

# CTによる内臓脂肪面積自動診断ソフトの開発と初期使用経験

Development of the Automated Diagnosis System CT Screening for Visceral Obesity

山本修一郎	Syuichiro Yamamoto	中川 徹	Toru Nakagawa
草野 涼	Suzushi Kusano	高村 雅札	Masayuki Takamura
服部 敬	Kei Hattori	色川 正貴	Masataka Irokawa

株式会社日立製作所 日立健康管理センタ

日本肥満学会ではBMI(body mass index) 25以上を肥満と定義している。さらに、ウエスト周囲径が男性85cm以上、女性90cm以上でなおかつ腹部CT検査による内臓脂肪面積が100cm<sup>2</sup>以上を肥満症としている。腹部CT検査により得られた画像から内臓脂肪面積は画像解析装置などで手動で計算できるが、総合健康診断のように大量のデータ処理が必要とされる場合、手動処理には限界があり内臓脂肪CT検診導入のネックであった。今回、われわれはCT画像を自動で解析し、内臓脂肪面積・皮下脂肪面積・腹囲を計測するソフトウェアを開発したので、その概要と初期の使用経験を報告する。

Japan Obesity Society defines the obesity as being over 25 in BMI (body mass index). It also defines the obesity as having over 85cm of circumference at waist for male and 90cm for female, and in addition, having over 100cm<sup>2</sup> of area of visceral fat measured by abdominal CT examination. The area of visceral fat can be calculated out manually using an analyzer from images obtained through abdominal CT examination. However, in case bulky data processing is required as in comprehensive health checkup, a limit exists in manual processing and this point had been a bottleneck against introduction of visceral fat examination using CT. Since we have developed this time a software program which allows automated analysis of CT image as well as measurement of area of visceral fat, area of subcutaneous fat and abdominal circumference, the outline of the system and our experiences in the early stage are reported below.

**Key Words:** Metabolic Syndrome, Visceral Obesity, Computed Tomography (CT), Computer Aided Detection (CAD)

## 1. はじめに

最近『内臓脂肪型肥満』の話題がマスコミで取り上げられることが多くなり、ダイエットやウォーキングなどの運動、高濃度茶カテキンなどの特定保健用食品ブームともあいまって『内臓脂肪』が国民的関心事になりつつある。また、沖縄県の男性の平均寿命が急激に低下したことが報道されたが、原因は肥満者の急増によるとされている。実際に肥満の指標であるBMI(body mass index)が25以上で、肥満と診断されてい

る沖縄県の壮年層男性は約5割にあたり、その割合は全国平均の2倍にも及んでいる<sup>1)</sup>。

肥満は、壮年期からの基礎代謝量の低下を背景にカロリー過剰摂取および運動不足が原因であることが多いが、日本人は他の人種と違い肥満による健康障害が、小さな体重増加でも顕著に出やすいことが報告されている<sup>2)3)</sup>。実際に多くの日本人においてBMIが正常範囲と診断されているにも拘らず、

耐糖能異常が認められている。この肥満症について肥満の指標であるBMIで判定するだけでは、正確に個人のリスクを反映していないことを意味する。また、現在肥満と診断されなくても将来の循環器疾患発症の予測ができるような良い指標はないものであろうか。

これまではシンドロームX、死の四重奏や内臓脂肪症候群と呼ばれていた病態が、ここ最近になって“Metabolic syndrome”という統一した疾患概念で診断や治療対象となってきた。Metabolic syndrome(MS)は、内臓脂肪、インスリン抵抗性、低HDLコレステロール血症、高中性脂肪血症、高血圧など動脈硬化症の心血管疾患の危険因子が集積し心疾患イベントを起こしやすい病態として、注目されている症候群である。国際的に受け入れられつつある米国のNational Cholesterol Education Program (NCEP) の Adult Treatment Panel III (ATP III)で発表されたMS診断基準は、臍周囲径で診断する内臓脂肪 高中性脂肪血症 低HDLコレステロール血症 高血圧 耐糖能異常のうち3個以上該当をMSと診断する<sup>4)5)</sup>。また、日本肥満学会から提示されている「肥満症」の診断基準の中で、腹部CT検査による臍周囲の断面像から測定する内臓脂肪面積が100cm<sup>2</sup>以上(BMI 25 以上は必要条件)を内臓脂肪型肥満とし、健康障害を伴いやすいハイリスク群としている<sup>6)</sup>。

