

小児肥満児に対する食事＋運動療法が 腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響について

三重大学 富樫 健二
(共同研究者) 国立療養所 増田 英成
三重病院
同 藤沢 隆夫

The Effects of Dietary Treatment and Physical Training on Body Fat Distribution in Obese Children

by

Kenji Togashi

Department of Physical Education, Faculty of Education, Mie University

Hiddenari Masuda, Takao Fujisawa

Department of Pediatrics, Mie National Hospital

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the combined effect of dietary treatment and physical training on body fat distribution, the risk factors of chronic disease, and aerobic work capacity in obese children. The subjects were 9 obese children (6 boys, 3 girls; 11.4 yrs; %fat, 33.6%). The areas of subcutaneous and visceral fat were measured using CT images at the level of the umbilicus. Early in the morning, blood samples were taken to measure risk factors of chronic disease such as TG, HDL-C, LDL-C and uric acid, and their relationship with the areas of subcutaneous and visceral fat was examined. Supervised physical training at 50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ for 30 min/day using a bicycle ergometer was performed 2 or 4 days/week for 10 weeks. The dietary treatment was varied with daily calorie intake between 1400 and 1900 kcal depending on

the degree of obesity. After dietary treatment combined with physical training, the areas of subcutaneous and visceral fat decreased significantly (from 249.5 to 158.9 cm², from 46.0 to 28.5 cm² : $p < 0.001$, respectively), and such risk factors as TG, HDL-C, LDL-C and uric acid were noticeably reduced. Maximum oxygen uptake increased significantly from 28.9 to 32.9 ml/kg/min ($p < 0.05$). These data suggest that dietary treatment combined with physical training in obese children reduces the risk factors of chronic disease and the distribution of body fat, while improving aerobic work capacity. Moreover, such treatment would be effective for the early treatment of obesity and prevention of chronic disease.

要 旨

本研究の目的は個人ごとに設定した食事+運動療法の併用が、小児肥満児の体脂肪分布、生活習慣病危険因子、有気的作業能に及ぼす影響について検討することである。対象は単純性肥満児童9名であり、臍高部CT画像より皮下脂肪面積、内臓脂肪面積を定量した。早朝空腹時に採血を行い、TG, HDL-C, LDL-C, 尿酸などの生活習慣病危険因子と皮下・内臓脂肪面積との関連を検討した。運動療法は毎日の日課としての運動（ジョギング、なわ跳び、肥満体操、エアロビクス等）19週間と、そのうち10週間は自転車エルゴメータを用いた50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度の有酸素運動を1日30分、週2～4回付加的に行った。食事療法は肥満の程度に応じて1日1400～1900 kcalの間で行った。

食事+運動療法後、皮下脂肪面積、内臓脂肪面積とも有意に減少（それぞれ、249.5から158.9 cm²へ、46.0から28.5 cm²へ）し、それに伴い、生活習慣病危険因子も改善した。また、有気的作業能力の指標である最大酸素摂取量は28.9から32.9 ml/kg/minへと有意に増大し、体力面での向上も認められた。

以上の結果より、小児肥満児における適切な食

事療法と有気的な運動療法の併用は体脂肪分布を変化させるとともに生活習慣病危険因子や有気的作業能を改善させ、肥満の早期治療、将来の生活習慣病予防の点で有効であることが示唆された。

緒 言

近年、わが国における生活習慣の西洋化、近代化に伴い、小児のライフスタイルも変化してきており、飽食、運動不足への道を進んでいる。文部省学校保健統計によれば、こうした生活習慣の変化により、最近20年間で肥満傾向児（肥満度20%以上）の出現率は小・中学生で約2倍（約10%）にも増加している。それに伴い、将来の生活習慣病が危惧される児童や、すでに小児の段階で高脂血症、高血圧、脂肪肝、インスリン非依存型糖尿病などの病態を有する者も増えてきている¹⁾。また、病態面だけでなく、肥満児童は一般的な体力測定値や体重当たりの最大酸素摂取量が低く²⁾、肥満児童の多くが、肥満に対する劣等感を持っていること³⁾からも、肥満は子どもの心身の健全な発育、発達の阻害因子の一つとなっている。

一方、特別な指導が行われなければ小児期に高度肥満であった者の約70%は成人肥満に移行するという報告⁴⁾や、治療開始時の年齢が高い者ほど肥満予後は悪いという報告⁵⁾からも、より早期

からの予防・治療対策が必要である。

肥満の判定・評価に関する最近の報告では、体格指数や体組成による肥満の程度が等しい場合でも、肥満に伴う種々の合併症発症率は異なることが明らかにされており、体脂肪分布を検討することが重要であるとされている。特に腹腔内の大網、腸管膜付近に蓄積する内臓脂肪量の増大は、その解剖学的な位置や脂肪分解反応の特異性から糖・脂質代謝異常、心血管系疾患、高血圧などと強く結びつくことが報告されている^{3, 4, 13)}。われわれも小児肥満児童を対象に検討した結果、内臓脂肪の絶対的な量は成人肥満者に比べ少ないものの、生活習慣病危険因子との関連は密接であることを示唆してきた²⁰⁾。したがって、現在の病態を改善、あるいは将来の生活習慣病に対する予防策としては身体の総脂肪量を減少させるだけでなく、内臓脂肪量を減少させるような減量プログラムが必要となってくる。

