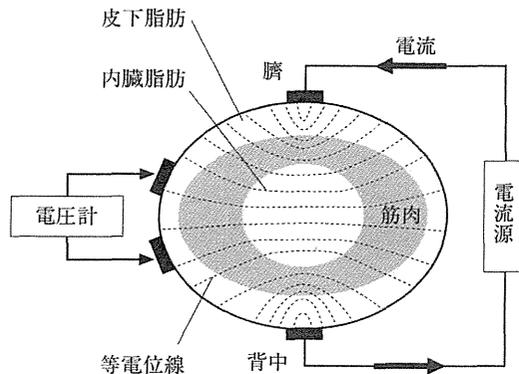


図1 体幹前後軸方向のインピーダンス測定法の原理

臍レベルで腹部前面と背面に設置した電極に電流を流した場合の体幹前後軸方向の等電位分布の模式図。(文献⁴⁾より引用)

腹腔内脂肪を定量することは原理的に不可能である。超音波画像診断を応用する方法では、体表から近い限られた部位での測定に限定され、測定方法は未確立である。ウエスト周囲長測定は非常に簡便に測定が可能であり、特定健診でも導入されているが、腹部皮下脂肪の影響を大きく受けるため、必ずしも腹腔内脂肪量を反映できるわけではない。近年、BIA法が開発され、X線被曝なく簡便に腹腔内脂肪蓄積を定量的に評価できるようになった。

1. BIA法とは

インピーダンスとは電流と電圧の比を表しており、生体に一定の電流を流した場合、脂肪組織は骨組織以外の生体組織に比べて高いインピーダンス特性を示す²⁾。BIA法は、この特性を利用して、体組成に関する情報を獲得する方法であり³⁾、既に一般の健康管理機器として体重計と併用した体脂肪計などが広く普及している。しかしながら、今までのBIA法は、皮下脂肪を含む全体の脂肪量の中から、腹腔内脂肪量そのものを定量的に評価することは困難であった。近年、BIA法を腹部に応用しCTでの腹腔内脂肪面積(intra-abdominal fat area: IAFA)に相当する値を算出する腹部BIA法が開発されている。

2. 腹部BIA法

BIA法による腹腔内脂肪蓄積評価法として我が国で開発された2つの方法につき概説する。

1) 体幹前後軸方向のインピーダンス測定による腹腔内脂肪量の測定^{4,5)}

大阪大学内分泌代謝内科と花王株式会社により共同開発された腹腔内脂肪量測定装置は、臍レベルの腹部前面と背面との間(体幹の前後軸方向)に電流を流したときに側腹部の表面に生じる電位差が腹腔内脂肪量を反映することを利用している。この原理では、電流を流したレベルにおける等電位線の概要は図1の破線ようになるが、このとき腹腔内脂肪を通過した等電位線は体表面上の側腹部に導出され、側腹部表面に発生した電圧Vは腹腔内脂肪量を反映する。電流は人体をほぼ最短距離で横断するため、側腹部の皮下脂肪にはほとんど電流が流れず、側腹部の皮下脂肪は測定電圧に影響を与えることが少ない。脂肪組織のインピーダンスは筋肉組織などの他組織よりも大きいため、電流を一定とした場合、腹腔内脂肪量の蓄積が多いほど側腹部での電位差は大きくなり、側腹部電極で測定した電圧が相対的な腹腔内脂肪量を反映する。側腹部の電極間距離を一定とした場合、BIAによる腹腔内脂肪面積(BIA-IAFA)の推定値は

$$BIA-IAFA = a + bVWc^3$$

(V: 側腹部電圧, Wc: ウエスト周囲長, a, bは定数)

という式で表すことができる。

この測定方法により算出された推定BIA-IAFAはCT-IAFAと高い相関を認めた($r=0.88$, $p<0.0001$, $n=91$)⁵⁾。また、この方法による腹腔内脂肪量測定装置を大規模集団検診に導入し保健指導を行った結果、1年後の健診において腹腔内脂肪量の減少に伴いメタボリック危険因子の有意な減少を認めたと報告されている⁶⁾。