内臓脂肪の過剰な蓄積がMSの源流にあることは間違いのないようであるが、日本人におけるMSの診断基準を満たす人の割合や心血管疾患合併リスクは不明であり、日本人のための診断基準の作成が必要である。これまで臍レベルのCT検査による内臓脂肪面積測定についての報告はいくつかあるが<sup>6)~11)</sup>、このCT検査の歴史は浅く、施行されている施設も限られているため、現在まで十分な検討がなされているとは言い難い。

当施設では2003年9月より腹部CTによる内臓脂肪面積測定を開始した。健康診断で多人数への対応という点で、手動で内臓脂肪面積を測定するには限界がある。そこで、コンピュータにより内臓脂肪を自動的に認識し、内臓脂肪面積を検出するソフトウェアを日立メディコ技術研究所と共同開発した。内臓脂肪面積自動測定ソフトの概要を報告するとともに、初期使用経験として内臓脂肪面積検査結果と他の血液生化学データなどを比較し、その有用性や適切なカットオフ値について検討した。

## 2. 内臓脂肪面積自動測定ソフト概要

CT検査の画像入力後、ウエスト周囲径算出処理、脂肪外領域認識処理、脂肪領域分割処理の順に行い、計測結果を表示する。

### 2.1 ウエスト周囲径算出処理

入力した画像に対して、閾値処理により空気と軟部組織とを区別する。ここで閾値を - 400HU に設定した。そしてラベリング処理を行い体領域を認識する。図1(a)に原画像を、同図(b)に体領域認識処理結果を示す。

得られた体領域の辺縁部を体表領域として、式(1)よりウ

エスト周囲径を算出する。

$$\text{waist's Circumference} = A \times \sqrt{\text{distx}^2 + \text{disty}^2} \dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{distx} &= | \text{Edgex}[i] - \text{Edgex}[i + 1] | \\ \text{disty} &= | \text{Edgey}[i] - \text{Edgey}[i + 1] | \end{aligned} \quad \left( \begin{array}{l} A : \text{pixelsize} \\ 0 \leq i < 360 \end{array} \right)$$

ここで、Edgexは体表領域のx座標、Edgeyは体表領域のy座標である。体表領域は、体領域の重心を中心として放射状に設定する。係数Aは1画素あたりの大きさである。

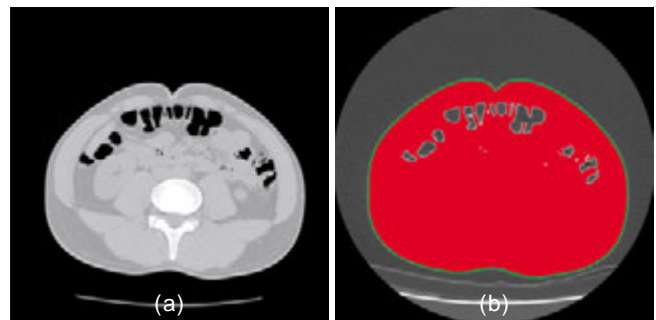


図1：体領域認識画像  
(a)原画像 (b)体領域認識処理結果 体領域(赤)・体表(緑)

### 2.2 脂肪外領域認識処理

ウエスト周囲径算出処理で認識した体領域内には、表皮・脂肪・骨・筋肉・軟部組織などが含まれている。そこで本処理では、体表付近に存在する表皮領域を削除し、閾値処理により骨・筋肉・軟部組織領域を認識する。ここで閾値を - 50HU に設定した。図2に脂肪領域外認識処理結果を示す。

図2において、赤色の領域が表皮領域、緑色の領域が骨・筋肉・軟部組織領域になる。ここで、全体脂肪領域は図1(b)の体領域から図2の脂肪外領域を削除した領域になる。図3に全体脂肪領域認識結果を示す。

### 2.3 脂肪領域分割処理

脂肪外領域認識処理で認識した骨・筋肉・軟部組織領域の位置情報をもとに、図3の全体脂肪領域を内臓脂肪と皮下脂肪に分割する。認識した骨・筋肉領域を利用して自動境界設定処理を行い、設定した境界情報をもとに内臓脂肪領域認識処理を行う。