一般に肥満の改善を目的とした減量プログラムには摂取エネルギーを減少させる食事療法と消費エネルギーを増大させる運動療法があげられるが、発育期である肥満児に対しては無理な食事制限は行うことができず、有酸素運動と食事療法を組み合わせた減量指導が、望ましい⁶⁾。しかしながら、食事療法や運動療法が体脂肪分布に与える影響について検討した報告は少なく、さらに、早期に対応が必要であるはずの小児肥満児童に関する検討は皆無に等しい。

そこで本研究では、運動量と食事量の管理が十分にできる長期入院治療下の高度肥満児童を対象に、個人個人の体力特性にあった運動療法と、肥満の程度、病態に合わせた食事療法を組み合わせた減量プログラムが、肥満児の体脂肪分布、有気的作業能および生活習慣病危険因子に対し、どのような影響をもたらすか明らかにすることを目的とする。

1. 方法

1.1 対象

被検者は、肥満治療のため本人の意思、家族の勧めにより国立M病院小児慢性疾患病棟に長期入院する中～高度単純性肥満児童9名（男子6名、女子3名、年齢 11.4 ± 1.3 歳、肥満度 $47.6 \pm 14.1\%$ ）とした。なお、本研究は治療の一貫として食事療法、運動療法を行うことを本人、両親の承諾のもとに行った。

1.2 形態、体脂肪分布

小児肥満の判定に多く用いられる肥満度は、性別年齢別身長別体重表より各人の標準体重を求め、 $[(\text{現在体重} - \text{標準体重}) / \text{標準体重} \times 100]$ の式を用いて算出した。身体組成はインピーダンス法(TANITA TBF-102)を用いて% Fat、体脂肪量、除脂肪体重(LBM)を求めた。

食事+運動療法に対する体脂肪分布の変化を検討するためM病院放射線科所有のCT解析装置(HITACHI CT-W400)を用い、臍高部(L₄～L₅)での腹部断層像撮影を行った。皮下脂肪面積、内臓脂肪面積の定量は撮影されたCT画像を元にTokunagaら²⁰⁾の方法に準じて行った。皮下脂肪面積と内臓脂肪面積の和を総脂肪面積とした。

1.3 採血

採血は10時間以上の絶食後、早朝空腹時に肘正中皮静脈より行った。測定項目は、脂質代謝指標としてリポ蛋白(HDL-C, LDL-C)、アポ蛋白(Apo A-I, Apo B), T-cho, TG, FFA, 肝機能の指標としてGOT, GPT, 高尿酸血症の原因物質としての尿酸とした。動脈硬化指数はT-cho/HDL-C比を用いた。なお、LDL-CはFriedewaldら²¹⁾の式 $LDL-C = T-cho - (TG / 5 + HDL-C)$ から求めた。

1.4 運動負荷試験

運動療法時における強度決定、ならびに運動療法に伴う有気的作業能力の変化を検討するため、

電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (COMBI AEROBIKE 600) を用いた漸増負荷試験を行った。被検者は3分間の椅座位安静の後、50回転/分のテンポでペダリングをし、1分ごとに10 Watts ずつ負荷を漸増させ疲労困憊まで至らしめた。

呼吸ガスは、ブレスバイブレス方式の呼吸代謝測定装置 (MINATO AE-280 S) を用いて安静時から運動終了後3分まで、酸素摂取量、二酸化炭素排泄量、換気量、呼吸商等を連続的に測定し、後に最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) を決定した。心拍数はHR モニター (POLAR VANTAGE XL) を用いて5秒間ごとの平均心拍を連続的にメモリし、また、各ステージごとに主観的運動強度 (RPE) を聴取した。なお、漸増負荷試験は、隣接する養護学校から帰院後15~17時の時間帯で行った。

個人ごとの運動療法時の強度は、先行研究²³⁾により小児肥満児の乳酸性作業閾値 (LT) と50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ がほぼ同値であるという結果をもとに、採血の負担を軽減するため50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ に相当する負荷値で行った。なお、求めた負荷値に対する心拍数の応答が妥当であるかを検討した後に、運動療法を行った。

1.5 食事療法、運動療法

食事療法は、肥満の程度・病態により医師の支持を受けて管理栄養士が処方し、基本的には日本人の栄養所要量より算出した必要摂取カロリーの75~80% (1400~1900 kcal/日) とした。発育期であるため、どの治療過程においても蛋白質量は十分とし (炭水化物55%, 蛋白質20%, 脂肪25%), 肥満の程度が改善するにつれ摂取カロリーを増加した。

運動療法はM病院が従来より日課として行っている朝のマラソン、帰院後のなわ跳び、朝夕の肥満体操、週1~2回のエアロビクスを看護婦の指導の下に19週間行い、それに加え、運動負荷試