2) Dual BIA法による腹腔内脂肪量の測定⁷⁻¹⁰⁾

京都大学内分泌代謝内科とオムロンヘルスケア株式会社はDual BIA法による腹腔内脂肪量

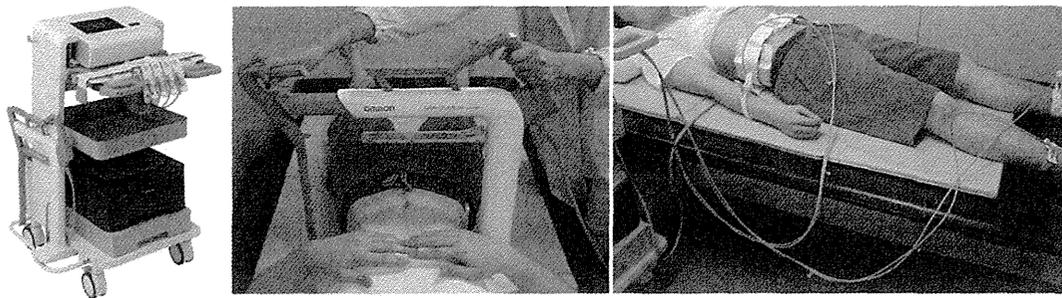


図2 Dual BIA法による腹腔内脂肪量測定機器と測定風景
HDS-2000 DUALSCAN(Omron Healthcare Co., Ltd)と測定風景.

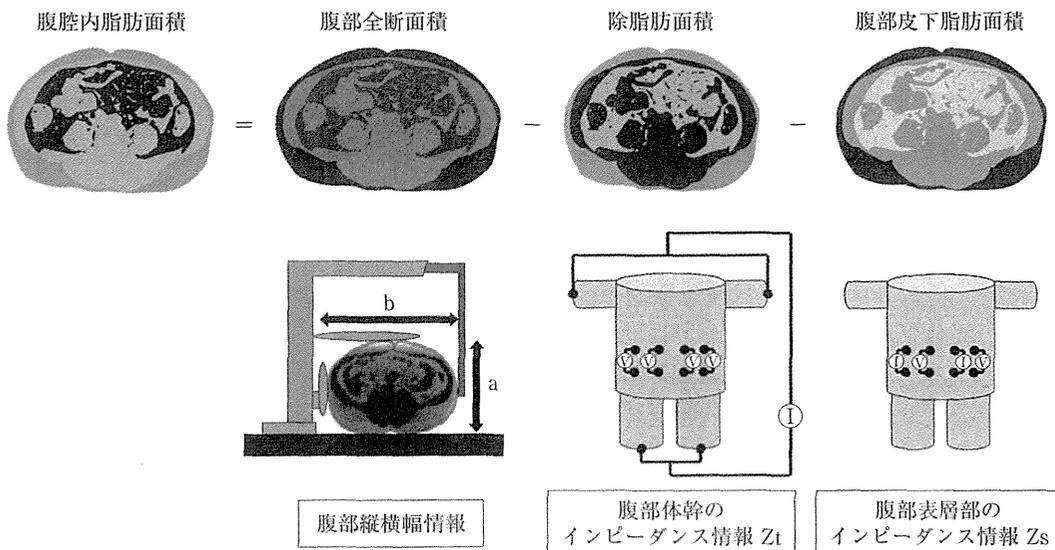


図3 Dual BIA法の測定原理

腹部の全断面面積から、除脂肪面積および腹部皮下脂肪面積を除くことで、腹腔内脂肪面積を算出する。

測定装置(DUALSCAN® Omron Healthcare Co., Ltd)を共同開発し⁷⁻¹⁰⁾、2011年夏には医療機器として承認された(図2)。四肢電極に通電して得られる電圧から腹部全体のインピーダンスを算出し、腹部電極に通電して得られる電圧から腹部表層のインピーダンスを測定している。2つのインピーダンス値と臍レベルにおける腹部断面の横径と縦径から腹腔内脂肪面積値(Dual BIA-IAFA)を算出する方法である(図3)。腹部全体の脂肪から腹部皮下脂肪量を除することで腹腔内脂肪面積値を算出しており、