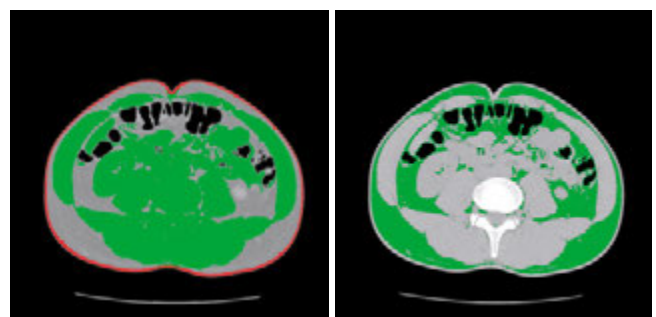


図2：表皮領域(赤)と骨・筋肉・軟部組織領域(緑) 図3：全体脂肪領域(緑)

## 2.4 自動境界設定処理

本処理は、骨・筋肉・軟部組織領域の重心算出、辺縁部認識処理、境界設定処理を順に行う。ここで、境界は重心から骨・筋肉・軟部組織領域辺縁部の距離が最大となる点とした。そして境界の不連続部は2次のスプラインを利用して補間を行った。図4に本処理結果を示す。図4の緑色の領域が骨・筋肉領域であり、赤色の領域が自動設定した境界である。

## 2.5 内臓脂肪領域認識処理

本処理は、自動設定した境界内領域認識処理を行い、その領域内の脂肪領域を内臓脂肪領域として認識する。図5に本処理結果を示す。

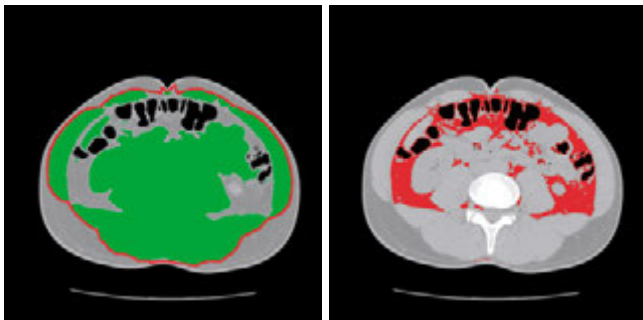


図4：境界内領域認識(赤内部) 骨・筋肉・軟部組織(緑) 図5：内臓脂肪領域の抽出(赤)

## 2.6 処理結果画像

図6(a)に原画像を、(b)に本アルゴリズムの処理結果を示す。

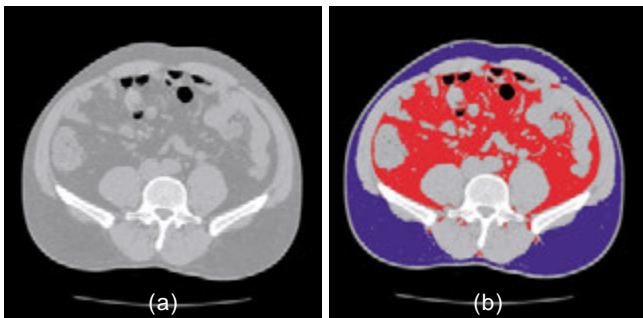


図6：処理結果画像 (a)原画像 (b)内臓脂肪領域(赤)・皮下脂肪領域(青)

図6(b)内の赤色の領域が内臓脂肪領域、青色の領域が皮下脂肪領域である。

コンピュータ(Pentium<sup>®</sup> 4-M 2.0GHz、512MB DDR-SDRAM)上で、1画像あたりの平均処理時間は約1.5秒であった。

## 3. 総合健康診断における腹部CTによる内臓脂肪面積測定

### 血液検査データおよび血圧との比較

#### 3.1 対象

2003年9月5日～2004年2月27日までの6ヵ月間に、日立健康管理センタ・総合健康診断で胸部CT検診を受診した人

の中で、事前に腹部CTによる内臓脂肪面積測定の内容を説明し、同意が得られた2,238名(男性1,880例名・女性358名：平均年齢54.6歳(29～71歳))を対象とした。