験より求めた50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度の自転車エルゴメータ運動を50回転/分で1日30分、週2~4回、10週間にわたり行った。時間帯は夕食後30分から90分の間とし、常に1~2人の運動指導員がついて心拍数のモニタリングを行った。

1.6 統計処理

食事+運動療法前後の各パラメータの平均値の差を paired t-test を用いて検定した。なお、本文中の数値は平均値±標準偏差とし、有意水準は、 $p<0.05$ を有意とした。

2. 結果

2.1 食事療法、運動療法の評価

食事療法は入院治療であるため肥満の程度・病態により医師の支持を受けて管理栄養士が処方し、時間帯、量 (摂取カロリー)、質 (栄養のバランス) とともに厳密に規定されて行われた。

運動療法は大きく分けて病棟の日課としての運動と今回、われわれが介入して行った自転車エルゴメータ運動の2種類に分けられた。19週間の間、病棟での日課としての運動は看護婦の指導下で毎日行われ、各運動時にモニタリングした心拍数を漸増負荷試験時に得られた個人毎の心拍数-酸素摂取量回帰直線に当てはめた結果、1日当たりの平均消費カロリーは約100 kcalであった。

自転車エルゴメータ運動時の運動強度は $\dot{V}_{O_{2max}}$ の $51.7 \pm 4.6\%$ であり、平均心拍数は 123.0 ± 3.8 bpm であった。総実施回数は平均 24.0 ± 5.2 回であった。一回の自転車エルゴメータ運動当たりの消費カロリーは、 133.1 ± 22.7 kcal であり、日課としての運動をあわせると1日当たり運動によるエネルギー消費は約230kcal程度であった。また、自転車エルゴメータ運動時の平均呼吸商は 0.93 ± 0.03 、エルゴメータ運動中の RPE は平均 8.6 ± 1.5 (楽である) であった。

2.2 形態および体脂肪分布の変化

運動療法前後の身長、体重、肥満度、% Fat,

表1 食事+運動療法前後の形態および有気的作業能力の変化

	Pre	Post	変化率
体重 (kg)	60.5 ± 12.18	51.3 ± 9.21	-14.7 ± 4.05***
肥満度 (%)	47.6 ± 14.08	20.2 ± 9.93	-58.8 ± 13.04***
% fat (%)	33.6 ± 3.80	23.9 ± 3.80	-28.8 ± 6.54***
LBM (kg)	33.9 ± 6.90	39.0 ± 7.00	- 2.3 ± 3.53 NS
$\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/kg/min)	28.9 ± 3.03	32.9 ± 5.96	10.2 ± 13.62*

*** ; $p < 0.001$, ** ; $p < 0.01$, * ; $p < 0.05$

およびLBMの変化を表1に示した。19週間にわたる食事+運動療法によって体重は 60.5 ± 12.2 kg から 51.3 ± 9.2 kg へと平均9.2 kg 有意に減少した ($p < 0.001$)。また、肥満度も $47.6 \pm 14.1\%$ から $20.2 \pm 9.9\%$ へと有意に減少した ($p < 0.001$)。LBM は 33.9 ± 6.9 kg から 39.0 ± 7.0 kg へと0.9 kg 減少したものの有意差は認められなかった。%

Fat は食事+運動療法前 (Pre) の $33.6 \pm 3.8\%$ から、食事+運動療法後 (Post) の $23.9 \pm 3.8\%$ へと有意な減少を示した ($p < 0.001$)。

食事+運動療法に伴う典型的な腹腔内脂肪分布の変化を図1に示し、定量化した皮下脂肪面積、内臓脂肪面積の変化および変化率を図2に示した。皮下脂肪面積は 249.5 ± 62.2 cm² から 158.9 ± 54.4

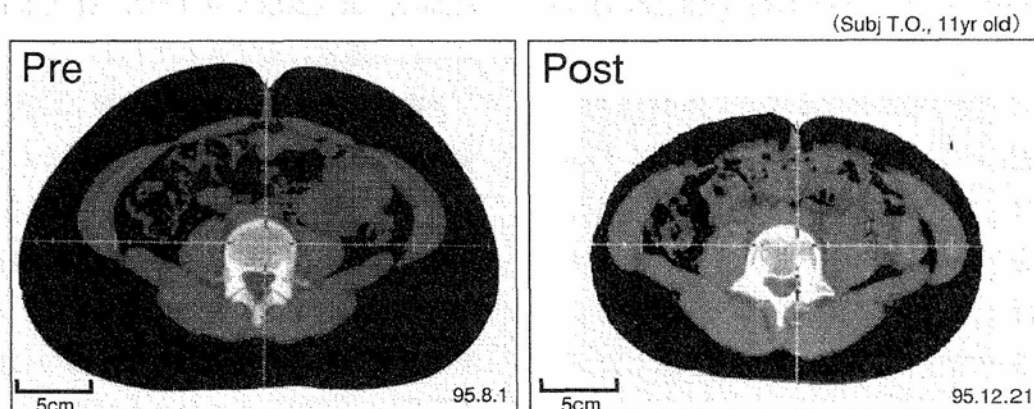


図1 食事+運動療法前後における臍高部 CT 画像の変化 (典型例)

