

身体活動が体内深部脂肪の蓄積に与える影響

田 中 茂 穂

①

身体活動が体内深部脂肪の蓄積に与える影響

田 中 茂 穂

# 目次

	頁
はじめに	… 1
第1章 本論文の背景と目的、方法論	… 3
1. 代謝性疾患における体脂肪分布の役割	… 4
2. 体脂肪分布の要因に関する研究小史	… 6
1) 体脂肪分布に影響を与える生理学的要因	… 6
a. 脂肪組織における代謝特性の部位差	… 6
b. 体脂肪の分布に関連するホルモン	… 7
2) 遺伝的要因と環境要因	… 11
3) 体脂肪分布に影響を与える行動要因	… 12
4) 行動要因に関する先行研究のまとめと問題点	… 17
3. 本論文の目的	… 19
4. 本論文で用いた身体組成測定の方法論	… 21
1) Hattori et al. (1991) の方法による体内深部 脂肪量と皮下脂肪量の推定	… 22
2) 本研究で用いた体内深部脂肪量の推定法	… 24
3) 身体組成に関する測定項目	… 26
4) 上記の推定方法の長所と問題点	… 28
第2章 運動習慣の異なるグループ間における 体脂肪分布の比較	… 32
1. 目的	… 33
2. 方法	… 33
3. 結果	… 35
4. 考察	… 42
5. 結論	… 46

第3章 脳性麻痺者と一般健常者における腹部脂肪分布 の比較	…47
1. 目的	…48
2. 方法	…48
3. 結果	…51
4. 考察	…59
5. 結論	…62
第4章 12週間の有酸素的運動の継続による体脂肪分布 の変化	…63
1. 目的	…64
2. 方法	…65
3. 結果	…66
4. 考察	…73
5. 結論	…79
第5章 成人男性における体重にあらわれない肥満と 体脂肪分布の関連	…80
1. 目的	…81
2. 方法	…81
3. 結果	…82
4. 考察	…88
5. 結論	…91
第6章 総括	…92
1. 本研究で得られた主な結果	…93
2. 体脂肪分布に対する身体活動の役割	…95
3. 体脂肪分布に影響を与える要因に関する今後の研究の方向性	…98
謝辞	…100
引用文献	…101

## はじめに

現代は、加速度的に情報化や機械化等が進み、生活習慣にも急激な変化が訪れている。中でも、飽食化による摂取エネルギーの増加、脂質、ショ糖の摂取量の増加や食物繊維摂取量の減少などにみられる食生活の質の変化、機械化に伴う身体活動量の減少、そして、精神的ストレスの増大などにより、肥満は現代における重大な健康問題の一つとなっている。

しかし、体重、あるいはより厳密に体脂肪率を用いて肥満と判定されるような者でも、糖尿病、心疾患、高血圧、高脂血症等の疾病、代謝異常のみられない場合が多々ある。そうした個人差を説明できる最も大きな要素として、体脂肪の分布があげられ、日本肥満学会や国際肥満会議においても、最も関心の高い領域の一つとなっている。筆者も、主として皮下脂肪の分布と高脂血症、高血圧との関係について検討を行った (Tanaka and Togo, 1990; 田中, 1991)。しかし体脂肪のうち、皮下脂肪ではなく、体内の深部、内臓の周囲に存在する脂肪が、代謝異常と強い関連をもっているということがわかってきた (Despres et al., 1990; Bouchard et al., 1993)。

にもかかわらず、体脂肪の分布を規定する要因については、あまり明らかにされていないとは言えない。体脂肪の量は、摂取エネルギーと消費エネルギーのバランスで決定されると、比較的簡単に説明できる。しかし、体脂肪の分布、特に内臓脂肪の蓄積については、おそらく遺伝的に決定される割合が大きいこともあって、その要因の解明は、世界的に求められている課題である。中でも日本においては、その点に関する研究そのものが非常に少ない。したがって、先に述べた疾病などの、いわゆる成人病の予防や治療、また、現代のライフスタイルを見直す意味でも、体脂肪分布を決定している要因を明らかにすることが求められている。

本論文では、日本人における数少ない研究の一つとして、身体活動が、体脂肪の分布、特に体内深部に存在する脂肪の蓄積に与える影響について検討した。まず、第1章では、体脂肪の分布がいわゆる成人病の発症においてどのような役割を果たしているかという点について、文献をもとにして簡単にふれた後、身体活動をはじめとする体脂肪分布の要因に関する研究について概説した。そこで確認された問題をもとにして、本研究の目的と方法論について述べた。

次に、身体活動が体内深部脂肪の蓄積に与える影響について、筆者が行った3つの異なる研究を第2章～第4章とした。まず、大学のラグビー部員を含む運動習慣の異なる3つの群（第2章）や、運動障害を有する脳性麻痺者（第3章）の体脂肪分布の特徴をみることによって、身体活動の違いが体脂肪分布とどういった関連があるかをみた。それとともに、12週間の有酸素運動の継続が、体脂肪分布に及ぼす影響について検討した（第4章）。更に、運動習慣が体内深部脂肪の蓄積に影響を与えているのではないかという考えのもとで、体重と体脂肪率で評価する肥満の程度の不一致が、体内深部脂肪の蓄積と関連があるのではないかという仮説について検討した（第5章）。

第6章では、第2章～第5章で得られた知見をふまえて、身体活動を中心に、体脂肪分布の要因やそれに付随する問題について考察するとともに、今後の研究の方向性についても検討を加えた。

なお、本論文の内容は、既に以下の通り発表したものである。また、本論文の一部は、第9回（平成4年度）明治生命厚生事業団「研究助成」、および平成6年度科学研究費補助金「奨励研究（A）」をうけて行った。

田中茂穂、戸部秀之、甲田道子（1993）：体脂肪率とBMI間の不一致の程度と体内深部脂肪量との関連。第13回日本肥満学会記録，264-265。

田中茂穂、戸部秀之、甲田道子（1993）：体内深部脂肪と運動。治療，75(8)，2092-2093。

田中茂穂、戸部秀之、甲田道子（1994）：体脂肪の分布に影響を与える要因。特に有酸素運動と日常生活習慣について。体力研究，第85号，38-46。

S. Tanaka, H. Tobe, M. Koda and T. Satake (1994) : Small body mass index relative to percent fat is associated with internal fat patterning. Int.J.Obes., 18(Suppl.2), 133.

田中茂穂、戸部秀之、甲田道子、佐竹隆、松坂晃、服部和明（1995）：成人男性における体重増加を伴わない体脂肪率増加と体脂肪分布の関連。肥満研究，1(1)，25-28。

## 第 1 章

### 本論文の目的と背景，方法論

## 1. 代謝性疾患における体脂肪分布の役割

肥満は、糖尿病や動脈硬化、心疾患等のいわゆる成人病のリスクファクターの一つとされ、主として血中脂質値の上昇やインシュリン感受性の低下といった他の要因を介して、成人病を招きやすいとされている。しかし、肥満と成人病あるいは肥満と高脂血症等との関連をみた研究において、必ずしも強い関連を裏付ける結果が得られたとは限らなかった。この点について有力な説明の一つが、成人病になりやすいのは肥満者の中の小集団である、という考え方である。小集団を決定する要素としては、肥満歴、脂肪細胞の数やサイズ等が考えられるが、最も重要なものとして最近注目されているのが、体脂肪の分布である。

筆者(田中, 1991)は、肥満者を含む成人男女において、体脂肪の分布と血清脂質、血圧との関連について検討した。その結果、Body Mass Index (以下、BMI) や皮下脂肪厚 (以下、皮脂厚) で表された肥満の程度より、ウエスト/ヒップ比などで表される体脂肪の分布の方が、血清脂質値や血圧と強い相関が得られた。このように、以前は肥満の程度をみるだけであったのが、むしろ脂肪の蓄積がどこで著しいかをみる方が重要である、という考え方がでてきている。

医学的観点から体脂肪の分布について最初に着目したのは、フランスのVagueのグループであった。Vague et al. (1956) は、体脂肪の分布は男性型と女性型に分けられ、糖尿病や痛風の患者には、体脂肪分布が男性型である者が多いと指摘した。以後しばらく、Vagueらの研究は、さしたる注目を浴びていない状態が続いたが、Kissebah et al. (1982)、Evans et al. (1983) の研究を皮切りに、いわゆる成人病との関連で、体脂肪の分布が一躍脚光を浴びるようになった。Kissebah et al. は、糖耐性、インスリン抵抗性、血清脂質値等について、上半身肥満タイプの方が異常を呈しやすい、という結果を得た。またEvans et al. は、血中のアンドロゲンや性ホルモン結合グロブリン (SHBG) 濃度を測定し、男性型の体脂肪分布と糖代謝異常・脂質代謝異常にandrogenicity (男性化) が絡んでいることを示した。

その後、主としてウエスト/ヒップ比からみた体脂肪分布と、高脂血症や高血圧、耐糖能異常等の代謝異常との関係をはじめとして、体脂肪分布



のもつ重要性について精力的に研究が進められた。その詳細については、Despres et al.の総説(1990)や下方の著書(1993)にまとめられているのでここではふれないが、特に意義深い研究としては、Larsson et al.

(1984)やLapidus et al. (1984)に代表される疫学的・前方視的研究や、Sparrow et al. (1986)、Shuman et al. (1986)、Fujioka et al. (1987)による、いわゆる「内臓脂肪」の重要性を見いだした研究であろう。

Larsson et al.やLapidus et al.は、スウェーデンのエーテボリにおいて、ウエスト/ヒップ比の大きかった群ほど、狭心症・心血管障害・全ての死因による死亡率のいずれもが大きいことを明らかにした。しかも、最近肥満の簡便な指標として利用されているBMIの場合は、ウエスト/ヒップ比ほどははっきりした結果が得られなかった。これより、横断的な調査のみならず、縦断的な調査によっても、体脂肪分布と成人病の発症に何らかの関係があることが、明らかになったのである。

一方、Sparrow et al., Shuman et al., Fujioka et al.によって、高脂血症、糖代謝異常、インスリン抵抗性などの代謝異常と最も関連が強いのは内臓脂肪であることが示され、その後、数多くの研究がその点を支持する結果を報告している(Despres et al., 1990)。そのメカニズムについては、現在研究が進められているところであるが、大網などの内臓脂肪から門脈系を介して肝臓へ遊離脂肪酸が大量に流入し、それがグルコースや中性脂肪の合成を刺激することが大きく関与しているようである(Bjorntorp, 1988; Despres, et al., 1990; Bouchard et al., 1993)。それまで、代謝異常と関連があるとされてきた体脂肪分布パターンは、「男性型肥満」「上半身肥満」「体幹型肥満」「腹部肥満」「内臓脂肪蓄積型肥満」など、様々な呼び方がなされてきた。しかも、それにも関わらず、そのように表現される分布パターンは、ほとんどがウエスト/ヒップ比で測定されていたのである(田中, 1991)。しかし、先に述べたような研究者達によって、体脂肪分布パターンの中でも最も着目しなければならないのが内臓脂肪蓄積型の肥満であるという考え方が、非常に有力なものとして提示されたのである。ウエスト/ヒップ比は、内臓脂肪蓄積型肥満の指標としても用いられてきたが、CTでみた腹部内臓脂肪断面積/皮下脂肪断面積比などとの相関係数は0.3~0.7程度と弱く、内臓脂肪蓄積型かどうか判断する指標としては、あまり適しているとは言えない(van der Kooy and Seidell, 1993; 松沢ら, 1986)。

## 2. 体脂肪分布の要因に関する研究小史

### 1) 体脂肪分布に影響を与える生理学的要因

体脂肪が全身に一樣に分布しないのは、生理学的にみれば、脂肪組織の代謝特性に部位差が存在するからである。具体的には、

#### 1. 脂肪組織における

- A. 脂肪分解
- B. リポ蛋白リパーゼ (LPL) の活性で評価される脂肪の取り込み
- C. 血流

等の部位差が、直接、体脂肪の分布をもたらす。そして、

#### 2. それらを制御する

- A. ステロイドホルモン (コルチゾル, テストステロン等)
- B. カテコラミン
- C. インスリン

等の血中濃度やレセプターの分布に影響を与える要因が、体脂肪分布の個人差をも招いているはずである。

#### a. 脂肪組織における代謝特性の部位差

ヒトの脂肪細胞における脂肪分解は、交感神経系の関与により、カテコラミンが最も制御しているという (Fain and Garcia Sainz, 1983)。カテコラミンの刺激が加わると、脂肪分解を直接つかさどるホルモン感受性リパーゼの活性を、 $\beta$ レセプターを通じて高めたり、 $\alpha_2$ レセプターを通じて抑制したりする (Leibel et al., 1989; Fain and Garcia Sainz, 1983)。性別、肥満の程度に関係なく、大腿部や臀部の皮下脂肪の脂肪細胞より、 $\beta$ レセプターに富み $\alpha_2$ レセプターの少ない腹部皮下脂肪の方が、カテコラミンの刺激によって脂肪分解が亢進する (Rebuffe Scrive et al., 1985, 1987; Mauriege et al., 1987, 1991; Smith et al., 1979; Richelsen, 1986; Leibel and Hirsch, 1987; Wahrenberg et al., 1989)。門脈系の内臓脂肪 (大網, 腸間膜等) は、腹部の皮下脂肪以上に $\beta$ レセプターに富み $\alpha_2$ レ

セプターの少ない (Mauriege et al., 1987; Ostman et al., 1979; Richelsen et al., 1991) ため、非肥満女性を除くと、最も脂肪分解が活発である (Rebuffe-Scrive et al., 1989, 1990b)。しかし、非肥満女性においては、門脈系の内臓脂肪より腹部の、皮下脂肪など門脈系でない脂肪組織の方が、脂肪分解が促進されるという結果が得られている。(Rebuffe-Scrive et al., 1989)。

一方、脂肪組織における脂肪の取り込みに関して、LPLについてみると、閉経前女性の大腿部ではその活性が高い。すなわち、女性の大腿部は、他の部位と比べて脂肪が取り込まれやすいということになる。ただし、授乳期だけは活性が下がることから、女性における大腿部の豊かな脂肪は、授乳時のエネルギー源として貯蔵されているのではないかと考えられている (Rebuffe-Scrive et al., 1985)。その他の部位間には明確な差はなく、特に男性では部位差が小さい (Rebuffe-Scrive et al., 1985, 1986, 1987, 1989, 1990b)。

脂肪細胞における血流の部位差については、未だに明らかになっていない点が多いが、脂肪の分解や合成に強く関与していることが分かってきた (Crandall and DiGirolamo, 1990)。例えば、血流速度の違い脂肪組織は、遊離脂肪酸の再エステル化を通じて、脂肪貯蔵量を保つ方向に働いているという (Leibel et al., 1989)。最近のEngfeldt and Linde (1992) の研究によると、絶食中の血流量は、大腿部より腹部皮下脂肪の方が大きく、先に述べた脂肪の分解や取り込みと同様、腹部の方が代謝が活発であることを裏付ける結果であると言えよう。

#### b. 体脂肪の分布に関連するホルモン

体脂肪分布に最も大きく関与していると思われるのが、カテコラミンである。脂肪分解に関する部分で詳述したように、Smith et al. (1979), Ostman et al. (1979), Rebuffe-Scrive et al. (1985, 1986, 1987, 1989, 1990b) 他により、非肥満女性を除くと、カテコラミンの刺激による脂肪分解は、大網や腸間膜といった門脈系の内臓脂肪ほど活発であり、それに門脈系に属さない腎周囲の脂肪や腹部皮下脂肪等がそれに続き、大腿でもっとも少ないということがわかった。また、それらには、2種類のカテコラミンのレセプター ( $\alpha_2$ ,  $\beta$ ) の分布に部位差があることが関与しているという。

また性ステロイドも、以前から体脂肪分布と何らかの関与があるとされてきたという点で重要なホルモンである。そもそも、女性において問題となる体脂肪の分布は、初めのうちはandrogencity (男性化) と関連づけて注目されたものである (Vague et al., 1956; Evans et al., 1983) から、性ステロイドについては、早くから研究がなされてきた。しかし、その割には、その役割は明確にされているとは言えない。

閉経後の女性にプロゲステロンを投与すると、大腿部におけるLPLの活性が高くなる (Rebuffe Scrive et al., 1987) ことなどから、大腿部の脂肪の蓄積を促進するというプロゲステロンの役割はある程度明らかになっているが、決定的な要因ではないようである (Bjorntorp, 1991a)。

テストステロンについては、男性において、腹部皮下脂肪のカテコラミンの刺激による脂肪分解を促進する (Rebuffe Scrive, 1988; Rebuffe Scrive et al., 1989; Xu et al., 1990; Rebuffe Scrive et al., 1991) などの知見は得られている。しかし、その血中濃度および生理学的に活性のある遊離テストステロン濃度は、内臓脂肪蓄積型の脂肪分布の指標と逆相関するという結果が得られている (Seidell et al., 1990) 一方で、女性では全く逆の結果が報告されている (Evans et al., 1983; Seidell et al., 1989) 等、未解決の側面は大きい (Bjorntorp, 1991a; Seidell, 1992)。また、エストロゲンについては、決定的な知見はほとんど得られていない。ただし、性ホルモン結合グロブリン (SHBG) が最近注目されており、両性において、ウエスト/ヒップ比とSHBGに負の相関がみられるという (Stefanick et al., 1987; Haffner et al., 1991; 熊谷ら, 1991)。ここから、今後性ステロイドの役割がより明確になるのではないかと期待される。

コルチゾルもまた、体脂肪分布との関連が強く疑われているホルモンの一つである。関連が疑われたきっかけは、コルチゾルの過剰分泌が原因であるクッシング症候群の患者が、典型的な腹部肥満を呈し (Hiramatsu et al., 1983)、それも内臓脂肪の蓄積によるものであることであった

(Mayo-Smith et al., 1989)。また、クッシング症候群の患者でなくとも、コルチゾルの投与によって、内臓脂肪の蓄積が促進されることもわかった (Horber et al., 1986)。以上より、コルチゾル濃度が非常に過剰な状態であれば、内臓脂肪蓄積を招くことは明らかである。しかし、一般の肥満者においては、ウエスト/ヒップ比とコルチゾル濃度は、相関がみられない (Grenman et al., 1986; Hauner et al., 1988; Kaye and Folsom, 1991)。

したがって、一般にみられる体脂肪分布の変異において、コルチゾルも何らかの役割を果たしているのかもしれないが、決定的な要因とは言えないようである。

以上のように、プロゲステロン、テストステロン、コルチゾルは、体脂肪の分布に対して関連はあるようである。しかし、性ステロイドや糖コルチコイドレセプターの分布 (Hirsch et al., 1989; Rebuffe-Scrive et al., 1990a; Bjorntorp, 1991a) が、後に述べるカテコラミンの刺激による脂肪分解やLPL活性の部位差と関連しており、また、おそらくエストロゲンを加えた交互作用的な側面があることから、そのメカニズムは単純でなく、未だ十分に解明されているとは言えない。なお、その点については、Bjorntorp (1991a) が、各ホルモンの役割とそれらのホルモンのレセプターの分布を総合的に考慮して、興味深い仮説を提示している。その検証が待たれる。

インスリンについては、ホルモン感受性リパーゼの活性や血流を抑制することによって、抗脂肪分解作用を有する。その作用には部位差が存在し、腹部皮下脂肪の方が、大腿部 (Rebuffe-Scrive et al., 1987; Smith et al., 1979) や大網 (Bolinder et al., 1983) の脂肪に比べインスリンの抗脂肪分解作用が大きいという報告がある。インスリンの抗脂肪分解作用そのものは体脂肪の蓄積・減少に大きく関与しているだけに、部位差に関する今後の研究が待たれる。

以上より、体脂肪の分布に影響を与える要因を考える上で、現在得られている知見から示唆される範囲で、重要な意味をもつと考えられる点を列挙すると、

1. カテコラミンの刺激により、内臓脂肪ほど脂肪分解が亢進されやすく、それに腹部皮下脂肪、大腿部皮下脂肪の順で続く。ただし、非肥満女性においては、内臓脂肪と腹部皮下脂肪の順序が逆になる
2. テストステロンは、特に内臓脂肪において、脂肪分解を促進する方向に働く
3. コルチゾルは、主として内臓脂肪の蓄積に寄与する
4. インスリンは、腹部皮下脂肪の方が、大腿部や大網の脂肪に比べインス

## リンの抗脂肪分解作用が大きい

などがあげられる。中でも、テストステロンのように、おそらく他のホルモンを介して間接的な作用をもつと考えられるものと比較して、より直接的で影響が大きいという点から、カテコラミン、それに続いてインスリンの作用が特に注目に値すると思われる。

## 2) 遺伝的要因と環境要因

体脂肪の分布は、体脂肪量(率)と比べ、遺伝的要因によって決定されている部分が多い、と言われていた(Garn, 1955)。その点について、現時点では他の追従を許さない研究をBouchard et al. (1988, 1990)が行っている。まず、一卵性・二卵性双生児や養子を含む400組以上の家族を対象に、水中体重秤量法やキャリバーによる皮下脂肪厚計測等を行い、体脂肪の量や分布がどのくらい遺伝するのか、統計的に解析した。その際、各形質は、1) 遺伝、2) 遺伝ではないが文化的に受け継がれたもの、3) その他、の3つが独立に関与するものと仮定した線形モデルを用いた。その結果、BMIや皮下脂肪量はわずか5%しか遺伝しないのに対し、皮下脂肪厚の和/体脂肪量という比は、30%が遺伝するという結果が得られた。すなわち、肥満の程度あるいは皮下脂肪の量といった脂肪の量を表す変数はほとんど環境により決定されるのに対し、皮下体内深部という分布は、ある程度遺伝的に決定されるというのである(Bouchard et al., 1988)。また、一卵性双生児に対し一日1,000kcalの過食を行わせ、それによる体脂肪分布の変動をみたところ、一卵性双生児同士の変化率は似ており、その級内相関係数は0.72であった(Bouchard et al., 1990)。ここでも、遺伝の影響が強く示唆されたのである。

ただし、前者の研究では、遺伝および文化的に伝播される割合を除いても、約60%は伝播しない環境因子によって決定されているという結果である。これは、おそらく横断的な研究の限界ではないかと思われる。一つには、Bouchard自身(Bouchard et al., 1988; Bouchard, 1988)も指摘しているように、遺伝因子と環境因子の間には、少なからず交互作用が存在すると思われるが、前者の研究の統計モデルには、それは含まれていない。また、数多くの計測項目には誤差が含まれ、しかも、それらの比をとるなどしているため、遺伝による説明率が小さくなったことが考えられる。

こうしたことと、以下に述べるように、これといった環境要因が見いだされていないことから、体脂肪の分布については、遺伝的に説明される割合が多いと考えられる。

### 3) 体脂肪分布に影響を与える行動要因

体脂肪の分布には性差があり、男性の方が、また年齢が上である方が、ウエスト／ヒップ比が大きくなり (Lanska et al., 1985; Shimokata et al., 1989a), 腹腔内脂肪量も多くなる (Borkan et al., 1983; Enzi et al., 1986; Kotani et al., 1994)。しかし、性別や年齢は、あらかじめ規定されている変数であり、行動により変えられるものではない。

体脂肪の分布に影響を与える行動・社会的要因については、主としてウエスト／ヒップ比と行動・社会的要因 (喫煙、飲酒、運動、摂取栄養素、出産、社会経済的状況、等) を表す変数を横断的にみることによって検討されてきた (Haffner et al., 1986; Lapidus et al., 1989; Larsson et al., 1989; Kaye et al., 1990; Laws et al., 1990; Selby et al., 1990; Seidell et al., 1991; Keenan et al., 1992; Slattery et al., 1992)。また、体脂肪分布の指標として、ウエスト／ヒップ比ではなく、皮下脂肪厚の比や、それらについて主成分分析を行った結果得られた因子得点を用いた研究もある (Haffner et al., 1986; Indech et al., 1991; Georges et al., 1993)。しかし、どの研究においても、体脂肪分布と行動変数等との関係は強いものではなく、BMIや年齢等の影響を除くと、ウエスト／ヒップ比の分散のわずか数%しか説明できなかつた。

ここでは、今まで取り上げられてきた主な要因について、ごく簡潔に先行研究の結果をまとめてみる。

#### [喫煙]

Barrett Connor and Khaw (1989), Shimokata et al. (1989b, 1989c), Laws et al. (1990), Selby et al. (1990), Seidell et al. (1991), Slattery et al. (1992), Georges et al. (1993) 等が検討している。Haffner et al. や Keenan et al. の対象、および Slattery et al. の一部の対象で、有意な相関がみられなかったが、概して弱い関連がみられるようである。特に Shimokata et al. は、横断的研究 (1989b) と縦断的研究 (1989c) の両方で検討した。横断的研究では量-反応関係がみられた。縦断的研究では、喫煙開始後、体重は減少したにも関わらずウエスト／ヒップ比が増加した。また禁煙後は、体重増加から期待される程にはウエスト／ヒップ比は増加しなかった、という結果が得られている。



喫煙と体脂肪の分布との関係に必ずしも一貫した結果が得られない原因の一つとして、BMIがウエスト/ヒップ比と正の、一方で喫煙と負の相関をとることが考えられる。また、生理学的なメカニズムについて、性ホルモンレベルが介在しているという仮説を提示したが、先行研究では、必ずしもそれを支持する結果は得られていないようである (Selby et al., 1990)。

#### [飲酒]

Haffner et al. (1986), Lapidus et al. (1989), Laws et al. (1990), Kaye et al. (1990), Selby et al. (1990), Keenan et al. (1992), Slattery et al. (1992) 等が検討しており、中でもLapidus et al.やSlattery et al.は、アルコールの種類別の検討まで行っている。どちらかと言えば、アルコールの摂取がウエスト/ヒップ比を増大させるという結果の方が多 (Lapidus et al., Laws et al., Slattery et al.) ようであり、それに対しては、飲酒がコルチゾルの分泌過多を招くことによるという仮説が提示されている。しかし、その逆の結果が得られた研究 (Kaye et al.) や、有意な関係がみられなかった研究 (Haffner et al., Selby et al.) もあり、一貫した結果は得られていない。現時点では、体脂肪分布と飲酒の間には強い関係はない、と言ってもよいだろう。

#### [食事]

横断的に、体脂肪分布と栄養摂取との関係をみた研究として、Williams et al. (1987), Laws et al. (1990), Slattery et al. (1992), 下方 (1993), 田中ら (1994) 等があげられる。このうち、ボルチモア加齢縦断研究では、食事の質とウエスト/ヒップ比などの体脂肪分布とは、ほとんど相関がなかったとしている (下方)。しかしWilliams et al.は、多価不飽和脂肪から得られたエネルギーの比率とウエスト/ヒップ比は、弱いながらも有意な負の相関が得られたと報告している。また、Laws et al.は男性、Slattery et al.は白人男女において、「総摂取エネルギーに占める炭水化物の割合」とウエスト/ヒップ比に弱い負の相関を得た。筆者ら (田中ら, 1994) は、質問紙調査から計算された糖分摂取尺度と体内深部脂肪量の蓄積との間に、男性でのみ関連があるという結果を得ている。

なお、これらの研究では、ショ糖も炭水化物の中に含まれているが、Shimomura et al. (1993) は、ラットにおける実験で、高ショ糖食により

腸間膜脂肪重量/体重比が増加したことから、シヨ糖も内臓脂肪量を増加させる一因と考えられる、としている。

最近では、超低カロリー食 (VLCD) 等の食事療法による減量時の体脂肪の変化を、ウエスト/ヒップ比 (Vansant et al., 1988; Wadden et al., 1988; Casimirri et al., 1989; Ross et al., 1991) のみならず、CTあるいはMRIを用いて評価した報告がいくつかでている (Bosello et al., 1990; Gray et al., 1991; Stallone et al., 1991; Leenen et al., 1992; Chowdhury et al., 1993; van der Kooy et al., 1993a; Zamboni et al., 1993)。これらを見ると、いずれも腹部皮下脂肪断面積より内臓脂肪断面積の方が減少率が大きく、摂取エネルギーを抑えることによる減量時には、内臓脂肪量がより選択的に減少することがうかがえる。絶食時の脂肪組織による実験では、末梢の脂肪組織の方が、脂肪分解を刺激するカテコラミンの $\beta$ レセプターへの結合が抑えられ、抗脂肪分解作用をもつインスリンのレセプターへの結合が促進されるという結果が得られており (Ostman et al., 1984)、それが内臓脂肪量の選択的減少のメカニズムなのかも知れない。しかし、カテコラミン (Arner et al., 1981; Jensen et al., 1987) にせよインスリン (Jensen et al., 1987; Berlan et al., 1981) にせよ、その絶食時の反応については研究方法によって全く反対の結果が得られていることもあり、生理的機序に関する研究はこれからであると言ってよい。