図7(a)に男女別内臓脂肪面積の分布を、(b)(c)に男女別の平均内臓脂肪面積、平均皮下脂肪面積を示す。

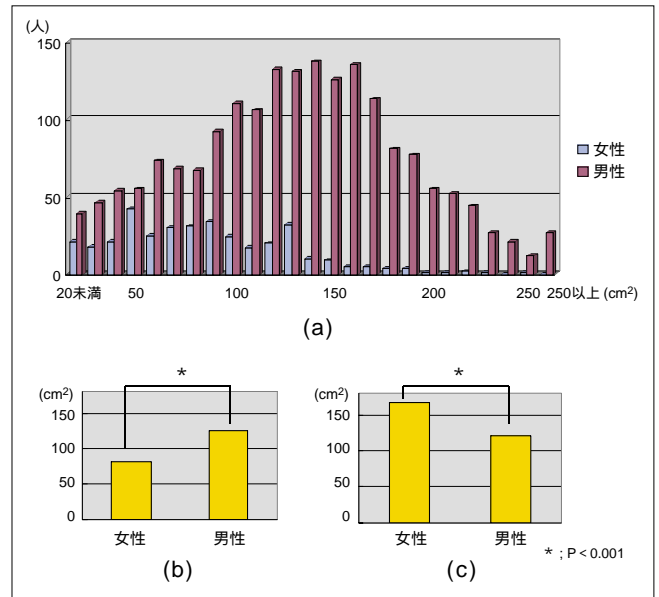


図7：内臓脂肪面積

(a)男女別内臓脂肪面積の分布

(b)男女別の平均内臓脂肪面積

(c)男女別の平均皮下脂肪面積

## 3.2 方法

胸部CT検診検査後、続けて腹部CT検査を施行した。臍部に位置合わせ、normal scanにて1 slice撮影した。撮影CT機種はRadix<sup>2</sup> turbo (日立メディコ)で、撮像条件：120kV、150mA、スライス厚2mmであった。臍部の一断面を撮像後、同断面での内臓脂肪面積、皮下脂肪面積、腹囲について開発したソフト(fatPointer<sup>3</sup>)で自動計測した。内臓脂肪面積が100cm<sup>2</sup>以上を内臓脂肪型肥満と判定し、内臓脂肪と皮下脂肪が色分けされた画像を結果報告書に添付し受診者に返送した。

## 3.3 検討項目

- (1) 内臓脂肪面積、皮下脂肪面積、BMI、体脂肪率、腹囲それぞれと、血圧、総コレステロール、中性脂肪、HDL-コレステロール、LDL-コレステロール、HbA1c、空腹時血糖、尿酸との相関を比較。
- (2) ROC曲線を用いて、内臓脂肪面積のカットオフ値について検討。
- (3) 内臓脂肪面積とBMIから4つのグループに分類し(表1)、各グループの血液検査・血圧データを比較。

表1：内臓脂肪面積とBMIによる分類

	内臓脂肪面積 < 100cm <sup>2</sup>	100cm <sup>2</sup> 内臓脂肪面積
18.5 BMI < 25	group 1	group 2
25 BMI < 30	group 3	group 4

(4) 疾患合併数と内臓脂肪面積の関係について検討。(対象疾患は脂質代謝異常、耐糖能障害、高血圧、高尿酸血症の4疾患：診断には肥満症診断基準細則；減量を要する健康障害に定められた基準値を用いた)  
なお(1)～(3)の検討に関しては、内服治療者を適宜対象から除外した。

### 3.4 結果

(1) 図8のように、各検査データは内臓脂肪と正の相関(HDL-Cは負の相関)を示した。最も相関係数の絶対値が大きかったのはHDL-Cの0.440で、次に中性脂肪が続く。逆に、最も相関が弱かったのは総コレステロールであった。表2は、各血液検査データと内臓脂肪面積(V)、皮下脂肪面積(S)、V/S、V/(V+S)、V/T(身長)、V/T<sup>2</sup>、腹囲、BMI、体脂肪率の相関係数を示しているが、ほとんどの血液検査データおよび血圧で、従来から広く用いられているBMIや体脂肪率より内臓脂肪面積の方が強い相関を示した。