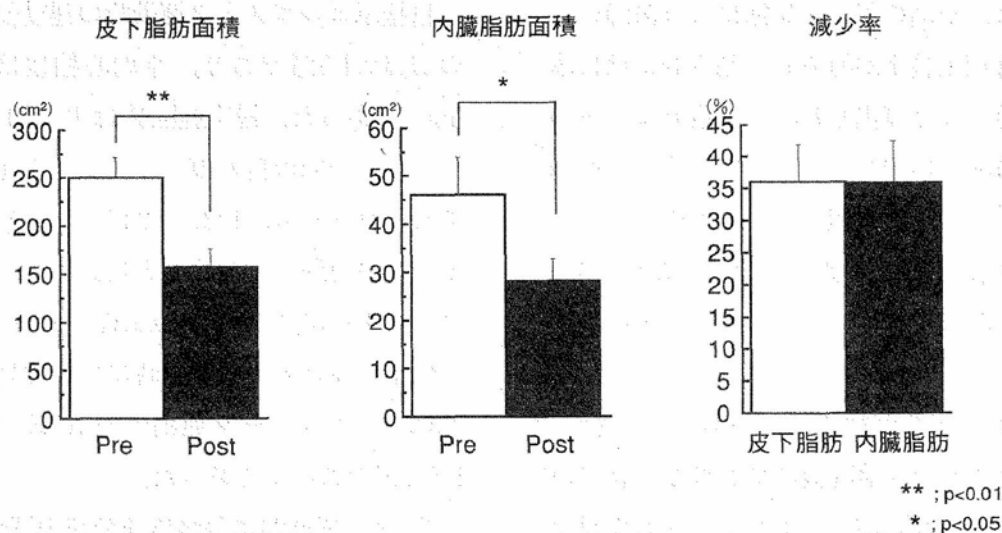


図2 食事+運動療法前後における皮下・内臓脂肪面積の変化

cm² へと平均90.6 cm² 有意に減少し ($p<0.01$), 内臓脂肪面積は46.0±23.2 cm² から28.5±13.0 cm² へと平均17.6 cm² 有意に減少した ($p<0.05$). その結果, 総脂肪面積はトレーニング前の平均297.2±78.9 cm² からトレーニング後の187.4±66.0 cm² へと平均109.8 cm² の有意な減少を示した ($p<0.01$). 内臓脂肪面積, 皮下脂肪面積の減少率はそれぞれ35.8±20.4%, 36.0±17.4%であり, 各脂肪面積の減少率に有意差は認められなかった.

2.3 有気的作業能力, 生活習慣病危険因子への影響

有気的作業能力の指標として運動療法前後の $\dot{V}_{O_{2max}}$ の比較を行った(表1). 体重当たりの $\dot{V}_{O_{2max}}$ は28.9±3.03 ml/kg/min から32.9±5.96 ml/kg/min へと有意な増加を示した ($p<0.05$). 絶対値の $\dot{V}_{O_{2max}}$ に有意差は認められなかった.

運動療法前後における各生活習慣病危険因子の変化を図3に示した. 血清脂質ではT-Cho (194.1±26.3から143.6±22.5 mg/dl), LDL/C (124.8±26.9 mg/dlから82.2±19.3 mg/dl), TG

(156.6±138.12から52.3±21.5 mg/dl) が有意な減少を示した (それぞれ $p<0.001$, $p<0.01$, $p<0.01$). HDL-C は平均46.9±8.9 mg/dl から53.3±14.2 mg/dl へと有意な増加を示し ($p<0.05$), さらに, 皮下脂肪面積, 内臓脂肪面積の減少率とHDL-Cの増加率はそれぞれ $r=0.87$, 0.98と有意な相関関係を示した ($p<0.05$, $p<0.01$). 動脈硬化指数として用いたT-Cho/HDL-C比も有意な減少 ($p<0.01$) を示した. 肝機能の指標となるGOT, GPTはそれぞれ37.7±24.9 IU/lから18.4±6.4 IU/l, 54.1±54.3 IU/lから12.0±5.4 IU/lへと有意に減少した ($p<0.05$). 高尿酸血症の原因物質となる血清尿酸値は6.4±1.2 mg/dlから5.0±1.1 mg/dlへと有意に減少した ($p<0.001$).

3. 考 察

本研究は小児慢性疾患病棟にて長期入院治療を行う肥満児童9名を対象に, 19週間にわたる食事+運動療法が高度肥満児童の体脂肪分布に与える影響について検討した. これまで, 肥満者に対す