Dual BIA-IAFA=

$$\alpha_1 a^2 + \alpha_2 b - \alpha_3 (a^2 + b^2)^{1/2} Z_s - \alpha_4 / Z_t + \alpha_5$$

($\alpha_1 - \alpha_5$ は定数, a: 腹部縦幅, b: 腹部横幅, Z_t : 腹部体幹のインピーダンス, Z_s : 腹部表層のインピーダンス)

という式で表される。著者らの解析では、Dual BIA法とCTにより腹腔内脂肪量測定を受けた469人(男性273人, 女性196人, 平均年齢 47.4 ± 14.0 歳, BMI $25.6 \pm 4.6 \text{ kg/m}^2$)において、Dual BIA-IAFAとCT-IAFAの相関係数は $r = 0.861$ であり、ウエスト周囲長とCT-IAFAの相

関($r=0.760$)よりも高い相関を認め、男女別の検討でも同様の結果であった⁹⁾。著者らの施設で、減量治療のため入院した67例(男性36人、女性31人、平均年齢 54.7 ± 14.7 歳、BMI $29.3\pm 6.5\text{kg/m}^2$)の解析では、Dual BIA-IAFAとCT-IAFAの相関係数は $r=0.821$ で、肥満症を多く含む群においても高い相関を確認した。食事制限による減量治療における腹腔内脂肪蓄積の変化について、毎週の経過を追うことも可能であった¹⁰⁾。

おわりに

腹腔内脂肪蓄積を正確に評価することは、健康診断やメタボリックシンドローム・肥満症の診療や研究において重要である。近年、新たに開発・実用化された腹部BIA法による腹腔内脂肪量測定装置は、X線の被曝なく、簡便に、高い精度で腹腔内脂肪量の定量的評価が可能であり、経時的な観察も容易である。今後、保健指導や診療、臨床研究分野において、大きな役割を果たすことが期待されている。

■ 文 献

- 1) Matsuzawa Y: The role of fat topology in the risk of disease. *Int J Obes* **32**: S83-S92, 2008.
- 2) Geddes LA, Baker LE: The specific resistance of biological material—a compendium data for the biomedical engineer and physiologist. *Med Biol Eng* **5**: 271-293, 1967.
- 3) Foster KR, Lukaski HC: Whole-body impedance—what does it measure? *Am J Clin Nutr* **64** (Suppl): 388S-396S, 1996.
- 4) 梁 美和ほか: 腹部生体インピーダンス法による内臓脂肪測定法の開発. *肥満研究* **9**: 136-142, 2003.
- 5) Ryo M, et al: A new simple method for the measurement of visceral fat accumulation by bioelectrical impedance. *Diabetes Care* **8**: 451-453, 2005.
- 6) Okauchi Y, et al: Reduction of visceral fat is associated with decrease in the number of metabolic risk factors in Japanese men. *Diabetes Care* **30**: 2392-2394, 2007.
- 7) 志賀利一: インピーダンス法による新規の内臓脂肪測定法. *最新医学* **61**: 615-624, 2006.
- 8) Shiga T, et al: A simple measurement method of visceral fat accumulation by bioelectrical impedance analysis. In: ICEBI 2007, IFMBE Proceedings, vol 17 (ed by Scharfetter H, Merva R), p 687-690, Springer, Berlin Heidelberg, 2007.
- 9) 井田みどり ほか: Dual Bioelectrical Impedance法を用いた内臓脂肪量測定装置のスクリーニング機器としての有用性. *糖尿病* **55**(Suppl 1): S351, 2012.
- 10) 井田みどり ほか: Dual生体インピーダンス法による減量治療における経時的腹部内臓脂肪蓄積と代謝パラメータ変化における意義. *糖尿病* **52**(Suppl 1): S105, 2009.