#### [体重の変動]

Rodin et al. (1990) は、成人女性において、体重の上下動の経験が多い者ほどウエスト/ヒップ比が大きかった、と報告している。しかし、van der Kooy et al. (1993b) は、減量後に体重が元に戻っても、内臓脂肪量は減量前より少なかったという結果を示し、体重の上下動が内臓脂肪蓄積型肥満をもたらすという仮説に否定的な意見を出している。

また、Lanska et al. (1985) は、「現在の体重-10代での体重」でウエスト/ヒップ比がある程度説明されたことから、成人後の体重の増加は、主に腹部への脂肪の蓄積によると示した。また、成人後発症する肥満は、一般に脂肪細胞肥大型であるため、脂肪細胞肥大型肥満と「腹部肥満」の関連も示唆された。

### [運動]

運動は、体脂肪分布の要因ではないかとして、多くの研究がなされてきたものの一つである。その研究方法にはいくつかあるが、まずあげられるのは、生活習慣の一つとして運動習慣もとりあげ、ウエスト／ヒップ比等との関連をみた研究である。ウエスト／ヒップ比と独立な相関がみられない研究もあったが (Haffner et al., 1986; Kaye et al., 1990; 下方, 1993), 運動習慣があるほどウエスト／ヒップ比は小さくなるという有意な関係を見いだした研究も多い (Laws et al., 1990; Selby et al., 1990; Seidell et al., 1991; Keenan et al., 1992; Slattery et al., 1992)。しかし、その関係は非常に弱いものであった。また、Tremblay et al. (1990) も運動習慣とウエスト／ヒップ比との関連をみているが、強度の運動を行っていない者ほどウエスト／ヒップ比が大きいという傾向はみられたものの、やはりそれほど大きな差ではなかった。

強度の運動習慣をもつ者と、特に運動の習慣を有しない者とを比較した研究もある。Brown and Jones (1977) は、水中体重秤量法とキャリバーによる皮下脂肪厚計測を行い、体脂肪を皮下脂肪と体内深部脂肪に分けたが、体脂肪量に占める体内深部脂肪量の割合に差はない、という結果であった。一方、水中体重秤量法で求めた体脂肪量とキャリバーで計測した皮下脂肪厚の和との比について、エリート長距離ランナーと一般人を比較した研究 (Despres et al., 1984) では、長距離ランナーの方が、体脂肪量に対する皮下脂肪厚の和の比が少なく、運動 (長距離走) は皮下脂肪量を選択的に減少させる、としている。それに対し、Matsuzawa et al. (1991) は、CTを用いて、力士の腹部脂肪の多くは皮下に存在し、内臓脂肪は相対的に少ないと報告している。以上のように、ここに紹介した3つの研究結果は一致していない。これには、方法論が三者三様であることも関係している可能性がある。また、皮下脂肪厚の分布については、上半身や体幹での差が大きいという (Kohrt et al., 1992)。

トレーニングによる体脂肪の変化のうち、皮下脂肪の分布に対する影響については、腹部の皮脂肪厚の減少が顕著である (Despres et al., 1984; Tremblay et al., 1988; Despres et al., 1991a) という点で、結論がつけたいと言えそうである。

しかし、トレーニングによって減りやすいのは内臓脂肪なのか皮下脂肪なのか、という点については、多くの研究で検討されてきたが、一貫した結果は得られていない。古くは、体脂肪量の減少の割合と、皮脂肪厚の和の

減少の割合に差がなかったとする研究 (Despres et al., 1984) に始まり、女性においては、体脂肪量の減少の割合より、皮脂厚の和の減少の割合の方が大きかったとする研究 (Tremblay et al., 1988)、逆に、体脂肪量の減少の割合の方が、皮脂厚の和の減少の割合より大きかった (Despres et al., 1988) 等がある。

しかし最近では、CTを使って変化を追った研究もみられるようになった。Schwartz et al. (1991) は、若い成人男性および高齢の男性について、ウォーキングとジョギングを主とするトレーニングを行わせ、体脂肪分布の変化をみたが、若いグループでは内臓脂肪断面積が大腿の皮下脂肪断面積に次いで、高齢者のグループでは内臓脂肪断面積がもっとも減少率が大きかった。それに対して、Despres et al. (1991a) は、肥満女性に対して、ウォーキングをはじめとする有酸素的トレーニングを処方したところ、内臓脂肪断面積より腹部皮下脂肪断面積の減少率の方が大きかったという。すなわち、この両者の研究では、反対に近い結果が得られている。その他、Fujioka et al. (1991) や安部ら (1994)、Ross and Rissanen (1994) も、運動処方による内臓脂肪量の減少をみており、いずれも内臓脂肪量は減少しやすいとしている。しかし、これら3つの研究、特にFujioka et al.では食事療法の影響が少なからず入っており、先の結果を運動独自の影響とすることはできない。

なお、Bjorntorp (1988, 1991b) の示した以下に述べるような仮説についても、その応用性の高さを考えると、ふれておく必要があるだろう。すなわち、「環境のもたらしたストレスへの対応が困難であることによって視床下部が刺激され、これが交感神経-副腎髄質系および、脳下垂体-副腎皮質系の活動を慢性的に高進させる。それが、ひいてはカテコラミン、コルチゾル、テストステロン等の分泌を促し、体脂肪の分布を変化させる(腹部肥満をもたらす)のではないか」というものである。これについては、仮説が非常に大きなスケールでつくられているため、未だ十分に説明されていないが、社会経済的状況 (Kaye et al., 1990; Georges et al., 1991) や精神的ストレス (Lapidus et al., 1989; Larsson et al., 1989; Rebuffe Scrive et al., 1992; Kaye et al., 1993) と体脂肪分布とに関係がみられるのは、このためではないかとも考えられている。また、その他の項目についても、この仮説で説明できる可能性があり、今後の検討が待たれる。

#### 4) 行動要因に関する先行研究のまとめと問題点

以上のように、体脂肪の分布に影響を与える要因を個別にみても、「関係がある」という共通認識が得られていると言ってよさそうなのは喫煙だけであり、運動や食事の質、飲酒については未解決の側面が多い。飲酒や心理的ストレス、社会経済的状況などはまだしも、食事や運動は体脂肪後臍機に大きな関与を示すことが明らかな変数である。例えば、運動にしても、腹部の皮下脂肪を選択的に減少させるという点については明らかであるが、内臓脂肪についてはどうかという、最も重要な点については一貫した結果が得られていない。

また、今までの研究のほとんどは、ウエスト/ヒップ比という指標を用いている。しかし、ウエスト/ヒップ比は、内臓脂肪蓄積型肥満の指標であると同時に、腹部の皮下脂肪なども大きく反映する (Ashwell et al., 1985; 松沢ら, 1986; Seidell et al., 1988; Ferland et al., 1989; Despres et al., 1991b; van der Kooy and Seidell, 1993)。そのため、例えばウエスト/ヒップ比とCTで測定した内臓脂肪断面積/腹部皮下脂肪断面積比との相関係数が0.3~0.7程度と、非常に低いものになってしまう。また比率であるため、指標としては大変不安定である。体脂肪分布という「形」を問題にする場合には、体脂肪率などの「サイズ」の影響を取り除く必要があるが、ウエスト/ヒップ比は体脂肪率などサイズの影響を受けるという問題もある (Healy and Tanner, 1981)。そこで、現在最も問題であるとされる内臓脂肪量をより強く反映する指標を用いる必要がある。

それらに加えて、横断的研究が主としてなされてきたという問題点もある。本来は、要因を解析するにあたっては、ある条件を与えた結果どのような変化がみられるかを検討するのが望ましい。もちろん、横断的研究からも有用な知見は得られ得るが、因果関係について結論を導くことまではできない。しかも、運動をはじめ考えられる要因の多くは、定量化が困難である。また、横断的研究であるならば、先に述べた実験的研究により近い、特定の条件だけ大きく異なる複数のグループを比較するという形をとった方がよいであろう。

何より、日本人における研究がほとんどない。

そこで、内臓脂肪の蓄積に影響を与える要因について研究する場合には、以下のような点を考慮して研究を進める必要がある。

- 1.内臓脂肪蓄積の指標としては、ウエスト／ヒップ比ではなく、内臓脂肪量をより直接的に求めなければならない。
- 2.体脂肪分布に影響を与える可能性があると考えられる条件を対象者に与え、それによる変化をみるのが、最も適当な方法ではないかと思われる。また、その条件の定量化が困難な場合には、条件の差が顕著である典型集団同士の比較が有効である。

### 3. 本論文の目的

今まで述べてきたように、体脂肪の分布に影響を与える要因については、未だ十分な知見が得られておらず、特に日本人についてはほとんど検証がされていないといってよい。中でも、運動をはじめとする身体活動は、少なくとも体脂肪の量に対しては、食事とともに大きな影響を与えていることが明らかである。ところが、体脂肪の分布については、欧米でいくつかの研究が発表されているものの、必ずしも一致した結果が得られていない。また、体脂肪分布については、医学的に最も問題視されている内臓脂肪蓄積に対する影響が不明確である。そこで本研究では、特に身体活動が内臓脂肪蓄積に与える影響に着目した。ただし、身体活動は、種目、継続期間、頻度、強度、時間、エネルギー消費量など評価基準が多岐にわたる。しかも、例えば肥満に関して最も重要であると考えられるエネルギー消費量を測定するのは非常に困難である。また、横断的研究では因果関係をつかみにくいという問題もある。そこで、身体活動を量的に評価して体脂肪分布と相関をとるようなことはせず、条件（運動）を与えてそれによる変化をみるか、典型集団の比較という方法で、身体活動と体内深部脂肪の蓄積との関係を検討することとした。

具体的には、以下に示すように、行動変数としての身体活動の程度が明らかに異なる集団間の比較（第2、3章）、あるいは縦断的・実験的な変化の追跡（第4章）という3つの異なった形で、身体活動が内臓脂肪蓄積に与える影響を考察する資料を得た。また、そこから派生すると考えられる問題として、本来全く独立である、体脂肪の過剰蓄積である肥満の判定と体脂肪分布との関連についても検討した（第5章）。体脂肪の分布については、第3章を除いて、体脂肪を、内臓脂肪を主とする体内深部脂肪と皮下脂肪に分けて評価した。

尚、本論文中において、「身体活動」とは「安静時代謝量を越えるエネルギー消費を伴う運動器系の作用状態」と考える。すなわち、「スポーツ」や「運動」のみならず、「散歩」や「家事労働」も身体活動の一種であり、みかけ上、局部的な動きや位置移動が観察されなくても、姿勢保持などエネルギー消費を伴う「静的な動作」も含めることとする（茨城大学健康・スポーツ科学研究会、1995）。

## [第2章]

大学のラグビー部員と、軽度の運動習慣を有する者、運動習慣をもたない者の3つのグループ間で、体脂肪の分布を比較することにより、運動習慣が体内深部脂肪の蓄積に与える影響を考察した。

## [第3章]

特に下肢の障害により日常の身体活動量が少ないと考えられる男性の脳性麻痺者と、一般健常人との間で、特に腹部の脂肪分布を比較した。それによって、脳性麻痺者にみられるような身体活動の少ない生活が、内臓脂肪の蓄積をはじめとする体脂肪の分布に与える影響を考察した。この研究だけは、B-mode式超音波診断装置を用いて、内臓脂肪量を強く反映する腹膜前脂肪厚等を測定して、体脂肪分布を評価した。

## [第4章]

成人男女に対して12週間にわたってウォーキングと自転車こぎを実施し、体脂肪分布の変化をみることによって、有酸素的運動の継続が体内深部脂肪の蓄積に与える影響を直接的に検討した。

## [第5章]

運動不足は、体脂肪量を増加、除脂肪量を減少させるため、体重は多くないにも関わらず体脂肪率は大きいという状態を招くのではないかと考えられる。そうした状態と、やはり運動不足の影響を受ける可能性がある体内深部脂肪の蓄積との間に関係はないか検討した。



#### 4. 本論文で用いた身体組成測定の方法論

本論文では、第3章を除いては、体脂肪の分布の評価法をはじめとする身体組成の測定法全般について、全て同一の方法で行った。特に、問題となる内臓脂肪量については、それをかなり正確に反映すると思われる体内深部脂肪量を測定することによった。その方法を中心として、本研究で行った身体組成の測定法を以下に述べる。

なお、第3章で用いた方法については、当該箇所に記す。

## 1) Hattori et al. (1991) の方法による体内深部脂肪量と皮下脂肪量の推定

Hattori et al.は、従来の皮下脂肪量と体内深部脂肪量の推定法 (Allen et al., 1956; Chien et al., 1975; Brown and Jones, 1977; Davies et al., 1986) では、皮下脂肪量を過大評価してしまう、という欠点があるとして、新しい推定法を提案した。この推定法では、以下のようにして従来の方法に改善を加えた。

- 1.従来の推定法では、皮下脂肪厚×体表面積という式で、皮下脂肪組織の体積を推定している。しかし、身体各部は円柱に近い形をしているので、体表面の内側をとりまく皮下脂肪組織の内側の面積は、体表面積より小さいはずである。そこで、皮下脂肪組織の中位での表面積を推定して、体表面積の代わりに用いた。
- 2.上記のような推定を行うためには、身体各部の表面積を知る必要がある。そこで、体表面積に占める身体各部の表面積についての新谷 (1931) のデータを用いて、体表面積から身体各部の表面積を推定した。

その結果、身体の10のSegment (新谷, 1931) のうち、充分量の皮下脂肪が存在する6つのSegment (顔+頸, 上腕, 前腕, 体幹, 大腿, 下腿) のそれぞれについて、まず、以下のようにして皮下脂肪量を推定した。

Segment毎の皮下脂肪量

$$= (\text{平均の皮脂厚} - 1.1) \times \text{Segmentの表面積} \times 0.90 \times 0.80$$

├	平均皮下脂肪厚	├		
├	皮下脂肪組織の体積	├		
├	皮下脂肪組織の重量	├		
├	皮下脂肪の重量	├		

ここで、平均の皮脂厚はA-mode式超音波皮脂厚計により測定した、各Segmentにおける平均の皮脂厚、1.1は全身における平均の皮膚の厚さ (mm)、Segmentの表面積は、体表面積と、各Segmentの表面積の体表面積に占める割合から得られた各Segmentの表面積を、周径囲や皮脂厚で補正して求め

たもの ( $m^2$ ) , 0.90は皮下脂肪組織の密度 (g/ml) , 0.80は皮下脂肪組織中に占める脂肪の割合である。

このようにして得られた各Segmentの皮下脂肪量の総和として、身体の皮下脂肪総量を求めた。残りの4つのSegment (頭部, 鼠頸部, 手, 足) については、皮下脂肪量が非常に少ないため無視した。

## 2) 本研究で用いた体内深部脂肪量の推定法

本研究では、ほぼHattori et al.の方法に従いつつも、以下のような点について改良を加えた。

1.Hattori et al.は、今までの同様の方法は体表面積を過大評価する、とい

う問題点を指摘し、各Segmentの表面積を、1)体表面積と、2)皮下脂肪厚を考慮した皮下脂肪組織の内側の表面積の平均として求めた。しかしそのような考え方をすれば、1)体表面積ではなく、1)皮膚の厚さを考慮した皮下脂肪組織の外側の表面積を求めるべきである。本研究における表面積の推定法は、基本的にはHattori et al.の方法にならいつつ、上記の点のみ修正を加えた。

2.Hattori et al.の方法においては、皮下脂肪組織の密度として0.90を用いている。しかし、0.90は分子としての脂肪の密度である (Fidanza et al., 1953; Mendez et al., 1960)。そこで、皮下脂肪組織における脂肪、水分、タンパク質の、重量%をそれぞれ80%、18%、2% (Garrow, 1974)、密度を0.900g/ml, 1.012g/ml, 1.4g/ml (Altman and Dittmer, 1974)として皮下脂肪組織の密度を計算し、0.93g/mlとした。

3.Hattori et al.は、キャリバーを用いて皮下脂肪厚を測定し、各Segmentにおける平均の皮下脂肪厚としては、キャリバーで得た値を1/2倍したものをを用いた。しかし、キャリバーによる皮厚計測は、特に肥満者では皮下組織を2重につまみにくい、というつまみ損ねの問題がある。また、一定の圧力でつまむこともあって、圧縮率を考慮しなければならないが、圧縮率は個人により、また部位により異なる、という問題点をはらんでいる (Martin et al., 1985)。したがって、しばしば指摘される信頼性の問題よりはむしろ、正確な皮下脂肪組織の厚さを推定できない、という妥当性の方が問題となる (高柳と豊川, 1989)。そこで、本研究ではA-mode式超音波皮厚計を用いた。A-mode式超音波皮厚計にも、妥当性、信頼性の問題があるという指摘もある (Borkan et al., 1982)が、キャリバー法と違って、圧縮率に左右されず、皮膚を含む皮下脂肪組織の厚さを直接計測しようとしている点が、決定的に異なると思われる。

その結果得られた推定式は、以下の通りである（\*は修正を加えた部分）。

Segment毎の皮下脂肪量

$$= (\text{平均の皮脂厚} * - 1.1) \times \text{Segmentの表面積} * \times 0.93 * \times 0.80$$

こうして得られた6つのSegmentの皮下脂肪量の和を、全身の皮下脂肪量とした。

### 3) 身体組成に関する測定項目

本研究で、身体組成に関わる測定項目やそれを基にした処理は、いずれも同じである。測定項目は、水中体重秤量法の他、15部位の皮下脂肪厚、9部位の周径囲等であった。

皮下脂肪厚は、A-mode式超音波皮脂肪厚計（積水化学工業社製、SH-302；5MHz）を用いて、15部位を0.2mm単位で測定した。15部位とは、Segment別に示すと以下の通りである（保志、1989；Harrison et al., 1988）。

- ・顔+頸；頬部，顎部
- ・上腕；前部，後部（いずれも中位にて測定）
- ・前腕；外側（橈骨上，最大位にて測定）
- ・体幹；胸部，腋下部，腹部（臍横部），腸骨稜上部，肩甲骨下部
- ・大腿；前部，後部（いずれも中位にて測定），膝上部（内側広筋上）
- ・下腿；内側部，外側部（いずれも最大位にて測定）

周径囲は、頭囲，頸囲，上腕囲（中位），前腕最大囲，胸囲，腹囲（臍の高さで測定；ウエスト），殿部最大囲（ヒップ），大腿囲（中位），下腿最大囲をプラスチック製のテープにて0.1cm単位で測定した。

水中体重は、北川（1984）の方法に従って行った。測定は、最低3回以上、最大値とそれに次ぐ値の差が50g以内に収束するまで行った。残気量は、純酸素希釈法（Rahn et al., 1949）により測定した。これも、最低3回以上行い、酸素濃度と二酸化炭素濃度の和の最大値とそれに次ぐ値の差が1%以内に収束するまで繰り返した。このようにして得られた体重，水中体重，残気量などから身体密度を求め、Siri（1956）の式より体脂肪率を推定した。

以上から、本論文で最も重要ないくつかの変数を、以下のようにして得た。

- ・体脂肪量 (kg) = 体重 (kg) × 体脂肪率 (%) ÷ 100
- ・除脂肪量 (kg) = 体重 (kg) - 体脂肪量 (kg)
- ・体内深部脂肪量 (kg) = 体脂肪量 (kg) - 皮下脂肪量 (kg)
- ・PFSS (%) = 皮下脂肪量 (kg) ÷ 体脂肪量 (kg) × 100

したがって、PFSSが大きいと、体脂肪のうち皮下脂肪量の占める割合が大きいことを、逆にPFSSが小さいと、体内深部脂肪量の占める割合が大きいことを示す。

#### 4) 上記の推定方法の長所と問題点

本研究のような研究テーマの場合、内臓脂肪を含めた体脂肪の分布パターンの指標としては、ウエスト/ヒップ比や腹部矢状径をはじめとする簡便な身体計測からの推定か、CTまたはMRIを用いて計測するか、のどちらかである場合がほとんどである。身体計測からの推定は、簡便である反面、その妥当性は高いとは言えない (Ashwell et al., 1985; 松沢ら, 1986; Seidell et al., 1988; Ferland et al., 1989; Despres et al., 1991b; van der Kooy and Seidell, 1993)。そこで、内臓脂肪の推定法として“gold standard”と考えられているCT法と比較して、本研究で用いた体内深部脂肪量の推定法の長所と短所をみていく。

CT法の最大の問題は、X線による被曝があることである。その照射量は低く抑えられ、それほど問題はないとも言われるが、現実的には、健常者、特に閉経前の女性に対して測定を行うことはあまり行われなない。したがって、本研究の被検者のように、測定時にはまだ重大な疾患に至っておらず、肥満であるだけである場合には、CT法による測定は困難である。

また、CT法では、内臓脂肪量を3次元でとらえることは可能である。しかし、先に述べたX線被曝の問題もあり、複数箇所でのCTによる撮影が行われることは少ない。そのため、多くの場合、腹部一箇所の断面でのみ撮影が行われ、計測値は2次元となる。それに対し、本研究の方法は3次元の計測値が得られる、という長所もある。

一方、問題点としては、妥当性があげられる。本研究で用いた体内深部脂肪量の推定法において、妥当性に影響を与える主な誤差要因としては、皮脂厚の計測誤差 (信頼性・妥当性) や体表面積の推定誤差、皮下脂肪組織中の脂肪の割合の個人差等がある。このうち最後の点については、脂肪組織の密度にも影響してくる問題である。ただし、多くの研究結果を総合してみても、皮下脂肪組織中の脂肪の割合は、肥満の程度による影響はあまり受けなないという傾向がみられる (Garrow, 1974)。また、体表面積の推定誤差は非常に小さい (Takai et al., 1986; 中村, 1959)。

A mode式超音波皮脂厚計については、優れた妥当性をもつとする研究 (Bullen et al., 1965; Booth et al., 1966) と、問題があるとする研究 (Borkan et al., 1982) とがある。ただし、四肢に対してはかなり安定し



た数値が得られ（豊川ら,1984a,1984b;増田ら,1988）,問題は脂肪組織が複雑な構造をとりやすい腹部などであると言われている。

そこで,信頼性・妥当性ともに優れているとされている（福永と金久,1990）B-mode式超音波皮下脂肪厚計（誠鋼社製,SM-206;5MHz）を用いて,本研究で用いたA-mode式の超音波皮下脂肪厚計と腹部の皮下脂肪厚の測定値を比較した。対象は,成人男性6名,女性4名の計10名であった。その結果を図1-1に示したが,相関係数が0.92と非常に高く,少なくとも本研究において,A-mode式超音波皮下脂肪厚計は皮下脂肪厚を高い精度で計測できることがわかった。この点については,高柳と豊川（1989）も指摘しているように,測定部位の解剖学的構造を理解するなど,ある程度の熟練によって妥当性も高くなるのではないかとと思われる。

以上の点もふまえると,つまみによる圧縮の問題を伴うキャリバー等と比べて,本研究に適した皮下脂肪計測法と言えよう。

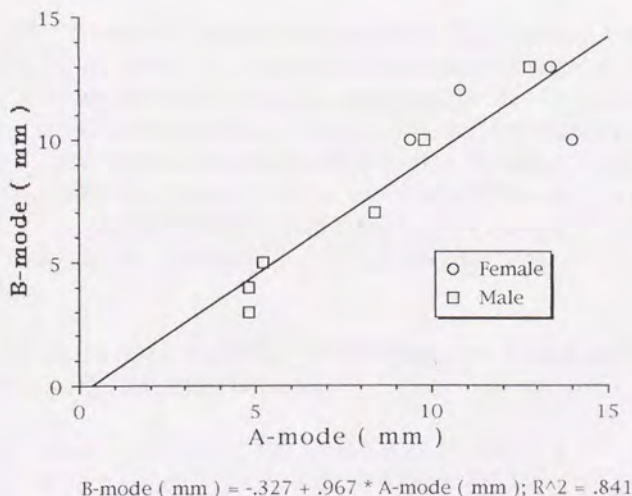


図1-1. A-mode式およびB-mode式超音波皮下脂肪厚計による腹部の皮下脂肪厚の比較。

本研究の方法には、もう一つ問題点がある。体内深部脂肪の中には、代謝異常との関係が明確な腹腔内脂肪や胸腔内脂肪の他に、筋肉間脂肪が含まれることである。したがって、

1. 腹腔内脂肪および胸腔内脂肪をあわせた内臓脂肪の量は、体内深部脂肪量の何%を占めるか？

2. 筋肉内および筋肉間脂肪は、生理的にはどのような役割を担っているか？

が不明である点が問題となる。

まず、1.の点について考えると、Chowdhury et al.(1994)によると、本研究の被検者とほぼ同年齢で、体脂肪率が約20%と体格も同程度の成人男性において、体脂肪のうち66.8%が皮下に存在したという。そして、残りのうち腹腔内に18.9%、胸腔内に1.8%、筋肉間に12.2%が存在していたと報告している。したがって、実際には個人差がみられるはずだが、平均すると、体内深部脂肪のうちの約2/3が内臓脂肪であったわけである。

安部ら(1994)は、本研究とほぼ同様の方法で体内深部脂肪量の推定を試みている。本研究とは、皮下脂肪厚の測定部位や体表面積の推定法が若干異なる他、皮下脂肪厚の計測にB-mode式超音波を用いている点を除いて、ほぼ同じである。彼らは、その方法について妥当性の検討を行っているが、彼らの方法による体内深部脂肪量とMRI法から求めた内臓脂肪断面積との間には、 $r=0.96$  ( $P<0.01$ ) という高い相関が得られたという。したがって、体内深部脂肪量=内臓脂肪量とは言えないにしても、体内深部脂肪量の大小は、内臓脂肪量の大小をもかなり正確に反映していることになる。

2.の点については、筋肉間脂肪の生理学的特性について言及した先行研究がないので、現状では何も言えない。

以上を総合すると、本研究で用いた体内深部脂肪の推定法は、やや肥満傾向を有するものの概して健康な本研究の被検者を考えると、適した方法であると考えられる。

なお、本論文に関して行った全ての実験的研究において、全ての被検者に対して、研究の目的・方法・危険性などについて事前に説明し、同意を得た。

また喫煙は、現段階で体脂肪分布に影響を与えることが明らかとなっている数少ない要因の一つで、本来なら影響をとり除かなければならない行動変数であるが、本研究の被検者のほとんどが非喫煙者であったため、特に検討に加えなかった。

## 第2章

### 運動習慣の異なるグループ間における体脂肪 分布の比較

## 1. 目的

体脂肪分布に影響を与える可能性がある要因の一つとして運動習慣があげられ、主として横断的に、体脂肪分布との関係が研究されてきた。しかし、両者の関係を弱いながらも認めたものと、関係がないとするものがあるなど、必ずしも一致をみていない (Seidell, 1991)。それは、一つには、単純な比でありながら、実は内臓脂肪型肥満、腹部肥満、上半身型肥満など様々な分布パターンを反映しているウエスト/ヒップ比という指標を用いている研究が多い点も、その原因の一つであるかもしれない (Ashwell et al., 1985; Seidell et al., 1988; Ferland et al., 1989; Despres et al., 1991b; van der Kooy and Seidell, 1993)。すなわち、ウエスト/ヒップ比は、必ずしも臨床上最も関心がもたれている内臓脂肪蓄積のみを反映しているわけではない。運動習慣が体脂肪分布に影響を与えているかどうかを知るには、運動習慣の有無のみが明らかに異なる集団間の比較をするのが、最も適切な方法の一つである。そこで、A-mode式超音波皮脂肪厚計による皮下脂肪厚の測定と水中体重秤量法から、体内深部脂肪量や皮下脂肪量を推定するという方法を用い、成人男性において、運動習慣の異なるグループ間で体脂肪の分布がどのように異なるかを検討した。

## 2. 研究方法

対象は、東京大学の運動部 (ラグビー部) でトレーニングを積んでいた大学1年生10名 (Very active群)、運動部に所属していないが軽度の運動習慣を有する者14名 (Active群) とほとんど運動習慣のない者16名 (Sedentary群) である。

Very active群は、日本の大学ラグビーにおいてトップクラスとはいえないものの、全国的にみれば高いレベルを保持している東京大学ラグビー部で、1年弱のトレーニングを積んでいた。トレーニングは週6日、一回あたり2時間程度であるが、場合によっては個人的にメニューを追加することもある。10名のうちの8名は、本研究の測定の約10か月前にあたる入部直後にも体脂肪率の測定を行っていたが、その間に平均して除脂肪量は6.7kgの増加、体脂肪量は1.5kgの減少がみられた (田中ら, 1992)。また10名中8名は、大学入学前 (高校時など) も本格的な部活動としてラグビーに取り組んでおり、その他の2名もサッカー、柔道を行っていた。

Active群とSedentary群との区別に関しては、質問紙調査で、測定前の4～5か月間にわたって、週一回以上かつ一回30分以上定期的に運動しているとした者をActive群、それ以外の、運動習慣を有していない者をSedentary群とした。この場合における運動の種類は問題としていないが、ウォーキングや体操、バドミントンなど比較的軽度の、どちらかと言えば有酸素運動に属する運動を行っているものばかりであった。なお、Active群、Sedentary群とも、東京大学の学生、大学院生、教職員のいずれかであり、労働強度はいずれも軽度である。

身体組成などの身体計測は、第1章の「4. 本論文で用いた身体組成測定の方法論」に従った。最大酸素摂取量の測定は、Very active群においては、トレッドミル上におけるランニングにより測定した。斜度2%で220m/分のランニングを2分間行い、その後2分間は斜度を4%にし、以後は毎分10mずつ速度をあげて、疲労困憊になり、呼吸商が1.1を越えていること、心拍数が性・年齢別の最大心拍数に近づいていることが確認されるまでランニングを継続した(岩岡と吉岡, 1986)。そして、1分間毎(測定終了直前に1分間の測定が困難な場合は30秒)のランニング中の呼吸をダグラスバッグに収集し、ガス流量計で呼気ガス量を測定するとともに、ガス濃度分析器で呼気ガスの酸素濃度および二酸化炭素濃度を測定した。その他の手順は、全て岩岡と吉岡(1986)に従って行った。Active群およびSedentary群においては、自転車エルゴメーターを用いた自転車こぎによって最大酸素摂取量を測定した。コンビ社製の自転車エルゴメーターで初めの2分間は25ワット、その後毎分25ワットずつ負荷を漸増した。酸素摂取量は、Sensor Medics社製の呼気ガス分析器MMC-4400PCを用いて30秒単位で測定した。自転車こぎは、酸素摂取量が毎分150ml以上増加していないかどうかという基準で酸素摂取量のレベリング・オフを判定した他、先に述べたような基準で総合的に判断して、継続するか否かを決定した。尚、Very active群で1名、Active群とSedentary群で各2名ずつ、被検者の都合により最大酸素摂取量の測定が行うことができず、欠損値となった。

統計的解析法としては、群間の平均値の比較においては一元配置の分散分析、およびその結果有意であった場合にはScheffeの多重比較を行った。また、一つの連続量の影響を補正して群間の値の比較を行うために、共分散分析を用いた。まず、各群毎に2変数間の関係を単回帰分析で検討した。そして共分散分析により、従属変数に対して群の効果と独立変数の交互作用が有意でない場合は、回帰係数が一樣であると判断し、交互作用項を除

いて再度、共分散分析を行った（竹内, 1989）。有意水準は5%とした。以上の解析は、Macintosh上で統計解析ソフトStat View 4.0およびSYSTAT 5.0を用いて行った。

### 3. 結果

Very active群, Active群, Sedentary群の3群について、年齢および主要な形態の変数の平均および標準偏差を表2-1に示した。Very active群は大学のラグビー部員であるため、他の2群より年齢が約10歳程度低くなっている。また、体脂肪量および体脂肪率が他の2群より明らかに少なかった。除脂肪量については、平均値は最も大きいものの、分散分析の結果、群の効果は有意でなかった（ $P=0.10$ ）。最大酸素摂取量も、測定方法の違いが関与しているにせよ、Very active群でかなり大きな値をとっていた。以上のような最大酸素摂取量の違いはActive群とSedentary群との間にもみられるが、その差はVery active群とActive群の差より小さく、絶対量については有意差がみられなかった。

体脂肪の分布についてみると、体内深部脂肪量は明らかな群間の差がみられ、多重比較の結果においても3群間でいずれも有意な差が得られた。一方、皮下脂肪量もそれに近い群の影響がみられたが、平均値の差はわずかに体内深部脂肪量の場合より小さく、各群の標準偏差は大きいため、多重比較により有意な群間の差が得られたのは、Very active群とSedentary群との間のみであった。皮下脂肪量を体脂肪量で割って求めたPFSSは、Very active群で非常に大きな値をとっている。なおウエスト/ヒップ比は、多重比較によると、Very active群とSedentary群との間のみ有意差がみられた。

表2-1. 群別の年齢および形態の諸変数の平均および標準偏差.