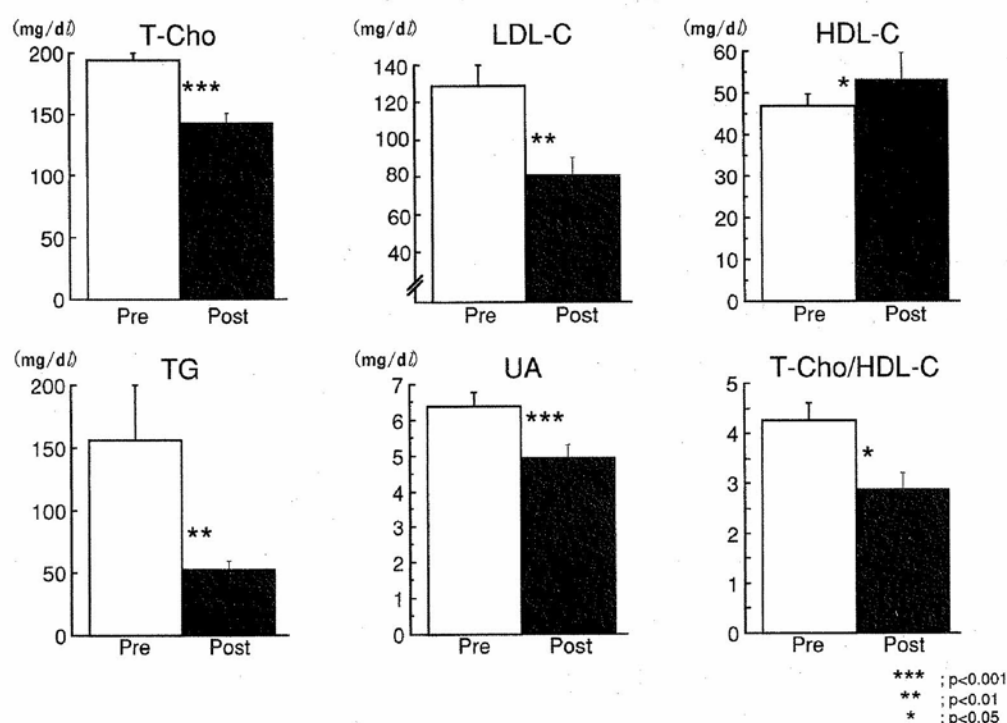


図3 食事+運動療法前後における生活習慣病危険因子の変化

る食事療法、運動療法による減量効果、代謝的効果に関する研究は数多くなされているが、非監視型であるため食事の規定が曖昧であったり、運動条件に関する設定が十分に整っている報告は少ない。本研究では入院治療下にある肥満児童を対象としたため、一日の活動が日課という形で定められ、起床、就寝の時刻はもとより、食事、運動の量、質（栄養バランス、運動強度）などの規定を個人の病態や体力値に応じ、医師、看護婦、管理栄養士や運動指導員のもとで行うことができた。

食事+運動療法の後、体重は平均9.2 kg、肥満度、% Fat はそれぞれ平均47.6%から20.2%へ、33.6%から23.9%へと有意に減少し、LBM には有意な変化を認めなかった（表1）。発育期にある児童にとって食事療法のみによる減量では体蛋白の崩壊を伴い、発育阻害を引き起こしかねない。そのため、成人肥満者以上に運動を併用し、消費カロリーを増大する減量法が望ましい⁶⁾。本研究では、個人ごとに処方した食事+運動療法により筋肉量を維持し、体脂肪を選択的に減少させることができた。

一方、最近の肥満研究においては、体脂肪率などの脂肪の量的な面（体組成）よりも質的にどの部位に蓄積しているかといった体脂肪分布の違いにより合併症罹患率が異なることが報告されており、特に、大網や腸管膜周辺に蓄積する内臓脂肪が糖・脂質代謝異常、高血圧や冠動脈疾患と密接に関連する事が明らかとなっている^{3, 4, 13)}。したがって、肥満に伴う合併症や代謝異常を改善・予防するためには単に脂肪を量的に減らすのみでなく、脂肪分布の状態や内臓脂肪の絶対量を吟味する必要がある。

われわれは小児肥満児の体脂肪分布を横断的に検討し、肥満度が50%を越えるような高度肥満児であっても成人肥満者に比べ内臓脂肪の絶対量は少なく、皮下脂肪型を呈すること、また、小児肥満児の内臓脂肪は量的には少ないにも関わらず、

TC や LDL-C, HDL-C, GOT, GPT, 尿酸値などの生活習慣病危険因子と密接に結びついていることを明らかにし、内臓脂肪の絶対量を減らすことが将来の糖・脂質代謝異常など生活習慣病予防のうえで重要であり、小児の段階から適切な体脂肪分布構築をめざした減量プログラム作製の必要性を示唆してきた²⁴⁾。

食事+運動療法後、肥満児の臍高部における皮下脂肪面積は249.5 cm² から158.9 cm² へ（平均90.6 cm²）、内臓脂肪面積は46.0 cm² から28.5 cm² へ（平均17.6 cm²）減少し、皮下・内臓脂肪量ともに食事+運動療法の効果が認められた。この減少量を絶対値でみると約5倍程度皮下脂肪の方が減少しているが、平均減少率でみると皮下脂肪36.0%、内臓脂肪35.8%であり、両脂肪の減少率に有意差は認められなかった（図2）。

