東京大学教養学部体育学紀要（1993）27, 45～49

資　料

超音波Bモード法と形態学的手法を用いた内臓脂肪量の推定

安部　孝、川上泰雄、杉田正明、新名謙二、内田一夫*、
和久貴洋、久野譜也、福永哲夫

東京大学教養学部
*東京大学教養学部研究生

Assessment of Subcutaneous and Visceral Fat Mass by Ultrasonography and Anthropometrical Method

Takashi Abe, Yasuo Kawasaki, Masaaki Sugita, Kenji Niina,
Kazuo Uchida*, Takahiro Waku, Shinya Kuno
and Tetsuo FUKUNAGA

Dept. of Sports Sciences, College of Arts and Sciences
The University of Tokyo

緒　言

人体における脂肪の貯蔵部位は主に皮下組織と内臓周辺部である。近年，内臓周辺部に蓄積する脂肪（以下，内臓脂肪）量が，冠状動脈心疾患の発症や，糖尿病，高脂血症，高血圧など動脈硬化性疾患の危険因子の発症に深く関与していることが指摘され[12]，内臓脂肪量を評価する測定法の開発が試みられている。

これまで，内臓脂肪量を評価する方法には主に２つの測定法が提案されている。第１の方法は，Ｘ線ＣＴ法[2]やＭＲＩ法[14]によって腹部断層像を撮影し，映し出された画像から内臓脂肪を定量する方法である。もう１つの方法は体表面積と皮下脂肪厚との組み合わせから皮下脂肪量を推定し，水中体重法など別の方法で推定した身体総脂肪量との差から内臓脂肪量を算出する方法である。前者の腹部断層像から内臓脂肪量を測定する方法は，正確にその量が把握できる点で優れた方法ではあるが，高価で特殊な医療用機器を必要とすることから，一般のフィールド測定には利用することは不可能である。一方，形態学的手法を用いた推定法は，理論的な背景は十分に理解されているものの，体肢や体幹部における皮下脂肪厚の分布状態が相当に異なっている[17]ことや，皮下脂肪厚の測定部位とその数をどの様に決定するか，皮下脂肪厚をどの様な測定法で評価するか，など問題点も多い。さらに，形態学的手法によって評価された内臓脂肪量が実際の脂肪量を反映したものであるかを検討した報告は今のところみられない。

そこで本研究では，超音波断層法（Ｂモード法）による皮下脂肪厚を利用し、青年男性の内臓脂肪量を評価するとともに、実際の内臓周辺部に蓄積した脂肪量との関係を検討するひとつの試みとして，ＭＲＩ法によって撮影した腹部断層像との比較を行った。

方　法

１．対象

本研究の対象者は健康な成人男子６名であった。対象者は研究の目的を充分に理解し，積極的に研究に参加した。各対象者の年齢，身長，体重，および体脂肪率は表１に示した通りである。全ての対象者は，日頃，適度な身体活動を実施しており，比較的活動的な生活を実践していた。飲酒習慣はすべての対象者に認められた。

表１　対象者となった男性６名の身体的特徴

対象者	身長(cm)	体重(kg)	BMI (kg/m²)	WHR	体脂肪率(%)
TA	179.4	80.3	24.9	0.88	21.6
YK	170.7	64.0	21.9	0.85	16.0
MS	173.1	63.5	21.2	0.82	17.2
KN	161.3	49.1	18.9	0.80	8.6
KU	161.7	60.7	23.2	0.87	18.0
TW	161.0	60.3	23.2	0.84	13.1

BMI：body mass index，WHR：hip circumference ratio，体脂肪率は水中体重法によって測定した身体密度から Brozek の式を用いて推定した。

２．身体総脂肪量の測定

総脂肪量の測定は水中体重法による身体密度より，Brozek et al.[5]の推定式を用いて算出した。身体密度の測定のため対象者は，フォースプレートが水底に固定された水槽に入水し，水中での体重を最大呼出時に３回測定した。残気量の測定は純酸素再呼吸法[13]を用い，水中での体重測定時に並行して実施した。測定された水中体重とその時の残気量から身体密度を算出した。測定結果は３回の測定値の平均値を用いた。

３．皮下脂肪量と内臓脂肪量の測定

皮下脂肪量の測定に用いたDavies et al.[6]の推定式を以下に示した。彼らはＡモード超音波法で測定した身体12ヶ所の皮下脂肪厚の平均値と体表面積とを掛け合わせる方法を報告している。