変数	Very active群	Active群	Sedentary群
年齢 (歳)	21.4±2.3a	31.3±11.8a,b	33.6±10.4b
体脂肪率 (%)	9.4±4.2a	18.7±4.4b	24.7±4.7c
除脂肪量 (kg)	62.2±7.2	56.3±7.8	56.4±7.0
体脂肪量 (kg)	6.7±4.3a	13.2±4.6b	19.1±6.9c
皮下脂肪量 (kg)	5.0±1.7a	7.6±3.1a,b	10.4±3.6b
体内深部脂肪量 (kg)	1.8±2.8a	5.6±2.1b	8.7±3.9c
P F S S (%)	80.7±14.4a	57.3±10.6b	54.8±9.1b
ウエスト/ヒップ比	0.81±0.04a	0.85±0.06a,b	0.90±0.06b
最大酸素摂取量(l/min)	3.89±0.80a	2.93±0.55b	2.42±0.41b
最大酸素摂取量(ml/kg/min)	55.7±4.4a	43.3±10.9b	31.6±5.0c

※最大酸素摂取量は、Very active群で1名、Active群で2名、Sedentary群で2名分の欠損値あり。また、Very active群はトレッドミル上でのランニング、他の2群は自転車こぎにより測定。

※各変数において、平均±標準偏差の後にあるアルファベットは、同じ文字がある群どうしは、多重比較の結果5%水準で有意差のみられなかったことを示す。

そのうち、体内深部脂肪量と皮下脂肪量の関係を、3群間でも比較できるように個人別にプロットしたのが図2-1である。体内深部脂肪量と皮下脂肪量との間には、3群をまとめて計算すると $r=0.77$  ( $P<0.0001$ )の強い相関がみられる。個人差はあるものの、概して運動習慣があるほど、体内深部脂肪量、皮下脂肪量ともに少ないことが分かる。特にVery active群では、体内深部脂肪の絶対量が非常に少ない。体内深部脂肪量と皮下脂肪量をそれぞれ縦軸に、体脂肪量を横軸にとって、同様のプロットを行ったのが、図2-2と図2-3である。やはり、体脂肪量と体内深部脂肪量との間では $r=0.95$ 、皮下脂肪量との間では $r=0.93$  ( $P<0.0001$ )という強い相関がみられるため、群による差よりは、まず体内深部脂肪量や皮下脂肪量が体脂肪量にかなり規定されていると言える。



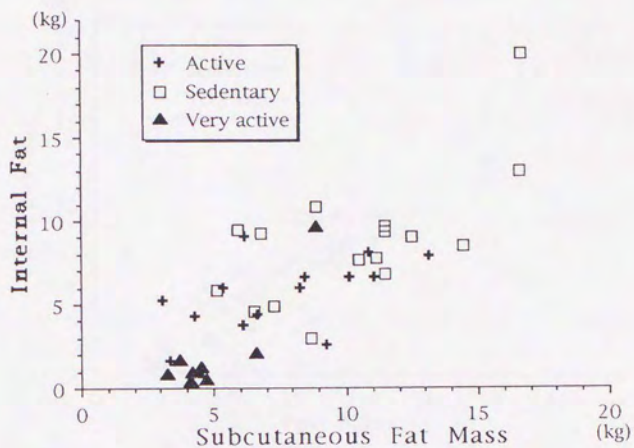


図2-1. 運動習慣の異なる3つのグループ間における、皮下脂肪量および体内深部脂肪量の比較.

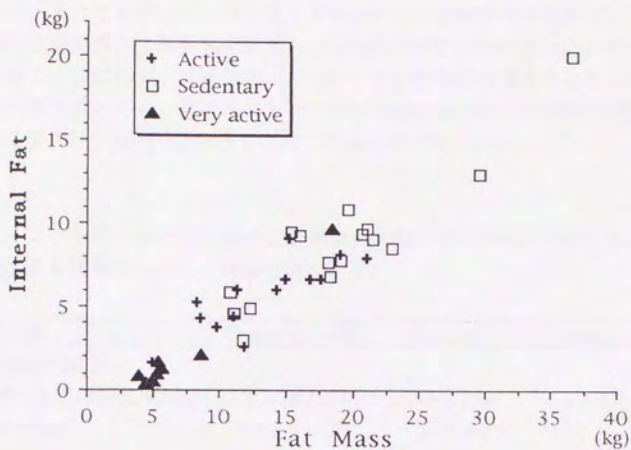


図2-2. 運動習慣の異なる3つのグループ間における，体脂肪量および体内深部脂肪量の比較。

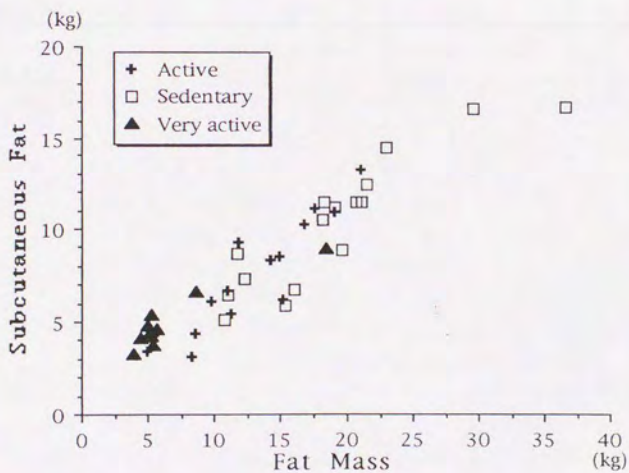


図2-3. 運動習慣の異なる3つのグループ間における，体脂肪量および皮下脂肪量の比較。

しかし、体内深部脂肪量や皮下脂肪量を規定しているのが体脂肪量のみなのか、それとも群によっても規定されているかを検討するために、まず縦軸を従属変数、横軸を独立変数とした回帰分析を群別に行った。その結果を表2-2に示す。回帰係数は、どちらの変数を従属変数としても、いずれの群においても、0であるという帰無仮説が5%水準で棄却された。しかし切片は、Very active群においてのみ有意であった。

表2-2. 各群において、体脂肪量を独立変数、体内深部脂肪量または皮下脂肪量を従属変数とした回帰分析の結果。

従属変数	Very active群	Active群	Sedentary群
体内深部脂肪量			
切片(推定値±標準誤差)	2.55±0.36*	0.59±1.08	-1.28±1.23
回帰係数(%)	-0.64±0.05*	0.38±0.08*	0.52±0.06*
R <sup>2</sup> (%)	96.0	66.7	84.5
皮下脂肪量			
切片(推定値±標準誤差)	2.53±0.38*	-0.56±1.08	1.30±1.21
回帰係数(%)	0.36±0.05*	0.62±0.08*	0.48±0.06*
R <sup>2</sup> (%)	87.6	84.3	81.9

\* P<0.05.

次に、分散分析の交互作用項による回帰係数の一様性の検定に続いて共分散分析を行った。まず、体内深部脂肪量や皮下脂肪量を、補助変数としての体脂肪量や群の効果の他、両者の交互作用項を加えた共分散分析を行った。その結果、いずれの変数を従属変数とした場合も、交互作用項は有意でなかった（体内深部脂肪量； $P=0.90$ 、皮下脂肪量； $P=0.91$ ）。したがって、3群の回帰直線は共通の傾きをもつと判断し、交互作用項を除いて再度、共分散分析を行った（表2-3）。体内深部脂肪量、皮下脂肪量ともに体脂肪量でかなりの分散が説明され、群の効果はそれと比べると非常に小さく、いずれの場合も有意ではなかった。

表2-3. 体内深部脂肪量あるいは皮下脂肪量を従属変数、群の効果と体脂肪量を独立変数とした共分散分析の結果。

従属変数；体内深部脂肪量

変数	DF	Sum of Squares	Mean Square	F ratio	P
群	2	1.878	0.939	0.513	0.603
体脂肪量	1	295.091	295.091	161.342	0.000

従属変数；皮下脂肪量

変数	DF	Sum of Squares	Mean Square	F ratio	P
群	2	1.765	0.882	0.486	0.619
体脂肪量	1	278.493	278.493	153.360	0.000

次に、6つのSegment別にみた皮下脂肪量および、体内深部脂肪量について、3群の平均を比較したのが、表2-4と図2-4である。概して、量の多い部位ほど3群間の差が大きいがわかる。それぞれの脂肪量について、一元配置の分散分析を行ったところ、前腕を除いて5%水準で有意であった。そこで、前腕を除く5つのSegmentについては、Scheffeの多重比較を行った。その結果、大腿はSedentary群と他の2群との間に、またその他の4つのSegmentは、Very active群とSedentary群間のみ有意差

(5%水準)がみられた。量の多い体幹と大腿の皮下脂肪量について、3群間を詳細に比較すると、Very active群は3つの脂肪量はほぼ同じである。しかし、他の2群については、大腿より体幹の皮下脂肪量の方が多くなっており、それに伴って3群間の差も大きくなっている。

表2-4. 群別の各Segmentにおける皮下脂肪量の平均および標準偏差.

Segment	Very active群	Active群	Sedentary群
顔+頸	0.26±0.07a	0.35±0.13a,b	0.40±0.10b
上腕	0.40±0.16a	0.60±0.22a,b	0.75±0.31b
前腕	0.20±0.08	0.28±0.12	0.52±0.76
体幹	1.70±0.86a	3.18±1.67a,b	4.47±1.91b
大腿	1.77±0.47a	2.38±0.80a	3.34±1.30b
下腿	0.66±0.19a	0.84±0.35a,b	1.07±0.31b

※各変数において、平均±標準偏差の後にあるアルファベットは、同じ文字がある群どうしは、多重比較の結果5%水準で有意差のみられなかったことを示す。

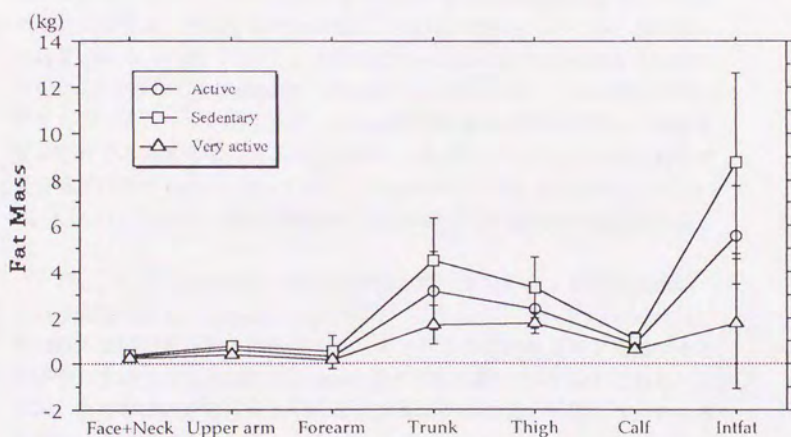


図4. 運動習慣の異なる3つのグループ間における、6つのSegmentおよび体内深部脂肪量 (Intfat) の比較 (値は平均±標準偏差)。

#### 4. 考察

本研究は、体脂肪分布と運動習慣との関係を横断的にみたものである。したがって、時間軸を考慮していないという問題はあるが、運動習慣が体脂肪分布に与える影響についても、示唆が得られるであろう。本研究の被検者は、日常の身体活動の量（頻度・強度・時間）で3つの群に分けたが、Very active群と他の2群の身体活動量は測定時に大きく異なっているだけでなく、測定前の数年間についても、Very active群の各被検者はラグビーその他の高強度のスポーツを長期間にわたって継続していた。しかも、大学の部での運動経験は10か月程度であるが、その間に除脂肪量が大きく増加し体脂肪量が減少するという身体組成の変化もみられた。最大酸素摂取量の測定結果も、他の2群と比べて明らかに大きな値をとっていた。ただし、最大酸素摂取量の測定方法がVery active群のみランニングで、他の2群は自転車こぎであったことは、こうした差に少なからず貢献しているはずである。しかし、トレッドミル走における最大酸素摂取量を100%とすると、自転車こぎによるそれは82.0~97.0%であり、その多くは約90%前後である（山地, 1992）。本研究のVery active群の最大酸素摂取量の平均値を0.9倍しても、絶対量、体重あたりの値ともに、Active群の平均値を大きく上回っている。また、Active群とSedentary群との差も、特に体重あたりでみると非常に大きな差があり、絶対量でも、多重比較の結果有意差はないものの（ $P=0.10$ ）、Active群の方が大きな値をとっている。以上のことから、身体活動量から3つの群分けの妥当性が支持される。

ただし、Very active群の年齢のみが他の群の平均年齢より約10歳低いという問題がある。Kotani et al. (1994) によると、20代と比べ30代は、腹部の内臓脂肪量が約2割増加する一方で、皮下脂肪量は約1割減少するという。本研究のActive群とSedentary群の平均年齢は30代前半であり、先に示した数字ほどの増減はないにせよ、本研究の結果に影響を与えている可能性は否定できない。

本研究における主な結果としては、以下のようにまとめられる。

1. 多重比較の結果、体内深部脂肪量は3群間で平均値に有意な差がみられ、特にVery active群では絶対量が非常に少なかった。それに対して、皮下脂肪量については有意差がみられたのはVery active群とSedentary群との間のみで、平均値の差も体内深部脂肪量の差より小さかった。

2. しかし、共分散分析の結果、体内深部脂肪量や皮下脂肪量は体脂肪量によってかなり規定されており、群の効果は非常に小さかった。

本研究では、群によって体脂肪率・量に大きな差がみられたが、身体活動量と体脂肪率・量との間に相関がみられることは、以前から報告されている (Schulz and Schoeller, 1994)。したがって、共分散分析を行った際のモデルとしては、群と体脂肪量という全く独立な変数が、体内深部脂肪量等に与える影響をみる ([モデル1]) というよりは、群の効果が、体脂肪量を通じて体内深部脂肪量などに影響を与えているのかどうか ([モデル2]) をみることになる (図2-5)。

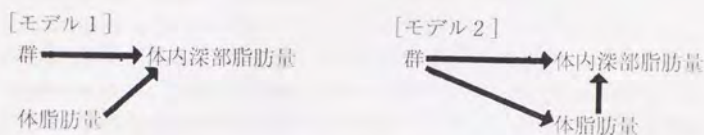


図2-5. 運動習慣によって分けた群と体脂肪量、体内深部脂肪量の3つの変数について考えられる2つのモデル.

本研究の結果からは、群の効果 (身体活動量) が直接、体内深部脂肪量などを規定するというよりは、体脂肪量を通じて規定していると解釈できる。体脂肪の分布のような「形」をとらえる場合は、「サイズ」を補正しておく必要がある (Healy and Tanner, 1981)。したがって、先に述べた結果を言い換えれば、群の効果からみた身体活動量は直接体脂肪の分布に影響を与えるわけではなく、体脂肪量という「サイズ」の変化に伴う、体内深部脂肪量の増加という「形」の変化を招いたと考えられる。代謝性疾患のリスクを抑えるという意味では、皮下脂肪量とともに体内深部脂肪量を減少させる身体活動が寄与するとしても、身体活動が他の諸因子 (食事など) と異なり、体内深部脂肪量を選択的に減少させるわけではないことになる。もっとも、代謝異常のリスクファクターである体内深部脂肪量の増加を抑えているという点では、身体活動の果たす役割は大きいと言えよう。

なお本研究では、体脂肪の分布を比較する上で、体脂肪量を共分散分析で補正するという方法をとった。運動習慣の異なる3つの群の体脂肪量をそろえてサンプリングを行うということも考えられたが、その場合、体脂肪量の影響は考慮する必要がない。しかし、運動習慣がある者ほど体脂肪量が少なくなるのが一般的であり(Despres, 1994)、運動習慣は異なるのに体脂肪量は同じ集団となると、例えば食事など他の条件が大きく異なる可能性が大きい。そこで、本研究では体脂肪量をそろえてサンプリングを行うことをしないで、共分散分析で補正するという方法をとった。

本研究と同様に、ウエスト/ヒップ比以外を用いて、強度の運動習慣を有する者とそうでない者とを比較した研究には、Brown and Jones (1977)、Despres et al. (1984)、Matsuzawa et al. (1991)がある。このうち、Matsuzawa et al.はCTを用いて力士について検討したものであるが、力士は内臓脂肪量が腹部皮下脂肪量に比して少ないという結果であった。一方、Despres et al.は、男性の長距離ランナーは体脂肪量の割に皮下脂肪厚の和が小さい、すなわち体内深部脂肪量が相対的に多いのではないかと報告している。Brown and Jonesは、本研究と似た方法論を用いて、女性の一流運動選手と運動習慣のない者などを比較している。しかし、体内深部脂肪量と皮下脂肪量との関係について、各グループ間に特に明確な差はみられなかったという結果であった。こうしてみると、3つの先行研究は三様の結果を示しており、本研究のラグビー部員に関する結果は、そのうちBrown and Jonesの研究結果に比較的近かったと言えよう。

このように、研究によって差がみられる原因として、運動の種類が関係していることも考えられる。強度の運動が皮下脂肪を選択的に減少させるのではないかとしたDespres et al.の対象は、長距離走というかなり有酸素的な運動を行ってきた者達である。一方、Matsuzawa et al.の対象である力士は、無酸素的運動の比重が大きく、Brown and Jonesの対象は、様々な種類のスポーツが混ざっている。それに対して、本研究のVery active群はラグビー部であり、高度の有酸素的能力、無酸素的能力の両方を要求されるスポーツであると言える。その点では、Brown and Jonesの対象の方にも近いと考えられる。運動時におけるカテコラミンの血中濃度は、運動強度とともに加速度的に増加していく(Robinson et al., 1966; Haggendal et al., 1970; Mazzeo and Marshall, 1989; Nakamura et al., 1991)。したがって、Rebuffe-Scrive et al. (1989, 1990b)の「カテコラミンの刺激による脂肪分解は、内臓脂肪の方が顕著である」という報告を考えあわせると、高強度の運動を行っているほど、内臓脂肪の減少も相対的に大きくな



り、そのことが、プロの相撲とりである力士では明らかに内臓脂肪量が相対的に少ないが、それと比べていくぶん強度の弱いトレーニングを行っていると考えられる大学のラグビー部員ではそのような結果は得られなかった、という可能性もある。

研究による結果の差異に、方法論の違いが関係していることも考えられる。Despres et al.とBrown and Jonesは、皮下脂肪量の定量化にいずれもキャリバーによる皮下脂肪厚計測を用いており、それらの対象でキャリバーによる計測のために皮下脂肪量を過小評価していることもあり得ないことではない。ただし北川ら(1993)は、最近スポーツ選手の方より一般人の方が圧縮率が大い、すなわち一般人で皮下脂肪厚を過小評価しているという結果を報告している。そうであるならば、先の仮説は当てはまらないことになる。とはいえ、やはり同じスポーツ選手でも、筋肉が張っており皮膚が圧迫されている筋肉質の者と、逆に筋肉は少なく、一般につまむと非常に軟らかい皮下脂肪組織をもっている長距離ランナーとでは、圧縮率が大きく異なる可能性も否定できない。したがって、方法論が原因とする考えも捨て難い。このように、キャリバー法を用いた方法では圧縮率の問題が付随するため、Despres et al.とBrown and Jonesの結果にはそのような誤差要因が大きい影響を与えているとも考えられる。逆に本研究で用いた超音波法やMatsuzawa et al.が用いたCT法を用いた場合には、少なくともそのような問題が伴うことはない。ただし、方法論の違いだけでは、研究間の結論の相違は説明できない。

なお、群間でウエスト／ヒップ比を比較すると、Very active群とSedentary群との間にもみ有意差がみられたが、その他の群間の差は有意でなかった。ウエスト／ヒップ比などからみた体脂肪分布と、運動習慣との関係を横断的にみた研究は多い(Haffner et al., 1986; Shimokata et al., 1989; Kaye et al., 1990; Laws et al., 1990; Selby et al., 1990; Tremblay et al., 1990; Keenan et al., 1992; Slattery et al., 1992)。しかし、ここに示した研究の対象が行っていた運動とは、ジョギングやウォーキングをはじめとするいわゆる有酸素運動がほとんどで、いずれも大学の運動部にみられるような強度の運動習慣はほとんど含んでいない。その点では、本研究のActive群やSedentary群に含まれるような者のみを対象としているに近い。そのため、そのようなばらつきの中で、体脂肪分布と運動習慣との間に明らかな関係がみられなかったと考えられる。本研究では、Very active群を含めた分だけ、それらと比べてより大きなばらつきの中で検討しており、そのためか、ウエスト／ヒップ比のばらつきも諸研究より

大きい。しかし、それでも多重比較の結果、ウエスト／ヒップ比に群間の有意差が得られたのは、Very active群とSedentary群との間のみであった。

本研究および先に示したような体脂肪の分布に関する研究においては、体脂肪の分布に影響を与える可能性のある生理学的変数については検討をしていない。長期間に渡る身体活動の内容や、それに伴って変動する生理学的因子について厳密に検討するのは不可能に近いが、先に述べたように、運動強度など身体活動の質が体脂肪分布に影響を与えている可能性も考えられる。今後は、この点をふまえて、運動強度とそれに伴う生理学的変動が体脂肪分布に与える影響を検討するような研究が必要ではないかと思われる。

## 5. 結論

成人男性を運動習慣の程度によって3群に分け、体脂肪分布を比較した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 体内深部脂肪量は3群間で平均値に有意な差がみられた。特に、大学のラグビー部に所属している者は、体内深部脂肪の絶対量が非常に少なかった。それに対して、皮下脂肪量については有意差がみられたのはラグビー部の群と運動習慣をもたない群との間のみで、平均値の差も体内深部脂肪量の差より小さかった。
2. しかし、共分散分析の結果、体内深部脂肪量や皮下脂肪量は体脂肪量によってかなり規定されており、群の効果は非常に小さかった。

以上より、身体活動が特に体内深部脂肪量を選択的に減少させるというよりは、身体活動量が体脂肪量の変動を介して、体脂肪量との相関の強い体内深部脂肪量も規定していると考えられた。

### 第3章

脳性麻痺者と一般健常者における腹部脂肪分布の比較

## 1. 目的

脳性麻痺 (cerebral palsy ; CP) は、妊娠中における母体の疾患や分娩障害、その他不明の原因で出生時に発生する慢性的の脳疾患である。主な障害は、運動障害である。発現部により片麻痺、四肢麻痺、対麻痺等に分けられるが、運動機能の発達が不完全で、歩行などの発達も遅れるという特徴がある。また、しばしば言語知能障害がみられ、また、けいれん発作や不随意運動を伴うことも多い。

以上のように、運動に障害がみられ、その結果、日常の身体活動が大きく制限されるCP者の体脂肪分布をみることは、日常の身体活動が体脂肪分布に与える影響について、何らかの示唆があるはずである。

CP者については水中体重秤量法の実施が困難であったため、これまで正確な身体組成に関する資料を得ることができなかった。しかし、最近水中体重秤量法と同じ体密度法の一つであるガス希釈法が開発された

(Hattori et al., 1994)。この方法は、水中での最大呼出を要求するという侵襲性の大きな水中体重秤量法と異なり、数分間特定のチャンパー内にいるだけで自動的に測定が行なわれる。したがって、一切の訓練を要さず、侵襲性も小さいため、CP者でも測定が可能である。しかも、測定の妥当性は非常に高い。一方、体脂肪の分布、特に内臓脂肪の蓄積についても、正確に、かつCT等を用いずに簡単に測定する方法はなかったが、最近 Suzuki et al. (1993) は、腹膜前の脂肪を超音波法で測定することによって、簡単に内臓脂肪の蓄積状態を評価できると報告している。

そこで本研究では、CP者および一般健常者について、Suzuki et al.の方法を用いて体脂肪分布を、またHattori et al.の方法を用いて体脂肪量を評価して、日常の身体活動が体脂肪分布に与える影響について示唆を得ることを目的とする。

## 2. 方法

対象は、水戸市近辺に在住の男性のCP者15名（以下CP群とする；表3-1参照）、および対照群として一般健常者16名である。年齢はCP群が平均 $29.5 \pm 6.0$ 歳、対照群が $28.8 \pm 7.7$ 歳であった。CP群のほとんどは障

害者施設に入っているが、一名だけ自宅に住んで高校に通学している者もいる。障害の程度は軽度から重度まで様々で、全員が下肢に何らかの障害をもっている。したがって、ふだんは車椅子または松葉杖で移動している。知能障害を有する者もいたが、いずれも比較的軽度であった。