食事療法のみが体脂肪分布に与える影響として、Leenen¹²⁾ らは27～51歳の男女肥満者を対象に13週間の低カロリー食の効果について検討したところ、MRI法で測定した皮下脂肪および内臓脂肪面積ともに有意に減少し、Stallone ら²¹⁾ もCTを用いて、閉経後の女性（平均52歳）11名を対象に6ヵ月間にわたる低カロリー食の影響を検討した結果、18.8 kgの減量（うち4 kgはLBMの減少）に伴い内臓および皮下脂肪面積とも有意に減少した（それぞれ35%、33%）としている。Zamboni ら²⁸⁾ は閉経前の中年女性（平均38.8歳）16名を対象に16週間にわたる低カロリー食を処方した結果、約16 kgの減量に伴いW/H比に有意差はなかったが、CTで体脂肪分布を検討した結果、内臓脂肪の方が皮下脂肪より減少していた（40.0% vs 23.0%）と報告している。

運動療法のみによる報告として、田中ら²²⁾ は平均年齢34.7歳の男女46名（% Fat 男性22.9%、女性27.9%）を対象に12週間にわたる有気的トレーニング（60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ ）を行い、超音波皮脂厚計を用いて測定した体内深部脂肪は皮下脂肪より絶

対量が少ないにもかかわらず、体内深部脂肪の減少率は、皮下脂肪の減少率に比べ2倍弱の減少率であり、LBMを維持しながら選択的に体内深部脂肪量が減少したことを報告している。Schwartzら¹⁹⁾は平均年齢28.2歳の青年13名(BMI 26.0 kg/m²)と平均年齢67.5歳の高齢者15名(BMI 26.2 kg/m²)を対象に27週間にわたる50~85% HR reserveの運動療法を1日45分、週5回行い、両群とも選択性はないものの、両脂肪組織が有意に減少したことを報告している。一方、平均年齢38.8歳の中年肥満女性(平均体重90.0 kg)を対象に食事制限を行わないで、55% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 、1日100分、週4~5日の有気的トレーニングを14ヵ月間行い体脂肪分布を検討したDespresら⁵⁾は、腹部の皮下脂肪面積は546.5 cm²から486.5 cm²へ有意に減少したのに対し、内臓脂肪面積は124.7 cm²から121.3 cm²へ有意な変化を示さなかったとし、一致した見解は得られていない。

本研究と同じく食事療法と運動療法を併用した報告として、安部ら¹⁾は、平均年齢19.2歳の女性19名(体脂肪率27.3%)を対象とし、自転車エルゴメータを用いた50~60% HR_{max}強度の有酸素トレーニングを1回30分、週3~4回、13週間行うとともに、自己管理によって摂取エネルギーを通常の摂取カロリーよりも低水準で維持した食事療法を併用した結果、体重は平均1.4 kg減少し、超音波Bモード法から推定した腹腔内脂肪の減少率は皮下脂肪量より内臓脂肪量の方が大きかったと報告している。同様に、内臓脂肪型肥満の被検者を対象にした今泉ら⁸⁾は、標準体重1 kg当たり30 kcalを摂取エネルギーとする栄養指導と1日1万歩の歩行を、週5日の頻度で4ヵ月行わせた結果、皮下脂肪では有意な変化がみられなかったものの、内臓脂肪において5%水準で有意な減少がみられたと報告している。Rossら¹⁸⁾も平均年齢36.1歳(BMI 33.1 kg/m²)の閉経前女性を

対象に1200~1300 kcal/日の食事療法と有酸素的運動、またはレジスタンス運動を併用した18週間の減量プログラムを行った結果、どちらのグループもW/H比は変化なかったが、MRIから求めた皮下脂肪は約22%減少したのに対し、内臓脂肪は約34%の減少したことを報告している。

このように食事療法、運動療法が体脂肪分布に与える影響については対象(性差、加齢)、食事条件(摂取エネルギー量、栄養素バランス)、運動条件(種類、強度、頻度、時間)の不一致、減量プログラム開始時の体脂肪分布状態の違いにより一定した見解が得られていない。

皮下・内臓脂肪細胞の運動に対する分解反応の違いに関して、皮下脂肪細胞に比べ内臓脂肪細胞は、カテコラミンに対する脂肪分解活性が高く、肝門脈血中に遊離脂肪酸を放出しやすいという報告^{15, 16)}や、脂肪分解を促進するカテコラミンβ受容体に働くイソプロテレノールや、β₃に特異的に働くCL 316, 243などの刺激剤による脂肪分解は皮下脂肪に比べ、内臓脂肪細胞で強いという報告²⁷⁾がある。

また、下村ら²⁰⁾は、血中脂質および血中グルコース、インスリン低下作用等の変化はきたさなような軽い運動に対して、脂肪組織への血中脂肪取り込みに作用するLPL、糖取り込みに作用するGlut 4、および中性脂肪合成の基質であるACSの各代謝ステップの活性、および遺伝子発現量が内臓脂肪細胞で低下(TG合成の低下)することにより内臓脂肪が特異的に減少することを明らかにしている。これらのことは、運動に伴うカテコラミン濃度の上昇により、皮下脂肪よりも内臓脂肪の方がエネルギー基質として特異的に動員される可能性が高いことを示している。また、内臓脂肪の蓄積と性ホルモンとの関係も示唆されており、Schwartzら¹⁹⁾は運動によるテストステロンレベルの減少が内臓脂肪の減少と関連があることを示唆している。