皮下脂肪量＝皮下脂肪厚の×体表面積×脂肪の密度×脂肪組織での
（kg）　平均値(m)　（m²）（kg/m³）脂肪の割合

本研究ではこの方法を改良して，Hattori et al.[9]が報告している体表面積の各セグメント比から各セグメントにおける表面積を算出し，各セグメントにおいて測定された皮下脂肪厚の平均値を掛け合わせるという方法を採用した。本研究では，頭皮，手，足，および会陰（perineum）の部分については皮下脂肪が極めて少ないことを考慮して皮下脂肪量の計算から割愛したため，測定に用いたセグメントは，顔および首，上腕，前腕，体幹，大腿，下腿の６部位であった。

皮下脂肪厚の測定には超音波Ｂモード法(Aloka SSD-500)を用い，身体６部位（15ヶ所）の皮下脂肪厚を測定した。各セグメントごとの測定部位は以下に示した通りであった。

（A）顔および首部
　1．前頭部：前額の中央部
　2．頚部：頚椎の中央部
（B）前腕部
　3．前腕部の前面：前腕長の遠位30％の位置
（C）上腕部
　4．上腕部の前面：上腕部の遠位60％の位置
　5．上腕部の後面：上腕部の遠位60％の位置
（D）体幹部
　6．胸部：鎖骨中央部の下３cmの位置
　7．腹部：へその右横３cmの位置
　8．剣状突起下：剣状突起の直下５cmの位置
　9．腸骨稜上：腸骨稜の上５cmの位置
　10．側胸部：剣状突起下縁高における脇線中央
　11．肩甲骨下：肩甲骨下角の下５cmの位置
（E）大腿部
　12．大腿部の前面：大腿長の50％の位置
　13．大腿部の後面：大腿長の50％の位置
（F）下腿部
　14．下腿部の前面：下腿長の遠位30％の位置
　15．下腿部の後面：下腿長の遠位30％の位置

被検者は立位姿勢の状態ですべて右側の部位が測定された。まず測定ポイントに超音波プローブを置き，皮膚に圧がかからないように注意しながら断層画像を撮影した。測定の際，プローブは皮膚面に対して常に90度の角度を保つよう配慮し，リアルタイムで映し出された画面上をみながら，脂肪組織と筋の境界面および筋と骨の境界面を表すエコーを確認し，エコーが最も強く表れる状態での画像を撮影した。皮膚とプローブとの圧に関しては国際的な統一がなく，本研究では組織がプローブによる圧で変形することがないよう配慮して測定を行った。撮影された断層画像から、皮膚面と脂肪組織－筋の境界面までの距離を皮下脂肪厚として計測した。超音波Ｂモード法による組織厚測定の信頼性については、福永ら[8]によってすでに確認されている。

体表面積の算出には高比良の式を[16]用いた。脂肪の密度はFidanza et al.[7]が報告している数値（900kg/m³）を、また脂肪組織における脂肪の割合はBaker[3]の数値（0.8）を使った。内臓脂肪量は水中体重法によって測定された総脂肪量と皮下脂肪量との差から計算した。

４．ＭＲＩ法による腹部断層像の撮影

使用したＭＲ装置は、ＧＥ社製（Signa）の超電導1.5Ｔであった。被検者は仰臥位で装置のベット上に横たわり、臍の位置における横断面像を撮影した。ＭＲ撮影の条件は、繰り返し時間が33msec、スライス厚が10mmであった。ＭＲ撮影時に被検者は、呼吸を止め、腹部の動きが起こらないように注意した。

結果と考察

本研究の対象者６名の身体的特徴を表１に示した。身長および体重の平均値はそれぞれ167.9cm、63.0kgであった。体脂肪率は最も低い被検者ＫＮが8.6％、最も高い被検者ＴＡが21.6％であり、平均では15.8％であった。北川ら[10]および近藤[11]は日本人青年男子の水中体重法によって測定した体脂肪率の平均値は15％であることを報告している。本研究の対象者は先の報告とほぼ同様の値であった。

表２に対象者の総脂肪量、皮下脂肪量、および内臓脂肪量を示した。皮下脂肪量は2.6kgから9.1kgの範囲にあり、平均5.9kgであった。総脂肪量に占める皮下脂肪量の割合では、最も低い割合を示した被検者ＭＳが約52％、最も高い割合を示した被検者ＴＷが66％であり、６名の平均では59.2％であった。また、内臓脂肪量の平均は4.3kgで、最も高い値を示した被検者ＴＡが8.2kg、最も低い値は被検者ＫＮの1.6kgであった。総脂肪量に占める内臓脂肪量の平均は40.7％で、34％から48％の範囲であった。

Davies et al.[6]は超音波Ａモード法によって測定した皮下脂肪厚を用い、青年男子（18－25才）の皮下脂肪量と内臓脂肪量を算出している。この報告によると、男性21名の皮下脂肪量の平均値は6.6kg、内臓脂肪量のそれは4.2kgであり、本研究の平均値とほとんど同様の値を報告している。また、総脂肪量に占める皮下脂肪量の割合も平均61％と一致している。形態学的方法によって皮下脂肪量や内臓脂肪量の推定を試みた他の報告として、Hattori et al.[9]は18－23才の男性121名、女性93名の結果を報告している。皮下脂肪の測定をキ