表3-1. CP群の各対象者における障害の程度

イニシャル	年齢	体重(kg)	腕の麻痺	脚の麻痺	移動手段
E.H.	30	66.9	両腕	両脚	車椅子
K.T.	26	70.9	なし	両脚	車椅子
M.K.	27	43.4	両腕	両脚	車椅子
M.S.	27	50.7	両腕	両脚	自力歩行* <sup>1</sup>
M.M.	41	40.4	両腕	両脚	車椅子
N.K.	21	57.8	なし	両脚	松葉杖
H.F.	32	59.0	右腕	両脚	車椅子
T.H.	32	50.9	両腕	両脚	車椅子か自力* <sup>2</sup>
S.S.	40	58.8	左腕	両脚	主に松葉杖* <sup>3</sup>
W.K.	27	69.2	右腕	両脚	松葉杖
I.Y.	31	67.6	左腕	左脚	車椅子
Y.T.* <sup>4</sup>	19	55.8	左腕	両脚	自力歩行* <sup>1</sup>
Y.K.	30	79.5	左腕	両脚	松葉杖
S.K.	29	47.4	左腕	両脚	車椅子
O.Y.	22	45.3	両腕	両脚	車椅子

\*<sup>1</sup> 壁に寄りかかったり手すりにつかまりながら自力で歩行。

\*<sup>2</sup> 車椅子を使って、あるいは這って移動。

\*<sup>3</sup> 日常は松葉杖だが、手すりを使って自力歩行も可。印刷の仕事中は車椅子使用。

\*<sup>4</sup> CP群で唯一、養護施設で生活していない。

全身の身体組成については、CP者に対して水中体重法を実施することは不可能なので、体密度法の一つであるガス希釈法によって測定を行った。ガス希釈法は、鳥津製作所のBSF200を用いて行った(Hattori et al., 1994)。被検者が195リットルのチャンパーに入った状態で、チャンパー内に一定量の六弗化硫黄ガスが送り込まれ、その濃度を測定することに

よって、被検者の体積が求められるという仕組みである。一回の測定に要する時間は約5分弱で、任意の2回の体積の測定値が0.3リットル以内に収束するまで、測定を繰り返した。得られた体積をHattori et al.が示した補正式で補正し、本論文の他研究と同様、身体密度からSiri (1956) の式を用いて体脂肪率を求めた。測定の妥当性は非常に高く、水中体重秤量法で得られる体積とBSF200で得られる体積との相関係数は0.999、体脂肪率については0.914であった (Hattori et al.)。最近開発されているインピーダンス法や近赤外線法など他の身体組成推定法の場合、体脂肪率の水中体重秤量法との相関係数は0.80~0.90程度であり、それらと比べても、今回用いたガス希釈法の妥当性は非常に高いものであると言える。

また、超音波法によって筋厚および脂肪厚の測定を行った。超音波診断装置は東芝SSA 250Aを、プローブは乳腺用プローブ (7.5MHz) を用いた。腹部の脂肪分布を評価するために、プローブが異なることを除くと、Suzuki et al. (1993) の方法に従って、腹膜前脂肪の最大厚 (Pmax) と皮下脂肪の最小厚 (Smin) を測定した。いずれも、白線に沿った、剣状突起から臍までの間の最大厚・最小厚である (図3-1)。Pmaxは、CTで測定した内臓脂肪断面積と腹部皮下脂肪断面積のうち内臓脂肪断面積のみを、Sminは腹部皮下脂肪断面積のみをよく反映する。また、こうして得られたPmaxをSminで除した値がAFI (Abdominal wall Fat Index) であり、CTでみた内臓脂肪断面積/皮下脂肪断面積の比とよく相関するという (Suzuki et al., 1993)。

また、皮下脂肪厚としては上腕中位の後部 (三頭筋上)、肩甲骨下部、臍部 (臍の右側約3センチ)、腸骨稜上部、大腿中位の前部を、筋厚については上腕中位の前部 (二頭筋上)、後部 (三頭筋上)、腹部 (臍横部) および大腿中位の外側部の、計4部位で行った。

その他、身長、体重や周径等々の形態計測を行ったが、それらはいずれも本論文の他研究と同様、第1章で述べた通りである。

統計的解析法として、群間の平均を比較するときには、2つの標本の分散が等しいという仮説が棄却されるかどうかF検定を行ってから、それぞれの場合に応じて、独立な2群の平均値についてt検定を行った (武藤, 1995)。また、体脂肪に関する2変数間の関係に群による影響があるかどうかを検討するために、群別に2変数間の単回帰分析を行って、回帰係数の一様性の検定を行った後、共分散分析を行った。すなわち、Pmaxな

どのうちの一つを従属変数，もう一つの体脂肪に関する量的変数を独立変数とした他，CP群か対照群かを表す質的変数を独立変数に加え，従属変数に対する独立な寄与について検定を行った（武藤，1995）。以上の解析は，Macintoshで統計解析ソフトStat View 4.0を用いて行った。

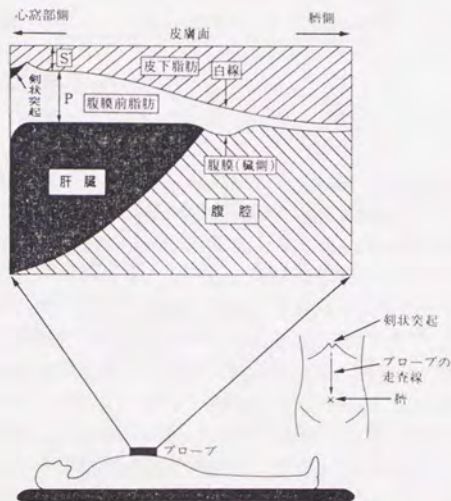


図3-1. Pmax (図中のP) およびSmin (図中のS') の測定部位 (村野ら，1995)。

### 3. 結果

表3-2に，被検者の身体組成の諸変数を，群別に平均±標準偏差で示した。CP群の方が，体脂肪量はわずかに多い一方で除脂肪量は明らかに少なく，その結果，体脂肪率もCP群の方がいくぶん大きな値となった。ただし，除脂肪量を除くと，いずれも5%水準で有意な差ではなかった。また，体重や体脂肪量，体脂肪率の標準偏差はCP群の方が大きかったが，これもF検定で有意な差がみられることはなかった。

表3-2. CP群と対照群の身体組成 (数字は平均±標準偏差)

	CP群	対照群
体重 (kg)	57.6±11.5	63.8±8.4
体脂肪量 (kg)	14.0±7.2	12.8±4.0
除脂肪量 (kg)	43.6±7.2*	51.1±6.8
体脂肪率 (%)	23.4±8.3	19.8±5.1

\* P<0.05.

次に、身体各部の皮下脂肪厚等、体脂肪の分布に関する変数を群間で比較した。表3-2には、皮下脂肪厚の代表的な測定部位の平均値を示したが、いずれの部位でもCP群の方が大きな値を示している。特に腹部では、平均値に5.8mmの差がみられる。しかし、群間の差のみならず群内のばらつきも大きいため、他の部位と同様、有意な差はみられなかった。一方PmaxとSminは、平均値でみるとCP群で14mm前後、対照群でいずれも10.4mmと、Pmaxの方がわずかに差が大きいものの、両群で比較的近い値をとっている(図3-2)。しかし、Sminに対しPmaxの方が群内のばらつきが小さい分、検定の結果、Pmaxのみ5%水準で有意差がみられた。尚、CP群のうち、比較的重度の脳性麻痺者(表3-1中のE.H.)においてPmaxの値が顕著に大きかったため(Pmax=26.8mm, Smin=14.7mm; 図3-3~図3-5参照)、はずれ値として標本集団から取り除いて検定を再度行ったが、やはり有意な差がみられた。AFIについては、Pmaxが大きかった分、CP群の方が大きな平均値をとっていたが、わずかな差であった。ウエスト/ヒップ比は、CP群の方が非常に大きな値をとっていた。



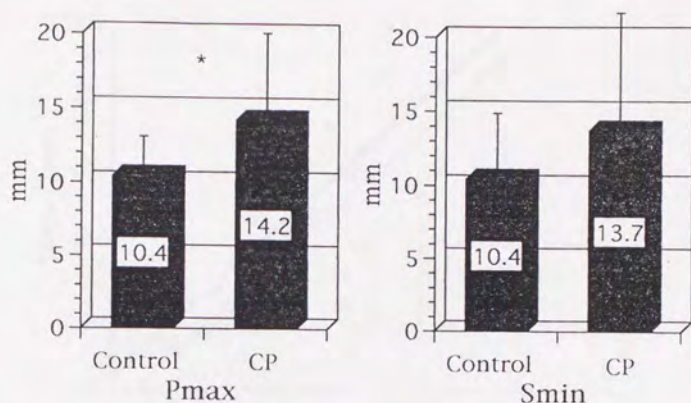
表3-3. CP群と対照群間における皮下脂肪厚, Pmax, Smin, AFIの比較 (数字は平均±標準偏差)

部位	CP群	対照群
皮下脂肪厚		
上腕後部 (mm)	8.5±3.5	7.5±2.9
肩甲骨下部 (mm)	13.3±6.2	11.5±5.2
臍部 (mm)	23.4±17.3	17.6±11.1
腸骨稜上部 (mm)	13.9±6.9	12.9±4.4
大腿前部 (mm)	10.5±4.5	7.8±2.7
Pmax (mm)	14.2±5.9*	10.4±2.7
Smin (mm)	13.7±8.0	10.4±4.5
AFI	1.19±0.51	1.11±0.36
ウエスト/ヒップ比	0.91±0.09*	0.82±0.06

\* P<0.05.

ただし、体脂肪の「分布」に群間で違いがあるかをみる上では、体脂肪の「量」の影響を取り除く必要がある。すなわち、有意差はみられなかったものの、CP群の体脂肪量やSminが多いからそれに伴ってCP群のPmaxが大きいだけなのか、それらを考慮しても大きいと言えるかを区別しなければならぬ。そこで、PmaxとSminに体脂肪量を加えた3つの関係についてプロットしてみた(図3-3~図3-5)。また、各群別の単回帰分析の結果を表3-4に示した。Pmaxを縦軸に、体脂肪量を横軸にとると、CP群の方が体脂肪量に比して、概して大きなPmaxの値をとっている(図3-3)。両群の回帰直線も、同程度の傾きながら、CP群の方が上側に位置している。一方、縦軸をSminにすると、やはり図3-3と似た傾向を示している(図3-4)。しかし、分布の範囲が大きく、Sminと体脂肪量との相関も強くなっている。また、縦軸にPmaxをとったときと比べて2群の回帰直線間の切片の差が小さい分、両群の上下関係は明確でなくなる。次にPmaxとSminとの関係を見ると(図3-5)、Sminに比して、CP群のPmaxの方がいくぶん大きな値をとっている。回帰直線を見ると、ほぼ同じ切片をとりながらCP群の方が若干傾きが大きいため、Sminが大きくなるほどCP群の回帰線の方が上に存在することになる。ただし、ここに示した3種類の変数間の関係において、回帰直線の傾きに群間の有意な差はいずれもみられなかった。またCP群には、両群の他の被検者と比

べて、Sminに比してPmaxの値が極端に大きいと考えられる者が、少なくとも一名存在した（先述のE.H.）。



\*  $P < 0.05$ .

図3-2. CP群と対照群におけるPmaxとSminの平均値および標準偏差の比較.

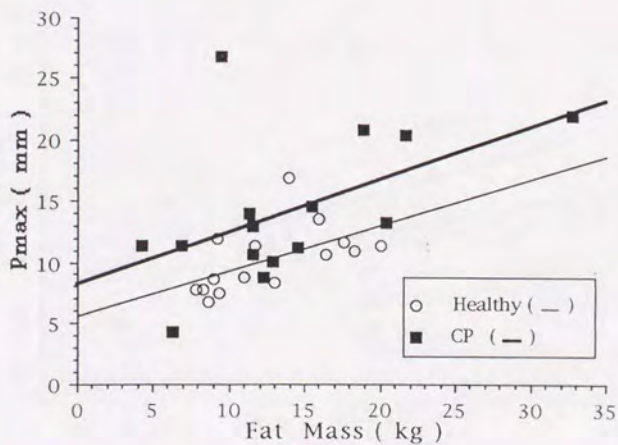


図3-3. CP群と対照群におけるPmaxと体脂肪量 (Fat Mass) との関係.

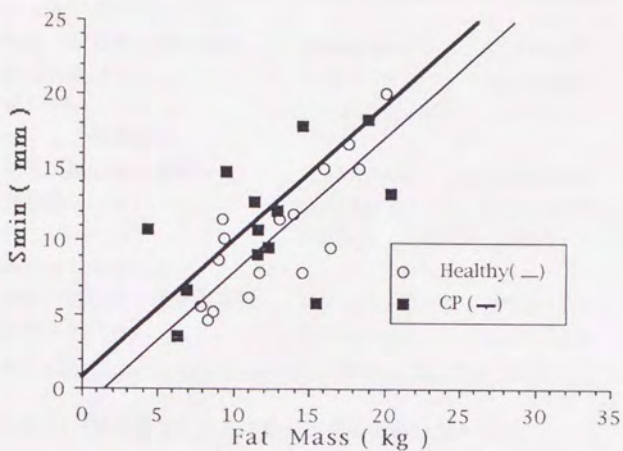


図3-4. CP群と対照群におけるSminと体脂肪量 (Fat Mass) との関係。

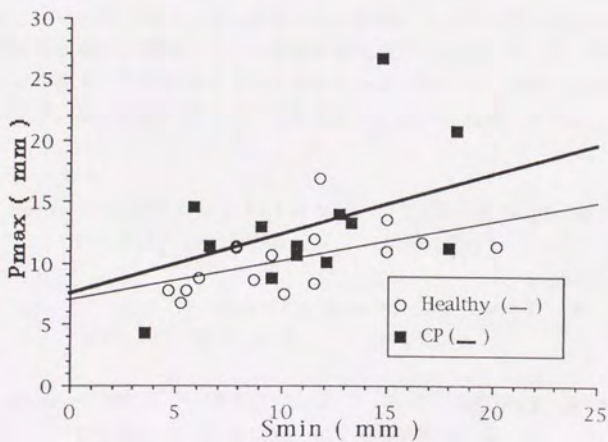


図3-5. CP群と対照群におけるPmaxとSminとの関係。

表3-4. 各群における, 体脂肪量, Pmax, Smin間の回帰分析の結果.

従属変数; 独立変数	CP群	対照群
Pmax; 体脂肪量		
切片 (推定値±標準誤差)	8.28±3.02*	5.64±1.97*
回帰係数 (‰)	0.43±0.19*	0.37±0.15*
R <sup>2</sup> (%)	27.3	31.4
Smin; 体脂肪量		
切片 (推定値±標準誤差)	0.70±2.66	-1.35±2.29
回帰係数 (‰)	0.93±0.17*	0.92±0.17*
R <sup>2</sup> (%)	69.7	82.1
Pmax; Smin		
切片 (推定値±標準誤差)	7.53±2.38*	7.05±1.51*
回帰係数 (‰)	0.49±0.15*	0.32±0.13*
R <sup>2</sup> (%)	29.4	44.7

\* P<0.05 (帰無仮説; 切片または回帰係数が0である).

そこで, これらの変数間の関係にグループによる影響があるかどうか検討するために, 共分散分析の一種としてダミー変数を用いた回帰分析を行った。すなわち, 図3-3~図3-5で縦軸にとった変数をそれぞれの分析の従属変数に, 横軸にとった変数を独立変数とした。そして, CP群は1という値を, 対照群は0という値をとるようなダミー変数 (DUMMY) をつくり, 独立変数に加えた。その結果を, 以下に簡潔に示す。

$$P_{\max} = 5.131 + 0.413 \times \text{Fat Mass} + 3.329 \times \text{DUMMY} \quad (R^2 = 0.396)$$

(P=0.011) (P=0.003) (P=0.025)

$$S_{\min} = -1.412 + 0.928 \times \text{Fat Mass} + 2.134 \times \text{DUMMY} \quad (R^2 = 0.711)$$

(P=0.427) (P<0.001) (P=0.117)

$$P_{\max} = 5.735 + 0.447 \times S_{\min} + 2.373 \times \text{DUMMY} \quad (R^2 = 0.504)$$

(P<0.001) (P<0.001) (P=0.082)

以上のように、Pmax、Sminとも、体脂肪量と独立に強い相関がみられた。その体脂肪量の影響を考慮すると、Pmaxはダミー変数の偏回帰係数が3.329であり、これはCP群の方がPmaxの値が有意に大きいことを示す。Sminについては、体脂肪量の偏回帰係数がPmaxの場合より大きくP値が小さいことが示しているように、体脂肪量の影響はより大きい一方で、ダミー変数については逆の結果が得られ、CP群と対照群間の差はPmaxの場合よりいくぶん小さかった。PmaxとSminとの関係においては、ダミー変数の偏回帰係数が2.373であることが示すように、概してCP群の方が対照群より大きい値をとっていたが、5%水準で有意ではなかった(P=0.082)。尚、CP群においてSminに比してPmaxの値が顕著に大きい者(表3-1中のE.H.)の値を「はずれ値」として除いて、再度分析を行ってみたが、有意水準を5%とした統計的検定の結果に変わりはないなど、ほぼ同様の結果が得られた。

ウエスト/ヒップ比についても、同様の検討を行ってみた。表3-3で示したように、両群間で平均値に大きな差がみられた。しかし、ウエスト/ヒップ比は肥満の程度も反映する。そこで、ウエスト/ヒップ比という相対的な指標を、やはり肥満の程度の相対的な指標である体脂肪率の影響で補正して、群間の差を検討することとした。まず、ウエスト/ヒップ比を従属変数、体脂肪率を独立変数とした回帰分析を群別に行った(表3-5)。各群において、ウエスト/ヒップ比と体脂肪率との間には相関がみられたが、回帰係数に群間の有意な差はみられなかった。

表3-5. 各群において、ウエスト/ヒップ比を従属変数、体脂肪率を独立変数とした回帰分析の結果。

	CP群	対照群
切片 (推定値±標準誤差)	0.78±0.06*	0.64±0.05*
回帰係数(%)	0.006±0.003*	0.009±0.002*
R <sup>2</sup> (%)	28.5	52.7

\* P<0.05 (帰無仮説; 切片または回帰係数が0である)。

そこで、先と同様に、ウエスト/ヒップ比を従属変数、体脂肪率の他、群の効果を表すダミー変数(DUMMY)も独立変数に加えた回帰分析を行っ

た。その結果を、簡潔に示す。

$$\text{ウエスト/ヒップ比} = 0.687 + 0.007 \times \text{体脂肪率} + 0.067 \times \text{DUMMY} \quad (R^2 = 0.530) \\ (P < 0.0001) \quad (P = 0.0005) \quad (P = 0.0079)$$

体脂肪率で補正したため、平均値の差よりは小さいが、ダミー変数の偏回帰係数は、ウエスト/ヒップ比の群間の差としては、0.067という大きな値をとっている。

次に、4部位の筋厚の測定結果を群別に表3-6に示す。全身の除脂肪量については対照群より有意に少なかったCP群において、本研究で計測した部位についてみる限り、必ずしも筋厚が小さいとは言えないことがわかる。4部位の筋厚のいずれについても、CP群と対照群とに有意差はみられず、上腕前部と腹部の2部位については、むしろCP群の方が平均値が大きかった。

表3-6. CP群と対照群の筋厚 (数字は平均±標準偏差) .

筋厚 (mm)	CP群	対照群
上腕前部 (二頭筋)	30.8±4.7	29.3±4.3
上腕後部 (三頭筋)	32.2±4.4	34.4±4.3
腹部 (腹直筋)	16.0±5.5	13.3±3.4
大腿外側部 (四頭筋)	37.7±5.6	38.2±3.9

※いずれも5%水準で有意ならず。

また、6部位の周径囲も群間で比較してみた(表3-7)。上半身ではいずれの部位でも有意差がみられなかったが、身体の下の方ほど差が大きくなっており、特に下腿では平均値に比して非常に大きな差がみられた。

表3-7. CP群と対照群の周径囲(数字は平均±標準偏差)。

周径囲 (cm)	CP群	対照群
上腕囲 (中位)	28.2±3.9	28.3±2.5
胸囲	91.7±9.3	89.4±5.8
ウエスト	79.1±12.3	75.5±7.2
ヒップ	86.5±7.2*	92.1±4.9
大腿囲 (中位)	45.2±5.9*	51.3±3.6
下腿最大囲	30.8±3.0*	37.5±3.3

\*  $P < 0.05$ .

#### 4. 考察

本研究では、日常の身体活動が少ないグループとしてCP者をとりあげた。しかし、障害者の研究を行う場合、対象者の障害の程度によって得られる結果も変わってくる。本研究で対象としたCP群において、諸変数の標準偏差が概して対照群より大きくなっているのは、比較的軽度から軽度まで様々な障害の程度を有した者を標本集団に加えているためだと考えられる。したがって、その点については注意が必要であろう。

CP者の場合、移動に車椅子または松葉杖を使っているため、車椅子を押したり松葉杖を支えたりするのに必要な上腕二頭筋や大胸筋が、非常に発達している。また、移動などの際に姿勢を支えるためには、腹筋も鍛えられているようであった。それに対して、ほとんどのCP者においては、本研究で計測を行った大腿外側部の筋厚には群間の差がみられなかったものの、周径囲に大きな差があることから分かるように、下肢、特に下腿の萎縮は顕著であった。除脂肪量がCP群で有意に少なかったのは、そのためだと考えられる。

これらのことから考えると、本研究で対象としたCP者は、あらゆる種類の身体活動が一樣に少ないのではなく、むしろ上半身の筋肉については、健常者以上に高強度に駆使して移動等を行っていると考えられる。しかし、下腿が萎縮しているため、移動によるものをはじめとする身体活動の絶対量（総エネルギー消費量）は非常に少ない、言い換えれば全身性の有酸素的な活動が少ないのではないかとと思われる。この点については、Bandini et al. (1991) が、少数の思春期のCP者についてエネルギー消費量が少ないことを確認しているが、現在、同じ対象者について、岩岡が基礎代謝量や身体活動量を含めたエネルギー消費量および全身の身体組成について検討中である（未発表）。本研究において有意差はみられなかったものの、体脂肪量や体脂肪率の平均値がCP群の方で大きな値であったのは、エネルギー消費量が少ないことが原因である可能性もある。

超音波法によって測定した皮下脂肪厚はいずれもCP群の方が大きかったが、有意差はみられなかった。脂肪厚で唯一、群間の差が有意であったのはPmaxであった。Sminも2群の平均値はいずれもPmaxの場合に近かったが、群内のばらつきが大きいため、群間の差については相対的に小さいものとなった。ただし、これも体脂肪量の違いを反映しているだけの可能性があるため、共分散分析により体脂肪量の影響を除いてみた。その結果、群間の差を表すダミー変数の偏回帰係数は、Pmaxを従属変数とした場合が3.329、Sminを従属変数とした場合が2.134であった。PmaxやSminの各群の平均値が10.4~14.2mmであることを考えると、いずれも大きな値であったが、統計的検定の結果は体脂肪量を考慮しない場合と同様で、PmaxのみCP群の方が有意に大きい傾向がみられた。そのような対象において、内臓脂肪量を強く反映する腹膜前脂肪厚が多い傾向にあったことから、逆に、有酸素的運動あるいはエネルギー消費量が多い生活形態が、内臓脂肪量を選択的に減少させる可能性があるのではないかと考えられる。

なお、図3-3と図3-5には「はずれ値」があるが、これは今回のCPの対象者の中で、最も障害が大きい者のうちの一人の値である。その点からは、運動障害が内臓脂肪の蓄積を招くという考え方が顕著に表れた例なのかもしれない。しかし障害の程度の影響を考慮に入れるには、本研究の被検者数は少ないため、今後の研究に結論を委ねざるを得ない。

ただし、身体活動以外の要因が腹部脂肪分布の差をもたらした可能性も捨てられない。例えば、CP者の心理的特性があげられる。CP者には運動能力と精神発達との間に不均衡な状態があり、これが二次的に心因性の情



緒不安をもたらす、さらに1) 過緊張、2) 過敏、3) 恐怖、4) 自発性欠如、5) 自身喪失、6) 疾病利得、という状態を引き起こすという(深津、1979)。Bjorntorp (1988, 1991b) は、第1章でもふれたように「ストレスへの対応が困難であることによって視床下部が刺激され、交感神経-副腎髄質系および脳下垂体-副腎皮質系の活動亢進を通じて腹部肥満をもたらす」という仮説を提示している。その仮説は未だ十分に検証されていないが、それを裏付けるかのように、社会経済的状況 (Kaye et al., 1990; Georges et al., 1991) や精神的ストレス (Lapidus et al., 1990; Larsson et al., 1989; Rebuffe Scrive et al., 1992; Kaye et al., 1993) と体脂肪分布との間に関係があるとする研究結果が得られてきた。本研究の対象においては、この点に関する調査は行っていないが、本研究の結果に影響を与えている可能性は否定できない。ただし、先に述べたような研究において認められた両者の関係は、標本数が多いため統計的検定の結果有意となったものの、概して非常に弱いものであった。例えば、Kaye et al. (1993) が、精神的ストレスの異なる群間でウエスト/ヒップ比を比較したところ、最も大きい群間の差が0.01程度であった。本研究の場合、体脂肪率を補正した後のウエスト/ヒップ比の2群間の差は0.067と、かなり大きかった。また、Pmaxを従属変数、体脂肪量と群の効果を独立変数とした共分散分析において、群の影響を表す偏回帰係数が3.329であったが、平均値が10mmを越える程度であることを考慮すると、社会経済的状況や精神的ストレスの影響だけにしては大き過ぎる。

また、今回対象としたCP者は、Phenobarbital等の代表的な抗痙攣剤や筋弛緩剤を服用していた。こうした薬物が体脂肪の分布に影響を与える可能性は残されているが、現在それを支持するような知見は得られていない。また発作の種類によっては、体脂肪の分布に変化を与える可能性が指摘されている副腎皮質ホルモンを服用することがあるが、今回の対象者で日常的に服用している者はいなかった。

その他、現段階で体脂肪分布に影響を及ぼすことがわかっている他の要因としては喫煙があげられるが、本研究のCP者には日常的に喫煙している者はいなかった。以上より、CP者の性格特性等も可能性を否定できないが、CP者の最大の特徴である運動障害が、腹膜前脂肪厚に反映される内臓脂肪の選択的蓄積をもたらしているのではないかと考えられた。ただし、障害の内容や程度、日常の身体活動の質・量、性格特性等についてより詳細に調査し、先の考えを確認する必要がある。

尚、ウエスト／ヒップ比を群間で比較した場合も、明らかな差がみられた。それは、体脂肪率という量的な変数の影響を除いても、非常に大きな差であった。これまでに、本研究のような対象でウエスト／ヒップ比を調査した研究は他にないため、この結果は、先行研究を支持、あるいは問題点を指摘するものではない。ウエスト／ヒップ比は必ずしも内臓脂肪の蓄積を反映しているわけではなく、特に本研究の場合は、CP者における、腹部の内臓脂肪や皮下脂肪の蓄積によるウエストの増大のみならず、臀部の筋量の減少によるヒップの減少をも反映しているのではないかと考えられる。

## 5. 結論

全体として身体活動量が少ないと考えられるCP者において、体脂肪の分布を検討した。その結果、一般健常者と比べて、内臓脂肪量の指標である腹膜前脂肪厚が多い傾向がみられた。それは、体脂肪量の影響を補正しても同様であった。このことから、CP者と一般健常者の最も大きな違いである身体活動の質や量が、内臓脂肪を含む体脂肪の分布に影響を与えている可能性が示唆された。

## 第 4 章

### 1 2 週間の有酸素的運動の継続による体脂肪分布の変化

## 1. 目的

運動は、体脂肪分布に影響を与えている可能性がある要因の一つである。減量において、運動のみでは食事療法ほど速く大きな体重減少をもたらすことはできないが、食事療法の場合と異なり除脂肪量の減少を伴わず、また減量効果が維持しやすい (Pavlou et al., 1989)。減量に用いる運動としては、最近ではウエイトトレーニング等の無酸素運動も注目されつつあるが、脂肪を燃焼させる赤筋を利用し、長時間の継続が可能のためにある程度のエネルギー消費がもたらされる有酸素運動がほとんどの場合用いられ、減量における様々な効果もかなり明らかにされてきつつある。しかし、体脂肪の分布に対する効果については結論が得られたとはいえない。

Schwartz et al. (1991) は、内臓脂肪が相対的に蓄積した状態にある高齢の男性においては、ウォーキングやジョギング等の有酸素運動によって、内臓脂肪量の減少が最も顕著だったのに対し、内臓脂肪量がそれほど多くない若年男性では、内臓脂肪量や腹部皮下脂肪量より、むしろ臀部や大腿部の皮下脂肪量の減少の方が大きかったと報告している。しかし後者の結果は、皮下脂肪については腹部の減少が最も大きいという Despres et al. (1984) や Tremblay et al. (1988) をはじめとする他の研究結果と矛盾するものである。また Despres et al. (1991a) は、肥満した閉経前女性において減少の割合が最も顕著だったのは腹部皮下脂肪量であったのに対し、内臓脂肪量については有意な変化がみられなかったとしている。

このように、研究者によって異なった報告がなされているが、食事療法による減量の成果を報告した論文によると、いずれも内臓脂肪量の減少率の方が大きかったとしている。また Rebuffe-Scrive, et al. (1986, 1989, 1990b) によると、非肥満女性を除くと、カテコラミンによる脂肪の分解は、大腿く女性の乳房周囲、腹部皮下脂肪く大網や腸間膜、という順に活発であるという。そうであれば、特にある程度の強度以上では血中カテコラミンの濃度が高くなる運動による脂肪の減少の部位差も、それに対応することが予想される。そこで、日本人成人男女において、12週間にわたる有酸素運動によって皮下脂肪量と体内深部脂肪量のどちらが減少するか検討することを、本研究の目的とした。

## 2. 研究方法

有酸素運動による減量トレーニングプログラムの参加者は、東京大学教職員および学生から募集した。

トレーニング種目はウォーキングと自転車こぎの2つをともに行うようにし、期間は12週間とした。頻度は、ウォーキングが週6日、自転車こぎが週3日を目標とした。

強度の決定において、まず自転車こぎについては、コンビ社製の自転車エルゴメーターで、初めの2分間は男性は25ワット、女性は20ワットで自転車をこぎ、その後男性は毎分25ワット、女性は20ワットずつ負荷を漸増することにより、最大酸素摂取量を測定した。酸素摂取量は、Sensor Medics社製の呼気ガス分析器MMC-4100PCを用いて測定した。そして、その測定結果に基づいて、最大酸素摂取量の約60%になるよう個人別に強度を設定した。ウォーキングについては、トレッドミル上で毎分100mの速さで被検者に歩いてもらい、定常状態になったときの酸素摂取量を自転車こぎの場合と同じ分析器で測定した。実際のウォーキング時はこの速さで歩くように指示し、指示が徹底されるようにするために、ときどきトレッドミル上で100m/分で歩くようにした。

次に、2種目とも、男性は1日あたり250kcal、女性は150kcal安静時より余計にエネルギーを消費することになるように、各個人における各種目別の酸素摂取量の測定結果から、時間を決定した。その際、酸素摂取量1リットル=5kcalとして計算した。その結果、男女の各種目とも、平均でおよそ1日40分くらいの時間となった。今回は、このようなトレーニングを最後まで継続し、トレーニング実施量から推定した付加エネルギー量が10,000kcalを越えた男女各8名(計16名)の結果を、分析に用いた(表1)。平均年齢は男性が35歳、女性が34.1歳で、女性は全員が閉経前であった。

尚、食事については、被検者にトレーニング開始前から終了時まで変えないように指示した。また、トレーニング前後に各3日間の栄養調査を行った。

身体組成の測定は、第1章の「IV. 本論文で用いた方法論」に従った。

トレーニング前後の平均値の比較には対応のある t 検定を, 2 変数間の相関は, ピアソンの積率相関係数を用いた。

### 3. 結果

被検者全員の主なデータを表 4-1 (男性) と表 4-2 (女性) に示した。トレーニング実施前において, 男性は軽度肥満者の集団, それと比べると女性は比較的標準に近い身体組成を有する集団であった。

表 4-1. 被検者全員の主なデータ一覧 (男性) .