これらの先行研究より、食事療法や運動療法、また、その組み合わせにより負のエネルギーバランスや adrenergic な環境が生じると、その代謝特性から内臓脂肪は早期に、かつ、皮下脂肪に比べ大きな割合で減少することが予想される。本研究では、カテコラミン濃度が高まり始めるとされている 50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度を採用したため、内臓脂肪の選択的な減少が予想されたが、内臓脂肪の減少とともに皮下脂肪も同程度の割合（約36%）で減少し、内臓脂肪のみが特異的に減少することにはなかった。皮下脂肪と内臓脂肪の減少率に差がなかった理由として、成人では運動に伴う adrenergic な刺激に対する腹部と臀部大腿部脂肪組織の反応は異なることが報告されているが、思春期前の小児では adrenergic な刺激に対する腹部と臀部の部位差はないことを Rosenbaum ら¹⁰⁾ は報告している。このような脂肪細胞におけるホルモン受容体の感受性の変化が思春期を境に生じ、成人の内臓脂肪型肥満へ移行していくことが予想される¹¹⁾。

つぎに、食事+運動療法による体脂肪分布の変動が生活習慣病危険因子に及ぼす影響として Tremblay ら²⁰⁾ は、12人の若年男性を対象に22日間にわたる有酸素的な運動療法と1000 kcal/日の食事療法を組み合わせた結果、体脂肪の減少とともに OGTT に対するインスリンの反応性が改善したことを報告している。また、勝川ら⁹⁾ は、平均年齢18.7歳の肥満男子大学生30名を対象に50% peak $\dot{V}_{O_{2max}}$ の運動を1回30分、週2～3回と標準体重当たり25 kcalの食事療法を併用し、120日間行った結果、皮下脂肪面積、内臓脂肪面積の有意な減少に伴い、インスリン感受性や LDL-C、尿酸値に有意な改善が認められたことを報告している。

本研究においても食事+運動療法に伴い、T-C ho, TG, LDL-C、動脈硬化指数における有意な減少や HDL-C に有意な増加が認められ（図

3）、さらに、各脂肪面積の減少率と HDL-C の増加率が有意な相関を示したことから、食事+運動療法が体脂肪分布をより好ましい状態に変化させ、将来の生活習慣病に結びつく血液性状を改善させることが示唆された。また、食事療法のみでなく、運動療法を併用することにより体重当たりの $\dot{V}_{O_{2max}}$ の増加や最大下同一負荷での酸素摂取量、RPE 値の減少が認められたこと²⁰⁾ は、肥満児にとって生理的、心理的に余裕のある体づくりにつながり、肥満→運動不足→肥満といった悪循環を断ち切るうえでも有効であったと思われる。

4. ま と め

本研究は高度小児肥満児童を対象とし、19週間にわたる個人ごとに設定した食事+運動療法が体脂肪分布、生活習慣病危険因子、有気的作業能力にどのような影響を与えるか検討した。結果は以下のとおりである。

1. 食事+運動療法により LBM は維持したまま体重、体脂肪率の減少、有気的作業能力の向上が認められた。

2. 皮下脂肪面積は平均で249.5から158.9 cm²、内臓脂肪面積は46.0から28.5 cm² へと有意に減少した。減少率は皮下・内臓脂肪とも約36%と同程度であった。

3. 皮下・内臓脂肪の減少に伴い血液性状からみた生活習慣病危険因子は有意に低下した。

個人ごとに設定した食事+運動療法の併用は、摂取カロリーの制限と消費カロリーの増大から体脂肪の減少を促し、それに伴い体重、体脂肪率の減少、各種生活習慣病危険因子を低下させ、将来の生活習慣病予防に対して有効であることが示唆された。

とくに近年注目されている体脂肪分布の変化に関しては、内臓脂肪、皮下脂肪とも同程度の減少率（36%）であった。内臓脂肪細胞は皮下脂肪細胞に比べ、運動（カテコラミン）に対する脂肪分

解反応が強いことが報告されているが、本研究の結果から、小児肥満児に対する食事+運動療法の併用は外見や体重（動きにくさ）と関連する皮下脂肪と、生活習慣病罹患率と強く結びつく内臓脂肪の両方を減少させることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、介入実験を快く引き受けていただいた、国立診療所三重病院院長 神谷 齊先生、研究補助、運動指導をお手伝いいただいた、三重大学教育学部保健体育科 小木曾 慶氏、尾西 学氏に心より感謝いたします。