ャリパー法で行ったこの研究では、男性の内臓脂肪量が平均3.6kg、女性のそれは4.5kgであり、総脂肪量に占める皮下脂肪量の割合は男性が53.7%、女性が62.6%であったと報告している。本研究では総脂肪量に占める皮下脂肪量の割合が平均で59.2%であり、Hattori et al.の報告[9]よりも幾分高い値を示した。キャリパー法を用いて皮下脂肪量を測定する場合、キャリパーで測定された値の半分の値を皮下脂肪厚として用いている。しかしこの方法では、皮下脂肪厚を測定するときの圧縮率の固体差や部位差が測定値に影響し、正確な皮下脂肪の厚さを測定することは不可能である。したがってキャリパー法と超音波法で測定された皮下脂肪量を比較する場合には、上記の要因を考慮しなければならない。

最近，ＭＲＩ法による全身の横断画像の撮影から，皮下脂肪量と内臓脂肪量を定量したRoss et al.[14]の報告では，男性27名（年齢17－74才）の皮下脂肪の体積は平均で21.2リットル，内臓脂肪のそれは4.1リットルであり，総脂肪に占める皮下脂肪の割合は81.2%であったと報告している。この結果は，本研究や他の形態学的な手法を用いて推定した結果よりも明らかに高い値であった。この原因については今後さらに検討する必要がある。

本研究では超音波Ｂモード法と形態学的手法との組み合せによって内臓脂肪量を推定すると同時に，ＭＲＩ法で腹部断層像の撮影を行った。図１は本研究で体脂肪量が最も多かった被検者ＴＡの腹部断層像である。図２（被検者ＹＫ）および図３（被検者ＭＳ）の断層像に比較して皮下および内臓周辺部に脂肪の蓄積が多いことが観察された。一方，被検者ＹＫは体脂肪率16.0と平均的な値で，内臓脂肪量は少なかったが，ＭＲＩ画像（図２）でも内臓周辺部の脂肪は少ない傾向にあった。本研究ではＭＲＩ画像からの内臓脂肪の定量は測定法の準備の関係で実施できなかったが，我々が行った他の調査[1]では，超音波法と形態学的手法によって測定した内臓脂肪量とＭＲＩ法による内臓脂肪断面積との間に有意な相関関係（$r=0.65$, $p<0.01$）が認められている。Ross et al.[14]は腹部において撮影した内臓脂肪断面積が，からだ全体の内臓脂肪量を反映したものであることを報告している。本研究ではＭＲＩ断層画像からの内臓脂肪断面積と形態学的手法による内臓脂肪量との間の関係を統計的に処理することはできなかったが，両測定法で観察された内臓脂肪の大小はほぼ一致していることが確認された。以上の結果から，本研究で実施した超音波と形態学的手法による内臓脂肪量の評価法は，実際の内臓周辺部の蓄積脂肪量の大小を適切に評価しているものと考えられた。

表２　対象者の皮下脂肪、内臓脂肪量および総脂肪量

対象者	総脂肪量(kg)	皮下脂肪量(kg)	内臓脂肪量(kg)	内臓脂肪の割合(%)
ＴＡ	17.3	9.1	8.2	47
ＹＫ	10.2	6.3	3.9	38
ＭＳ	10.9	5.7	5.2	48
ＫＮ	4.2	2.6	1.6	38
ＫＵ	10.9	6.6	4.3	39
ＴＷ	7.9	5.2	2.7	34

総脂肪量は水中体重法による身体密度を用い、Brozekの推定法を使って求めた体脂肪率から計算した。
皮下脂肪量とは６つのセグメントの皮下脂肪量の合計である。
内臓脂肪の割合とは総脂肪量に占める内臓脂肪量の比率である。