イニシャル	年齢	総消費エネルギー(kcal)		最大酸素摂取量(ml/min)	
		ウォーキング	自転車こぎ	前	後
E.S.	48	13,136	9,987	2,381	2,399
H.T.	20	17,160	9,319	2,534	3,128
K.T.	33	11,738	5,871	2,988	3,074
K.M.	24	15,454	12,693	3,352	3,592
O.Y.	21	4,611	6,063	2,652	2,385
S.K.	45	9,000	2,727	2,131	2,558
T.Y.	39	19,990	9,065	2,050	2,374
T.M.	50	8,459	2,688	2,600	2,753

表 4-1 (続き) .

イニシャル	体脂肪量(kg)		除脂肪量(kg)		体脂肪率(%)		皮下脂肪量(kg)		体内深部脂肪量(kg)	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
E.S.	11.7	11.0	54.5	52.7	17.7	17.2	8.7	6.7	3.0	4.3
H.T.	18.2	11.9	49.9	49.7	26.7	19.3	10.5	8.1	7.7	3.8
K.T.	9.8	7.8	51.1	51.4	16.1	13.1	6.1	5.2	3.7	2.5
K.M.	11.8	9.1	62.8	61.5	15.8	12.9	9.3	7.8	2.5	1.2
O.Y.	23.0	21.5	57.1	55.9	28.7	27.8	14.5	14.3	8.5	7.2
S.K.	21.5	19.9	65.7	65.9	24.7	23.2	12.5	11.6	9.0	8.3
T.Y.	15.4	10.9	46.8	49.5	24.8	18.0	5.9	6.0	9.5	4.9
T.M.	15.2	14.4	60.0	58.9	20.2	19.7	6.2	6.3	9.0	8.1

表4-2. 被検者全員の主なデータ一覧(女性).

氏名	年齢	総消費エネルギー(kcal)		最大酸素摂取量(ml/min)	
		ウォーキング	自転車こぎ	前	後
I.M.	32	8,765	10,963	2,135	2,079
K.Y.	23	11,046	9,319	2,052	2,042
K.M.	39	13,606	5,871	1,502	1,542
N.S.	27	10,367	12,693	1,466	1,540
O.T.	44	10,385	2,700	1,654	1,609
S.M.	20	7,937	4,692	2,270	2,391
S.K.	37	11,196	4,335	2,078	2,129
Y.N.	51	8,724	6,189	1,389	1,645

表4-2 (続き).

氏名	体脂肪量(kg)		除脂肪量(kg)		体脂肪率(%)		皮下脂肪量(kg)		体内深部脂肪量(kg)	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
I.M.	10.0	7.6	38.4	39.2	20.7	16.3	4.7	4.7	5.3	2.9
K.Y.	13.1	10.0	38.1	36.4	25.6	21.6	10.2	7.5	3.0	2.6
K.M.	12.9	9.8	39.6	40.5	24.6	19.5	8.1	7.2	4.8	2.7
N.S.	15.7	11.8	36.7	40.0	29.9	22.8	8.5	9.2	7.1	2.6
O.T.	11.5	10.3	35.5	34.8	24.5	22.9	7.7	6.5	3.8	3.8
S.M.	20.3	16.2	44.4	44.2	31.4	26.8	11.1	10.7	9.3	5.4
S.K.	11.1	9.9	46.0	44.6	19.5	18.2	9.3	7.8	1.8	2.1
Y.N.	12.9	11.5	42.3	42.0	23.4	17.2	7.4	6.7	5.5	4.9

12週間のトレーニング実施前後の身体組成の変化の平均を、表4-3に示した。有酸素運動による従来の研究とほぼ同様に、除脂肪量の変化はほとんどみられず、体重の減少量はほとんど体脂肪の減少量であった。体脂肪は男性で2.5kg、女性で2.6kg、体脂肪率はそれぞれ3.0%、3.7%減少していた。体脂肪を皮下脂肪と体内深部脂肪に分けると、トレーニング実施前は、皮下脂肪量の方が体内深部脂肪量より大きな値をとっており、体脂肪量のうちの約6割を占めている。しかし減少量についてみると、男女とも、皮下脂肪の平均減少量が0.9kgであるのに対し、体内深部脂肪量が1.5kg以上減少しており、絶対量の少ない体内深部脂肪の減少量が皮下脂肪の減少量の約2倍弱であった。

表4-3. トレーニング実施前後の身体組成 (数字は平均±標準偏差) .

変数	男 性		女 性	
	前	後	前	後
体重 (kg)	71.8±9.1	69.0±9.5**	53.6±5.6	51.1±5.1**
体脂肪率 (%)	21.9±5.0	18.9±5.0*	24.9±4.1	21.2±3.2**
除脂肪量 (kg)	56.0±6.6	55.7±6.0	40.1±3.7	40.2±3.5
皮下脂肪量 (kg)	9.2±3.2	8.3±3.1*	8.4±1.9	7.5±1.8*
体内深部脂肪量(kg)	6.6±3.0	5.0±2.6*	5.1±2.3	3.4±1.2*
P F S S (%)	59.1±14.1	63.3±12.3	63.0±12.3	69.2±7.9
ウエスト/ヒップ 比	0.88±0.04	0.87±0.05	0.80±0.05	0.81±0.05

\* P < 0.05, \*\* P < 0.01; 各性別における, トレーニング前後の対応のある t 検定.

特に, 体内深部脂肪量と皮下脂肪量については, トレーニングの前後でどのように変化したかを, 図4-1 (男性)と図4-2 (女性)に, 個人別にプロットした。男性においては, 一名(被検者E.S.; 表4-1参照)だけ体内深部脂肪量が1.3kg増加していた。また, 皮下脂肪量に増加がみられた者も2名(T.Y.とT.M.)いたが, いずれも0.1kgの変化であった。女性においても, 体内深部脂肪量が0.3kg増加したものが一名(S.K.), 皮下脂肪量が0.7kg増加していた者が一名(N.S.)存在した。しかし, 全体としては皮下脂肪量が各被検者とも少しずつ減少しているのに対し, 体内深部脂肪量の減少量には大きな個人差がみられた。また, 皮下脂肪の減少量が多い者は体内深部脂肪の減少量も多いとは限らず, むしろ女性の場合は相関係数(r)が-0.78(P=0.02)という負の相関がみられた(男性においては $r=-0.15$ ,  $P=0.72$ )。男女とも, 体脂肪の減少量が多い者ほど体内深部脂肪量が減少しているようである(男性; $r=0.88$ , 女性; $0.85$ , ともに $P<0.01$ )。また, 女性の場合, 体内深部脂肪量の初期値が大きい者ほど体内深部脂肪量の減少量が多い傾向があるようであった( $r=0.86$ ,  $P<0.01$ )が, 男性の場合はそれと比べると明確な関係はみられなかった( $r=0.50$ ,  $P=0.21$ )。皮下脂肪量については, 男女ともそのような関係はみられなかった(男性; $r=0.21$ ,  $P=0.62$ ; 女性; $r=0.37$ ,  $P=0.37$ )。



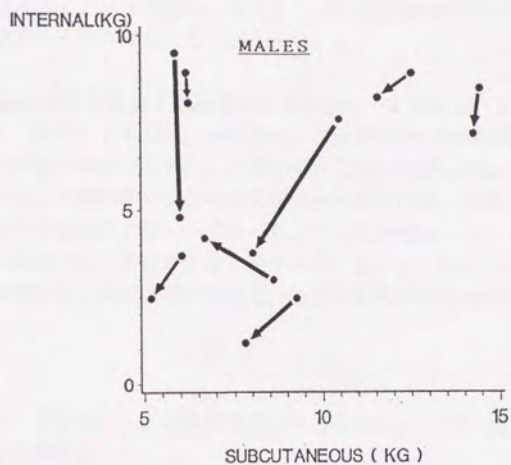


図4-1. 男性におけるトレーニングによる皮下脂肪量および体内深部脂肪量の変化.

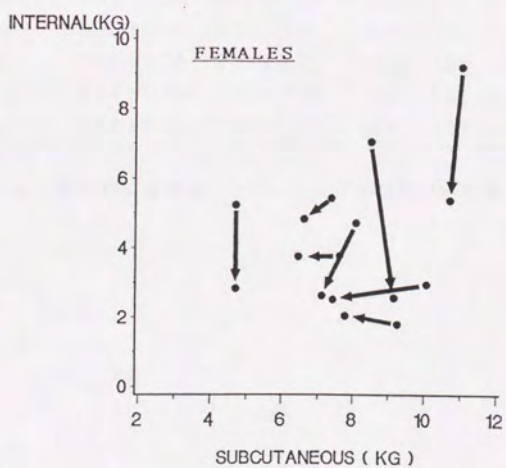


図4-2. 女性におけるトレーニングによる皮下脂肪量および体内深部脂肪量の変化.

尚、ウエスト/ヒップ比は、男女ともほとんど変化がみられず、5%水準で有意差もみられなかった(表4-3)。

各Segment別にみた皮下脂肪量の変化を表4-4と図4-3(男性)、図4-4(女性)に示した。男性では、絶対量の多い体幹の減少量が最も大きく0.59kgの減少がみられ、大腿がそれに次いだが0.23kgの減少であった。ただし、5%水準で有意な変化が認められたのは、体幹とわずかな減少ではあったものの上腕のみであった。一方女性では、トレーニング前においては大腿の皮下脂肪量が最も多かった。しかし、トレーニングによる減少量は体幹と大腿がほぼ同程度で、有意な変化がみられたのは、体幹のみであった。

表4-4. トレーニング実施前後における各Segmentの皮下脂肪量(数字は平均±標準偏差)。

Segment	男 性		女 性	
	前	後	前	後
顔+頸 (kg)	0.35±0.08	0.36±0.10	0.31±0.06	0.31±0.04
上腕 (kg)	0.79±0.30	0.67±0.28*	0.68±0.17	0.64±0.17
前腕 (kg)	0.30±0.07	0.28±0.08	0.23±0.03	0.23±0.08
体幹 (kg)	3.97±1.78	3.38±1.70*	2.60±0.84	2.21±0.65*
大腿 (kg)	2.84±0.88	2.61±0.90	3.65±0.84	3.27±0.94
下腿 (kg)	0.98±0.30	0.94±0.29	0.91±0.21	0.87±0.22

\* P < 0.05 ; 各性別における、トレーニング前後の対応のある t 検定。

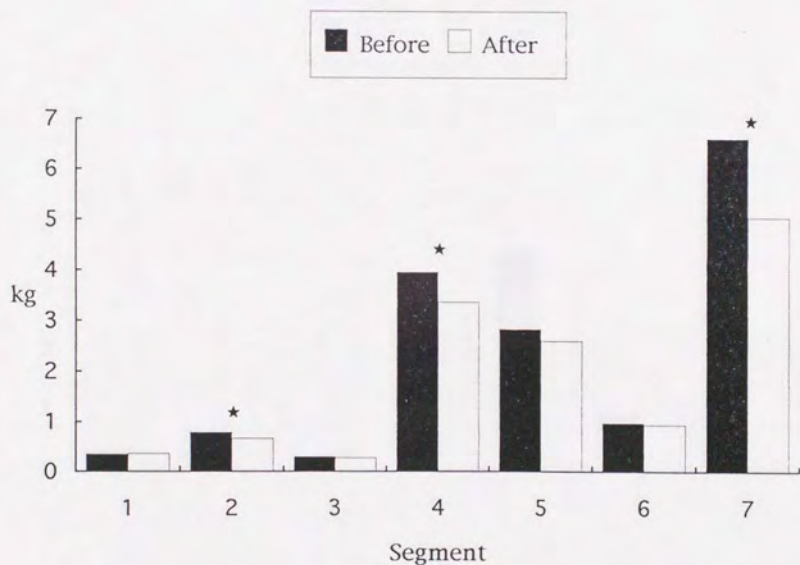


図4-3. 男性における, Segment別にみた身体各部の皮下脂肪量および体内深部脂肪量の変化(1;顔+頸, 2;上腕, 3;前腕, 4;体幹, 5;大腿, 6;下腿, 7;体内深部脂肪量). \*:トレーニング前後における対応のあるt検定(P<0.05).

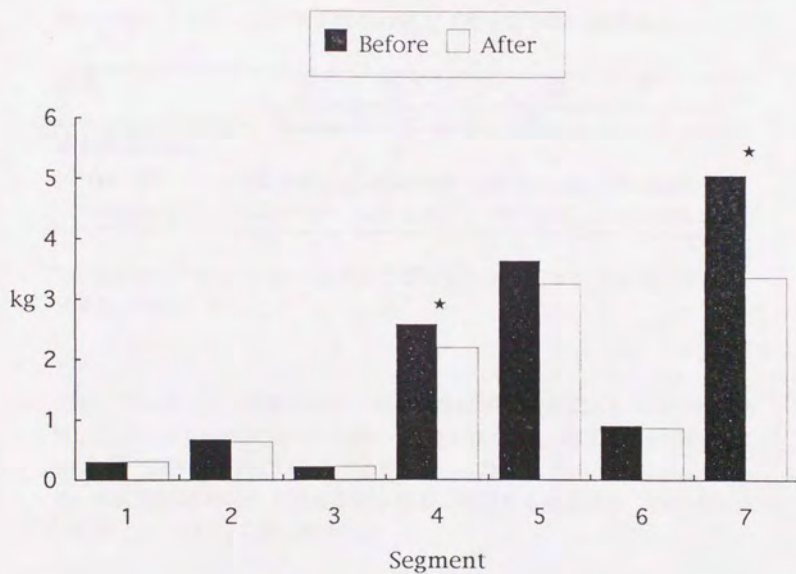


図4-4. 女性における, Segment別にみた身体各部の皮下脂肪量および体内深部脂肪量の変化(1;顔+頸, 2;上腕, 3;前腕, 4;体幹, 5;大腿, 6;下腿, 7;体内深部脂肪量). \*:トレーニング前後における対応のあるt検定 ( $P < 0.05$ ).

次に、減量に伴う最大酸素摂取量の変化を表4-5に示した。最大酸素摂取量の絶対量は、男女ともわずかに平均値が大きくなっており、体重あたりにすると増加の割合がより大きくなっていったが、5%水準で有意な変化を示したのは体重あたりの最大酸素摂取量のみであった。これら2つの変数の変化量と、体脂肪量、体内深部脂肪量、皮下脂肪量の変化量との相関係数を計算すると、男性において、体脂肪量の変化量と体重あたりの変化量に強い負の相関 ( $r = -0.85, P < 0.01$ ) が得られたのを除くと、5%水準で有意な相関はみられなかった(データは示さず)。

表4-5. トレーニング実施前後の体力(数字は平均±標準偏差)。

変数	男 性		女 性	
	前	後	前	後
最大酸素摂取量				
(ml/分)	2586±430	2783±444	1818±351	1872±327
(ml/kg/分)	36.0±7.4	40.7±8.8*	33.4±6.3	36.3±6.0**

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ; 各性別における、トレーニング前後の対応のあるt検定。

尚、トレーニング前後における栄養調査による総摂取エネルギーは、男性においてトレーニング開始直前が1910±354kcal、終了直前が2043±383kcal、女性においてはそれぞれ2087±412kcal、1786±472kcalであった。特に女性において差が大きかったが、両性とも有意な差ではなかった(男性;  $P = 0.62$ , 女性;  $P = 0.12$ )。

#### 4. 考察

運動が体脂肪分布に与える影響について検討するために、縦断的に運動前後の体脂肪分布の変化を追跡した研究は数多く行われてきたが、有酸素運動が皮下脂肪分布に明らかに影響を与えていると考えられる結果がいくつか得られている。すなわち、若年男性の体脂肪分布をCTを用いて追跡したところ、腹部皮下脂肪量より大腿部皮下脂肪量の減少率の方が大きかったという結果が得られた研究もある(Schwartz et al., 1991)が、運動が

主として体幹、特に腹部の皮下脂肪量を減少させる、という点についてはほぼ結論づけられており (Despres et al., 1985; Tremblay et al., 1986; Tremblay et al., 1988; Despres et al., 1991a), 本研究でもそれを支持する結果が得られた。特に女性では、トレーニング前の絶対量では体幹の皮下脂肪量より大腿部皮下脂肪量の方が大きかったにも関わらず、減少量は体幹の方が大きく、統計的にも有意な差がみられた。

しかし、臨床上最も問題があるとされている内臓脂肪については、未だ結論が得られているとはいえなかった。運動習慣の程度と内臓脂肪蓄積との関係を横断的にみようと試みた研究はいくつかあるが、その多くは、内臓脂肪蓄積をウエスト/ヒップ比で評価している。それらにおいて、運動習慣は、ウエスト/ヒップ比と独立な相関がみられない (Haffner et al., 1986; Kaye et al., 1990) か、あっても弱い関連 (Shimokata et al., 1989; Laws et al., 1990; Selby et al., 1990; Seidell et al., 1991; Keenan et al., 1992; Slattery et al., 1992) しかない。また、Tremblay et al. (1990) も運動習慣とウエスト/ヒップ比との関連をみており、強度の運動を行っていない者ほどウエスト/ヒップ比が大きいという傾向は多少みられたものの、その差はグループ間で0.01~0.03程度でしかなかった。このようにウエスト/ヒップ比でみる限り、運動習慣と内臓脂肪蓄積との関連は、あってもそれほど強くないようにみえる。また、体脂肪量とキャリバーで測定した皮下脂肪厚の和との比でトレーニングによる内臓脂肪蓄積の変化を評価した場合は、体脂肪量の減少の割合と、皮脂厚の和の減少の割合に差がなかったとする研究 (Despres et al., 1985; Bouchard et al., 1990) もあれば、体脂肪量の減少の割合より、皮脂厚の和の減少の割合の方が大きかったとする研究 (Tremblay et al., 1988), 体脂肪量の減少の割合の方が、皮脂厚の和の減少の割合より大きかった研究 (Despres et al., 1988) もあるというように、一定の結果が得られていない。縦断的な実験を行った本研究においても、ウエスト/ヒップ比はほとんど変化していない。それは、直接的にはウエストもヒップも同程度の割合で減少したことによる。しかし、ウエストは腹部の内臓脂肪量その他、皮下脂肪量や筋肉、内臓の量をも反映している。そのため、必ずしもウエスト/ヒップ比が内臓脂肪量の多寡を表すとは限らない (Ashwell et al., 1985; 松沢ら, 1986; Seidell et al., 1987; Ferland et al., 1989; Despres et al., 1991b; van der Kooy and Seidell, 1993)。したがって、内臓脂肪量に影響を与える要因を考える上では、ウエスト/ヒップ比のようなあいまいな指標を用いず、内臓脂肪をより直接的に測定する必要がある。その一例として、食事による減量で体脂肪分布がどのように変化したかを報告した研究において、ウエスト/

ヒップ比を用いると変化したとするもの (Wadden et al., 1988 ; Pasquali et al., 1989 ; Gray et al., 1991) と変化しなかったとするもの (Ashwell et al., 1986 ; Presta et al., 1990 ; Ross et al., 1991 ; van der Kooy et al., 1993a ; Zamboni et al., 1993) に分かれた。しかし、CTやMRIで検討すると、特に部位差はなかったとする研究がある (Leenen et al., 1992 ; Stallone et al., 1991) もの、ほとんどの研究 (Bosello et al., 1990 ; Chowdhury et al., 1993 ; Gray et al., 1991 ; Ross et al., 1991 ; van der Kooy et al., 1993a ; Zamboni et al., 1993) で、腹部皮下脂肪量より内臓脂肪量の減少率の方が大きかったとしている (表4-6)。このことから、ウエスト/ヒップ比を内臓脂肪蓄積とその変化の指標とするのは問題であるという考え方が支持される。

表4-6. 減量による体脂肪分布を追跡した主な研究結果.

ファーストネーム	性	年齢 (歳)	減量方法	体重		内臓脂肪量の	腹部皮下脂肪量の
				前	後	減少率 (%)	減少率 (%)
Bosello	女	34.8	食事	105.6	98.9	20.3	13.5
Gray	女	37	食事	89.7	79.2	27.1	12.7
Leenen	女	39	食事	85.8	74.1	33.0	30.0
Stallone	女	52	食事	94.8	76.0	35.7	33.1
van der Kooy	女	39	食事	86.5	73.9	34.9	29.9
Zamboni	女	38.8	食事	104.3	88.1	44.1	24.4
Chowdhury	男	44	食事	113.8	109.4	9.4	4.9
Leenen	男	41	食事	97.4	84.8	39.1	36.0
van der Kooy	男	40	食事	98.3	85.0	39.6	34.6
Despres	女	38.8	有酸素運動	90.0	86.3	2.7	11.0
Schwartz	男	28.2	有酸素運動	85.1	84.6	17.3	9.5
ク	ク	67.5	ク	79.6	77.1	24.6	20.2
Ross	女	36.7	食事+ 有酸素運動	96.0	85.1	34.4	22.6
Ross	女	35.5	食事+ 無酸素運動	86.1	75.0	34.4	22.6
安部*	女	19.2	食事+ 有酸素運動	53.4	52.0	32.4	9.2
本研究	女	34.1	有酸素運動	53.6	51.1	33.3	10.7
本研究	男	35.0	有酸素運動	71.8	69.0	24.2	9.8

\* 内臓脂肪量, 皮下脂肪量は本研究とほぼ同様の方法で測定。その他はCTまたはMRIで測定。

※内臓脂肪量, 皮下脂肪量の変化率は, それぞれの変化量の平均値を初期値の平均値で割って求めた。

※Despresの内臓脂肪量の変化を除くと, 全て(体重, 内臓脂肪量, 皮下脂肪量)5%水準で有意な変化を示した。

CTやMRI, あるいは本研究のように内臓脂肪量を直接的に測定して, 減量によるその変化を追跡した研究の主な結果を, 表4-6にまとめてみた。先にも述べたように, 超低エネルギー食など食事による減量の場合は, 内臓脂肪量の減少率の方が腹部皮下脂肪量の減少率より少し大きいという報告をしている研究がほとんどである。しかし, 有酸素的な運動のみによる腹部内臓脂肪断面積と皮下脂肪断面積の変化を追った研究結果によると, 本研究を除くと, 内臓脂肪の方が減少したという研究 (Schwartz et al., 1991) と皮下脂肪の方が減少したという研究 (Despres et al., 1991a) とがあり, 結果は相反している。本研究では, 両性において, 体内深部脂肪量は皮下脂肪量より絶対量が少ないにもかかわらず, 体内深部脂肪量の減



少量が皮下脂肪量の減少量の約2倍弱であり、また、初期値と比較した減少率をみると(表6)、安部ら(1994)を除く他研究と比べて内臓脂肪量の減少率が大きい。これは、運動による減量に限らず、最も一般的な減量法である食事による減量の場合と比べても、内臓脂肪量の減少率が大きいことを意味する。したがって本研究の場合は、有酸素運動の継続により、内臓脂肪が選択的に減少したと言える。

研究により結果に差がみられた原因としては、人種、性別、肥満の程度、年齢などの対象の特性の違いが考えられる。このうち、年齢については Schwartz et al.が若年者と高齢者とに分けて検討しているが、こと腹部の脂肪に関しては、どちらの年齢層でも内臓脂肪量の減少率の方が大きい。したがって、人種、性別、肥満の程度という他の3つの特性について考察を加えていく。

日本人が体脂肪分布に関してどのような特性をもっているかという点については不明な点も多いが、日系人は糖尿病患者が多く(Bergstrom et al., 1990)、そこには内臓脂肪蓄積が関与している可能性を示唆している研究もある(Newell-Morris et al., 1989)。一般に内臓脂肪は、脂肪の分解・合成ともに活発であるとされている(Bouchard et al., 1993)。以上のことから、日本人においては内臓脂肪の脂質代謝の感受性がより強いのではないかという仮説も考えうる。表6の中で日本人を対象とした研究は、本研究の他に食事管理した安部ら(1994)の報告があるが、ともに皮下脂肪量に比べて内臓脂肪量の減少率が他研究と比べて非常に大きい。この2つは、用いた方法論も他研究と異なっており、それがこのような違いをもたらした可能性が十分にあるが、この点については今後検討する必要がある。

性別や肥満の程度も、体脂肪分布に大きく関与する要因の一つである。一般に、男性より女性の方が減量において体重が減少しにくい(Despres, 1994)。体脂肪分布も女性の方が外的要因の影響を受けにくく(Puig et al., 1990)、腹部皮下脂肪や内臓脂肪については、男性と比べて体脂肪量の割には多くない(Sjostrom, 1991)。したがって、腹部皮下脂肪の場合、一般には男女とも他の部位の皮下脂肪より減少しやすいという結果が得られるが、女性では男性ほど顕著な減少を示さなかったという報告もある(Despres, 1994)。表6に示した食事による減量の効果をみると性差があるとは言えない。しかし、女性において有酸素運動により減量を行った Despres et al. (1991a) だけは、内臓脂肪量より腹部皮下脂肪量の減少率