文 献

- 1) 安部 孝, 板井もりえ, 川上泰雄ほか ; 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 (1994)
- 2) 有滝世界爺 ; 小児の肥満, 日本医師会雑誌, 107 (6), 968-971 (1992)
- 3) Buemann, B., A. Tremblay ; Effects of exercise training on abdominal obesity and related metabolic complications, *Sports Medicine.*, 21 (3), 191-212 (1996)
- 4) Despres, J. P., S. Moorjani, P. J. Lupien, et al. ; Regional distribution of body fat, plasma lipoproteins, and cardiovascular disease., *Arteriosclerosis*, 10 (4), 497-511 (1990)
- 5) Despres, J. P., M. C. Pouliot, S. Moorjani, et al. ; Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women, *Am. J. Physiol.*, 261, E159-167 (1991)
- 6) Epstein, L. H., K. J. Coleman, M. D. Myers ; Exercise in treating obesity in children and adolescents, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28 (4), 428-435 (1996)
- 7) Friedewald, W. T., R. I. Levy, D. S. Fredrickson ; Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge, *Clin. Chem.*, 18 (6), 499-502 (1972)
- 8) 今泉哲雄, 浅見高明 ; 内臓脂肪量および皮下脂肪量に対する栄養・運動指導による減量効果, 体力研究, 89, 24-31 (1995)
- 9) 勝川史憲, 大西祥平, 山崎 元ほか ; 若年肥満者における糖質脂質代謝異常, 体脂肪分布と運動耐容能の関連の検討—運動療法効果を含めて, 臨床スポーツ医学, 9 (12), 1397-1402 (1992)
- 10) 衣笠昭彦, 澤田 淳, 衣笠紀玖子ほか ; 小児肥満の長期予後—思春期肥満の発生防止のすすめ, 肥満研究, 1 (2), 61-63 (1995)
- 11) Kotani, K., K. Tokunaga, Y. Matunaga ; Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese, *Int. J. Obes.*, 18, 207-212 (1994)
- 12) Leenen, R., K. van der Kooy, P. Deurenberg, et al. ; Visceral fat accumulation in obese subjects: relation to energy expenditure and response to weight loss, *Am. J. Physiol.*, 263, E913-919 (1992)
- 13) Matsuzawa, Y., I. Shimomura, T. Nakamura, et al. ; Pathophysiology and pathogenesis of visceral fat obesity, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 748, 399-406 (1995)
- 14) 村田光範 ; 小児の肥満, 小児科, 31 (7), 755-759 (1990)
- 15) Ostman, J., P. Arner, P. Engfeldt, et al. ; Regional differences in the control of lipolysis in human adipose tissue, *Metabolism.*, 28 (12), 1198-1205 (1979)
- 16) Rebuffe-Scrive, M., B. Anderson, L. Olbe, et al. ; Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots in severely obese men and women, *Metabolism.*, 39 (10), 1021-1025 (1990)
- 17) Rosenbaum, M., E. Presta, J. Hirsch, et al. ; Regional differences in adrenoreceptor status of adipose tissue in adults and prepubertal children, *J. Clin. Endocrinol Metab.*, 73 (2), 341-347 (1991)
- 18) Ross, R., J. Rissanen ; Mobilization of visceral and subcutaneous adipose tissue in response to energy restriction and exercise, *Am. J. Clin. Nutr.*, 60 (5), 695-703 (1994)
- 19) Schwartz, R. S., W. P. Shuman, V. Larson, et al. ; The effect of intensive endurance exercise training on body fat distribution in young and older men, *Metabolism.*, 40 (5), 545-551 (1991)

- 20) Shimomura, I., K. Tokunaga, K. Kotani, et al.; Marked reduction of acyl-CoA synthetase activity and mRNA in intra-abdominal visceral fat by physical exercise, *Am. J. Physiol.*, **265**, E44-50 (1993)
- 21) Stallone, D. D., A. J. Stunkard, T. A. Wadden, et al.; Weight loss and body fat distribution: a feasibility study using computed tomography, *Int. J. Obes.*, **15** (11), 775-780 (1991)
- 22) 田中茂穂, 戸部秀之, 甲田道子; 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 (1994)
- 23) 富樫健二, 増田英成, 伊藤真紀ほか; 小児肥満治療におけるLT強度運動療法の効果, *日本肥満学会記録*, **16**, 48-49 (1996)
- 24) 富樫健二, 増田英成, 小木曾 慶ほか; 小児肥満児の成人病危険因子と体脂肪分布との関連—皮下・内臓脂肪蓄積状態からの検討, *日本運動生理学会第4回大会プログラム・抄録集*, **80** (1996)
- 25) Tokunaga, K., Y. Matsuzawa, K. Ishikawa, et al.; A novel technique for the determination of body fat by computed tomography, *Int. J. Obes.*, **7** (5), 437-445 (1983)
- 26) Tremblay, A., E. Poehlman, A. Nadeau, et al.; Is the response of plasma glucose and insulin to short-term exercise-training genetically determined?, *Horm Metab. Res.*, **19** (2), 65-67 (1987)
- 27) 梅川常和, 吉田俊樹, 坂根直樹ほか; β_3 受容体作動薬CL316, 263の存在部位別にみたラット白色脂肪細胞の脂肪分解能, *肥満研究*, **1** (1), 29-32 (1995)
- 28) Zamboni, M., F. Armellini, E. Turcato, et al.; Effect of weight loss on regional body fat distribution in premenopausal women, *Am. J. Clin. Nutr.*, **58** (1), 29-34 (1993)