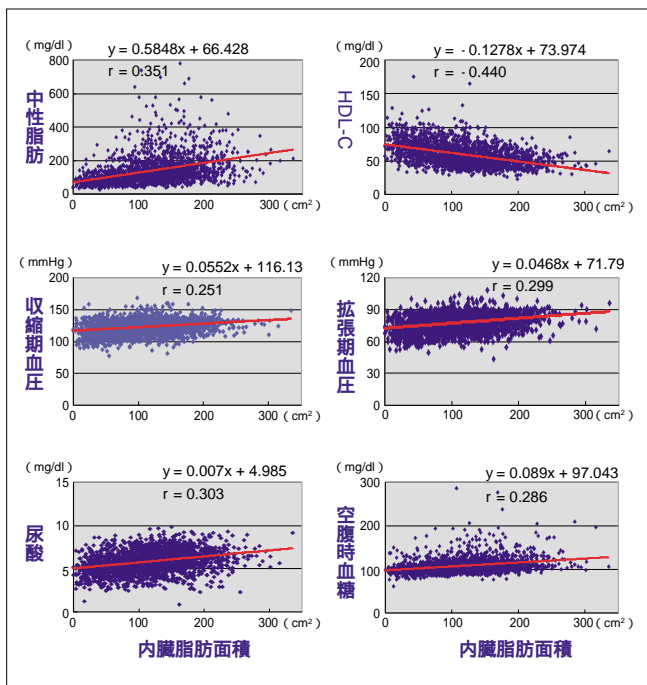


図8：各検査データ(中性脂肪・HDL-C・血圧・尿酸・空腹時血糖)と内臓脂肪面積の相関図

(2) 図9に、脂質代謝異常、耐糖能障害、高血圧、高尿酸血症の4疾患のうち2疾患以上合併症と内臓脂肪面積のROC曲線を示す。同様にして各検査データごとにROC曲線を作成し、それぞれのYouden指数から求めたカットオフ値を表3に示す。2疾患以上合併症では内臓脂肪面積のカットオフ値は97.5cm<sup>2</sup>、他の血液検査データでもおおよそ100cm<sup>2</sup>前後のカットオフ値を示した。

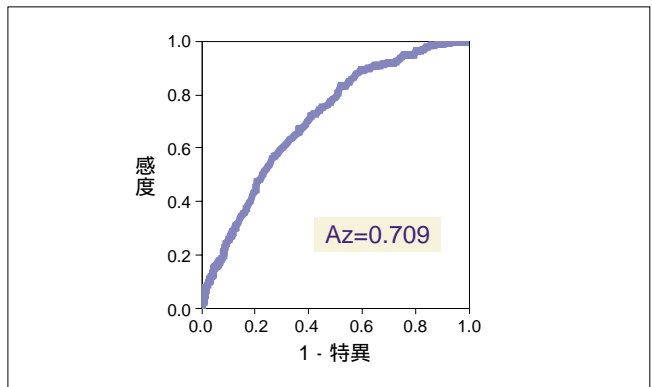


図9：2疾患以上合併症と内臓脂肪面積のROC曲線

表3：ROC曲線から求めた各疾患および2疾患合併症のカットオフ値

疾患	高血圧	高cho血症	高TG血症	低HDL血症	耐糖能障害	高尿酸血症
AZ値	0.612	0.549	0.733	0.711	0.655	0.655
カットオフ値	93.5	88.5	94.5	128.5	117.5	113.5

	2疾患以上合併
AZ値	0.709
カットオフ値	97.5

(3) 図10に示すように、普通体重(BMI 18.5以上25未満)で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>以上のグループ(隠れ肥満)は、普通体重で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>未満のグループ(普通群)よりすべての検査データのグループ別平均値が有意に高値(HDL-Cでは低値)を示した。また、普通体重で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>以上のグループは、肥満1度(BMI 25以上30未満)で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>以上のグループ(肥満群)と血圧な

表2：血圧および血液検査データと内臓脂肪面積の相関係数の比較

	V	S	V/S	V/(V+S)	V/T	V/T <sup>2</sup>	腹囲	BMI	体脂肪率
SBP	0.251	0.122	0.148	0.175	0.256	0.259	0.209	0.243	0.141
DBP	0.299	0.112	0.178	0.230	0.295	0.287	0.249	0.259	0.096
TG	0.351	0.097	0.252	0.271	0.347	0.339	0.263	0.232	0.122
HDL-C	-0.440	-0.171	-0.255	-0.336	-0.409	-0.417	-0.389	-0.357	-0.147
LDL-C	0.186	0.194	0.017	0.039	0.195	0.203	0.191	0.205	0.237
TC	0.112	0.131	0.008	0.007	0.124	0.135	0.094	0.102	0.204
FBS	0.286	0.090	0.224	0.223	0.288	0.286	0.220	0.214	0.092
HbA1c	0.213	0.089	0.167	0.144	0.223	0.232	0.155	0.174	0.120
UA	0.303	0.047	0.240	0.294	0.286	0.264	0.264	0.218	0.000