の方が大きい。Rebuffe-Scrive et al. (1989, 1990b) によると、男性の場合は肥満の程度に関わらず、内臓脂肪の多くを占める門脈系の脂肪組織の方が、非門脈系の脂肪組織よりカテコラミンの刺激による脂肪分解が活発であったが、女性の場合は非肥満者の場合に限り、逆の傾向がみられたという。減量に用いた有酸素運動がカテコラミンの血中濃度を脂肪分解を促進するだけ増加させているとすれば、有酸素運動が内臓脂肪量より腹部皮下脂肪量の方を減少させることは、先の点からすると十分に考えられる。ただし、Despres et al.の対象は、Rebuffe-Scrive et al.によると門脈系の方が脂肪分解がやや活発であるとしている肥満女性である。その点からすると、矛盾があると思われる。本研究においては、体内深部脂肪量と皮下脂肪量の減少について、ほとんど性差はみられなかった。本研究の男女の被検者を比較すると、女性の方がそれほど肥満しておらず、そのため体内深部脂肪の絶対量も男性の方が多い。その点を考慮すると、女性は男性ほど体脂肪分布が減量を含む外的要因に左右されにくいのではないかという考え方とは、いくぶん異なった結果が本研究では得られたと言える。

本研究のように、有酸素運動により体内深部脂肪量が大きく減少するという結果が得られた原因については不明であるが、先にも述べたカテコラミンの刺激による脂肪分解の部位差がからんでいることは、十分考えられる。本研究で採用した運動強度は、強度の強い自転車こぎの方で最大酸素摂取量の約60%であったが、例えば最大酸素摂取量の2/3の強度で行った自転車こぎでは、カテコラミンのβレセプターの働きにより脂肪分解が亢進していたという (Arner et al., 1990)。したがって、自転車こぎの際に、カテコラミンの血中濃度がある程度上昇していることが予想される。しかし、ウォーキングの方はそれより弱い強度で行っており、安静時と比べて血中カテコラミン濃度にほとんど変化がなかった可能性もある。ただし、運動が運動後あるいは安静時の脂肪分解の部位差に影響を与えていることも考えられ (Wahrenberg et al., 1991)、脂肪分解に関与していると考えられるステロイドホルモンやインスリン等の運動時の分泌等も考慮した上で、そのメカニズムについて今後の検討が必要である。

本研究では、自転車こぎやトレッドミル上でのウォーキング時に酸素摂取量を測定し、それと被検者自身が記録した運動記録から、総消費エネルギーを計算してみた。その数値は、酸素摂取量測定時と実際の運動時の強度のずれや体力の変化、運動後の代謝の亢進を考慮していないこと、運動記録の精度という点で問題が多く、それほど正確なものとは考えにくい。

ある程度の目安になるとは思われる。その推定総消費エネルギーと体脂肪量の減少量とは、かなりのずれがみられる。例えば、男性の被検者H.T.は、推定総消費エネルギーは26,479kcalであり、体脂肪量に換算すると約3kgから4kg未満の減少が予想されるが、実際には体脂肪量が6.3kg減少していた。その逆の例もみられる。また、女性の方が総消費エネルギーはかなり少ないはずであるが、体脂肪の減少量は男女で同じであった。この点は、変えないように指示していた摂取エネルギーについて、栄養調査の結果、男性はわずかに増加、女性は減少していたことと関連があるかもしれない。しかし、男女とも統計的には有意な変化ではなく、またこうしたわずか3日間の栄養調査で厳密な検討はできない。このようなエネルギー計算上の不一致は、これまで行われてきた数多くの減量実験でもみられたことである(Despres, 1994)。Bouchard et al. (1990)が行った、双生児の過食実験においても、食事を含む生活をほぼ完全に管理していたにも関わらず、大きな個人差がみられた。しかし、その原因については未だ十分な説明がみつけられていない。

運動によって体内深部脂肪量の減少が大きいことに加えて、臨床的に都合のよい結果と言えるのは、体脂肪量の減少が大きい者ほど体内深部脂肪量の減少が大きかったことである。したがって、減量においては、体脂肪量を確実に減少させれば、体内深部脂肪量もそれに伴って減少していることになる。また、体内深部脂肪量の初期値が大きい者ほど減少量も大きいという傾向がみられたが、統計的に有意な結果が得られたのは女性のみで、男性においては相関係数が0.50と小さくはないものの、ある程度の個人差がみられた。

## 5. 結論

成人男女において、12週間にわたる有酸素的運動の継続により皮下脂肪量・体内深部脂肪量とも減少し、特に体内深部脂肪の減少量の方が大きかった。減量前の体内深部脂肪量は皮下脂肪量より少なかったにも関わらず、体内深部脂肪の減少量は、男女とも皮下脂肪の減少量の約2倍弱であった。この変化率の違いは、これまで食事による減量で報告されたものより大きかった。また、体脂肪量が大きく減少した者ほど、体内深部脂肪の減少量も大きかった。

以上より、有酸素的運動が体脂肪分布に影響を与えている可能性が示唆された。

## 第 5 章

### 成人男性における体重にあらわれない 肥満と体脂肪分布の関連

## 1. 目的

本論文では、第2章から第4章まで異なった対象と方法論で、身体活動と体脂肪分布との関係を検討した。第2章では、体内深部脂肪量は体脂肪量とともに変動し、身体活動量の多い者では体内深部脂肪量が非常に少ないという結果が得られた。それに対し第3章は、運動障害により身体活動量の少ない脳性麻痺者において、体脂肪量を考慮しても腹膜前脂肪厚が少ないという結果であり、第4章では、有酸素運動により、減量前の絶対量の少ない体内深部脂肪量が選択的に減少するという結果が得られている。

運動はまた、身体組成に関して、体脂肪量を減少させるだけでなく、除脂肪量を維持あるいは増大させる働きがあることも知られている

(Despres, 1994)。逆に、運動習慣の不足は、体脂肪量の増加と除脂肪量の減少を招く。その場合、体脂肪量と除脂肪量の和である体重はそれほど大きくないのに、体脂肪率だけが大きいという状態になることも考えられる。

以上のように、運動習慣は、体脂肪分布に影響を与えている可能性がある一方で、体重からみた肥満と体脂肪率との不一致にも寄与していると思われる。そこで、成人男女において、Body Mass Index (BMI) と水中体重秤量法から得られた体脂肪率の値とを比較することによって両者の不一致を評価し、体内深部型・皮下型という体脂肪分布との関連について検討した。

## 2. 方法

本研究は肥満の判定法を問題とするものである。そこで対象は、肥満であるか、またはその境界に近いと考えられる者とするために、水中体重秤量法から求めた体脂肪率が15%以上の成人男性30名とした。全ての被検者には、研究の目的・方法・危険性などについて事前に説明し、同意を得た。また、第2章と同様に、質問紙調査で、週一回以上かつ一回30分以上、定期的に運動しているとした者14名をActive群、それ以外の者を16名をSedentary群とした。本研究のActive群とSedentary群は、第2章のそれらとほぼ一致する。ただし、第2章のActive群のうち、一名だけ体脂肪率が15%未満であったため、本研究では対象から外した。逆に、第2章の

Very active群に属していた一名の、大学のラグビー部入部直後のデータは、体脂肪率が15%を越えていたため、本研究ではActive群に含めた。

身体計測は、本論文の他の研究と同様である。体脂肪分布の指標として、体脂肪量中に占める皮下脂肪量の割合(%)を表すPFSSを用いた。PFSSは、値が大きいと皮下脂肪量の割合が大きいことを、逆に小さいと体内深部脂肪量の割合が大きいことを示す。BMIは、体重(kg)÷身長(m)<sup>2</sup>で求めた。最大酸素摂取量は、第4章と同様の方法で、自転車エルゴメーターを用いて測定した。ただし、3名の被検者については、被検者の都合により最大酸素摂取量の測定を行うことができなかった。

BMIと体脂肪率の不一致の程度は、BMIを従属変数、体脂肪率を独立変数とする単回帰分析(最小2乗法)での残差で表し、それとPFSSとの関係を見た。また、2変数の関係を検討する場合は、ピアソンの積率相関係数を計算した。群間の平均を比較する場合は2つの標本の分散が等しいという仮説が棄却されるかどうかF検定を行ってから、それぞれの場合に応じて、独立な2群の平均値についてt検定を行った(武藤, 1995)。以上の分析は、Macintoshで統計解析ソフトStat View 4.0を用いて行った。

### 3. 結果

表5-1に、被検者の年齢および身体的特徴を示す。BMI、体脂肪率ともに、標準的な集団より少し大きい平均値をとっており、体脂肪率が20~25%の、いわゆる「軽度肥満者」(Huenemann et al., 1966)が多い。しかし、体脂肪率が20%未満の肥満でない者や、体脂肪率が30%以上の「重度肥満者」も含まれている。身体活動量の指標となる除脂肪量や最大酸素摂取量についても、比較的大きなばらつきがみられる。

表5-1. 被検者の年齢および身体的特徴の平均±標準偏差.

変数	平均±標準偏差 (最小値-最大値)
年齢 (歳)	31.5±10.8 (19.5-57.2)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.9± 4.1 (17.2-37.6)
体脂肪率 (%)	22.3± 4.8 (15.2-34.6)
除脂肪量 (kg)	56.8± 7.7 (40.7-70.7)
体脂肪量 (kg)	16.8± 6.2 ( 8.3-36.7)
皮下脂肪量 (kg)	9.3± 3.4 ( 3.1-16.7)
体内深部脂肪量 (kg)	7.5± 3.4 ( 2.5-20.0)
PFSS (%)	55.5± 9.5 (37.7-78.7)
ウエスト/ヒップ比	0.88± 0.06 (0.73-1.02)
最大酸素摂取量(l/min)	2.66± 0.48 (1.69-3.63)
ク (ml/kg/min)	37.1± 9.9 (24.2-64.4)

※最大酸素摂取量は、3名分が欠損値。

次に、主な変数間の相関行列を表5-2に示す。BMIは、体脂肪量、除脂肪量の両方と比較的強い正の相関があるが、体脂肪率とも  $r=0.74$  という正の相関をとっている。体内深部脂肪量と皮下脂肪量との間にも正の相関がみられるが、PFSSと他の変数との相関は、体脂肪率(図5-1)を含め、いずれも弱かった。除脂肪量と最大酸素摂取量との相関も弱く、最大酸素摂取量を体重あたりにした場合の除脂肪量との相関係数は、値の絶対値は大きくないが、負で有意であった。また、表5-3に示したように、年齢と諸変数との相関はいずれも強くない。体脂肪率やPFSSとの相関は、ともに有意ではなかった。

表5-2. 主な変数間の相関行列.

	%fat	FFM	FM	SFM	IFM	PFSS	WHR	Vo2max	Vo2max/wt	BMI
%fat		0.40*	0.93*	0.82*	0.87*	-0.16	0.57*	-0.26	-0.69*	0.74*
FFM			0.67*	0.72*	0.49*	0.28	0.51*	0.30	-0.42*	0.84*
FM				0.91*	0.91*	-0.06	0.66*	-0.06	-0.66*	0.90*
SFM					0.65*	0.34	0.65*	-0.08	-0.68*	0.93*
IFM						-0.45*	0.54*	-0.02	-0.51*	0.71*
PFSS							0.16	-0.00	-0.14	0.24
Vo2max									0.66*	0.04
Vo2max/wt										-0.65*

%fat; 体脂肪率(%), FFM; 除脂肪量(kg), FM; 体脂肪量(kg), SFM; 皮下脂肪量(kg), IFM; 体内深部脂肪量(kg), PFSS; 皮下脂肪量/体脂肪量×100, WHR; ウエスト/ヒップ比, Vo2max; 最大酸素摂取量(l/min), Vo2max/wt; 体重あたりの最大酸素摂取量(ml/kg/min), BMI; Body Mass Index(kg/m<sup>2</sup>)

\* P<0.05.

※最大酸素摂取量との相関係数のみ, 3名分の欠損値があったため, n=27 (他はn=30).

表5-3. 年齢と主な変数間の相関係数.

	%fat	FFM	FM	SFM	IFM	PFSS	WHR	Vo2max	Vo2max/wt	BMI
年齢	0.23	-0.43*	-0.32	-0.42*	-0.17	-0.28	-0.09	-0.00	-0.43*	0.40*

\* P<0.05.

※略字は表5-2に同じ.

※最大酸素摂取量との相関係数のみ, 3名分の欠損値があったため, n=27 (他はn=30).



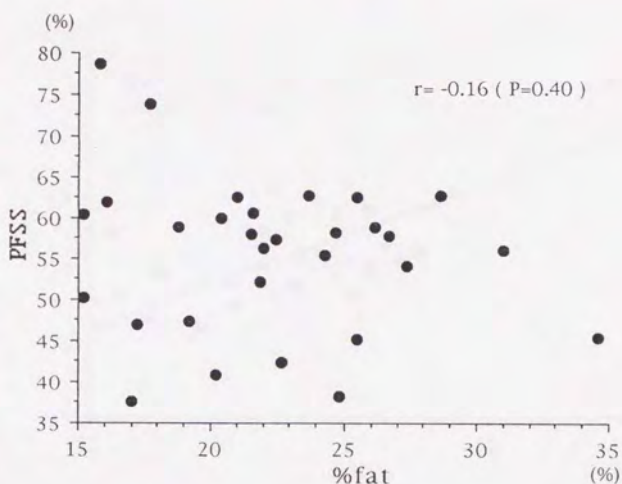


図5-1. PFSSと体脂肪率との関係.

図5-2に、本研究の被検者における体脂肪率とBMIとの関係を示した。 $r=0.74$ という比較的強い相関がみられたが、回帰直線から多少離れたところにプロットされる例も存在する。得られた回帰式は、

$$\text{BMI} = 11.52 + 0.64 \times \text{体脂肪率} + \text{残差}$$

であるが、実測値の回帰直線からのずれの大きさは残差で表現される。上の式を変形すると、

$$\text{残差} = \text{BMIの実測値} - \text{BMIの推定値}$$

となり、回帰直線の上側にプロットされる場合に得られる正の残差は、体脂肪率の割にBMIが大きい「筋肉質タイプ」であることを、逆に、回帰直線の下側にプロットされる場合に得られる負の残差は、体脂肪率の割にBMIが小さい「隠れ肥満タイプ」であることを表す。

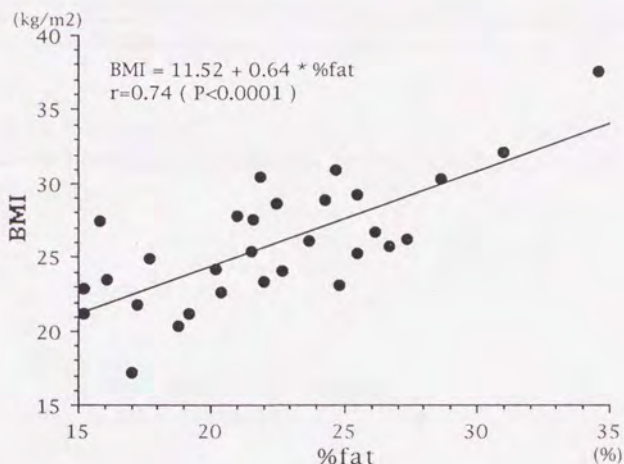


図5-2. BMIと体脂肪率との関係。

こうして得られた残差と主な変数間の相関係数を表5-4に示す。残差とPFSSの間には、5%水準で有意な正の相関 ( $r=0.54$ ) がみられ、残差が大きいほどPFSSも大きいという傾向がみられた。尚、表5-2と表5-3で示したように、体脂肪率や年齢はPFSSと有意な相関がみられなかったが、体脂肪率と年齢の影響を考慮した残差とPFSSとの間の偏相関係数を計算してみたところ、単相関の場合とほとんど同様で、0.51という値が得られた。また残差は、体脂肪量とは有意な相関がみられなかった ( $r=0.31$ ) 一方で、除脂肪量と強い正の相関 ( $r=0.81$ ) があった。ただし、最大酸素摂取量の絶対量との間には正の相関係数が得られたものの有意ではなく ( $P=0.09$ )、体重あたりの値とはほとんど相関がみられなかった。これらのうち、残差とPFSSとの関係を図5-3に示した。個人差が大きい、残差が大きいほどPFSSも大きいという傾向はみられる。

表5-4. 残差と主な変数間の相関係数.

	%fat	FFM	FM	SFM	IFM	PFSS	WHR	Vo2max	Vo2max/wt	BMI
残差	-0.00	0.81*	0.31	0.47*	0.09	0.54*	0.42*	0.34	-0.19	0.67*

\*  $P < 0.05$ .

※略字は表5-2に同じ.

※最大酸素摂取量との相関係数のみ, 3名分の欠損値があったため,  $n = 27$  (他は $n = 30$ ).

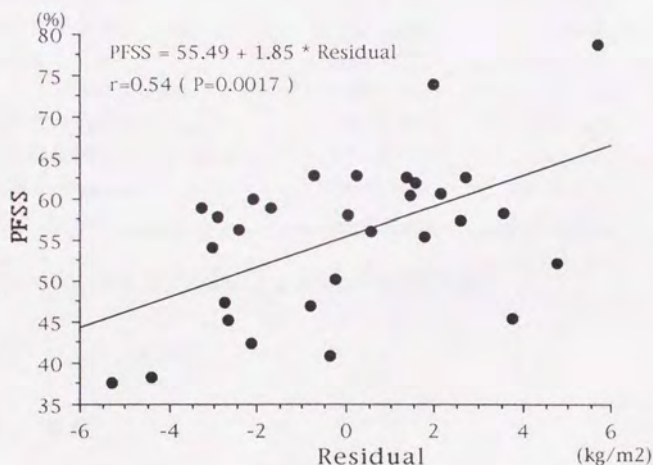


図5-3. BMIを従属変数, 体脂肪率を独立変数とする回帰分析で得られた残差と, PFSS (体脂肪量に占める皮下脂肪量の割合)との関係.

残差を含めた主な変数について, 日常の運動習慣で分けた2つの群別に平均±標準偏差を示した(表5-5)。体脂肪率や体脂肪量には群間に大きな差があったが, 除脂肪量には有意差がみられなかった。体脂肪分布に

ついてみると、体内深部脂肪量のみ有意差がみられ、皮下脂肪量、PFSS、ウエスト／ヒップ比については有意な差は得られなかった。最大酸素摂取量は、特に体重あたりでみたときに大きな差がみられたが、残差については、有意な差は得られなかった ( $P=0.13$ )。

表5-5. 残差を含む主な変数の群別における平均±標準偏差。

変数	Active群	Sedentary群
体脂肪率 (%)	19.2±3.2*	24.7±4.7
除脂肪量 (kg)	57.4±8.6	56.4±7.0
体脂肪量 (kg)	14.3±4.2*	19.1±6.9
皮下脂肪量 (kg)	8.1±2.9	10.4±3.6
体内深部脂肪量 (kg)	6.2±2.0*	8.7±3.9
PFSS (%)	56.2±10.3	54.8±9.1
ウエスト／ヒップ比	0.86±0.06	0.90±0.06
最大酸素摂取量 (l/min)	2.91±0.43*	2.42±0.41
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	43.1±10.4*	31.6±5.0
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.0±3.7	26.7±4.4
残差 (kg/m <sup>2</sup> )	0.83±2.94	-0.72±2.49

\*  $P<0.05$  (独立な t 検定による 2 群の平均値の比較)。

#### 4. 考察

本研究では、体脂肪率とBMIとの間の回帰直線を求め、その残差をとった。その残差は絶対的なものではなく、あくまで本研究の対象においてであるが、正確な身体組成と、BMIで表される見かけの肥満とのずれを示すものであり、残差が大きいことは体脂肪率の割にBMIの大きい「筋肉質タイプ」を、逆に小さければBMIの割に脂肪の多い「隠れ肥満タイプ」であることを意味する。したがって、本研究の結果を簡潔にまとめると、男性において、「体脂肪率の割にBMIの大きい筋肉質タイプの者の方が、皮下脂肪量の割合が大きい。逆に言えば、BMIの割に体脂肪率の大きい者の方が、体内深部脂肪量の割合が大きい」と言える。

残差に影響を与える要因としては、遺伝や食事など様々なものが考えられるが、おそらく運動習慣がかなり大きく寄与していると思われる。運動は、その種類によって効果に違いがみられるものの、概して、体脂肪量を減少させる反面、除脂肪量を維持あるいは増大させる働きがあるとされている (Despres, 1994)。本研究で、残差は除脂肪量と強い相関がみられたことから、残差に運動習慣が寄与しているという考えが支持されるはずである。

運動習慣は、体脂肪分布に影響を与えている可能性を指摘されている行動変数の一つでもある。しかし、例えば有酸素的な運動による減量についてみると、内臓脂肪断面積の減少率の方が大きかったとするもの

(Schwartz et al., 1991) と腹部皮下脂肪量の方が大きかったとするもの (Despres et al., 1991a) とがあり、結果は一致していない。本論文の第4章では、12週間におよぶ有酸素的な運動の継続により、体内深部脂肪量は皮下脂肪量より絶対量が少ないにもかかわらず、体内深部脂肪量の減少量が皮下脂肪量の減少量の約2倍であったという結果だった。

本研究の結果が得られた背景を考えると、運動習慣が、残差と体脂肪分布の両方に影響を与えている可能性がある (図5-4)。運動不足は除脂肪量の減少を招き、その結果、残差が負となる。すなわち、体脂肪率が大きい割にBMIは大きくない状態となる。一方で、運動が体内深部脂肪を選択的に減少させるのであれば、逆に運動不足が、体内深部脂肪量の相対的な増加 (PFSSの減少) を招くことが予想される。そのために、先に示したような結果が得られたのではないかと考えられる。

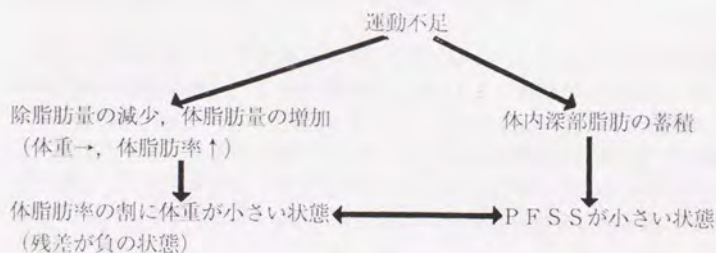


図5-4. 本研究のような結果が得られた背景についての仮説。

しかし、本研究の被検者を運動習慣で分けた2群の比較からみると、必ずしも上に示した仮説が裏付けられたとは言えなかった。例えば、図5-4の左側の流れにおいて、身体活動の異なる2群間で、体脂肪量や体脂肪率には大きな差がみられたが、除脂肪量や残差には有意差が得られなかった。右側についても、体内深部脂肪量は有意差がみられたのに対し、皮下脂肪量ではなかったという点では仮説に近い結果であるが、本研究で用いたPFSSについては有意差が得られていない。厳密には、運動習慣と言っても、その内容には運動の種類や強度、時間、頻度、継続年数といった要素があり、今回の2群が必ずしも反映していない面もある。例えば、運動の種類や強度に関連して、残差は除脂肪量とは強い正の相関がみられたものの、最大酸素摂取量とはほとんど相関がなかった。このことから、除脂肪量を増加させるような高強度の運動は体内深部脂肪量を減少させるが、最大酸素摂取量の増大につながるような中程度の運動強度では、体内深部脂肪量の減少はもたらさないのではないか、という可能性も考えられる。しかしそうした考え方は、本論文の第3章および第4章の結果とは相反する。今後、本研究のような結果が得られたメカニズムについて、更なる検討が必要である。

本研究では、皮下脂肪量が体脂肪量に占める割合を示すPFSSを、体脂肪分布の指標として用いた。第2章においては、体脂肪量が非常に少ない場合は、特に体内深部脂肪量が顕著に少ないという結果が得られている。その場合、体脂肪率が小さいときPFSSは大きくなり、両者の間に負の相関があることになり、残差とPFSSとの関係にも影響している可能性が懸念された。しかし、目的の違いから、第2章の対象からラグビー部学生を除いたに近い本研究の対象においては、体脂肪率とPFSSにはほとんど相関がみられなかったため、そのような問題はなかった。

尚、ウエスト/ヒップ比は、体内深部脂肪量、皮下脂肪量ともに同程度の強さの相関がみられ、その結果PFSSとはほとんど相関がなかった。松沢ら(1986)は、「特に日本人において、ウエスト/ヒップ比は内臓脂肪の蓄積を必ずしも強く反映していない」と報告しており、それと近い結果である。ただしそれにもかかわらず、ウエスト/ヒップ比は、PFSSの場合よりはわずかに小さい値ではあったが、残差と有意な相関係数が得られた。

本研究の結果は、肥満の判定法についても問題提起となるものである。体脂肪率からみると肥満であるにも関わらず、BMIのように身長・体重の

みから判定すると肥満に入らないような者については、肥満を見逃すだけでなく、体脂肪分布にも問題がある可能性が大きいと言える。現在、日本肥満学会はBMIによる肥満判定を強く推奨している。BMIの簡便さを考えると現状では仕方のないことかもしれないが、このような問題を包含しているということに注意を呼びかけるとともに、こうした問題のない、新しく簡便な肥満判定法の開発が望まれる。

## 5. 結論

体脂肪率が15%を越える成人男性において、BMIと体脂肪率の不一致の程度を、両者の間の回帰によって生ずる残差によって評価し、体内深部/皮下という体脂肪分布との関連を検討した。その結果、体脂肪率の割にBMIが小さい者ほど、体脂肪量に占める体内深部脂肪量の割合が大きいという傾向がみられた。

## 第 6 章

### 総 括



## 1. 本論文で得られた主な結果

本論文の各章で得られた主な結果は以下の通りである。

### [第2章]

身体活動量から分けられた3つの群間で、体内深部脂肪量は平均値に有意な差がみられた。特に、最も身体活動量が多い群を構成する大学のラグビー一部員は、体内深部脂肪量の絶対量が非常に少なかった。それと比較して、皮下脂肪量については群間の差がいくぶん小さく、有意差がみられたのは、最も身体活動量が多い群と最も少ない群（運動習慣がない群）の間のみであった。しかし、共分散分析の結果、体内深部脂肪量は体脂肪量によってかなり規定されており、群の効果は非常に小さかった。したがって、身体活動が特に体内深部脂肪量を選択的に減少させるというよりは、身体活動量が体脂肪量の変動を介して、体脂肪量との相関の強い体内深部脂肪量も規定していると考えられた。

### [第3章]

脳性麻痺者の主な障害は運動障害であり、下肢が自由に使えないため日常の移動をはじめとする身体活動が大きく制限されている。そこで、成人男性の脳性麻痺者と一般健常者の身体組成および体脂肪分布を比較した。その結果、脳性麻痺者の方が、内臓脂肪量の指標である腹膜前脂肪厚が大きく、体脂肪量を考慮しても同じ結果であった。よって、脳性麻痺者にみられるような身体活動量の少ない生活様式が、内臓脂肪量を選択的に増加させるのではないかと考えられた。

### [第4章]

成人男女に対して、12週間にわたりウォーキングと自転車こぎを行わせ、体脂肪分布の変化をみた。その結果、男女とも、除脂肪量はほとんど変化しない一方で、皮下脂肪量と体内深部脂肪量はともに減少したが、絶対量の少ない体内深部脂肪量の方が、皮下脂肪量の約2倍の減少を示した。特に、体脂肪の減少量が大きい者ほど、体内深部脂肪量の減少が顕著であった。このことから、有酸素的な運動の継続が、内臓脂肪を選択的に減少させるのではないかと考えられた。

### [第5章]

体脂肪率が15%を越える成人男性について、BMIと体脂肪率との不一致の程度と体脂肪分布との関係を検討した。その結果、体脂肪率は大きい割にBMIが小さい者ほど体内深部型肥満であった。このような結果が得られた背景として、本研究では十分な裏付けが得られなかったが、運動不足が体脂肪量を増大、除脂肪量を減少するため、体脂肪率は大きいのにBMIが大きくなること、および、他の章で確認されたように、運動不足が体内深部脂肪量を増加させていること、があるのではないかと考えた。これは、BMIによる肥満判定に対しても警鐘を鳴らすものである。

## 2. 体脂肪分布に対する身体活動の役割

本論文の中で、第2章から第4章は、身体活動が体脂肪分布に及ぼす影響を考察したものであった。先行研究の多くが、ウエスト／ヒップ比という体脂肪分布のとらえ方が不明確な指標を用いていたことを考えると、本研究で、ウエスト／ヒップ比より意味の明確な2種類の方法を使って、また様々な対象で検討したことには、意義があると思われる。

「身体活動」は様々なとらえ方ができるが、ここでは脂肪組織における脂肪の合成や分解に最も深く関わっている消費エネルギーや強度を中心に問題としながら、体脂肪分布との関係を考察していく。