I. 概 論

肥満・肥満症の概念と分類

中尾一和 孫 徹

Concept and classification of obesity

Kazuwa Nakao, Chiyoru Son

Department of Medicine and Clinical Science,
Kyoto University Graduate School of Medicine

Key words: obesity, concept, classification

はじめに

過食や運動不足などを背景に、近年世界の多くの国で肥満とそれに伴う健康障害の増加が大きな問題となっている。日本肥満学会は2000年に‘新しい肥満の判定と肥満症の診断基準’¹⁾、2006年に‘肥満症治療ガイドライン2006’²⁾、2011年に‘肥満症診断基準2011’³⁾を発表し肥満・肥満症の診断と治療に指導的役割を果たしてきた。本稿では松澤祐次 日本肥満学会前理事長と斎藤 康 肥満症診断基準検討委員会前委員長の下にまとめられた‘肥満症診断基準2011’における肥満・肥満症の概念と分類について概説し、今後の肥満・肥満症診療における課題について述べる。

1. 肥 満

1) 肥満の概念と分類

日本肥満学会では‘肥満は脂肪組織に脂肪が過剰に蓄積した状態’¹⁾と定義している。

したがって、本来肥満の判定には、全身の脂肪量を直接定量的に測定することが期待される。肥満の通常の診断には、身長と体重を用いて簡便に計算でき、浮腫やるいそうなどの特殊な

病態を除き脂肪量をよく反映する、body mass index (BMI)：体重(kg)/身長(m)²が用いられる。

WHOの診断基準では、BMI 25以上を overweight, BMI 30以上を obese と定義し、 $18.5 \leq \text{BMI} < 25$ を normal range としたうえで、 $25 \leq \text{BMI} < 30$ を pre-obese, $30 \leq \text{BMI} < 35$ を obese class I, $35 \leq \text{BMI} < 40$ を obese class II, $\text{BMI} \geq 40$ を obese class III と分類している(表1)。

このように国際的には、肥満の診断にBMIのカットオフ値として30を用いる。我が国においては、日本人の相対リスクのエビデンスに基づき、BMI 25以上を肥満としている⁴⁾。すなわち、我が国におけるエビデンスでは、肥満関連疾患がBMI 25あたりから有意に増加し、 $25 \leq \text{BMI} < 30$ でそれらの疾患のオッズ比が2を超えることより、BMI 25をカットオフ値として設定している。これに伴い日本肥満学会の肥満の分類では、 $18.5 \leq \text{BMI} < 25$ を正常領域たる‘普通体重’としたうえで、 $25 \leq \text{BMI} < 30$ を肥満1度、 $30 \leq \text{BMI} < 35$ を肥満2度、 $35 \leq \text{BMI} < 40$ を肥満3度、 $\text{BMI} \geq 40$ を肥満4度としている(表1)。

なお、このようにBMIのカットオフ値を30より低く設定しているのは日本だけではない。

京都大学大学院医学研究科 内科学講座 内分泌代謝内科

表 1 日本と WHO の肥満の分類

BMI	日本	WHO
<18.5	低体重	underweight
18.5 ≤ - <25	普通体重	normal range
25 ≤ - <30	肥満(1度)	pre-obese
30 ≤ - <35	肥満(2度)	obese class I
35 ≤ - <40	肥満(3度)	obese class II
40 ≤	肥満(4度)	obese class III

表 2 東アジア各国における肥満判定・診断の BMI カットオフ値

日本		韓国		台湾		中国*	
<18.5	underweight	<18.5	underweight	<18.5	underweight		
18.5-24.9	normal	18.5-22.9	normal	18.5-24	normal		
25-29.9	obesity grade 1	23-24.9	at-risk of obesity	24-27	overweight	24-27.9	overweight
30-34.9	obesity grade 2	25-29.9	obesity	27-30	mild obesity	28-	obesity
35-39.9	obesity grade 3	30-	severe obesity	30-35	moderate obesity		
40-	obesity grade 4			35-	severe obesity		

* Bei-Fan Z, et al: Asia Pac J Clin Nutr 11(Suppl 8): S685-693, 2002. より引用.