V：内臓脂肪面積(cm<sup>2</sup>) S：皮下脂肪面積(cm<sup>2</sup>) T：身長(cm)

どのいくつかの検査データで有意差を認めなかった。さらに、肥満1度で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>未満のグループ(健康肥満)は、普通体重で内臓脂肪面積100cm<sup>2</sup>以上のグループと比べて、すべての検査データで低値(HDL-Cでは高値)を示した。

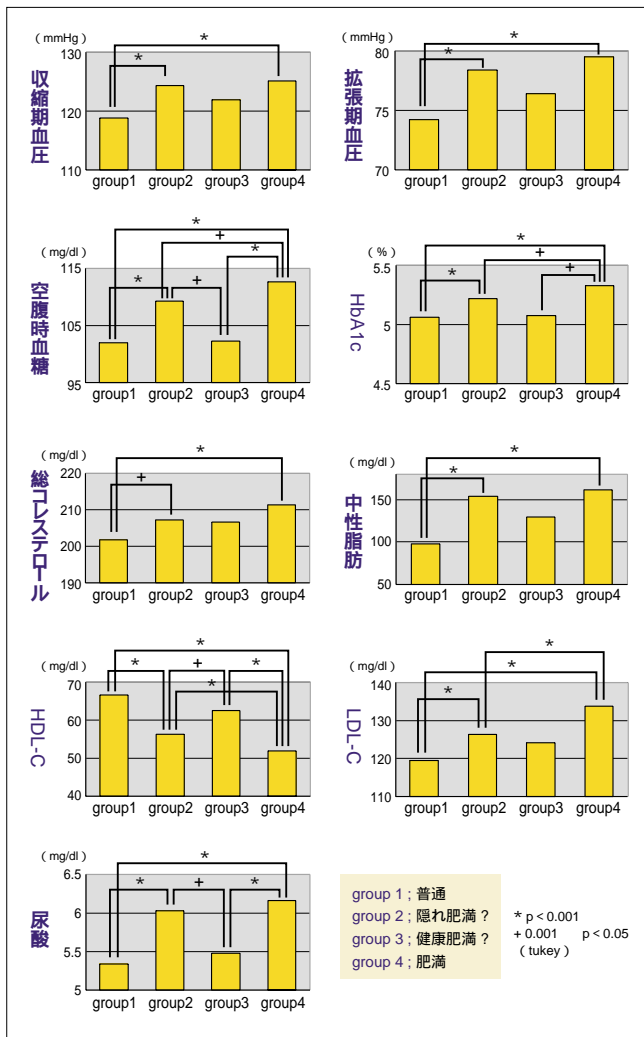


図 10 : 血圧および血液検査データにおける 4 つのグループ別平均値の比較

(4) 脂質代謝異常、耐糖能障害、高血圧、高尿酸血症の 4 疾患に関して、図 11 に示すように内臓脂肪面積が増えるに従って疾患合併数 0 の割合は減少し、逆に 2 疾患以上合併

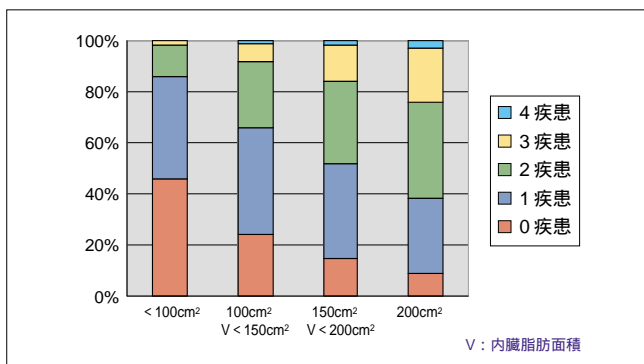


図 11 : 内臓脂肪面積別の人数分布(%)