3種類の研究では、いずれも、身体活動量が多い方が内臓脂肪の蓄積を抑えるのではないかと、いう結果であった。しかし、それぞれが問題とした身体活動の内容には、若干の差がある。すなわち、第2章では、大学のラグビー部のトレーニングという、全身の有酸素運動から高強度の無酸素運動までを網羅して行っている群と、一般の健常者が行っているウォーキングやジョギング、レクリエーション性の高い球技など、比較的軽度の運動を習慣としている群とを含んでいた。それに対して、第3章は、脳性麻痺者を対象としていた。彼らは、特に移動などにおいて、上腕や体幹の筋肉に対して強い負荷がかかることはあるため、上半身は一般健常者と同程度かそれ以上に発達している。しかし、全員が下肢に障害を持っているため、特に下腿の萎縮は顕著であり、歩行をはじめとする身体活動は一般的に少ない。そのため、総消費エネルギーなどに反映されるような全身性の比較的強度の弱い負荷は非常に少ないと考えられる。第4章では、最大酸素摂取量の約60%程度の強度による自転車こぎと、100m/分での速度が、対象者に課された。自転車こぎの強度は、運動生理学的な意味において多少個人差があると考えられるが、典型的ないわゆる有酸素運動に近い。こうしてみると、いずれも有酸素運動の影響は大きいと考えられるが、第2章のラグビーのように、高強度の無酸素運動の比重も大きいものも含まれている。

運動が内臓脂肪を選択的に減少させるメカニズムとして、筆者は、Rebuffe Scrive et al. (1989, 1990b) が指摘したように、「内臓脂肪が、カテコラミンの刺激に対して脂肪分解を促進されやすい部位の脂肪である」ことが背景にあると考えた。しかし、本研究でとりあげたような身体活動

においては、本当に血中のカテコラミン濃度の上昇がみられるとってよいのだろうか？

運動強度と血中カテコラミン濃度または交感神経系の活動との関係のみたものには、Robinson et al. (1966)、Haggendal et al. (1970)、Mazzeo and Marshall (1989)、Nakamura et al. (1991)などがあげられるが、最大酸素摂取量の50～60%前後、あるいは無酸素性作業閾値（乳酸性作業閾値、換気性作業閾値）のあたりから、加速度的に血中カテコラミンの濃度が上昇するようである。とすると、例えば第4章で被検者の行った運動はその境界を少し越えたくらいであろうし、第3章で脳性麻痺者と一般健全人に違いがあると考えられる身体活動は、むしろこの境界より弱い強度であると思われる。とすると、少なくとも以上2つの研究で問題としている身体活動では、血中カテコラミン濃度は、安静時と比べて劇的な変化が生じていたとは言えず、先に述べた筆者の考えは支持されなくなってしまふ。

しかし、トレーニングによって、カテコラミンの刺激に対する脂肪分解は、トレーニング直後 (Savard et al., 1987; Crampes et al., 1988) および安静時 (Despres et al., 1984; Leibel et al., 1989) に感受性が増大する。また、第3章や第4章のように運動習慣のない者の無酸素性作業閾値は、最大酸素摂取量に対する割合が低いと考えられる (Wasserman and Whipp, 1975)。したがって、もし血中のカテコラミン濃度の上昇が、最大酸素摂取量に対する割合 (例；最大酸素摂取量の約60%) というより無酸素性作業閾値のあたりで始まるというのであれば、それらの研究で問題とするような身体活動も、ある程度そうした効果が期待できるのではないかと思われる。最大酸素摂取量の2/3の強度で行った自転車こぎの間、主としてカテコラミンの $\beta$ 受容体を通じて、脂肪分解が調節 (促進) されたという報告もある (Arner et al., 1990)。

以上のようなことから、今回身体活動によって内臓脂肪が主として減少したと考えられる背景には、2種類のカテコラミン受容体の分布が異なることによる脂肪分解の部位差があること、そして、運動が血中のカテコラミン濃度や受容体の応答に影響を与えること、が多少なりとも関与しているのではないか、と思われる。Despres et al. (1991a) は、14週間にわたる減量を目的としたトレーニングの前後に安静時の血中エピネフリン濃度を測定しているが、変化がみられなかったとしている。しかし、その点を検証するには、例えば第4章やDespres et al.のように刺激に対する体脂肪

分布の変化を正確に評価するとともに、できれば運動中や運動前後の血中カテコラミンの動態を測定しなければならない。

ただし、他のホルモンも、カテコラミンの働きと関わりながら、何らかの関与があるはずである。例えば、カテコラミンの刺激による脂肪分解を促進するのではないかと考えられているテストステロン (Rebuffe-Scrive, 1988; Rebuffe-Scrive et al., 1989; Xu et al., 1990; Rebuffe-Scrive et al., 1991)は、レジスタンストレーニングでは血中濃度が上昇、持久的運動では減少するという (Kraemer, 1988; Hackney, 1989)。また、その他にも、それらにインスリンやコルチゾルなどを含めて数々のフィードバック機構が存在するため、単純に考えることはできない。

また、第4章では運動前後の体脂肪分布の変化をみているが、CTあるいはMRIを用いて、超低カロリー食 (VLCD) などの食事療法による減量時の内臓脂肪量の変化を追った研究が、最近いくつかみられる (Bosello et al., 1990; Gray et al., 1991; Stallone et al., 1991; Leenen et al., 1992; Chowdhury et al., 1993; vander Kooy et al., 1993a; Zamboni et al., 1993)。これらを見ると、いずれも腹部皮下脂肪断面積より内臓脂肪断面積の方が減少率が高い。とすると、特に運動でなくても、一般には減量すれば内臓脂肪の方が大きく減少すると言える。しかし、本論文の第4章においては、体内深部脂肪量は減量前の量が皮下脂肪量より少ないにも関わらず、減少量は皮下脂肪量の約2倍であった。これは、先の食事療法による場合よりもかなり大きい。また、第3章では、体脂肪量や腹部皮下脂肪厚を考慮しても、内臓脂肪量を強く反映する腹膜前脂肪厚が大きい傾向がみられた。これら2章の結果は、身体活動が内臓脂肪を選択的に減少させるなど、内臓脂肪の蓄積に関して特に大きな役割を果たしていると考えられる結果である。しかし、一方で第2章では、体脂肪量により体内深部脂肪量もかなり規定されるという結果であった。言い換えれば、体脂肪量を減少させるかが問題であり、身体活動によるかどうかなど、減量の方法は関係ないということになる。どちらにせよ、身体活動が多い方が体内深部脂肪量が少なくなるのは事実であり、代謝性疾患の予防・治療といった意味では、身体活動が重要なのは間違いない。しかし、身体活動が体内深部脂肪の蓄積に与える影響について、第2章と第3・4章とでは、そこから考えられる関与の仕方が異なっている。その原因はよくわからないが、身体活動の内容の違いが関係していることも考えられる。今後、身体活動の内容が異なれば体脂肪分布に与える影響も変わってくるのか、そしてその際、背景にどのような生理学的メカニズムがあるのかを研究していく必要がある。

### 3. 体脂肪分布に影響を与える要因に関する今後の研究の方向性

たびたび繰り返してきたように、体脂肪分布に関する研究の多くは、ウエスト/ヒップ比をその指標としてきた。しかし、腹部肥満をはじめ上半身肥満、中心性肥満、男性型肥満、そして場合によっては内臓脂肪蓄積型肥満の指標とさえされてきたウエスト/ヒップ比では、その意味は不明確であると言わざるを得ない。例えば、ウエスト/ヒップ比と内臓脂肪断面積/皮下脂肪断面積比との相関はそれほど強いものではなく (van der Kooy and Seidell, 1993)、日本人では特にその関係は弱いという指摘もある (松沢ら, 1986)。したがって、まず、内臓脂肪蓄積型肥満なのか、上半身肥満なのかなど、どのような体脂肪分布を問題とするか明確にしなければならない。その上で、例えば内臓脂肪蓄積型肥満をみなければ、内臓脂肪量を直接測るか、そうでなくとも、内臓脂肪量を強く反映する指標を用いて行う必要がある。体脂肪分布に影響を与える要因について研究する場合でも、できる限りこのようにして体脂肪分布を評価して行うべきである。また、これまでも数多く試みられてきたことではあるが、内臓脂肪の蓄積を簡便に評価する方法の開発が必要であろう。その点については、第3章で用いたSuzuki et al. (1993)の方法は、超音波で2部位を測定するだけでよいと、基礎データが若干不足している感はあるものの、今後幅広い応用可能性が期待できる方法ではないかと思われる。

本論文においては、身体活動が体内深部脂肪量の減少に寄与することは確かめられたが、第2章と第3・4章とではその寄与のしかたに違いがあるという結果だった。方法論の違いも原因の一つとして考えられるが、被検者の違いを含む、問題とした身体活動の内容の違いが関与しているのではないかと考えられる。有酸素運動と無酸素運動など運動強度をコントロールした研究や、例えば有酸素運動でも一回あたりの継続時間や頻度などを変えて検討した研究など、身体活動の内容によって体脂肪分布に対する影響がどのように異なるのか検討する必要がある。

また、本研究においても、先行研究によって得られた生理学的な知見等を背景に、実際の調査・実験研究では体脂肪分布と身体活動との関連のみを検討した。しかし、その場合、それが生理学的レベルではどのように説明できるかという点で、問題を残す。したがって今後は、Arner et al. (1990)のように、身体活動と生理学的要因を同時に定量化していくこ

とが望まれる。

第5章では、結果の得られた背景として、運動不足が大きな役割を果たしているのではないかと考えた。しかし、その点については十分に検討できたとは言えない。例えば、体脂肪率とBMIのずれを表す残差は、体脂肪分布の指標であるPFSSだけでなく、除脂肪量との相関が強かったことを一つの根拠に、運動不足が背景にあると考えたが、一般健常者が主に行っているような有酸素運動は、必ずしも除脂肪体重の増加を伴わない。このようなことも考慮しながら、そのメカニズムを検討していく必要がある。

また、体脂肪の分布には人種差があり、例えばアジア人のウエスト/ヒップ比は、白人などと比べて大きいようである (Tanphaichitr et al., 1990; Pierson et al., 1990)。また、つい最近まで、日本人の糖尿病人口は少ないと言われてきたが、今や40歳以上の約10人に一人はインスリン非依存性糖尿病であるという。しかも、シアトル在住の日系二世については、男性の約20%、女性の約16%が糖尿病で、これは米国の平均を大きく上回っている (Fujimoto et al., 1989)。これは、日本人の近い将来を暗示しているのかもしれない。そうした糖尿病は、内臓脂肪の蓄積との関連が最も強い疾患の一つであり (Sparrow et al., 1986; Fujioka et al., 1987)、先の日系二世についても、糖尿病に対する内臓脂肪の関与が報告されている

(Newell-Morris et al., 1989; Bergstrom et al., 1990)。しかも、筆者らとの共同研究で、甲田は、こうした点に関する研究報告を、第7回国際肥満会議 (トロント, 1994年) で発表している。それは、ウエスト/ヒップ比はBMIが大きいほど大きな値をとる傾向にあるが、日本人女性では、BMIの増加に伴うウエスト/ヒップ比の増加の割合が大きいという結果であった。すなわち、日本人は肥満すればするほど、白人と比べて、代謝の点でより危険な体脂肪分布に近づきやすいというのである。そこには、急激な生活様式の変化に対する不適応が背景にあると考えられる。本論文で、欧米の先行研究と比べ比較の結果が明確にでた研究がある (第4章) のは、先に述べたような点が背景にあるからなのかもしれない。したがって、白人で得られた研究結果をそのまま受け入れず、先のような点も考慮しながら、身体活動以外の要因を含めて、日本人についての研究を進めていくべきである。また、そうした研究が蓄積していけば、様々な観点から人種間の比較を行うことが可能となる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、東京大学教育学部4年生時から大学院6年間を通じ一貫して御指導いただくとともに、博士論文執筆に関して常に激励していただいた神戸大学の東郷正美教授に深く感謝いたします。

また、論文提出にあたり、の多大な御助言・御激励をいただいた東京大学大学院教育学研究科の衛藤隆教授に深く感謝いたします。

本研究は全て、現大阪教育大学助手の戸部秀之氏と東京大学大学院教育学研究科の甲田道子氏との共同研究として行ったものです。両氏には、多大な御協力および御助言いただき、深く感謝の意を表します。

また、大学院時代から多大な御助言・御激励をいただいた日本大学松戸歯学部講師の佐竹隆氏にも感謝します。

現在の勤務先である茨城大学教養部の服部恒明教授、松坂晃助教授、および東京医科歯科大学大学院の岩岡浩子氏にも、御激励ならびに御協力・御助言等いただきました。たいへん感謝しております。

本研究の大部分は、東京大学教育学部体育学・健康教育学（当時）と東京大学御殿下記念館の協力を得て行いました。研究を進めるにあたって多大なご尽力をいただきました現国際武道大学の谷口存子氏、現スポーツ医・科学研究所の田村真一氏、研究にご理解をいただきバックアップしていただいた宮下充正教授、武藤芳照教授、白山正人助教授をはじめ、健康教育学研究室および体育学・スポーツ科学研究所の先生方、大学院生、学部生の皆さんには深く感謝いたします。

最後に、12週間にわたる運動の継続をはじめ、非常に時間のかかる測定など御迷惑をかけながらも、いやな顔一つせず、筆者らの研究につきあっていただいた本研究の被検者の方々に、深く感謝の意を表します。



## 引用文献

- 安部 孝, 板井もりえ, 川上泰雄, 杉田正明, 川原 貴, 吉川宏起, 福永哲夫  
(1994):内臓蓄積脂肪に対する有酸素トレーニングと食事管理の効果.  
体力研究, 85, 65-72.
- Allen, T.H., M.T.Peng, K.P.Chen, T.F.Huang, C.Chang AND H.S.Fang(1956):  
Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear  
relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*, 5,  
346-352.
- Altman, P. AND D.Dittmer(1974):*Biology Data Book*, Vol.(全), 2nd Edn,  
1980, FASEB, Bethesda, MD.
- Arner, P., J.Bolinder, P.Engfeldt AND J.Ostman(1981):The antilipolytic effect  
of insulin in human adipose tissue in obesity, diabetes mellitus,  
hyperinsulinemia and starvation. *Metabolism*, 30, 753-760.
- Arner, P., E.Kriegholm, P.Engfeldt AND J.Bolinder(1990):Adrenergic  
regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. *J.Clin.  
Invest.*, 85, 893-898.
- Bandini, L.G., D.A.Schoeller, N.K.Fukagana, L.Wykes AND W.H.Dietz.(1991):  
Body composition and energy expenditure in adolescents with cerebral  
palsy or myelodysplasia. *Pediatr.Res.*, 29, 70.
- Barrett-Connor, E. AND K.T.Khaw(1989):Cigarette smoking and increased  
central adiposity. *Ann.Intern.Med.*, 111, 783-787.
- Bergstrom, R.W., L.L.Newell-Morris, D.L.Leonetti, W.P.Shuman, P.W.Wahl  
AND W.Y.Fujimoto(1990):Association of elevated fasting C-peptide and  
increased intra abdominal fat distribution with development of NIDDM  
in Japanese-American men. *Diabetes*, 39, 104-114.

- Berlan, M., L. Dang-Tran, M. Lafontan AND Y. Denard (1981): Influence of hypocaloric diet on alpha-adrenergic responsiveness of obese human subcutaneous adipocytes. *Int.J.Obes.*, 5, 145-153.
- Bjorntorp, P. (1988): The associations between obesity, adipose tissue distribution and disease. *Acta Med.Scand., Suppl.*, 723, 121-134.
- Bjorntorp, P. (1991a): Adipose tissue distribution and function. *Int.J.Obes.*, 15(Suppl.2), 67-81.
- Bjorntorp, P. (1991b): Visceral fat accumulation: the missing link between psychosocial factors and cardiovascular disease? *J. Intern. Med.*, 230, 195-201.
- Bolinder J., P. Engfeldt, J. Ostman AND P. Arner (1983): Site differences in insulin receptor binding and insulin action in subcutaneous fat of obese females. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 57, 455-461.
- Booth, R.A.D., B.A. Goddard AND A. Paton (1966): Measurement of fat thickness in man: a comparison of ultrasound, calipers and electrical conductivity. *Br.J.Nutr.*, 20, 719-725.
- Borkan, G.A., D.E. Hults, J. Cardarelli AND B.A. Burrows (1982): Comparison of ultrasound and skinfold measurements in assessment of subcutaneous and total fatness. *Am.J. Phys. Anthropol.*, 58, 307-313.
- Borkan, G.A., D.E. Hults, S.G. Gerzof, A.H. Robbins AND C.K. Silbert (1983): Age changes in body composition revealed by computed tomography. *J. Gerontol.*, 38, 673-677.
- Bosello, O., M. Zamboni, F. Armellini, I. Zocca, I.A. Bergamo Andreis, C. Smacchia, M.P. Milani AND L. Cominacini (1990): Modifications of abdominal fat and hepatic insulin clearance during severe caloric restriction. *Ann. Nutr. Metab.*, 34, 359-365.
- Bouchard, C. (1989): Genetic factors in obesity. *Med. Clin. North America*, 73, 67-81.

- Bouchard,C., L.Perusse, C.Lebanc, A.Tremblay AND G.Theriault(1988):  
Inheritance of the amount and distribution of human body fat. *Int.J.  
Obes.*, 12, 205-215.
- Bouchard,C., A.Tremblay, J.P.Despres, A.Nadeau, P.J.Lupien, G.Theriault,  
J.Dussault, S.Moorjani, S.Pinault AND G.Fournier(1990):The response  
to long-term overfeeding in identical twins. *N.Engl.J.Med.*, 322, 1477-  
1482.
- Bouchard,C., J.P.Despres AND P.Mauriege(1993):Genetic and nongenetic  
determinants of regional fat distribution. *Endocrine Reviews*, 14, 72-  
93.
- Brown,W.J. AND P.R.M.Jones(1977):The distribution of body fat in relation  
to habitual activity. *Ann.Hum.Biol.*, 4, 537-550.
- Bullen,B.A., F.Quaade, E.Olesen AND S.A.Lund(1965):Ultrasonic reflections  
used for measuring subcutaneous fat in humans. *Hum.Biol.*, 37, 377-  
384.
- Casimirri,F., R.Pasquali, M.P.Cesari, N.Melchionda AND L.Barbara(1989):  
Interrelationships between body weight, body fat distribution and  
insulin in obese women before and after hypocaloric feeding and weight  
loss. *Ann.Nutr.Metab.*, 33, 79-87.
- Chien,S., M.T.Peng, K.P.Chen, T.F.Huang, C.Chang AND H.S.Fang(1975):  
Longitudinal studies on adipose tissue and its distribution in human  
subjects. *J.Appl.Physiol.*, 39, 825-830.
- Chowdhury,B., H.Kvist, B.Andersson, P.Bjorntorp AND L.Sjostrom(1993):  
CT-determined changes in adipose tissue distribution during a small  
weight reduction in obese males. *Int.J.Obes.*, 17, 685-691.
- Chowdhury,B., L.Sjostrom, M.Alpsten, J.Kostanty, H.Kvist AND R.Lofgren  
(1994):A multicompartiment body composition technique based on  
computerized tomography. *Int.J.Obes.*, 18, 219-234.

- Crampes, F., M. Beauville, D. Riviere, M. Garrigues AND M. Lafontan (1988):  
Lack of desensitization of catecholamine induced lipolysis in fat cells  
from trained and sedentary women after physical exercise. *J. Clin.  
Endocrinol. Metab.*, 67, 1011-1017.
- Crandall, D.L. AND M. DiGirolamo (1990): Hemodynamic and metabolic  
correlates in adipose tissue: pathophysiologic considerations. *FASEB J.*, 4,  
141-147.
- Davies, P.S.W., P.R.M. Jones AND N.G. Norgan (1986): The distribution of  
subcutaneous and internal fat in man. *Ann. Hum. Biol.*, 13, 189-192.
- Despres, J.P. (1994): Physical activity and adipose tissue. In: Bouchard, C. et  
al., Physical activity, fitness, and health: international proceedings and  
consensus statement. 358-368, Human Kinetics Publishers, Inc.,  
Champaign.
- Despres, J.P., C. Bouchard, A. Tremblay, R. Savard, AND M. Marcotte (1984):  
Effects of aerobic training on fat distribution in male subjects. *Med. Sci.  
Sports Exerc.*, 17, 113-118.
- Despres, J.P., A. Tremblay, A. Nadeau AND C. Bouchard (1988): Physical  
training and changes in regional adipose tissue distribution. *Acta Med.  
Scand., Suppl.*, 723, 205-212.
- Despres, J.P., S. Moorjani, P.J. Lupien, A. Tremblay, A. Nadeau AND C. Bouchard  
(1990): Regional distribution of body fat, plasma lipoproteins, and  
cardiovascular disease. *Arteriosclerosis*, 10, 497-511.
- Despres, J.P., M.C. Pouliot, S. Moorjani, A. Nadeau, A. Tremblay, P.J. Lupien,  
G. Theriault AND C. Bouchard (1991a): Loss of abdominal fat and  
metabolic response to exercise training in obese women. *Am. J. Physiol.*,  
261, E159-E167.
- Despres, J.P., D. Prud'homme, M.C. Pouliot, A. Tremblay, AND C. Bouchard  
(1991b): Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise  
training in obese women. *Am. J. Physiol.*, 261, E159-E167.

- Engfeldt,P. AND B.Linde(1992):Subcutaneous adipose tissue blood flow in the abdominal and femoral regions in obese women:effect of fasting. *Int.J.Obes.*, 16, 875-879.
- Entenman,C., W.H.Goldwater, N.S.Ayres AND A.R.Behnke Jr.(1958): Analysis of adipose tissue in relation to body weight loss in man. *J. Appl.Physiol.*, 13, 129-139.
- Enzi,G., M.Gasparo, P.R.Biondetti, D.Fiore, M.Semisa AND F.Zurlo(1986): Subcutaneous and visceral fat distribution according to sex, age, and overweight, evaluated by computed tomography. *Am.J.Clin.Nutr.*, 44, 739-746.
- Evans,DJ., R.G.Hoffmann, R.K.Kalkhoff AND A.H.Kissebah(1983): Relationship of androgenic activity to body fat topography, fat cell morphology, and metabolic aberrations in premenopausal women. *J. Clin.Endocrinol.Metab.*, 57, 304-310.
- FainJ.N. AND J.A.Garcia-Sainz(1983):Adrenergic regulation of adipocyte metabolism. *J.Lipid Res.*, 24, 945-966.
- Fidanza,F., A.Keys AND J.T.Anderson(1953):Density of body fat in man and other mammals. *J.Appl.Physiol.*, 6, 252-256.
- Fujimoto,W.Y., R.W.Bergstrom, L.Newell-Morris AND D.L.Leonetti(1989): Nature and nurture in the etiology of type 2 diabetes mellitus in Japanese Americans. *Diab.Metab.Rev.*, 5, 607-625.
- Fujioka,S., Y.Matsuzawa, K.Tokunaga AND S.Tarui(1987):Contribution of intra-abdominal fat accumulation to the impairment of glucose and lipid metabolism in human obesity. *Metabolism*, 36, 54-59.
- Fujioka,S., Y.Matsuzawa, K.Tokunaga, Y.Keno, T.Kobatake AND S.Tarui (1991):Treatment of visceral fat obesity. *Int.J.Obes.*, 15(Suppl.2), 59-65.

深津時吉(1979):脳性麻痺の心理. 馬場一雄, 小林登編集主幹, 鈴木昌樹, 小林登編集企画「小児科Mook No.7. 脳性麻痺」, 219-229, 金原出版, 東京.

福永哲夫, 金久博昭(1990):日本人の体肢組成. 8-20, 朝倉書店, 東京.

学校保健用語辞典編集委員会(1993):学校保健用語辞典. 324, 東山書房, 京都.

Garn,S.M.(1955):Applications of pattern analysis to anthropometric data. *Ann.N.Y.Acad.Sci.*, 63, 537-552.

Garrow J.S.(1974):Energy Balance and Obesity in Man, 232-234, North-Holland Publishing Company,Amsterdam.

Georges,E., W.H.Mueller AND M.L.Wear(1991):Body fat distribution: Associations with socioeconomic status in the Hispanic Health and Nutrition Examination Survey. *Am.J.Hum.Biol.*, 3, 489-501.

Georges,E., W.H.Mueller AND M.L.Wear(1993):Body fat distribution in men and women of the Hispanic health and nutrition examination survey of the United States:associations with behavioral variables. *Ann.Hum. Biol.*, 20, 275-291.

Gray,D.S., K.Fujioka, P.M.Colletti, H.Kim, W.Devine, T.Cuyegkeng AND T. Pappas(1991):Magnetic resonance imaging used for determining fat distribution in obesity and diabetes. *Am.J.Clin.Nutr.*, 54, 623-627.

Grenman,S., T.Ronnemaa, K.Irjala, H.L.Kaihola AND M.Gronroos(1986):Sex steroid, gonadotropin, cortisol, and prolactin levels in healthy, massively obese women:correlation with abdominal fat cell size and effect of weight reduction. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*, 63, 1257-1261.

Hackney,A.C.(1989):Endurance training and testosterone levels. *Sports Med.*, 8, 117-127.

- Haffner,S.M., M.P.Stern, H.P.Hazuda, J.Pugh, J.K.Patterson AND R.Malina (1986):Upper body and centralized adiposity in Mexican Americans and Non-Hispanic whites:relationship to body mass index and other behavioral and demographic variables. *Int.J.Obes.*, 10, 493-502.
- Haffner,S.M., M.S.Katz AND J.F.Dunn(1991):Increased upper body and overall adiposity is associated with decreased sex hormone binding globulin in postmenopausal women. *Int.J.Obes.*, 15, 471-478.
- HaggendalJ., L.H.Hartley AND B.Saltin(1970):Arterial noradrenaline concentration during exercise in relation to the relative work levels. *ScandJ.Clin.Lab.Invest.*, 26, 337-342.
- Harrison,G.G., E.R.Buskirk, J.E.L.Carter, F.E.Johnston, T.G.Lohman, M.L. Pollock, A.F.Roche AND J.Wilmore(1988):Skinfold thickness and measurement technique. In:Lohman,T.G. et al., *Anthropometric Standardization Reference Manual*, 55-70, Human Kinetics Publishers, Inc., Champaign.
- Hattori,K., N.Numata, M.Ikoma, A.Matsuzaka AND R.R.Danielson(1991):Sex differences in the distribution of subcutaneous and internal fat. *Hum. Biol.*, 63, 53-63.
- Hattori,K., A.Matsuzaka, H.Iwaoka, K.Ohno AND H.Mitani(1994): Determination of body volume in normal adults and in patients with cerebral palsy by the sulfur hexafluoride(SF6) dilution technique. *Am.J. Hum.Biol.*, 6, 651-657.
- Hauner,H., H.H.Ditschuneit, S.B.Pal, R.Moncayo AND E.F.Pfeiffer(1988):Fat distribution, endocrine and metabolic profile in obese women with and without hirsutism. *Metabolism*, 37, 281-286.
- Healy,M.J.R. AND J.M.Tanner(1981):Size and shape in relation to growth and form. *Symp.Zool.Soc.Lond.*, 46, 19-32.

- Hiramatsu,R., K.Yoshida AND T.Sato(1983):A body measurement to evaluate the pattern of fat distribution in central obesity. *JAMA*, 250, 3174-3178.
- HirschJ., S.K.Fried, N.K.Edens AND R.L.Leibel(1989):The fat cell. *Med. Clin.North America*, 73, 83-96.
- Horber,F.F., R.M.Zurcher, H.Herren, M.A.Crivelli, G.Robotti AND F.J.Frey (1986):Altered body fat distribution in patients with glucocorticosteroid treatment and in patients on longterm dialysis. *AmJ.Clin.Nutr.*, 43, 758-769.
- 保志 宏(1989):生体の線計測法, 274-281, てらべいあ, 東京.
- Huenemann,R.L., M.C.Hampton, L.R.Shapiro AND A.R.Behnke(1966): Adolescent food practices associated with obesity. *Fed.Proc.*, 25, 4-10, 1966.
- 茨城大学健康・スポーツ科学研究会編(1995):身体活動の科学, 大修館書店, 東京.
- Indech,G.D., Sanjeev, IJit AND F.E.Johnston(1991):Age, sex and socioeconomic correlates of fat patterning among adults from the Chandigarh Zone of northwest India. *Ann.Hum.Biol.*, 18, 463-470.
- 岩岡究典, 吉岡伸彦(1986):最大酸素摂取量の測定. 宮下充正編「一般人・スポーツ選手のための体力診断システム」 92-100, ソニー企業, 東京.
- Jensen,M.D., M.W.Haymond, J.E.Gerich, P.E.Cryer, J.M.Miles(1987):Lipolysis during fasting: decreased suppression by insulin and increased stimulation by epinephrine. *J.Clin.Invest.*, 79, 207-213.
- Kaye,S.A. AND A.R.Folsom(1991):Is serum cortisol associated with body fat distribution in postmenopausal women? *Int.J.Obes.*, 15, 437-439.