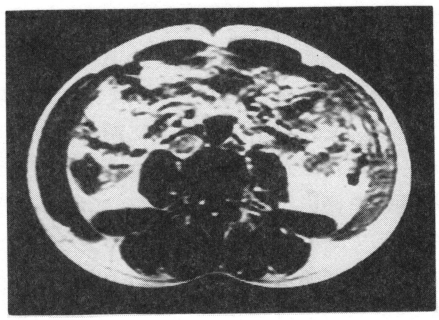

図１　被検者ＴＡの腹部ＭＲＩ断層画像
超音波断層法による皮下脂肪厚を利用して推定した内臓脂肪量は8.2kg、皮下脂肪量は9.1kgであった。

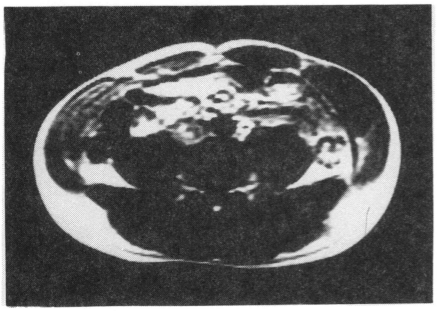

図２　被検者ＹＫの腹部ＭＲＩ断層画像
超音波断層法による皮下脂肪厚を利用して推定した内臓脂肪量は3.9kg、皮下脂肪量は6.3kgであった。

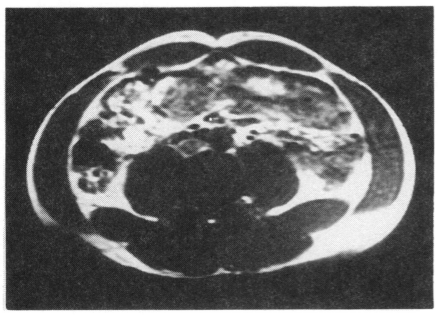

図３　被検者ＭＳの腹部ＭＲＩ断層画像
超音波断層法による皮下脂肪厚を利用して推定した内臓脂肪量は5.2kg、皮下脂肪量は5.7kgであった。

謝　辞

本研究で実施したＭＲ装置を用いた腹部断層像の撮影には，筑波大学臨床医学系の板井悠二教授のご厚意により，同施設の装置を利用させていただいた。ここに感謝の意を表す。本研究の内容は第95回日本体力医学会関東地方会において発表した。

文　献

1. Abe, T., Kawakami, Y. and T. Fukunaga ; Validity of anthropometrical method for measuring visceral fat mass in young women. Med. Sci. Sports Exer, 25 (5): Suppl, 58, 1993
2. Ashwell, M., Cole, T. J. and A. K. Dixon : Obesity : new insight into the anthropometric classification of fat distribution shown by computed tomography. Bri. Med. J. 290:1692-1694,1985.
3. Baker, G. L. : Human adipose tissue and age. Am. J. Clin. Nutr. 22:829-835,1969.
4. Brown, W. J. and P. R. M. Jones : The distribution of body fat in relation to physical activity. Ann. Human Biol. 4:537-557,1977.
5. Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and A. Keys : Densitometric analysis of body composition : review of some quantitative assumptions. Ann. N. Y. Acad. Sci. 110 : 113－140, 1963.
6. Davies, P. S., Jones, P. R. M. and N. G. Norgan : The distribution of subcutaneous and internal fat in man. Ann. Human Biol. 13:198-192,1986.
7. Fidanza, F., Keys, A. and J. T. Anderson : Density of body fat in man and other animals. J. Appl. Physiol. 6: 252-256, 1953.
8. 福永哲夫，松尾彰文，石田良恵，角田直也，内野滋雄，大久保直人：超音波Ｂモード法による皮下脂肪厚および筋厚の測定法の検討，超音波医学，16:170-177，1990。
9. Hattori, K., Numata, N., Ikoma, M., Matsuzaka, A. and R. R. Danielson : Sex differences in the distribution of subcutaneous and internal fat. Human Biol. 63:53-63, 1991.
10. 北川薫：日本人の身体組成，第４回日本体力医学会シンポジウム抄録集，1991。
11. 近藤正勝：日本人の中高年男女の身体組成。〔人間と創造〕，日本大学経済学部研究会編，1989。
12. Leene, R., Kooy, K. V. D., Seidell, J. C. and P. Deurenberg : Visceral fat accumulation measured by magnetic resonance imaging in relation to serum lipids in obese men and women. Atheroscleroses, 94:171-181, 1992.
13. Rahn, H., Fenn, W. O. and A. B Otis : Daily variations of vital capacity, residual air, expiratory reserve including a study of the residual air method. J. Appl. Physiol. 1:725-736, 1949.
14. Ross,R., Leger, L., Morris, D., Guise, J. and R, Guardo : Quantification of adipose tissue by MRI : relationship with anthropometric variables. J. Appl. Physiol. 72:787-795, 1992.
15. Seidell, J. C., Oosterlee, A., Thijssen, M. A. O., Burema, J., Deurenberg, P., Hautvast, J. G. A. J. and J. H. J. Ruijs : Assessment of intra-abdominal and subcutaneous abdominal fat : relation between anthropometry and computed tomography. Am. J. Clin. Nutr. 45:7-13, 1987.
16. 高比良英雄：栄養研究所報告，1:61,1925。
17. 湯浅景元，福永哲夫：超音波法による皮下脂肪分布パターン，体力科学，36:36-41,1987。