している人の割合は増加している。また、疾患合併数別の平均内臓脂肪面積を見ると、合併数が増えるに従って内臓脂肪面積も増加している(図 12)。

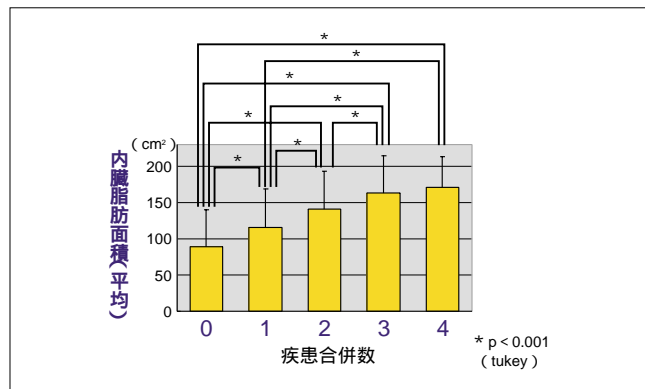


図 12 : 疾患合併数別の内臓脂肪面積平均値の比較

#### 4 . 考察

WHO 基準では BMI 30 以上を肥満としているが、日本人は軽度の肥満でも糖尿病などの生活習慣病を合併しやすいといわれており、日本肥満学会の判定基準でも BMI 25 以上が日本人の肥満の基準とされている。しかし、BMI 25 以下であっても生活習慣病を合併している人は、特に産業保健の現場での健康診断などで、かなり頻繁に遭遇し、男性の場合は特にその傾向が強いような実感を持っていた。

近年では、BMI よりもむしろ体脂肪分布パターンの違い、特に内臓脂肪型肥満の有無が耐糖能異常などの生活習慣病と関連が強いことがはっきりしてきており、その測定方法や表示方法が注目されている。

今回われわれは 2,238 名という比較的多くの人の内臓脂肪面積を測定することができた。まず男女別の内臓脂肪、皮下脂肪を比較した。従来から男性は内臓脂肪が多く、女性は皮下脂肪が多いと言われているが、今回の対象でも同様の結果であった。もし BMI よりも内臓脂肪面積の方が生活習慣病との関連が強ければ、同じ BMI でも男性はもっと減量が必要となり、女性は問題ないということがあるだろう。また、同じ男性でも筋肉が多くて体重が重い人の場合は内臓脂肪は少ない可能性があり、やはり BMI を主体に判断できなくなってしまう。そこで今回のデータをもとに、内臓脂肪面積と生活習慣病との関連や、BMI などの従来からの指標との比較を行った。

内臓脂肪面積は、BMI、腹囲、体脂肪率などの従来のパラメーターと比較して、高血圧、耐糖能障害、脂質代謝異常、高尿酸血症などの合併とより関連があると考えられた。特に血液生化学データのうち HDL-C や中性脂肪との相関が強く、逆に総コレステロールとの相関は弱かった。この結果と ATP III による Metabolic syndrome (MS) の診断基準を考慮すると、内臓脂肪の蓄積が MS 発症と強く関連していると考えられた。内臓脂肪面積のカットオフ値についての検討では、2 疾患以上合併症やその他の検査データで 100cm<sup>2</sup> 前後の値をとっており、従来の報告と同様に 100cm<sup>2</sup> はカットオフ値とし

て妥当と考えた。また、内臓脂肪とBMIから普通群、隠れ肥満群、健康肥満群、肥満群に分けると、隠れ肥満群は、普通群より生活習慣病に関連するデータが有意に悪く、肥満群とも血圧などのいくつかのデータで有意差がなかった。また、健康肥満群は、隠れ肥満群と比べ、すべての検査データが低値(HDL-Cは高値)であった。このことから、BMI 25以上以下に関わらず、内臓脂肪の蓄積した状態では生活習慣病発症のリスクが高いと考えた。逆にBMIが高くても内臓脂肪が蓄積していなければ、リスクが低い可能性も示唆された。最後の検討では、内臓脂肪面積が増えるほど疾患合併数が増える傾向が見られた。逆に内臓脂肪を減らせば本当に疾患合併数を減らすことができるのかどうかの検討が今後必要であろう。