- Kaye, S.A., A.R.Folsom, R.J.Prineas, J.D.Potter AND S.M.Gapstur(1990):The association of body fat distribution with lifestyle and reproductive factors in a population study of postmenopausal women. *Int.J.Obes.*, 14, 583-591.
- Kaye, S.A., A.R.Folsom, D.R.Jacobs, Jr., G.H.Hughes AND J.M.Flack(1993): Psychosocial correlates of body fat distribution in black and white young adults. *Int.J.Obes.*, 17, 271-277.
- Keenan, N.L., D.S.Strogatz, S.A.James, A.S.Ammerman AND B.L.Rice(1992): Distribution and correlates of waist-to-hip ratio in black adults: The Pitt County Study. *Am.J.Epidemiol.*, 135, 678-684.
- Keno, Y., Y.Matsuzawa, K.Tokunaga, S.Fujioka, T.Kawamoto, T.Kobatake AND S.Tarui(1991): High sucrose diet increases visceral fat accumulation in VMH-lesioned obese rats. *Int.J.Obes.*, 15, 205-211.
- Kissebah, A.H., N.Vydelingum, R.Murray, D.J.Evans, A.J.Hartz, R.K. Kalkhoff AND P.W.Adams(1982): Relation of body fat distribution to metabolic complications of obesity. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*, 54, 254-260.
- 北川 薫(1984):肥満者の脂肪量と体力. 27-32, 杏林書院, 東京.
- 北川薫, 宮城 修, 塚中敦子, 松尾浩世, 桜井佳世(1993):スポーツ競技者の皮膚の圧縮率. *体力科学*, 42, 684.
- Kohrt, W.M., M.T.Malley, G.P.Dalsky AND J.O.Holloszy(1992):Body composition of healthy sedentary and trained, young and older men and women. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 24, 832-837.
- 今野道勝(1982):栄養と運動と健康. 朝倉書店, 東京.
- Kotani, K., K.Tokunaga, S.Fujioka, T.Kobatake, Y.Keno, S.Yoshida, I. Shimomura, S.Tarui AND Y.Matsuzawa(1994):Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese. *Int.J.Obes.*, 18, 207-212.

- Kraemer,W.J.(1988):Endocrine responses to resistance exercise. *Med.Sci. Sports Exerc.*, 20(Suppl.), S152-S157.
- Kral,J.G. AND H.R.Kissileff(1990):Women with abdominal obesity eat like men. Abstract of International Symposium on Regional Fat Distribution and Morbidity, 18.
- Krotkiewski,M. AND P.Bjorntorp(1986):Muscle tissue in obesity with different distribution of adipose tissue. Effect of physical training. *Int. J.Obes.*, 10, 331-341.
- 熊谷秋三, 江村菜穂子, 近藤芳昭, 江口 閣, 西往昌裕(1991):閉経前肥満女性の糖・脂質代謝に及ぼす性ステロイドホルモン, 体脂肪分布, 体力および身体運動効果. *体力研究*, 77, 19-37.
- Lanska,D.J., M.J.Lanska, A.J.Hartz AND A.A.Rimm(1985):Factors influencing anatomical location of fat tissue in 52,953 women. *Int.J. Obes.*, 9, 29-38.
- Lapidus,L., C.Bengtsson, B.Larsson, K.Pennert, E.Rybo AND L.Sjostrom (1984):Distribution of adipose tissue and risk of cardiovascular disease and death:a 12-year follow-up of participants in the population study of women in Gothenburg, Sweden. *Br.Med.J.*, 289, 1261-1263.
- Lapidus,L., C.Bengtsson, T.Hallstrom AND P.Bjorntorp(1989):Obesity, adipose tissue distribution and health in women-results from a population study in Gothenburg, Sweden. *Appetite*, 12, 25-35.
- Larsson,B., K.Svardsudd, L.Welin, L.Wilhelmsen, P.Bjorntorp AND G. Tibblin(1984):Abdominal adipose tissue distribution, obesity and risk of cardiovascular disease and death:13 year follow-up of participants in the study of men born in 1913. *Br.Med.J.*, 288, 1401-1404.
- Larsson,B., J.Scidell, K.Svardsudd, L.Welin, G.Tibblin AND P.Bjorntorp (1989):Obesity, adipose tissue distribution and health in men. *Appetite*, 13, 37-44.

- Laws, A., R.B. Terry AND E. Barrett-Connor (1990): Behavioral covariates of waist-to-hip ratio in Rancho Bernardo. *Am.J.Publ.Health*, 80, 1358-1362.
- Leenen, R., K. van der Kooy, P. Deurenberg, J.C. Seidell, J.A. Weststrate, F. J.M. Schouten AND J.G.A.J. Hautvast (1992): Visceral fat accumulation in obese subjects: relation to energy expenditure and response to weight loss. *Am.J.Physiol.*, 263, E913-E919.
- Leibel, R.L. AND J. Hirsch (1987): Site- and sex-related differences in adrenoceptor status of human adipose tissue. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*, 64, 1205-1210.
- Leibel, R.L., N.K. Edens AND S.K. Fried (1989): Physiological basis for the control of body fat distribution in humans. *Annu.Rev.Nutr.*, 9, 417-443.
- Martin, A.D., W.D. Ross, D.T. Drinkwater AND J.P. Clarys (1985): Prediction of body fat by skinfold caliper: assumptions and cadaver evidence. *Int.J. Obes.*, 9(Suppl.1), 31-39.
- 増田章吾, 井垣直哉, 宮田 哲, 中道恒雄, 前田裕一郎, 秦 文彦, 北村嘉章, 西本茂樹, 松本真一郎, 畑中裕司, 乾 明夫, 老耜宗忠, 馬場茂明 (1988): 超音波皮脂厚計の使用経験. 第8回日本肥満学会記録, 316-317.
- 松沢佑次, 木原進士, 上山祐也, 金井秀行, 松原謙二, 小島隆司, 川本俊治, 中村 正, 野崎秀一, 藤岡滋典, 中島忠久, 亀田 芳, 徳永勝人, 垂井清一郎, 石川勝憲, 首藤弘史 (1986): 内臓脂肪増加型肥満の診断法. 第6回日本肥満学会記録, 62-64.
- Matsuzawa, Y., K. Tokunaga, S. Fujioka AND S. Tarui (1991): Pathophysiology of visceral fat obesity. In: Oomura, Y. et al., *Progress in Obesity Research* 1990. 309-312, John Libbey, London.

- Mauriege, P., J. Galitzky, M. Berlan AND M. Lafontan (1987): Heterogeneous distribution of beta- and alpha 2-adrenoceptor binding sites in human fat cells from various deposits: functional consequences. *Eur J. Clin. Invest.*, 17, 156-165.
- Mauriege, P., J. P. Despres, D. Prud'homme, M. C. Pouliot, M. Marcotte, A. Tremblay AND C. Bouchard (1991): Regional variation in adipose tissue lipolysis in lean and obese men. *J. Lipid Res.*, 32, 1625-1633.
- Mayo Smith, W., C. Hayes, B. Biller, A. Klibanski, H. Rosenthal AND D. Rosenthal (1989): Body fat distribution measured with CT: correlations in healthy subjects, patients with anorexia nervosa, and patients with Cushing Syndrome. *Radiology*, 170, 515-518.
- Mazzeo, R. S. AND P. Marshall (1989): Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J. Appl. Physiol.*, 67, 1319-1322, 1989.
- Mendez J., A. Keys, T. Anderson AND F. Grande (1960): Density of fat and bone mineral of mammalian body. *Metabolism*, 9, 472-477.
- 村野俊一, 田所直子, 森崎信尋 (1995): 超音波による内臓型脂肪蓄積の診断法. 日本臨床特別号「肥満症」, 203-208.
- 武藤真介 (1995): 統計解析ハンドブック. 朝倉書店, 東京.
- 中村敏郎 (1959): 日本人の体表面積に関する研究 第7篇 20才台~40才台の成年女子の体表面積及びその算出式. 長崎総合公衆衛生学雑誌, 8, 246-259.
- Nakamura, Y., Y. Yamamoto AND I. Muraoka (1993): Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *J. Appl. Physiol.*, 74, 875-881.
- Newell-Morris, L., W. Treder, W. P. Shuman AND W. F. Fujimoto (1989): Fatness, fat distribution, and glucose tolerance in second generation Japanese-American (Nisei) men. *Am J. Clin. Nutr.*, 50, 9-18.

- Ostman J., P. Arner, P. Engfeldt AND L. Kager (1979): Regional differences in the control of lipolysis in human adipose tissue. *Metabolism*, 28, 1198-1206.
- Ostman J., P. Arner, H. Kimura, H. Wahrenberg, AND P. Engfeldt (1984): Influence of fasting on lipolytic response to adrenergic agonists and on adrenergic receptors in subcutaneous adipocytes. *Eur. J. Clin. Invest.*, 14, 383-391.
- Pavlou, K. N., S. Krey AND W. P. Steffee (1989): Exercise as an adjunct to weight loss and maintenance in moderately obese subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 49, 1115-1123.
- Pierson Jr., R. N., J. Wang, M. Aulet, S. Heymsfield, J. Thornton AND J. Kral (1990): Race, sex, age, and fatness affect waist hip ratio in normal Asians, Blacks, and Caucasians. *Int. J. Obes.*, 14 (Suppl. 2), 103.
- Puig, T., B. Marti, M. Rickenbach, S. F. Dai, C. Casacuberta, V. Wietlisbach AND F. Gutzwiller (1990): Some determinants of body weight, subcutaneous fat, and fat distribution in 25-64 year old Swiss urban men and women. *Soz. Praventivmed.*, 35, 193-200.
- Rahn, H., W. O. Fenn AND A. B. Otis (1949): Daily variations of vital capacity, residual air, and expiratory reserve including a study of residual air method. *J. Appl. Physiol.*, 1, 725-736.
- Rebuffe-Scrive, M. (1988): Steroid hormones and distribution of adipose tissue. *Acta Med. Scand., Suppl.*, 723, 143-146.
- Rebuffe-Scrive, M., L. Enk, N. Crona, P. Lonnroth, L. Abrahamsson, U. Smith AND P. Bjorntorp (1985): fat cell metabolism in different regions of women. Effect of menstrual cycle, pregnancy and lactation. *J. Clin. Invest.*, 75, 1973-1976.
- Rebuffe-Scrive, M., J. Eldh, L. O. Hafstrom AND P. Bjorntorp (1986): Metabolism of mammary, abdominal, and femoral adipocytes in women before and after menopause. *Metabolism*, 35, 792-797.

- Rebuffe-Scrive, M., P. Lonroth, P. Marin, C. Wesslau, P. Bjorntorp AND U. Smith (1987): Regional adipose tissue metabolism in men and postmenopausal women. *Int.J.Obes.*, 11, 347-355.
- Rebuffe-Scrive, M., B. Andersson, L. Olbe AND P. Bjorntorp (1989): Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots of nonobese men and women. *Metabolism*, 38, 453-458.
- Rebuffe-Scrive, M., M. Bronnegard, A. Nilsson, J. Eldh, J. A. Gustafsson AND P. Bjorntorp (1990a): Steroid hormone receptors in human adipose tissues. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 71, 1215-1219.
- Rebuffe-Scrive, M., B. Anderson, L. Olbe AND P. Bjorntorp (1990b): Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots in severely obese men and women. *Metabolism*, 39, 1021-1025.
- Rebuffe-Scrive, M., P. Marin AND P. Bjorntorp (1991): Effect of testosterone on abdominal adipose tissue in men. *Int.J.Obes.*, 15, 791-795.
- Rebuffe-Scrive, M., U. A. Walsh, B. McEwen AND J. Rodin (1992): Effect of chronic stress and exogenous glucocorticoids on regional fat distribution and metabolism. *Physiol. Behav.*, 52, 583-590.
- Richelsen, B. (1986): Increased alpha 2- but similar beta-adrenergic receptor activities in subcutaneous gluteal adipocytes from females compared with males. *Eur. J. Clin. Invest.*, 16, 302-309.
- Richelsen, B., S. B. Pedersen, T. Moller-Pedersen AND J. F. Bak (1991): Regional differences in triglyceride breakdown in human adipose tissue: effects of catecholamines, insulin and prostaglandin E<sub>2</sub>. *Metabolism*, 40, 990-996.
- Robinson, B. F., S. E. Epstein, G. D. Beiser AND E. Braunwald (1966): Control of heart rate by the autonomic nervous system. Studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise. *Circ. Res.*, 19, 400-411.

- Rodin J., N.Radke-Sharpe, M.Rebuffle-Scrive AND M.R.C.Greenwood(1990):  
Weight cycling and fat distribution. *Int.J.Obes.*, 14, 303-310.
- Ross,R., L.Leger, E.B.Marliss, D.V.Morris AND R.Gougeon(1991):Adipose  
tissue distribution changes during rapid weight loss in obese adults.  
*Int.J.Obes.*, 15, 733-739.
- Ross,R. AND J.Rissanen(1994):Mobilization of visceral and subcutaneous  
adipose tissue in response to energy restriction and exercise. *Am.J.Clin.  
Nutr.*, 60, 695-703.
- Savard,R., J.P.Despres, M.Marcotte, G.Theriault, A.Tremblay AND C.  
Bouchard(1987):Acute effects of endurance exercise on human adipose  
tissue metabolism. *Metabolism*, 36, 480-485.
- Schulz,L.O. AND D.A.Schoeller(1994):A compilation of total daily energy  
expenditures and body weights in healthy adults. *Am.J.Clin.Nutr.*, 60,  
676-681.
- Schwartz,R.S., W.P.Shuman, V.Larson, K.C.Cain, G.W.Fellingham, J.C.Beard,  
S.E.Kahn,J.R.Stratton, M.D.Cerqueira AND I.B.Abrass(1991):The effect  
of intensive endurance exercise training on body fat distribution in  
young and older men. *Metabolism*, 40, 545-551.
- Seidell J.C.(1991):Environmental influences on regional fat distribution. *Int.  
J.Obes.*, 15(Suppl.2), 31-35.
- Seidell J.C.(1992):Reginal obesity and health. *Int.J.Obes.*, 16(Suppl.2), 31-  
34.
- Seidell J.C., M.Cigolini, P.Deurenberg, A.Oosterlee, G.Doornbos(1989):Fat  
distribution, androgens, and metabolism in nonobese women. *Am.J.Clin.  
Nutr.*, 50, 269-273.

- Seidell J.C., P.Bjorntorp, L.Sjostrom, R.Sannerstedt, M.Krotkiewski AND H.Kvist(1989b):Regional distribution of muscle and fat mass in men - new insight into the risk of abdominal obesity using computed tomography. *Int.J.Obes.*, 13, 289-303.
- Seidell J.C., P.Bjorntorp, L.Sjostrom, H.Kvist AND R.Sannerstedt(1990): Visceral fat accumulation in men is positively associated with insulin, glucose, and C-peptide levels, but negatively with testosterone levels. *Metabolism*, 39, 897-901.
- Seidell J.C., M.Cigolini, J.P.Deslypere, J.Charzewska B.M.Ellsinger AND A.Cruz(1991):Body fat distribution in relation to physical activity and smoking habits in 38-year-old European men. *Am J.Epidemiol.*, 133, 257-265.
- Selby J.V., B.Newman, C.P.Quesenberry Jr., R.R.Fabsitz, D.Carmelli, F.J. Meaney AND C.Slemenda(1990):Genetic and behavioral influences on body fat distribution. *Int.J.Obes.*, 14, 593-602.
- 下方浩史(1993):体脂肪分布 - 腹部型肥満の基礎と臨床. 杏林書院, 東京.
- Shimokata, H., J.D.Tobin, D.C.Muller, D.Elahi, P.J.Coon R.Andres(1989a): Studies in the distribution of body fat. ④ Effects of age, sex, and obesity. *J.Gerontol.*, 44, M66-M73.
- Shimokata, H., D.C.Muller AND R.Andres(1989b):Studies in the distribution of body fat. ⑤ Effects of cigarette smoking. *JAMA*, 261, 1169-1173.
- Shimokata, H., D.C.Muller AND R.Andres(1989c):Smoking wastes a good Parisienne(letter). *JAMA*, 262, 1185-1186.
- 新谷二郎(1932):本邦人の体表面積について 第3篇. *国民衛生*, 8, 440-460.

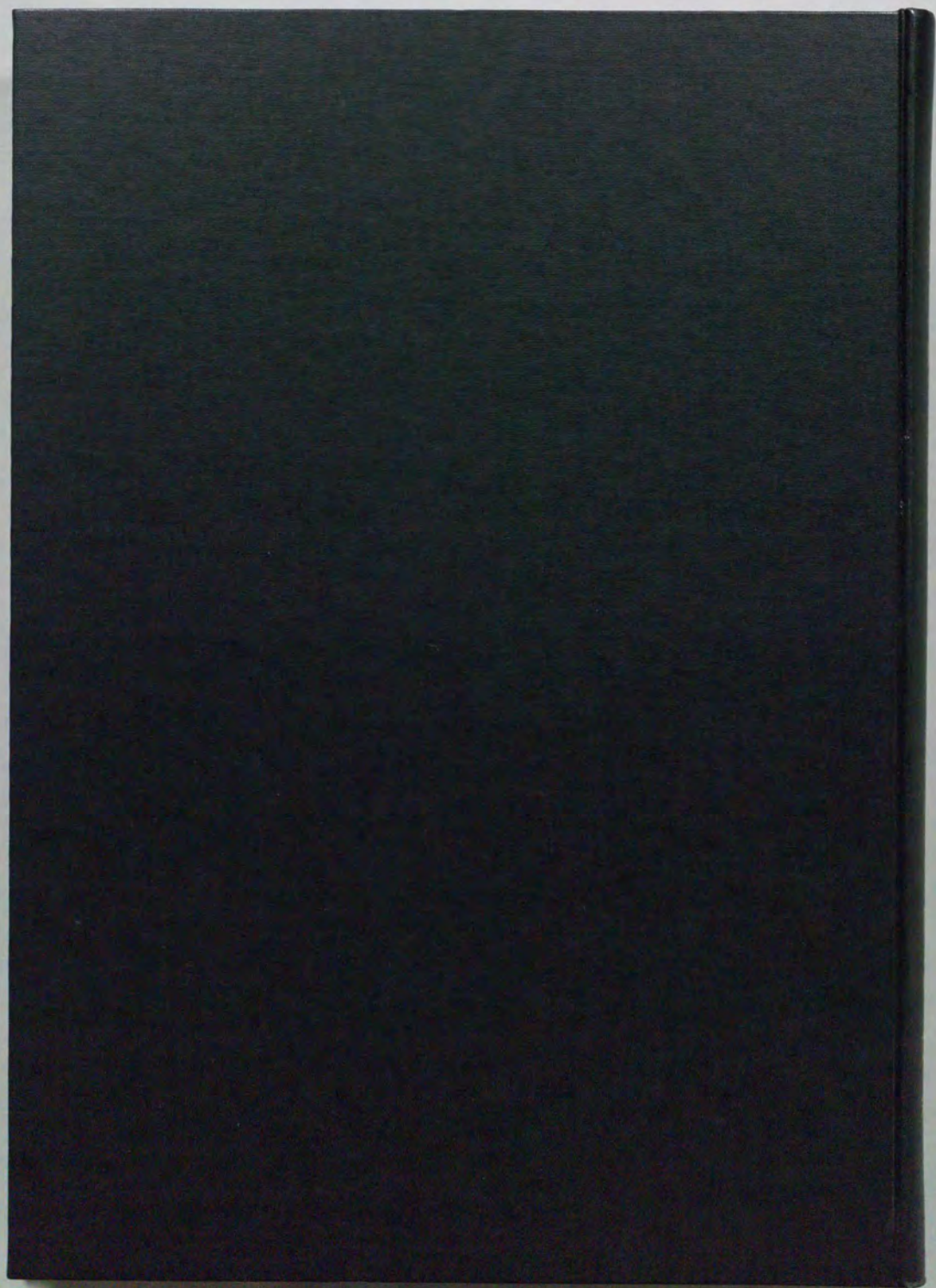


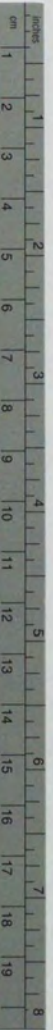
- Shuman, W.P., L.L. Newell-Morris, D.L. Leonetti, P.W. Wahl, V.M. Mocerri, A.A. Moss AND W.Y. Fujimoto (1986): Abdominal body fat distribution detected by computed tomography in diabetic men. *Invest. Radiol.*, 21, 483-487.
- Siri, W.E. (1956): The gross composition of the body. *Adv. Biol. Med. Phys.*, 4, 239-280.
- Sjostrom, L. (1991): A computer-tomography based multicompartiment body composition technique and anthropometric predictions of lean body mass, total and subcutaneous adipose tissue. *Int. J. Obes.*, 15(Suppl.2), 19-30.
- Slattery, M.L., A. McDonald, D.E. Bild, B.J. Caan, J.E. Hilner, D.R. Jacobs, Jr. AND K. Liu (1992): Associations of body fat and its distribution with dietary intake, physical activity, alcohol, and smoking in blacks and whites. *Am. J. Clin. Nutr.*, 55, 943-949.
- Smith, U., J. Hammersten, P. Bjorntorp AND J.G. Kral (1979): Regional differences and effect of weight reduction on human fat cell metabolism. *Eur. J. Clin. Invest.*, 9, 327-332.
- Smith, U., L. Stallones, W.H. Mueller, B.H. Christensen (1985): Regional differences in adipocyte metabolism and possible consequences in vivo. *Int. J. Obes.*, 9, 145-148.
- Sparrow, D., G.A. Borkan, S.G. Gerzof, C. Wisniewski AND C.K. Silbert (1986): Relationship of fat distribution to glucose tolerance. Results of computed tomography in male participants of the Normative Aging Study. *Diabetes*, 35, 411-415.
- Stallone, D.D., A.J. Stunkard, T.A. Wadden, G.D. Foster, J. Boorstein AND P. Arger (1991): Weight loss and body fat distribution: a feasibility study using computed tomography. *Int. J. Obes.*, 15, 775-780.

- Stefanick, M.L., P.T. Williams, R.M. Krauss, R.B. Terry, K.M. Vranizan AND P. D. Wood (1987): Relationships of plasma estradiol, testosterone, and sex hormone-binding globulin with lipoproteins, apolipoproteins, and high density lipoprotein subfractions in men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 64, 723-729.
- Suzuki, R., S. Watanabe, Y. Hirai, K. Akiyama, T. Nishide, Y. Matsushima, H. Murayama, H. Ohshima, M. Shinomiya, K. Shirai, Y. Saito, S. Yoshida, H. Saisho AND M. Ohto (1993): Abdominal wall fat index, estimated by ultrasonography, for assessment of the ratio of visceral fat to subcutaneous fat in the abdomen. *Am. J. Med.*, 95, 309-314.
- Takai, S. AND Shimaguchi, S. (1986): Are height and weight sufficient for the estimation of human body surface area? *Hum. Biol.*, 58, 625-638.
- 高柳満喜子, 豊川裕之 (1989): 超音波法による皮下脂肪厚の測定法. 保健の科学, 31, 438-442.
- 竹内啓監修, 高橋行雄, 大橋靖雄, 芳賀敏郎 (1989): SASによる実験データの解析. 39, 111-127. 東京大学出版会, 東京.
- Tanaka, S. AND M. Togo (1990): Relationship of fat mass and fat distribution to blood pressure. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 10(Suppl.), 199-203.
- 田中茂穂 (1991): 一般成人における体脂肪の分布と血清脂質, 血圧との関連. *民族衛生*, 57, 154-161.
- 田中茂穂, 戸部秀之, 甲田道子 (1994): 運動部学生における体脂肪分布の変化. *体力科学*, 41, 870.
- 田中茂穂, 戸部秀之, 甲田道子 (1994): 体脂肪の分布に影響を与える要因, 特に有酸素運動と日常生活習慣について. *体力研究*, 85, 38-46.
- Tanphaichitr, V., S. Kulapongse, R. Pekpeankitvatana AND P. Leelahagul (1990): Prevalence of obesity and its associated risks in urban Thais. *Int. J. Obes.*, 14(Suppl.2), 10.

- 豊川裕之, 木村信子, 丸井英二(1984a):A-mode式超音波皮脂厚計の実用化のための基礎的研究(第1報) 大腿部における標的波の同定の妥当性. 日本公衛誌, 31, 14-19.
- 豊川裕之, 木村信子, 丸井英二(1984b):A-mode式超音波皮脂厚計の実用化のための基礎的研究—上腕・伸側部計測値の安定性. 民族衛生, 50, 197-204.
- Tremblay,A., J.P.Despres AND C.Bouchard(1988):Alteration in body fat and fat distribution with exercise. In:Bouchard C. AND F.E.Johnston, Fat Distribution during Growth and Later Health Outcomes. 297-312, Alan R. Liss, New York.
- Tremblay,A., J.P.Despres, C.Lebianc, C.L.Craig, B.Ferris., T.Stephens AND C.Bouchard(1990):Effect of intensity of physical activity on body fatness and fat distribution. Am.J.Clin.Nutr., 51, 153-157.
- VagueJ.(1956):The degree of masculine differentiation of obesities;a factor of determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout, and uric calculous disease. Am.J.Clin.Nutr., 4, 20-34.
- van der Kooy,K. AND J.C.Seidell(1993):Techniques for the measurement of visceral fat:a practical guide. Int.J.Obes., 17, 187-196.
- van der Kooy,K., R.Leenen, J.C.Seidell, P.Deurenberg, A.Droop AND C.J.G. Baker(1993a):Waist-hip ratio is a poor predictor of changes in visceral fat. Am.J.Clin.Nutr., 57, 327-333.
- van der Kooy,K., R.Leenen, J.C.Seidell, P.Deurenberg AND J.G.A.J.Hautvast (1993b):Effect of a weight cycle on visceral fat accumulation. Am.J. Clin.Nutr., 58, 853-857.
- Vansant,G., C.den Besten, J.A.Weststrate AND P.Deurenberg(1988):Body fat distribution and the prognosis for weight reduction:preliminary observations. Int.J.Obes., 12, 133-140.

- Wadden, T.A., A.J. Stunkard, F.E. Johnston, J. Wang, R.N. Pierson, T.B. Van Itallie, E. Costello AND M. Pena (1988): Body fat deposition in adult obese women. II Changes in fat distribution accompanying weight reduction. *Am.J.Clin.Nutr.*, 47, 229-234.
- Wang, Z.M., R.N. Pierson AND S.B. Heymsfield (1992): The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am.J.Clin.Nutr.*, 56, 19-28.
- Wahrenberg, H., J. Bolinder AND P. Arner (1991): Adrenergic regulation of lipolysis in human fat cells during exercise. *Eur.J.Clin.Invest.*, 21, 534-541.
- Wahrenberg, H., F. Lonnqvist AND P. Arner (1989): Mechanisms underlying regional differences in lipolysis in human adipose tissue. *J.Clin.Invest.*, 84, 458-467.
- Wasserman, K. AND B.J. Whipp (1975): Exercise physiology in health and disease. *Am.Rev.Resp.Dis.*, 112, 219-249.
- Williams, P.T., S.P. Fortmann, R.B. Terry, S.C. Garay, K.M. Vranizan, N. Ellsworth AND P.D. Wood (1987): Associations of dietary fat, regional adiposity, and blood pressure in men. *JAMA*, 257, 3251-3256.
- Xu, X., G. de Pergola AND P. Bjorntorp (1990): The effects of androgens on the regulation of lipolysis in adipose precursor cells. *Endocrinology*, 126, 1229-1234.
- 山地啓司 (1992): 最大酸素摂取量の科学. 26-28. 杏林書院, 東京.
- Yamamoto, Y., R.L. Hughson AND J.C. Peterson (1991): Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J.Appl.Physiol.*, 71, 1136-1142.
- Zamboni, M., F. Armellini, E. Turcato, T. Todesco, L. Bissoli, I.A. Bergamo-Andreis AND O. Bosello (1993): Effect of weight loss on regional body fat distribution in premenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*, 58, 29-34.





# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

Blue	Cyan	Green	Yellow	Red	Magenta	White	3/Color	Black
[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]	[Patch]

# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

**A** 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19