表 2 に東アジアにおける肥満判定・診断における BMI のカットオフ値のまとめを示すが、韓国では 25 以上、台湾では 27 以上、中国では 28 以上を肥満とみなしている。

2) ハイリスク肥満

‘肥満症診断基準 2011’では、‘肥満体型と疾病発生率との関係から、内臓脂肪蓄積を中核におく’とし、ハイリスク肥満を定義している。ハイリスク肥満は内臓脂肪型肥満と同義で用いられている。すなわち、診断時には健康障害がなくても、将来的に健康障害を起こす可能性が高い肥満で、健康障害の合併がなくても肥満症(後述の肥満症の定義参照)として扱う。ハイリスク肥満のスクリーニングのカットオフ値にはウエスト周囲長：男性 85 cm、女性 90 cm を設定し、確定診断のカットオフ値には臍レベル CT 断面像による内臓脂肪面積 100 cm² が定められている。

3) 高度肥満

‘肥満症診断基準 2011’では BMI ≥ 35 の肥満

が高度肥満として新たに定義された。我が国では高度肥満者の比率は、男性で 0.2%、女性で 0.3% と少ないが、一般的には‘高度肥満者は治療が困難で、重篤な合併症や心理・精神的問題を有することが多い’とされており、診断と治療法の選択には注意を要する。

2. 肥満症

1) 肥満症の概念

‘肥満症診断基準 2011’では、肥満症は‘肥満に起因ないしは関連して発症する健康障害の予防および治療に医学的に減量が必要である状態’と定義され、疾患単位として扱う。この定義は、肥満者の中から医学的に減量を必要とする者を選別することを意図している。

2) 肥満症の診断

‘肥満症診断基準 2011’では、肥満症の診断において BMI に基づく肥満の判定とともに腹腔内の脂肪蓄積である内臓脂肪蓄積に基づく判定を取り入れている。図 1 に示すように BMI

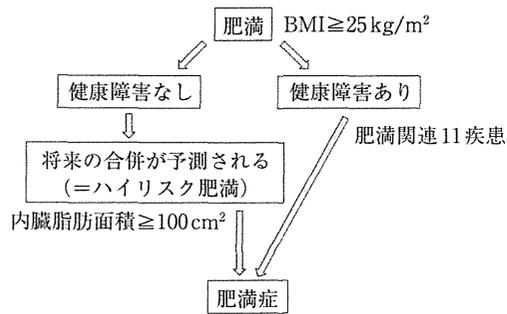


図1 肥満症診断の流れ

25以上で判定される肥満に11の肥満関連疾患(耐糖能障害, 脂質異常症, 高血圧, 高尿酸血症・痛風, 冠動脈疾患, 脳梗塞, 脂肪肝, 月経異常および妊娠合併症, 睡眠時無呼吸症候群・肥満低換気症候群, 整形外科の疾患, 肥満関連腎臓病)を有する場合は肥満症と診断される。この11疾患のうち肥満関連腎臓病は, ‘肥満症診断基準2011’で新たに追加された疾患である。更に, BMI 25以上で診断時には健康障害すなわち肥満関連疾患がなくても, CTにおける内臓脂肪面積が 100cm^2 を超える場合は, 将来的に肥満関連疾患を起こす可能性が高いハイリスク肥満として, 疾患たる肥満症と診断する。

3. 今後の課題

1) 肥満判定における今後の課題

日本の診断基準では普通体重と肥満との間に境界域を設けていない。一方, WHOの基準, 東アジア各国の基準では名称は様々であるが, 正常と肥満との間に境界領域を設定している。多くの臨床疫学研究で, 肥満度と肥満関連疾患保有との関係は連続的かつ直線的である。すなわち, 正常と異常を明確に区別する特異点がないことを示しており, 我が国における診断基準の検討においても, 境界域の設定について議論することは今後の課題の一つである。また, 日本肥満学会は淡路宣言2011で‘アジアの肥満症研究と連携し, 肥満症を代表とする生活習慣病対策における指導的役割を使命とする’という方向性を示しており⁵⁾, 東アジアにおける肥満の統一的なBMIカットオフ値に関する議論・