現在、多くの施設でBMIを中心とした肥満の評価がされている。内臓脂肪型肥満についても、まずはBMI 25以上で、かつ腹囲がある一定の基準を満たした人のみを対象に内臓脂肪面積を測定することで判定されることになっている。今回の結果からBMIや腹囲に関わらず、内臓脂肪面積が100cm<sup>2</sup>を超える人は内臓脂肪型肥満と判定し注意を促す必要があると考えられる。ただし、CTで内臓脂肪面積を測定することができる施設は限られており、コストの問題もある。被曝についても現状の撮影条件で健康影響がないレベルと考えられるが、さらなる低線量化が必要である。

CTによる内臓脂肪面積測定には、肥満症の検討をすることのほかにもう1つの目的がある。それは、本人の内臓脂肪CT画像をもとに、より効果的な保健指導を行うことである。以前、胸部CT検診において肺気腫を呈した自分の肺CT画像を見た受診者が、その後禁煙に対して意欲的に取り組んだ例をわれわれは数多く経験した。CTによる内臓脂肪面積測定に関しても、その画像を有効に利用することで各人が意欲を持ってダイエットや運動療法に取り組み、内臓脂肪減量に成功する効果を期待しているところである。従来は医療機関で説明だけ受けていた自分のCT画像を自宅に持ち帰り、その画像をもとにして内臓脂肪を減らそうという意欲が継続するかどうか重要なのである。さらに実際に減った結果を得ることで、リバウンドを抑止しうるかどうかも重要である。減った内臓脂肪をまたCT検査で確認することでさらに減量継続のモチベーションが向上するかもしれない。いずれにせよこの内臓脂肪CT画像の効果については現時点では結論が出ておらず、今後追跡調査する必要があると考える。

## 5. まとめ

数値のみを受診者に提示する従来の検査(BMIや体脂肪率、血液生化学検査など)と比べ、腹部CTによる内臓脂肪面積測定は画像の視覚的なインパクトを受診者に与えることができる。今回はさらに、内臓脂肪面積は従来の検査と比べて生活習慣病の合併とより相関が強いことが示され、この方法が肥満症の予防・治療に有効活用できる可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) 桑江なおみ, ほか: 沖縄県における性別、年代別BMI、血圧、総コレステロール、血糖の平均値およびハイリスク者の割合. 沖縄県衛生環境所報, 36: 99-107, 2002.
- 2) Fujimoto WY, et al: Susceptibility to development of central adiposity among populations. *Obes Res* 3(Suppl 2): 179S-186S, 1995.
- 3) Yano K, et al: A comparison of the 12-year mortality and predictive factors of coronary heart disease among Japanese men in Japan and Hawaii. *Am J Epidemiol* 127: 476-487, 1998.
- 4) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults: Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA* 285: 2486-2497, 2001.
- 5) Grundy SM, et al: Definition of metabolic syndrome: report of the National Heart, Lung, and Blood Institute/American Heart Association conference on scientific issues related to definition. *Circulation* 109: 433-438, 2004.
- 6) The Examination Committee of Criteria for 'Obesity Disease' in Japan, Japan Society for the Study of Obesity: New criteria for 'obesity disease' in Japan. *Circ J* 66: 987-992, 2002.
- 7) Nakamura T, et al: Contribution of visceral fat accumulation to the development of coronary artery disease in non-obese men. *Atherosclerosis* 107: 239-246, 1994.
- 8) Fujioka S, et al: Contribution of intra-abdominal fat accumulation to the impairment of glucose and lipid metabolism in human obesity. *Metabolism* 36: 54-59, 1987.
- 9) Kobayashi H, et al: Visceral fat accumulation contributes to insulin resistance, small-sized low-density lipoprotein and progression of coronary artery disease in middle-aged non-obese Japanese men. *Jpn Circ J* 65: 193-199, 2001.
- 10) 柳沢一男, ほか: 体脂肪分布の違いにより評価した肥満者における糖代謝の研究: 内臓脂肪増加に伴う耐糖能悪化及びインシュリン抵抗性の増大について. 日内分泌会誌, 67: 1240-1251, 1991.
- 11) Yoshizumi T, et al: Abdominal fat: standardized technique for measurement at CT. *Radiology* 211: 283-286, 1999.

1 Pentiumはインテル・コーポレーションの登録商標です。

2 Radix、 3 fatPointerは株式会社日立メディコの登録商標です。