検討を行うことも重要であろう。肥満判定におけるウエスト周囲長や内臓脂肪面積のカットオフ値の継続的な検討も今後の課題である。

2) 肥満症診断における今後の課題

ここまで述べてきたように, 日本肥満学会の肥満症の診断には, 内臓脂肪蓄積が重要な位置を占めてきた伝統がある。‘肥満は脂肪組織への脂肪の過剰蓄積である’との定義を考えると, 腹腔内の脂肪量を直接反映している内臓脂肪面積による診断には, BMIやウエスト周囲長とは異なる利点がある。ただし, 現在の診断基準ではBMI 25以上が前提となっているので, ‘内臓脂肪面積はBMI ≥ 25 のときにだけ診断価値をもつのか’, という疑問が出てくる。図2は, CTによる内臓脂肪面積測定を実施された1,380人を対象に, 我が国のメタボリックシンドローム診断における3構成因子すなわち, 血圧高値(収縮期血圧 ≥ 130 , または拡張期血圧 ≥ 85), 耐糖能異常(空腹時血糖 110mg/dL 以上), 脂質代謝異常(血中中性脂肪値 $\geq 150\text{mg/dL}$, かつ/または血中HDLコレステロール値 $\leq 40\text{mg/dL}$)のない正常者が, その後どれか1つの構成因子を有するようになる相対ハザード値と内臓脂肪面積との関係を縦断的に解析した研究成果を示したものである⁶⁾。ここで示されるように, 内臓脂肪蓄積を反映する内臓脂肪面積の程度から予想される相対ハザード比の上昇は, BMI 25未満の群とBMI 25以上の群で統計学的な有意差がない。すなわち, 内臓脂肪蓄積は, BMI 25未満であっても, メタボリックシンドロームの3構成因子のどれか1つを有するようになることの予測因子として意義があることを示している。

‘肥満症診断基準2011’の肥満症診断のフローチャートでは, 内臓脂肪蓄積があり, 肥満症関連疾患を有している患者群は, BMI 25未満では, 肥満に起因ないし関連して起こった病態である可能性が考慮されていない。前述したように, 肥満度と肥満関連疾患保有との関係は, 連続的かつ直線的で, 肥満と非肥満を明確に区別する特異点はない。したがって, これらの患者群では, BMI 25未満でも内臓脂肪蓄積に伴

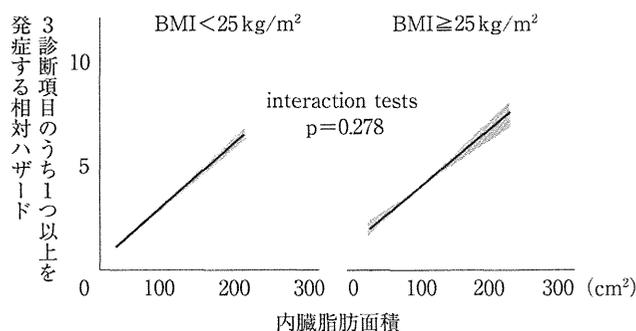


図2 メタボリックシンドロームの3診断項目のうち1つ以上を
発症する相対ハザード比と内臓脂肪面積との関係
(文献⁶⁾より引用)

い肥満関連疾患が発症している可能性があり、肥満症と同様に、過食や運動不足などの生活習慣の改善による減量が有効な可能性が考えられる。更には、このような患者群は前述の肥満判

定における課題で述べた境界領域の患者とオーバーラップしている可能性が高いので、これらの患者群をどのように扱うかに関して今後検討していくべきと思われる。

■ 文 献

- 1) 松澤佑次ほか：新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. 肥満研究 6(1): 18-28, 2000.
- 2) 松澤佑次ほか：肥満症治療ガイドライン2006. 肥満研究 12(臨増): 1-91, 2006.
- 3) 斎藤 康ほか：肥満症診断基準2011. 肥満研究 17(臨増): 1-78, 2011.
- 4) 吉池信男ほか：Body Mass Indexに基づく肥満の程度と糖尿病, 高血圧, 高脂血症の危険因子との関連 多施設共同研究による疫学的検討. 肥満研究 6(1): 4-17, 2000.
- 5) 日本肥満学会：淡路宣言2011. (<http://www.jasso.or.jp/data/data/pdf/awaji2011.pdf>)
- 6) Nakao YM, et al: Intra-abdominal fat area is a predictor for new onset of individual components of metabolic syndrome: METabolic syndRome and abdominal Obesity (MERLOT study). Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci 88(8): 454-461, 2012.

